



Análisis de los indicadores de la caldera de una planta procesadora de conservas de atún

Analysis of indicators at canned tuna processing plant boiler

Ángel M. Macías-Barbarán^I, Ángel Arteaga-Linza^{II}, Pedro A. Rodríguez-Ramos^{III}, *

I. Universidad Técnica de Manabí, Instituto de Posgrado. Manabí, Ecuador

II. Universidad Técnica de Manabí. Carrera de Mecánica. Manabí, Ecuador

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

* Autor de correspondencia: parr@mecanica.cujae.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 16 de febrero de 2021

Aceptado: 2 de abril de 2021

Resumen

El presente trabajo es el resultado de la investigación realizada en la Planta Procesadora de Conservas de Atún. El atún en conservas es su producto estrella, lo cual ha llevado a establecer los estándares de uno de sus equipos más críticos; el generador de vapor (la caldera Cleaver Brooks CB-LE), teniendo como punto de partida, el registro de fallas en un software de mantenimiento programado ya implantado. Una parte de la gestión de mantenimiento que se aplica actualmente en esta caldera, está basada en la experiencia adquirida del personal encargado del mantenimiento, mientras que la otra parte se basa en la sustitución de piezas a intervalos de tiempo fijos, por tanto,

el objetivo de este trabajo es evaluar el estado de la gestión del mantenimiento de la caldera, a través de la aplicación de indicadores de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad, aplicando el denominado análisis RAM (*Reliability, Availability and Maintainability*). Como resultado de la investigación se detectó que: la Confiabilidad es relativamente baja, la Mantenibilidad es media y la Disponibilidad es alta.

Palabras claves: confiabilidad; mantenibilidad; disponibilidad; mantenimiento; caldera.

Abstract

This work is the result of the research carried out at the Canned Tuna. Canned tuna is its star product, which has led to setting the standards of one of its most critical equipment; the steam generator (the Cleaver Brooks CB-LE boiler), having as a starting point, the record of failures in a scheduled maintenance software already implemented. One part of the maintenance management that is currently applied in this boiler is based on the experience acquired by the personnel in charge of maintenance, while the other part is based on the replacement of parts at fixed time intervals, therefore, the objective This work is to evaluate the status of

the maintenance management of the boiler, through the application of Reliability, Maintainability and Availability indicators, that is, applying the so-called RAM analysis (*Reliability, Availability and Maintainability*, for its acronym in English). . As a result of the investigation it was detected that: Reliability is relatively low, Maintainability is medium and Availability is high.

Key words: reliability; maintainability; availability; maintenance; boiler.

Cómo citar este artículo:

Macías Barbarán AM, Arteaga Linza A, Rodríguez Ramos, PA. Análisis de los indicadores de la caldera de una planta procesadora de conservas de atún. Ingeniería Mecánica. 2021;24(3):e630. ISSN 1815-5944.

Introducción

Los equipos frigoríficos son fundamentales en la industria pesquera, para la conservación de la materia prima, ya que eliminan muchos problemas relacionados con la aparición de organismos patógenos en los alimentos. Lo anterior evidencia la importancia del mantenimiento de este tipo de equipos, para evitar que problemas como retrasos en el almacenamiento de la materia prima por daño parcial o total de algún equipo o instalación, que conlleven al deterioro de la misma y al incumplimiento de los programas de producción.

La empresa, objeto de estudio cuenta con 3 generadores de vapor, de los cuales, la caldera Cleaver Brooks CB-LE, es el pilar fundamental de la producción de vapor ya que su operación es modulable en función de la demanda, operando la mayor parte del tiempo a su capacidad máxima para la generación de vapor cumpliendo

con los diferentes procesos productivos que requieran vapor constantemente como son: la cocción de materia prima, calentadores de aceite, calentadores para la limpieza eficaz de coches y sobre todo para uno de los procesos más críticos de la planta, el proceso de esterilización.

En vista de lo expuesto, el análisis de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad aparece como una poderosa herramienta que permite aumentar y optimizar la eficiencia, productividad y la calidad de los procesos. Esta metodología o sistema, de amplio empleo, permite configurar, verificar y pronosticar el comportamiento del sistema de una manera más práctica, además de guiar hacia la selección de políticas de mantenimiento correctas.

El análisis de los indicadores RAM es un elemento vital en el mantenimiento de la función de un equipo o instalación, siendo uno de los campos cruciales para mejorar la rentabilidad, el rendimiento medioambiental y la seguridad, al aportar una base de datos real y actualizada sobre el estado del sistema. El análisis RAM es diferente en cada sistema industrial debido a varios factores: las condiciones de operación del sistema, el nivel de capacitación de los empleados (operadores, técnicos y gerentes), la política de mantenimiento existente, etc.

Actualmente la mayoría de las organizaciones se preocupan por adoptar estrategias de mejora de procesos como la calidad y el mejoramiento continuo, y el aprovechamiento de sus beneficios en la optimización de recursos le permite a dichas organizaciones alcanzar sus metas [1].

Las industrias se ven cada vez más obligadas a optimizar sus costos de producción, optimizando los procesos y operación de los equipos, y consecuentemente disminuyendo los gastos asociados a mantenimiento [2], donde a la vez obliga a desarrollar nuevas directrices en la gestión, iniciando con la evaluación de los procesos, sobre todo el de mantenimiento, que es lo que se pretende con este trabajo de investigación, donde se calculan los indicadores para comprobar la eficacia de la gestión del mantenimiento, la que es registrada en un software donde se generan las actividades preventivas y correctivas en el área de generación de vapor, teniendo en cuenta que la gestión es la variable que más repercute en el desempeño de la función mantenimiento [3].

La confiabilidad es la probabilidad de que un sistema produzca los resultados esperados, para sus cálculos se involucra el intervalo entre fallas en un determinado tiempo, entre menos ocurrencia de fallas más alta será la confiabilidad de un equipo. La disponibilidad es la probabilidad de que un equipo esté en funcionamiento o cuando se lo requiera para su uso, lo que también puede decirse que es el periodo de tiempo en que el equipo debe de estar en funcionamiento.

El momento de la falla de un equipo no puede determinarse con certeza, sin embargo, existen en la literatura científica varios trabajos que utilizan el comportamiento histórico de las fallas y la probabilidad y estadística, para estimar la probabilidad de ocurrencia del evento [4]. Las fallas deben de perturbar el funcionamiento de la planta lo menos posible. La facilidad con la que se puede reparar el equipo es su mantenibilidad. Una mantenibilidad alta se debe al bajo tiempo medio de reparación.

Una parte de las actividades de mantenimiento que se aplica actualmente en esta caldera, está basada en la experiencia adquirida del personal encargado del mantenimiento y operación, mientras que la otra parte se basa en la sustitución de piezas a intervalos de tiempo fijos como demanda el fabricante. Por tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación es evaluar el estado de la gestión del mantenimiento de la caldera, a través de la aplicación de indicadores de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad, aplicando el denominado análisis RAM. Como resultado de la investigación se detectó que: la Confiabilidad es relativamente baja, la Mantenibilidad es media y la Disponibilidad es alta.

Métodos

Está reconocido que la función mantenimiento aporta valor a la organización productiva, cuando esta es realizada de forma adecuada, o sea, que sus objetivos estén definidos en concordancia con el negocio de la organización [5].

Las actividades de mantenimiento correctivo en la caldera son registradas por el software de mantenimiento SMPRO (Sistema de Mantenimiento Programado), adquirido por la planta desde el 2012 y por la bitácora de los operadores, que facilitó conocer la evolución histórica de las actividades de mantenimiento que se han venido realizando en la caldera. El mantenimiento correctivo consiste en intervenir con una acción de reparación cuando el fallo se ha producido, restituyéndole la capacidad de trabajo a la máquina. Concibe también acciones de limpieza y lubricación con carácter preventivo y acorde en general con recomendaciones y exigencias de los fabricantes. Las acciones de reparación se pueden clasificar en pequeñas, medias y generales [6]. Se realiza el seguimiento de las fallas desde el 1 enero de 2016 hasta el 31 de diciembre de 2019. La importancia de la identificación radica en que un peligro que no es identificado es un peligro que no va a ser considerado en etapas posteriores del análisis.

Datos técnicos de la caldera marca Cleaver Brooks CB-LE, modelo 4WI-600-600-150:

Potencia: 600 BHP

SDT recomendados por el fabricante: 4 500 ppm

Capacidad: 20 700 lb/h

Capacidad: 6 000 kg/h

Presión de operación: 110 psi, 7,5 kg/cm²

Año de fabricación: 2006

Presión máxima: 10 kg/cm²

Cálculo de los indicadores de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (análisis RAM)

Esta metodología o sistema permite configurar, verificar y pronosticar el comportamiento del sistema de una manera más práctica, además de guiar hacia la selección de políticas de mantenimiento correctas [7].

En la actualidad el mantenimiento ha pasado de una concepción reactiva a una proactiva [8]. Para el desarrollo del análisis RAM, se requiere de una base de datos de los fallos acontecidos en la caldera Cleaver Brooks CB-LE, en un tiempo determinado por el contexto operacional de las necesidades de vapor de la planta.

El tiempo de recopilación de datos seleccionado para efectuar el análisis RAM fue de cuatro años, debido a que, es el tiempo del que se tiene datos confiables registrados en el software de mantenimiento de la planta. Se tomaron en cuenta los datos desde 2016 hasta 2019 ya que es la frecuencia en que se realiza el mantenimiento preventivo del equipo.

La base de datos de fallos ocurridos en dicho periodo de tiempo se elaboró en base a reportes diarios de operación y mantenimiento junto con los datos obtenidos del software de mantenimiento SMPRO.

El análisis RAM se desarrollará en base a la Distribución Exponencial, ya que el equipo se encuentra en la etapa de vida útil.

Es necesario establecer una estrategia que permita evaluar las consecuencias que la presencia de estas trae en la fiabilidad no solo durante el diseño sino durante la explotación, sobre todo en estos momentos de reestructuración y reconversión por los que está transitando esta industria [9].

Cálculo de Confiabilidad

La confiabilidad de un equipo es la probabilidad de que desempeñe satisfactoriamente las funciones para las que fue diseñado, durante el período de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación dadas [10], a mayor confiabilidad menor riesgo de que el sistema o equipo falle [11].

La metodología para llevar a cabo el cálculo de este índice no aparece con claridad en los textos especializados o se remiten al empleo de la distribución de Weibull, el cual es complejo por el cálculo de sus parámetros y por la necesidad de implementación de programas de mantenimiento, por eso, sólo se limitan al cálculo de variables [7] como el MTBF (*Mean time between failures*) Tiempo Medio entre Fallas y el MTTR (*Mean time to repair*) Tiempo Medio para Reparación, como un indicativo de la Confiabilidad y no hacen ninguna referencia directa al cálculo de ésta.

El cálculo de Confiabilidad requiere el registro histórico de fallas generadas en los periodos de tiempo ya mencionados. Mediante la tasa de fallo o el MTBF se obtienen los porcentajes de confiabilidad.

El tiempo de análisis será de un año o 4 000 horas que es el tiempo promedio que trabaja el equipo durante el año, ya que a esta frecuencia se realiza el mantenimiento preventivo de la caldera en el cual es necesario poner el equipo fuera de servicio.

Los tiempos de buen funcionamiento entre falla y falla permiten calcular el valor de MTBF y posteriormente estadísticamente el porcentaje de confiabilidad, basado en el tiempo medio entre fallos y el tiempo de análisis que de igual manera es de 4 000 horas de operación.

La confiabilidad que se va a adoptar es la basada en el criterio de la tasa de fallos, debido a la existencia de todos sus datos y se tomará como horómetro inicial de cada año el registrado en los reportes de control diario de las calderas, el primer día de trabajo de cada año y como final el horómetro registrado en la última falla si esta ocurriera en el mes de diciembre de cada año.

En algunos casos en que el mismo día se realizan varios mantenimientos correctivos, se toma en cuenta para el cálculo de Confiabilidad la falla que originó la parada del equipo.

La tabla 1 contiene la siguiente información detallada: número de falla o ítem, descripción de la falla, área o departamento de mantenimiento encargado de solucionar la falla, fecha de ocurrencia, horómetro de la caldera, horómetro de buen funcionamiento entre falla y falla.

Tabla 1. Cálculo de la Confiabilidad, periodo 2016-2019. T = 4 000 h. Fuente: registro histórico de fallas de la planta

	Cálculo de confiabilidad	Fecha	Horómetro	Tiempo entre fallas (horas)
Año 2016				
Item	Falla			
0		05/01/2016	37 265	
1	Mantenimiento completo del quemador y sistema de combustión se limpian los solenoides, difusor, damper, electrodo, fotocelda, boquilla	16/05/2016	38 595	1 330
2	Desmontar, desarmar válvula, rectificar asiento y fabricar sello de válvula	20/08/2016	40 216	1 621
3	Cambio de presostato de trabajo y seguridad	14/09/2016	40 524	308
4	Cambio de electrodo de ignición	12/11/2016	41 550	1 026
5	Cambio de empaquetaduras lado de agua	04/12/2016	41 990	440

	Cálculo de confiabilidad	Fecha	Horómetro	Tiempo entre fallas (horas)
6	Alineación y cambio de matrimonio motor y compresor de aire	16/12/2016	42 102	112
			Tasa de fallo	0,00124
			MTBF	806,17
			Confiabilidad	0,70 %
Año 2017				
Item	Falla			
0		05/01/2017	42 242	
1	Cambio de los tubos deteriorados de paso de vapor del precalentador de combustible	06/04/2017	43 814	1 572
2	Cambio de válvula check deteriorada por una de disco de acero inoxidable	07/07/2017	44 724	910
3	Abrir la caldera para detectar la filtración y reparar	21/12/2017	45 512	788
			Tasa de fallo	0,00092
			MTBF	1 090
			Confiabilidad	2,55 %
Año 2018				
Item	Falla			
0		02/01/2018	49 433	
1	Reparación del control de nivel (retiro y cambio de espárragos partidos)	23/01/2018	49 643	210
2	Limpieza de los tubos - espejo y hogar parte de fuego (con cepillo metálico y agua a presión)	11/05/2018	50 693	1 050
3	Cambio del kit de reparación de válvulas de combustible	17/08/2018	51 603	910
4	Cambiar el control de nivel de agua Mc Donnell	18/10/2018	52 233	630
5	Cambio del motor y compresor	05/12/2018	52 723	490
			Tasa de fallo	0,00152
			MTBF	658
			Confiabilidad	0,23 %
Año 2019				
Item	Falla			
0		02/01/2019	52 933	
1	Cambio de las válvulas de seguridad	01/06/2019	54 028	1 095
2	Revisión y reparación de la filtración	25/06/2019	54 238	210
3	Reparación de la chimenea de la caldera	31/07/2019	55 208	970
5	Cambio de los vidrios visores de nivel	12/10/2019	56 442	1 234
			Tasa de fallo	0,00114
			MTBF	877,25
			Confiabilidad	1,05 %

La fórmula 1 se usó para el cálculo de la Confiabilidad:

$$R(t) = e^{-l \cdot t} = e^{-\frac{1}{MTBF} \cdot t} \tag{1}$$

Donde:

R(t): Probabilidad de funcionamiento libre de fallos.

e: Número de Euler (2,718)

t: periodo especificado en funcionamiento libre de fallos.

l: Tasa de fallo.

MTBF = 1 / l: Tiempo promedio para fallar o tiempo promedio entre fallas

Tiempo medio de buen funcionamiento entre fallas MTBF, fórmula 2

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{número de fallas}} \tag{2}$$

Es preciso reconocer que una intervención, sea reparación por sustitución o restauración, no tienen que necesariamente devolver al activo, o sistema, a un nivel de confiabilidad igual, o presumiblemente superior, al que tenía cuando nuevo. Existen diferentes estados en que puede quedar un activo después de labores preventivas o correcciones. Un activo puede manifestarse en cualquiera de los siguientes estados:

Tan bueno como nuevo.

- Mejor que antes de fallar, pero peor que nuevo.
- Mejor que nuevo.
- Tan malo como antes de fallar.

Cálculo de la Mantenibilidad

El cálculo de la Mantenibilidad requiere el registro histórico de fallas generadas en los periodos de tiempo ya mencionados. Mediante la Tasa de Reparación y el MTTR se obtienen dos porcentajes de Mantenibilidad.

La Tasa de Reparación permite obtener, estadísticamente un porcentaje de mantenibilidad basado en el promedio del número de fallas solucionadas en el tiempo de reparación total en un año y el tiempo de análisis que, en este caso es de 72 horas, debido a que es la meta impuesta para reparaciones del equipo y es el mayor tiempo estimado para la puesta en marcha de la caldera.

Mediante el cálculo del MTTR se puede obtener, estadísticamente, un porcentaje de Mantenibilidad basado en el promedio de tiempos de reparación de las fallas y en el tiempo de análisis, que en este caso es de 72 horas.

La tabla 2 contiene la siguiente información detallada: número de falla o ítem, falla, área encargada de solucionar la falla, fecha de ocurrencia, tiempo total de reparación de cada falla en horas, horómetro del equipo al momento de la falla.

Tabla 2. Cálculo de la Mantenibilidad, periodo 2016 - 2019. T = 72 h. Fuente: registro histórico de fallas de la planta

	Cálculo de la mantenibilidad	Horómetro	Tiempo de reparación (horas)	Tiempo entre fallas (horas)
Año 2016				
Ítem	Falla			
0		37 265		
1	Mantenimiento completo del quemador y del sistema de combustión, se limpian: los solenoides, difusor, dámper, electrodo, fotocelda, boquilla	38 595	12	1 330
2	Desmontar, desarmar la válvula, rectificar el asiento y fabricar el sello de la válvula	40 216	8	1 621
3	Cambio de los presostatos de trabajo y seguridad	40 524	3	308
4	Cambio del electrodo de ignición	41 550	2	1 026
5	Cambio de las empaquetaduras lado de agua	41 990	32	440
6	Alineación y cambio motor y compresor de aire	42 102	3	112
			Total	60
			MTTR = 10	m = 0,1
			Mantenibilidad	99,92 %
Año 2017				
Ítem	Falla			
0		42 242		
1	Cambio de los tubos deteriorados de paso del vapor del precalentador de combustible	43 814	30	1 572
2	Cambio de la válvula check deteriorada por una de disco de acero inoxidable	44 724	6	910
3	Abrir la caldera detectar la filtración y reparar	45 512	60	788
			Total	96
			MTTR = 32	m = 0.03125
			Mantenibilidad	89,46 %
Año 2018				
Ítem	Falla			
0		49 433		
1	Reparación del control de nivel (retiro y cambio de los espárragos partidos)	49 643	30	210
2	Limpieza de los tubos - espejo y hogar parte de fuego (con cepillo metálico y agua a presión)	50 693	48	1 050
3	Cambio del kit de reparación de las válvulas de combustible	51 603	4	910
4	Cambiar el control de nivel de agua Mc Donnell	52 233	26	630
5	Cambio de matrimonio motor y compresor	52 723	3	490
			Total	111
			MTTR = 22.2	m = 0,04505
			Mantenibilidad	96,10 %
Año 2019				
Ítem	Falla			
0		52 933		
1	Cambio de las válvulas de seguridad	54 028	28	1 095
2	Revisión y reparación de la filtración	54 238	64	210
3	Reparación de la chimenea de la caldera	55 208	72	970
4	Cambio de los vidrios visores de nivel	56 442	4	1 234

	Total	168
	MTTR = 42	m = 0,02381
	Mantenibilidad	81,99 %

La fórmula 3 se usó para el cálculo de la mantenibilidad:

$$M(t) = 1 - e^{-u \cdot t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} \cdot t} \tag{3}$$

Donde:

M(t): Mantenibilidad

e: Número de Euler (2,718)

m: Tasa de Reparación

t: tiempo determinado

Tasa de reparación, fórmula 4:

$$m = \frac{\text{Número de reparaciones}}{\text{Tiempo}} = \frac{1}{MTTR} \tag{4}$$

Tiempo medio de reparación, fórmula 5:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de recuperación}}{\text{Número de fallos}} \tag{5}$$

Cálculo de la Disponibilidad

El cálculo de la Disponibilidad requiere el registro histórico de fallas analizado anteriormente. Se emplearán dos métodos para la obtención de un porcentaje de forma estadística:

- En el primer caso se emplearon los valores de MTBF y MTTR para un análisis en base a tiempos promedios de buen funcionamiento y tiempos promedios de reparación.
- En el segundo caso, se relacionó el tiempo estimado de funcionamiento con el tiempo total de parada del equipo por reparación.

El criterio a adoptar es el basado en valores de MTBF y MTTR.

La tabla 3 contiene la siguiente información detallada: MTBF, MTTR, Tiempo total de Reparación (Ttr) en horas, Disponibilidad en base a MTBF y MTTR, Disponibilidad en base a horas estimadas de funcionamiento y tiempo total de parada en el año de análisis.

Tabla 3. Cálculo de Disponibilidad, periodo 2016 - 2019. Fuente: autores

Años	Fórmula	MTBF	MTTR	Tiempo total de parada (H)	Disponibilidad $D = \frac{4000}{4000 + MTTR}$
2016	$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	806,17	10,0	60	98,52 %
2017		1 090	32,0	96	97,66 %
2018		658	22,2	111	97,23 %
2019		877,25	42,0	168	95,97 %

Resultados y Discusión

A continuación se presenta en la tabla 4 los resultados de los cálculos realizados.

Tabla 4. Resumen de los índices de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad. Fuente: autores

Índice	Año			
	2016	2017	2018	2019
Confiabilidad	0,70 %	2,55 %	0,23 %	1,05 %
Mantenibilidad	99,92 %	89,46 %	96,10 %	81,99 %
Disponibilidad	98,52 %	97,66 %	97,23 %	95,97 %

En la tabla 1 se observa que la confiabilidad en el año 2017 es de 2,55 %, la más alta del periodo de estudio, debido a que las ocurrencias de fallas fueron 3.

En la tabla 2 se puede observar que el año 2016 se obtuvo un MTTR de 10, dando como resultado el 99,92 % de mantenibilidad, deduciendo que a pesar del número de ocurrencia de fallas que fueron 6, se las resolvió en el menor tiempo posible.

En la tabla 3 el tiempo de parada total en el 2019 fueron de 168 horas, en este tiempo de parada están incluida las horas por mantenibilidad y las horas por tiempo de apagado por la demanda de vapor o fuera de servicio, obteniendo una disponibilidad en este año de 95,97 % como la más baja en el periodo de estudio.

La evaluación de la gestión del mantenimiento, a través de la aplicación del análisis RAM, de la caldera de la Planta Procesadora de Conservas de Atún, muestra que: la Confiabilidad durante los años 2016, 2017, 2018 y 2019 es relativamente baja, dado que el intervalo de estudio es anual, donde se ha reportado un promedio de 4,75 fallas por año, obteniendo una probabilidad de falla anual por el mismo valor; la Mantenibilidad mantiene un promedio del 92,00 %, debido a que la gestión actual de mantenimiento promueve estrategias de mantenimiento preventivo efectivas, dado al número de horas que son dedicada a las reparaciones, obteniendo una Tasa de Mantenibilidad alta; y la Disponibilidad muestra como valor promedio 97,34 %, lo que demuestra que la caldera tiene un margen de Disponibilidad alto, como se demostró en los cálculos donde se relacionan el número de horas de buen funcionamiento y las horas totales de reparación, manteniendo una tasa sobre el 97,00 %.

Conclusiones

Se evaluó el estado de la gestión del mantenimiento en el generador de vapor de la caldera Cleaver Brooks CB-LE, aplicando el análisis RAM, y como resultado de la investigación se detectó que: la Confiabilidad es relativamente baja, la Mantenibilidad es media y la Disponibilidad es alta. Fueron evaluadas las actividades de mantenimiento que en actualidad se aplican, determinando que por la severidad de la ocurrencia de las fallas según este estudio, estas no son un factor que logre crear desviaciones de consideración al momento de manejar este tipo de indicadores. Este resultado permite que la gestión de mantenimiento enfoque los recursos necesarios para que las actividades se ejecuten de forma correcta.

Referencias

1. Ardila JG, Ardila MI, Rodríguez DA. La gerencia del mantenimiento: Una Revisión. *Dimensión Empresarial*. 2016;14(2):127-142.
2. Cordero O, Estupiñan E. Propuesta de optimización del Mantenimiento de planta minera de cobre Ministro Hales mediante análisis de Confiabilidad utilizando la metodología FMECA. *Investigación & Desarrollo* 2018;18(1):129-142.
3. Díaz Concepción A, Muñoz González E, Álvarez A. Análisis de la confiabilidad de procesos en una empresa biofarmacéutica. *Ingeniería Mecánica*. 2020;24(2):1-7
4. Gasca M, Camargo L, Medina B. Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial. *Información Tecnológica*;28(4):111-124. DOI: 10.4067/S0718-07642017000400014.
5. Cabeza MA, Cabeza ME, Corredor E. Principales concepciones de la gestión del mantenimiento una nueva visión gerencial. *Universidad Ciencia y Tecnología* 2010;14(55):139-146.
6. Shkiliova L, Fernández Sánchez M. Sistemas de Mantenimiento Técnico y Reparaciones y su aplicación en la Agricultura. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2011;20(1):72-77.
7. Quisiguiña L, Arteaga A, Rodríguez P. Determinación de Indicadores de Confiabilidad Mantenibilidad y Disponibilidad. Caso de Estudio: Industria de Elaboración de Conservas de Atún. *Revista Cubana de Ingeniería*. 2021;12(2):1-12.
8. Díaz Concepción A. Formulación de un nuevo concepto de confiabilidad operacional. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. 2021;29(1):87-93. DOI: 10.4067/S0718-33052021000100087.
9. De la Cruz M, Nápoles M, Morales Y, et al. Procedimiento basado en el modelo conceptual del mantenimiento centrado en la fiabilidad para la reconversión de la industria azucarera en el contexto cubano. *Tecnología Química*. 2017;37(1):67-78.
10. Melo González R, Lara Hernández C, Jacobo Gordillo C. Estimación de la confiabilidad-disponibilidad- mantenibilidad mediante una simulación tipo Monte Carlo de un sistema de compresión de gas amargo durante la etapa de ingeniería. *Tecnología Ciencia Educación*. 2019;24(2):39-104.
11. Filgueiras M, Martin R, Curbelo A, et al. El Análisis Probabilista de Seguridad para la evaluación de la confiabilidad en sistemas técnicos complejos. *Ingeniería Energética*. 2019;40(3):203-211.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Ángel M. Macías Barbarán. <https://orcid.org/0000-0003-0584-4491>

Participó en el diseño de la investigación y en la revisión del estado del arte. Trabajó en la recolección y el procesamiento de los datos recogidos para el estudio. Realizó contribuciones en los cálculos, el análisis e interpretación de los datos, en el análisis de los resultados y en la revisión y redacción del informe final.

Ángel Arteaga Linzan. <https://orcid.org/0000-0002-3589-5866>

Participó en el diseño de la investigación, el análisis de los resultados, la revisión crítica del artículo y en la redacción de la versión final.

Pedro A. Rodríguez Ramos. <https://orcid.org/0000-0003-2862-0984>

Participó en el análisis de los resultados, la revisión crítica del artículo y en la redacción de la versión final.