

IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD A MAQUINARIAS CRÍTICAS DE LA PLAZA CALDERÓN

IMPLEMENTATION OF RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE TO CRITICAL MACHINERY AT PLAZA CALDERÓN

Autores: Luis Eduardo Arteaga Bazurto¹

Francis Benjamín Gorozabel Chata²

Institución: ^{1,2}Universidad Técnica de Manabí, Instituto de Posgrado, Ecuador

Correo electrónico: eduardo.arteaga@utm.edu.ec

francis.gorozabel@utm.edu.ec

RESUMEN

La importancia de la función de mantenimiento ha aumentado debido a su papel en mantener y mejorar la disponibilidad de sus activos, la calidad del producto, la seguridad y los niveles de costos operativos en las empresas. En consecuencia, la selección de la estrategia de mantenimiento se convirtió en una de las actividades de toma de decisiones más importantes de la industria. Este documento propone un enfoque general para implementar el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) a los activos críticos de la Plaza Calderón. El RCM selecciona la estrategia de mantenimiento más adecuada y personalizada para todos los activos de la planta en función de su estado de criticidad. La implementación de RCM requiere la recopilación y análisis de datos históricos de fallas y mantenimiento para determinar la condición actual de los activos. Fundamentada en un análisis de modos y efecto de fallo (AMEF), el modelo de implementación de RCM que se presenta aquí está validado con los datos del historial de mantenimiento de la Plaza Calderón. Sin embargo, la implementación de RCM en esta planta se justifica por los resultados obtenidos que revelaron la reducción de la tasa de fallos y el aumento de disponibilidad del activo.

Palabras clave: Análisis de modos y efecto de fallo, Criticidad, Disponibilidad, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

ABSTRACT

The importance of the maintenance function has increased due to its role in maintaining and improving the availability of its assets, the quality of the product, the

¹ Maestría en Mantenimiento Industrial

² Carrera de Ingeniería Mecánica

safety and the levels of operating costs in the companies. Consequently, the selection of the maintenance strategy became one of the most important decision-making activities in the industry. This document proposes a general approach to implement Reliability Centered Maintenance (RCM) to critical assets at Plaza Calderón. The RCM selects the most appropriate and personalized maintenance strategy for all plant assets based on their criticality status. The implementation of RCM requires the collection and analysis of historical failure and maintenance data to determine the current condition of assets. Based on an analysis of failure modes and effect (AFME), the RCM implementation model presented here is validated with data from the maintenance history of Plaza Calderón. However, the implementation of RCM in this plant is justified by the results obtained, which revealed a reduction in the failure rate and an increase in asset availability.

Keywords: Analysis of failure modes and effect, Criticality, Availability, Maintenance focused on reliability.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento ha variado más que cualquier otra disciplina durante los últimos años, respondiendo a expectativas cambiantes y a una óptica de nuevos métodos, diseños cada vez más complejos y responsabilidades enfocada al negocio y la satisfacción de los clientes como meta fundamental. Se requiere por lo tanto un conjunto de estrategias, políticas y actitudes sistemáticas para asegurar que un sistema o componente pueda ser operado cuando se necesita (Díaz Concepción *et al.*, 2015). Es imprescindible, tanto en las grandes como en las medianas empresas, la implantación de una estrategia de mantenimiento para mantener operativos sus activos, mejorando así la disponibilidad de los mismos y reduciendo el índice de fallos. (Diestra Quevedo, Esquiviel y Guevara, 2017).

Partiendo de lo planteado anteriormente, la filosofía del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es garantizar que el activo cumpla la función o funciones para las cuales ha sido introducido en un proceso productivo, es decir, el RCM se centra en garantizar la máxima Confiabilidad de un proceso/activo, entendiendo la Confiabilidad como la probabilidad de que el activo no falle durante su operación (Torres Valle *et al.*, 2010). Como parte de su estrategia está respondiendo a nuevas expectativas. Estas incluyen una creciente toma de

conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la producción, a la seguridad y al medio ambiente (Espinosa-Martínez *et al.*, 2020).

Para estimar la confiabilidad a partir del historial de las fallas, es indispensable que éstas estén codificadas y registradas en un formato único, con todos los atributos requeridos (Echevarría *et al.*, 2014). Por esto se plantea la construcción del catálogo de fallas, elaborados con base en el Análisis del Modo y Efecto de la Falla, AMEF, para identificar metódicamente la función del activo y del componente que falla, las fallas asociadas, el impacto del desempeño global y la causa de la falla. La elaboración de estos catálogos requiere del conocimiento sobre la construcción y la operación del activo, resultando un procedimiento costoso para las pequeñas y medianas industrias (Cabrera e Israel, 2018); por tal motivo, este artículo sugiere solo analizar equipos críticos, haciendo relevante definir previamente los niveles de criticidad de los activos, para enfocar los esfuerzos y recursos hacia las áreas en donde sea más importante y/o necesario. Existen diversas publicaciones sobre el análisis de criticidad y el AMEF, (Sutrisno *et al.*, 2016); (Cáceres y Suárez, 2018), como herramientas para mejorar las acciones de mantenimiento.

El análisis de criticidad formula una ecuación matemática que asocia la frecuencia y la consecuencia, y que se aplica a través de un instrumento que pondera los criterios de la consecuencia de la falla de los activos en una línea de producción industrial, para identificar los activos a los que se les va a construir el catálogo de fallas. El instrumento para crear el AMEF se realiza con base en las normas ISO 14224, SAE JA1011 y SAE JA1012, y tiene el propósito de identificar los subsistemas y las partes del activo, asociándoles la falla funcional y, la causa y el efecto de la falla, para generar el catálogo de las fallas de manera sistematizada (Campos-López *et al.*, 2019).

El objetivo que persigue esta investigación consiste en proponer el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para las maquinarias de mayor criticidad en la Plaza Calderón, como vía para reducir el índice de fallos y aumentar la disponibilidad de sus activos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología desarrollada en la investigación es mediante un trabajo de campo y observación directa, se realiza en base al cumplimiento de los objetivos propuestos,

posteriormente, se empleó como información base para el planteamiento del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM, la recabada en la bitácora de registro de fallas donde se reportan las interrupciones de funcionamiento de los activos de la Plaza Calderón en el periodo octubre 2018 – septiembre 2019.

En la Tabla 1, se muestra el programa general de investigación, donde se establecen el orden de la tarea de ejecución, objeto de estudio, los aspectos analizados, instrumentos y el lugar de realización de cada tarea.

Tabla1. Programa general de investigación

Tarea	Objeto de estudio	Aspectos analizados	Instrumento	Lugar
1	Análisis de criticidad	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de fallas • Impacto en producción • Seguridad y salud • Costo de reparación • Tiempo de reparación • Tiempo de operación 	<ul style="list-style-type: none"> • Bitácora de registro histórico de fallas periodo Octubre 2018 – septiembre 2019 	Departamento de mantenimiento de la Plaza Calderón
2	Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF)	<ul style="list-style-type: none"> • Función del activo • Fallas funcionales • Modos o causas de fallas • Efectos de fallas • Consecuencias de fallas 	<ul style="list-style-type: none"> • Bitácora de registro histórico de fallas periodo octubre 2018 – septiembre 2019 • Hoja de información del RCM 	Departamento de mantenimiento de la Plaza Calderón
3	Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoras al Plan de mantenimiento preventivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Diagrama de decisión del RCM • Hoja de decisión del RCM 	Departamento de mantenimiento de la Plaza Calderón
4	Indicadores del mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Confiabilidad. (Tiempo medio entre fallos TMBF) • Mantenibilidad. (Tiempo medio de reparación TMPR) • Disponibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Bitácora de registro histórico de fallas periodo Octubre 2018 – septiembre 2020 	Departamento de mantenimiento de la Plaza Calderón

Análisis de criticidad

Se procede a jerarquizar las maquinarias de la Plaza Calderón en base a los fallos ocurridos en el periodo octubre 2018 – septiembre 2019, este análisis nos permite analizar la frecuencia de fallos y la consecuencia de acuerdo a criterios de evaluación. Para realizar el análisis de criticidad, se cuenta con la bitácora de registro histórico de fallos del periodo en estudio, a partir de las ecuaciones (1) y (2), y de la ponderación de las respuestas, según las tablas 2 y 3. La criticidad C, según

la ecuación (1), es el producto de la frecuencia de fallas FF y la consecuencia de la falla CF, indicado por (Gasca, Camargo y Medina, 2017).

$$C = FF \times CF \quad (1)$$

La frecuencia de fallas FF se evalúa a partir de la tasa de incidencia de fallas.

Tabla 2. Ponderación de la frecuencia de fallas (FF)

Frecuencia de Fallas (FF)	Ponderación
¿Qué tan frecuente son las fallas ocurridas?	
Menos de 1 por año	1
Entre 2 y 12 por año	2
Entre 13 y 52 por año	3
Más de 52 por año (más de una por semana)	4

La consecuencia de fallo CF, se evalúa a partir de la suma de: el impacto en la producción IP, el impacto en la seguridad y salud SS, los costos de reparación CR, el tiempo de reparación TR, y el tiempo de operación TO. Estos criterios fueron elegidos por los expertos que validaron el instrumento y las tablas de ponderación, considerando que son los más significativos en la evaluación de la consecuencia que puede ocasionar una falla en un equipo industrial.

$$C = FF \times (IP + SS + CR + TR + TO) \quad (2)$$

Tabla 3. Ponderación de consecuencia de fallo (CF)

Impacto en la Producción (IP)	Ponderación
¿Cuál es el impacto en la producción?	
Menor al 25 %	1
25 % de impacto	2
50 % de impacto	3
75 % de impacto	4
Seguridad y Salud (SS)	Ponderación
¿Cuál es la lesión más significativa que puede presentarse en la operación del equipo?	
No hay algún riesgo de lesión	1
Lesiones leves (son asistidas dentro de la fábrica, no hay incapacidad)	2
Lesiones significativas (incapacidad entre 1 y 30 días)	3
Lesiones de incapacidad parcial o permanente (mayor de 30 días)	4
Costos de Reparación (CR)	Ponderación
¿Cuál es el costo anual del mantenimiento del equipo?	
Menos de 1.000 dólares	1
Entre 1.000 y 5.000 dólares	2
Entre 5.001 y 10.000 dólares	3
Más de 10.000 dólares	4
Tiempo de Reparación (TR)	Ponderación
¿Cuál es el tiempo promedio para reparar el equipo?	
Menor a 4 horas	1
Igual o mayor a 4 horas y menor a 6 horas	2
Igual o mayor a 6 horas y menor a 12 horas	3
Mayor a 12 horas	4

Tiempo de Operación (TO)	Ponderación
¿Cuál es el tiempo de trabajo de esta máquina?	
Opcionalmente	1
Un turno de trabajo	2
Dos turnos de trabajo	3
Totalmente	4

Obtenido el valor de criticidad de cada activo, se clasificaron como: alta entre (51-80), media (26-50) o baja (5-25), de acuerdo con la matriz de criticidad de la figura 1.

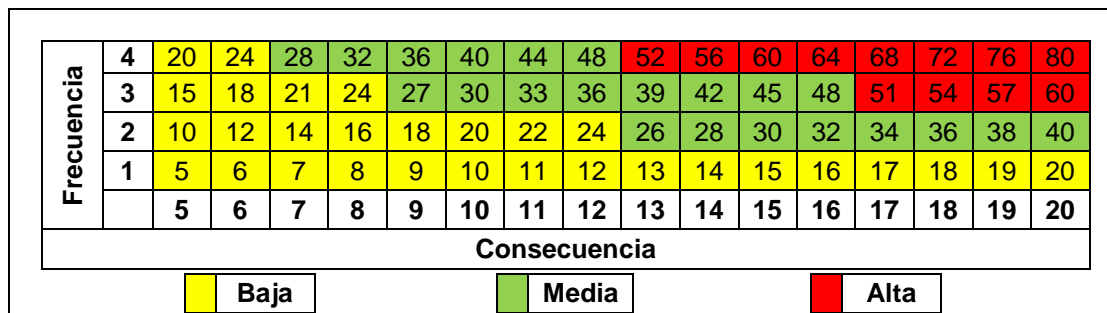


Figura. 1: Matriz de criticidad

Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF)

Determinados los activos críticos se realiza el catálogo de fallas. Este catálogo se basa en una de las herramientas del Mantenimiento, como es el Análisis de Modo y Efecto de la Falla AMEF. La tabla 4 muestra la hoja de información del RCM como instrumento para la recolección de datos del presente trabajo de investigación propuesto por (Espinosa-Martínez et al., 2020). Esta se divide en cuatro columnas donde se debe registrar las funciones primarias y secundarias, las fallas funcionales, los modos de fallas y por último los efectos del fallo.

Tabla 4. Hoja de información RCM

RCM	HOJA DE INFORMACIÓN			
	Sistema:	Elaborado por:	Código activo:	Hoja N°
	Activo:	Revisado por:	Fecha	Total hojas
Función	Fallo funcional	Modo de fallo	Efecto del fallo	

Árbol Lógico de Decisión

Acogiendo el modelo propuesto por (Chaparro, Ochoa y Henríquez, 2014) La Hoja de decisión RCM se divide en 16 columnas, se puede verificar en la tabla 5, las 3 primeras columnas se identifican como, función F, falla funcional FF, modo de fallo

MF respectivamente, estas se utilizan para correlacionar las referencias que se indicaron en la hoja de información RCM, y sobre todo, que va a pasar cuando un activo falle, así como establecer un análisis de como poder evitar este fallo, y si sucede, cuál será el plan de acción para minimizar la consecuencia.

Tabla 5. Hoja de decisión RCM

HOJA DE DECISIÓN																
RCM			Sistema:				Elaborado por:			Código activo:		Hoja N°				
			Activo:				Revisado por:			Fecha		Total hojas				
Información referencia			Evaluación de consecuencias				Proactivas			Alternativas			TAREAS PROPUESTAS			
							H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3				Descripción	Frecuencia	Ejecutante	
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4				

Las columnas tituladas H, S, E y O son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas correspondientes en base a sus consecuencias de cada modo de falla, las columnas H1, S1, O1 y N1 son utilizadas para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla, las columnas H2, S2, O2 y N2 son utilizadas para registrar si se puede encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico para prevenir las fallas, las columnas H3, S3, O3 y N3 son para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica y las ultimas columnas H4, H5, y S4 son para registrar las respuestas “a falta de”; estas preguntas solo se harán si las respuestas a las tres preguntas previas de factibilidad técnica de las tareas proactivas fueron negativas.

La figura 2 muestra el diagrama de decisión RCM, este proceso integra las decisiones en un marco de trabajo estratégico y estructurado que da respuesta a las preguntas formuladas en el:

¿Qué mantenimiento de rutina (si existe) será realizado, con qué frecuencia será y quién lo hará?

¿Qué fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño?

Casos en los que se toma una decisión deliberada de dejar que ocurran las fallas; respecto a las consecuencias separa las fallas ocultas de las fallas evidentes en un orden de importancia decreciente.

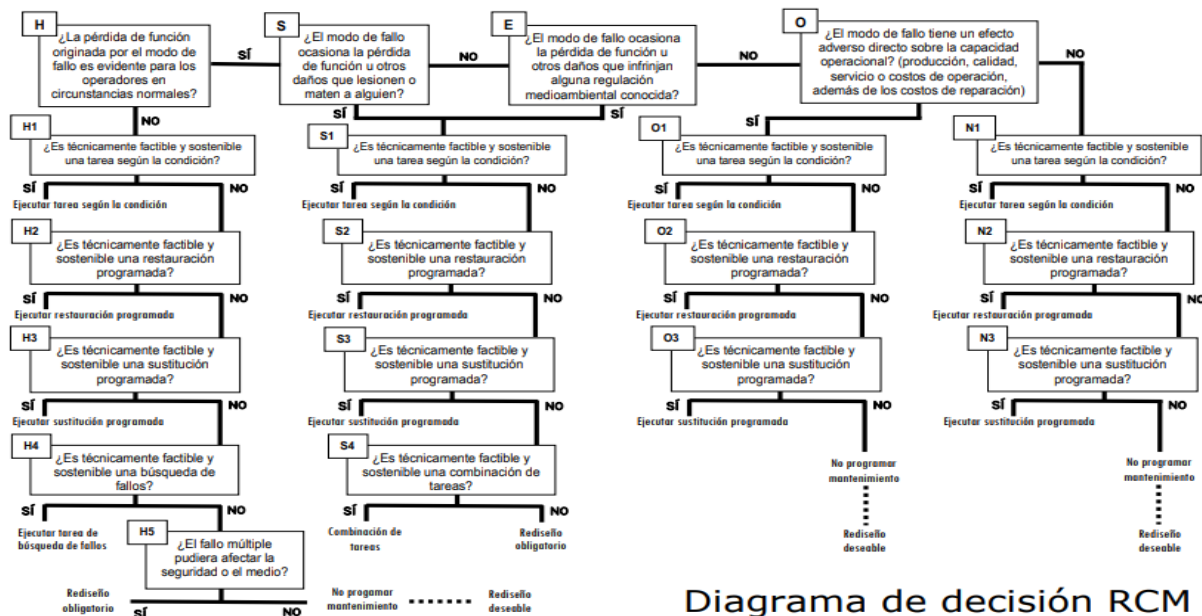


Diagrama de decisión RCM

Figura 2. Diagrama de Decisión RCM

Indicadores del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM

Los mecanismos de control dentro de un proceso al cual se aplica la metodología del RCM se basa fundamentalmente en tres indicadores

$$\text{Confiabilidad } R_{(t)} = \text{TMEF} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{TEFi}}{\#\text{de fallas}} \quad (3)$$

$$\text{Mantenibilidad } M_{(t)} = \text{TMPR} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{TPRi}}{\#\text{de fallas}} \quad (4)$$

$$\text{Disponibilidad } D_{(t)} = \frac{\text{TMEF}}{\text{TMEF} + \text{TMPR}} \quad (5)$$

TMEF: Tiempo medio entre falla

TEF: Tiempo entre falla

TMPR: Tiempo medio para reparar

TPR: Tiempo para reparar

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez aplicadas cada una de las metodologías propuestas, se obtuvieron los siguientes resultados.

Clasificación de los activos según su índice de criticidad

Se generó un listado completo de los activos que conforman la Plaza Calderón, obteniendo como resultado a las vitrinas panorámicas de refrigeración con estado de criticidad alta.

La tabla 6 muestra los resultados del análisis de criticidad según su estado alta, media o baja criticidad.

Tabla 6. Resultados del análisis de criticidad de los activos de la Plaza Calderón

ANÁLISIS DE CRITICIDAD									
Plaza Calderón	Frecuencia de falla	Consecuencia					Total de consecuencia	Nivel de Criticidad	Estado de criticidad
Activos o maquinarias		Impacto producción	Seguridad y salud	Costo de reparación	Tiempo de reparación	Tiempo de operación			
Cámaras frigoríficas	2	2	1	2	2	4	11	22	Baja
Vitrinas panorámica de refrigeración	4	2	2	3	3	4	14	56	Alta
Montacargas	1	1	1	1	1	1	5	5	Baja
Escaleras eléctricas	1	1	1	1	2	4	9	9	Baja
Generador eléctrico	1	1	1	1	2	1	6	6	Baja
Sistema de bombeo de agua limpia	1	1	1	1	1	4	8	8	Baja

Análisis de Modos y Efectos de Fallas de la vitrina panorámica de refrigeración.

La tabla 7 muestra los resultados del Análisis de Modos y Efectos de Fallas donde se detalla la función, fallo funcional, modo de fallo y efecto de fallo de la vitrina panorámica de refrigeración.

Tabla 7. Resultados del Análisis de Modos y Efectos de Fallas de la vitrina panorámica de refrigeración

RCM	HOJA DE INFORMACIÓN			
	Sistema: Refrigeración	Elaborado por:	Código activo:	Hoja N°
	Activo: Vitrina panorámica de	Revisado por:	Fecha	Total hojas

refrigeración						
Función	Fallo funcional	Modo de fallo	Efecto del fallo			
1	Mantener la temperatura adecuada para la conservación y presentación del producto	1	La temperatura de refrigeración no baja a los parámetros adecuado para conservar el producto	1	Exceso de producto	No baja la temperatura
				2	Fuga de refrigerante	Bloquea el evaporador de escarcha (hielo)
				3	Hélice del ventilador atascada	Motor del ventilador del evaporador o compresor no enciende
				4	Motor del ventilador quemado	
				5	Problema de voltaje	Compresor no enciende
				6	Térmico en mal estado	
				7	Capacitor de arranque en mal estado	
				8	Mucho refrigerante en el sistema	No funciona el termostato digital
				9	Sonda en mal estado	
				10	Temperatura fuera de rango	
				11	No llega energía al termostato	No llega suficiente voltaje o la línea esta interrumpida
				12	Falla eléctrica	
				13	Aletas del condensador tapadas por suciedad	Se eleva la presión de alta
				14	Obstrucción en el Capilar o válvula de expansión	Suciedad en el sistema interno (refrigerante)

Plan de mantenimiento para las vitrinas panorámicas de refrigeración aplicando el Árbol Lógico de Decisión RCM

Una vez culminada la hoja de información se dio respuesta a las primeras cinco preguntas del RCM; las dos restantes se responderán con el siguiente paso que es el llenado de la Hoja de Decisión que muestra la tabla 8, en el cual se seleccionará la tarea mantenimiento que ayude a prevenir y disminuir cada uno de los modos de fallos y sus posibles efectos, a partir del árbol lógico de decisión. Luego de especificar el tipo de actividad de mantenimiento se tiene que describir la acción de mantenimiento a ejecutar con su respectiva frecuencia y personal a ejecutar dicha acción.

Tabla 8. Tareas propuestas de mantenimiento a las vitrinas panorámicas de refrigeración

RCM	HOJA DE DECISIÓN			
	Sistema: Refrigeración	Elaborado por:	Código activo:	Hoja N°

Información referencia			Evaluación de consecuencias				Proactivas			Alternativas			TAREAS PROPUESTAS		
							H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3				Descripción	Frecuencia	Ejecutante
F	F	M	H	S	E	O	H	H	S	H	H	S			
1	1	1	S	N	N	S	S	N	N				No exceder el volumen de capacidad recomendado por el fabricante	Diario	Mecánico
1	1	2	S	N	S	N	S	N	N				Revisar las juntas de cada uno de los componentes	6 meses	Mecánico
1	1	3	S	S	N	S	N	S	N				Lubricación de los rodamientos	3 meses	Mecánico
1	1	4	S	N	N	S	S	N	N				Lubricación de los rodamientos	3 meses	Mecánico
1	1	5	S	N	N	N	S	N	N				Revisión de bornes, relay y voltaje	mensual	Mecánico
1	1	6	S	N	N	N	S	N	N				Revisión de bornes, relay y voltaje	mensual	Mecánico
1	1	7	S	N	N	N	S	N	N				Revisión de bornes, relay y voltaje	mensual	Mecánico
1	1	8	S	N	N	N	S	N	N				Revisión de bornes, relay y voltaje	mensual	Mecánico
1	1	9	S	N	N	N	S	N	N				Revisión de sondas y rango de temperatura si es el correcto	3 meses	Mecánico
1	1	10	S	N	N	N	S	N	N				Revisión de sondas y rango de temperatura si es el correcto	3 meses	Mecánico
1	1	11	S	N	N	N	S	N	N				Revisión de sondas y rango de temperatura si es el correcto	3 meses	Mecánico

															es el correcto		
1	1	12	S	N	N	N	S	N	N					Revisión de breker, ajuste de los terminales y el conductor eléctrico	3 meses	Mecánico	
1	1	13	S	N	N	N	S	N	N					Limpieza del condensador	6 meses	Mecánico	
1	1	14	S	N	N	S	S	N	N					Limpieza interna del sistema (vacío)	Cuando se realiza cambio de accesorio	Mecánico	

Análisis de los indicadores de mantenimiento de la vitrina panorámica de refrigeración previo y posterior a la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM.

Implementado el RCM en la Plaza Calderón, se evaluaron los indicadores del tiempo medio entre fallas TMBF, el tiempo medio para reparar TMPR, la tasa de fallos y disponibilidad del activo. La aplicación de la metodología permite diseñar y definir las acciones a implementar en el plan de mantenimiento en la planta y tener un entendimiento claro del proceso, así como la forma en que los activos pueden fallar (Ruiz, Henríquez y Caballis, 2018). En la mayor parte de los procesos RCM el mantenimiento preventivo disminuye en un 60 % mientras que el mantenimiento a condición aumenta en 40 %. Esto se debe a que existen condiciones que indican la ocurrencia de una falla y que antes del proceso RCM no se consideraban (Poveda Guevara y Lozano, 2012). La tabla 9 muestra los resultados de los indicadores que se obtuvieron de la investigación mediante el registro histórico de fallos previo y posterior a su implementación desde el periodo octubre 2018 – septiembre 2020. Este análisis presenta de forma clara los modos de falla que se dieron prioridad para lograr reducir la tasa de fallos del activo de 0,01 a 0,0021 fallas/h lo que equivale de 87 a 18 fallas al año como muestra la figura 3, y a la vez logrando incrementar su disponibilidad de un 91,6 a 97 % como se indica en la figura 4.

Tabla. 9 Resultados de los indicadores de mantenimiento previo y posterior a la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad.

Periodo Octubre 2018 – Septiembre 2019		Periodo Octubre 2019 – Septiembre 2020	
Tiempo medio entre fallas TMBF	92,3 h	Tiempo medio entre fallas TMBF	475,2
Tiempo medio para reparar TMPR	8,39 h	Tiempo medio para reparar TMPR	11,38

Disponibilidad D	91,6 %	Disponibilidad D	97 %
Tasa de fallos λ	0,01 f/h	Tasa de fallos λ	0,0021 f/h

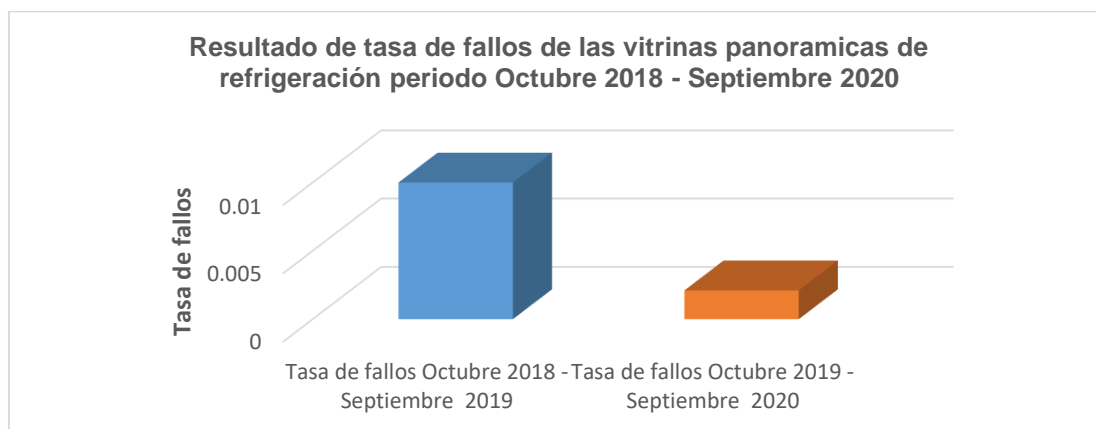


Figura. 3 Tasa de fallos de las vitrinas panorámica de refrigeración

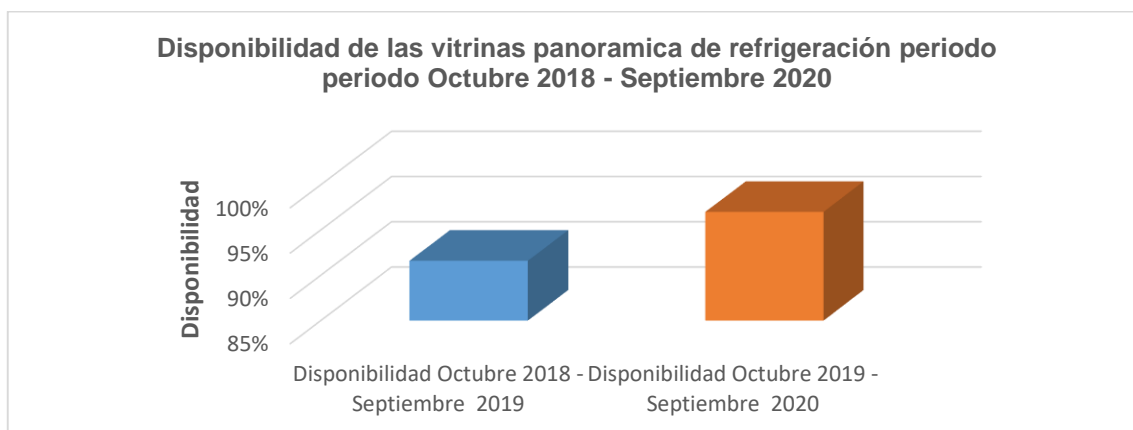


Figura. 4 Indicador de disponibilidad de las vitrinas panorámica de refrigeración

CONCLUSIONES

Durante el estudio de los históricos de fallas, se determinó que el factor más influyente en las horas de paradas no programadas, es que las tareas o actividades de mantenimiento ejecutadas van enfocadas en su mayoría a un mantenimiento correctivo, lo que influye de manera negativa, en la disponibilidad operacional de los activos.

Se elaboró un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, cuyo principal objetivo fue reducir el índice de fallos en los activos críticos de la Plaza Calderón; a la vez logrando aumentar la disponibilidad operacional de las vitrinas panorámicas de refrigeración, el cual es de vital importancia para mantener la calidad de los productos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CABRERA, I. A. e ISRAEL, E. B. H. (2018). Análisis de criticidad y amef para gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Disponible en <http://redi.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/59355>
- CÁCERES, J. S. B. y SUÁREZ, O. M. D. (2018). Ingeniería de mantenimiento basada en confiabilidad a los equipos altamente críticos de la empresa comercializadora LICRATEX CA. *Mundo FESC*, Vol. 8, No.15, pp.41-48.
- CAMPOS-LÓPEZ, O. ...[et al.] (2019). Metodología De Mantenimiento Centrado En Confiabilidad (RCM) Considerando Taxonomía De Equipos, Base De Datos Y Criticidad De Efectos. *Científica*, Vol. 23, No.1, pp.51-59.
- CHAPARRO, D. J. B., OCHOA, G. V., y HENRÍQUEZ, L. V. (2014). Implementación Del RCM II En Planta De Producción De Lingotes De Plomo. *Scientia Et Technica*, Vol.19, No.2, pp.200-208.
- DÍAZ CONCEPCIÓN, A. ...[et al.] (2015). Estudio de confiabilidad operacional como soporte al mantenimiento aeronáutico en Cuba. *Ingenierías*, Vol.18, No. 66, p. 6-12.
- DIESTRA QUEVEDO, J. P., ESQUIVIEL PAREDES, L., y GUEVARA CHINCHAYAN, R. (2017). Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad. *Ingeniería, ciencia tecnología e innovación*. Vol 4, No1 Disponible en <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/530>
- ECHEVARRÍA, L. C. ...[et al.] (2014). An Approach Of Fault Diagnosis Using Meta-Heuristics: A New Variant Of The Differential Evolution Algorithm. *Computación y Sistemas*, Vol.18, No. 1, p. 5-17.
- ESPINOSA-MARTÍNEZ, J.U. ...[et al.] (2020). Contribución del mantenimiento centrado en la confiabilidad para el estudio de fallos a equipos consumidores de energía eléctrica. *Centro Azúcar*, Vol.47, No.1, p. 22-32.
- GASCA, M. C., CAMARGO, L. L., y MEDINA, B. (2017). Sistema para evaluar la confiabilidad de equipos críticos en el sector industrial. *Información Tecnológica*, Vol. 28, No.4, pp. 111-124.
- POVEDA GUEVARA, A. J., y Lozano, M. (2012). Aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad para el desarrollo de planes de

mantenimiento.Disponible en <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31184>

RUIZ, S. M., HENRÍQUEZ, L. V., y CABALLIS, C. V. (2018). Metodología para diagnosticar fallas localizadas en equipos de una línea de producción de carbón activado. *Ingeniare* No. 24, p.77-88.

SUTRISNO, A. ... [et al.] (2016). A Maintenance waste risk appraisal model based on modified failure mode and effect analysis (FMEA). 2016 IEEE International Conference On Industrial Engineering And Engineering Management (IEEM), Disponible en https://www.researchgate.net/publication/289989193_Modified_Failure_Mode_and_Effect_Analysis_FMEA_Model_for_Accessing_the_Risk_of_Maintenance_Waste

TORRES VALLE, A. ...[et al.] (2010). Aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad a la central nuclear de embalse. *Nucleus* No.47, p. 24-29.