

ESTRATEGIAS DE MEJORA EN MANTENIMIENTO A EQUIPOS CRÍTICOS EN LAS  
PLANTAS EXTRACTORAS DE COLOMBIA.



Por:

SERGIO ALEJANDRO CISNEROS LONDOÑO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y GESTIOÓN DE ACTIVOS  
VILLAVICENCIO  
2026

ESTRATEGIAS DE MEJORA EN MANTENIMIENTO A EQUIPOS CRÍTICOS EN LAS  
PLANTAS EXTRACTORAS DE COLOMBIA.

Por:

SERGIO ALEJANDRO CISNEROS LONDOÑO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de  
mantenimiento y gestión de activos

Asesor

Ing. Esp. YEISON BUENO ZARATE  
Especialista en instrumentación

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS  
VILLAVICENCIO

2026

**Autoridades Académicas**

**P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O. P.**

Rector General

**P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O. P.**

Vicerrector Académico General

**P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.**

Rector Seccional Villavicencio

**P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O. P.**

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

**Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN**

Secretaria General Seccional Villavicencio

**PhD. Handel Andrés MARTÍNEZ ARACHE**

Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica

## Contenido

|                                                                          | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------|------|
| Introducción .....                                                       | 9    |
| 1. Planteamiento del problema .....                                      | 11   |
| 2. Justificación .....                                                   | 12   |
| 3. Objetivos .....                                                       | 13   |
| 3.1. Objetivo General .....                                              | 13   |
| 3.2. Objetivos Específicos.....                                          | 13   |
| 4. Marco teórico y estado actual .....                                   | 14   |
| 4.1. Estado actual .....                                                 | 17   |
| 5. Normativa aplicable.....                                              | 20   |
| 6. Metodología .....                                                     | 22   |
| 7. Mantenimiento en plantas extractoras de aceite de palma.....          | 27   |
| 7.1. Importancia del mantenimiento en plantas extractoras.....           | 27   |
| 7.1.1. Consecuencias de un mal mantenimiento .....                       | 28   |
| 7.2. Tipos de mantenimiento usados en la industria .....                 | 29   |
| 7.2.1. Mantenimiento Predictivo y sus técnicas .....                     | 29   |
| 7.3. Recomendaciones a la hora de aplicar el mantenimiento .....         | 29   |
| 8. Criticidad en equipos de plantas extractoras .....                    | 31   |
| 8.1. Análisis de criticidad.....                                         | 31   |
| 8.1.1. Aplicación de análisis de criticidad.....                         | 31   |
| 8.1.2. Variables comunes de la criticidad aplicada .....                 | 31   |
| 8.1.3. Metodología aplicada por la planta extractora ALCOPALMA S.A. .... | 32   |
| 8.1.4. Resultados del análisis de criticidad .....                       | 34   |
| 8.1.5. Índice de criticidad .....                                        | 35   |
| 8.1.6. Formula de criticidad .....                                       | 41   |
| 8.1.7. Resultados de la criticidad de los equipos.....                   | 41   |
| 8.1.8. Priorización de equipos .....                                     | 46   |
| 9. Estrategias de mantenimiento.....                                     | 47   |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 9.1. Estrategia aplicada basándose en RCM .....                    | 47 |
| 9.1.1. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).....          | 48 |
| 9.2. Mantenimiento productivo total (TPM).....                     | 50 |
| 9.2.1. Los 8 pilares del Mantenimiento Productivo Total (TPM)..... | 50 |
| 9.3. SMED .....                                                    | 53 |
| 9.3.1. Implementación de la propuesta.....                         | 54 |
| 9.3.2. Etapa 1: Mantenimiento Autónomo (MA).....                   | 55 |
| 9.3.3. Etapa 2: SMED.....                                          | 56 |
| 10. Discusión .....                                                | 57 |
| Conclusiones .....                                                 | 60 |
| Referencias bibliográficas.....                                    | 61 |
| Anexos .....                                                       | 65 |

## Lista de Figuras

|                                                                                                             | <b>Pág.</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Figura 1</b> Corte transversal del fruto de palma de aceite .....                                        | 9           |
| <b>Figura 2</b> Número de publicaciones por año y evolución del enfoque metodológico en la literatura. .... | 23          |
| <b>Figura 3</b> Regiones de mayor producción. ....                                                          | 23          |
| <b>Figura 4</b> Búsqueda en software VOSviewer sin conectores booleanos. ....                               | 25          |
| <b>Figura 5</b> Búsqueda en software VOSviewer con conectores booleanos. ....                               | 26          |
| <b>Figura 6</b> Técnicas del mantenimiento predictivo. ....                                                 | 29          |
| <b>Figura 7</b> Relación del mantenimiento correctivo y predictivo y el RCM. ....                           | 30          |
| <b>Figura 8</b> Criterios de calificación de criticidad de los equipos. ....                                | 32          |
| <b>Figura 9</b> Criterios de selección de los equipos. ....                                                 | 33          |
| <b>Figura 10</b> Parámetros fundamentales. ....                                                             | 34          |
| <b>Figura 11</b> Índice de criticidad. ....                                                                 | 35          |
| <b>Figura 12</b> Análisis de consecuencias en el área de RECEPCIÓN. ....                                    | 36          |
| <b>Figura 13</b> Análisis de consecuencias en el área de ESTERILIZACIÓN. ....                               | 36          |
| <b>Figura 14</b> Análisis de consecuencias en el área de DESFRUTAMIENTO. ....                               | 37          |
| <b>Figura 15</b> Análisis de consecuencias en el área de EXTRACCION. ....                                   | 37          |
| <b>Figura 16</b> Análisis de consecuencias en el área de CLARIFICACION. ....                                | 38          |
| <b>Figura 17</b> Análisis de consecuencias en el área de DESFIBRACION. ....                                 | 39          |
| <b>Figura 18</b> Análisis de consecuencias en el área de GENERACION VAPOR. ....                             | 39          |
| <b>Figura 19</b> Análisis de consecuencias en el área de TRATAMIENTO DE AGUA. ....                          | 40          |
| <b>Figura 20</b> Análisis de consecuencias en el área de ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS. ....                  | 40          |
| <b>Figura 21</b> Análisis de consecuencias en el área de SUMINISTRO ENERGETICO. ....                        | 40          |
| <b>Figura 22</b> Análisis de criticidad en el área de RECEPCIÓN. ....                                       | 41          |
| <b>Figura 23</b> Análisis de criticidad en el área de ESTERILIZACIÓN. ....                                  | 42          |
| <b>Figura 24</b> Análisis de criticidad en el área de DESFRUTAMIENTO. ....                                  | 42          |
| <b>Figura 25</b> Análisis de criticidad en el área de EXTRACCIÓN. ....                                      | 43          |
| <b>Figura 26</b> Análisis de criticidad en el área de CLARIFICACIÓN. ....                                   | 43          |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 27</b> Análisis de criticidad en el área de DESFIBRACIÓN.....                                                 | 44 |
| <b>Figura 28</b> Análisis de criticidad en el área de GENERACIÓN DE VAPOR. ....                                         | 44 |
| <b>Figura 29</b> Análisis de criticidad en el área de TRATAMIENTO DE AGUA. ....                                         | 45 |
| <b>Figura 30</b> Análisis de criticidad en el área de ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS. ....                                 | 45 |
| <b>Figura 31</b> Análisis de criticidad en el área de SUMINISTRO ENERGETICO. ....                                       | 45 |
| <b>Figura 32</b> Equipos críticos de la planta extractora la planta extractora de aceite de palma Agroince<br>Ltda..... | 47 |
| <b>Figura 33</b> Hoja de información RCM. ....                                                                          | 48 |
| <b>Figura 34</b> Hoja de decisión RCM. ....                                                                             | 49 |
| <b>Figura 35</b> Árbol de objetivos. ....                                                                               | 54 |
| <b>Figura 36</b> Proceso de implementación de modelo. ....                                                              | 55 |

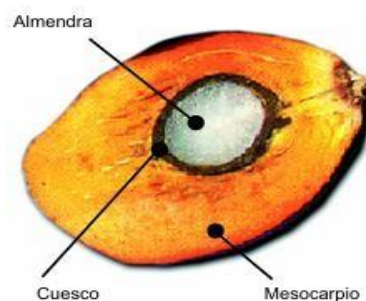
**Lista de tablas****Pág.**

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> Requisitos que debe cumplir el aceite crudo de palma africana ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq) en Colombia..... | 28 |
| <b>Tabla 2</b> Relación entre estrategias de mantenimiento.....                                                                | 58 |

## Introducción

### Figura 1

*Corte transversal del fruto de palma de aceite*



*Nota.* Partes principales del fruto de palma, conformado por: almendra, cuesco y mesocarpio. Adaptado de *Sinopsis del proceso de la palma de aceite. Volumen 1: Planta de extracción de aceite de palma: sistemas y procesos*, pop G. A. Bernal, 2005, Wambeck Editores.

El proceso de extracción de aceite de palma comienza con la esterilización, donde los racimos se someten a vapor para detener la acción de enzimas que dañan el aceite, facilitar el desprendimiento de los frutos y ablandar la pulpa. Luego viene la desfrutación, que separa los frutos del raquis. Después, en la digestión, los frutos se calientan y se maceran para liberar el aceite, que luego se extrae en la etapa de prensado.

Del prensado se obtiene una mezcla de aceite, agua y sólidos que pasa a la etapa de clarificación, donde se separa el aceite por decantación y centrifugación. Después, el aceite clarificado se seca al vacío para eliminar la humedad y evitar su deterioro (Fedepalma, 2024).

Mientras tanto, los residuos sólidos pasan a la parte de desfibración y palmistería, donde se separan las nueces, se trituran y se recuperan las almendras, que luego se secan para extraer el aceite de palmiste. Todo el proceso está diseñado para sacar el máximo provecho al fruto y evitar pérdidas (Bernal, 2005).

La industria de extracción de aceite de palma es un pilar económico en Colombia, destacándose por su alta demanda de disponibilidad operativa y eficiencia en los procesos (Fedepalma, 2022). En este contexto, cumple un papel esencial en la transformación del racimo de fruta fresca en aceite crudo de palma, a través de una secuencia de procesos que incluyen esterilización, desfrutación, digestión, prensado y clarificación, entre otros. Estos procesos dependen directamente del funcionamiento continuo y confiable de equipos clave como autoclaves

(esterilizadores), desfrutadores rotatorios, digestores verticales, prensas de tornillo sinfín, clarificadores, secadores al vacío y centrífugas (Ramírez & Rodríguez, 2019).

Cada uno de estos equipos está sujeto a condiciones operativas exigentes, con ciclos térmicos, mecánicos e hidráulicos intensos que, si no se controlan adecuadamente, tienden a provocar fallas frecuentes. En la práctica, se ha observado que estas fallas se repiten a lo largo del tiempo, lo que evidencia debilidades en los programas de mantenimiento actuales. Estas recurrencias no solo incrementan los costos por repuestos y mano de obra, sino que también reducen la disponibilidad de los equipos y afectan la capacidad productiva de la planta (García & Patiño, 2021).

## **1. Planteamiento del problema**

En las plantas extractoras de aceite de palma en Colombia, el área de mantenimiento cumple un papel esencial para garantizar la continuidad operativa, la confiabilidad de los equipos y la calidad del producto final. Dentro del proceso de extracción, existen equipos clasificados como críticos, cuya falla puede implicar la detención total de la operación, debido a la ausencia de sistemas redundantes o equipos en paralelo. Esto contrasta con otras secciones donde es posible mantener la operación mediante alternativas, minimizando así el impacto ante una eventual falla.

La operación en estas plantas se realiza de forma continua durante la semana, con interrupciones programadas generalmente los días domingo, cuando se ejecutan actividades de mantenimiento preventivo o correctivo. Sin embargo, se ha evidenciado que algunos equipos críticos presentan fallas recurrentes que derivan en paradas no programadas, elevando los costos operativos y reduciendo la eficiencia global de la planta.

Estas fallas repetitivas ponen en evidencia debilidades en la gestión del mantenimiento, tanto en sus componentes correctivos como preventivos, así como la falta de estrategias orientadas a atacar las causas raíz de los problemas. Además, muchas plantas no cuentan con sistemas de registro detallado de fallas; los reportes suelen ser incompletos, omitiendo información clave como tiempos exactos de intervención, duración de la parada, tiempos logísticos asociados o el impacto productivo de la avería.

Dado el papel estratégico de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y la creciente demanda por mejorar la continuidad y eficiencia operativa, se hace necesario implementar estrategias de mejora en el mantenimiento de equipos críticos. Para ello, resulta fundamental la recopilación y análisis de datos históricos, la identificación de modos de falla y la aplicación de metodologías que permitan aumentar la confiabilidad operativa y optimizar el desempeño general del proceso productivo.

## **2. Justificación**

La estrategia de mejora en el mantenimiento tiene como finalidad optimizar la confiabilidad operativa de los equipos críticos dentro de las plantas extractoras de aceite de palma en Colombia. Estas industrias enfrentan diariamente desafíos relacionados con la alta exigencia operativa, condiciones ambientales severas y la ausencia de equipos redundantes, lo que incrementa el impacto de cualquier falla sobre la continuidad del proceso productivo. En este contexto, la implementación de metodologías estructuradas, como el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), se presenta como una herramienta técnica esencial para identificar, evaluar y mitigar las fallas recurrentes en los sistemas mecánicos y eléctricos.

Al adoptar un enfoque preventivo y basado en datos, es posible reducir significativamente los paros no programados, prolongar la vida útil de los activos y disminuir los costos asociados al mantenimiento correctivo. Esto contribuye directamente a mejorar la disponibilidad de los equipos y la eficiencia del proceso de extracción, lo cual es fundamental en una industria que opera con márgenes de tiempo y producción ajustados.

Además, la aplicación de estrategias de mantenimiento enfocadas en la confiabilidad no solo impacta positivamente la productividad, sino que también permite asegurar la calidad constante del producto final, elemento clave para cumplir con los estándares del mercado nacional e internacional. De acuerdo con Kalenatic (2009), la incorporación de modelos de gestión basados en mejora continua y confiabilidad constituye un pilar fundamental para alcanzar una producción industrial sostenible y tecnológicamente competitiva.

En Colombia, donde la agroindustria de la palma de aceite tiene una relevancia económica significativa, fortalecer la gestión del mantenimiento resulta indispensable para aumentar la resiliencia operativa, reducir la dependencia de correctivos y posicionar al sector como un referente de eficiencia y sostenibilidad industrial.

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General**

- Analizar estrategias de mejora en el mantenimiento de equipos críticos en las plantas extractoras de aceite de palma en Colombia, con el fin de identificar prácticas que contribuyan a optimizar la confiabilidad operativa y reducir las fallas recurrentes en los procesos productivos.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Investigar, mediante fuentes bibliográficas y artículos técnicos, los principales enfoques de mantenimiento aplicados a equipos críticos en plantas extractoras de aceite de palma.
- Identificar los factores más comunes que generan fallas repetitivas en estos equipos, a partir de estudios de caso, análisis de criticidad y literatura especializada.
- Evaluar y comparar distintas estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo y basado en condición, utilizadas en el sector extractivo de aceite de palma en Colombia.
- Establecer recomendaciones de mantenimiento preventivo y basado en condición, fundamentadas en análisis de criticidad y AMEF, aplicables a equipos críticos del sector palmero colombiano.

#### 4. Marco teórico y estado actual

La gestión de mantenimiento industrial es un pilar fundamental que garantiza la confiabilidad, seguridad y eficiencia en los procesos, para el caso de las plantas extractoras de aceite de palma, el mantenimiento a los equipos críticos es de mayor importancia, ya que un equipo crítico que deje de funcionar podría ocasionar horas de parada para la planta.

Para abordar el análisis de las estrategias de mejora en mantenimiento es necesario comprender las siguientes definiciones.

- **Mantenimiento industrial:** Es el conjunto de actividades técnicas, administrativas y de gestión que se realizan con el objetivo de conservar o restaurar un sistema, máquina o equipo a un estado en el cual pueda desarrollar una función específica bajo condiciones operativas seguras y eficientes (Moubray, 1997).
- **Equipo crítico:** Se define como aquel equipo cuya falla produce un impacto significativo en la seguridad, el ambiente, la calidad del producto o la continuidad de la operación. En el contexto de una planta extractora, estos equipos usualmente están directamente relacionados con etapas clave del proceso, y su indisponibilidad detiene parcial o totalmente la producción (Smith & Hawkins, 2004).
- **Confiabilidad operativa:** Hace referencia a la probabilidad de que un equipo o sistema cumpla su función sin fallas durante un periodo específico bajo condiciones determinadas. Es un parámetro esencial en la gestión del mantenimiento, ya que permite planificar acciones preventivas y evaluar el desempeño de los activos (Dhillon, 2002).
- **Disponibilidad:** Es el porcentaje de tiempo en el cual un equipo se encuentra en condiciones operativas respecto al tiempo total considerado. Depende directamente de la confiabilidad del sistema y del tiempo requerido para restaurar la operación tras una falla (ISO 14224:2016).
- **Mantenimiento preventivo:** Es una estrategia que se basa en la ejecución de intervenciones programadas, en intervalos establecidos, con el fin de evitar la ocurrencia de fallas o disminuir su severidad. Se fundamenta en la experiencia histórica del equipo y las recomendaciones del fabricante.
- **Mantenimiento predictivo o basado en condición:** Implica el monitoreo continuo o periódico de parámetros físicos (como vibración, temperatura o consumo eléctrico) para anticiparse a fallas, actuando justo antes de que estas ocurran. Esto permite una mejor utilización de los recursos y reduce tiempos muertos innecesarios.

- **Mantenimiento correctivo:** Es aquel que se realiza una vez que ha ocurrido una falla, con el propósito de devolver el equipo a su condición operativa. Aunque es inevitable en algunos casos, su uso frecuente incrementa costos y afecta la productividad.
- **Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF):** Es una metodología sistemática que permite identificar las fallas potenciales de un sistema, sus efectos sobre la operación y sus causas, con el objetivo de priorizar acciones de mantenimiento y mitigar los riesgos más relevantes (Kalenatic, 2009).
- **Críticidad:** Se determina a partir de la probabilidad de falla y la severidad de sus consecuencias, y es una herramienta clave para enfocar los recursos de mantenimiento en los activos más relevantes para el proceso productivo (Ben-Daya et al., 2009). Un análisis de criticidad permite clasificar los equipos en categorías (alta, media o baja) y así tomar decisiones más estratégicas en la planificación del mantenimiento.

La gestión del mantenimiento industrial comprende la planificación, programación, ejecución y control de actividades técnicas que permiten conservar los equipos en condiciones óptimas de operación. Su objetivo principal es garantizar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los activos físicos, minimizando riesgos, costos y tiempos muertos (Ben-Daya et al., 2009).

En las plantas extractoras de aceite de palma, donde el proceso es continuo y altamente mecanizado, una adecuada gestión del mantenimiento es clave para evitar paradas no programadas que afectan la eficiencia y calidad del producto final.

- **Indicadores clave de gestión:** Para evaluar y controlar el desempeño del mantenimiento, se emplean indicadores técnicos que permiten cuantificar y tomar decisiones basadas en datos. Los más comunes son:
- **MTBF (Mean Time Between Failures) – Tiempo Medio Entre Fallas:** Este indicador mide la confiabilidad del equipo. Representa el tiempo promedio que transcurre entre una falla y la siguiente, es decir, cuánto tiempo permanece operativo antes de fallar (Ben-Daya et al., 2009)

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento}}{\text{Número de fallas}} \quad (1)$$

- **MTTR (Mean Time To Repair) – Tiempo Medio para Reparar:** Mide la eficiencia del proceso de reparación. Indica cuánto tiempo tarda en promedio el equipo de mantenimiento en restaurar la operación tras una falla (Ben-Daya et al., 2009).

$$MTTF = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}} \quad (2)$$

- **Disponibilidad Operacional:** Es la proporción del tiempo que un equipo está en condiciones operativas frente al total del tiempo analizado (Ben-Daya et al., 2009). Se puede calcular combinando MTBF y MTTR:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3)$$

*Otros indicadores relevantes:*

- **Tasa de fallas:** Número de fallas en un periodo determinado. Permite detectar activos con mal historial de confiabilidad (Ben-Daya et al., 2009).
- **Backlog:** Tiempo de trabajo pendiente en mantenimiento, medido en semanas. Un backlog entre 2 y 4 semanas es óptimo (Ben-Daya et al., 2009).

*Herramientas y metodologías aplicadas*

Para mejorar continuamente la gestión, se implementan herramientas estructuradas como:

- **RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad):** Metodología que define las estrategias de mantenimiento más adecuadas para cada equipo crítico, garantizando que cumpla su función requerida, considerando consecuencias de falla, confiabilidad, seguridad y costos del ciclo de vida (Moubray, J.,1997).
- **TPM (Mantenimiento Productivo Total):** Sistema de gestión del mantenimiento que busca maximizar la eficiencia global de los equipos mediante la participación activa de todo el personal, integrando mantenimiento, producción y mejora continua para reducir fallas, paradas y pérdidas (Suzuki, T.,2017).
- **5S:** Metodología de orden y disciplina en el lugar de trabajo que se basa en clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar y mantener, con el objetivo de mejorar la seguridad, eficiencia operativa y condiciones de trabajo (Dorbessan, J.,2006).
- **Mantenimiento autónomo:** Es un Pilar del TPM en el cual los operadores asumen tareas básicas de mantenimiento como limpieza, lubricación, inspección y detección temprana de fallas, contribuyendo a la confiabilidad del equipo y a la reducción de paradas no programadas (Moyano, C. E., Piza, R. E., & Zaruma, J. I.,2013).
- **SMED (Single-Minute Exchange of Die)** es una metodología de mejora continua orientada a reducir los tiempos de cambio y preparación de equipos, con el objetivo de que estas actividades se realicen en menos de diez minutos (un solo dígito en minutos).

En el contexto del mantenimiento, el SMED se aplica para disminuir los tiempos de intervención, ajustes o reemplazos de componentes, separando las actividades internas (que requieren que el equipo esté detenido) de las externas (que pueden realizarse con el equipo en operación), optimizando así la disponibilidad y confiabilidad de los activos. (Shingo, S. 1985).

Estas herramientas y metodologías aplicadas al contexto de las extractoras colombianas, permiten estructurar planes de mantenimiento más estratégicos, reducir la dependencia del correctivo y mejorar la disponibilidad de los equipos críticos (Camacho & Paz, 2024).

#### **4.1. Estado actual**

En los últimos años, diversas plantas extractoras de aceite de palma en Colombia han adoptado metodologías avanzadas de mantenimiento que han demostrado mejoras significativas en la confiabilidad de sus equipos, la planificación de tareas y la reducción de tiempos muertos. A través de estudios de caso y trabajos académicos, se han documentado estos avances como evidencia de la efectividad de estrategias como RCM, AMEF y TPM en el entorno palmicultor nacional.

Por ejemplo, en la planta Agroince Ltda. y Cía. S.C.A., Pardo, Sarmiento y Mayorga (2015) diseñaron un programa de mantenimiento basado en el enfoque del RCM, que incluyó la elaboración de una matriz de criticidad, la aplicación del AMEF, y la implementación de indicadores como MTBF y MTTR. Aunque el plan no se ejecutó completamente, sentó las bases para una gestión del mantenimiento más estructurada y proactiva.

En otro caso, la empresa Extractora Loma Fresca Sur de Bolívar S.A.S. implementó un programa de mejora diseñado por Pardo (2025), el cual abarcó el diseño de formatos estandarizados, programación de órdenes de trabajo, manuales de operación y capacitación del personal técnico. Esta intervención permitió formalizar la planificación del mantenimiento correctivo y preventivo, así como fortalecer la gestión documental del área.

Un trabajo previo realizado por Capella Rincones y Cantillo Barraza (2007) en la empresa C.I. El Roble S.A., tuvo como objetivo desarrollar un plan de mantenimiento preventivo que incluyera hojas de vida de los equipos, programación mensual, cronogramas y control de ejecución. El enfoque buscaba aumentar la disponibilidad de los equipos y avanzar hacia la

certificación bajo la norma ISO 9000.

De igual forma, en la empresa Frupalma S.A., Moreno Arias y Rivero Acuña (2006) aplicaron el RCM a equipos como digestores y prensas, evaluando modos de falla y costos de mantenimiento. A partir del análisis, se estableció un plan de mantenimiento anual que priorizaba tareas preventivas y predictivas, reduciendo así la ocurrencia de fallas recurrentes y optimizando los costos operativos.

Finalmente, Camacho Olmos y Paz Cárdenas (2024) presentaron una propuesta de mejora en la gestión del mantenimiento para una planta extractora, la cual incluía cronogramas de mantenimiento preventivo, control de intervenciones, registros estandarizados y análisis de historial de fallas. Esto permitió mejorar el seguimiento técnico de los activos y facilitar la toma de decisiones correctivas con base en datos.

Estos estudios demuestran que, con una correcta implementación de estrategias de mantenimiento modernas, las plantas extractoras colombianas pueden lograr aumentos sostenibles en la disponibilidad de sus equipos, reducir los costos operativos y mejorar su capacidad para operar de forma continua y segura.

En muchas plantas extractoras de aceite de palma en Colombia, la infraestructura se caracteriza por ser anticuada o insuficiente, ya que operan con equipos heredados cuyo acceso a repuestos originales es limitado, especialmente en medianas y pequeñas empresas. Esta condición incrementa los tiempos de inactividad cuando ocurren fallas, afectando la productividad del proceso (Capella Rincones & Cantillo Barraza, 2007). A esto se suma el impacto del clima tropical con elevadas lluvias y humedad el cual favorece la corrosión de componentes eléctricos y metálicos, acelerando su deterioro.

Estas plantas suelen operar bajo un esquema de mantenimiento predominantemente reactivo, sin planificación formal ni documentación adecuada, como hojas de vida de equipos o formatos estandarizados de órdenes de trabajo. Esta ausencia de registros históricos impide la transición hacia estrategias preventivas y predictivas (Pardo Pardo, 2025) La falta de formación técnica especializada en mantenimiento y la escasa adopción de metodologías estructuradas como AMEF, RCM o TPM agravan la situación.

Como consecuencia, los tiempos muertos tienden a ser elevados, generando frecuentes paros no programados que afectan la continuidad del proceso. La escasa implementación de sistemas de monitoreo técnico o diagnóstico temprano contribuye a que problemas menores

escalen hasta convertirse en fallas críticas (Pardo Pardo, 2025).

A pesar de estas dificultades, existen avances documentados en la literatura académica que evidencian mejoras reales. En la Extractora Frupalma S.A., Moreno Arias y Rivero Acuña (2006) diseñaron un programa de mantenimiento para digestores, prensas y equipos auxiliares críticos, incorporando análisis de modos de falla y confiabilidad como base para priorizar acciones preventivas. Esto incluyó la sistematización de información y la codificación de equipos, lo cual contribuyó a mejorar la eficiencia operativa (Moreno Arias & Rivero Acuña, 2006).

En la planta Agroince Ltda., Pardo, Sarmiento y Mayorga (2015) desarrollaron un programa basado en TPM y RCM, incluyendo una matriz de criticidad RAM, aplicación de AMEF y definición de indicadores clave como MTBF y MTTR. Aunque se centraron en la etapa de diseño, la propuesta incorporó criterios técnicos sólidos para optimizar la gestión del mantenimiento (Pardo et al., 2015). Estudios complementarios por López Vega (2015) y Díaz Velandia (2016) en la misma planta implementaron un sistema de información que incluyó formatos estandarizados, hojas de vida, órdenes de trabajo y un software de mantenimiento (CeniSiiC), creando una base sólida para la gestión técnica y documental del mantenimiento (López Vega, 2015; Díaz Velandia, 2016).

## 5. Normativa aplicable

La gestión del mantenimiento de equipos críticos en las plantas extractoras de aceite de palma debe fundamentarse en normas técnicas que respalden la confiabilidad operativa, la seguridad industrial y la toma de decisiones basada en riesgo. En el marco del presente estudio, y de acuerdo con el enfoque metodológico desarrollado en el artículo base, se identifican como aplicables las siguientes normas.

La norma ISO 55000:2014 establece los principios generales para la gestión de activos físicos, proporcionando un marco para alinear las estrategias de mantenimiento con los objetivos organizacionales y el ciclo de vida de los equipos. Su aplicación es pertinente en plantas extractoras, ya que permite estructurar la gestión del mantenimiento con base en criticidad, desempeño y riesgo operativo (ISO, 2014).

Para el análisis de confiabilidad y desempeño de los equipos críticos, la norma ISO 14224:2016 define los lineamientos para la recopilación y el intercambio de datos de mantenimiento y confiabilidad. Esta norma respalda el uso de indicadores como MTBF, MTTR y disponibilidad, ampliamente utilizados en estudios de criticidad y mantenimiento centrado en confiabilidad en plantas extractoras (ISO, 2016).

En relación con la identificación y evaluación de fallas, la norma IEC 60812:2018 proporciona la metodología formal para la aplicación del Análisis del AMEF, permitiendo identificar modos de falla, sus causas y consecuencias, y priorizar los equipos críticos del proceso productivo, tal como se desarrolla en el artículo analizado (IEC, 2018). De igual forma, la norma ISO 17359:2018 establece directrices para la implementación del mantenimiento basado en condición, mediante el monitoreo de variables operativas como vibración, temperatura y desgaste. Esta norma es coherente con las estrategias de mantenimiento

predictivo aplicadas a equipos críticos en plantas extractoras de aceite de palma (ISO, 2018a).

Desde el punto de vista de la seguridad industrial, la norma ISO 45001:2018 define los requisitos para los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, siendo aplicable a plantas extractoras debido a los riesgos asociados a equipos que operan bajo altas cargas mecánicas, térmicas y de presión. Esta norma refuerza la consideración del impacto de las fallas en la seguridad del personal, criterio incluido dentro del análisis de criticidad (ISO, 2018b).

A nivel nacional, la gestión del mantenimiento debe alinearse con el Decreto 1072 de 2015, que regula el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo en Colombia, y con la Ley 99 de 1993, relacionada con la protección ambiental. Estas disposiciones respaldan la necesidad de evaluar las consecuencias de las fallas de los equipos críticos sobre la seguridad y el medio ambiente, aspectos considerados dentro del análisis de criticidad desarrollado (Congreso de la República de Colombia, 1993; Ministerio del Trabajo, 2015).

Finalmente, se consideran los lineamientos técnicos emitidos por Fedepalma, los cuales constituyen una referencia sectorial para la operación y mantenimiento de las plantas extractoras de aceite de palma en Colombia, y complementan la aplicación de normas internacionales al contexto operativo nacional (Fedepalma, 2022).

## 6. Metodología

Se desarrolla bajo un enfoque cualitativo descriptivo, enfocado a analizar el mantenimiento de los equipos críticos de las plantas extractoras de aceite de palma en Colombia, mediante una revisión documentada que nos permita identificar los diferentes tipos de metodologías que han aplicado otras plantas y oportunidades de mejora en la gestión de activos.

Actualmente se fundamenta en la investigación de tipo documental, que se basa en la recopilación de análisis, análisis e interpretación de fuentes con información científica y técnica accesibles a través del CRAI (Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación) que ofrece la universidad Santo Tomas.

La recolección de información se realizó mediante un proceso sistemático de consulta en bases de datos académicas, el procedimiento fue el siguiente:

- **Consulta inicial en Scopus:** A través del CRAI se accedió a la base de datos Scopus con el objetivo de identificar artículos científicos y estudios estadísticos relacionados con el mantenimiento industrial, la criticidad de equipos y la confiabilidad operativa en plantas extractoras de aceite de palma.

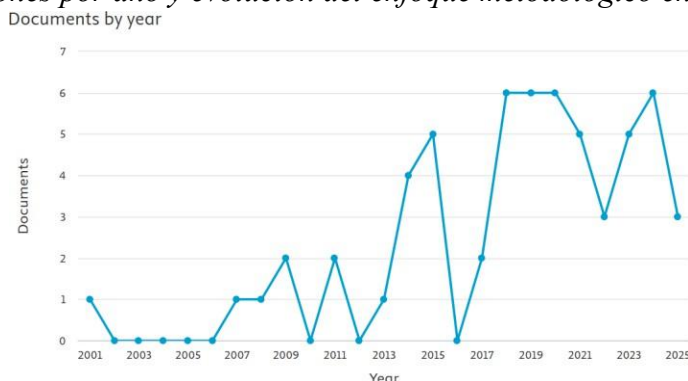
Para la búsqueda se utilizó la siguiente ecuación en el campo *TITLE-ABS-KEY*:

- **TITLE-ABS-KEY ("industrial maintenance" AND "palm oil")**

Esta ecuación permitió recuperar publicaciones que integran el enfoque de mantenimiento industrial con el sector palmero, facilitando el análisis del comportamiento bibliométrico del tema, como el número de publicaciones por año, la evolución metodológica en la literatura (Figura 2) y las regiones con mayor producción académica (Figura 3).

**Figura 2**

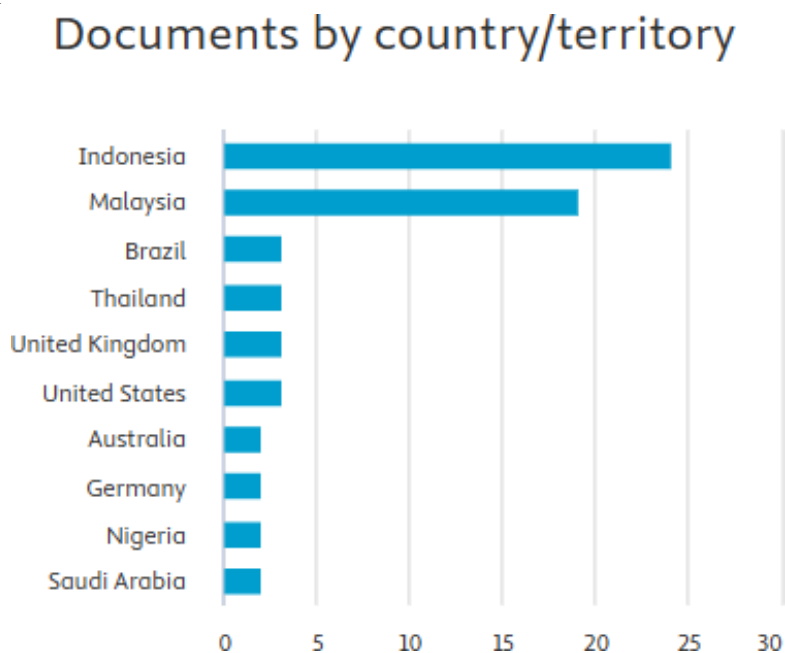
*Número de publicaciones por año y evolución del enfoque metodológico en la literatura.*



*Nota.* Se observa una tendencia creciente en el número de publicaciones a lo largo de los años, con picos en 2018 y 2024. Adaptado de los recursos del CRAI, Scopus.

**Figura 3**

*Regiones de mayor producción.*



*Nota.* El grafico muestra los países con mayor número de publicaciones, destacando a indonesia como el principal, ya que es el país con mayor producción de aceite de palma africana en el mundo. Adaptado de los recursos del CRAI, Scopus.

- **Consulta específica en ScienceDirect:** Posteriormente, se utilizó la base de datos ScienceDirect para realizar una búsqueda más focalizada de artículos académicos que

abordaran específicamente metodologías como AMEF (Análisis de modos y efectos de falla), RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad), TPM, y el uso de indicadores como MTBF y MTTR en la gestión de mantenimiento.

- **Los filtros aplicados incluyeron:** publicaciones entre 2014 y 2024, artículos revisados por pares, y temas relacionados con mantenimiento de las plantas extractoras.
- **Palabras clave empleadas:** Se utilizaron combinaciones de palabras clave en inglés y español, como: “Critical equipment in palm oil plants” “Failure modes and effects analysis in maintenance” “Indicadores MTBF MTTR” “Mantenimiento en plantas extractoras” “Gestión de activos físicos industriales”
- **Selección y depuración de fuentes:** De un total inicial de aproximadamente 56 documentos localizados, se seleccionaron 26 fuentes clave que cumplieran con criterios de pertinencia temática, actualidad, aplicabilidad al contexto colombiano y calidad científica. También se incluyeron informes técnicos de Fedepalma, y documentos académicos de universidades nacionales.

A continuación, se realiza un análisis bibliométrico en el software VOSviewer, del cual se obtuvieron dos imágenes con enfoques metodológicos diferentes.

En la primera imagen (figura 4) se efectuó una búsqueda general sin el uso de conectores booleanos, Este enfoque permitió obtener una visión global del campo de estudio, en la cual los temas predominantes se relacionan principalmente con la producción de aceite, el tratamiento de efluentes.

La generación de biomasa y la eficiencia energética. En este escenario, el mantenimiento aparece de manera indirecta, evidenciando su rol como un factor transversal que soporta la operación de los procesos, pero sin profundizar en estrategias o metodologías específicas de gestión del mantenimiento.





## **7. Mantenimiento en plantas extractoras de aceite de palma**

### **7.1. Importancia del mantenimiento en plantas extractoras**

El mantenimiento en plantas extractoras es un factor estratégico para garantizar la continuidad operativa, la competitividad y la sostenibilidad del sector. Una adecuada gestión del mantenimiento y la lubricación de los equipos permite optimizar los procesos productivos, reducir fallas repetitivas y minimizar paradas no programadas, las cuales impactan directamente los costos operativos y los recursos financieros de la organización. Además, la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los activos dependen de una planeación estructurada e integrada a los planes operativos de la planta, especialmente en un sector industrial clave para la producción y la cadena de valor, como lo es el sector palmero (Esquivel Guerrero, 2021).

El control del proceso en una planta extractora de aceite de palma tiene como finalidad obtener productos de alta calidad, como el aceite de palma crudo (APC) y el palmiste (P), manteniendo al mínimo las pérdidas durante la operación. La calidad de estos productos está determinada principalmente por el contenido de ácidos grasos libres (FFA), así como por los niveles de humedad y mugre, los cuales dependen directamente de los parámetros operacionales de las distintas unidades del proceso.

Aunque un adecuado control del proceso permite reducir el deterioro del producto, la calidad final del aceite no puede superar la calidad del aceite presente en la fruta procesada. Por esta razón, es fundamental garantizar que los racimos de fruta fresca (RFF) ingresen a la planta en un estado óptimo de madurez y con mínimas magulladuras, lo cual requiere una coordinación constante entre el personal de campo y el de planta (Ma, A. N, 1998).

A continuación, se presenta una tabla con los principales parámetros de calidad utilizados para el control del proceso y la evaluación del aceite de palma

**Tabla 1**

*Requisitos que debe cumplir el aceite crudo de palma africana (Elaeis guineensis Jacq) en Colombia.*

| <b>Requisitos</b>                         | <b>Máximo</b> | <b>Mínimo</b> |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|
| Densidad 50/20 °C                         | 0.899         | 0.981         |
| Índice de yodo                            | 55            | 50            |
| Índice de saponificación                  | 209           | 190           |
| Índice de refracción a 50°C               | 1.4560        | 1.4540        |
| Materia insaponificable (%)               | 1.2           |               |
| Humedad y material volátil (%)            | 0.5           |               |
| Punto de fusión                           | 40            | 34            |
| Acidez expresada como ácido palmítico (%) | 5             |               |
| Impurezas insolubles (%)                  | 0.10          |               |
| Plomo, expresado como PB, en mg/kg        | 0.1           |               |
| Arsénico, expresado como As, en mg/kg     | 0.1           |               |

*Nota.* Parámetros dados dentro de los estándares de calidad del APC. Imagen tomada de Rincón M., S. M., & Martínez C., D. M. (2009).

### **7.1.1. Consecuencias de un mal mantenimiento**

Para escoger una estrategia de mantenimiento es importante saber cuál es el presupuesto disponible, qué se quiere lograr y qué tan arriesgado puede ser. Algunos problemas son los siguientes (Cueto, C. J. C. 2024):

Desconocimiento de las ventajas que ofrecen cada uno de los diferentes tipos de mantenimiento

- Realizar un diagnóstico incorrecto de los equipos.
- Ignorar las señales de advertencia.
- Falta de planificación adecuada.
- Las prioridades de las tareas no están claras.
- Saltar documentación y seguimiento.
- Ignorar la formación y la experiencia del equipo.
- No realizar mantenimiento preventivo.
- Uso inadecuado de materiales y repuestos.
- Se subestima la importancia de la limpieza y la lubricación.

- Descuido de la modernización y la innovación tecnológica. redacta esto como un niño de 10 años

## 7.2. Tipos de mantenimiento usados en la industria

El mantenimiento se basa en que el equipo tenga la función y disponibilidad a la hora de realizar un trabajo, existen algunos tipos de mantenimiento, estos son:

### 7.2.1. *Mantenimiento Predictivo y sus técnicas*

El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y análisis de parámetros físicos que reflejan el estado y el desgaste de los equipos, con el fin de anticipar fallas antes de que ocurran. Mediante técnicas no invasivas y pruebas no destructivas, se evalúan tendencias de operación que permiten planificar intervenciones oportunas, reducir paradas no programadas, prolongar la vida útil de los componentes y optimizar la gestión de repuestos y costos de mantenimiento (Pinzón, C. 2023), algunas de sus técnicas están representadas en la figura 7.

**Figura 6**

*Técnicas del mantenimiento predictivo.*



*Nota.* Adaptado de: (Pinzón, C., 2023)

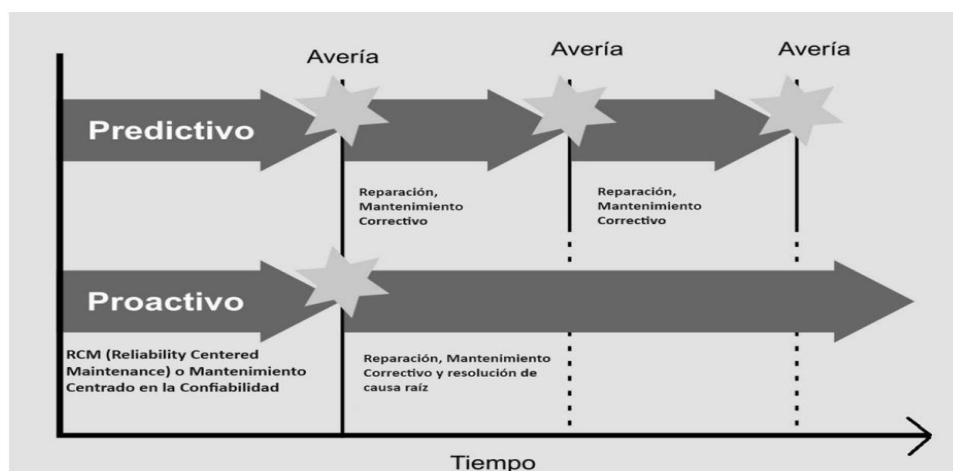
## 7.3. Recomendaciones a la hora de aplicar el mantenimiento

- Comprender las necesidades de las empresas sin descartar la implementación del mantenimiento correctivo a la estrategia.

- Bajo una metodología o instrucción de capacitación definir claramente la diferencia entre implementación de mantenimiento correctivo y estrategia de mantenimiento correctivo.
- Integrar a la estrategia como indicador el costo operativo causado por las fallas esporádicas, con la finalidad no solo de ver el tiempo de paro sino la repercusión en costo, se puede integrar un concepto como costo de oportunidad.
- Realizar una instrucción o procedimiento de intervención de emergencia y la gestión de las fallas antes, durante y después del problema.
- Gestionar mediante ordenes de trabajo las fallas esporádicas y las intervenciones de emergencia, teniendo claro los tiempos de paro y actividades de análisis de fallas de problemas que tuvieron un alto costo.
- Realizar programa de capacitación enfocado en solución y diagnóstico de fallas.
- Integrar a la estrategia el concepto de mantenimiento correctivo programado (Cueto, C. J. C ,2024).

**Figura 7**

*Relación del mantenimiento correctivo y predictivo y el RCM.*



*Nota.* Es importante analizar costos a la hora de aplicar un mantenimiento, analizar qué tipo de mantenimiento es más viable en relación costo/tiempo. Adaptado de: (Cueto, C. J. C ,2024)

## **8. Criticidad en equipos de plantas extractoras**

### **8.1. Análisis de criticidad**

Es un método técnico para evaluar los equipos en función de la probabilidad de falla y la severidad de sus consecuencias sobre la operación, la integridad mecánica y la confiabilidad del sistema, permitiendo definir prioridades y estrategias de mantenimiento acordes al nivel de riesgo de cada activo.

- “Medición relativa de las consecuencias de un modo de fallo y su frecuencia de ocurrencia”. (del Castillo-Serpa, A. M., 2009).
- “Característica (cálculo numérico determinístico) de un sistema, que representa el impacto de la falla en cuanto a seguridad, ambiente o producción del proceso al cual pertenece; evalúa la flexibilidad operacional, costos de reparación- mantenimiento y confiabilidad. Esta característica puede ubicarse en bandas alta, media y baja”. (del Castillo-Serpa, A. M., 2009).

#### **8.1.1. Aplicación de análisis de criticidad**

Se realiza identificando los equipos del proceso, evaluando para cada uno la probabilidad de falla y la severidad de sus consecuencias en términos de producción, seguridad y costos, y combinando estos criterios mediante una matriz de riesgo que permite jerarquizar los activos y definir las prioridades de mantenimiento.

- Definiendo un alcance y propósito para el análisis.
- Estableciendo criterios de importancia.
- Seleccionando un método de evaluación para jerarquizar la selección de sistemas objeto del análisis. Algunos de estos criterios pueden ser: Seguridad, ambiente, producción, costos (operaciones y mantenimiento), frecuencia de falla, tiempo promedio para reparar. (del Castillo-Serpa, A. M., 2009).

#### **8.1.2. Variables comunes de la criticidad aplicada**

La matriz de criterios es una variable utilizada para el análisis de criticidad de equipos,

donde se evalúan variables técnicas y operativas como la frecuencia de fallas, el impacto operacional, el costo de mantenimiento, la flexibilidad operacional y el impacto en seguridad, ambiente e higiene. Cada criterio se califica mediante una escala numérica, lo que permite cuantificar el nivel de criticidad y priorizar los equipos según el riesgo asociado a su falla.

**Figura 8**

*Criterios de calificación de criticidad de los equipos.*

|                                       |    |                                                     |   |
|---------------------------------------|----|-----------------------------------------------------|---|
| <b>Frecuencia de fallas: (FF)</b>     |    | <b>Costo de mantenimiento: (CM)</b>                 |   |
| ➤ Pobre mayor a 4 fallas por año:     | 4  | ➤ Mayor o igual a \$60000 :                         | 2 |
| ➤ Promedio 2-3 fallas por año:        | 3  | ➤ Inferior a \$20000:                               | 1 |
| ➤ Buena 1-2 fallas por año:           | 2  |                                                     |   |
| ➤ Excelente menos de 1 falla por año: | 1  |                                                     |   |
| <b>Impacto Operacional: (IO)</b>      |    | <b>Impacto seguridad ambiente e higiene: (ISAH)</b> |   |
| ➤ Parada de toda la planta:           | 10 | ➤ Afecta la seguridad humana:                       | 8 |
| ➤ Parada del sistema o sección:       | 7  | tanto externa como interna                          |   |
| Y                                     |    | y requiere la notificación                          |   |
| Tiene repercusión en otros sistemas.  |    | agentes internos y externos                         |   |
| ➤ Impacta niveles de inventario:      | 4  | de la organización.                                 |   |
| ➤ No genera ningún efecto             | 1  | ➤ Afecta el ambiente e:                             | 7 |
| significativo sobre operaciones       |    | Instalaciones.                                      |   |
| y producción                          |    | ➤ Afecta las instalaciones:                         | 5 |
|                                       |    | Causando daños severos.                             |   |
|                                       |    | ➤ Provoca daños menores:                            | 3 |
|                                       |    | ➤ No provoca ningún daño a:                         | 1 |
|                                       |    | personas ambiente                                   |   |
|                                       |    | o instalaciones                                     |   |
| <b>Flexibilidad Operacional: (FO)</b> |    |                                                     |   |
| ➤ No existe opción de producción:     | 4  |                                                     |   |
| ni repuesto disponible para           |    |                                                     |   |
| Compra.                               |    |                                                     |   |
| ➤ Hay opción de fabricación del:      | 2  |                                                     |   |
| Repuesto.                             |    |                                                     |   |
| ➤ Repuesto disponible en almacén:     | 1  |                                                     |   |

*Nota.* Criterios utilizados para el análisis de criticidad. Adaptado de: (Javier, J. C. C., 2022)

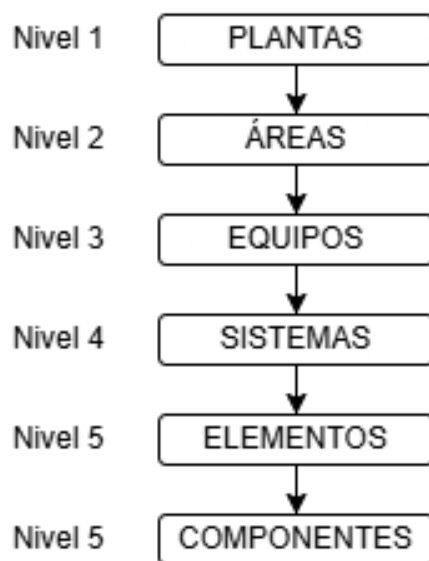
### **8.1.3. Metodología aplicada por la planta extractora ALCOPALMA S.A.**

Una planta extractora de aceite llamada ALCOPALMA S.A. ubicada en Santo Domingo – Quindé, se basó en el proceso de recolección de datos analizando las características y parámetros técnicos de los activos, este trabajo de investigación permite verificar el estado técnico actual y el nivel de criticidad de los equipos en las diferentes áreas que operan, con el fin de elaborar un plan de mantenimiento de los equipos críticos del proceso de producción de la empresa ALCOPALMA S.A. (Hernández F, 2004).

Primero debemos identificar los equipos totales de la planta mediante el siguiente grafico:

**Figura 9**

*Criterios de selección de los equipos.*



*Nota.* Imagen realizada por el software por draw.io. Adaptado de: (García S, 2003)

La planta extractora ALCOPALMA, tiene una estructura jerárquica de niveles presentada que permite organizar los activos de la planta de manera sistemática, facilitando el desarrollo del análisis de criticidad. En el Nivel 1 (Plantas) se contempla la instalación industrial en su conjunto, definiendo el alcance general del análisis y el contexto operativo del proceso productivo. El Nivel 2 (Áreas) divide la planta en secciones funcionales, lo que permite identificar zonas con mayor impacto en la continuidad del proceso. En el Nivel 3 (Equipos) se agrupan los equipos principales de cada área, los cuales constituyen el punto de partida para la evaluación de criticidad, debido a su influencia directa en la producción, la seguridad y los costos de mantenimiento. El Nivel 4 (Sistemas) corresponde a los conjuntos funcionales que permiten la operación de los equipos, como sistemas mecánicos, eléctricos, hidráulicos o de lubricación, permitiendo analizar cómo una falla parcial afecta el desempeño global. El Nivel 5 (Elementos) descompone los sistemas en subconjuntos específicos, facilitando la identificación de modos de falla y puntos críticos. Finalmente, el Nivel 6 (Componentes) representa el mayor nivel de detalle, donde se analizan piezas individuales, lo que permite definir tareas de mantenimiento específicas, repuestos críticos

y estrategias de confiabilidad. Esta jerarquización es fundamental para garantizar un análisis de criticidad estructurado, coherente y enfocado en los activos que generan mayor impacto sobre la operación de la planta.

#### 8.1.4. Resultados del análisis de criticidad

Para el análisis de criticidad se definieron los parámetros presentados en la Figura 12, los cuales permiten evaluar el impacto de las fallas de los equipos sobre el proceso productivo. Los criterios considerados fueron Seguridad y Medio Ambiente, Producción, Calidad y Mantenimiento, a cada uno de los cuales se les asignó una ponderación numérica (1, 0,5 y 0) en función del nivel de afectación identificado.

**Figura 10**

*Parámetros fundamentales.*

| Parámetros                 |  |  | Ponderación | Detalle              |
|----------------------------|--|--|-------------|----------------------|
| Seguridad y Medio Ambiente |  |  | 1           | Peligroso            |
|                            |  |  | 0,5         | Poco Peligroso       |
|                            |  |  | 0           | No Peligroso         |
| Producción                 |  |  | 1           | Afecta               |
|                            |  |  | 0,5         | Afecta Moderadamente |
|                            |  |  | 0           | No Afecta            |
| Calidad                    |  |  | 1           | Afecta               |
|                            |  |  | 0,5         | Afecta Moderadamente |
|                            |  |  | 0           | No Afecta            |
| Mantenimiento              |  |  | 1           | Continuo             |
|                            |  |  | 0,5         | Mensual              |
|                            |  |  | 0           | Semestral            |

*Nota.* La aplicación de estas ponderaciones facilita la priorización de los equipos más críticos, considerando riesgos operacionales, impacto en la producción, afectación a la calidad del producto y frecuencia de intervención en mantenimiento, constituyéndose como una herramienta objetiva para la gestión del mantenimiento y la confiabilidad del sistema. Adaptado de (Lescano Mariño, S. 2019)

### 8.1.5. Índice de criticidad

Los equipos fueron clasificados en niveles de acuerdo con los rangos establecidos en la figura 13. Esta clasificación permite una interpretación clara del grado de impacto de cada equipo dentro del proceso y facilita la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento.

Los equipos con un índice de criticidad entre 3,0 y 4,0 se clasifican como Críticos, representando un alto riesgo en términos de seguridad, producción, calidad o frecuencia de mantenimiento, por lo cual requieren atención prioritaria. Aquellos con valores entre 2,0 y 2,5 se consideran Importantes, ya que presentan una afectación moderada sobre el proceso y deben ser gestionados mediante planes de mantenimiento preventivo y predictivo. Finalmente, los equipos con un índice entre 0,0 y 1,5 se clasifican como prescindibles, al tener un bajo impacto global y permitir una gestión de mantenimiento menos exigente.

**Figura 11**

*Índice de criticidad.*

| Nivel        | Ponderación | Color Significativo                                                                  |
|--------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Crítico      | 3,0 - 4,0   |  |
| Importante   | 2,0 - 2,5   |  |
| Prescindible | 0,0 - 1,5   |  |

*Nota.* Se asignó un código de color a cada nivel de criticidad: rojo para crítico, amarillo para importante y verde para prescindible, con el fin de facilitar la visualización y priorización de los equipos evaluados. Adaptado de (Lescano Mariño, S. 2019)

El análisis de criticidad se aplicó de manera integral a todos los equipos de la planta, con el objetivo de establecer una priorización global de los activos en función de su impacto sobre la seguridad, el medio ambiente, la producción, la calidad y el mantenimiento.

A continuación, se muestra la calificación de los parámetros por área de cada equipo, esto con el fin de mirar la criticidad por áreas.

**Figura 12***Análisis de consecuencias en el área de RECEPCIÓN.*

| <b>Descripción</b> | <b>Seguridad y<br/>Medio<br/>Ambiente</b> | <b>Producción</b> | <b>Calidad</b> | <b>Mantenimiento</b> |
|--------------------|-------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------------|
| Puerta Automática  | 0,5                                       | 0                 | 0              | 0                    |
| Báscula            | 0,5                                       | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Equipo de volteo   | 0,5                                       | 0                 | 0              | 0,5                  |
| Cargador de pista  | 0,5                                       | 0,5               | 0              | 0,5                  |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)**Figura 13***Análisis de consecuencias en el área de ESTERILIZACIÓN.*

| <b>Descripción</b> | <b>Seguridad y<br/>Medio<br/>Ambiente</b> | <b>Producción</b> | <b>Calidad</b> | <b>Mantenimiento</b> |
|--------------------|-------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------------|
| Esterilizador 1    | 1                                         | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Esterilizador 2    | 1                                         | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Esterilizador 3    | 1                                         | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Esterilizador 4    | 1                                         | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Esterilizador 5    | 1                                         | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Esterilizador 6    | 1                                         | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Esterilizador 7    | 1                                         | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Esterilizador 8    | 1                                         | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Esterilizador 9    | 1                                         | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Transportador 1-4  | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Transportador 5-9  | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Compresor          | 0,5                                       | 1                 | 1              | 0,5                  |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)

**Figura 14***Análisis de consecuencias en el área de DESFRUTAMIENTO.*

| <b>Descripción</b>                  | <b>Seguridad y<br/>Medio<br/>Ambiente</b> | <b>Producción</b> | <b>Calidad</b> | <b>Mantenimiento</b> |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------------|
| Transportador a Desfrutador         | 0,5                                       | 1                 | 1              | 0,5                  |
| Desfrutador                         | 0,5                                       | 1                 | 1              | 0,5                  |
| Transportador salida de Desfrutador | 0,5                                       | 1                 | 1              | 0,5                  |
| Transportador a elevadores          | 0,5                                       | 1                 | 1              | 0,5                  |
| Transportador de Raquis             | 0,5                                       | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Triturador de Raquis                | 0,5                                       | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Prensa de Raquis                    | 0,5                                       | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Cargador de raquis y nuez           | 0,5                                       | 0,5               | 0              | 0,5                  |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)**Figura 15***Análisis de consecuencias en el área de EXTRACCION.*

| <b>Descripción</b>   | <b>Seguridad y<br/>Medio<br/>Ambiente</b> | <b>Producción</b> | <b>Calidad</b> | <b>Mantenimiento</b> |
|----------------------|-------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------------|
| Elevador de fruta #1 | 0,5                                       | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Elevador de fruta #2 | 0,5                                       | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Elevador de fruta #3 | 0,5                                       | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Distribuidor #1      | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Distribuidor #2      | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Digestor #1          | 1                                         | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Prensa #1            | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Digestor #2          | 1                                         | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Prensa #2            | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Digestor #3          | 1                                         | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Prensa #3            | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Digestor #4          | 1                                         | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Prensa #4            | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)

**Figura 16***Análisis de consecuencias en el área de CLARIFICACION.*

| <b>Descripción</b>               | <b>Seguridad y<br/>Medio<br/>Ambiente</b> | <b>Producción</b> | <b>Calidad</b> | <b>Mantenimiento</b> |
|----------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------------|
| Tamiz #1                         | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Tamiz #2                         | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Transportador de<br>ariche       | 0,5                                       | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Equipo de licor<br>(Pre1)        | 0,5                                       | 1                 | 1              | 1                    |
| Desarenador #1                   | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Desarenador #2                   | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Desarenador #3                   | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Equipo decanter                  | 0,5                                       | 1                 | 1              | 1                    |
| Equipo de fase<br>liviana        | 0,5                                       | 1                 | 1              | 1                    |
| Sedimentador #1                  | 0,5                                       | 0,5               | 0,5            | 1                    |
| Sedimentador #2                  | 0,5                                       | 0,5               | 0,5            | 1                    |
| Sedimentador #3                  | 0,5                                       | 0,5               | 0,5            | 1                    |
| Sedimentador #4                  | 0,5                                       | 0,5               | 0,5            | 1                    |
| Equipo de aceite<br>húmedo       | 0,5                                       | 1                 | 1              | 1                    |
| Secador al vacío                 | 0,5                                       | 1                 | 1              | 0,5                  |
| Equipo de aceite<br>terminado #1 | 0,5                                       | 1                 | 1              | 1                    |
| Equipo de fase de<br>pesada      | 0,5                                       | 1                 | 1              | 1                    |
| Filtro cepillo #1                | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Filtro cepillo #2                | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Centrifuga Alfa<br>Laval         | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Centrifuga AVM #1                | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Centrifuga AVM #2                | 0,5                                       | 0,5               | 1              | 0,5                  |
| Transportador de<br>lodos        | 0,5                                       | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)

**Figura 17***Análisis de consecuencias en el área de DESFIBRACION.*

| <b>Descripción</b>        | <b>Seguridad y Medio Ambiente</b> | <b>Producción</b> | <b>Calidad</b> | <b>Mantenimiento</b> |
|---------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------|----------------------|
| Rompetorta #1             | 0,5                               | 1                 | 0,5            | 1                    |
| Rompetorta #2             | 0,5                               | 1                 | 0,5            | 1                    |
| Ciclón de fibra           | 0,5                               | 1                 | 0,5            | 0,5                  |
| Ventilador de fibras      | 0,5                               | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Evacuador de fibra        | 0,5                               | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Distribuidor de nueces #1 | 0,5                               | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Elevador de nueces        | 0,5                               | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Distribuidor de nueces #2 | 0,5                               | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Silo de nueces            | 0,5                               | 0,5               | 1              | 0,5                  |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)**Figura 18***Análisis de consecuencias en el área de GENERACION VAPOR.*

| <b>Descripción</b>      | <b>Seguridad y Medio Ambiente</b> | <b>Producción</b> | <b>Calidad</b> | <b>Mantenimiento</b> |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------|----------------------|
| Distribuidor de fibra   | 0,5                               | 0,5               | 0              | 0,5                  |
| Alimentador de fibra #1 | 0,5                               | 0,5               | 0              | 0,5                  |
| Caldero #1              | 1                                 | 1                 | 1              | 1                    |
| Tiro Inducido #1        | 0,5                               | 1                 | 1              | 0,5                  |
| Tiro Forzado #1         | 0,5                               | 1                 | 1              | 0,5                  |
| Bomba de agua #1        | 0,5                               | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Bomba de agua #2        | 0,5                               | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Dosificador químico     | 0,5                               | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Alimentador de fibra #2 | 0,5                               | 0,5               | 0              | 0,5                  |
| Caldero #2              | 1                                 | 1                 | 1              | 1                    |
| Tiro Inducido #2        | 0,5                               | 1                 | 1              | 0,5                  |
| Tiro Forzado #2         | 0,5                               | 1                 | 1              | 0,5                  |
| Bomba de agua #1        | 0,5                               | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Bomba de agua #2        | 0,5                               | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Dosificador químico     | 0,5                               | 0,5               | 0,5            | 0,5                  |
| Condensado              | 1                                 | 0,5               | 0              | 0,5                  |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)

**Figura 19***Análisis de consecuencias en el área de TRATAMIENTO DE AGUA.*

| Descripción             | Seguridad y Medio Ambiente | Producción | Calidad | Mantenimiento |
|-------------------------|----------------------------|------------|---------|---------------|
| Alimentadores de agua   | 0,5                        | 0,5        | 0,5     | 0,5           |
| Tanque receptor de agua | 0,5                        | 0,5        | 0,5     | 0,5           |
| Torre aireación         | 0,5                        | 1          | 1       | 0,5           |
| Tanque floculador       | 0,5                        | 1          | 1       | 0,5           |
| Dosificador Químico     | 0,5                        | 0,5        | 0,5     | 0,5           |
| Filtro desarenador #1   | 0,5                        | 0,5        | 1       | 0,5           |
| Bomba #1                | 0,5                        | 0,5        | 0,5     | 0,5           |
| Filtro desarenador #2   | 0,5                        | 0,5        | 1       | 0,5           |
| Bomba #2                | 0,5                        | 0,5        | 0,5     | 0,5           |
| Bomba agua filtrada     | 0,5                        | 1          | 1       | 0,5           |
| Filtro resina #1        | 0,5                        | 0,5        | 0,5     | 0,5           |
| Filtro resina #2        | 0,5                        | 0,5        | 0,5     | 0,5           |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)**Figura 20***Análisis de consecuencias en el área de ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS.*

| Descripción        | Seguridad y Medio Ambiente | Producción | Calidad | Mantenimiento |
|--------------------|----------------------------|------------|---------|---------------|
| Tanque CPO #2      | 0,5                        | 0,5        | 1       | 0,5           |
| Tanque CPO #3      | 0,5                        | 0,5        | 1       | 0,5           |
| Tanque CPO #4      | 0,5                        | 0,5        | 1       | 0,5           |
| Bomba de despachos | 0,5                        | 1          | 1       | 0,5           |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)**Figura 21***Análisis de consecuencias en el área de SUMINISTRO ENERGETICO.*

| Descripción       | Seguridad y Medio Ambiente | Producción | Calidad | Mantenimiento |
|-------------------|----------------------------|------------|---------|---------------|
| Grupo Electrógeno | 1                          | 1          | 1       | 1             |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)

### 8.1.6. *Formula de criticidad*

El análisis de criticidad se realiza a partir de la suma de las consecuencias asociadas a la falla de los equipos, considerando el impacto en la seguridad y el ambiente, la producción, la calidad y los costos de mantenimiento, tal como se muestra en la ecuación 4 (Javier, J. C. C., 2022)

$$\text{consecuencias} = ISA + CP + CC + CM \quad (4)$$

De forma general, este resultado se multiplica por la frecuencia de fallo para obtener el nivel de criticidad (ecuación 5). Sin embargo, en el presente estudio no se incluye la frecuencia de fallo, debido a que este factor depende de las condiciones operativas y del tipo de equipo de cada planta extractora, por lo que el análisis se centra únicamente en la evaluación de las consecuencias de falla. (Javier, J. C. C., 2022).

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de fallo} \times \text{consecuencias} \quad (5)$$

### 8.1.7. *Resultados de la criticidad de los equipos*

Usando la ecuación 5, los resultados obtenidos fueron:

**Figura 22**

*Análisis de criticidad en el área de RECEPCIÓN.*

| Descripción       | Seguridad y Medio Ambiente | Producción           | Calidad              | Mantenimiento | Puntuación | Tipo de Equipo |
|-------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|---------------|------------|----------------|
| Puerta Automática | Poco Peligroso             | No Afecta            | No Afecta            | Semestral     | 0,5        | Prescindible   |
| Báscula           | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Equipo de volteo  | Poco Peligroso             | No Afecta            | No Afecta            | Mensual       | 1          | Prescindible   |
| Cargador de pista | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | No Afecta            | Mensual       | 1,5        | Prescindible   |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)

**Figura 23***Análisis de criticidad en el área de ESTERILIZACIÓN.*

| Descripción       | Seguridad y Medio Ambiente | Producción | Calidad | Mantenimiento | Puntuación | Tipo de Equipo |
|-------------------|----------------------------|------------|---------|---------------|------------|----------------|
| Esterilizador 1   | Peligroso                  | Afecta     | Afecta  | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Esterilizador 2   | Peligroso                  | Afecta     | Afecta  | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Esterilizador 3   | Peligroso                  | Afecta     | Afecta  | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Esterilizador 4   | Peligroso                  | Afecta     | Afecta  | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Esterilizador 5   | Peligroso                  | Afecta     | Afecta  | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Esterilizador 6   | Peligroso                  | Afecta     | Afecta  | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Esterilizador 7   | Peligroso                  | Afecta     | Afecta  | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Esterilizador 8   | Peligroso                  | Afecta     | Afecta  | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Esterilizador 9   | Peligroso                  | Afecta     | Afecta  | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Transportador 1-4 | Poco Peligroso             | Afecta     | Afecta  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Transportador 5-9 | Poco Peligroso             | Afecta     | Afecta  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Compresor         | Poco Peligroso             | Afecta     | Afecta  | Mensual       | 3          | Crítico        |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)**Figura 24***Análisis de criticidad en el área de DESFRUTAMIENTO.*

| Descripción                         | Seguridad y Medio Ambiente | Producción | Calidad   | Mantenimiento | Puntuación | Tipo de Equipo |
|-------------------------------------|----------------------------|------------|-----------|---------------|------------|----------------|
| Transportador entrada a Desfrutador | Poco Peligroso             | Afecta     | Afecta    | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Desfrutador                         | Poco Peligroso             | Afecta     | Afecta    | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Transportador salida de Desfrutador | Poco Peligroso             | Afecta     | Afecta    | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Transportador a elevadores          | Poco Peligroso             | Afecta     | Afecta    | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Transportador de Raquis             | Poco Peligroso             | Afecta     | Afecta    | Mensual       | 2          | Importante     |
| Triturador de Raquis                | Poco Peligroso             | Afecta     | Afecta    | Mensual       | 2          | Importante     |
| Prensa de Raquis                    | Poco Peligroso             | Afecta     | Afecta    | Mensual       | 2          | Importante     |
| Cargador de raquis y nuez           | Poco Peligroso             | Afecta     | No Afecta | Mensual       | 1,5        | Prescindible   |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)

**Figura 25***Análisis de criticidad en el área de EXTRACCIÓN.*

| Descripción          | Seguridad y Medio Ambiente | Producción              | Calidad                 | Mantenimiento | Puntuación | Tipo de Equipo |
|----------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|------------|----------------|
| Elevador de fruta #1 | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta<br>Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Elevador de fruta #2 | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta<br>Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Elevador de fruta #3 | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta<br>Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Distribuidor #1      | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Distribuidor #2      | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Digestor #1          | Peligroso                  | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Prensa #1            | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Digestor #2          | Peligroso                  | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Prensa #2            | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Digestor #3          | Peligroso                  | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Prensa #3            | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Digestor #4          | Peligroso                  | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Prensa #4            | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)**Figura 26***Análisis de criticidad en el área de CLARIFICACIÓN.*

| Descripción                   | Seguridad y Medio Ambiente | Producción              | Calidad                 | Mantenimiento | Puntuación | Tipo de Equipo |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|------------|----------------|
| Tamiz #1                      | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Tamiz #2                      | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Transportador de ariche       | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta<br>Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Equipo de licor (Pre1)        | Poco Peligroso             | Afecta                  | Afecta                  | Continuo      | 3,5        | Crítico        |
| Desarador #1                  | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Desarador #2                  | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Desarador #3                  | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Equipo decanter               | Poco Peligroso             | Afecta                  | Afecta                  | Continuo      | 3,5        | Crítico        |
| Equipo de fase liviana        | Poco Peligroso             | Afecta                  | Afecta                  | Continuo      | 3,5        | Crítico        |
| Sedimentador #1               | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta<br>Moderadamente | Continuo      | 2,5        | Importante     |
| Sedimentador #2               | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta<br>Moderadamente | Continuo      | 2,5        | Importante     |
| Sedimentador #3               | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta<br>Moderadamente | Continuo      | 2,5        | Importante     |
| Sedimentador #4               | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta<br>Moderadamente | Continuo      | 2,5        | Importante     |
| Equipo de aceite humedo       | Poco Peligroso             | Afecta                  | Afecta                  | Continuo      | 3,5        | Crítico        |
| Secador al vacio              | Poco Peligroso             | Afecta                  | Afecta                  | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Equipo de aceite terminado #1 | Poco Peligroso             | Afecta                  | Afecta                  | Continuo      | 3,5        | Crítico        |
| Equipo de fase de pesada      | Poco Peligroso             | Afecta                  | Afecta                  | Continuo      | 3,5        | Crítico        |
| Filtro cepillo #1             | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Filtro cepillo #2             | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Centrifuga Alfa Laval         | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Centrifuga AVM #1             | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Centrifuga AVM #2             | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta                  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Transportador de lodos        | Poco Peligroso             | Afecta<br>Moderadamente | Afecta<br>Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)

**Figura 27***Análisis de criticidad en el área de DESFIBRACIÓN.*

| Descripción               | Seguridad y Medio Ambiente | Producción           | Calidad              | Mantenimiento | Puntuación | Tipo de Equipo |
|---------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|---------------|------------|----------------|
| Rompertorta #1            | Poco Peligroso             | Afecta               | Afecta Moderadamente | Continuo      | 3          | Crítico        |
| Rompertorta #2            | Poco Peligroso             | Afecta               | Afecta Moderadamente | Continuo      | 3          | Crítico        |
| Ciclón de fibra           | Poco Peligroso             | Afecta               | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Ventilador de fibras      | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Evacuador de fibra        | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Distribuidor de nueces #1 | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Elevador de nueces        | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Distribuidor de nueces #2 | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Silo de nueces            | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta               | Mensual       | 2,5        | Importante     |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)**Figura 28***Análisis de criticidad en el área de GENERACIÓN DE VAPOR.*

| Descripción             | Seguridad y Medio Ambiente | Producción           | Calidad              | Mantenimiento | Puntuación | Tipo de Equipo |
|-------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|---------------|------------|----------------|
| Distribuidor de fibra   | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | No Afecta            | Mensual       | 1,5        | Prescindible   |
| Alimentador de fibra #1 | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | No Afecta            | Mensual       | 1,5        | Prescindible   |
| Caldero #1              | Peligroso                  | Afecta               | Afecta               | Continuo      | 4          | Crítico        |
| Tiro Inducido #1        | Poco Peligroso             | Afecta               | Afecta               | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Tiro Forzado #1         | Poco Peligroso             | Afecta               | Afecta               | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Bomba de agua #1        | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Bomba de agua #2        | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Dosificador químico     | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Alimentador de fibra #2 | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | No Afecta            | Mensual       | 1,5        | Prescindible   |
| Caldero #2              | Peligroso                  | Afecta               | Afecta               | Continuo      | 4          | Crítico        |
| Tiro Inducido #2        | Poco Peligroso             | Afecta               | Afecta               | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Tiro Forzado #2         | Poco Peligroso             | Afecta               | Afecta               | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Bomba de agua #1        | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Bomba de agua #2        | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Dosificador químico     | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Condensado              | Peligroso                  | Afecta Moderadamente | No Afecta            | Mensual       | 2          | Importante     |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)

**Figura 29***Análisis de criticidad en el área de TRATAMIENTO DE AGUA.*

| Descripción             | Seguridad y Medio Ambiente | Producción           | Calidad              | Mantenimiento | Puntuación | Tipo de Equipo |
|-------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|---------------|------------|----------------|
| Alimentadores de agua   | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Tanque receptor de agua | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Torre aireación         | Poco Peligroso             | Afecta               | Afecta               | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Tanque floculador       | Poco Peligroso             | Afecta               | Afecta               | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Dosificador Químico     | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Filtro desarenador #1   | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta               | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Bomba #1                | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Filtro desarenador #2   | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta               | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Bomba #1                | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Bomba agua filtrada     | Poco Peligroso             | Afecta               | Afecta               | Mensual       | 3          | Crítico        |
| Filtro resina #1        | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |
| Filtro resina #2        | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta Moderadamente | Mensual       | 2          | Importante     |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)**Figura 30***Análisis de criticidad en el área de ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS.*

| Descripción        | Seguridad y Medio Ambiente | Producción           | Calidad | Mantenimiento | Puntuación | Tipo de Equipo |
|--------------------|----------------------------|----------------------|---------|---------------|------------|----------------|
| Tanque CPO #2      | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Tanque CPO #3      | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Tanque CPO #4      | Poco Peligroso             | Afecta Moderadamente | Afecta  | Mensual       | 2,5        | Importante     |
| Bomba de despachos | Poco Peligroso             | Afecta               | Afecta  | Mensual       | 3          | Crítico        |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)**Figura 31***Análisis de criticidad en el área de SUMINISTRO ENERGETICO.*

| Descripción       | Seguridad y Medio Ambiente | Producción | Calidad | Mantenimiento | Puntuación | Tipo de Equipo |
|-------------------|----------------------------|------------|---------|---------------|------------|----------------|
| Grupo Electrógeno | Peligroso                  | Afecta     | Afecta  | Continuo      | 4          | Crítico        |

*Nota.* Adaptado: (Lescano Mariño, S. 2019)

### **8.1.8. *Priorización de equipos***

Una vez realizado el análisis de criticidad, se establece una base técnica que permite priorizar la evaluación de los equipos más críticos de la planta. Este enfoque es fundamental, ya que direcciona los esfuerzos de mantenimiento hacia aquellos activos cuya falla genera mayor impacto sobre la producción, la seguridad y la operación general de cualquier planta extractora.

A partir del análisis, se procede inicialmente a evaluar los equipos clasificados como de alta criticidad, con el fin de analizar y comparar las distintas estrategias de mantenimiento empleadas en el sector extractivo de aceite de palma en Colombia. Entre estas estrategias se incluyen el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo y el mantenimiento basado en condición, considerando su aplicabilidad, efectividad y viabilidad técnica en el contexto operativo de una planta extractora.

Este enfoque permite seleccionar las estrategias de mantenimiento más adecuadas para los equipos críticos, optimizando la confiabilidad operativa y reduciendo la probabilidad de fallas no programadas. En consecuencia, el análisis de criticidad se consolida como una herramienta clave para la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento, al servir como punto de partida para la evaluación técnica de las estrategias de mantenimiento utilizadas en la industria extractora de aceite de palma en Colombia.

## 9. Estrategias de mantenimiento

### 9.1. Estrategia aplicada basándose en RCM

La estrategia de mantenimiento centrada en la confiabilidad (RCM) se aplica exclusivamente a los equipos clasificados como críticos, los cuales fueron previamente identificados mediante un análisis de criticidad. Esta selección permite enfocar el esfuerzo técnico en aquellos equipos cuya falla genera mayores consecuencias en términos de seguridad, medio ambiente, producción y costos de operación. A partir de esta metodología, se analizan las funciones de cada equipo, los modos de falla potenciales y sus efectos sobre el proceso, con el fin de establecer tareas de mantenimiento técnicamente justificadas. De esta manera, el RCM permite definir acciones preventivas, predictivas o de monitoreo basadas en la condición real del activo, evitando intervenciones innecesarias y reduciendo la probabilidad de fallas funcionales. La aplicación de esta estrategia contribuye a mejorar la confiabilidad operacional, optimizar los recursos de mantenimiento y asegurar la continuidad del proceso productivo.

#### Figura 32

*Equipos críticos de la planta extractora de aceite de palma Agroince Ltda.*

| EQUIPO                      |
|-----------------------------|
| Distribuidor de vapor       |
| Ciclón de fibras y ductos   |
| Esclusa rotatoria de fibras |
| Tambor Pulidor              |
| Columna de fibras           |
| Deslodadora                 |
| Expellers                   |
| Esterilizadores             |
| Desfrutador                 |
| Elevador de fruto           |
| Mesa de transferencia       |
| Digestor                    |
| Prensa                      |
| Bomba de crudos             |
| Tanque de lodos             |

*Nota.* Adaptado de: (Sarmiento Ferreira, R. A., 2015)

Una vez identificados los equipos más críticos, el RCM se emplea para analizar de manera sistemática sus funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos y consecuencias, con el fin de definir las estrategias de mantenimiento más adecuadas para cada caso. Este enfoque evita la aplicación generalizada de rutinas de mantenimiento y permite establecer tareas preventivas, predictivas o acciones correctivas justificadas técnicamente, garantizando la confiabilidad operativa de los equipos críticos de la planta.

### 9.1.1. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

El proceso de toma de decisiones se integra dentro de una estructura estratégica única, la cual es aplicable a cada uno de los módulos de falla definidos para los equipos críticos. Esta estructura unificada permite analizar de manera sistemática los modos de falla de cada elemento instalado, asegurando coherencia y trazabilidad en la selección de las estrategias de mantenimiento.

Para el desarrollo del análisis, toda la información necesaria se consolida en un documento denominado Hoja de Información RCM, el cual constituye la base técnica del estudio. En esta hoja se registran de forma ordenada el sistema y subsistema a evaluar, la función del equipo, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos asociados a cada falla, permitiendo una evaluación completa del comportamiento del activo ante condiciones de falla.

**Figura 33**

*Hoja de información RCM.*

|                                                                                                                                          |                                         |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                             |                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| HOJA DE INFORMACIÓN RCM                                                                                                                  | SISTEMA<br><i>Turbina a gas de 5MW</i>  |                                                 | SISTEMA N°<br>216-05                                                                                                                                                                                                                                        | Facilitador:<br>N Smith |
|                                                                                                                                          | SUB-SISTEMA<br><i>Sistema de escape</i> |                                                 | SUB SISTEMA N°<br>216-05-11                                                                                                                                                                                                                                 | Auditor:<br>P Jones     |
| ANÁLISIS DE MODO FALLA Y EFECTO                                                                                                          |                                         |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                             |                         |
| FUNCION                                                                                                                                  |                                         | FALLA FUNCIONAL                                 | MODO DE FALLA                                                                                                                                                                                                                                               | EFECTO DE LA FALLA      |
| 1 Conducir sin restricciones todos los gases calientes de la turbina hasta un punto fijado a 10m encima del techo de la sala de turbinas | A Incapaz de canalizar los gases        | 1 Montantes del silenciador corroídos           | El ensamble del silenciador colapsa y cae al fondo del conducto. La contrapresión hace que la turbina se acelere violentamente y se pare a una alta temperatura de escape. Tiempo de parada de maquina para remplazar el silenciador, hasta cuatro semanas. |                         |
|                                                                                                                                          | B Flujo de gases restringido            | 1 Se desprende parte del silenciador por fatiga | Según la naturaleza del atasco, la temperatura de escape puede subir hasta para la turbina. Partículas de desecho sueltas podrían dañar partes de la turbina. Tiempo de parada de maquina para reparar el silenciador, cuatro semanas.                      |                         |

*Nota.* Adaptado de: (Sarmiento Ferreira, R. A., 2015)

Se presenta un ejemplo de la *Hoja de Información RCM* aplicada a una turbina a gas de 5 MW, específicamente al sistema de escape, y constituye una herramienta fundamental dentro de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En esta hoja se organiza de manera estructurada la información necesaria para el Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMEF), partiendo de la identificación del sistema y subsistema, así como de los responsables del análisis, lo que garantiza trazabilidad y control del proceso. Posteriormente, se definen las funciones del sistema, describiendo de forma clara la condición de operación esperada, seguida de la falla funcional, que representa la incapacidad del sistema para cumplir dicha función. A partir de ello, se identifican los modos de falla, los cuales describen las causas específicas que originan la falla funcional, y finalmente se analizan los efectos de la falla, donde se evalúan las consecuencias sobre la operación, la integridad del equipo, la seguridad y la disponibilidad de la máquina. Esta hoja permite relacionar de manera directa la función del sistema con sus posibles fallas y consecuencias, proporcionando una base técnica sólida para la toma de decisiones en la definición de tareas de mantenimiento, priorización de recursos y aplicación efectiva de la estrategia RCM en equipos críticos.

**Figura 34**

*Hoja de decisión RCM.*

|                             |    |    |                                 |             |   |   |          |          |          |                   |    |                |                 |              |  |       |                   |         |                  |  |
|-----------------------------|----|----|---------------------------------|-------------|---|---|----------|----------|----------|-------------------|----|----------------|-----------------|--------------|--|-------|-------------------|---------|------------------|--|
| <b>HOJA DE DECISIÓN RCM</b> |    |    |                                 | SISTEMA     |   |   |          |          |          |                   |    | SISTEMA N°     |                 | Facilitador: |  | Fecha |                   | Hoja N° |                  |  |
|                             |    |    |                                 | SUB-SISTEMA |   |   |          |          |          |                   |    | SUB SISTEMA N° |                 | Auditor:     |  | Fecha |                   | de      |                  |  |
| Referencia de Información   |    |    | Evaluación de las consecuencias |             |   |   | H1<br>S1 | S2<br>S2 | H3<br>S3 | Acción a falta de |    |                | Tarea Propuesta |              |  |       | Intervalo inicial |         | A realizarse por |  |
|                             |    |    |                                 |             |   |   | O1       | O2       | O3       |                   |    |                |                 |              |  |       |                   |         |                  |  |
| F                           | FF | FM | H                               | S           | E | O | N1       | N2       | N3       | H4                | H5 | H6             |                 |              |  |       |                   |         |                  |  |
|                             |    |    |                                 |             |   |   |          |          |          |                   |    |                |                 |              |  |       |                   |         |                  |  |
|                             |    |    |                                 |             |   |   |          |          |          |                   |    |                |                 |              |  |       |                   |         |                  |  |
|                             |    |    |                                 |             |   |   |          |          |          |                   |    |                |                 |              |  |       |                   |         |                  |  |
|                             |    |    |                                 |             |   |   |          |          |          |                   |    |                |                 |              |  |       |                   |         |                  |  |
|                             |    |    |                                 |             |   |   |          |          |          |                   |    |                |                 |              |  |       |                   |         |                  |  |
|                             |    |    |                                 |             |   |   |          |          |          |                   |    |                |                 |              |  |       |                   |         |                  |  |
|                             |    |    |                                 |             |   |   |          |          |          |                   |    |                |                 |              |  |       |                   |         |                  |  |
|                             |    |    |                                 |             |   |   |          |          |          |                   |    |                |                 |              |  |       |                   |         |                  |  |
|                             |    |    |                                 |             |   |   |          |          |          |                   |    |                |                 |              |  |       |                   |         |                  |  |
|                             |    |    |                                 |             |   |   |          |          |          |                   |    |                |                 |              |  |       |                   |         |                  |  |

*Nota.* Adaptado de: (Sarmiento Ferreira, R. A., 2015)

Se muestra la *Hoja de Decisión RCM*, la cual se utiliza una vez completada la hoja de información RCM y el análisis de modos de falla y efectos del sistema de escape de la turbina a gas de 5 MW. En esta etapa, cada modo de falla previamente identificado se evalúa en función de sus consecuencias sobre la seguridad, el medio ambiente, la operación y los costos. A partir de esta

evaluación, se determina si la falla es oculta, funcional u operacional, lo que permite definir la acción frente a la falla.

Para el caso del sistema de escape, el modo de falla asociado al deterioro o colapso del silenciador se clasificaría como una falla con impacto operacional y potencial riesgo para el equipo, por lo que la hoja de decisión conduciría a la definición de una tarea de mantenimiento proactiva. En la columna de *tarea propuesta* se establecerían actividades como inspecciones periódicas del silenciador, monitoreo de temperatura de gases de escape y verificación del estado estructural. Posteriormente, se define el intervalo inicial de ejecución con base en la experiencia operativa y las condiciones de servicio, así como el responsable de la tarea, asegurando su correcta implementación. De esta manera, la hoja de decisión RCM permite seleccionar de forma lógica y estructurada el plan de mantenimiento más adecuado, alineado con la criticidad y las consecuencias de falla del equipo.

## 9.2. Mantenimiento productivo total (TPM)

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) se fundamenta en un conjunto de actividades nucleares, conocidas como sus 8 pilares tradicionales, cuyo objetivo es maximizar la eficiencia de los equipos, reducir pérdidas y promover la participación de toda la organización. Cada pilar cumple una función específica dentro del sistema de gestión del mantenimiento. (Suzuki. T, 2017).

### 9.2.1. Los 8 pilares del Mantenimiento Productivo Total (TPM)

- **Mejoras orientadas:** Este pilar se enfoca en la identificación y eliminación sistemática de las principales pérdidas que afectan la eficiencia de los equipos, tales como fallas recurrentes, paradas no programadas y micro paradas. Se apoya en equipos de trabajo multidisciplinarios y en el análisis de causa raíz para lograr mejoras sostenibles en el desempeño operativo (Suzuki. T, 2017).
- **Mantenimiento autónomo:** Busca involucrar activamente a los operadores en el cuidado básico de los equipos mediante actividades como limpieza, inspección, lubricación y detección temprana de anomalías. Este pilar fortalece el sentido de propiedad sobre los equipos y reduce la ocurrencia de fallas incipientes (Suzuki. T, 2017).

- **Mantenimiento planificado:** Consiste en la planificación y ejecución estructurada de tareas preventivas y predictivas, basadas en la condición del equipo y su historial de fallas. Su objetivo es minimizar paradas imprevistas, mejorar la disponibilidad y optimizar el uso de recursos de mantenimiento (Suzuki. T, 2017).
- **Formación y adiestramiento:** Está orientado a desarrollar las competencias técnicas del personal de operación y mantenimiento, asegurando una correcta ejecución de las actividades y reduciendo errores humanos que puedan afectar la confiabilidad y seguridad de los equipos (Suzuki. T, 2017).
- **Gestión temprana de los equipos:** Aplica principios de confiabilidad y mantenibilidad desde las etapas de diseño, selección o adquisición de nuevos equipos. Este pilar busca reducir fallas desde el inicio del ciclo de vida del activo y facilitar las tareas de operación y mantenimiento.
- **Mantenimiento de calidad:** Se enfoca en mantener las condiciones operativas que garanticen la calidad del producto final, evitando defectos originados por desviaciones en el funcionamiento de los equipos. Permite asegurar procesos estables y repetibles (Suzuki. T, 2017).
- **Actividades de departamentos administrativos y de apoyo:** Integra a las áreas administrativas y de soporte dentro del sistema TPM, alineando procesos como compras, logística, planificación y gestión documental con los objetivos de confiabilidad y eficiencia operacional (Suzuki. T, 2017).
- **Gestión de seguridad y entorno:** Tiene como finalidad eliminar condiciones inseguras, prevenir accidentes laborales y reducir impactos ambientales, promoviendo un entorno de trabajo seguro, saludable y sostenible dentro de la organización (Suzuki. T, 2017).

En la planta oleaginosa de palma, la implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) se desarrolló considerando sus ocho pilares tradicionales; sin embargo, el enfoque principal se orientó hacia el Mantenimiento Autónomo y la metodología SMED, debido a su impacto directo en la confiabilidad de los equipos y la continuidad del proceso productivo. De acuerdo con Mendes et al. (2023), el TPM se desarrolla en siete pasos, los cuales se describen a continuación:

- **Limpieza inicial:** En esta etapa se realiza una limpieza profunda de los equipos con el fin de identificar la presencia de contaminantes, reconocer los componentes de la máquina y detectar posibles daños. Además, se registran aquellas zonas o contaminantes que

presentan dificultad para su limpieza (Herrera Uribe & Rivero Davila, 2024).

- **Contra medidas a las fuentes de contaminación:** En este paso se implementan acciones para reducir o eliminar las fuentes de contaminación detectadas anteriormente. Asimismo, se proponen mejoras en el diseño o adecuaciones en los equipos que faciliten las labores de limpieza y mantenimiento (Herrera Uribe & Rivero Davila, 2024).
- **Estándares de limpieza y lubricación:** En esta fase se capacita a los operarios en la identificación de los puntos y conductos de lubricación, así como en la correcta aplicación de lubricantes. Se establecen estándares claros de limpieza y lubricación, definiendo métodos, frecuencias y herramientas adecuadas (Herrera Uribe & Rivero Davila, 2024).
- **Inspección general:** En este paso se instruye a los operarios para que, mediante inspecciones visuales y funcionales, puedan identificar condiciones anormales o señales de falla en los equipos, basándose en los estándares definidos en las etapas anteriores (Herrera Uribe & Rivero Davila, 2024).
- **Inspección de Mantenimiento Autónomo:** Aquí se diseña una rutina de inspección específica que integra las actividades del Mantenimiento Autónomo con las del departamento de mantenimiento, evitando duplicidad de tareas. En esta etapa se consolidan los primeros estándares formales del Mantenimiento Autónomo (Herrera Uribe & Rivero Davila, 2024).
- **Estandarización:** En esta fase se establecen controles visuales como listas de verificación, tarjetas, señalización y diagramas, que facilitan a los operarios el cumplimiento de los estándares de limpieza, lubricación e inspección, asegurando la correcta ejecución de las actividades (Herrera Uribe & Rivero Davila, 2024).
- **Disciplina y mejora continua:** En el último paso se busca que el Mantenimiento Autónomo se convierta en una práctica permanente dentro de la operación. Los operarios asumen de manera constante el cuidado básico de los equipos, se refuerza el cumplimiento de los estándares y se promueve la mejora continua mediante evaluaciones periódicas y la actualización de los procedimientos según la experiencia en planta (Herrera Uribe & Rivero Davila, 2024).

### 9.3. SMED

La metodología SMED (Single-Minute Exchange of Die) fue aplicada en una planta oleaginosa de palma con el objetivo de reducir los tiempos de cambio y alistamiento de equipos críticos del proceso productivo, tales como prensas, sistemas de transporte y equipos de clasificación. La implementación se enfocó en la identificación de actividades internas y externas durante los cambios operativos, permitiendo reorganizar tareas, estandarizar procedimientos y disminuir los tiempos muertos asociados a paradas no productivas.

De acuerdo con Mendes et al. (2023), la aplicación de SMED en plantas industriales del sector oleaginoso contribuye significativamente a mejorar la disponibilidad de los equipos, optimizar la continuidad del proceso y aumentar la eficiencia operativa. En la planta analizada, esta metodología permitió una mejor planificación de las actividades de mantenimiento y operación, alineándose con los principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM).

*Conceptos clave del SMED:*

- Separar actividades internas (con la máquina detenida) y externas (con la máquina en operación).
- Convertir la mayor cantidad posible de actividades internas en externas.
- Simplificar, estandarizar y eliminar ajustes innecesarios.
- Usar dispositivos rápidos (guías, topes, marcas, herramientas dedicadas).

*Beneficios principales:*

- Menor tiempo muerto de los equipos.
- Mayor disponibilidad y productividad.
- Reducción de costos operativos.
- Mejora en la planificación y flexibilidad del proceso.

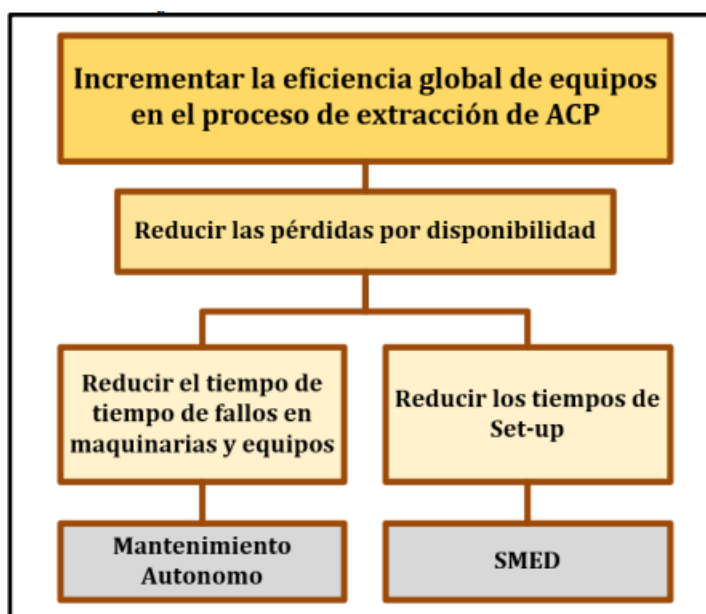
La empresa plantea como objetivo principal incrementar la eficiencia global de los equipos (OEE) en el proceso de extracción de aceite crudo de palma. Para lograrlo, se enfoca en la reducción de las pérdidas por disponibilidad, las cuales están directamente asociadas a paradas no programadas y tiempos improductivos de los equipos (Herrera Uribe & Rivero Davila, 2024).

En este sentido, la estrategia propuesta se basa en dos líneas de acción. Por un lado, la reducción del tiempo de fallas en maquinarias y equipos mediante la implementación del mantenimiento Autónomo, permitiendo a los operarios detectar condiciones anormales y prevenir

fallas tempranas. Por otro lado, la empresa plantea la reducción de los tiempos de set-up a través de la aplicación de la metodología SMED, con el fin de disminuir los tiempos de cambio y alistamiento de los equipos (Herrera Uribe & Rivero Davila, 2024).

**Figura 35**

*Árbol de objetivos.*

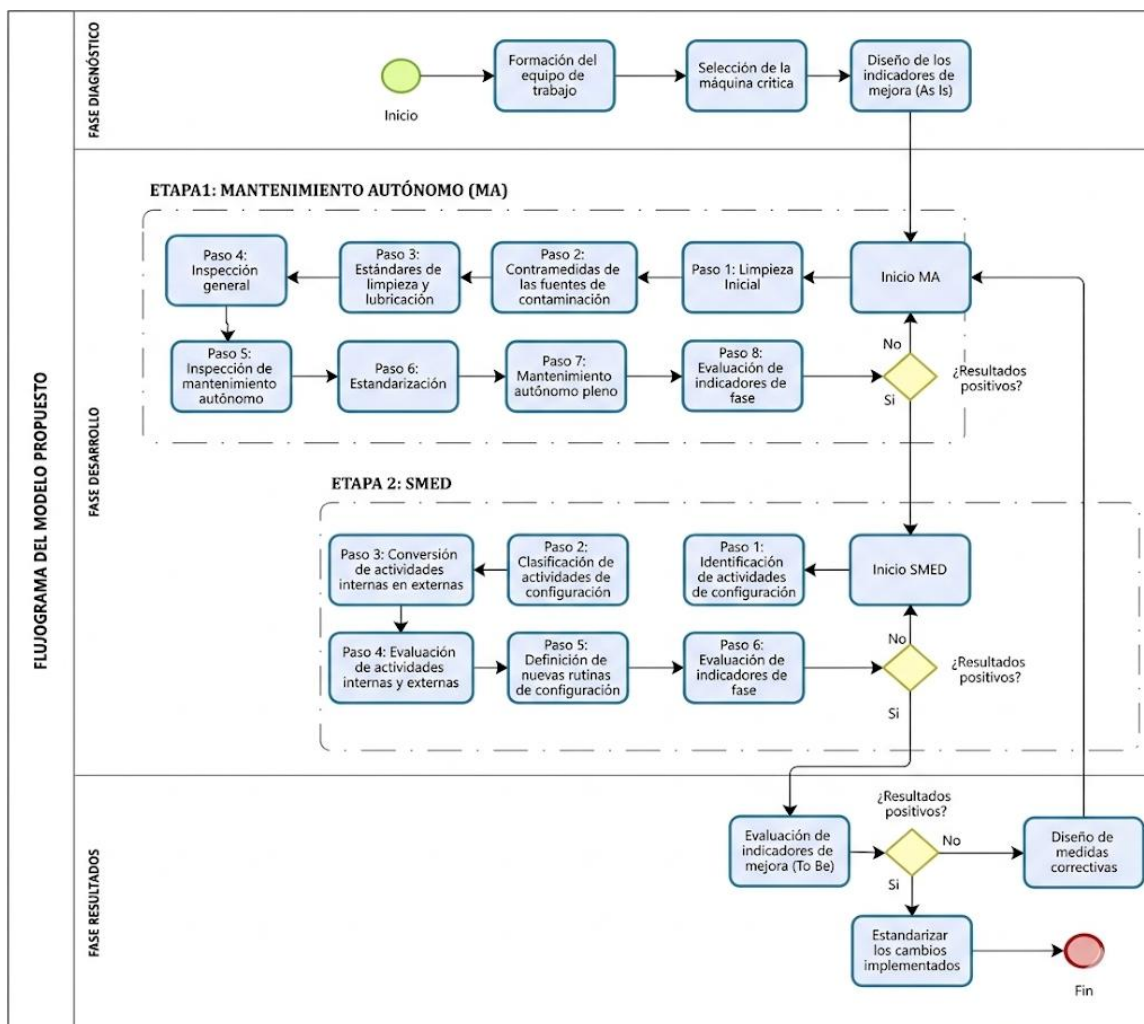


*Nota.* Adaptado de: (Herrera Uribe & Rivero Davila, 2024).

De esta manera, la combinación del Mantenimiento Autónomo y SMED se presenta como una estrategia integral para mejorar la disponibilidad de los equipos y, en consecuencia, aumentar la eficiencia global del proceso productivo.

### **9.3.1. Implementación de la propuesta**

A continuación, se presenta un flujograma del modelo propuesto por la empresa, el cual describe la secuencia metodológica para mejorar la eficiencia global de los equipos en el proceso de extracción de aceite crudo de palma. Dicho flujograma integra las fases de diagnóstico, desarrollo y resultados, mediante la aplicación del Mantenimiento Autónomo (MA) y la metodología SMED.

**Figura 36***Proceso de implementación de modelo.**Nota.* Adaptado de: (Herrera Uribe & Rivero Davila, 2024).

### 9.3.2. Etapa 1: Mantenimiento Autónomo (MA)

La etapa de Mantenimiento Autónomo tiene como objetivo involucrar al personal operativo en el cuidado básico de los equipos, fortaleciendo la detección temprana de fallas y la conservación de las condiciones óptimas de operación. Esta etapa inicia con la limpieza inicial, la cual permite eliminar suciedad acumulada y revelar posibles anomalías en el equipo. Posteriormente, se implementan contramedidas para eliminar las fuentes de contaminación, evitando la recurrencia de fallas asociadas a polvo, residuos o fugas. A continuación, se establecen estándares de limpieza y lubricación, garantizando la uniformidad de las actividades y reduciendo la variabilidad en la

ejecución. La inspección general y la inspección de mantenimiento autónomo permiten que los operadores identifiquen condiciones anormales de forma sistemática. Finalmente, se realiza la estandarización de actividades, consolidando el proceso hasta alcanzar un mantenimiento autónomo pleno, en el cual el equipo se mantiene bajo control operativo con apoyo del área de mantenimiento. Durante cada fase se evalúan indicadores de desempeño, asegurando la efectividad del proceso antes de avanzar.

### **9.3.3. Etapa 2: SMED**

La etapa SMED (Single Minute Exchange of Die) se enfoca en la reducción de los tiempos de parada asociados a cambios de formato, ajustes o configuraciones de los equipos. Esta etapa inicia con la identificación de las actividades de configuración, permitiendo comprender el proceso completo de cambio. Posteriormente, dichas actividades se clasifican en internas y externas, diferenciando aquellas que requieren parada del equipo de las que pueden realizarse en operación. A partir de esta clasificación, se promueve la conversión de actividades internas en externas, disminuyendo el tiempo de indisponibilidad del equipo. El proceso continúa con la evaluación de actividades internas y externas y la definición de nuevas rutinas de configuración, orientadas a simplificar y estandarizar los cambios. Finalmente, se realiza la evaluación de indicadores de la fase, verificando la reducción efectiva de los tiempos de paro y la mejora en la disponibilidad del equipo.

## 10. Discusión

Los resultados del presente estudio evidencian que el análisis de criticidad constituye una herramienta fundamental para la gestión del mantenimiento en plantas extractoras de aceite de palma, ya que permite jerarquizar los equipos en función del impacto de sus fallas sobre la seguridad, el ambiente, la producción, la calidad y los costos de mantenimiento. Tal como se observó en el caso analizado, la aplicación de criterios ponderados facilita la identificación objetiva de los equipos críticos, orientando la toma de decisiones y evitando la asignación indiscriminada de recursos de mantenimiento.

A partir del análisis de criticidad, se confirma que la priorización de equipos es un paso previo indispensable para la implementación efectiva del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). El RCM demostró ser una metodología adecuada para equipos clasificados como críticos, ya que permite analizar de forma estructurada sus funciones, fallas potenciales, modos de falla y consecuencias, garantizando que las tareas de mantenimiento estén técnicamente justificadas. Este enfoque evita rutinas genéricas y promueve estrategias específicas, alineadas con el nivel de riesgo y la criticidad real de cada activo.

Sin embargo, los resultados también muestran que la aplicación exclusiva de RCM no es suficiente para mejorar de manera sostenida la disponibilidad de los equipos si no se complementa con estrategias operativas. En este sentido, el mantenimiento autónomo, como pilar del TPM, se presenta como un elemento clave para fortalecer la confiabilidad desde la operación diaria. La participación activa de los operarios en actividades básicas de limpieza, lubricación e inspección permite la detección temprana de condiciones anormales, reduciendo la probabilidad de fallas funcionales en equipos críticos.

De igual forma, la integración de metodologías como SMED contribuye de manera indirecta a la mejora de la disponibilidad operativa, al reducir los tiempos de set-up y las paradas no productivas asociadas a cambios operativos y actividades de mantenimiento. Esto resulta especialmente relevante en plantas extractoras, donde los procesos son continuos y las paradas no programadas generan altos costos operativos.

**Tabla 2***Relación entre estrategias de mantenimiento.*

| ESTRATEGIAS                                                                      | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                  | RESULTADOS ESPERADOS                                                                                                                                                                                                                                                          | REFERENCIAS                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>RCM<br/>(MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD)</b>                         | Metodología estructurada que permite definir estrategias de mantenimiento basadas en las funciones del equipo, sus modos de falla, efectos y consecuencias, enfocándose en los activos críticos del proceso. | Permite priorizar equipos críticos como prensas, decantadores, bombas y sistemas de vapor, reduciendo fallas funcionales, paradas no programadas y riesgos operativos. Optimiza recursos de mantenimiento y mejora la confiabilidad y disponibilidad de la planta extractora. | Moubray, j. (1997). <i>reliability-centered maintenance</i> . industrial press. sarmiento ferreira, r. a. (2015).                                                                                                                                                         |
| <b>TPM<br/>(MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL):<br/>MANTENIMIENTO AUTÓNOMO (MA)</b> | Pilar del TPM que involucra al personal operativo en tareas básicas de mantenimiento como limpieza, lubricación, inspección y detección temprana de anomalías.                                               | Mejora el control operativo de equipos como transportadores, elevadores, prensas y clarificadores. Reduce fallas incipientes, mejora la comunicación entre operación y mantenimiento y aumenta la vida útil de los equipos en la planta extractora.                           | Suzuki, t. (2017). <i>tpm en industrias de proceso</i> . routledge.                                                                                                                                                                                                       |
| <b>SMED</b>                                                                      | metodología orientada a la reducción de tiempos de paro mediante la optimización y estandarización de actividades de cambio, ajuste o configuración de equipos.                                              | disminuye tiempos muertos durante ajustes, limpiezas o cambios operativos en equipos críticos, aumentando la disponibilidad y productividad de la planta extractora                                                                                                           | Herrera uribe, j. m., & rivero davila, d. s. (2024). <i>aplicación del mantenimiento autónomo y smed para incrementar la eficiencia global de los equipos del proceso de extracción de aceite crudo de palma en una empresa oleaginosa</i> repositorio institucional upc. |

A partir de la comparación entre metodologías como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), el Mantenimiento Productivo Total (TPM), el Mantenimiento Autónomo (MA) y SMED, se establece un enfoque integral que permite abordar tanto el análisis técnico de los equipos críticos como la optimización de los procesos operativos.

## Conclusiones

- La gestión de mantenimiento en plantas extractoras de aceite de palma aún presenta una fuerte dependencia del enfoque correctivo, lo que genera fallas recurrentes y paradas no programadas que afectan la disponibilidad y los costos operativos. Se evidenció que la falta de registros técnicos estructurados y de análisis sistemáticos limita la mejora continua del proceso.
- El análisis de criticidad demostró ser una herramienta clave para priorizar equipos según el impacto de sus fallas en seguridad, producción, calidad y mantenimiento, permitiendo enfocar recursos en los activos de mayor riesgo operativo.
- La aplicación de metodologías como AMEF, RCM y TPM proporciona un marco técnico sólido para definir tareas preventivas y predictivas justificadas, reduciendo intervenciones innecesarias y fortaleciendo la confiabilidad operacional.
- La integración de mantenimiento planificado con monitoreo basado en condición contribuye a mejorar indicadores como MTBF, MTTR y disponibilidad, consolidando un modelo de gestión más estratégico, eficiente y sostenible para el sector palmero colombiano.

### Referencias bibliográficas

- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (2009). *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. Springer.
- Bernal, G. A. (2005). *Sinopsis del proceso de la palma de aceite, Volumen 1: Planta de extracción de aceite de palma: sistemas y procesos*. Wambeck Editores.
- Camacho Olmos, S. A., & Paz Cárdenas, M. J. (2024). *Optimización del mantenimiento industrial planta extractora de aceite de palma*. [Trabajo de grado, Corporación Universitaria Remington]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uniremington.edu.co/handle/123456789/3358>
- Capella Rincones, R. E., & Cantillo Barraza, M. M. (2007). *Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para la planta de beneficio C.I. el Roble S. A.* [Trabajo de grado, Universidad del Magdalena]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14923/2151>
- CN Additives. (2024). *Qué es la lipasa y sus funciones*. Blog de CN Additives. <https://cnadditives.com/blog/que-es-la-lipasa/>
- Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993*. “por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.” Diario Oficial No. 41.146. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>
- Coto Javier, J. C., Zavala Kú, A. J., Huitz Chan, G. G., & Olivares Sosa, L. E. (2022). *Aplicación del modelo de criticidad en el mantenimiento de equipos de una planta de extracción de aceite de palma (procesos industriales)*. *Revista Ipsumtec*, 5(3), 17–25. <https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v5i3.126>
- Cueto, C. J. C. (2024) *las causas de una mala gestión de mantenimiento correctivo y el impacto en los resultados al implementar la estrategia de mantenimiento*. [Tesis de Maestría, Tecnológico de Monterrey]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/11285/704189>
- Definiciones. (2023). *Definición de mucilaginoso*. <https://definiciones-de.com/mucilaginoso/>
- del Castillo-Serpa, A. M., Brito-Ballina, M. L., & Fraga-Guerra, E. (2009). *Análisis de criticidad*

- personalizados. *Ingeniería Mecánica*, 12(3), 1-12.  
<https://www.redalyc.org/pdf/2251/225114976001.pdf>
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering Maintenance: A Modern Approach*. CRC Press.
- Dorbessan, J. (2006). Las 5S, herramientas de cambio. *Editorial Universitaria de la UTN*
- Esquivel-Guerrero, M. P., Sánchez-Cruz, M. L., & Zapuche-Moreno, C. O. (2021). La importancia del mantenimiento como una estrategia de competitividad en las empresas del sector minero. *Directorio CONSEJO*, 23, 46-51.
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma). (2024). Informe de gestión 2023. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite.  
[https://www.fedepalma.org/sites/default/files/informe\\_de\\_gestion\\_2023\\_fedepalma.pdf](https://www.fedepalma.org/sites/default/files/informe_de_gestion_2023_fedepalma.pdf)
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma). (2023). Informe anual 2023. <https://www.fedepalma.org/publicaciones/informe-anual-2023>
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma). (2022). *Guías técnicas para la operación y mantenimiento en plantas extractoras de aceite de palma*. Fedepalma.
- Fernandez Mozo, J. M. (2019). Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF). [Trabajo de investigación, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional.  
<https://hdl.handle.net/11537/22284>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). Small-scale palm oil processing in Africa FAO Agricultural Services Bulletin.  
<https://www.fao.org/3/t0557e/T0557E00.htm>
- García, M., & Patiño, L. (2021). Gestión del mantenimiento en plantas extractoras de aceite de palma en Colombia. *Revista Colombiana de Ingeniería Industrial*, 17(2), 45–58.
- García, S. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Ediciones Díaz de Santos S.A.
- Hernández, F. (2004). *Metodología de la Investigación*. Editorial McGraw-Hill.
- Herrera Uribe, J. M., & Rivero Davila, D. S. (2024). *Aplicación del Mantenimiento Autónomo y SMED para incrementar la Eficiencia Global de los Equipos del proceso de extracción de Aceite Crudo de Palma en una empresa oleaginosa* [Trabajo de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional UPC.  
<https://upc.aws.openrepository.com/handle/10757/683988?locale-attribute=es>
- International Electrotechnical Commission (IEC). (2018). *IEC 60812: Failure modes and*

- effects analysis (FMEA and FMECA)*. IEC.
- International Organization for Standardization (ISO). (2014). *ISO 55000: Asset management — Overview, principles and terminology*. ISO.
- International Organization for Standardization (ISO). (2016). *ISO 14224:2016. Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. ISO.
- International Organization for Standardization (ISO). (2018a). *ISO 17359: Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines*. ISO.
- International Organization for Standardization (ISO). (2018b). *ISO 45001: Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use*. ISO.
- Kalenatic, D. (2009). *Gestión de activos físicos: confiabilidad y mantenimiento productivo total*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Kalenatic, D. (2009). *Gestión del mantenimiento centrado en confiabilidad*. Ecoe Ediciones.
- Lescano Mariño, S. (2019). *Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para la extractora aceite de palma Alcopalma S.A.* [Trabajo de grado, Universidad UTE]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.13066/24383>
- López Vega, J. E. (2015). *Sistema de información para la gestión del mantenimiento de los equipos utilizados en la planta extractora de aceite de palma Agroince Ltda Y CÍA S.C.A. – ubicada en km 146 troncal Bucaramanga - San Martín vereda Once Reces*. [Trabajo de grado, Universidad Francisco de Paula Santander]. Repositorio Institucional. <https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/xmlui/handle/123456789/1087>
- Ma, A. N. (1998). 1998). *La planta extractora de aceite de palma : control del proceso*. *Revista Palmas*, 19(especial), 274–279. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/672>
- Moreno Arias, S., & Rivero Acuña, A. (2006). *Programa de mantenimiento en el área de extracción de aceite crudo de palma en Frupalma S.A.* [Trabajo de grado, Universidad del Magdalena]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14923/3970>
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered Maintenance*. Industrial Press Inc.
- Moyano, C. E., Piza, R. E., & Zaruma, J. I. (2013). *Implementación de un plan de mantenimiento autónomo en un taller mecánico industrial*. [Artículo académico, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)]. Repositorio Institucional.

- <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/24981>,
- Pardo Pardo, J. D. (2025). Diseño e implementación de un programa de mejoramiento de los procesos de gestión de mantenimiento en Loma Fresca Sur de Bolívar S.A.S. [Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio Institucional. <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/1abe14cc-0179-4196-b649-697a3186db11/content>
- Pardo, E., Sarmiento, R., & Mayorga, C. L. (2015). Diseño de un programa de mantenimiento aplicado a la planta extractora de Agroince Ltda. y Cía. S.C.A. [Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio Institucional. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/31942>
- Presidencia de la República de Colombia. (2015). *Decreto 1072 de 2015*. Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=72173>
- Ramírez, D., & Rodríguez, A. (2019). Análisis del proceso productivo de una planta extractora de aceite de palma. *Revista Ingeniería e Innovación*, 7(1), 33–41.
- Sarmiento Ferreira, R. A., Esteban Pardo, J. S., & Mayorga Mojica, C. L. (2015). *Diseño de un programa de mantenimiento aplicado a la planta extractora de aceite de palma Agronice Ltda y Cía. S.C.A.* [Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio Institucional. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/31942>.
- Shingo, S. (1985). *A revolution in manufacturing: The SMED system*. Productivity Press
- Smith, R., & Hawkins, B. (2004). *Lean Maintenance*. Elsevier.
- Suzuki, T. (2017). *TPM en industrias de proceso*. Routledge.

## Anexos

Figura 11

*Equipos totales de la planta extractora.*

| EMPRESA: ALCOPALMA S.A.<br>PLANTA: TEOBROMA |                   |                                      |
|---------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| NIVEL 2<br>ÁREA                             | NIVEL 3<br>EQUIPO | NIVEL 4<br>SISTEMA                   |
| Recepción                                   | Puerta Automática | Sistema de control                   |
|                                             |                   | Sistema de lubricación               |
|                                             |                   | Sistema eléctrico                    |
|                                             |                   | Sistema mecánico                     |
|                                             | Báscula           | Sistema de control                   |
|                                             |                   | Sistema eléctrico                    |
|                                             | Equipo de volteo  | Sistema mecánico                     |
|                                             |                   | Sistema de lubricación               |
|                                             |                   | Sistema hidráulico                   |
|                                             | Cargador de pista | Sistema mecánico                     |
|                                             |                   | Sistema mecánico                     |
|                                             |                   | Sistema de lubricación               |
|                                             |                   | Sistema hidráulico                   |
|                                             |                   | Sistema de refrigeración             |
| Esterilización                              | Esterilizador #1  | Sistema de control                   |
|                                             |                   | Sistema de control                   |
|                                             |                   | Sistema eléctrico                    |
|                                             |                   | Sistema de admisión de vapor         |
|                                             |                   | Sistema de salida de vapor           |
|                                             |                   | Sistema neumático                    |
|                                             | Esterilizador #2  | Sistema de admisión de materia prima |
|                                             |                   | Sistema de salida de materia prima   |
|                                             |                   | Sistema de control                   |
|                                             |                   | Sistema eléctrico                    |
|                                             |                   | Sistema de admisión de vapor         |
|                                             |                   | Sistema de salida de vapor           |
|                                             | Esterilizador #3  | Sistema neumático                    |
|                                             |                   | Sistema de admisión de materia prima |
|                                             |                   | Sistema de salida de materia prima   |
|                                             |                   | Sistema de control                   |
|                                             |                   | Sistema eléctrico                    |
|                                             |                   | Sistema de admisión de vapor         |
|                                             |                   | Sistema de salida de vapor           |
|                                             |                   | Sistema neumático                    |
|                                             |                   | Sistema de admisión de materia prima |
|                                             |                   | Sistema de salida de materia prima   |

Continúa...

**Continuación...**

|                  |                                      |
|------------------|--------------------------------------|
| Esterilizador #4 | Sistema de control                   |
|                  | Sistema eléctrico                    |
|                  | Sistema de admisión de vapor         |
|                  | Sistema de salida de vapor           |
|                  | Sistema neumático                    |
| Esterilizador #5 | Sistema de admisión de materia prima |
|                  | Sistema de salida de materia prima   |
|                  | Sistema de control                   |
|                  | Sistema eléctrico                    |
|                  | Sistema de admisión de vapor         |
| Esterilizador #6 | Sistema de salida de vapor           |
|                  | Sistema neumático                    |
|                  | Sistema de admisión de materia prima |
|                  | Sistema de salida de materia prima   |
|                  | Sistema de control                   |
| Esterilizador #7 | Sistema eléctrico                    |
|                  | Sistema de admisión de vapor         |
|                  | Sistema de salida de vapor           |
|                  | Sistema neumático                    |
|                  | Sistema de admisión de materia prima |
| Esterilizador #8 | Sistema de salida de materia prima   |
|                  | Sistema de control                   |
|                  | Sistema eléctrico                    |
|                  | Sistema de admisión de vapor         |
|                  | Sistema de salida de vapor           |
| Esterilizador #9 | Sistema neumático                    |
|                  | Sistema de admisión de materia prima |
|                  | Sistema de salida de materia prima   |
|                  | Sistema de control                   |
|                  | Sistema eléctrico                    |
|                  | Sistema de admisión de vapor         |
|                  | Sistema de salida de vapor           |
|                  | Sistema neumático                    |
|                  | Sistema de admisión de materia prima |
|                  | Sistema de salida de materia prima   |

**Continúa...**

**Continuación...**

|                |                                        |                                                                                                                    |
|----------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Desfrutamiento | Compresor de Pistón                    | Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema mecánico<br>Sistema eléctrico<br>Sistema neumático         |
|                | Transportador<br>Esterilizadores 1-4   | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                              |
|                | Transportador<br>Esterilizadores 5-9   | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                              |
|                | Transportador entrada<br>a Desfrutador | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                              |
|                | Desfrutador                            | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                              |
|                | Transportador salida<br>de Desfrutador | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                              |
|                | Transportador a<br>elevadores          | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                              |
|                | Transportador de<br>Raquis             | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                              |
|                | Triturador de Raquis                   | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                              |
|                | Prensa de Raquis                       | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                              |
|                | Cargador de raquis y<br>nuez           | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema hidráulico<br>Sistema de refrigeración<br>Sistema de control |

**Continúa...**

**Continuación...**

|                      |                      |                                                                                                                                  |
|----------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Digestión y prensado | Elevador de fruta #1 | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                            |
|                      | Elevador de fruta #2 | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                            |
|                      | Elevador de fruta #3 | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                            |
|                      | Distribuidor #1      | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                            |
|                      | Distribuidor #2      | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                            |
|                      | Digestor #1          | Sistema mecánico<br>Sistema de admisión de vapor<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico            |
|                      | Prensa #1            | Sistema mecánico<br>Sistema neumático<br>Sistema hidráulico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico |
|                      | Digestor #2          | Sistema mecánico<br>Sistema de admisión de vapor<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico            |
|                      | Prensa #2            | Sistema mecánico<br>Sistema neumático<br>Sistema hidráulico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico |
|                      | Digestor #3          | Sistema mecánico<br>Sistema de admisión de vapor<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico            |

**Continúa...**

**Continuación...**

|               |                            |                                                                                                                                  |
|---------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Clarificación | Prensa #3                  | Sistema mecánico<br>Sistema neumático<br>Sistema hidráulico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico |
|               | Digestor #4                | Sistema mecánico<br>Sistema de admisión de vapor<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico            |
|               | Prensa #4                  | Sistema mecánico<br>Sistema neumático<br>Sistema hidráulico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico |
|               | Tamiz #1                   | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                            |
|               | Tamiz #2                   | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                            |
|               | Transportador de<br>ariche | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                            |
|               | Equipo de licor (Pre1)     | Sistema hidráulico<br>Sistema de control<br>Sistema mecánico<br>Sistema eléctrico                                                |
|               | Desarenador #1             | Sistema hidráulico                                                                                                               |
|               | Desarenador #2             | Sistema hidráulico                                                                                                               |
|               | Desarenador #3             | Sistema hidráulico                                                                                                               |
|               | Equipo Decanter            | Sistema hidráulico<br>Sistema mecánico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                |
|               | Equipo de fase liviana     | Sistema hidráulico<br>Sistema mecánico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                |
|               | Sedimentador #1            | Sistema hidráulico<br>Sistema mecánico                                                                                           |
|               | Sedimentador #2            | Sistema hidráulico<br>Sistema mecánico                                                                                           |

**Continúa...**

**Continuación...**

|                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| Sedimentador #3            | Sistema hidráulico     |
|                            | Sistema mecánico       |
| Sedimentador #4            | Sistema hidráulico     |
|                            | Sistema mecánico       |
| Equipo de aceite húmedo    | Sistema mecánico       |
|                            | Sistema hidráulico     |
|                            | Sistema de control     |
|                            | Sistema eléctrico      |
| Secador al vacío           | Sistema hidráulico     |
|                            | Sistema eléctrico      |
|                            | Sistema mecánico       |
|                            | Sistema de control     |
| Equipo de aceite terminado | Sistema mecánico       |
|                            | Sistema hidráulico     |
|                            | Sistema de control     |
|                            | Sistema eléctrico      |
| Equipo de fase de pesada   | Sistema hidráulico     |
|                            | Sistema mecánico       |
|                            | Sistema de control     |
|                            | Sistema eléctrico      |
| Filtro cepillo #1          | Sistema hidráulico     |
|                            | Sistema de lubricación |
|                            | Sistema mecánico       |
|                            | Sistema eléctrico      |
|                            | Sistema de control     |
| Filtro cepillo #2          | Sistema hidráulico     |
|                            | Sistema de lubricación |
|                            | Sistema mecánico       |
|                            | Sistema eléctrico      |
|                            | Sistema de control     |
| Centrifuga Alfa Laval      | Sistema hidráulico     |
|                            | Sistema de lubricación |
|                            | Sistema mecánico       |
|                            | Sistema eléctrico      |
|                            | Sistema de control     |
| Centrifuga AVM #1          | Sistema hidráulico     |
|                            | Sistema de lubricación |
|                            | Sistema mecánico       |
|                            | Sistema eléctrico      |
|                            | Sistema de control     |
| Centrifuga AVM #2          | Sistema hidráulico     |
|                            | Sistema de lubricación |
|                            | Sistema mecánico       |
|                            | Sistema eléctrico      |
|                            | Sistema de control     |
| Transportador de lodos     | Sistema mecánico       |
|                            | Sistema de lubricación |
|                            | Sistema de control     |
|                            | Sistema eléctrico      |

**Continúa...**

**Continuación...**

|              |                           |                                                                                                                                         |
|--------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Desfibración | Rompetorta #1             | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                   |
|              | Rompetorta #2             | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                   |
|              | Ciclón de fibra           | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                   |
|              | Ventilador de fibras      | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                   |
|              | Evacuador de fibra        | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                   |
|              | Distribuidor de nueces #1 | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                   |
|              | Elevador de nueces        | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                   |
|              | Distribuidor de nueces #2 | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                   |
|              | Silo de nueces            | Sistema de almacenamiento de nueces                                                                                                     |
|              | Distribuidor de fibra     | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                   |
|              | Alimentador de fibra #1   | Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                   |
|              | Caldera #1                | Sistema de alimentación de agua<br>Sistema de producción de vapor saturado<br>Sistema de distribución de vapor<br>Sistema de Combustión |
|              |                           |                                                                                                                                         |
|              |                           |                                                                                                                                         |

**Continúa...**

**Continuación...**

|                         |                                                                                                                                         |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tiro Inducido #1        | Sistema mecánico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                                             |
| Tiro forzado #1         | Sistema mecánico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                                             |
| Bomba de agua #1        | Sistema mecánico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                                             |
| Bomba de agua #2        | Sistema hidráulico<br>Sistema mecánico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                       |
| Dosificador químico     | Sistema hidráulico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico<br>Sistema mecánico                                                       |
| Alimentador de fibra #2 | Sistema hidráulico<br>Sistema mecánico<br>Sistema de lubricación<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                             |
| Caldera #2              | Sistema de agua de alimentación<br>Sistema de producción de vapor saturado<br>Sistema de distribución de vapor<br>Sistema de Combustión |
| Tiro Inducido #2        | Sistema mecánico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                                             |
| Tiro forzado #2         | Sistema mecánico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                                             |
| Bomba de agua #1        | Sistema mecánico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                                             |
| Bomba de agua #2        | Sistema hidráulico<br>Sistema mecánico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico                                                       |
| Dosificador químico     | Sistema hidráulico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico<br>Sistema mecánico<br>Sistema hidráulico                                 |

**Continúa...**

**Continuación...**

|                             | Condensado                        | Sistema de evacuación de condensados<br>Sistema de almacenamiento de condensado<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico<br>Sistema mecánico<br>Sistema hidráulico<br>Sistema de almacenamiento de condensado tamizado |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tratamiento de agua         | Alimentadores de Agua             | Sistema de control<br>Sistema eléctrico<br>Sistema mecánico<br>Sistema hidráulico                                                                                                                                        |
|                             | Tanque receptor agua              | Sistema hidráulico                                                                                                                                                                                                       |
|                             | Torre aireación                   | Sistema hidráulico                                                                                                                                                                                                       |
|                             | Tanque floculador                 | Sistema hidráulico                                                                                                                                                                                                       |
|                             | Dosificador floculante            | Sistema de control<br>Sistema eléctrico<br>Sistema mecánico<br>Sistema hidráulico                                                                                                                                        |
|                             | Filtro desarenador #1<br>Bomba #1 | Sistema hidráulico<br>Sistema mecánico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico<br>Sistema hidráulico                                                                                                                  |
|                             | Filtro desarenador #2<br>Bomba #2 | Sistema hidráulico<br>Sistema mecánico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico<br>Sistema hidráulico                                                                                                                  |
|                             | Bomba agua filtrada #1            | Sistema mecánico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico<br>Sistema hidráulico                                                                                                                                        |
|                             | Filtro resina #1                  | Sistema hidráulico                                                                                                                                                                                                       |
|                             | Filtro resina #2                  | Sistema hidráulico                                                                                                                                                                                                       |
| Almacenamiento de productos | Tanque CPO #2                     | Sistema hidráulico                                                                                                                                                                                                       |
|                             | Tanque CPO #3                     | Sistema de admisión de vapor<br>Sistema hidráulico                                                                                                                                                                       |
|                             | Tanque CPO #4                     | Sistema de admisión de vapor<br>Sistema hidráulico                                                                                                                                                                       |
|                             | Bomba de despachos                | Sistema de admisión de vapor<br>Sistema mecánico<br>Sistema de control<br>Sistema eléctrico<br>Sistema hidráulico                                                                                                        |

**Continúa...**

**Continuación...**

|                      |                   |                          |
|----------------------|-------------------|--------------------------|
| Suministro eléctrico | Grupo Electrónico | Sistema mecánico         |
|                      |                   | Sistema de refrigeración |
|                      |                   | Sistema eléctrico        |
|                      |                   | Sistema de combustión    |
|                      |                   | Sistema de lubricación   |
|                      |                   | Sistema de control       |

*Nota.* Lescano Mariño, S. 2019.