

Desarrollo de una estrategia de mantenimiento confiable para la eficiencia del conjunto motor-compresor en el sistema de refrigeración industrial de Camagüey S.A

Andres Camilo Bolaño y Juan Carlos Gamarra

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Francisco Saldivia

Magister en Gerencia de Mantenimiento

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Barranquilla

2025

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a Dios, quien ha sido mi guía y fuente constante de inspiración; a mis padres, cuyo amor, esfuerzo y ejemplo han sido el motor que me impulsa a crecer y dar siempre lo mejor de mí; y a mi familia, por su apoyo incondicional, por acompañarme con paciencia y comprensión en cada paso de este camino.

Andres Bolaño

A Dios, por ser mi guía y darme la fortaleza y sabiduría necesarias para alcanzar esta meta. A Él le debo cada paso en este camino. A mis padres, por su amor y sacrificio, por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia. Gracias por creer en mí y apoyarme en cada momento. A mi esposa, por su comprensión, paciencia y por ser mi compañera en esta travesía. Su apoyo y amor han sido mi mayor inspiración. A mi hija, por darme una razón más para esforzarme y seguir adelante. Eres mi mayor motivación y mi mayor orgullo.

Juan Gamarra

### **Agradecimientos**

Agradecemos a Dios, por guiarnos y darnos la fortaleza necesaria para enfrentar cada desafío en este proyecto. A nuestras familias, quienes nos han apoyado incondicionalmente en cada paso, su comprensión y ánimo han sido esenciales para alcanzar esta meta. Expresamos nuestra profunda gratitud a nuestro director de tesis, cuyo conocimiento, paciencia y dedicación han sido fundamentales en el desarrollo de este trabajo. Su guía y apoyo constante nos han inspirado a dar lo mejor de nosotros. A todos aquellos que de alguna manera han contribuido a este logro, muchas gracias.

Andres Bolaño y Juan Gamarra

**Tabla de Contenido**

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Introducción .....  | 10          |
| 2. Objetivos.....   | 12          |
| 2.1 Objetivo General.....                                       | 12          |
| 2.2 Objetivos Específicos.....                                  | 12          |
| 3. Justificación .....  | 13          |
| 4. Marco teórico .....  | 14          |
| 4.1 Camagüey S.A .....  | 14          |
| 4.2 Proceso productivo de la carne bovina en Camagüey S.A. .... | 15          |
| 4.3 Sistema de refrigeración en Camagüey S.A .....              | 17          |
| 4.4 Amoníaco y sus Riesgos .....                                | 18          |
| 4.5 Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM.....            | 19          |
| 4.6 Metodología de implementación del RCM.....                  | 23          |
| 4.7 Formación del equipo de trabajo.....                        | 23          |
| 5. Marco conceptual.....  | 28          |
| 5.1 Mantenimiento Preventivo.....                               | 28          |
| 5.2 Confiabilidad.....  | 28          |
| 5.3 Disponibilidad.....   | 28          |
| 5.4 Criticidad.....   | 28          |
| 6. Alcance .....  | 29          |
| 7. Metodología .....  | 30          |
| 8. Resultados .....   | 32          |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 9. Análisis de resultados ..... | 45 |
| 10. Conclusiones .....          | 47 |
| Referencias bibliográficas..... | 49 |
| ANEXOS .....                    | 51 |

**Lista de Tablas**

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Tabla 1 Histórico de correctivos conjunto motor-compresor FRICK CR6 ..... | 33          |
| Tabla 2 Grado de ocurrencia de fallas .....                               | 39          |
| Tabla 3 Grado de detección de fallas .....                                | 39          |

**Lista de Figuras**

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Figura 1 Sala de desposte bovino en Camagüey S.A.....                                 | 16          |
| Figura 2 Compresor de tornillo FRICK RWB II 134 CR6 de Camagüey S.A.....              | 17          |
| Figura 3 Beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad. ....                 | 21          |
| Figura 4 Grupo típico de revisión de RCM .....  | 24          |
| Figura 5 Algoritmo de decisión RCM SAE JA1012 .....                                   | 27          |
| Figura 6 Equipo multidisciplinario para elaboración de plan RCM.....                  | 32          |
| Figura 7 Diagrama de Pareto de correctivos en la sala de máquinas (2016 – 2023) ..... | 34          |
| Figura 8 Taxonomía de equipos en Camagüey S.A.....                                    | 35          |
| Figura 9 Funciones del conjunto motor compresor .....                                 | 36          |
| Figura 10 Matriz de riesgos utilizada para cálculo de severidad .....                 | 38          |
| Figura 11 Distribución de Modos de Falla por Clasificación de Riesgo .....            | 40          |
| Figura 12 Distribución de tareas por tipo de mantenimiento.....                       | 41          |
| Figura 13 Distribución de tareas según frecuencia de ejecución .....                  | 42          |
| Figura 14 RCM de motor principal del conjunto Motor-Compresor.....                    | 44          |

## Resumen

**Título:** Desarrollo de una estrategia de mantenimiento confiable para la eficiencia del conjunto motor-compresor en el sistema de refrigeración industrial de Camagüey S.A

**Autor:** Andres Camilo Bolaño y Juan Carlos Gamarra

**Palabras Clave:** Mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad, modo de falla

**Descripción:** El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para el conjunto motor-compresor del sistema de refrigeración por amoníaco en la empresa Camagüey S.A. Este equipo fue identificado como componente crítico dentro de la sala de máquinas, debido a su impacto en la continuidad del proceso de refrigeración y en la conservación de la cadena de frío. Para el desarrollo de la propuesta se aplicó la metodología RCM, iniciando con la definición de la taxonomía del sistema, lo cual permitió clasificar los equipos y subsistemas de forma estructurada. Posteriormente, se identificaron las funciones del equipo, las fallas funcionales y los modos de falla asociados. La criticidad de cada modo de falla fue determinada mediante el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR), utilizando una matriz de riesgos adaptada a los criterios de seguridad, ambiente, costos e imagen empresarial. A partir de este análisis, se formularon tareas específicas de mantenimiento, clasificadas en mecánicas, eléctricas, de lubricación y del operador, con su respectiva frecuencia de ejecución. Como resultado, se consolidó un plan de mantenimiento que permite anticiparse a las fallas más relevantes, mejorar la disponibilidad operativa del sistema y enfocar los recursos técnicos hacia actividades de mayor impacto.

### **Abstract**

**Title: Development of a Reliable Maintenance Strategy to Improve the Efficiency of the Motor-Compressor Unit in the Industrial Ammonia Refrigeration System of Camagüey S.A**

**Author(s): Andres Camilo Bolaño and Juan Carlos Gamarra**

**Key Words: Maintenance, reliability, availability, failure mode**

**Description:** The objective of this study is to design a Reliability-Centered Maintenance (RCM) plan for the motor-compressor unit of the ammonia refrigeration system at Camagüey S.A. This equipment was identified as a critical component within the machine room due to its impact on the continuity of the refrigeration process and the preservation of the cold chain. The RCM methodology was applied to develop the proposal, beginning with the definition of the system's taxonomy, which allowed for a structured classification of equipment and subsystems. Subsequently, the equipment's functions, functional failures, and associated failure modes were identified. The criticality of each failure mode was determined through the calculation of the Risk Priority Number (RPN), using a risk matrix adapted to the company's criteria for safety, environmental impact, cost, and corporate image. Based on this analysis, specific maintenance tasks were formulated, classified as mechanical, electrical, lubrication-related, or operator-based, each with its respective execution frequency. As a result, a comprehensive maintenance plan was established, enabling anticipation of the most significant failures, improving the system's operational availability, and focusing technical resources on high-impact activities.

## Introducción

En la industria alimentaria la eficiencia y confiabilidad de los sistemas de refrigeración representan un pilar fundamental para garantizar la seguridad y calidad de los productos. Este principio cobra especial relevancia en empresas como Camagüey S.A., que se dedica a la producción y procesamiento de productos cárnicos bovinos y porcinos, donde el mantenimiento de la cadena de frío es un requisito crítico para el cumplimiento de los estándares del INVIMA y otros entes regulatorios. Conservar la carne entre 4 °C y 7 °C durante las primeras 48 horas posteriores al procesamiento es un Punto Crítico de Control (PCC), ya que cualquier desviación puede favorecer la proliferación microbiana y comprometer la inocuidad del producto final (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013).

Para asegurar estas condiciones, la empresa opera una sala de máquinas equipada con compresores de tornillo rotativo en un sistema de doble ciclo de compresión de vapor, utilizando amoníaco como refrigerante. No obstante, uno de los principales desafíos identificados en los últimos años ha sido la baja confiabilidad del conjunto motor-compresor FRICK CR6, cuya frecuencia de fallas ha generado interrupciones no programadas en la operación de las salas de procesamiento y las cavas refrigeradas. Dichas interrupciones no solo aumentan el riesgo de pérdida de producto, sino que también afectan el cumplimiento de los protocolos sanitarios exigidos por los entes de control.

Entre los años 2019 y 2024, el conjunto motor-compresor ha acumulado un costo total en correctivos de \$122,178,373. Esta situación evidencia una dependencia exclusiva del mantenimiento correctivo sin la implementación de un plan de mantenimiento estructurado que permita anticiparse a las fallas.

En este contexto, la presente monografía tiene como objetivo principal analizar el comportamiento histórico del conjunto motor-compresor FRICK CR6, evaluar sus modos de falla más frecuentes, y proponer una estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad que permita optimizar su disponibilidad operativa.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para el conjunto motor-compresor, considerado como equipo crítico en la sala de máquinas de refrigeración por amoníaco de la empresa Camagüey S.A.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Definir la taxonomía de los equipos del sistema de refrigeración, clasificando los sistemas y subsistemas relacionados.
- Identificar las funciones, fallas funcionales, modos y efectos de falla del conjunto motor-compresor en el sistema de refrigeración, así como sus partes críticas, mediante un análisis de riesgos.
- Generar los listados de actividades y/o rutinas de mantenimiento, teniendo en cuenta la metodología propuesta, para facilitar la programación del mantenimiento.

### 3. Justificación

La gestión eficiente del mantenimiento en sistemas industriales de refrigeración representa un factor determinante para la continuidad operativa, la reducción de costos y la mitigación de riesgos asociados a fallas inesperadas. En este contexto, la implementación de una estrategia de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) se convierte en una herramienta clave para identificar y gestionar los equipos críticos dentro del esquema productivo.

El presente estudio se justifica a partir del análisis de datos históricos de mantenimiento correctivo registrados desde el año 2016 en la sala de máquinas de la empresa Camagüey S.A. Los hallazgos muestran que el compresor FRICK CR6 registra la mayor cantidad de intervenciones correctivas, acumulando 25 casos, cifra que supera de manera considerable a otros equipos como el CR2, con 14 intervenciones, y el CR8, con 13 eventos. En contraste, equipos como los tanques recibidores, intercambiadores, evaporadores y condensadores muestran un número de intervenciones considerablemente más bajo, lo que respalda técnicamente la decisión de enfocar los esfuerzos de mantenimiento en el compresor CR6.

Diseñar un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para el conjunto motor-compresor no solo busca reducir las fallas imprevistas, sino también mejorar la confiabilidad de los procesos de refrigeración. La implementación de este enfoque permitirá identificar y priorizar modos de falla y sus efectos sobre el sistema, lo cual es esencial para garantizar la continuidad de la cadena de frío.

Además, definir la taxonomía de los equipos y clasificar los sistemas y subsistemas relacionados contribuirá a una organización precisa del sistema de refrigeración, facilitando la identificación de componentes críticos y el desarrollo de estrategias adecuadas para su gestión. La generación de rutinas de mantenimiento estructuradas permitirá optimizar la planificación y

ejecución de actividades preventivas, lo que se traducirá en una mayor eficiencia y confiabilidad operativa.

Este plan de mantenimiento no solo impactará positivamente en la seguridad y calidad del producto, sino que también mejorará la rentabilidad de la empresa, reduciendo los costos asociados a paradas no programadas, reparaciones correctivas y pérdidas de producción. Asimismo, prolongará la vida útil del conjunto motor-compresor y asegurará la continuidad del proceso productivo, brindando a la empresa una ventaja competitiva en un entorno que demanda altos estándares de calidad, eficiencia y cumplimiento normativo.

#### **4. Marco teórico**

##### **4.1 Camagüey S.A**

Camagüey S.A. es una empresa líder en la industria cárnica colombiana, dedicada al sacrificio de reses y a la producción, conservación, industrialización y comercialización de carne bovina y sus subproductos. Fundada en 1957, la compañía ha evolucionado constantemente, posicionándose como uno de los frigoríficos con mayor integración y tecnología avanzada en Colombia.

Ubicada estratégicamente en el municipio de Galapa, Atlántico, en el área metropolitana de Barranquilla, Camagüey S.A. se beneficia de una ubicación privilegiada que facilita la distribución nacional e internacional de sus productos. La empresa cuenta con certificaciones internacionales que respaldan su compromiso con la calidad y la inocuidad alimentaria, incluyendo HACCP, FSSC 22000 e ISO 9001:2015.

#### **4.2 Proceso productivo de la carne bovina en Camagüey S.A.**

El proceso productivo de la carne bovina comprende una serie de etapas secuenciales que garantizan la transformación del ganado en productos cárnicos aptos para el consumo humano, asegurando la calidad sanitaria, la inocuidad y la trazabilidad del producto. Este proceso inicia con la recepción del ganado, donde los animales son descargados en los corrales de la planta de beneficio, pesados e inspeccionados sanitariamente para verificar su aptitud para el sacrificio.

Posteriormente, se lleva a cabo la etapa de beneficio o faenado, que incluye el aturdimiento, degüello, desangrado, desollado, evisceración y división de la canal. Cada una de estas operaciones debe realizarse bajo estrictos protocolos de higiene y bienestar animal. Luego del faenado, se realiza una inspección post mortem para detectar posibles signos de enfermedades o alteraciones que inhabiliten la canal para su consumo.

Ministerio de Salud y Protección Social (2013) afirma que, una fase crítica en términos de calidad e inocuidad es la refrigeración de las canales, etapa en la cual las canales bovinas son ingresadas a cámaras de enfriamiento con temperaturas controladas entre 0 °C y 4 °C. Este proceso tiene como objetivo reducir la temperatura interna del producto a menos de 7 °C en un lapso de 48 horas, lo cual disminuye significativamente la proliferación de microorganismos patógenos y preserva las características organolépticas de la carne.

**Figura 1**

*Sala de desposte bovino en Camagüey S.A*



*Nota.* En esta imagen se observa el interior de una sala de la planta de desposte bovino de la empresa Camagüey S.A. *Elaboración propia*

Una vez cumplido el tiempo de enfriamiento, la carne pasa a la zona de desposte y procesamiento, en la figura 1 se puede observar el interior de una sala de desposte bovino de Camagüey S.A, donde se realiza el corte de la canal en partes primarias y secundarias, clasificación, pesaje y empaque de los productos. Dependiendo de su destino, los productos pueden almacenarse refrigerados o congelados. Finalmente, en la etapa de distribución, los

productos cárnicos son transportados en vehículos con sistemas de refrigeración que aseguran el mantenimiento de la cadena de frío hasta los puntos de venta o consumo final.

### 4.3 Sistema de refrigeración en Camagüey S.A

El compresor de tornillo rotativo de amoníaco es un componente crucial en los sistemas industriales de refrigeración debido a su capacidad para aumentar la presión del refrigerante (amoníaco R717) y facilitar su desplazamiento a lo largo del ciclo de refrigeración. Este tipo de compresor es volumétrico y consta de dos rotores helicoidales que giran en direcciones opuestas, comprimiendo el gas de manera continua. Los compresores de tornillo son eficientes, duraderos y operan con pocas vibraciones, lo que los hace ideales para aplicaciones industriales de alta demanda.

#### Figura 2

#### Compresor de tornillo FRICK RWB II 134 CR6 de Camagüey S.A



*Nota.* En la imagen se observa el compresor que será estudiado para el RCM. Se logra apreciar el motor de color azul, conectado al compresor, de color verde y demás componentes del conjunto como tubería de descarga, succión y separador de aceite. *Elaboración propia.*

El ciclo de refrigeración por amoníaco sigue los mismos principios que otros sistemas de refrigeración. Se compone de cuatro etapas principales: compresión, condensación, expansión y evaporación. El amoníaco es comprimido por el compresor, lo que incrementa su temperatura y presión pasa a través del condensador, donde libera calor y se convierte en líquido. Posteriormente, el líquido amoníaco se expande en la válvula de expansión, lo que provoca una caída en su presión y temperatura. Finalmente, en el evaporador, el amoníaco absorbe calor del ambiente y se convierte nuevamente en gas, repitiendo el ciclo.

#### **4.4 Amoníaco y sus Riesgos**

El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) es un refrigerante natural utilizado en muchos sistemas de refrigeración industrial debido a su alta eficiencia energética y bajo impacto ambiental (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2002). Tiene un calor latente extremadamente alto, solo superado por el agua en fluidos comúnmente reconocidos, y por lo tanto proporciona más efecto de refrigeración por unidad de flujo másico que cualquier otro refrigerante utilizado en los sistemas tradicionales de compresión de vapor (Pearson, 2008). Sin embargo, el amoníaco es tóxico y corrosivo, lo que presenta riesgos importantes en su manejo. Debido a estos riesgos, los sistemas de refrigeración que utilizan amoníaco deben contar con medidas de seguridad rigurosas, como sistemas de detección de fugas, ventilación adecuada, y planes de emergencia para asegurar la salud y seguridad de los trabajadores y el entorno.

También hay que tener en cuenta los límites de inflamabilidad del amoníaco. Si es posible que la concentración en el aire de la sala de máquinas alcance un nivel del 20% del límite inferior de inflamabilidad, se deben tomar precauciones adicionales (Pearson, 2008). Estos riesgos resaltan la importancia de implementar estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, así como análisis de criticidad, para evitar incidentes potencialmente peligrosos.

#### **4.5 Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM**

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es una metodología de mantenimiento sistemática que se enfoca en identificar los modos de falla de los equipos y aplicar medidas correctivas o preventivas antes de que las fallas afecten la operación del sistema. El objetivo principal del RCM es preservar las funciones de los equipos críticos, asegurando que estos continúen operando dentro de los estándares aceptables de rendimiento y confiabilidad (Campos-López, Tolentino-Eslava, Toledo-Velázquez & Tolentino-Eslava, 2019). A diferencia de otros enfoques tradicionales de mantenimiento, el RCM no se enfoca únicamente en evitar fallas sino en asegurar que el equipo funcione correctamente dentro de los parámetros de diseño.

Esta metodología tiene sus raíces en un estudio realizado en la década de 1960, inicialmente desarrollado para la industria de la aviación de los Estados Unidos. Este estudio, encargado por la Federal Aviation Administration (FAA), buscaba comprender las causas de las fallas en equipos y sistemas complejos, como los de las aeronaves. Nowlan & Heap (1978) descubrieron que el enfoque tradicional de mantenimiento, basado únicamente en la prevención y el reemplazo periódico, no era efectivo en la mayoría de los casos. Observaron que, en lugar de prevenir fallos, muchas tareas de mantenimiento programadas incrementaban el riesgo de fallos prematuros debido a intervenciones innecesarias. El estudio también subrayó la importancia de entender el contexto operativo de los equipos, ya que el mismo activo puede presentar diferentes

modos de fallo dependiendo de las condiciones de operación. Este hallazgo revolucionó la forma en que se veía el mantenimiento preventivo, impulsando un enfoque más analítico y basado en la confiabilidad, centrado en preservar las funciones críticas de los activos.

El concepto de RCM ha evolucionado desde su origen en la industria aeronáutica. Smith (2011) destaca su aplicación en una variedad de industrias, argumentando que el RCM es un enfoque de mantenimiento basado en el análisis de riesgos y modos de falla, lo que permite alinear las actividades de mantenimiento con los objetivos estratégicos de la organización. Esta evolución ha llevado a que el RCM se utilice no solo en sistemas complejos y de alta criticidad, sino también en equipos industriales más sencillos, ayudando a maximizar la vida útil de los activos.

Asimismo, los estándares internacionales SAE JA1011 y SAE JA1012 proporcionan una guía formal sobre cómo implementar un programa de RCM y qué criterios debe cumplir. Estos estándares detallan cómo identificar y analizar los modos de falla, evaluar su criticidad e implementar un plan de mantenimiento basado en los riesgos asociados con dichos modos de falla. Como se indica en la norma: El objetivo del proceso RCM es desarrollar una serie de políticas que preserven las funciones del activo o sistema en consideración, a los estándares de desempeño que son aceptables para el dueño/usuario (SAE International, 1999). Como resultado, el proceso RCM comienza por la definición de todas las funciones del activo en su contexto operacional.

Moubray (1991) desarrolló una estructura formal para la implementación del RCM. En su libro, detalla siete preguntas fundamentales que guían el proceso de RCM:

1. “¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?”

2. “¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?”
3. “¿Cuál es la causa de cada falla funcional?”
4. “¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?”
5. “¿En qué sentido es importante cada falla?”
6. “¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?”
7. “¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?”

(Moubray, 1991, p.7)

Este enfoque proactivo identifica las fallas antes de que sucedan, reduciendo la ocurrencia de fallas imprevistas, mejorando la disponibilidad del equipo y optimizando los costos del ciclo de vida del equipo.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) aporta una serie de beneficios significativos en diversas áreas clave.

### Figura 3

*Beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad.*

| Calidad   | Tipo de servicio  | Costo  | Tiempo  | Riesgo  |
|---|---|--|---|---|
| <p>Aumenta la disponibilidad en al menos un 8%, por el sólo hecho de implementar.</p> <p>Elimina las fallas crónicas y elimina causas raíces.</p> <p>Aumenta la flexibilidad operacional.</p> <p>La programación de mantenimiento se basa en hecho reales.</p> <p>Proporciona el completo conocimiento de las fallas reales y potenciales de las máquinas, así como de sus causas</p> | <p>Proporciona un mejor clima organizacional para el trabajo en equipo.</p> <p>Ayuda a entender mejor las necesidades y los requerimientos de los clientes.</p> <p>Disminuye las paradas imprevistas.</p> <p>Genera un ambiente de investigación y desarrollo al rededor de los análisis de fallas.</p> | <p>Reduce los niveles de mantenimiento al menos en un 40%</p> <p>Optimiza los programas de mantenimiento.</p> <p>Reduce los costos planeados o no de mantenimiento al menos en un 40%.</p> <p>Alarga la vida de los equipos para propósitos especiales.</p> <p>Todas las actividades de mantenimiento se analizan en un contexto de costo/beneficio.</p> | <p>Mejora los tiempos medios de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad al menos en un 25%.</p> <p>Aumenta los tiempos de funcionalidad de los equipos al menos en un 150% en promedio.</p> <p>Reduce o elimina los tiempos de demora en suministros o búsqueda de recursos o repuestos.</p> <p>Jerarquiza las actividades de mantenimiento, logrando su reducción en el tiempo.</p> | <p>Brinda seguridad e integridad ambiental en todo el desarrollo del proceso, a niveles muy superiores de los que se tienen antes de implementarlo.</p> <p>Las fallas con consecuencias sobre el medio ambiente o la seguridad son las que más se atacan y eliminan.</p> <p>Reduce al mínimo la posibilidad de fallas en cadena o superpuestas.</p> <p>Su razón de calificación al riesgo la hace como una de las tácticas más seguras.</p> |

*Nota.* La figura resume los beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad en términos de calidad, servicio, costos, tiempos y riesgos. Adaptado de *Mora Gutiérrez L.A. (2009). Mantenimiento. Planeación, ejecución y control.* Alfaomega Grupo Editor.

Según la Figura 3, la implementación de RCM aumenta la disponibilidad de los equipos en al menos un 8%, eliminando fallas crónicas y sus causas raíz. En cuanto al tipo de servicio, mejora la dinámica organizacional del trabajo en equipo y reduce las paradas imprevistas. A nivel de costos, RCM optimiza los programas de mantenimiento y reduce los costos no planificados en un 40%, alargando la vida útil de los equipos. Adicionalmente, mejora los tiempos de confiabilidad, disponibilidad de los equipos, reduciendo los tiempos muertos y los retrasos en la cadena de suministro. Finalmente, en términos de riesgo, brinda mayor seguridad ambiental y operativa minimizando la posibilidad de fallas.

Smith (2011) destaca que, al centrarse en la prevención de fallas, el RCM permite reducir las paradas no programadas, mejorar la confiabilidad del sistema y minimizar el costo total de propiedad del equipo. Esto es especialmente importante en la industria de refrigeración, donde las fallas en el sistema pueden llevar a pérdidas significativas de productos perecederos.

Un ejemplo de un caso de éxito de la implementación del RCM en sistemas de compresores de tornillos fue el estudio presentado por Prabata & Wiyana (2012), en el que identificaron varias causas de fallas en el intercooler del compresor de tornillo ZR 5, tales como un bajo caudal de agua de refrigeración debido a un filtro obstruido, la mala calidad del agua de enfriamiento que impedía un adecuado intercambio de calor, y la falta de habilidades para analizar las alarmas de sobrecalentamiento.

Sin embargo, la aplicación combinada de las metodologías de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y la Inspección Basada en Riesgos (RBI) fue clave para identificar

causas adicionales que no habían sido consideradas. Esta metodología permitió una visión más integral del sistema, mejorando la identificación de fallas potenciales y optimizando el mantenimiento preventivo. Así, la combinación de RCM y RBI no solo redujo la recurrencia de problemas, sino que también ofreció un análisis costo-beneficio más preciso, aumentando la efectividad del mantenimiento y asegurando un retorno de inversión en solo tres meses.

#### **4.6 Metodología de implementación del RCM**

Según Mora Gutiérrez (2009), la metodología de implementación del RCM sigue un proceso estructurado que incluye los siguientes pasos:

1. Formación del equipo natural de trabajo.
2. Selección y definición de las áreas y equipos donde se implementará el RCM.
3. Definición de criticidad y selección de los sistemas críticos, estableciendo sus funciones primarias, secundarias, auxiliares y de apoyo logístico.
4. Análisis de las fallas funcionales reales o potenciales para cada una de las funciones.
5. Realización del análisis de los modos y de los efectos de las fallas (utilizando el procedimiento FMECA).
6. Selección de las estrategias y procedimientos de mantenimiento (árbol lógico de decisión).
7. Implantación y evaluación del CMD en cada caso.
8. Asignación de estrategias y recursos adecuados para el plan general de priorización basado en el RPN y los costos/beneficios asociados.
9. Revisión y monitoreo periódico del esquema general y específico.

#### **4.7 Formación del equipo de trabajo**

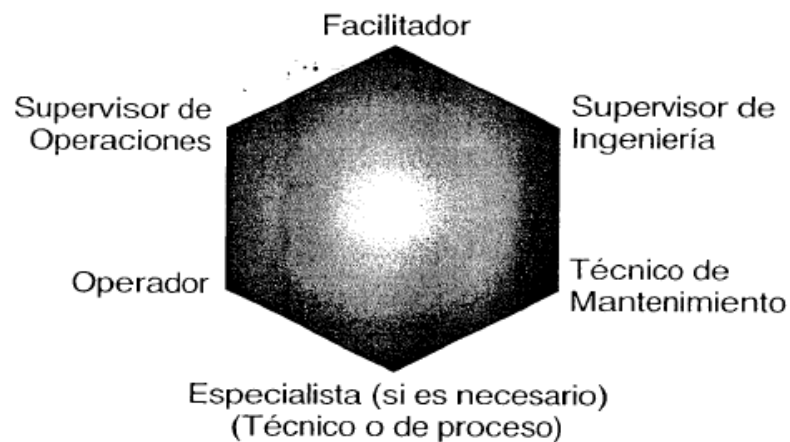
La implementación del RCM comienza con la creación de un equipo multidisciplinario, compuesto por miembros que tienen un conocimiento profundo del sistema o equipo que se está analizando. Este equipo natural de trabajo incluye ingenieros, operadores, técnicos de mantenimiento y personal de gestión, garantizando una visión completa y diversa para analizar

las fallas y establecer estrategias de mantenimiento. La participación de personas con diferentes roles es clave para asegurar que todas las perspectivas operacionales y técnicas sean tomadas en cuenta.

Para la implementación del RCM, la creación de un equipo multidisciplinario es fundamental. Este equipo debe estar conformado por personas con experiencia y conocimiento profundo del sistema o equipo en análisis. Moubray (1991), menciona que un equipo típico de RCM debe incluir:

#### Figura 4

*Grupo típico de revisión de RCM*



Nota. La figura muestra un grupo típico de revisión para la implementación de un plan RCM, conformado por perfiles clave como operador, supervisor, técnico, especialista y facilitador. Tomado de *Moubray, J. (1991). RCM II: Reliability Centered Maintenance.* Butterworth-Heinemann.

1. **Facilitador:** Responsable de guiar el proceso de RCM. El facilitador asegura que el equipo siga las metodologías y se mantenga enfocado en los objetivos, promoviendo una comunicación efectiva.

2. **Supervisor de ingeniería:** Representa la visión técnica, garantizando que los principios de ingeniería se aplican adecuadamente al analizar las fallas y seleccionar estrategias de mantenimiento.
3. **Técnico de mantenimiento:** Aporta conocimiento práctico y experiencia sobre las intervenciones de mantenimiento realizadas. Contribuye al análisis de las fallas desde una perspectiva operativa.
4. **Especialista:** Un experto que puede ser llamado en función de las características específicas del sistema o equipo que se está evaluando. Su participación es clave en temas muy técnicos o de alta criticidad.
5. **Operador:** Involucra a quienes trabajan directamente con el equipo en su día a día. Los operadores tienen un conocimiento profundo de las condiciones operativas reales y los primeros indicios de posibles fallas.
6. **Supervisor de operaciones:** Asegura que las soluciones propuestas no solo sean técnicas, sino también operativamente viables. Se encarga de que las estrategias no impacten negativamente en la continuidad del servicio o la producción.

Dentro de los procedimientos de mantenimiento en la metodología de implementación del RCM, se encuentra el uso del diagrama de decisión RCM. Esta herramienta es fundamental para guiar a los equipos de trabajo en la determinación de la estrategia de mantenimiento más adecuada para cada activo o componente del sistema.

El diagrama de decisión del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) guía al equipo de análisis mediante una serie de preguntas lógicas, estructuradas secuencialmente, que permiten identificar los modos de falla y definir la estrategia de mantenimiento más apropiada para cada uno. Este proceso no solo se enfoca en si la falla puede ser anticipada, sino también en las consecuencias que su ocurrencia tendría sobre la seguridad, el medio ambiente, la operación o los costos del sistema.

Las preguntas están diseñadas para clasificar el tipo de falla (funcional, potencial, oculta), valorar su impacto y determinar si es factible aplicar tareas proactivas como mantenimiento basado en condición, tareas periódicas o rediseño. También permiten establecer si la falla debe

ser simplemente tolerada cuando las acciones de mitigación no resultan efectivas o viables económicamente.

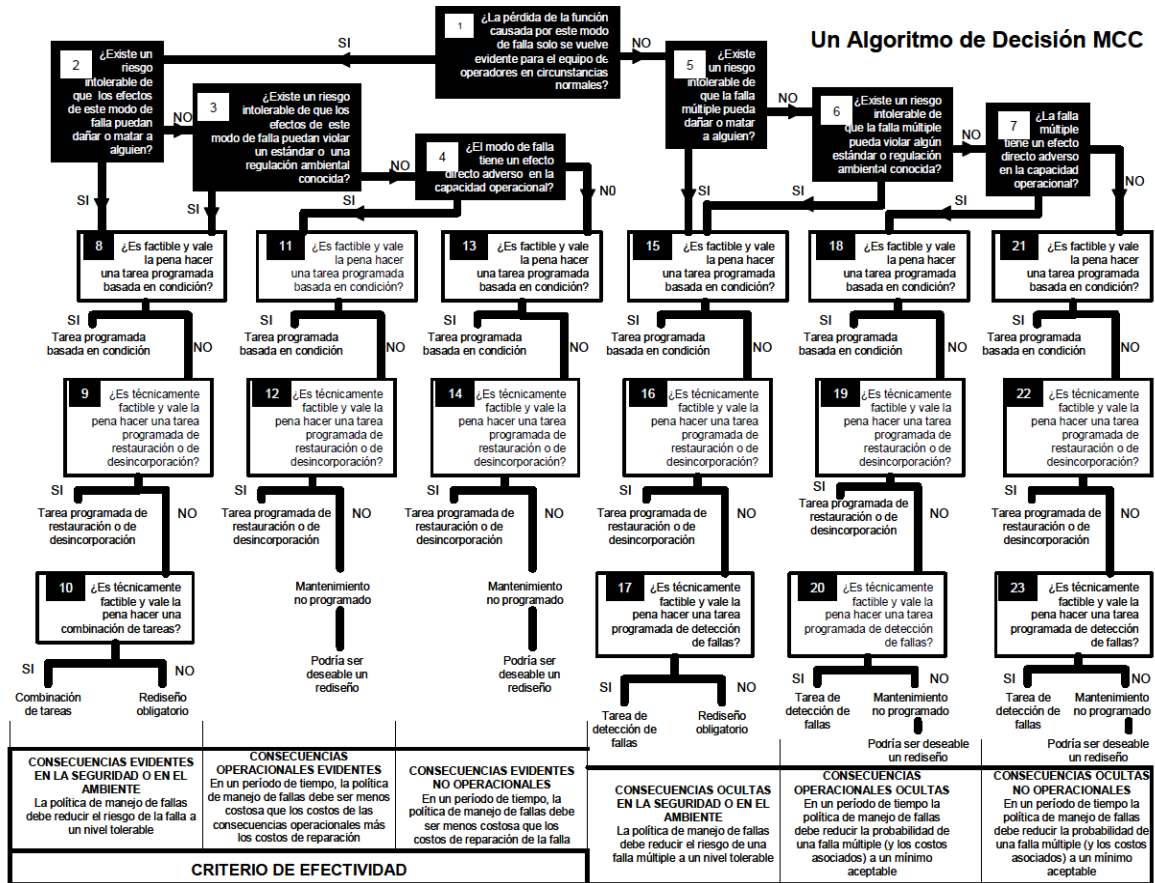
Una de las herramientas más reconocidas para este proceso es el algoritmo de decisión propuesto en la norma SAE JA1012, la cual estandariza el enfoque de toma de decisiones dentro de la metodología RCM (SAE International, 2002). Este algoritmo ayuda a sistematizar la evaluación de los modos de falla con base en criterios técnicos, operativos y de seguridad, estableciendo una jerarquía lógica que orienta la selección de tareas de mantenimiento específicas. Al aplicar este algoritmo, se mejora la toma de decisiones al balancear el riesgo, el costo y la efectividad técnica de las intervenciones.

Por ejemplo, en la primera etapa del algoritmo, se plantea si la falla en cuestión podría tener consecuencias evidentes para la seguridad o el medio ambiente. Si la respuesta es afirmativa, se prioriza una acción correctiva inmediata o se evalúa la posibilidad de monitoreo continuo. Si no, el algoritmo dirige la atención a las consecuencias operativas o económicas, valorando si la falla es tolerable o si debe abordarse mediante tareas específicas.

En la práctica, este modelo facilita una toma de decisiones coherente, minimizando el riesgo de decisiones subjetivas o basadas únicamente en la experiencia. Su implementación asegura que los recursos de mantenimiento se asignen de forma eficaz, enfocándose en los elementos que realmente importan.

Figura 5

Algoritmo de decisión RCM SAE JA1012



Nota. La figura muestra el algoritmo de decisión del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) según la norma SAE JA1012, utilizado para determinar tareas apropiadas en función de las consecuencias de las fallas. Tomado de *SAE International (2002)*.

## **5. Marco conceptual**

### **5.1 Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo consiste en realizar tareas de inspección, limpieza, ajuste y reparación en equipos y sistemas de manera programada, con el objetivo de prevenir fallas antes de que ocurran. En el caso de los sistemas de refrigeración por amoníaco, el mantenimiento preventivo es esencial para garantizar que los compresores y otros componentes sigan funcionando de manera eficiente y segura, reduciendo el riesgo de fugas de amoníaco, averías del sistema y tiempos de inactividad no planificados.

### **5.2 Confiabilidad**

La confiabilidad es la probabilidad de que un equipo o sistema funcione correctamente durante un período de tiempo específico sin fallas. En el contexto del mantenimiento, la confiabilidad se mejora mediante el uso de estrategias como el RCM, que busca identificar modos de falla y aplicar medidas preventivas. En los sistemas de refrigeración por amoníaco, aumentar la confiabilidad es crucial para evitar pérdidas de productos perecederos y garantizar la seguridad operativa.

### **5.3 Disponibilidad**

La disponibilidad se refiere a la capacidad de un sistema o equipo para estar operativo y en funcionamiento cuando se necesita. Es una medida clave en la evaluación del rendimiento de los sistemas de refrigeración, ya que una alta disponibilidad garantiza que los procesos críticos no se vean interrumpidos.

### **5.4 Criticidad**

La criticidad de un equipo o sistema se refiere al impacto que tendría una falla en su rendimiento o en la operación general. En los sistemas de refrigeración por amoníaco, los

compresores son considerados altamente críticos, ya que su mal funcionamiento puede resultar en la interrupción total del proceso de refrigeración, comprometiendo la calidad del producto y aumentando los riesgos de seguridad.

## **6. Alcance**

El proyecto se centra en el diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para el compresor de tornillo rotativo CR6. El alcance del trabajo abarca desde la definición y clasificación de los equipos y subsistemas involucrados en el sistema de refrigeración, hasta la identificación de las funciones operativas del conjunto compresor, sus fallas funcionales y los modos y efectos asociados a dichas fallas. Para ello, se recopilan datos históricos sobre el comportamiento del equipo, incluyendo los registros de fallas y su frecuencia, con el fin de realizar un análisis detallado de los modos de falla y su impacto potencial en aspectos clave como la seguridad, el medio ambiente, los costos, la imagen empresarial, la disponibilidad y la confiabilidad del sistema. Este análisis se apoya en herramientas como el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) para definir la criticidad de cada modo de falla de manera específica.

Como resultado, se espera definir un conjunto de tareas de mantenimiento fundamentadas en la metodología RCM, organizadas en un plan estructurado que indique su frecuencia de ejecución y el tipo de intervención requerida, clasificándolas como tareas mecánicas, eléctricas, de lubricación o propias del operador.

Finalmente, se espera que el plan propuesto contribuya a la reducción de costos asociados a fallas correctivas, minimización de paradas no programadas, y mejora de la disponibilidad general del compresor.

## 7. Metodología

La metodología de este proyecto se fundamentará en los principios del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para desarrollar un plan de mantenimiento específico para el compresor de tornillo rotativo FRICK RWB II 134 CR6. Este proceso se estructurará en pasos secuenciales que permitirán identificar las estrategias de mantenimiento óptimas.

### 1. Formación del Equipo Multidisciplinario de Trabajo

Se conformará un equipo multidisciplinario para asegurar una visión integral en el análisis y desarrollo del plan de mantenimiento. Este equipo estará compuesto por operadores de servicios industriales, técnicos eléctricos y electrónicos, el coordinador de mantenimiento y supervisores de producción. La participación de este equipo permitirá recoger experiencia operativa y de mantenimiento y desarrollar una comprensión global de las necesidades del compresor y del sistema en su conjunto.

### 2. Recopilación de Información y Análisis de Datos Históricos

En esta etapa, se revisarán los registros de fallas, mantenimiento y el comportamiento operativo del compresor en los últimos años. Esta recopilación permitirá definir de manera precisa las funciones del equipo, las posibles fallas funcionales y el contexto operativo en el que ocurren. La información obtenida servirá de base para el análisis de modos de falla y la determinación de las tareas de mantenimiento necesarias.

### 3. Definición y clasificación de los sistemas y subsistemas

En esta fase se desarrollará la taxonomía del sistema de refrigeración que pertenecen a las salas de desposte, organizando y jerarquizando sus componentes principales, subsistemas y elementos asociados, basado en la norma ISO 14224:2016. Esto permitirá delimitar el alcance técnico del análisis y establecer la posición funcional del conjunto motor-

compresor dentro del sistema global, facilitando la identificación de sus interacciones con otros equipos.

#### 4. Definición de Funciones, Modos y Efectos de Falla (FMECA)

Con base en la información recopilada, se definirán las funciones primarias y secundarias del compresor y se documentarán las fallas funcionales. Posteriormente, se ejecutará un análisis de modos y efectos de falla (FMECA), en el que se identificarán los modos de falla específicos, sus consecuencias sobre la operación, el impacto en la seguridad y su repercusión económica. Para priorizar estos modos de falla, se calculará el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), el cual considera la severidad, frecuencia y posibilidad de detección de cada falla, permitiendo establecer un orden jerárquico de criticidad.

#### 5. Selección de Estrategias de Mantenimiento mediante el Árbol de Decisión del RCM

Utilizando el árbol de decisión de la SAE JA1012, se determinarán las estrategias de mantenimiento para cada modo de falla identificado. Este árbol permitirá decidir entre estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo, o si no es necesaria ninguna acción. Las estrategias se seleccionarán en función de su viabilidad económica, técnica y de seguridad.

#### 6. Definición de Tareas de Mantenimiento y Programación

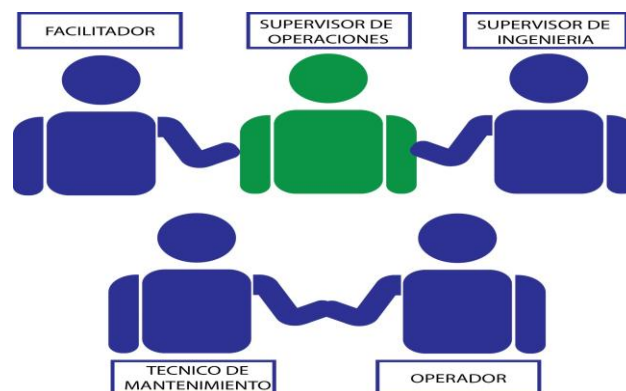
Una vez seleccionadas las estrategias, se generarán los listados de actividades y rutinas de mantenimiento específicas para el compresor. Estas tareas se clasificarán en preventivas, predictivas o correctivas y se agruparán para facilitar la programación de las actividades de mantenimiento, optimizando así los recursos y el tiempo de inactividad.

## 8. Resultados

Como parte de la metodología del proyecto, se integró un equipo multidisciplinario conformado por personal clave de las áreas de ingeniería, mantenimiento, operaciones y supervisión, quienes participaron activamente en las fases de análisis y diseño del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad. El equipo quedó conformado por seis integrantes, cuya composición incluyó un facilitador con la responsabilidad de liderar las sesiones y mantener la metodología RCM, dos supervisores de ingeniería encargados de garantizar la rigurosidad técnica en el estudio, un técnico de mantenimiento que aportó la experiencia práctica de campo, un operador con profundo conocimiento sobre las condiciones de operación del compresor y un supervisor de operaciones que veló por la viabilidad de las estrategias propuestas en relación con los procesos productivos.

### Figura 6

*Equipo multidisciplinario para elaboración de plan RCM*



Nota. La imagen muestra al equipo multidisciplinario conformado para desarrollar el plan RCM, compuesto por personal de operaciones, ingeniería, mantenimiento y el facilitador del proceso.

*Elaboración propia.*

Se realizó una revisión del histórico de mantenimientos correctivos desde el año 2019 hasta el año 2024 para el compresor CR6 en los que se tomó en cuenta la fecha específica del servicio realizado y el costo de este. Posteriormente se adjuntó esta información en una tabla y se sumó el costo total de los correctivos, obteniendo como resultado que el costo total asociado a fallas correctivas es de \$ 122.178.373 pesos colombianos, incluyendo reparaciones mayores como rebobinados, rectificados, y múltiples intervenciones en el compresor, además de costos de repuestos por más de \$46 millones.

**Tabla 1**

*Histórico de correctivos conjunto motor-compresor FRICK CR6*

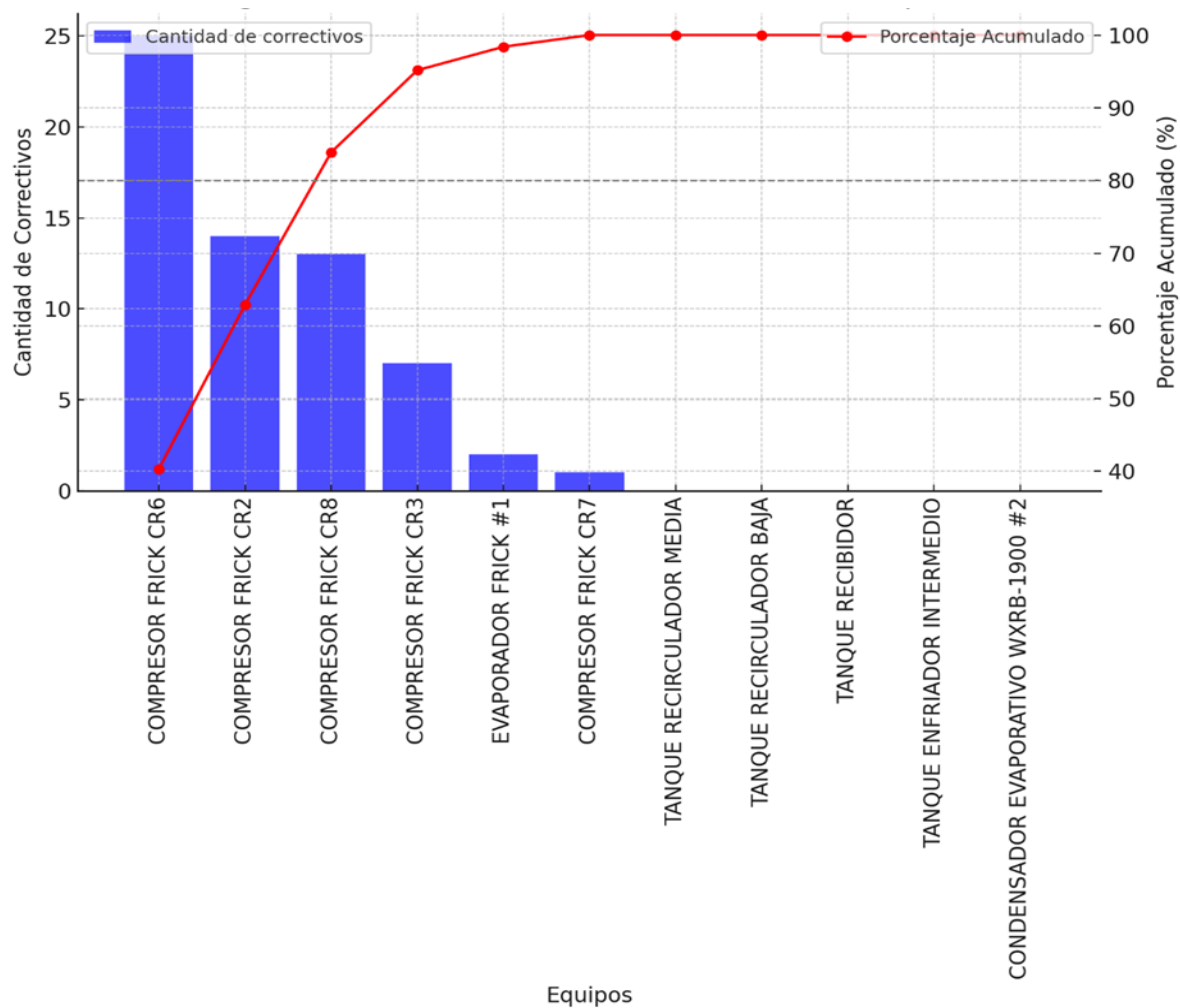
| CAMAGUEY S.A.  |                                |    |                    |
|--|--------------------------------|----|--------------------|
| HISTÓRICO DE CORRECTIVOS CONJUNTO MOTOR-COMPRESOR FRICK CR6                |                                |    |                    |
| SERVICIO   | FECHA                          |    | COSTO              |
| RODAMIENTO 6313 ZZC3   | 2019/07/18                     | \$ | 428,000            |
| REBOBINADO MOTOR 3550RPM ALAMB IN  | 2019/07/18                     | \$ | 11,212,903         |
| REPARACION COMPRESOR TDSH193   | 2019/09/26                     | \$ | 5,000,000          |
| REBOBINADO MOTOR 3550RPM   | 2019/10/10                     | \$ | 9,750,350          |
| RELLENAR EJE POSTERIOR   | 2019/12/26                     | \$ | 170,000            |
| REPARACION DE ESCOBILLAS P/CORRIENTES                                      | 2019/12/26                     | \$ | 380,000            |
| RECONSTRUCCION DE AREA PARTIDA   | 2020/01/29                     | \$ | 1,546,000          |
| RECTIFICADO EN PUESTO ROTOR S/INDICACIO                                    | 2020/01/29                     | \$ | 250,000            |
| MANTENIMIENTO Y SERV REP COMPRESO 193L                                     | 2020/04/08                     | \$ | 5,000,000          |
| GASTOS DE VIAJE PERSONAL TÉCNICO   | 2020/04/08                     | \$ | 1,500,000          |
| REBOBINADO MOTOR 350HP   | 2021/09/13                     | \$ | 15,165,400         |
| REPUESTOS SERV REB   | 2021/09/13                     | \$ | 1,782,800          |
| FABRICACION DEFLECTORES  | 2021/09/13                     | \$ | 846,000            |
| ANALISIS DE VIBRACIONES - POST REPARACIÓN                                  | 2022/05/26                     | \$ | 1,300,000          |
| REPARACION EMERGENCIA MOTOR 350HP  | 2024/02/16                     | \$ | 21,745,785         |
| KIT DE REPARACIÓN COMPRESOR + KIT REPARACIÓN BOMBA LUBRICACIÓN (2019-2024) | <b>COSTO TOTAL REPUESTOS</b>   | \$ | 46,101,135         |
| COMPRESOR FRICK CR6  | <b>COSTO TOTAL CORRECTIVOS</b> | \$ | <b>122,178,373</b> |

*Nota.* Esta tabla muestra el listado de servicios correctivos realizados al compresor CR6 desde el año 2019 hasta el 2024. *Elaboración propia.*

Los resultados de la revisión histórica de fallas en la sala de máquinas también evidencian que el Compresor FRICK CR6 es el equipo con mayor número de intervenciones correctivas, con un total de 25 eventos, superando significativamente a otros componentes como el CR2 (14 eventos) y el CR8 (13 eventos).

**Figura 7**

*Diagrama de Pareto de correctivos en la sala de máquinas (2016 – 2023)*



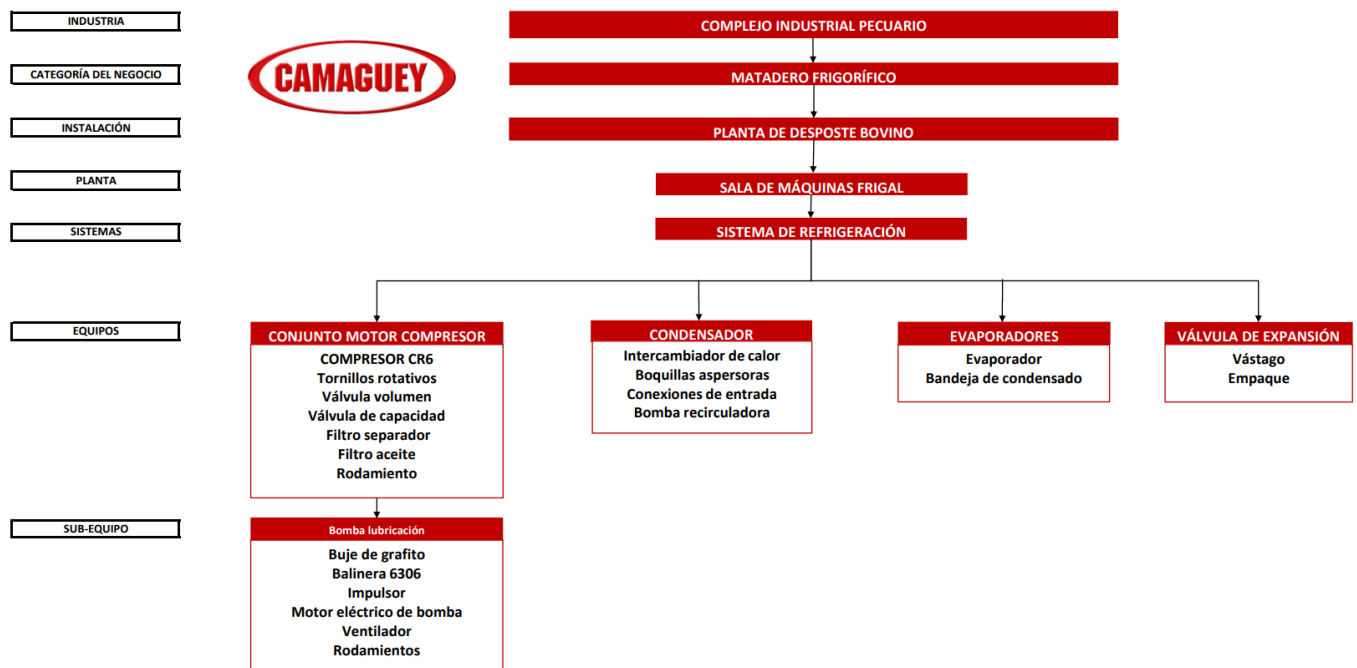
*Nota.* El gráfico presenta un diagrama de Pareto de los mantenimientos correctivos realizados en la sala de máquinas de la planta de desposte bovino desde el año 2016 al 2023. *Elaboración propia.*

La Figura 7 permite visualizar la distribución acumulada de los correctivos realizados en los diferentes equipos de la sala. En este se ve que el Compresor FRICK CR6 encabeza la lista de ocurrencias acumulando por sí solo una proporción crítica del total de fallas corregidas.

Se construyó la taxonomía del sistema de refrigeración de la empresa Camagüey S.A. según lo establecido en la norma ISO 14224, la cual establece que los equipos deben organizarse en una estructura jerárquica, desde el nivel más alto del sistema (Industria) hasta el nivel de componente, con el fin de facilitar la recolección y análisis de datos de confiabilidad y mantenimiento. (International Organization for Standardization, 2016)

**Figura 8**

*Taxonomía de equipos en Camagüey S.A.*



*Nota.* La figura muestra la taxonomía de equipos del sistema de refrigeración en Camagüey S.A., detallando la jerarquía desde la industria hasta los sub-equipos del sistema. Adaptado de *International Organization for Standardization. (2016)*

Esta taxonomía identifica el complejo industrial pecuario como punto de partida, desglosándose hacia instalaciones específicas como el matadero frigorífico y la planta de desposte bovino, hasta llegar a equipos críticos como el conjunto motor-compresor, el condensador, los evaporadores y la válvula de expansión. Cada equipo fue subdividido en componentes y subcomponentes, como rodamientos, bombas de lubricación y filtros, facilitando la trazabilidad de fallas, la planificación de mantenimiento y la priorización de recursos, al brindar una visión detallada y estructurada del sistema de refrigeración.

Para identificar de forma clara las funciones del conjunto motor-compresor, se realizó un análisis en el que primero se establecieron las fronteras del sistema, es decir, se definió hasta dónde llega el equipo que se está evaluando y cuáles son sus entradas y salidas. Este paso fue fundamental para entender el funcionamiento del equipo en su entorno real.

**Figura 9**

*Funciones del conjunto motor compresor*

| ELEMENTO DE ESTUDIO                           | CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO | CONDICIONES OPERACIONALES | CONDICIONES AMBIENTALES | FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA) | INTERFASES (Entradas/Salidas)          | FUNCIONES  |
|---|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|--|--|
| CONJUNTO MOTOR COMPRESOR FRICK RWB II 134 CR6 | MARCA : FRICK                         | DESDE 30°C A 100°C        | SALITRE                 |                            | <b>ENTRADAS</b>                        | CON MOTOR PPL : GIRAR EL COMPRESOR A 3600 RPM Y CON UN CONSUMO DE CORRIENTE ENTRE 170A Y 438 A |
|   | COMPRESOR ROTATORIO DE TORNILLO       | 400V A 480 V              | HUMEDAD                 |                            | AMONIACO                               | CON MOTOR AUX: GIRAR EL EJE DE LA BOMBA A 3600 RPM, CON UN CONSUMO DE CORRIENTE DE 9A          |
|   | SERIAL : TDSH193L3412DR               | ENTRE 160 PSI A190 PSI    | AIRE A 40°C             |                            | SEÑALES                                | DESCARGAR LAS CORRIENTES DE FALLAS DEL SISTEMA A TIERRA  |
|   | MODELO : RWB-II                       | OPERACION 24 HORAS        |                         |                            | ACEITE                                 | DESCARGAR LAS CORRIENTES DE FALLAS DEL SISTEMA A TIERRA  |
|   | VOLTAJE 440V                          |                           |                         |                            | SALIDAS                                | CONTENER HERMETICAMENTE EL REFRIGERANTE  |
|   | PRESION MAXIMA DE TRABAJO: 300 PSI    |                           |                         |                            | CORRIENTES DE FALLA A TIERRA           | CONTENER HERMETICAMENTE EL ACEITE LUBRICANTE   |
|   | R-717 RECIRCULADO                     |                           |                         |                            | ACEITE                                 | ENVIAR SEÑAL DE PRESION DEL REFRIGERANTE ENTRE 20PSI Y 200PSI                                  |
|   | 4 pulgadas succion                    |                           |                         |                            | AMONIACO                               | ENVIAR SEÑAL DE TEMPERATURA DEL ACEITE LUBRICANTE ENTRE -20°C Y 180°C                          |
|   | 4 pulgadas descarga                   |                           |                         |                            | SEÑALES                                | SUCCIONAR EL AMONIACO GASEOSO, COMPRIMIENDOLO Y ALIMENTANDO SU PRESION ENTRE 150 Y 195 PSI     |
|   |                                       |                           |                         |                            | CONSERVAR UN BUEN ESTANDAR DE LIMPIEZA |  |

*Nota.* La figura detalla las características técnicas, condiciones de operación, fronteras, entradas y salidas, e identifica las funciones principales del conjunto motor-compresor. *Elaboración propia.*

En la Figura 9 se muestra el formato utilizado para este análisis. Allí se recopilaron datos importantes como las condiciones de operación (temperatura, presión, voltaje y tipo de refrigerante) y las condiciones del ambiente en el que se encuentra el equipo. También se identificaron las entradas, como el amoníaco, el aceite, la corriente eléctrica y las señales del sistema; y las salidas, como el amoníaco comprimido, señales de presión y temperatura, y la corriente de fallas a tierra.

Con esta información se definieron las funciones principales del equipo, entre las que se destacan: comprimir el refrigerante, mantener la hermeticidad del sistema, hacer girar el eje del compresor y enviar señales que permiten monitorear su estado. También se incluyeron funciones de soporte como conservar un buen estado de limpieza y garantizar la protección eléctrica del sistema. Este análisis permitió entender claramente lo que se espera que haga el equipo bajo condiciones normales, y sirvió como base para definir las fallas funcionales y posteriormente los modos de falla.

Para cada modo de falla se evaluaron sus efectos, causas y consecuencias, estableciendo su nivel de riesgo mediante el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR), el cual considera la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la capacidad de detección de la falla. La severidad dentro del cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) se definió a partir de una matriz de riesgos adaptada, muy similar a la que utiliza actualmente la empresa Camagüey S.A.

**Figura 10**

*Matriz de riesgos utilizada para cálculo de severidad*

| CONSECUENCIAS          |  |                  |               | CONSECUENCIA   | PROBABILIDAD |            |        |           |          |           |
|------------------------|--|------------------|---------------|----------------|--------------|------------|--------|-----------|----------|-----------|
| HUMANAS                | AMBIENTALES                              | COSTOS           | IMAGEN        |                | IMPOSIBLE    | IMPROBABLE | REMOTO | OCASIONAL | MODERADO | FRECUENTE |
| Mas de un muerto       | Efectos irreversibles                    | >100             | Internacional | Catastrofico   | 5            | 10         | 15     | 20        | 25       | 30        |
| Incapacidad permanente | Efectos irreversibles en menos de 2 años | ENTRE 100M - 10M | Nacional      | Critico        | 4            | 8          | 12     | 16        | 20       | 24        |
| Incapacidad temporal   | Efectos reversibles en menos de 6 meses  | ENTRE 10 M- 1M   | Regional      | Marginal       | 3            | 6          | 9      | 12        | 14       | 18        |
| Lesiones               | Efectos pueden ser controlados           | ENTRE 1M-.05M    | Local         | Insignificante | 2            | 4          | 6      | 8         | 10       | 12        |
| Ninguna                | No afecta el medio ambiente              | <0.05M           | Ninguno       | Ninguno        | 1            | 2          | 3      | 4         | 5        | 6         |

> 15 Años      < 10 Años      < 5 Años      < 3 Años      < 1 años      ± 1 Mes

NIVEL DE RIESGO

|       |
|-------|
| BAJO  |
| MEDIO |
| ALTO  |

*Nota.* La figura muestra la matriz de riesgos utilizada para calcular la severidad de los modos de falla, considerando consecuencias, probabilidad y niveles de riesgo. *Elaboración propia.*

Esta matriz se realizó con el propósito evaluar el nivel de consecuencias que puede generar una falla en distintos aspectos clave para la organización, permitiendo así priorizar de forma más acertada las intervenciones de mantenimiento.

Para esta evaluación se tomaron en cuenta cuatro categorías de impacto:

- Impacto humano: relacionado con lesiones, incapacidades o riesgos eléctricos.
- Impacto ambiental: importante en sistemas que utilizan amoníaco.
- Impacto económico: rangos de pérdida estimada en millones de pesos.
- Impacto sobre la imagen de la empresa: considerando si las consecuencias son visibles a nivel local, regional, nacional o internacional.

Cada uno de estos factores fue calificado en niveles que van desde insignificante hasta catastrófico, asignando un valor numérico que posteriormente se utilizó para calcular la severidad general de cada modo de falla.

Una vez definido el valor de severidad con base en la matriz de riesgos, se procedió a complementar el cálculo del NPR aplicando los criterios de ocurrencia y detección que se muestran en la tabla a continuación.

**Tabla 2***Grado de ocurrencia de fallas*

| Ocurrencia      | Rango | Criterios   | Probabilidad de Falla |
|-----------------|-------|---|-----------------------|
| <b>Remota</b>   | 1     | Falla improbable. No existen fallas asociadas con este componente           | >15 años              |
| <b>Muy Poca</b> | 2     | Sólo fallas aisladas asociadas con este componente o con uno casi idéntico. | >10 años              |
| <b>Poca</b>     | 3     | Fallas aisladas asociadas con procesos similares.                           | >5 años               |
| <b>Moderada</b> | 4     | Este componente o uno similar ha tenido fallas ocasionales                  | >3 años               |
| <b>Alta</b>     | 5     | Este proceso o uno similar han fallado a menudo.                            | >1 año                |
| <b>Muy Alta</b> | 6     | La falla es casi inevitable   | >1 mes                |

*Nota.* La tabla presenta los rangos y criterios para estimar la probabilidad de ocurrencia de fallas.

*Elaboración propia.*

**Tabla 3***Grado de detección de fallas*

| Probabilidad             | rango | Criterio  | Probabilidad de detección |
|--------------------------|-------|---|---------------------------|
| <b>Alta</b>              | 1     | El defecto es una característica funcionalmente obvia   | 80,00%                    |
| <b>Medianamente alta</b> | 2     | Es muy probable detectar la falla. El defecto es una característica obvia.  | 70,00%                    |
| <b>Baja</b>              | 3     | El defecto es una característica fácilmente identificable.  | 60%                       |
| <b>Muy Baja</b>          | 5     | No es fácil detecta la falla por métodos usuales o pruebas de inspección. El defecto es una característica oculta o intermitente. | 40%                       |
| <b>Improbable</b>        | 6     | La característica no se puede determinar fácilmente en el proceso.  | Menor a 20%               |

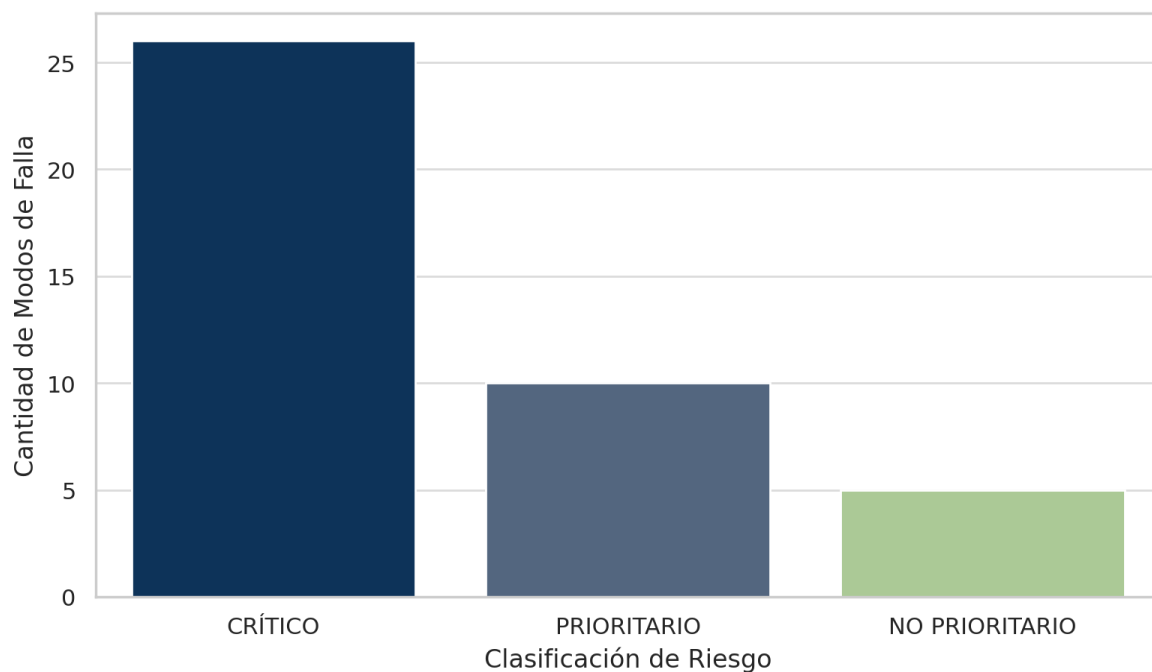
*Nota.* La tabla presenta los rangos y criterios para estimar la probabilidad de detectar una falla.

*Elaboración propia.*

Esta clasificación permitió asignar valores numéricos a la probabilidad de que ocurra una falla, así como a la posibilidad de detectarla antes de que genere consecuencias mayores. Con base a los resultados del NPR, se clasificaron los modos de falla en tres categorías: crítico, prioritario y no prioritario.

### Figura 11

*Distribución de Modos de Falla por Clasificación de Riesgo*



*Nota.* La figura representa la cantidad de modos de falla clasificados como críticos, prioritarios y no prioritarios según su nivel de riesgo. *Elaboración propia.*

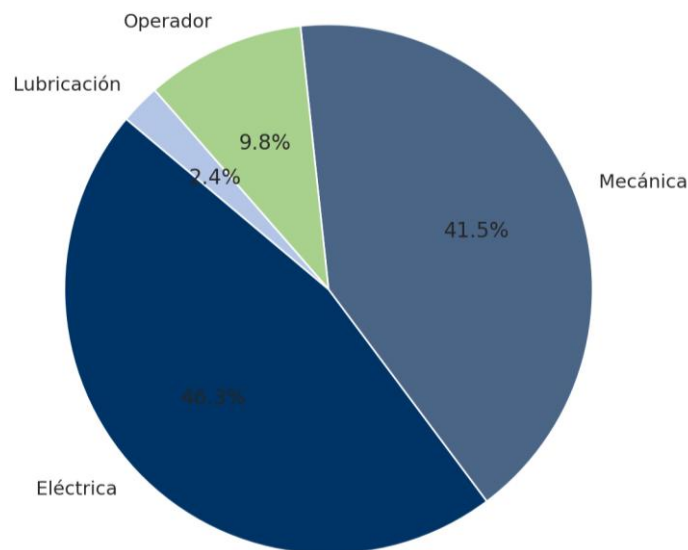
La Figura 11 presenta la distribución de los modos de falla según su clasificación de riesgo. Se observa que un mayor porcentaje de los modos identificados fueron clasificados como críticos, representando aproximadamente el 60 % del total. Esta tendencia evidencia una alta concentración de riesgos en el sistema, sobre todo asociados a consecuencias que comprometen la seguridad operativa, la integridad del equipo y la continuidad del proceso productivo. La

categoría prioritaria agrupa un segundo nivel de fallas con impacto moderado, mientras que la clasificación no prioritaria tuvo una menor representatividad.

Como parte del diseño del plan de mantenimiento, se organizaron todas las tareas definidas según el tipo de intervención que requieren. Esto permitió clasificar las actividades en cuatro categorías principales: eléctricas, mecánicas, de lubricación y del operador.

### Figura 12

*Distribución de tareas por tipo de mantenimiento*



*Nota.* La figura muestra la proporción de tareas de mantenimiento clasificadas como eléctricas, mecánicas, de lubricación y del operador. *Elaboración propia.*

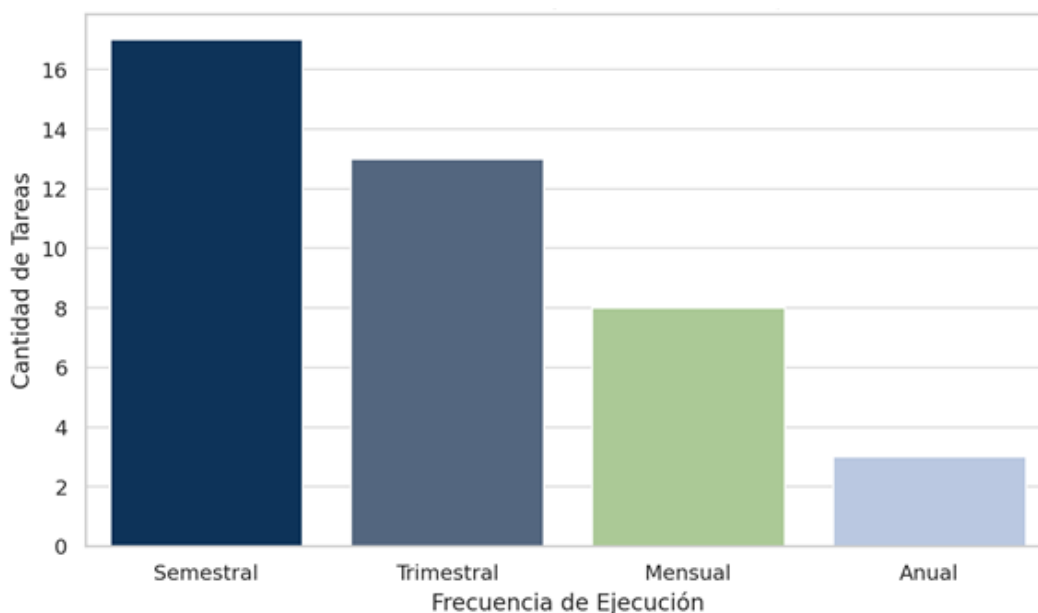
En la Figura 12 se puede observar cómo se distribuyen estas tareas. La mayoría corresponden a trabajos eléctricos (46,3%), como inspecciones a conexiones, protecciones y sensores. Le siguen las tareas mecánicas (41,5%), enfocadas en revisar el estado de componentes como rodamientos, pernos y acoplamientos.

También se incluyen actividades de lubricación (2,4%), que son importantes para conservar en buen estado las piezas móviles. Por último, se asignaron tareas al operador (9,8%), principalmente para realizar inspecciones visuales básicas, reportar condiciones inusuales, realizar la limpieza y cuidado exterior del equipo. Esto ayuda a involucrar al personal en el cuidado diario del equipo y los hace mantener un sentido de pertenencia.

Además de clasificar las tareas por tipo, también fue necesario definir cada cuánto deben hacerse. Esta frecuencia se asignó teniendo en cuenta la importancia de cada actividad, la experiencia del personal de mantenimiento y los registros anteriores del equipo. La idea es asegurar que las revisiones se hagan en el momento adecuado, sin esperar a que ocurran fallas ni hacer mantenimientos innecesarios.

### Figura 13

*Distribución de tareas según frecuencia de ejecución*



*Nota.* La figura ilustra la cantidad de tareas programadas según su frecuencia de ejecución: mensual, trimestral, semestral o anual. *Elaboración propia.*

La Figura 13 muestra la distribución de las tareas de mantenimiento definidas en el plan RCM según su frecuencia de ejecución. Se observa que la mayor cantidad de actividades se programó de forma semestral, concentrando cerca del 45% del total de tareas, lo que refleja que muchas intervenciones requieren revisiones periódicas pero no tan frecuentes, equilibrando recursos y tiempos de parada. Las tareas trimestrales representan aproximadamente un 35%, orientadas principalmente a controles técnicos más detallados. Las tareas mensuales, con cerca de un 15%, corresponden a actividades rápidas de inspección y mantenimiento básico, mientras que las tareas anuales, que representan la menor proporción, se asignaron a revisiones exhaustivas o intervenciones que requieren mayor planeación.

Luego de realizar el análisis funcional, la identificación de fallas, la evaluación de riesgos mediante el NPR y la definición de tareas específicas, se consolidó toda la información en una única tabla resumen. En esta se integran los distintos elementos del análisis RCM aplicado al conjunto motor-compresor, incluyendo el nombre del equipo, sus funciones principales, los componentes evaluados, las fallas funcionales asociadas, los modos de falla identificados, sus valores de criticidad (NPR) y las respectivas tareas de mantenimiento propuestas para mitigarlos con sus frecuencias.

En la Figura 14 se presenta un fragmento del análisis y la metodología RCM aplicada al conjunto motor-compresor. En este caso, se muestra únicamente el desarrollo correspondiente al motor principal, ya que por el tamaño de la tabla no es posible visualizar adecuadamente toda la información en una sola página. Las tablas completas del RCM para los demás componentes del conjunto motor-compresor se incluyen en los anexos A, B, C y D para su consulta detallada.

(Ver Anexos A, B, C y D)

Figura 14

RCM de motor principal del conjunto Motor-Compresor

| Equipo          | Función del equipo  | Componente      | Función  | Descripción Falla Funcional | Modo de Falla   | FALLA OCULTA | Descripción Efectos y Consecuencias   | Clasificación de riesgo | NPR | TIPO DE DECISIÓN                           | DESCRIPCIÓN TAREA   | Frecuencia | RECURSOS  | Cod. Tarea |
|-----------------|---|-----------------|--|-----------------------------|---|--------------|---|-------------------------|-----|--|---|------------|---|------------|
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | MOTOR PRINCIPAL | GIRAR EL COMPRESOR A 3600 RPM Y CON UN CONSUMO DE CORRIENTE ENTRE 170A Y 438 A | MOTOR NO GIRA               | BOBINADO DEL MOTOR EN CORTOCIRCUITO                           | NO           | Motor parado, Riesgo eléctrico, Pérdida de 60 canales, Bobinado quemado, Cambio de bobinado   | CRÍTICO                 | 128 | Restauración o desincorporación programada | 1. Verificar el estado del relé térmico y sustituir si está defectuoso.<br>2. Realizar pruebas de aislamiento al bobinado con megóhmetro.<br>3. Validar la temperatura de operación del motor con cámara termográfica   | Trimestral | Técnico electricista<br>Megóhmetro<br>Cámara termográfica   | OT-E-01    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | MOTOR PRINCIPAL | GIRAR EL COMPRESOR A 3600 RPM Y CON UN CONSUMO DE CORRIENTE ENTRE 170A Y 438 A | MOTOR NO GIRA               | CONEXIONES SUELTAS O SULFATADAS EN BORNERA DEL MOTOR          | NO           | Motor parado, Posible arco eléctrico, Pérdida de 60 canales, Borneras sulfatadas, Limpieza y ajuste o cambio de borneras  | PRIORITARIO             | 80  | Tarea programada basada en condición       | 1. Inspección visual y reapriete de borneras.<br>2. Limpieza con producto dieléctrico.<br>3. Termografía para detección de puntos calientes.  | Mensual    | Técnico electricista<br>Megóhmetro<br>Cámara termográfica   | OT-E-02    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | MOTOR PRINCIPAL | GIRAR EL COMPRESOR A 3600 RPM Y CON UN CONSUMO DE CORRIENTE ENTRE 170A Y 438 A | MOTOR NO GIRA               | RODAMIENTOS DEL MOTOR AVERIADOS POR DESALINEACIÓN PERSISTENTE | NO           | Motor parado, Riesgo mecánico, Pérdida de 60 canales, Rodamientos gripados, Cambio de rodamientos y alineación  | PRIORITARIO             | 80  | Tarea programada basada en condición       | 1. Realizar análisis de vibraciones en horizontal, vertical y axial.<br>2. Verificar alineación con reloj comparador.<br>3. Si hay desalineación, corregir alineación entre motor y compresor.<br>4. Sustituir rodamientos si se detecta ruido o calentamiento anormal.     | Semestral  | Analista de vibraciones<br>Medidor de vibraciones           | OT-M-03    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | MOTOR PRINCIPAL | GIRAR EL COMPRESOR A 3600 RPM Y CON UN CONSUMO DE CORRIENTE ENTRE 170A Y 438 A | MOTOR NO GIRA               | PERNOS DEL ACOPLAMIENTO FLOJOS O CORTADOS POR DESALINEACIÓN   | NO           | Motor parado, Riesgo mecánico por rotura de pernos, Pérdida de 120 canales, Pernos cortados, rodamientos averiados, Cambio de pernos, rodamientos y lubricación | CRÍTICO                 | 225 | Tarea programada basada en condición       | 1. Inspeccionar pernos de acoplamiento por fatiga, juego o rotura.<br>2. Reapriete de pernos de acoplamiento.<br>3. Verificar alineación entre ejes   | Semestral  | Técnico mecánico<br>Comparador de carátula                  | OT-M-04    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | MOTOR PRINCIPAL | GIRAR EL COMPRESOR A 3600 RPM Y CON UN CONSUMO DE CORRIENTE ENTRE 170A Y 438 A | MOTOR NO GIRA               | RODAMIENTOS DEL MOTOR CON LUBRICACIÓN DEFICIENTE              | NO           | Motor parado, Riesgo de incendio por fricción, Pérdida de 30 canales, Rodamientos desgastados, Lubricación y cambio de rodamientos                              | CRÍTICO                 | 150 | Tarea programada basada en condición       | 1. Engrasar con pistola evitando sobrelubricación.<br>2. Evaluar presencia de ruido o aumento de temperatura con cámara termográfica.<br>3. Cambiar rodamientos si presentan daños visibles.  | Mensual    | Técnico mecánico<br>Pistola de grasa<br>Cámara termográfica | OT-L-05    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | MOTOR PRINCIPAL | GIRAR EL COMPRESOR A 3600 RPM Y CON UN CONSUMO DE CORRIENTE ENTRE 170A Y 438 A | MOTOR NO GIRA               | AMORTIGUADOR DEL ACOPLAMIENTO DESGASTADO O FRACTURADO         | NO           | Motor parado, Riesgo mecánico, Pérdida de 60 canales, Ruido, vibración, rodamientos fisurados, Cambio de amortiguador y rodamientos                             | CRÍTICO                 | 120 | Tarea programada basada en condición       | 1. Desacoplar y verificar estado del amortiguador (fisuras, desgaste).<br>2. Medir holgura axial/radial en el sistema de acoplamiento.<br>3. Sustituir amortiguador si hay pérdida de elasticidad o fractura.<br>4. Alinear nuevamente y realizar prueba de funcionamiento. | Trimestral | Técnico mecánico<br>Comparador de carátula                  | OT-M-06    |

Nota. La figura muestra el análisis RCM para el motor principal incluye funciones, fallas, tareas, entre otras. *Elaboración propia.*

## 9. Análisis de resultados

En el análisis histórico de mantenimientos correctivos realizados entre 2019 y 2024 al compresor FRICK CR6, se identificaron 25 intervenciones correctivas con un costo acumulado de \$122.178.373 pesos colombianos, lo cual representa la cifra más alta en comparación con otros compresores de la sala de máquinas. Esta herramienta de análisis permite priorizar de manera objetiva la selección de este equipo como foco de la estrategia RCM. En contraste, otros equipos como los tanques recibidores, intercambiadores, evaporadores y condensadores presentan un número significativamente menor de intervenciones, lo que refuerza la decisión técnica de concentrar los esfuerzos en el CR6.

El Diagrama de Pareto elaborado para el periodo 2016-2023 muestra que el compresor FRICK CR6 concentra el mayor porcentaje de intervenciones correctivas respecto al resto de equipos del sistema de refrigeración, lo que refleja una distribución desigual de las fallas y permite visualizar la magnitud del problema en comparación con otros activos, como los compresores CR2 y CR8, que presentan menos eventos correctivos.

Se elaboró una taxonomía del sistema de refrigeración siguiendo la norma ISO 14224, en la que se establecieron niveles jerárquicos desde la industria, planta, sistema y equipos, hasta sub-equipos y componentes. En esta estructura, se identificaron los elementos que conforman el conjunto motor-compresor, como rodamientos, válvulas, bombas de lubricación y filtros.

En el análisis funcional se definieron las fronteras del conjunto motor-compresor, especificando las condiciones operativas y ambientales, así como las entradas y salidas de señales, amoníaco, aceite y corriente eléctrica. Esto permitió describir las funciones principales y de soporte que debe cumplir el equipo para su correcto desempeño en la sala de máquinas.

La matriz de riesgos aplicada permitió determinar la severidad de los modos de falla considerando cuatro categorías: impacto humano, ambiental, económico y en la imagen de la empresa. Se complementó con tablas que establecen los rangos para evaluar la ocurrencia y la probabilidad de detección de fallas, proporcionando un marco cuantitativo para el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR).

En la distribución de los modos de falla presentada en la Figura 11, se observa que la mayoría fueron clasificados como críticos, seguidos por prioritarios y una menor cantidad como no prioritarios. Esta clasificación se basó en los valores obtenidos del NPR y permite visualizar gráficamente la proporción de modos según su nivel de riesgo.

La distribución de las tareas por tipo de mantenimiento de la Figura 12, muestra que las actividades eléctricas y mecánicas representan el mayor porcentaje, mientras que las tareas asignadas al operador y de lubricación tienen menor participación. Por otro lado, la distribución de tareas según frecuencia de ejecución en la Figura 13, refleja que la mayoría de las actividades se programaron de forma semestral y trimestral, con menor cantidad de tareas mensuales y anuales, lo que proporciona una visión clara de cómo se repartirán las intervenciones a lo largo del año.

Finalmente, se consolidó toda la información del análisis RCM en tablas detalladas que integran funciones, modos de falla, criticidad y tareas de mantenimiento con sus respectivas frecuencias, brindando una herramienta de consulta práctica para el área de mantenimiento.

## 10. Conclusiones

El diseño del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para el conjunto motor-compresor del sistema de refrigeración por amoníaco en la empresa Camagüey S.A. representa un avance significativo en la gestión técnica del equipo. Este permitió identificar y priorizar de forma estructurada los modos de falla más críticos, establecer tareas de mantenimiento específicas y orientar los esfuerzos del equipo técnico hacia acciones preventivas más eficaces, que permiten mejorar la disponibilidad operativa y reducir el riesgo de paradas no programadas.

La elaboración de la taxonomía de equipos, sistemas y subsistemas facilitó la identificación precisa de los activos involucrados, especialmente del conjunto motor-compresor, y proporcionó una base para el análisis de funciones y fallas. Esta estructura jerárquica, permitió clasificar de manera ordenada los distintos niveles del sistema de refrigeración, asegurando trazabilidad, coherencia técnica y alineación con estándares internacionales. Gracias a esta clasificación, fue posible establecer límites funcionales claros, distinguir componentes críticos y simplificar la organización de los datos de mantenimiento.

A través del análisis funcional y la metodología RCM, se logró identificar con claridad las funciones principales del conjunto motor-compresor, así como las fallas funcionales, los modos de falla y sus efectos asociados. La aplicación de una matriz de criticidad adaptada a los criterios de la empresa permitió calcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), priorizando adecuadamente los modos de falla según su impacto en la seguridad, el ambiente, los costos y la continuidad operativa.

Por último, se generaron listados detallados de tareas de mantenimiento para cada modo de falla identificado. Estas tareas fueron clasificadas según su naturaleza —eléctrica, mecánica, de lubricación o del operador—, permitiendo así una mejor asignación de responsabilidades

dentro del equipo de trabajo. Además, se definieron frecuencias de ejecución en función del nivel de riesgo asociado a cada falla, lo cual brinda una base clara para programar las actividades a lo largo del tiempo.

### Referencias bibliográficas

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2002). *Amonia as refrigerant*. <https://www.ashrae.org>.
- Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51–59. <https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v23n1a06>
- International Organization for Standardization. (2016). ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. <https://www.iso.org/standard/64076.html> Organization for Standardization. (2016). *ISO14224*. <https://www.iso.org/standard/64076.html>
- Ministerio de Salud y Protección Social, (2013). *Resolución 240 de 2013*. [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20240%20de%202013.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20240%20de%202013.pdf)
- Mora Gutiérrez, L. A. (2009). *Mantenimiento: Planeación, ejecución y control*. Alfaomega Grupo Editor.
- Moubray, J. (1991). *RCM II: Reliability Centered Maintenance*. Butterworth-Heinemann.
- Nowlan, F. S., & Heap, H. F. (1978). *Reliability-centered maintenance*. U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service.
- Pearson, A. (2008). Refrigeration with ammonia. *International Journal of Refrigeration*, 31(4), 545–551. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2007.11.011>

- Prabata, S., & Wiyana, A. F. (2012). Application of combined reliability centered maintenance and risk based inspection method to improve the effectiveness of maintenance management of compressor ZR 5 intercooler. *The Indonesian Journal of Business Administration*, 1(2), 99–104.
- SAE International. (1999). *SAE JA1011, Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad*.
- SAE International. (2002). *SAE JA1012: Una guía para la norma de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC)*.
- Smith, A. M. (2011). *Reliability Centered Maintenance*. . McGraw-Hill Professional.

ANEXOS

ANEXO A

TABLA RCM PARA MOTOR AUXILIAR

| Equipo          | Función del equipo  | Componente              | Función  | Descripción Falla Funcional | Modo de Falla  | FALLA OCULTA | Descripción Efectos y Consecuencias  | Clasificación de riesgo | NPR  | TIPO DE DECISIÓN                           | DESCRIPCIÓN TAREA   | Frecuencia | RECURSOS  | Cod. Tarea |
|-----------------|---|-------------------------|--|-----------------------------|--|--------------|--|-------------------------|------|--|---|------------|---|------------|
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | MOTOR AUXILIAR (ACEITE) | GIRAR EL EJE DE LA BOMBA A 3600 RPM, CON UN CONSUMO DE CORRIENTE DE 9A | MOTOR NO GIRA               | MOTOR CON BORNADO EN CORTOCIRCUITO                     | NO           | Motor parado,Riesgo eléctrico,Sala de desposte detenida 0.5 h (30 canales perdidos),Bobinado quemado,Cambio de bobinado  | CRITICO                 | 120  | Restauración o desincorporación programada | 1. Verificar el estado del relé térmico y sustituir si está defectuoso.<br>2. Realizar pruebas de aislamiento al bobinado con megóhmetro.<br>3. Validar la temperatura de operación del motor con cámara termográfica   | Semestral  | Técnico electricista<br>Megóhmetro<br>Cámara termográfica   | OT-E-09    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | MOTOR AUXILIAR (ACEITE) | GIRAR EL EJE DE LA BOMBA A 3600 RPM, CON UN CONSUMO DE CORRIENTE DE 9A | MOTOR NO GIRA               | MOTOR CON BORNERAS DETERIORADAS O SUELTAS              | NO           | Motor parado,Riesgo eléctrico, falla de conexión,Sala de desposte detenida 0.5 h (30 canales perdidos),Borneras sulfatadas y partidas,Cambio de borneras y tornillos de conexión                                   | NO PRIORITARIO          | 60   | Tarea programada basada en condición       | 1. Inspección visual y reapriete de borneras.<br>2. Limpieza con producto dieléctrico.<br>3. Termografía para detección de puntos calientes.  | Semestral  | Técnico electricista<br>Limpia contacto                     | OT-E-10    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | MOTOR AUXILIAR (ACEITE) | GIRAR EL EJE DE LA BOMBA A 3600 RPM, CON UN CONSUMO DE CORRIENTE DE 9A | MOTOR NO GIRA               | MOTOR CON DESGASTE EN RODAMIENTOS POR DESALINEAMIENTO  | NO           | Motor parado,Se detiene la sala de desposte bovino 1/2 hora con producción de 60 canles por hora,rodamientos fisurados,Cambio de rodamientos y lubricacion   | NO PRIORITARIO          | 48   | Tarea programada basada en condición       | 1. Realizar análisis de vibraciones en horizontal, vertical y axial.<br>2. Verificar alineación con reloj comparador.<br>3. Si hay desalineación, corregir alineación entre motor y compresor.<br>4. Sustituir rodamientos si se detecta ruido o calentamiento anormal. | Semestral  | Analista de vibraciones<br>Medidor de vibraciones           | OT-E-11    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | MOTOR AUXILIAR (ACEITE) | GIRAR EL EJE DE LA BOMBA A 3600 RPM, CON UN CONSUMO DE CORRIENTE DE 9A | MOTOR NO GIRA               | MOTOR CON AISLAMIENTO DEFICIENTE                       | NO           | Motor parado,Se detiene la sala de desposte bovino 1/2 hora con producción de 60 canles por hora,Bobinado quemado,Cambio de bobinado   | PRIORITARIO             | 86,4 | Tarea programada basada en condición       | 1. Realizar prueba de aislamiento entre fases y contra tierra.<br>2. Medir resistencia con megóhmetro.<br>3. Revisar sellos de entrada de cables y presencia de humedad.<br>4. Si se detectan valores fuera de especificación, reemplazo de motor.                      | Semestral  | Técnico electricista<br>Megóhmetro                          | OT-E-12    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | MOTOR AUXILIAR (ACEITE) | GIRAR EL EJE DE LA BOMBA A 3600 RPM, CON UN CONSUMO DE CORRIENTE DE 9A | MOTOR NO GIRA               | MOTOR CON DESGASTE EN RODAMIENTOS POR LUBRICACIÓN      | NO           | Motor parado,Se detiene la sala de desposte bovino 1/2 hora con producción de 60 canles por hora,Rodamientos fisurados, ruido anormal y vibracion del motor,Cambio de rodamientos                                  | PRIORITARIO             | 75   | Tarea programada basada en condición       | 1. Engrasar con pistola evitando sobrelubricación.<br>2. Evaluar presencia de ruido o aumento de temperatura con cámara termográfica.<br>3. Cambiar rodamientos si presentan daños visibles.  | Mensual    | Técnico mecánico<br>Pistola de grasa<br>Cámara termográfica | OT-M-13    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | MOTOR AUXILIAR (ACEITE) | GIRAR EL EJE DE LA BOMBA A 3600 RPM, CON UN CONSUMO DE CORRIENTE DE 9A | MOTOR NO GIRA               | SISTEMA DE ACOPLER SUELTO POR DESGASTE EN AMORTIGUADOR | NO           | Motor parado,Se detiene la sala de desposte bovino 1/2 hora con producción de 60 canles por hora, no hay transmisión de movimiento entre el motor y el reductor, engranes partidos,alineación y cambio de piñonera | PRIORITARIO             | 75   | Tarea programada basada en condición       | 1. Verificar apriete de tornillos y estado de goma.<br>2. Evaluar juego mecánico entre los ejes.<br>3. Sustituir conjunto de acoplamiento si hay desgaste excesivo.<br>4. Comprobar alineación y probar funcionamiento.   | Semestral  | Técnico mecánico<br>Comparador de carátula                  | OT-M-14    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | MOTOR AUXILIAR (ACEITE) | GIRAR EL EJE DE LA BOMBA A 3600 RPM, CON UN CONSUMO DE CORRIENTE DE 9A | MOTOR NO GIRA               | SISTEMA DE ACOPLER SUELTO POR DESALINEAMIENTO          | NO           | Motor parado,Se detiene la sala de desposte bovino 1/2 hora con producción de 60 canles por hora, no hay transmisión de movimiento entre el motor y el reductor, engranes partidos,alineación y cambio de piñonera | NO PRIORITARIO          | 30   | Tarea programada basada en condición       | 1. Inspeccionar pernos de acoplamiento por fatiga, juego o rotura.<br>2. Reapriete de pernos de acoplamiento.<br>3. Verificar alineación entre ejes   | Semestral  | Analista de vibraciones<br>Medidor de vibraciones           | OT-M-15    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | MOTOR AUXILIAR (ACEITE) | GIRAR EL EJE DE LA BOMBA A 3600 RPM, CON UN CONSUMO DE CORRIENTE DE 9A | MOTOR NO GIRA               | BORNERA DEL MOTOR CON CONEXIONES SUELTAS POR VIBRACIÓN | NO           | Motor parado,Se detiene la sala de desposte bovino 1/2 hora con producción de 60 canles por hora,Puntos de conexión quemados, reapriete de conexiones y cambio de terminales de cableado                           | NO PRIORITARIO          | 30   | Tarea programada basada en condición       | 1. Inspección visual y reapriete de borneras.<br>2. Limpieza con producto dieléctrico.<br>3. Termografía para detección de puntos calientes.  | Trimestral | Técnico electricista<br>Limpia contacto                     | OT-E-16    |

Nota. La figura muestra el análisis RCM para el motor auxiliar incluye funciones, fallas, tareas, entre otras. *Elaboración propia*

ANEXO B

TABLA RCM PARA SISTEMA DE CONTROL

| Equipo          | Función del equipo  | Componente      | Función  | Descripción Falla Funcional                 | Modo de Falla                              | FALLA OCULTA | Descripción Efectos y Consecuencias   | Clasificación de riesgo | NPR  | TIPO DE DECISIÓN                     | DESCRIPCIÓN TAREA   | Frecuencia | RECURSOS                        | Cod. Tarea |
|-----------------|---|-----------------|--|---|--|--------------|---|-------------------------|------|--------------------------------------|---|------------|---------------------------------|------------|
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | TIERRA          | DESCARGAR LAS CORRIENTES DE FALLAS DEL SISTEMA A TIERRA                | NO DESVÍA LA SOBRECARGA ENERGÉTICA A TIERRA | CONDUCTOR DE SOBRECARGA EN MAL ESTADO      | SI           | „Se detiene la sala de desposte bovino 1 hora con producción de 60 canales por hora, Controlador en corto, Cambio de controlador  | PRIORITARIO             | 86,4 | Tarea programada basada en condición | 1. Verificación de malla eléctrica.   | Anual      | Técnico electricista Megohmetro | OT-E-17    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | SISTEMA CONTROL | ENVIAR SEÑAL DE PRESIÓN DEL REFRIGERANTE ENTRE 20PSI Y 200PSI          | ENVIA SEÑAL ERRÁTICA                        | TRANSDUCTOR DESCALIBRADO (presión)         | NO           | Valores de presión erráticos, Lectura incorrecta de presión, Detención de producción: 60 canales, Señales erráticas, Calibración de transductor                               | CRÍTICO                 | 51,2 | Detección de fallas                  | 1. Comparar lectura de transductor con manómetro análogo.<br>2. Si hay desviación >5%, realizar recalibración o reemplazo.  | Semestral  | Técnico electricista            | OT-E-24    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | SISTEMA CONTROL | ENVIAR SEÑAL DE PRESIÓN DEL REFRIGERANTE ENTRE 20PSI Y 200PSI          | ENVIA SEÑAL ERRÁTICA                        | CONECTOR DEL SENSOR AVERIADO (presión)     | NO           | Valores de presión erráticos , Riesgo eléctrico o señal incorrecta , Detención de producción: 60 canales , Señales erráticas - conector dañado , Cambio del conector rápido   | CRÍTICO                 | 64   | Tarea programada basada en condición | 1. Revisar conexión física del sensor (oxidación, sulfatado).<br>2. Limpiar terminales y reapretar.<br>3. Sustituir conector si está partido o corrido.   | Trimestral | Técnico electricista            | OT-E-25    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | SISTEMA CONTROL | ENVIAR SEÑAL DE PRESIÓN DEL REFRIGERANTE ENTRE 20PSI Y 200PSI          | ENVIA SEÑAL ERRÁTICA                        | SENSOR QUEMADO (presión)                   | NO           | No se reciben valores de presión , Pérdida de control de presión , Detención de producción: 60 canales , No se recibe señal del sensor , Cambio del sensor                    | CRÍTICO                 | 150  | Detección de fallas                  | 1. Validar continuidad eléctrica del sensor.<br>2. Confirmar presencia de 24 VDC.<br>3. Reemplazar sensor si no responde o tiene lectura fija.  | Semestral  | Técnico electricista            | OT-E-26    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | SISTEMA CONTROL | ENVIAR SEÑAL DE TEMPERATURA DEL ACEITE LUBRICANTE ENTRE - 20°C Y 180°C | ENVIA SEÑAL ERRÁTICA                        | TRANSDUCTOR DESCALIBRADO (temperatura)     | NO           | Valores de temperatura erráticos , Lectura incorrecta de temperatura , Detención de producción: 60 canales , Señales erráticas , Calibración de transductor                   | CRÍTICO                 | 225  | Tarea programada basada en condición | 1. Comparar lectura con termómetro patrón en línea.<br>2. Calibrar o reemplazar el sensor si hay desvíos.   | Trimestral | Técnico electricista            | OT-E-27    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | SISTEMA CONTROL | ENVIAR SEÑAL DE TEMPERATURA DEL ACEITE LUBRICANTE ENTRE - 20°C Y 180°C | ENVIA SEÑAL ERRÁTICA                        | CONECTOR DEL SENSOR AVERIADO (temperatura) | NO           | Valores de temperatura erráticos , Fallo en monitoreo de temperatura , Detención de producción: 60 canales , Señales erráticas - conector dañado , Cambio del conector rápido | CRÍTICO                 | 150  | Detección de fallas                  | 1. Verificar conexión física del sensor de temperatura.<br>2. Revisar sulfatación, deformaciones o juego en el conector.<br>3. Limpiar terminales con limpiador dieléctrico.<br>4. Sustituir conector si presenta desgaste. | Trimestral | Técnico electricista            | OT-E-28    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | SISTEMA CONTROL | ENVIAR SEÑAL DE TEMPERATURA DEL ACEITE LUBRICANTE ENTRE - 20°C Y 180°C | ENVIA SEÑAL ERRÁTICA                        | SENSOR QUEMADO (temperatura)               | NO           | No se reciben valores de temperatura , Riesgo térmico en operación , Detención de producción: 60 canales , No se recibe señal del sensor , Cambio del sensor                  | CRÍTICO                 | 120  | Detección de fallas                  | 1. Validar funcionamiento del sensor midiendo resistencia o señal.<br>2. Si no responde, reemplazar el sensor por uno calibrado.  | Semestral  | Técnico electricista            | OT-E-29    |

*Nota.* La figura muestra el análisis RCM para el sistema de control incluye funciones, fallas, tareas, entre otras. *Elaboración propia*

ANEXO C

TABLA RCM PARA COMPRESOR – PARTE 1

| Equipo          | Función del equipo  | Componente | Función   | Descripción Falla Funcional      | Modo de Falla                        | FALLA OCULTA | Descripción Efectos y Consecuencias  | Clasificación de riesgo | NPR | TIPO DE DECISIÓN                     | DESCRIPCIÓN TAREA   | Frecuencia | RECURSOS                                 | Cod. Tarea |
|-----------------|---|------------|---|----------------------------------|--------------------------------------|--------------|--|-------------------------|-----|--------------------------------------|---|------------|--|------------|
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | CONTENER HERMETICAMENTE EL REFRIGERANTE   | FUGA DE REFRIGERANTE             | RACORES SUELTOS                      | NO           | Olor a amoníaco y manchas de aceite,Riesgo de intoxicación a personal en sala de máquinas,Se detiene la sala de desposte bovino 1 hora con producción de 60 canles por hora,Racores dañados, fuga de refrigerante,cambio de racor            | CRÍTICO                 | 128 | Tarea programada basada en condición | 1. Revisar torque de racores de servicio y unión.<br>2. Aplicar solución detectora de fugas o detector electrónico.<br>3. Reapretar o reemplazar el racor si hay burbujeo o detección.                                  | Semestral  | Técnico mecánico<br>Herramientas de mano | OT-M-18    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | CONTENER HERMETICAMENTE EL REFRIGERANTE   | FUGA DE REFRIGERANTE             | EMPAQUE DE TUBERÍA EN MAL ESTADO     | NO           | Olor a amoníaco y manchas de aceite,Riesgo de intoxicación a personal en sala de máquinas,Se detiene la sala de desposte bovino 1 hora con producción de 60 canles por hora,Empaque cristalizado, fuga de aceite,cambio de empaque           | CRÍTICO                 | 120 | Tarea programada basada en condición | 1. Inspeccionar visualmente uniones bridadas con empaques.<br>2. Verificar presencia de aceite o escarcha como indicio de fuga.<br>3. Sustituir empaque y reapretar la unión si se detecta fuga.                        | Semestral  | Técnico mecánico<br>Herramientas de mano | OT-M-19    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | CONTENER HERMETICAMENTE EL REFRIGERANTE   | FUGA DE REFRIGERANTE             | SELLO MECÁNICO EN MAL ESTADO         | NO           | Olor a amoníaco y manchas de aceite,Riesgo de intoxicación a personal en sala de máquinas,Se detiene la sala de desposte bovino 1 hora con producción de 60 canles por hora,Resorte roto, fuga de refrigerante,cambio de empaque             | PRIORITARIO             | 112 | Tarea programada basada en condición | 1. Inspeccionar sello mecánico<br>2. Cambiar sello si se evidencia desgaste (roturas, grietas)  | Semestral  | Técnico mecánico<br>Herramientas de mano | OT-M-20    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | CONTENER HERMETICAMENTE EL ACEITE LUBRICANTE  | NO CONTIENE EL ACEITE LUBRICANTE | SELLO MECÁNICO CON FUGA              | NO           | Olor a amoníaco y manchas de aceite,Riesgo de intoxicación a personal en sala de máquinas,Se detiene la sala de desposte bovino 1 hora con producción de 60 canles por hora,Empaque cristalizado, fuga de aceite,cambio de empaque de aceite | PRIORITARIO             | 112 | Tarea programada basada en condición | 1. Verificar nivel de aceite en visor.<br>2. Inspeccionar sello de bomba y base de motor.<br>3. Cambiar sello si se evidencia pérdida de lubricante.  | Mensual    | Técnico mecánico<br>Herramientas de mano | OT-M-21    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | CONTENER HERMETICAMENTE EL ACEITE LUBRICANTE  | NO CONTIENE EL ACEITE LUBRICANTE | TORNILLERÍA DE FLANCHES SUELTOS      | NO           | Olor a amoníaco y manchas de aceite,Riesgo de intoxicación a personal en sala de máquinas,Se detiene la sala de desposte bovino 1 hora con producción de 60 canles por hora,Fuga de aceite y refrigerante,Respiete de tornillería            | CRÍTICO                 | 144 | Tarea programada basada en condición | 1. Verificar torque de tornillos de bridadas de aceite.<br>2. Revisar empaques visualmente.<br>3. Sustituir empaque o reapretar tornillería si hay pérdida.   | Mensual    | Técnico mecánico<br>Herramientas de mano | OT-M-22    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | CONTENER HERMETICAMENTE EL ACEITE LUBRICANTE  | NO CONTIENE EL ACEITE LUBRICANTE | EMPAQUE DE TUBERÍA EN MAL ESTADO     | NO           | Olor a amoníaco y manchas de aceite,Riesgo de intoxicación a personal en sala de máquinas,Se detiene la sala de desposte bovino 1 hora con producción de 60 canles por hora,Empaque agrietado, fuga de aceite ,cambio de empaque de aceite   | CRÍTICO                 | 32  | Tarea programada basada en condición | 1. Inspeccionar empaques de líneas de retorno o alimentación de aceite.<br>2. Verificar manchas de aceite o pérdida de presión.<br>3. Reemplazar empaque si hay evidencia de fuga.                                      | Trimestral | Técnico mecánico<br>Herramientas de mano | OT-M-23    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | SUCCIONAR EL AMONÍACO GASEOSO, COMPRIMIENDOLO Y AUMENTANDO SU PRESION ENTRE 150 Y 195 PSI | NO SUCCIONA EL REFRIGERANTE      | VÁLVULA DE VOLUMEN PEGADA            | NO           | Compresor con amperaje bajo , Riesgo por acumulación de refrigerante , Detención de producción: 60 canales/hora , Niveles altos de refrigerante en tanque recirculador , Cambio del kit de válvula   | CRÍTICO                 | 120 | Tarea programada basada en condición | 1. Verificar presión de succión en controlador.<br>2. Activar válvula desde PLC y verificar respuesta mecánica.<br>3. Desmontar y limpiar válvula si está pegada o trabada.<br>4. Sustituir válvula si no responde.     | Trimestral | Técnico mecánico<br>Herramientas de mano | OT-E-30    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | SUCCIONAR EL AMONÍACO GASEOSO, COMPRIMIENDOLO Y AUMENTANDO SU PRESION ENTRE 150 Y 195 PSI | NO SUCCIONA EL REFRIGERANTE      | BOBINA DE VÁLVULA DE VOLUMEN QUEMADA | NO           | Compresor con amperaje bajo , Fallo eléctrico, posible sobrecalentamiento , Detención de producción: 60 canales/hora , Niveles altos de refrigerante en tanque recirculador , Cambio de bobina   | CRÍTICO                 | 60  | Tarea programada basada en condición | 1. Medir resistencia de la bobina con multímetro.<br>2. Confirmar presencia de voltaje de activación.<br>3. Reemplazar bobina si hay cortocircuito o circuito abierto.<br>4. Verificar funcionamiento luego del cambio. | Trimestral | Técnico electricista                     | OT-E-31    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | SUCCIONAR EL AMONÍACO GASEOSO, COMPRIMIENDOLO Y AUMENTANDO SU PRESION ENTRE 150 Y 195 PSI | NO SUCCIONA EL REFRIGERANTE      | VÁLVULA DE CAPACIDAD PEGADA          | NO           | Compresor con amperaje bajo , Ineficiencia operativa , Detención de producción: 60 canales/hora , Niveles altos de refrigerante en tanque recirculador , Cambio del kit de válvula   | CRÍTICO                 | 90  | Tarea programada basada en condición | 1. Monitorear presión y consumo de energía del compresor.<br>2. Revisar señales de activación de la válvula.<br>3. Desmontar válvula y limpiar internamente.<br>4. Sustituir si no se libera o si presenta daño.        | Trimestral | Técnico electricista                     | OT-M-32    |

*Nota.* La figura muestra el análisis RCM para el compresor incluye funciones, fallas, tareas, entre otras. *Elaboración propia*

ANEXO D

TABLA RCM PARA COMPRESOR – PARTE 2

| Equipo          | Función del equipo  | Componente | Función  | Descripción Falla Funcional                        | Modo de Falla                                       | FALLA OCULTA | Descripción Efectos y Consecuencias   | Clasificación de riesgo | NPR | TIPO DE DECISIÓN                           | DESCRIPCIÓN TAREA   | Frecuencia | RECURSOS                                       | Cod. Tarea |
|-----------------|---|------------|--|--|---|--------------|---|-------------------------|-----|--|---|------------|--|------------|
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | SUCCONAR EL AMONIACO GASEOSO, COMPRIMIENDOLO Y AUMENTANDO SU PRESION ENTRE 150 Y 195 PSI | NO SUCCIONA EL REFRIGERANTE                        | BOBINA DE VÁLVULA DE CAPACIDAD QUEMADA              | NO           | Compresor con amperaje bajo , Fallo eléctrico , Detención de producción: 60 canales/hora , Niveles altos de refrigerante en tanque recirculador , Cambio de bobina                                    | CRÍTICO                 | 60  | Tarea programada basada en condición       | 1. Medir resistencia de la bobina.<br>2. Validar continuidad y alimentación eléctrica.<br>3. Cambiar bobina si la medición está fuera de especificación.<br>4. Probar activación desde controlador.   | Trimestral | Técnico electricista                           | OT-E-33    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | SUCCONAR EL AMONIACO GASEOSO, COMPRIMIENDOLO Y AUMENTANDO SU PRESION ENTRE 150 Y 195 PSI | NO COMPRIME EL GAS DENTRO DE LOS VALORES NOMINALES | DESGASTE EN TORNILLOS ROTATIVOS UNIFORME            | NO           | Presión alta en succión , Riesgo mecánico interno , Detención de producción: 60 canales/hora , Tornillos y alojamientos agrietados o fisurados , Reparación parcial de la unidad                      | CRÍTICO                 | 80  | Restauración o desincorporación programada | 1. Medir presiones de succión y descarga reales vs esperadas.<br>2. Inspeccionar estado interno de los tornillos.   | Anual      | Analista de vibraciones Medidor de vibraciones | OT-M-34    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | SUCCONAR EL AMONIACO GASEOSO, COMPRIMIENDOLO Y AUMENTANDO SU PRESION ENTRE 150 Y 195 PSI | NO COMPRIME EL GAS DENTRO DE LOS VALORES NOMINALES | DESGASTE EN TORNILLOS ROTATIVOS POR DESALINEAMIENTO | NO           | Presión alta en succión , Riesgo estructural por fatiga , Detención de producción: 60 canales/hora , Tornillos y alojamientos agrietados o fisurados , Reparación parcial de la unidad                | CRÍTICO                 | 80  | Restauración o desincorporación programada | 1. Comprobar alineación de eje.<br>2. Verificar sincronización de tornillos.<br>3. Reacondicionar o cambiar si hay desgaste irregular.  | Semestral  | Analista de vibraciones Medidor de vibraciones | OT-M-35    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | SUCCONAR EL AMONIACO GASEOSO, COMPRIMIENDOLO Y AUMENTANDO SU PRESION ENTRE 150 Y 195 PSI | NO COMPRIME EL GAS DENTRO DE LOS VALORES NOMINALES | TORNILLOS ROTATIVOS ROTOS POR RETORNO DE LÍQUIDO    | NO           | Tubería de succión del compresor congelada , Daño interno por golpe de líquido , Detención de producción: 60 canales/hora , Motor parado y congelado , Rectificación de tornillos rotativos           | CRÍTICO                 | 80  | Restauración o desincorporación programada | 1. Medir presiones de succión y descarga reales vs esperadas.<br>2. Inspeccionar estado interno de los tornillos.   | Anual      | Técnico mecánico                               | OT-E-36    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | SUCCONAR EL AMONIACO GASEOSO, COMPRIMIENDOLO Y AUMENTANDO SU PRESION ENTRE 150 Y 195 PSI | NO COMPRIME EL GAS DENTRO DE LOS VALORES NOMINALES | ACOPLE MOTOR-COMPRESOR ROTO                         | NO           | Presión alta en succión y descarga en cero , Pérdida de transmisión de potencia , Detención de producción: 60 canales/hora , Daño en acople y posible desalineación , Cambio de acople y amortiguador | CRÍTICO                 | 96  | Tarea programada basada en condición       | 1. Verificar alineación del conjunto motor-compresor.<br>2. Escuchar ruidos anómalos (golpeteo, vibración).<br>3. Revisar estado de pernos, bujes y elastómeros del acople.<br>4. Reemplazar acople si hay rotura, desintegración o juego excesivo. | Semestral  | Analista de vibraciones Medidor de vibraciones | OT-M-37    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | CONSERVAR UN BUEN ESTANDAR DE LIMPIEZA   | NO CONSERVA UN BUEN ESTADO DE LIMPIEZA             | MATERIAL PARTICULADO Y CONDENSACIÓN EN ESTRUCTURA   | NO           | Estructura del conjunto sucia y con agua , Riesgo de deterioro estructural , — , Riesgo de daño de componentes del conjunto , Limpieza periódica del conjunto   | NO PRIORITARIO          | 3   | Tarea programada basada en condición       | 1. Realizar inspección visual de acumulación de polvo y humedad.<br>2. Limpiar con paño seco, brocha.<br>3. Verificar funcionamiento de ventilación o extractores.  | Mensual    | Operador sala de máquinas                      | OT-O-38    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | CONSERVAR UN BUEN ESTANDAR DE LIMPIEZA   | NO CONSERVA UN BUEN ESTADO DE LIMPIEZA             | CORROSIÓN PRESENTE EN CARCASA                       | NO           | Estructura corroída , Daño progresivo por agentes corrosivos , — , Riesgo de daño de componentes del conjunto , Tratamiento anticorrosivo   | PRIORITARIO             | 5   | Tarea programada basada en condición       | 1. Inspeccionar visualmente la carcasa por corrosión, oxidación o desprendimiento de pintura.<br>2. Lijar área afectada y aplicar convertidor de óxido.<br>3. Pintar con esmalte anticorrosivo de grado industrial.                                 | Mensual    | Operador sala de máquinas                      | OT-O-39    |
| MOTOR-COMPRESOR | Accionar compresor para succionar y comprimir amoníaco, contenido herméticamente. | COMPRESOR  | CONSERVAR UN BUEN ESTANDAR DE LIMPIEZA   | NO CONSERVA UN BUEN ESTADO DE LIMPIEZA             | CONTAMINACIÓN PRESENTE EN MOTOR ELÉCTRICO           | NO           | Motor sucio de contaminantes , Riesgo eléctrico e incendio , Conato de incendio , Riesgo de daño de componentes del conjunto , Limpieza periódica del conjunto  | PRIORITARIO             | 5   | Tarea programada basada en condición       | 1. Inspeccionar el interior del motor retirando tapa.<br>2. Limpiar internamente con aire seco o aspiradora industrial.   | Mensual    | Operador sala de máquinas                      | OT-O-40    |

Nota. La figura muestra el análisis RCM para el compresor incluye funciones, fallas, tareas, entre otras. *Elaboración propia*