

Diseño de un Plan de Mantenimiento Basado en Confiabilidad para los Equipos más
Críticos de la Planta de Producción de la Empresa Hielos Santa Fe

Juan Camilo Prada Gómez

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniería Mecánica

Director

Heller Guillermo Sánchez Acevedo

Ingeniero Mecánico, PhD

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2026

Tabla de Contenido

| | |
|---|----|
| Introducción | 10 |
| 1. Generalidades de la Fabricación Industrial de Hielo | 12 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 12 |
| 1.2. Justificación para solucionar el problema..... | 14 |
| 2. Objetivos | 16 |
| 2.1. Objetivo general..... | 16 |
| 2.2. Objetivos específicos | 16 |
| 3. Marco teórico | 17 |
| 3.1. Mantenimiento industrial y su evolución..... | 17 |
| 3.2. Mantenimiento centrado en confiabilidad | 18 |
| 3.3. Análisis de Modos y Efectos de falla (AMEF)..... | 19 |
| 3.4. Árbol de decisión RCM | 20 |
| 3.5. Gestión de activos físicos y confiabilidad | 22 |
| 3.6. Análisis de criticidad..... | 23 |
| 3.7. Norma ISO 14224 | 23 |
| 3.8. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor..... | 23 |
| 3.9. Propiedades del amoníaco (NH ₃) como refrigerante..... | 25 |
| 4. Jerarquización y Caracterización de Activos | 28 |

| | |
|---|----|
| 4.1. Taxonomía de activos | 28 |
| 4.2. Recopilación histórica y diagnóstico del estado actual de los activos..... | 31 |
| 4.2.1. Fichas técnicas de los activos | 32 |
| 5. Análisis de criticidad..... | 34 |
| 6. Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) | 38 |
| 6.1. Identificación taxonómica de subsistemas..... | 38 |
| 6.2. Marco conceptual del AMEF..... | 39 |
| 6.3. Análisis de riesgos | 40 |
| 6.4. Hoja de información AMEF | 45 |
| 7. Plan de mantenimiento basado en RCM..... | 52 |
| 7.1. Árbol de decisión | 52 |
| 7.2. Hoja de decisión..... | 52 |
| 7.3. Consolidación de tareas | 57 |
| 8. Conclusiones | 61 |
| Referencias Bibliográficas | 63 |
| Apéndices..... | 65 |

Lista de Tablas

Tabla 1. Listado de activos principales..... 32

Tabla 2. Criterios de severidad 41

Tabla 3. Criterios de ocurrencia..... 42

Tabla 4. Criterios de detección 42

Tabla 5. Escala NPR para la priorización de riesgos 45

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Foto de la sede de la empresa Hielos Santa Fe en Cúcuta | 13 |
| Figura 2. Árbol de decision RCM..... | 21 |
| Figura 3. Componentes básicos de un sistema de refrigeración | 24 |
| Figura 4. Calor latente de evaporación versus punto de ebullición | 25 |
| Figura 5. Propiedades físicas de los refrigerantes..... | 26 |
| Figura 6. Ficha de seguridad del amoniaco (NH ₃)..... | 27 |
| Figura 7. Clasificación taxonómica | 29 |
| Figura 8. Taxonomía de activos de la planta de producción de hielo..... | 30 |
| Figura 9. Taxonomía de equipos del sistema de congelación de bloques | 31 |
| Figura 10. Ficha técnica del compresor MYCOM del sistema de bloques | 33 |
| Figura 11. Flujograma de criticidad..... | 35 |
| Figura 12. Criterios de evaluación de la criticidad | 36 |
| Figura 13. Análisis de criticidad cualitativo | 37 |
| Figura 14. Identificación taxonómica de subsistemas y componentes asociados..... | 38 |
| Figura 15. Hoja de información AMEF del sistema de lubricación | 46 |
| Figura 16. Hoja de información AMEF para el sistema de compresión..... | 47 |
| Figura 17. Hoja de información AMEF para el sistema de sellos mecánicos | 48 |
| Figura 18. Hoja de información AMEF para el sistema de transmisión..... | 49 |
| Figura 19. Hoja de información AMEF para el sistema de protección | 50 |
| Figura 20. Hoja de decisión RCM del sistema de lubricación..... | 53 |
| Figura 21. Hoja de decisión RCM del sistema de compresión | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 22. Hoja de decisión RCM del sistema de sellos mecánicos..... | 55 |
| Figura 23. Hoja de decisión RCM del sistema de transmisión | 55 |
| Figura 24. Hoja de decisión RCM del sistema de protección..... | 56 |
| Figura 25. Tareas a condición del plan de mantenimiento RCM | 58 |
| Figura 26. Tareas de reacondicionamiento cíclico del plan de mantenimiento RCM.... | 59 |
| Figura 27. Tareas de sustitución cíclica del plan de mantenimiento RCM | 59 |
| Figura 28. Tareas de búsqueda de falla del plan de mantenimiento RCM | 59 |
| Figura 29. Gráfico porcentual de tareas de mantenimiento | 60 |

Lista de Apéndices

Apéndice A. Taxonomía de sistemas de la planta..... 65

Apéndice B. Fichas técnicas de los activos vitales 67

Resumen

Título: Diseño de un Plan de Mantenimiento Basado en Confiabilidad para el Equipo más Crítico de la Planta de Producción de la Empresa Hielos Santa Fe*

Autor: Juan Camilo Prada Gómez**

Palabras Clave: Mantenimiento, RCM, AMEF, Criticidad, Compresor, Amoniaco

Descripción: La empresa HIELOS SANTA FE, ubicada en Cúcuta, Colombia, produce hielo en bloque con amoniaco como fluido refrigerante. La ausencia de un plan de mantenimiento estructurado generaba paradas no programadas que afectaban la continuidad operativa y la seguridad del personal. Para atender esta problemática, se diseñó un plan de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad sobre el equipo de mayor criticidad de la planta. Mediante un análisis de criticidad cualitativo basado en la metodología de Crespo se identificó al compresor recíprocante MYCOM N4WB como el activo prioritario, dado su riesgo operacional y su impacto directo en la producción. Sobre este activo se realizó el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), que identificó los modos de falla en los subsistemas. El árbol de decisión RCM procesó cada modo y generó un plan con tareas de mantenimiento. Los intervalos de intervención se establecieron siguiendo las recomendaciones del fabricante, ajustados a la realidad operativa y financiera de la empresa.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Heller Guillermo Sánchez Acevedo. PhD en Ingeniería Mecánica.

Abstract

Title: Design of a Reliability-Centered Maintenance Plan for the Most Critical Equipment of the Production Plant of Hielos Santa Fe

Author: Juan Camilo Prada Gómez

Key Words: Maintenance, RCM, FMEA, Criticality, Compressor, Ammonia

Description: HIELOS SANTA FE, a company located in Cúcuta, Colombia, produces block ice using ammonia as a refrigerant. The absence of a structured maintenance plan and historical failure records led to unplanned stoppages that compromised operational continuity and personnel safety. To address this, a maintenance plan was designed using the Reliability Centered Maintenance methodology applied to the plant's most critical asset. A qualitative criticality analysis based on Crespo's methodology identified the MYCOM N4WB reciprocating compressor as the priority asset due to its operational risk and direct impact on production. A Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) was then conducted, identifying the failure modes across five subsystems. The RCM decision tree processed each mode and generated a plan with maintenance tasks. Intervention intervals were defined following the manufacturer's recommendations (Mayekawa, 2014), adjusted to the company's operational and financial context.

* Degree Work

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Heller Guillermo Sánchez Acevedo. PhD in Mechanical Engineering.

Introducción

En las fábricas de hielo en Colombia es común trabajar únicamente bajo estrategias preventivas o, peor aún, esperar a que la máquina presente fallas para repararla. Si bien este enfoque tradicional saca de apuros en contextos sencillos, la realidad es que se queda corto cuando se busca entender a fondo el comportamiento real de los activos. Ante esta situación, los resultados esperados son paradas imprevistas que alteran la producción, fallas crónicas que nadie soluciona de raíz y una falta de claridad alarmante a la hora de priorizar los recursos del departamento de mantenimiento. Esto se vuelve crítico en plantas donde los equipos no descansan y donde un solo sistema detenido frena toda la operación.

El caso de Hielos Santa Fe Ltda. refleja perfectamente este escenario. Su línea de producción depende por completo de un sistema de refrigeración por amoníaco. Trabajar con este tipo de fluido exige un control estricto porque cualquier fuga o pérdida de eficiencia no solo frena la comercialización del hielo, sino que pone en riesgo la seguridad física del personal en la sala de máquinas.

Con los niveles de exigencia actuales, ya no es suficiente solo con llenar formatos preventivos para cumplir un calendario o reaccionar ante la emergencia. Se necesita un respaldo técnico real para decidir dónde invertir el presupuesto. Se debe descubrir cuáles son los activos que verdaderamente sostienen el negocio y mapear qué modos de falla generarían las peores consecuencias económicas o ambientales. Solo así se pueden dirigir los esfuerzos hacia tareas de mantenimiento que realmente impacten positivamente el indicador de disponibilidad.

Este es el vacío que el proyecto viene a solucionar. El objetivo central es diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) enfocado específicamente en el equipo que mueve la aguja en el sistema de refrigeración de Hielos Santa Fe Ltda. Para lograrlo, es necesaria la implementación de normativas internacionales que garanticen la calidad en la ejecución del plan de mantenimiento, iniciando con la caracterización técnica y la jerarquización de los activos de la planta para aislar el elemento más crítico. Después, el análisis de detalle de los modos de falla de ese equipo para estructurar un catálogo de tareas preventivas y predictivas que tengan un fundamento técnico e industrial sólido.

Al final, esta propuesta no pretende ser un manual estático que quede archivado. La idea es suministrarle a la empresa una herramienta dinámica para la toma de decisiones diarias en la gestión de sus activos. Los resultados de este plan buscan ser el punto de partida para estabilizar la confiabilidad de la sala de máquinas, mejorar las condiciones de seguridad industrial y, por supuesto, optimizar el capital invertido en el sostenimiento del sistema operativo.

1. Generalidades de la Fabricación Industrial de Hielo

1.1. Planteamiento del problema

El proceso de fabricación industrial de hielo ha generado grandes beneficios indispensables en diferentes sectores de la economía global, más concretamente en los negocios de alimentos, ya que para conservar su calidad y seguridad es de crucial importancia preservar la cadena de frío durante su manejo, transporte y almacenamiento. Adicionalmente, su fabricación y distribución son considerados altamente rentables, debido a que sus costos de producción son bajos con respecto al precio de venta, además se encuentra excluido de impuestos como el IVA y tiene extensiones en otros impuestos como el ICA.

Mediante el desarrollo tecnológico e industrial, se ha logrado incorporar productos mejor diseñados para la venta que permitan satisfacer las necesidades específicas de los diferentes clientes del sector. La venta de diferentes presentaciones de hielo, tales como hielo en cubos, hielo en bloques o hielo triturado, tienen diferentes usos en la refrigeración de alimentos y en el consumo final. En consecuencia, se ha generado una alta demanda de estos productos, lo que representa una gran oportunidad para la empresa Hielos Santa Fe Ltda.

La empresa está constituida en las ciudades de Bogotá y Cúcuta, se dedica a la fabricación y distribución de hielo en diferentes presentaciones. Actualmente en ambas sedes se usa amoníaco como refrigerante en los procesos de producción de bloques de hielo, por esta razón es de vital importancia monitorear los componentes que constituyen el ciclo, ya que el amoníaco se clasifica como gas inflamable, tóxico por inhalación y corrosivo para la piel y los ojos, por lo que cualquier falla en el sistema de refrigeración implica un alto riesgo en la seguridad del personal operativo,

así como ineficiencias productivas. La Figura 1 muestra una vista exterior de la sede ubicada en Cúcuta.

Figura 1.

Foto de la sede de la empresa Hielos Santa Fe en Cúcuta



Nota. Tomado de Google Maps

El proceso de fabricación de cubos de hielo consta de componentes como compresores, condensadores, evaporadores, serpentín, válvula de expansión y trampas de grasa en el sistema de refrigeración, y en el sistema de congelación intervienen activos como la piscina de salmuera, moldes de bloques y un puente grúa, por lo que la gestión óptima de estos activos es fundamental para el proceso productivo. La empresa manifiesta fallas de los equipos con frecuencia intermedia que ocasionan paradas productivas no programadas.

Con base en este problema, surge la necesidad de un plan de mantenimiento basado en RCM, que permitirá la reducción de fallas inesperadas, una mayor confiabilidad del sistema, disminución en los costos de mantenimiento correctivo y una mejora en la toma de decisiones. Sin embargo, es fundamental la evaluación de su viabilidad técnica y financiera, también su

impacto en la eficiencia operativa. Bajo estas circunstancias, ¿Podría el diseño de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad y disponibilidad contribuir a la mejora de la eficiencia del proceso de fabricación de hielo y en la reducción de los riesgos laborales y paradas productivas, siendo una alternativa viable financieramente para la empresa Hielos Santa Fe?

1.2. Justificación para solucionar el problema

El sistema de refrigeración en una empresa dedicada a la producción de hielo es el corazón de la operación, ya que de su correcto funcionamiento depende tanto la continuidad de la producción como la calidad del producto final. Una mínima falla en los componentes del sistema puede llegar a causar que el hielo no se congele de manera adecuada o que contenga material particulado no deseado, generando un riesgo significativo para el consumidor y la reputación de la empresa.

La empresa Hielos Santa Fe Ltda. cuenta actualmente con mantenimientos preventivos y correctivos, pero la alta frecuencia de paradas en la producción es un indicador de la ausencia de una estrategia que garantice la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. Esta situación genera cierta incertidumbre con respecto al estado de los componentes del sistema, lo que afecta directamente la producción debido a fallas inesperadas y paradas no programadas. Por esta razón se hace pertinente estudiar las causas, efectos y soluciones más convenientes para la empresa, con el fin de encontrar la estrategia más adecuada para gestionar los activos de manera óptima.

La planta de producción de hielo al usar amoníaco requiere de un alto nivel de atención, ya que pueden existir microfugas en los componentes del sistema de refrigeración debido al desgaste en las juntas o a la corrosión en tuberías, a pesar de ser comunes no se consideran aceptables en términos de seguridad y normativa, lo que representa un gran riesgo para el

personal operativo, así como consecuencias financieras relacionadas con reparaciones de emergencias e indemnizaciones. Por lo tanto, es crucial tener un plan de mantenimiento que permita detectar las fallas incipientes en el sistema.

El proyecto es altamente favorable bajo el punto de vista financiero y de seguridad operacional, ya que mediante la implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM se garantiza un control de los activos, por medio del apoyo en el registro histórico de los componentes, lo cual permite la identificación de patrones de fallas y proporciona información clave para la toma de decisiones. Esto se manifiesta en la empresa en una reducción de costos asociados a paradas no programadas y en una mayor eficiencia operativa.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento para el equipo crítico del sistema de refrigeración de la empresa HIELOS SANTA FE LTDA, mediante el uso de la metodología del RCM.

2.2. Objetivos específicos

Identificar el equipo crítico de la planta de producción de hielo mediante un análisis de criticidad, con el fin de seleccionar el activo que tenga el mayor impacto en la producción y seguridad de la planta.

Recopilar información histórica del equipo seleccionado a través de la revisión de registros de mantenimiento, entrevistas al personal operativo y observación directa, con el fin de realizar un diagnóstico del estado actual del activo.

Definir las fallas funcionales y los modos de fallas del equipo crítico del sistema de refrigeración, aplicando la metodología RCM, con el fin de conocer las condiciones que generan baja confiabilidad y desempeño.

Elaborar un AMEF (Análisis de modo y efecto de falla) del equipo crítico del sistema de refrigeración.

Establecer el plan de mantenimiento, así como sus frecuencias, basándose en los resultados que proporciona el análisis del árbol de decisión RCM.

3. Marco teórico

3.1. Mantenimiento industrial y su evolución

Durante el siglo XX, el mantenimiento industrial experimentó una transición de estrategias reactivas hacia enfoques analíticos basados en el comportamiento real de los activos. Según Moubrey (2004) hay tres generaciones del mantenimiento que reflejan esta transformación. La primera generación se dio hasta la década de 1950 y se caracterizaba por tener un enfoque puramente reactivo, en el que se esperaba a que el activo fallara para repararlo, asumiendo que la falla era un evento inevitable. Posteriormente en la década de 1960 surgió el mantenimiento preventivo, considerado por el autor como la segunda generación. Esta filosofía de mantenimiento se basa en la premisa de la vida útil finita, donde las tareas de mantenimiento se programaban a un intervalo fijo de tiempo, con el fin de disminuir el desgaste de los activos, partiendo de la idea de que cualquier componente mecánico se deteriora de forma progresiva y predecible a lo largo del tiempo. La tercera generación, que se consolida desde los años ochenta hasta la actualidad, reconoce que la mayoría de los modos de falla no siguen un patrón relacionado con la edad, por lo que las intervenciones deben basarse en el estado real del equipo y en las consecuencias de cada falla.

El mantenimiento correctivo consiste en el conjunto de tareas enfocadas en restablecer el funcionamiento de un activo una vez que ha ocurrido la falla. Si bien es inevitable en ciertos casos, su aplicación exclusiva genera altos costos por paradas no programadas y daños secundarios en los equipos (Smith, 2017). El mantenimiento preventivo, por su parte, establece intervenciones periódicas basadas en el tiempo o las horas de operación, independientemente del estado real del componente. Este enfoque resulta adecuado únicamente cuando existe una

relación clara entre la edad del componente y su probabilidad de falla. El mantenimiento predictivo o a condición, en cambio, monitorea parámetros medibles del equipo como vibración, temperatura o presión para detectar el deterioro antes de que ocurra la falla funcional, permitiendo planificar la intervención en el momento más conveniente. El RCM integra estos tres enfoques y selecciona el más apropiado para cada modo de falla según sus consecuencias y su comportamiento específico.

3.2. Mantenimiento centrado en confiabilidad

El RCM (Reliability-Centered Maintenance) es el proceso usado para determinar los requerimientos de mantenimiento (lo que debe hacerse) con el fin de asegurar que cualquier activo físico continúe funcionando como el usuario lo desee en el contexto operativo. Fue desarrollado en la industria aeronáutica en los años sesenta y setenta, conocido en el marco de la aviación como MSG3, y por fuera de esta como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Moubray, 2004).

Existen 7 preguntas básicas en el proceso del RCM, que se deben responder acerca del activo en cuestión (Smith & Hinchcliffe, 2004) y las cuales son:

- ¿Cuáles son las funciones y estándares de desempeño de cada activo?
- ¿De qué manera puede fallar en cumplir esas funciones?
- ¿Qué causa cada modo de falla?
- ¿Qué ocurre cuando sucede cada falla?
- ¿Qué consecuencias tiene cada falla?
- ¿Qué tareas preventivas o predictivas pueden aplicarse para anticiparla o mitigarla?
- ¿Qué debe hacerse si no existen tareas preventivas efectivas?

A diferencia de un plan basado solo en mantenimiento preventivo y correctivo, el RCM prioriza las actividades de acuerdo con la criticidad de los equipos, la seguridad operacional y el impacto económico (Smith, 2017).

3.3. Análisis de Modos y Efectos de falla (AMEF)

El análisis de Modos y Efectos de falla es una metodología sistemática diseñada para identificar y priorizar las vulnerabilidades que tiene un activo, analizando la naturaleza de sus fallos y las estrategias adecuadas para mitigar los efectos. Fue desarrollado en la década de los cincuenta por el sector militar estadounidense. Gracias a su eficacia, se adoptó en industrias exigentes como la automotriz y la aeroespacial. Actualmente, cumple un papel clave en el RCM, ya que proporciona la información necesaria para tomar decisiones sobre el mantenimiento, basándose en pruebas técnicas.

La jerarquización del riesgo se mide de acuerdo con las tres variables claves de la norma AIAG (2008): ocurrencia (O), detección (D) y severidad (S). Al integrar estos indicadores, se obtiene el Número de Riesgo Prioritario.

Este indicador ayuda a determinar cuáles son las formas de falla que requieren atención inmediata. A diferencia de la metodología convencional, el enfoque de confiabilidad prioriza las consecuencias operativas y de seguridad. Esto significa que un modo de falla no se descarta solo por tener un número de riesgo bajo, ya que, si la severidad es capaz de comprometer la integridad física o ambiental, la implementación de una tarea proactiva se vuelve innegociable. En este punto, la lógica de Moubray (2004) se impone sobre los datos estadísticos: gestionar el mantenimiento no es simplemente resolver una ecuación de probabilidades, sino asegurar la función del activo frente a sus consecuencias más críticas.

3.4. Árbol de decisión RCM

El árbol de decisión RCM es una herramienta que permite integrar el AMEF con el plan de mantenimiento. Su lógica se basa en una premisa fundamental: la importancia de prevenir una falla no depende únicamente de sus características técnicas, sino principalmente de sus consecuencias (Moubray, 2004). El árbol de decisión permite clasificar las consecuencias de cada modo de falla en cuatro categorías diferentes, y dependiendo de esa categoría, selecciona el tipo de tarea más adecuado. Para su correcto uso, se debe responder una serie de preguntas secuencialmente, que permiten determinar si el evento es evidente, afecta la seguridad o el medio ambiente o simplemente la capacidad operativa.

Los tipos de tareas que genera el árbol de decisión son:

Tareas a condición (TC), que consiste en monitorear un parámetro que evidencie el deterioro antes de la falla funcional.

Reacondicionamiento cíclico (RC), que restaura la capacidad del componente a un intervalo fijo antes de alcanzar su límite de vida.

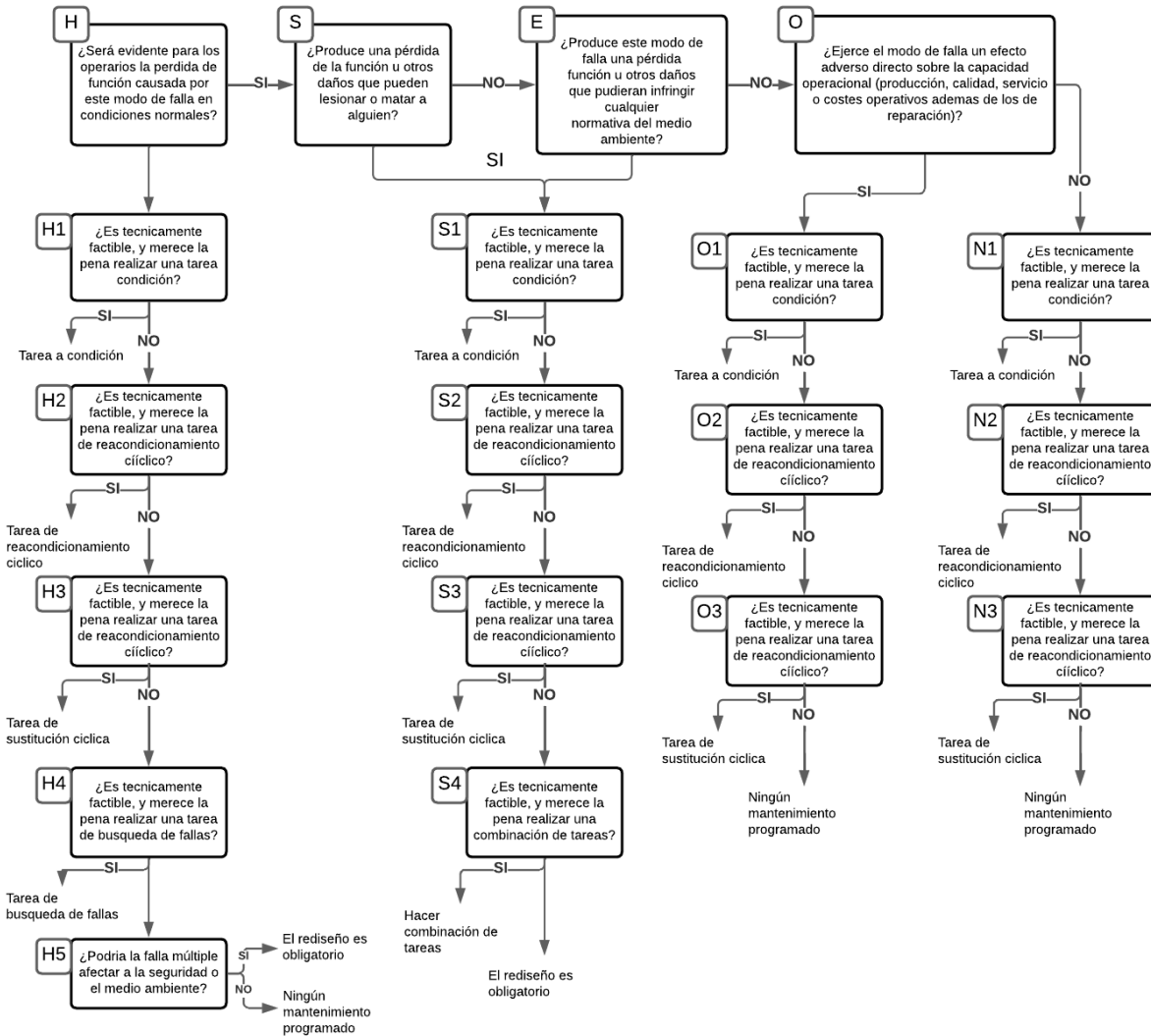
Sustitución cíclica (SC), que reemplaza el componente sistemáticamente a intervalos fijos independientemente de su estado.

Búsqueda de falla (BF), que verifica periódicamente si una función oculta sigue operativa.

Ausencia de mantenimiento programado (NTP), que consiste cuando el costo de la falla es menor que el costo de prevenirla y no hay implicaciones de seguridad. La lógica completa del árbol de decisión se presenta en la Figura 2.

Figura 2.

Árbol de decisión RCM



Nota. Elaboración basada en Moubray (2004, p.204) y Norma SAE JA1011 como marco metodológico.

La norma SAE JA1011 describe el criterio mínimo que cualquier proceso debe cumplir para ser llamado “RCM”, independientemente de la industria o tipo de activo analizado. La norma no intenta definir un proceso en específico, sino que establece las preguntas claves que se deben responder durante el análisis, con el fin de que las decisiones estén basadas en la

confiabilidad, el riesgo y las consecuencias de falla (SAE International, 1999). Este enfoque permite determinar las tareas de mantenimiento viables y justificadas teniendo en cuenta la seguridad, disponibilidad y desempeño del sistema.

La norma SAE JA1011 hace una contribución metodológica que va más allá de simplemente listar pasos a seguir. Su valor está en establecer criterios verificables que permiten supervisar si un proceso realmente cumple con los principios del RCM. Uno de esos criterios es que el análisis debe considerar el contexto operacional del activo antes de definir cualquier función o modo de falla, ya que el mismo equipo puede requerir estrategias de mantenimiento completamente distintas dependiendo del entorno en que opera. En una planta de producción de hielo con amoníaco como fluido de trabajo, esto resulta determinante: las condiciones de operación continua, la criticidad del fluido y las exigencias ambientales establecen un contexto que no puede ignorarse al momento de definir qué constituye una falla y qué tan grave resulta (SAE International, 1999).

Otro aspecto que la norma JA1011 enfatiza es la distinción entre tareas aplicables y tareas efectivas. No toda tarea técnicamente posible merece implementarse. Una tarea es aplicable cuando tiene la capacidad real de prevenir la falla que se quiere controlar; es efectiva cuando además de esto, puede justificarse frente al costo de la falla que intenta evitar. El resultado práctico es un plan más eficiente, donde cada tarea tiene una razón técnica documentada para existir (SAE International, 1999).

3.5. Gestión de activos físicos y confiabilidad

Obtener valor de los activos físicos en diferentes operaciones y sistemas industriales hace que la gestión de estos sea una tarea de vital importancia. La gestión de activos físicos en un sistema industrial tiene como objetivo principal hacer que todo funcione de la manera más

ventajosa para la empresa. Es necesario gestionar el ciclo de vida de los activos físicos para obtener el rendimiento deseado, a un precio que se pueda pagar, con unos riesgos tolerables para la seguridad, el medio ambiente y el negocio en cuestión. La gestión de activos es una disciplina amplia y holística que incluye la gestión del mantenimiento y utiliza el RCM como herramienta principal para guiar las decisiones de mantenimiento e ingeniería (Sifonte & Reyes-Picknell, 2017).

3.6. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad de activos (ACA) es una herramienta para evaluar el impacto que tiene la falla de un activo con respecto a los objetivos de la organización. De la misma manera el análisis de criticidad proporciona un enfoque para garantizar que las mejoras en confiabilidad y disponibilidad se realicen en función de riesgos calculados y no de percepciones individuales. Existen diferentes estándares para la gestión del riesgo de fallos como lo son la ISO 31000, ISO 14224 y NORSOK Z-008 (Sifonte & Reyes-Picknell, 2017).

3.7. Norma ISO 14224

Para la clasificación y nombramiento de activos en un plan de mantenimiento se usa la norma internacional ISO 14224, la cual proporciona una taxonomía estandarizada para clasificar equipos y registrar datos de falla, con el fin de optimizar la gestión del ciclo de vida del activo. Además, describe los principios para una recopilación de datos en un lenguaje de confiabilidad útil para comunicar la experiencia operativa (ISO, 2016).

3.8. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

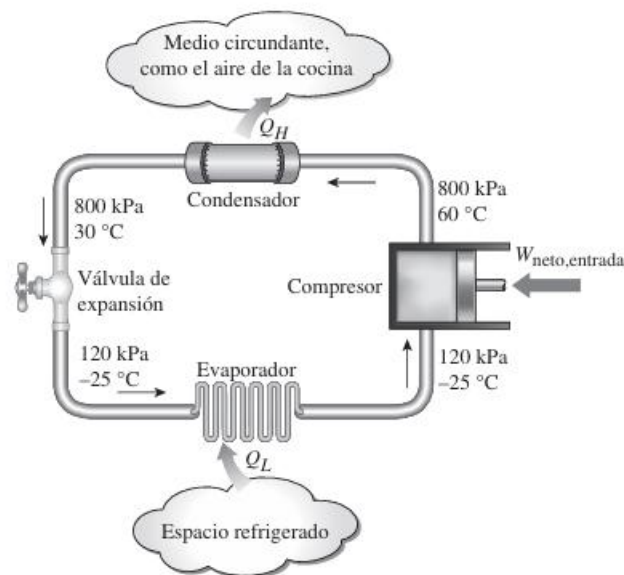
El ciclo de refrigeración por compresión de vapor consiste en un proceso termodinámico en el cual el fluido de trabajo, también denominado como refrigerante, circula a través de 4 componentes principales que le permiten realizar múltiples cambios de estado con el fin de

extraer calor de un lugar a acondicionar. Los 4 componentes que intervienen son: un compresor, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador.

El ciclo opera de forma continua mientras el sistema está en funcionamiento. El compresor eleva la presión del refrigerante en estado gaseoso, que luego cede calor al ambiente en el condensador y pasa a estado líquido. La válvula de expansión reduce su presión bruscamente, provocando un descenso de temperatura, y finalmente el evaporador absorbe el calor del medio a enfriar mientras el refrigerante se vaporiza nuevamente para reiniciar el ciclo (Cengel & Boles, 2012). Los componentes principales de este ciclo se ilustran en la Figura 3.

Figura 3.

Componentes básicos de un sistema de refrigeración



Nota. Fuente: (Cengel & Boles, 2012)

El rendimiento de un ciclo de refrigeración de vapor se mide mediante un coeficiente de desempeño (COP). El COP se define mediante la relación de la potencia útil de enfriamiento con

la potencia eléctrica que consume, indicando una eficiencia en el sistema (Cengel & Boles, 2012).

3.9. Propiedades del amoníaco (NH₃) como refrigerante

El amoníaco (R717) es un gas incoloro y de olor penetrante, muy usado en la industria como refrigerante natural debido a su eficiencia, que se traduce en un alto calor latente de vaporización y excelentes propiedades termodinámicas que permiten una gran absorción de calor por unidad de masa. Se caracteriza por ser una sustancia altamente tóxica al inhalarse o al estar en contacto con la piel o los ojos, además en mezclas con el aire a ciertas concentraciones puede ser inflamable y es altamente corrosivo, siendo no compatible con materiales como el cobre, aluminio, zinc y sus aleaciones (Miller & Miller, 2018). La Figura 4 compara el calor latente de evaporación frente al punto de ebullición de distintos refrigerantes, evidenciando la ventaja térmica del amoníaco

Figura 4.

Calor latente de evaporación versus punto de ebullición

Table 6 Latent Heat of Vaporization Versus Boiling Point

| No. | Refrigerant Chemical Name or Composition (% by mass) | Normal Boiling Point, °F | Latent Heat λ at NBP, Btu/lb·mol | Trouton Constant, $\lambda/^\circ\text{R}^b$ | Ref. |
|------|--|-----------------------------------|---|--|------|
| 717 | Ammonia | -28.0 | 10,036 | 23.256 | 1 |
| 630 | Methyl amine ^a | 23.0 | 11,141 | 23.086 | 4 |
| 764 | Sulfur dioxide | 13.6 | 10,705 | 22.626 | 2 |
| 631 | Ethyl amine | 68.0 | 11,645 | 22.076 | 4 |
| 611 | Methyl formate ^a | 100.0 | 12,094 | 21.616 | 4 |
| 134a | Tetrafluoroethane | -15.07 | 9,531 | 21.44 | 5 |
| 504 | R-32/115 (48.2/51.8) | -71.0 | 8,282 | 21.316 | 1 |
| 23 | Trifluoromethane | -115.7 | 7,325 | 21.29 | 1 |

Nota. Fuente: (ASHRAE, 2001)

El amoníaco se puede detectar quemando una vela de azufre cerca de la presunta fuga o acercando una solución de ácido clorhídrico al objeto. Si hay vapor de amoníaco, se forma una nube blanca o humo de sulfito de amonio o cloruro de amonio. El amoníaco también se puede detectar con papel indicador que cambia de color en presencia de una base (ASHRAE, 2001). La Figura 5 resume las propiedades físicas de los principales refrigerantes de uso industrial y la Figura 6 representa la clasificación de peligros del amoníaco.

Figura 5.

Propiedades físicas de los refrigerantes

Table 2 Physical Properties of Selected Refrigerants^a

| No. | Refrigerant Chemical Name or Composition (% by mass) | Chemical Formula | Molecular Mass | Boiling Pt. (NBP) at | | Freezing Point, °F | Critical Temper- ature, °F | Critical Pressure, psia | Critical Volume, ft ³ /lb | Refractive Index of Liquid ^{b,c} |
|-------------------|--|-----------------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--|---|
| | | | | 14.696 psia, °F | °F | | | | | |
| 704 | Helium | He | 4.0026 | -452.1 | None | -450.3 | 33.21 | 0.2311 | 1.021 (NBP) 5461 Å | |
| 702p | Hydrogen, para | H ₂ | 2.0159 | -423.2 | -434.8 | -400.3 | 187.5 | 0.5097 | 1.09 (NBP) ^f | |
| 702n | Hydrogen, normal | H ₂ | 2.0159 | -423.0 | -434.5 | -399.9 | 190.8 | 0.5320 | 1.097 (NBP) 5791 Å | |
| 720 | Neon | Ne | 20.183 | -410.9 | -415.5 | -379.7 | 493.1 | 0.03316 | — | |
| 728 | Nitrogen | N ₂ | 28.013 | -320.4 | -346.0 | -232.4 | 492.9 | 0.05092 | 1.205 (83 K) 5893 Å | |
| 729 | Air | — | 28.97 | -317.8 | — | -220.95 | 548.9 | 0.0530 | — | |
| | | | | | | -221.1 | 546.3 | 0.05007 | — | |
| 740 | Argon | Ar | 39.948 | -302.55 | -308.7 | -188.48 | 704.9 | 0.0301 | 1.233 (84 K) 5893 Å | |
| 732 | Oxygen | O ₂ | 31.9988 | -297.332 | -361.8 | -181.424 | 731.4 | 0.03673 | 1.221 (92 K) 5893 Å | |
| 50 | Methane | CH ₄ | 16.04 | -258.7 | -296 | -116.5 | 673.1 | 0.099 | — | |
| 14 | Tetrafluoromethane | CF ₄ | 88.01 | -198.3 | -299 | -50.2 | 543 | 0.0256 | — | |
| 1150 | Ethylene | C ₂ H ₄ | 28.05 | -154.7 | -272 | 48.8 | 742.2 | 0.070 | 1.363(-148) ¹ | |
| 744A ² | Nitrous oxide | N ₂ O | 44.02 | -129.1 | -152 | 97.7 | 1048 | 0.0355 | — | |
| 170 | Ethane | C ₂ H ₆ | 30.07 | -127.85 | -297 | 90.0 | 709.8 | 0.0830 | — | |
| 503 | R-23/13 (40.1/59.9) | — | 87.5 | -127.6 | — | 67.1 | 607 | 0.0326 | — | |
| 508A ⁹ | R-23/116 (39/61) | — | 100.1 | -125.34 | — | 51.82 | 536.78 | 0.0279 | — | |
| 508B ⁹ | R-23/116 (46/54) | — | 95.39 | -125.28 | — | 53.71 | 556.07 | 0.0280 | — | |
| 23 | Trifluoromethane | CHF ₃ | 70.02 | -115.7 | -247 | 78.1 | 701.4 | 0.0311 | — | |
| 13 | Chlorotrifluoromethane | CClF ₃ | 104.47 | -114.6 | -294 | 83.9 | 561 | 0.0277 | 1.146 (77) ⁴ | |
| 744 | Carbon dioxide | CO ₂ | 44.01 | -109.2 ^d | -69.9 ^e | 87.9 | 1070.0 | 0.0342 | 1.195 (59) | |
| 13B1 | Bromotrifluoromethane | CBrF ₃ | 148.93 | -71.95 | -270 | 152.6 | 575 | 0.0215 | 1.239 (77) ⁴ | |
| 504 | R-32/115 (48.2/51.8) | — | 79.2 | -71.0 | — | 151.5 | 690.5 | 0.0324 | — | |
| 32 | Difluoromethane | CH ₂ F ₂ | 52.02 | -61.1 | -213 | 173.14 | 845.6 | 0.03726 | — | |
| 410A ⁹ | R-32/125 (50/50) | — | 72.6 | -60.83 | — | 158.4 | 694.87 | 0.0293 | — | |
| 125 | Pentafluoroethane | C ₂ HF ₅ | 120.03 | -55.43 | -153.67 | 151.34 | 526.57 | — | — | |
| 1270 | Propylene | C ₃ H ₆ | 42.09 | -53.86 | -301 | 197.2 | 670.3 | 0.0720 | 1.3640 (-58) ¹ | |
| 143a ⁹ | Trifluoroethane | CH ₃ CF ₃ | 84 | -53.039 | -169.26 | 162.87 | 545.49 | 0.0372 | — | |
| 507A ⁹ | R-125/143a (50/50) | — | 98.9 | -52.80 | — | 159.34 | 538.97 | 0.0325 | — | |
| 404A ⁹ | R-125/143a/134a (44/52/4) | — | 97.6 | -51.66 | — | 162.5 | 597.5 | 0.0279 | — | |
| 502 ⁵ | R-22/115 (48.8/51.2) | — | 111.63 | -49.8 | — | 179.9 | 591.0 | 0.0286 | — | |
| 407C ⁹ | R-32/125/134a (23/25/52) | — | 86.2 | -46.22 | — | 186.9 | 672.2 | 0.0317 | — | |
| 290 | Propane | C ₃ H ₈ | 44.10 | -43.76 | -305.8 | 206.1 | 616.1 | 0.0726 | 1.3397 (-43) | |
| 22 | Chlorodifluoromethane | CHClF ₂ | 86.48 | -41.36 | -256 | 204.8 | 721.9 | 0.0305 | 1.234 (77) ⁴ | |
| 115 | Chloropentafluoroethane | CClF ₂ CF ₃ | 154.48 | -38.4 | -159 | 175.9 | 457.6 | 0.0261 | 1.221 (77) ⁴ | |
| 500 | R-12/152a (73.8/26.2) | — | 99.31 | -28.3 | -254 | 221.9 | 641.9 | 0.0323 | — | |
| 717 | Ammonia | NH ₃ | 17.03 | -28.0 | -107.9 | 271.4 | 1657 | 0.068 ^d | 1.325 (61.7) | |
| 12 | Dichlorodifluoromethane | CCl ₂ F ₂ | 120.93 | -21.62 | -252 | 233.6 | 596.9 | 0.0287 | 1.288 (77) ⁴ | |
| 134a | Tetrafluoroethane | CF ₃ CH ₂ F | 102.03 | -15.08 | -141.9 | 214.0 | 589.8 | 0.029 | — | |
| 152a | Difluoroethane | CHF ₂ CH ₃ | 66.05 | -13.0 | -178.6 | 236.3 | 652 | 0.0439 | — | |

Nota. Fuente: (ASHRAE, 2001)

Figura 6.

Ficha de seguridad del amoniaco (NH3)

| SECCIÓN II –IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO | |
|---|--|
| CLASIFICACIÓN (según la Directiva 1272/2008/EC) Producto Corrosivo | |
| Pictograma: | |
| Palabra de advertencia: | PELIGRO! Corrosivo |
| Indicaciones de peligro: | <p>Puede ser fatal si inhalado. El amoniaco anhidro líquido es extremadamente frío y puede causar congelamiento de tejidos en su contacto. Use ventilación adecuada para mantener la exposición debajo de los límites recomendados. No respire el gas. No ponga en contacto con ojos, piel o ropa. No pruebe o trague. Lave cuidadosamente luego del manipuleo. Use equipamiento protector personal adecuado.</p> <p>Gas comprimido o líquido refrigerado. Manténgase alejado del calor, chispas, llamas u otras fuentes de ignición (i.e. electricidad estática, llamas piloto, Equipo mecánico/eléctrico).</p> <p>Gas o líquido incoloro con un olor intenso, pungente, y sofocante.</p> |

Nota. Fuente: (CIAFA, s.f.).

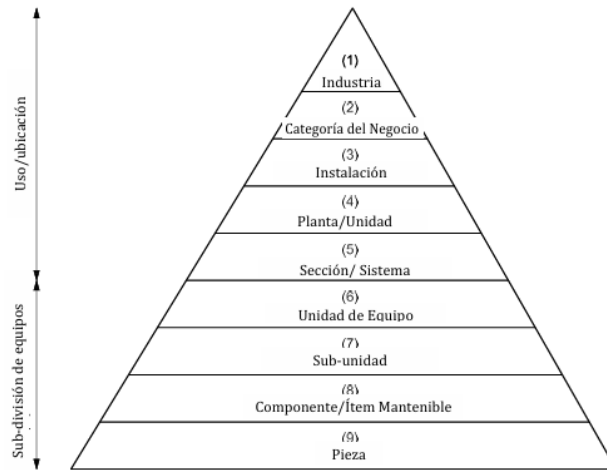
4. Jerarquización y Caracterización de Activos

La primera fase del proceso RCM consiste en establecer una base de información confiable sobre los activos que serán analizados. Sin esta base, no es posible definir funciones, identificar modos de falla ni construir el AMEF con criterios técnicos verificables. En el caso de Hielos Santa Fe, esta fase implicó además resolver una carencia estructural de la empresa: la ausencia total de un sistema de jerarquización y codificación de activos.

Al inicio de las actividades en planta se evidenció que la empresa no contaba con un sistema de jerarquización y codificación de activos físicos. Los equipos se identificaban principalmente por el nombre predeterminado que estableció la misma empresa, lo que dificultaba la obtención de información estandarizada con propósitos de mantenimiento. Fue necesario establecer una clasificación jerárquica, así como un sistema de codificación de activos, por lo que se optó por la implementación de la norma ISO 14224 para suplir la ausencia de información de los equipos.

4.1. Taxonomía de activos

La ISO 14224 proporciona un marco estandarizado para organizar los equipos desde un nivel general hasta llegar a los componentes mantenibles. Para esta fase, se siguieron los parámetros establecidos por la normativa, de esta forma se llegó a una clasificación sistemática de los ítems de la empresa Hielos Santa Fe. Esta estructura jerárquica facilitó la identificación de cada activo dentro de la planta y permitió establecer la base sobre la cual se desarrollarán las fases posteriores del análisis RCM. Los niveles jerárquicos que contempla la norma se ilustran en la Figura 7.

Figura 7.*Clasificación taxonómica*

Nota. Fuente: NORMA ISO 14224

La norma ISO 14224 estructura la taxonomía en hasta ocho niveles jerárquicos, desde la industria en el nivel más alto hasta los componentes mantenibles en el nivel más específico. Sin embargo, no todos los niveles son obligatorios; la selección depende del alcance del proyecto y de la profundidad de análisis requerida. Para el caso de la planta Hielos Santa Fe, se emplearon los primeros cinco niveles de la clasificación, que abarcan desde la instalación hasta el equipo individual, lo cual es suficiente para identificar y codificar los activos que serán objeto del plan de mantenimiento.

Este proceso permitió no solo codificar los activos de forma estandarizada, sino también tener una visión integral de toda la instalación antes de profundizar en el comportamiento del activo. En la Figura 8 se presenta la taxonomía resultante del proceso de caracterización.

Figura 8.*Taxonomía de activos de la planta de producción de hielo*

|  | | HIELOS SANTA FE LTDA | | Fecha: 20/01/2026 | |
|---|-------------------------|-------------------------------|---|---|---------------|
| Categoría Principal | Nivel Taxonómico | Jerarquía de Taxonomía | Definición | Descripción | Código |
| Datos de uso/Ubicación | 1 | Industria | Tipo de industria principal | Industria de alimentos | IA |
| | 2 | Categoría del Negocio | Tipo de negocio o flujo de procesos | Producción industrial de hielo | HIE |
| | 3 | Categoría de la Instalación | Tipo de instalación | Instalación de congelación | IDC |
| | 4 | Categoría de Planta/Unidad | Tipo de planta/unidad | Planta de producción de hielo en bloques, triturado y cubos | PPL |
| | 5 | Sección/Sistema | Sección/sistemas principales de la planta | Sistema de congelación de bloques | SCB |
| | 5 | Sección/Sistema | Sección/sistemas principales de la planta | Sistema de cubos independiente | SCI |
| | 5 | Sección/Sistema | Sección/sistemas principales de la planta | Sistema cuarto frío/almacenamiento | SCF |
| | 5 | Sección/Sistema | Sección/sistemas principales de la planta | Sistema de purificación de agua | SPA |

Nota. Niveles taxonómicos de datos de uso y ubicación en la empresa Hielos Santa Fe.

A lo largo del proceso de caracterización se identificaron cuatro sistemas funcionales dentro de la planta, entre ellos el sistema de producción de bloques de hielo, el sistema de refrigeración del cuarto frío, el sistema independiente de producción de hielo en cubos y el sistema de purificación de agua. La norma es clara con la importancia de tener un contexto con una visión integral de toda la instalación. Por lo que fue necesario elaborar una taxonomía de equipos para cada uno de los cuatro sistemas identificados en la planta. La Figura 9 presenta la taxonomía del sistema de congelación de bloques; las taxonomías de los demás sistemas se encuentran en el Apéndice A.

Figura 9.

Taxonomía de equipos del sistema de congelación de bloques

|  | | HIELOS SANTA FE LTDA | | Fecha: 20/01/2026 | | |
|---|-------------------------|-------------------------------|--|---------------------------|---------------|-------------------------------|
| SCB | | | | | | |
| Categoría Principal | Nivel Taxonómico | Jerarquía de Taxonomía | Definición | Descripción | Código | Código Único de Activo |
| Subdivisión de equipos | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Compresor recíprocante | COMR | IDC-PPL-SCB-COMR-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Valvula de expansión | VAEX | IDC-PPL-SCB-VAEX-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Serpentín (Evaporador) | SERP | IDC-PPL-SCB-SERP-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Tanque almacenamiento NH3 | TANH | IDC-PPL-SCB-TANH-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Piscina de salmuera | PISA | IDC-PPL-SCB-PISA-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Paquete de condensado | COND | IDC-PPL-SCB-COND-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Moldes de congelación | CAVA | IDC-PPL-SCB-CAVA-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Puente grúa | PUGR | IDC-PPL-SCB-PUGR-01 |

Nota. Niveles taxonómicos de subdivisión de equipos de la empresa Hielos Santa Fe.

4.2. Recopilación histórica y diagnóstico del estado actual de los activos

Los registros históricos de cada activo son una pieza clave en la gestión del mantenimiento, ya que con estos es posible identificar los patrones de falla y la efectividad de las tareas preventivas. Sin embargo, durante el levantamiento de la información, se encontró que la empresa no contaba con registros en los que se documenten las intervenciones, las fallas funcionales y los tiempos de reparación de los equipos. Ante esta situación, se estableció una metodología de

recopilación de información que se fundamentó en la inspección física de cada componente y en la aplicación de entrevistas al personal de la empresa.

4.2.1. Fichas técnicas de los activos

A partir de la información recopilada se diseñaron y diligenciaron fichas técnicas con el fin de obtener información valiosa del contexto operacional de cada equipo principal. La selección de los activos fue basada en los equipos que constituyen una función importante para la continuidad operativa y además en aquellos que tienen una función mecánica cuyo fallo implique un riesgo para la seguridad o producción. Los activos seleccionados se relacionan en la Tabla 1.

Cabe aclarar que la empresa no contaba con los manuales de operación de cada equipo y que las placas de los fabricantes de algunos activos se encontraban muy deterioradas, esto debido a que la adquisición de estos fue de segunda mano. Además, los paquetes de condensado fueron fabricación propia de la empresa, por lo que las fichas técnicas elaboradas constituyen el primer registro histórico del activo. La Figura 10 presenta la ficha técnica del compresor MYCOM N4WB, activo principal del sistema de congelación de bloques.

Tabla 1.

Listado de activos principales

| Equipo | Codigo unico de activo |
|---|------------------------|
| Compresor reciprocante MYCOM N4WB | SCB-COMR-01 |
| Compresor reciprocante MYCOM N2A | SCF-COMR-01 |
| Compresor reciprocante INGERSOLL RAND SS3L3 | SCI-CAIR-01 |
| Condensador evaporativo de bloques | SCB-COND-01 |
| Condensador evaporativo de cuarto frío | SCF-COND-01 |
| Tanque recibidor de amoniaco | SCB-TANH-01 |
| Máquina de cubos VOGT P118F | SCI-MCC-01 |

Nota. Lista de activos que tienen función mecánica o cuyo fallo represente un riesgo para la empresa.

Figura 10.

Ficha técnica del compresor MYCOM del sistema de bloques

| | | | |
|---|--------------------------------|--|--------------------------------------|
|  | HIELOS SANTA FE LTDA | Código | IDC-PPL-SCB-COMR-01 |
| | | Fecha | 26/01/2026 |
| | FICHA TECNICA DE EQUIPO | Ubicación | Sala de máquinas |
| | | Sistema | SCB |
| DESCRIPCIÓN VISUAL | | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
|  | | NOMBRE | Compresor reciprocante |
| | | FABRICANTE | MYCOM |
| | | MODELO | N4WB |
| | | VELOCIDAD MAXIMA | 1200 RPM |
| | | UNIDAD MOTRIZ | Motor trifasico |
| | | POTENCIA | 75 HP |
| | | VOLTAJE | 440 V |
| | | LUBRICACION | Bomba de aceite integrada (ISO VG68) |
| | | TRANSMISIÓN | Correas en V (8) |
| | | CONTEXTO OPERACIONAL | |
| | | Ambiente de trabajo: Sala de máquinas, con exposición a alta humedad relativa y trazas de vapores de amoníaco | |
| | | Monitoreo por rondas de verificación de los niveles de presión y de aceite por parte de los operarios | |
| | | Cuenta con tres manómetros (succión, aceite, descarga), una válvula de seguridad y una válvula solenoide de control de capacidad. Cuenta con termómetros en la línea de descarga y en el carter. | |
| FUNCION | | HALLAZGOS | |
| Comprimir vapor de amoníaco R-717 desde una presión de succión de 0.17 a 0.20 MPa hasta una presión de descarga de 1.1 a 1.5 MPa. El refrigerante en estado de vapor a alta presión es descargado hacia el separador de aceite para luego ser suministrado al condensador. El equipo debe ser capaz de mantener un flujo volumétrico de 380 m ³ /h operando a una velocidad de 1200 RPM y accionado a 75 HP. | | Trazas de vapores de amoníaco detectadas mediante vía olfativa. | |
| | | Oxidación en pernos de las tapas y tuberías | |
| | | Degradamiento de la capa de pintura y suciedad general | |

Nota. Las fichas técnicas de los demás activos se encuentran en el Apéndice B.

5. Análisis de criticidad

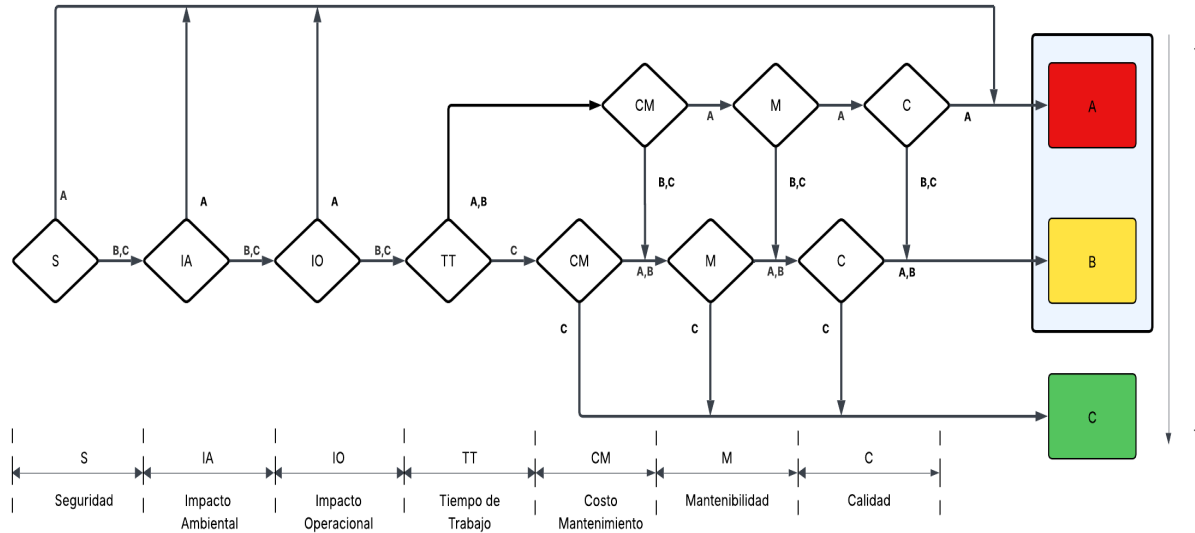
Con los activos identificados y caracterizados, el siguiente paso consistió en determinar cuál de ellos representa el mayor riesgo para la continuidad operativa y la seguridad de la planta. Esta etapa es fundamental dentro del proceso RCM porque permite enfocar el análisis en el activo que realmente justifica el esfuerzo de diseñar un plan de mantenimiento detallado, evitando dispersar recursos en equipos de bajo impacto.

Para la selección del activo más crítico en la planta, se implementó un análisis de criticidad cualitativo, debido a que la empresa no cuenta con un registro histórico de fallas y además la información recolectada en las encuestas no era suficientemente detallada como para llegar a cuantificar la frecuencia de las fallas y el comportamiento de cada activo. Teniendo en cuenta esta condición, se optó por implementar la metodología del ingeniero Adolfo Crespo, la cual consiste en un cuestionario en forma de flujograma, donde el equipo de trabajo decidió en consenso cuál activo pertenece a las diferentes categorías de criticidad. Los niveles de criticidad se categorizan con las letras A, B y C, siendo A el nivel más crítico, B un nivel de criticidad intermedio y C el menos crítico.

El flujograma fue adaptado al contexto operacional de la planta Hielos Santa Fe, ajustando los criterios de evaluación a las condiciones específicas de una empresa que trabaja con amoniacó en operación continua. Esta adaptación es clave porque el orden de los criterios de la metodología no siempre refleja la realidad de cada industria. El flujograma se presenta en la Figura 11.

Figura 11.

Flujograma de criticidad



Nota. Los criterios de evaluación se adaptaron a los intereses de la empresa Hielos Santa Fe.

El flujograma cuenta con diferentes criterios de evaluación de la criticidad, los cuales van en orden secuencial según la importancia que tienen en la óptima operación de la planta. Cada respuesta conduce a una rama diferente, de modo que el activo recorre el diagrama hasta quedar clasificado en uno de los tres niveles. A diferencia de las metodologías cualitativas, este método no requiere datos históricos de los equipos ni cálculos matemáticos; su principal fortaleza está en estructurar el conocimiento del equipo humano para que el criterio de quienes conocen la planta se traduzca en una clasificación objetiva.

Los criterios que se tuvieron en cuenta para evaluar la criticidad de los activos se encuentran en la Figura 12.

Figura 12.*Criterios de evaluación de la criticidad*

| Clasificación | Criterios de evaluación | Categorías | | |
|---------------|-------------------------|---|---|--|
| | | A | B | C |
| S | Seguridad | Activos que al fallar pueden provocar accidentes que causen lesiones o incluso la muerte de algún operario o empleado de la empresa, siendo un condicional que estas lesiones causen la ausencia del personal afectado. | Activos que al fallar podrían causar daños menores al personal afectado, que no implique la ausencia de estos. | Activos que al fallar no impliquen consecuencias relacionadas con la seguridad. |
| IA | Impacto Ambiental | Alto impacto ambiental que llega a afectar el "externo del negocio" con la necesidad de informar a las autoridades locales por el problema. Fuga de amoníaco a la atmósfera. | Problemas medioambientales que pueden ser resueltos internamente, no hay consecuencias externas. | Fallos que podrían no tener consecuencias ambientales. |
| IO | Impacto Operacional | Cuando el activo falla se produce una parada total de planta. | Cuando falla el activo solo produce la parada de una línea de producción o sistema de la planta. | Cuando el activo falla, no se produce una parada productiva en cualquier sistema de la planta. |
| TT | Tiempo de Trabajo | Activos que operan las 24 hrs del día. | Operan de 8 horas a 16 horas al día. | Menos de 8 horas al día. |
| CM | Costo de Mantenimiento | Costos anuales mayores a 15.000.000 COP. | Costos anuales entre 5.000.000 y 15.000.000 COP | Costos anuales menores a 5.000.000 COP |
| M | Mantenibilidad | El activo requiere un tiempo medio de reparación de más de 4 horas. | El activo requiere un tiempo medio de reparación entre 1 hora y 4 horas | El activo requiere un tiempo de reparación menor a 1 hora. |
| C | Calidad | Activos que al fallar generen consecuencias en la calidad del producto que impliquen un impacto externo importante o una imagen muy negativa de la empresa. Hielo con impurezas o suciedad. | Activos que al fallar generen consecuencias en la calidad del producto que impliquen impacto interno, mas no una afectación a la imagen del producto. (Hielo con burbujas). | Activos que al fallar no impliquen ningún impacto en la calidad del producto. |

Nota. Se presentan las categorías de los niveles de criticidad para cada criterio de evaluación.

Se puede evidenciar que los criterios de seguridad para el personal y de impacto ambiental encabezan la secuencia, lo que garantiza que cualquier activo cuya falla represente un riesgo en estos aspectos quede clasificado automáticamente en la categoría A, sin importar su desempeño en los demás criterios.

Con los criterios definidos, se procedió a realizar la encuesta al equipo de trabajo, conformado por dos operarios de planta, el administrador y el ingeniero de mantenimiento. De este modo, se realizó la clasificación cualitativa de cada activo según su criticidad en cada criterio de evaluación planteado, como se muestra en la Figura 13.

Figura 13.*Análisis de criticidad cualitativo*

| ACTIVO | CRITERIOS DE EVALUACION | | | | | | | NIVEL DE CRITICIDAD |
|---|-------------------------|----|----|----|----|---|---|---------------------|
| | S | IA | IO | TT | CM | M | C | |
| Compresor reciprocante MYCOM N4WB | B | A | A | A | A | A | B | A |
| Compresor reciprocante MYCOM N2A | B | A | B | B | B | B | B | B |
| Compresor reciprocante INGERSOLL RAND SS3L3 | C | C | B | C | C | C | C | C |
| Condensador evaporativo de bloques | B | C | B | A | C | C | B | B |
| Condensador evaporativo de cuarto frio | B | C | B | A | C | C | B | B |
| Tanque recibidor de amoniaco | B | A | C | B | C | B | C | B |
| Máquina de cubos VOGT P 118F | C | B | C | C | B | B | A | B |

Nota. La tabla presenta los resultados del flujograma de criticidad aplicado para cada activo.

Los resultados del análisis de criticidad, estructurados bajo el modelo de Crespo, permiten observar que los activos con mayor nivel de criticidad son los que tienen como fluido de trabajo amoniaco, y esto se debe a que el primer filtro de decisión prioriza la seguridad del personal operativo y el impacto ambiental. También se puede evidenciar que el activo más crítico de la planta es el compresor Mycom N4WB, principalmente por su operación continua, su complejidad mecánica que hace que los tiempos de mantenimiento sean más duraderos y deban ser efectuados por un tercero especializado, y por su impacto en la línea principal de producción y venta de la planta. Teniendo en cuenta esto, se procedió a diseñar el plan de mantenimiento basado en RCM para el compresor Mycom N4WB.

6. Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

Tras la jerarquización de activos y la selección del compresor Mycom N4WB como el activo más crítico de la planta, se inició la fase de Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF). Este análisis parte de una identificación taxonómica de cada subsistema de este activo, con el fin de abordar todas las funciones mecánicas que el compresor desempeña.

6.1. Identificación taxonómica de subsistemas

En este apartado, se implementó nuevamente los lineamientos de la norma ISO 14224, con el fin de identificar los subsistemas que componen al compresor Mycom N4WB, así como los ítems que componen cada una de estas subunidades. El resultado de este proceso se presenta en la Figura 14.

Figura 14.

Identificación taxonómica de subsistemas y componentes asociados

|  | | HIELOS SANTA FE LTDA | | Fecha: 15/02/2026 | |
|---|------------|------------------------|---|-----------------------------|---|
| | | | | COMPRESOR MYCOM N4WB | |
| Categoría Principal | Taxonómico | Jerarquía de Taxonomía | Definición | Descripción | Componentes asociados |
| Subdivisión de equipos | 7 | Sub-unidad | Un subsistema necesario para la función del equipo. | Sistema de lubricación | Bomba de aceite, valvula reguladora de presión de aceite, filtro de aceite CUNO, enfriador de aceite, carter. |
| | 7 | Sub-unidad | Un subsistema necesario para la función del equipo. | Sistema de compresión | Conjunto de valvula de descarga, conjunto valvula de succión, conjunto de pistones, camisas de cilindro, biela, cojinete de biela, cigüeñal y cojinetes asociados, rodamiento de empuje |
| | 7 | Sub-unidad | Un subsistema necesario para la función del equipo. | Sistema de sellos mecánicos | Conjunto sello mecánico de eje, placa de cubierta del sello |
| | 7 | Sub-unidad | Un subsistema necesario para la función del equipo. | Sistema de transmisión | Correas en V y poleas |
| | 7 | Sub-unidad | Un subsistema necesario para la función del equipo. | Sistema de protección | Dispositivo de protección OP, dispositivo de protección de alta presión, valvula de seguridad, calentador de carter |

Nota. Se presenta el séptimo nivel taxonómico del compresor Mycom N4WB.

6.2. Marco conceptual del AMEF

Con el fin de realizar un plan de mantenimiento que cumpla con el estándar SAE JA1011, es necesario definir conceptos fundamentales de la metodología RCM que permitan una interpretación técnica del comportamiento del activo. Esta fase constituye las bases para el desarrollo de la hoja de información del análisis de modos y efectos de falla (AMEF). Por ende, en esta sección se procede a la definición de funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla. Se debe tener en cuenta que el contexto operacional ya se definió e identificó en la ficha técnica del activo.

Función de activo y subsistemas. “La función de un activo se define como lo que el usuario desea que el activo físico o sistema haga en su contexto operacional específico.” (Moubray, 2004). Según Moubray, una función debe constar de un verbo y un objeto, además de esto el usuario espera que el activo cumpla con un rendimiento deseado, es decir que para definir de manera correcta una función es necesario especificar un estándar de desempeño en rangos operacionales cuantificables.

Fallas funcionales. Una falla funcional se define como la incapacidad de un activo o sistema de cumplir una función de forma absoluta (falla total) o fuera de los límites de desempeño requeridos (falla parcial).

Modos de falla. Es cualquier evento que causa un fallo funcional en el activo o sistema. Según Moubray, hay que utilizar verbos y objetos que ofrezcan información suficiente para identificar lo que provoca el fallo y permitan seleccionar una estrategia de gestión del fallo. El modo de fallo consta también de los mecanismos que conducen a un fallo funcional, es decir la circunstancia que permite que ocurra un fallo funcional, a esto se le conoce también como causa raíz de falla.

Efectos de falla. “Los efectos de fallo describen lo que sucede cuando se produce un modo de fallo” (Moubray, 2004). Los efectos de falla se pueden desglosar en efecto local, efecto en el sistema y efecto en la planta, cada uno describe un impacto inmediato o progresivo en diferentes niveles taxonómicos.

Consecuencia de falla. Consiste en la evaluación de la importancia del efecto de falla y del impacto de cada modo de falla basándose en criterios como la seguridad, el medio ambiente, la capacidad operacional y los costos para la organización (SAE International, 1999). Se diferencia de los efectos de falla en su enfoque, ya que los efectos de falla tienen un enfoque descriptivo, mientras que las consecuencias de falla tienen un enfoque evaluativo.

6.3. Análisis de riesgos

El análisis de riesgo tiene como propósito hacer una estimación del riesgo basándose en la evaluación de criterios como severidad, ocurrencia y detección, de este modo se prioriza la toma de acciones.

Según el Manual FMEA de AIAG (Automotive Industry Action Group) y VDA (Verband der Automobilindustrie), los criterios de riesgo se definen como:

Severidad (S), representa la gravedad del efecto de la falla. Los criterios adoptados para su calificación en el contexto de la planta se detallan en la Tabla 2.

Ocurrencia (O), representa la ocurrencia de la causa de falla. La escala adoptada para este criterio se presenta en la Tabla 3.

Detección (D), representa la detección de la causa de la falla ocurrida y/o el modo de falla. Los niveles de detección definidos para este análisis se describen en la Tabla 4.

Tabla 2.*Crterios de severidad*

| Valor | Nivel | Descripción | Criterio operacional |
|--------------|--------------|-----------------------------------|---|
| 1 | Muy bajo | Sin efecto | Sin impacto en producción, calidad ni seguridad |
| 2 | Bajo | Efecto menor | Molestia menor, defecto detectado antes de afectar el proceso |
| 3 | Bajo | Efecto bajo | Leve degradación, proceso continúa sin intervención inmediata |
| 4 | Moderado | Efecto menor | Reducción menor al 10% de la capacidad |
| 5 | Moderado | Efecto moderado | Reducción 10-25% capacidad; producción de hielo afectada, compensable en el mismo turno |
| 6 | Moderado | Efecto significativo | Reducción 25-50% capacidad; paro parcial planificado |
| 7 | Alto | Efecto mayor | Paro del compresor con perdida mayor al 50% de la producción de hielo |
| 8 | Alto | Paro de producción | Paro total planta de hielo, perdida lote completo |
| 9 | Muy alto | Daño mayor al equipo | Daño irreversible al compresor; reemplazo de componente mayor |
| 10 | Muy alto | Efecto severo contra la seguridad | Falla estructural; daño a la instalación; consecuencia legal |

Nota. Se presentan los valores de severidad junto a su criterio operacional de selección.

Tabla 3.*Criterios de ocurrencia*

| Valor | Nivel | Probabilidad | Frecuencia de fallos |
|--------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|
| 1 | Extremadamente baja | Casi imposible | 1 vez en 20 años |
| 2 | Muy baja | Improbable | 1 vez en 10-20 años |
| 3 | Baja | Poco probable | 1 vez en 5-10 años |
| 4 | Moderada | Posible | 1 vez en 2-5 años |
| 5 | Moderada | Ocasional | 1 vez al año |
| 6 | Alta | Frecuente | 2-4 veces/año |
| 7 | Alta | Repetitiva | 1 vez al mes |
| 8 | Muy alta | Habitual | 1 vez/semana |
| 9 | Muy alta | Casi cierta | Varias veces/semana |
| 10 | Extremadamente alta | Falla segura | Falla en cada ciclo o arranque |

Nota. Se presentan los valores de ocurrencia junto a su frecuencia de fallos.

Tabla 4.*Criterios de detección*

| Valor | Nivel | Descripción | Método de detección |
|--------------|--------------|---|--|
| 1 | Casi segura | Detección prácticamente segura antes de que la falla funcional ocurra | Sistema de monitoreo continuo automático (SCADA/PLC) |

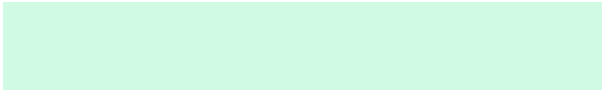
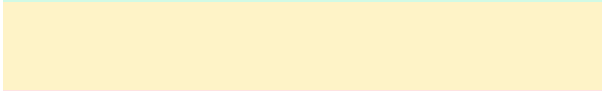

| | | | |
|---|----------|--|--|
| | | Detección muy probable. | |
| 2 | Muy alta | Síntoma inmediatamente visible para el operario | Dispositivos de protección integrados |
| 3 | Alta | Alta probabilidad de detección durante la ronda operativa diaria | Síntomas sensoriales evidentes para el operario y lectura de manómetros o termómetros |
| 4 | Alta | Detección probable mediante inspección periódica o análisis instrumental | Inspección periódica programada o análisis de parámetros indirectos |
| 5 | Moderada | Probabilidad media que requiere inspección instrumental específica | Medición instrumental durante overhaul comparando contra límites dimensionales del fabricante |
| 6 | Moderada | Detección posible solo durante desmontaje o por síntomas indirectos que aparecen cerca de la falla funcional | Desmontaje o por síntomas indirectos tardíos que aparecen cerca de la falla funcional |
| 7 | Baja | Detección poco probable que requiere desarmar componentes o herramientas externas especializadas | Detectable solo mediante desmontaje completo de subsistemas y uso de herramientas de medición especializadas |
| 8 | Baja | Muy baja la detección | Detectable únicamente mediante ensayos no destructivos |

| | | | |
|----|---------------------|--|--|
| 9 | Remota | Muy difícil de detectar que es solo perceptible tras falla múltiple o desensamble total no planificado | La falla solo se descubre después de que ocurre otra falla consecuente (falla múltiple), o durante un desensamble total no planificado del activo. |
| 10 | Extremadamente baja | No detectable. ningún método práctico disponible antes de la falla funcional | Ningún método de detección disponible o económicamente viable antes de la ocurrencia de la falla funcional. |

Nota. Se presentan los valores de detección junto a su método de detección.

Para la priorización de los modos de falla se realizó el cálculo del Número de Riesgo Prioritario ($NPR = S \times O \times D$), siguiendo la metodología de la norma AIAG 4ta edición (2008). La clasificación del riesgo tuvo que ser adaptado al rango de valores obtenidos en el análisis, donde se definieron tres niveles: Bajo (1-60), Medio (61- 120) y Alto (121-200). Dado que los valores de NPR presentaron mínimos de 10 y máximos de 168, se decidió ajustar los rangos, con el fin de priorizar adecuadamente el riesgo y de que la escala tenga realmente utilidad diferenciadora a la hora de tomar una decisión. La escala NPR resultante se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5.*Escala NPR para la priorización de riesgos*

| ESCALA NPR - NÚMERO DE RIESGO PRIORITARIO | | |
|---|-----------------|--|
| RANGO | NIVEL DE RIESGO | COLOR DE IDENTIFICACIÓN |
| 1 a 60 | BAJO |  |
| 61 a 120 | MEDIO |  |
| 121 a 200 | ALTO |  |

Nota. Los valores establecidos fueron ajustados al contexto operacional de la empresa.

6.4. Hoja de información AMEF

Con la identificación taxonómica de los subsistemas y los criterios del análisis de riesgo ya definidos, se procedió a recopilar la información necesaria del activo mediante un proceso colaborativo con el equipo de trabajo, apoyado de la fundamentación técnica del manual. De este modo se obtuvo el AMEF para cada subsistema del compresor. Fue necesaria la creación de una plantilla en Excel teniendo en cuenta los lineamientos establecidos en la norma SAE JA1011 para documentar los datos extraídos del análisis. La hoja de decisión abordó cada subsistema de manera independiente para garantizar una revisión de sus elementos internos. Las Figuras 15 a 19 presentan las hojas de información AMEF para los subsistemas de lubricación, compresión, sellos mecánicos, transmisión y protección, respectivamente.

Figura 15.

Hoja de información AMEF del sistema de lubricación

| TAXONOMÍA | | FUNCIÓN / FALLA | | MODOS Y EFECTOS | | | | EVALUACIÓN DE RIESGO | | | | |
|--------------------------------|------------------------|---|--|-----------------|--|----|--|---|---|---|---|-----|
| SISTEMA | SUBSISTEMA | COMPONENTE | FUNCIÓN | FF | FALLA FUNCIONAL | MF | MODO DE FALLA | EFECTO DE FALLA | S | O | D | NPR |
| COMPRÉSORES Y COMPONENTES N4WB | Sistema de lubricación | Bomba de aceite | Proporcionar lubricación adecuada (0.20-0.25 Mpa sobre la presión de succión) a las partes móviles para reducir fricción, desgaste y disipar calor | A | No suministra el caudal o presión de aceite requerido para lubricar el compresor | 1 | Desgaste de los engranajes de la bomba | Caída progresiva de presión diferencial de aceite; activación de protección OP; paro del compresor; riesgo de gripado (soldadura por fricción) en cojinetes | 7 | 4 | 4 | 112 |
| | | | | | | 2 | Obstrucción interna de la bomba de aceite | Reducción severa del caudal; sobrecalentamiento de partes deslizantes; posible falla catastrófica de cojinetes y cigüeñal debido a la pérdida del soporte hidrodinámico del lubricante (cuña de aceite) | 8 | 5 | 3 | 120 |
| | | | | | | 3 | Fugas en juntas, sellos o conexiones de la bomba | Pérdida de aceite, contaminación del entorno con NH3; reducción del nivel en cárter; posible alarma ambiental | 7 | 3 | 3 | 63 |
| | Lubricación | Filtro CUNO y colador de aceite | Filtra el aceite lubricante antes de que sea bombeado a las partes móviles del compresor | B | No purifica el aceite y permite el paso de partículas al sistema de lubricación | 1 | Filtro CUNO obstruido por acumulación de partículas | Caída de caudal de aceite; activación de OP; paro del compresor; desgaste acelerado en partes deslizantes | 7 | 5 | 3 | 105 |
| | | | | | | 2 | Filtro deteriorado, saturado o con rotura interna | Paso libre de partículas al sistema; daño prematuro de cojinetes y superficies deslizantes | 8 | 3 | 4 | 96 |
| | | | | | | 3 | Colador de succión del cárter obstruido | Cavitación en la bomba de aceite; presión insuficiente; riesgo de daño por baja lubricación | 7 | 5 | 3 | 105 |
| | Lubricación | Enfriador de aceite | Mantener la temperatura del aceite dentro del rango operativo (40°-50° C) para preservar su viscosidad y propiedades | C | No enfría el aceite a la temperatura requerida para operación segura | 1 | Incrustaciones en la superficie de transferencia de calor (lado agua) | Alta temperatura del aceite; reducción de viscosidad; desgaste acelerado; aumento de temperatura de descarga del compresor | 7 | 4 | 3 | 84 |
| | | | | | | 2 | Fuga interna entre lado agua y lado aceite del enfriador | Contaminación del aceite con agua; corrosión interna acelerada por NH3; degradación severa del aceite ISO VG68 | 9 | 2 | 3 | 54 |
| | Lubricación | Válvula de control de presión de aceite | Mantener la presión diferencial de aceite dentro de los límites correctos (0.20-0.25 Mpa sobre la presión de succión) para todas las condiciones | D | No controla la presión diferencial de aceite en el rango establecido | 1 | Válvula atascada en posición abierta | Lubricación insuficiente; activación OP; paro del compresor; riesgo de gripado de cojinetes si no actúa protección | 7 | 2 | 2 | 28 |
| | | | | | | 2 | Válvula atascada en posición cerrada | Presión de aceite excesiva; puede dañar sellos de cojinetes; sobrecarga en la bomba; posible fuga en conexiones | 7 | 2 | 2 | 28 |
| | | | | | | 3 | Resorte de regulación roto o deformado permanentemente | Presión de aceite inestable; desgaste prematuro de partes lubricadas; inestabilidad operativa del compresor | 6 | 3 | 3 | 54 |
| | Lubricación | Carter | Mantener volumen y calidad (en el centro de la mirilla del nivel) de aceite en el cárter para garantizar reserva de lubricación continua | E | Nivel o calidad de aceite fuera de especificación operativa | 1 | Fuga externa por juntas de cárter deteriorada. | Pérdida progresiva de aceite lubricante al exterior del compresor; contaminación del piso de la sala de máquinas con aceite Lubricación deficiente; paro por OP activado | 8 | 4 | 3 | 96 |
| | | | | | | 2 | Aceite contaminado (alta acidez, partículas abrasivas, contenido de agua fuera de límites) | Daño de partes internas; reduce viscosidad; aumenta desgaste de cojinetes; corrosión interna por NH3 y agua | 7 | 5 | 4 | 140 |

Nota. Se aplica la metodología de Moubray para la estructura del AMEF del sistema de lubricación.

Figura 16.


Hoja de información AMEF para el sistema de compresión

| TAXONOMÍA | | FUNCIÓN / FALLA | | MODOS Y EFECTOS | | | | EVALUACIÓN DE RIESGO | | | | |
|--|---|----------------------------------|---|-----------------|---|----|---|---|----|---|---|-----|
| SISTEMA | SUBSISTEMA | COMPONENTE | FUNCIÓN | FF | FALLA FUNCIONAL | MF | MODO DE FALLA | EFECTO DE FALLA | S | O | D | NPR |
| C O M P R E S O R M Y C O M P R E S I O N 4 W B | S i s t e m a d e c o m p r e s i ó n | Válvulas de succión y descarga | Abrir y cerrar en el momento correcto del ciclo para permitir compresión eficiente del NH3 | A | Las válvulas no abren o cierran correctamente, reduciendo la capacidad de compresión | 1 | Válvulas de descarga desgastada o fracturada | Retorno de gas de alta a baja presión; pérdida de capacidad; alta temperatura de descarga; riesgo de golpe de lámina | 8 | 4 | 3 | 96 |
| | | | | | | 2 | Válvulas de succión desgastada o con depósitos de carbón (lubricante carbonizado) | Reducción de eficiencia volumétrica; alta temperatura de descarga; producción de hielo insuficiente | 7 | 4 | 3 | 84 |
| | | | | | | 3 | Resorte de válvula roto o debilitado | Cierre incompleto o tardío; fugas de gas interna; reducción de presión de descarga; desgaste de placa | 7 | 4 | 3 | 84 |
| | | | | | | 4 | Desgaste del plato de válvulas | Cierre incompleto o nulo de la válvula de descarga o succión; retorno de gas de alta a baja presión por la válvula fracturada; alta temperatura de descarga por recompresión; posible entrada de fragmentos del plato al cilindro | 9 | 2 | 3 | 54 |
| | | Pistones y anillos de pistón | Comprimir el vapor de NH3 y sellar el espacio entre pistón y cilindro (holgura en ranura de 0.05-0.09 mm) para evitar fugas internas | B | El pistón o los anillos no mantienen el sello de la cámara de compresión, permitiendo fuga interna de gas | 1 | Desgaste de anillos de pistón | Fuga interna entre cámaras; pérdida de capacidad; consumo excesivo de aceite; aumento de temperatura de descarga | 7 | 4 | 3 | 84 |
| | | | | | | 2 | Deformación de pistón | Golpeteo metálico severo en el bloque del compresor; pérdida inmediata de capacidad de compresión en el cilindro afectado | 10 | 4 | 2 | 80 |
| | | | | | | 3 | Perno de pistón desgastado o fuera de tolerancia | Holgura excesiva; ruidos metálicos; vibración; desgaste acelerado del casquillo de biela | 6 | 3 | 3 | 54 |
| | | Camisa de cilindro (Líner) | Proporcionar la superficie de deslizamiento para los pistones y mantener la estanqueidad (sello) de la cámara | C | La superficie del cilindro no proporcionan el sello necesario | 1 | Desgaste de la camisa por fricción y abrasión | Reducción de eficiencia volumétrica; consumo excesivo de aceite; baja capacidad de refrigeración | 7 | 4 | 3 | 84 |
| | | | | | | 2 | Rayado de la superficie interna del cilindro | Gripado del pistón; paro inmediato; daño estructural irreversible del bloque de cilindros | 9 | 2 | 3 | 54 |
| | | | | | | 3 | Depósitos de carbón en parte superior del cilindro | Bloqueo de paso de gas; aumento de temperatura; riesgo de ignición del aceite carbonizado | 7 | 3 | 3 | 63 |
| | | Bielas y cojinetes de biela | Transmitir la fuerza del cigüeñal al pistón, convirtiendo movimiento rotativo en movimiento lineal | D | Biela no transmite correctamente la fuerza al pistón | 1 | Desgaste del casquete de biela | Holgura excesiva; golpeteo metálico; vibración anormal; desgaste de muñequilla del cigüeñal | 7 | 4 | 3 | 84 |
| | | | | | | 2 | Deformación de la biela | Fallo catastrófico del compresor; daño al cárter; posible fuga de NH3 | 10 | 1 | 7 | 70 |
| | | Cigüeñal y cojinetes principales | Convertir el movimiento rotativo del motor eléctrico en movimiento alternativo para accionar los pistones del compresor | E | El cigüeñal no transmite el movimiento o lo hace de forma irregular | 1 | Desgaste de muñequillas del cigüeñal | Holgura excesiva; vibración; ruido metálico continuo; paro por desgaste catastrófico | 8 | 2 | 4 | 64 |
| | | | | | | 2 | Buje principal desgastado | Vibración excesiva; calentamiento del cárter; reducción de vida útil del cigüeñal | 7 | 4 | 3 | 84 |
| | | | | | | 3 | Fisura en cigüeñal por fatiga | Rotura del compresor; daño estructural severo | 10 | 1 | 7 | 70 |
| | | Buje de empuje | Absorber la carga axial del cigüeñal generada por la diferencia de presión entre el interior del compresor y la atmósfera, manteniendo el desplazamiento axial dentro del límite de diseño. | F | El buje es incapaz de mantener el desplazamiento axial del cigüeñal dentro del límite de diseño | 1 | Desgaste de la superficie deslizante del buje de empuje | Desplazamiento axial del cigüeñal; desalineación del collar del sello mecánico; pérdida de contacto en las caras deslizantes del sello; fuga progresiva de NH3 al exterior. | 9 | 3 | 6 | 162 |
| | | | | | | 2 | Orificio del buje de empuje obstruido | Sobretensión en la zona del buje de empuje; gripado del buje de empuje; aumento de la fuga del sello; paro de emergencia por activación del OP. | 8 | 3 | 6 | 144 |

Nota. Se aplica la metodología de Moubray para la estructura del AMEF del sistema de compresión.

Figura 17.

Hoja de información AMEF para el sistema de sellos mecánicos

|  | | ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF) | | | | | | | | | | |
|--|--|---|---|----|---|----|---|---|----------------------|---|---|-----|
| HOJA DE INFORMACIÓN RCM | | | | | | | | | | | | |
| Autor: Juan Camilo Prada Gomez | | | | | | | | | | | | |
| TAXONOMÍA | | FUNCIÓN / FALLA | | | MODOS Y EFECTOS | | | | EVALUACIÓN DE RIESGO | | | |
| SISTEMA | SUBSISTEMA | COMPONENTE | FUNCIÓN | FF | FALLA FUNCIONAL | MF | MODO DE FALLA | EFECTO DE FALLA | S | O | D | NPR |
| C O M P R E S O R M Y C O M N 4 W B | S i s t e m a S e l l o s M e c á n i c o s | Sello mecánico de eje | Evitar la fuga de refrigerante NH3 y aceite al exterior del compresor a través del eje de transmisión | A | El sello no contiene el NH3 y el aceite dentro del compresor | 1 | Desgaste de las caras deslizantes del sello mecánico | Fuga de NH3 al ambiente; riesgo de intoxicación ; pérdida de refrigerante; alarma ambiental. | 9 | 4 | 3 | 108 |
| | | | | | | 2 | O-ring (sello de goma) del collar de sello deteriorado o fisurado | Fuga externa de NH3; degradación acelerada del lubricante; riesgo ambiental | 8 | 4 | 3 | 96 |
| | | | | | | 3 | Collar de sello con exceso de vibración | Fuga acelerada; desgaste prematuro del sello; ruido en zona del sello; paro no planificado | 7 | 3 | 3 | 63 |
| | M e c á n i c o s | Placa de cubierta del sello | Proteger el sello mecánico, proporcionar la superficie estática de contacto y sellar el bloque del sello contra el exterior | B | La placa no mantiene la geometría o la hermeticidad requerida | 1 | Deterioro de la junta (gasket) de la placa de cubierta | Fuga de NH3 al exterior; contaminación con aceite; riesgo ambiental y de seguridad para el personal | 8 | 3 | 3 | 72 |
| | | | | | | 2 | Corrosión o daño en la superficie de contacto de la placa por NH3 y humedad | Sello mecánico ineficiente; fuga progresiva de NH3; reduce vida útil del sello | 6 | 2 | 3 | 36 |

Nota. Se aplica la metodología de Moubray para la estructura del AMEF del sistema de sellos mecánicos.

Figura 18.

Hoja de información AMEF para el sistema de transmisión

| TAXONOMÍA | | FUNCION / FALLA | | MODOS Y EFECTOS | | | | EVALUACIÓN DE RIESGO | | | | |
|--|--|-----------------------|---|-----------------|---|----|---|--|---|---|---|-----|
| SISTEMA | SUBSISTEMA | COMPONENTE | FUNCION | FF | FALLA FUNCIONAL | MF | MODO DE FALLA | EFECTO DE FALLA | S | O | D | NPR |
| C O M P R E S O R M Y C O M N 4 W B | S i s t e m a d e T r a n s m i s i ó n | Correas en V y poleas | Transmitir la potencia del motor eléctrico (75 HP) al eje del compresor mediante correas en V para la operación del sistema de refrigeración. | A | La correa no transmite la potencia suficiente para accionar el compresor a la velocidad requerida | 1 | Correa desgastada, agrietada o rota | Paro inmediato del compresor si hay correa rota; producción de hielo cero; tiempo de reparación prolongado si no hay repuesto en stock. En caso de desgaste, hay deslizamiento progresivo y pérdida de capacidad; posible activación de LP | 8 | 5 | 3 | 120 |
| | | | | | | 2 | Tensión incorrecta de la correa (floja o excesiva) | Deslizamiento y calentamiento si esta floja; sobrecarga en rodamientos del compresor si es excesiva; vibración anormal en ambos casos | 6 | 6 | 3 | 108 |
| | | | | | | 3 | Desalineación de poleas | Desgaste irregular de correa; vibración; ruido; reducción de vida de la correa; sobrecarga de rodamientos del eje | 6 | 4 | 4 | 96 |
| | | | | | | 4 | Tornillo de fijación de polea (set bolt) flojo o fracturado | Deslizamiento de polea en el eje; paro del compresor; daño potencial al eje y al cigüeñal | 7 | 3 | 3 | 63 |

Nota. Se aplica la metodología de Moubray para la estructura del AMEF del sistema de transmisión.

Figura 19.

Hoja de información AMEF para el sistema de protección

| TAXONOMÍA | | ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF) | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------------|---|--|--|--|--|--|---|----|---|----|-----|
| | | HOJA DE INFORMACIÓN RCM Autor: Juan Camilo Prada Gomez | | | | | | | | | | |
| SISTEMA | SUBSISTEMA | COMPONENTE | FUNCIÓN / FALLA | FF | FALLA FUNCIONAL | MF | MODOS DE FALLA | EFEECTO DE FALLA | S | O | D | NPR |
| COMPRESOR MYCOM 4WB | Sistema de protección | Dispositivo de protección OP (presión aceite) | Detener el compresor automáticamente si la presión diferencial de aceite cae a niveles inseguros | A | El dispositivo OP no protege correctamente ante baja presión de aceite. | 1 | OP no se activa cuando la presión de aceite cae (falla a no responder) | Operación sin lubricación suficiente; gripado total del compresor; pérdida catastrófica del activo | 10 | 2 | 4 | 80 |
| | | | | | | 2 | OP se activa prematuramente sin causa real (falsa alarma) | Paros innecesarios; pérdida de producción; diagnóstico erróneo si ocurre repetidamente | 5 | 4 | 2 | 40 |
| | | Dispositivo de alta presión HP y válvula de seguridad (externa) | Proteger el compresor de presiones de descarga excesivas y liberar presión en caso de emergencia | B | El dispositivo HP no corta el motor ante una alta presión de descarga; o la válvula de seguridad no abre ante presión excesiva | 1 | HP no se activa a la presión de set-point establecida | Presión excesiva en descarga; riesgo de rotura de tuberías o cilindros; fuga de NH3; accidente grave | 10 | 2 | 4 | 80 |
| | | | | | | 2 | Válvula de seguridad con fugas o tarada incorrectamente | Fuga de NH3 al exterior en condiciones normales; peligro para operarios y medio ambiente | 9 | 3 | 3 | 81 |
| | | | | | | 3 | Manómetro de presión de descarga descalibrado o dañado | Lecturas incorrectas; acciones tardías del HP; decisiones operativas erróneas | 6 | 3 | 3 | 54 |
| | | | | | | 1 | Calentador de cárter inoperante (resistencia quemada) | Aceite frío al arranque; NH3 disuelto en aceite; espumado severo; paro por OP en arranque; daño potencial a cojinetes | 8 | 3 | 3 | 72 |
| | Calentador de cárter (Oil Heater) | Mantener el aceite caliente durante la parada para evitar condensación de NH3 en el cárter y espumado al arranque | C | El calentador no mantiene la temperatura del aceite en la parada | 2 | Termostato del calentador descalibrado (no corta a temperatura correcta) | Sobrecalentamiento del aceite; degradación térmica acelerada; reducción de vida del lubricante | 5 | 3 | 4 | 60 | |

Nota. Se aplica la metodología de Moubray para la estructura del AMEF del sistema de protección.

Se identificaron 46 modos de falla totales en los cinco subsistemas del compresor. El análisis de la distribución del riesgo entregó valores comprendidos entre un mínimo de 28 y un máximo de 168. La distribución del NPR muestra que la mayoría de los modos se ubican en el rango medio, lo cual es esperable en un compresor recíprocante con mantenimiento activo.

Las hojas de información demuestran que en los modos de falla donde la severidad es alta, generalmente se tiende a tener valores de detección y ocurrencia bajos, por lo que el NPR no llega a estar en un nivel alto. Sin embargo, el NPR no se tuvo en cuenta como único criterio de priorización en el RCM, debido a que hay modos de falla con valores máximos de severidad y

un NPR bajo, que igualmente exigen una tarea proactiva porque sus consecuencias involucran riesgos para la seguridad del personal y la integridad del equipo. Por lo que el valor NPR se utilizó únicamente como una herramienta para la priorización dentro del árbol de decisión, más no como un criterio de eliminación de tareas.

El análisis de modos y efectos de falla permitió a la empresa tener un registro técnico y estructurado de cómo puede fallar cada subsistema del equipo principal de la planta.

7. Plan de mantenimiento basado en RCM

Esta fase presenta el resultado final del proceso RCM aplicado al compresor MYCOM N4WB: el plan de mantenimiento. Tras la caracterización de los 46 modos de falla mediante el AMEF, se procedió a someter cada modo al criterio evaluativo del árbol de decisión. Este proceso resultó fundamental para decidir la tarea de mantenimiento óptima, considerando siempre la severidad de las consecuencias frente a la viabilidad técnica de las soluciones propuestas. El desarrollo de este análisis incluyendo las frecuencias de intervención y la asignación de responsables se encuentra en las hojas de decisión de cada subsistema.

7.1. Árbol de decisión


El árbol de decisión fue la herramienta que permitió evaluar las consecuencias de cada modo de falla y seleccionar el tipo de tarea de mantenimiento más adecuada para controlarla. Para el desarrollo de este apartado se utilizó el árbol de decisión presentado en la Figura 2, el cual fue adaptado a partir de la metodología de RCM.

7.2. Hoja de decisión

La hoja de decisión es el documento donde queda registrado el resultado del árbol de decisión para cada modo de falla. El formato utilizado sigue la estructura propuesta por Moubray (2004), e incluye la referencia del modo de falla (función, falla funcional y modo), las respuestas a las preguntas del árbol de decisión, el tipo de tarea seleccionada, la tarea propuesta con su descripción, la frecuencia de ejecución y el responsable asignado. Se elaboró una hoja de decisión por cada subsistema del compresor, las cuales se presentan en las Figuras 20 a 24.

Figura 20.


Hoja de decisión RCM del sistema de lubricación

|  | | | | | | | | | | | | | HOJA DE DECISIÓN RCM | | | | | | | | | | HOJA N°1 |
|--|----|----|-------------|---|---|---|----|----|----|-------------------|----|----|-----------------------------|--|---|-------------------------|--|--|-------------------|----------------|--|--|----------|
| COMPRESOR MYCOM N4WB Elaborado por: Juan Camilo Prada Gomez Revisado por: Humberto Pabón | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REF. AMEF | | | EVA. CONSE. | | | | H1 | H2 | H3 | TAREAS A FALTA DE | | | TAREA A REALIZAR | | | | | | INTERVALO INICIAL | A REALIZAR POR | | | |
| F | FF | MF | H | S | E | O | S1 | S2 | S3 | H4 | H5 | S4 | | | | | | | | | | | |
| SISTEMA DE LUBRICACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | A | 1 | N | N | N | S | S | N | | | | | | | (TC) Medir holgura radial, axial y diámetro del eje de engranajes de bomba de aceite. Reemplazar conjunto si excede tolerancias del fabricante. | ANUAL | Técnico de mantenimiento | | | | | | |
| 1 | A | 2 | N | N | N | S | S | N | | | | | | | (TC) Verificar presión de aceite en manómetro. Si la presión diferencial cae por debajo del rango con el filtro limpio y la válvula de control cerrada, se debe retirar la bomba de aceite para inspeccionar. Si se confirma obstrucción se debe realizar limpieza. | DIARIO | Operario en turno / Técnico de mantenimiento | | | | | | |
| 1 | A | 3 | S | S | | | S | N | | | | | | | (TC) Inspección de las tuberías y conexiones externas del circuito de aceite con detector de NH3. | SEMANAL | Operario en turno | | | | | | |
| 1 | B | 1 | N | N | N | S | N | S | N | | | | | | (RC) Limpiar filtro CUNO: girar rascador y separar placas con cuchilla delgada; verificar giro libre. | ANUAL | Técnico de mantenimiento | | | | | | |
| 1 | B | 2 | N | N | N | S | S | N | N | | | | | | (TC) Inspeccionar ensamble del filtro CUNO. Reemplazar solo si las placas están deformadas o el rascador no gira libremente. | ANUAL | Técnico de mantenimiento | | | | | | |
| 1 | B | 3 | N | N | N | S | N | S | N | | | | | | (RC) Limpiar colador de succión del cárter con aire comprimido. | ANUAL | Técnico de mantenimiento | | | | | | |
| 1 | C | 1 | N | N | N | S | S | S | N | | | | | | (TC) Monitorear temperatura de aceite. Si se detecta desviación respecto al rango normal, inspeccionar filtro, bomba y válvulas. (RC) Limpiar interior del enfriador por el lado agua removiendo incrustaciones y sedimentos. | TC: DIARIO RC: ANUAL | Técnico de mantenimiento | | | | | | |
| 1 | C | 2 | N | N | N | S | S | N | | | | | | | (TC) Análisis de calidad de aceite (cotenido de agua < 100 ppm). Si se detecta agua en aceite se debe realizar prueba de presión. Si la prueba confirma fuga, realizar cambio del enfriador. | 3 MESES | Contratista externo / Técnico de mantenimiento | | | | | | |
| 1 | D | 1 | S | N | N | S | S | N | | | | | | | (TC) Inspeccionar estado de valvula buscando deformación, corrosión o desgaste. Si hay desgaste identificado se debe reemplazar. | ANUAL | Técnico de mantenimiento | | | | | | |
| 1 | D | 2 | S | N | N | S | S | N | | | | | | | (TC) Inspeccionar estado de valvula buscando deformación, corrosión o desgaste. Si hay desgaste identificado se debe reemplazar. | ANUAL | Técnico de mantenimiento | | | | | | |
| 1 | D | 3 | S | N | N | S | S | N | N | | | | | | (TC) Inspeccionar resorte de regulación. Reemplazar si hay fisura o desgaste perceptible. | ANUAL | Técnico de mantenimiento | | | | | | |
| 1 | E | 1 | S | N | N | S | S | N | | | | | | | (TC) Verificar nivel de aceite en mirilla del cárter y superficie exterior del carter. El nivel correcto es en el centro de la mirilla. Si el nivel es bajo: completar nivel de aceite. Si la falla persiste se debe programar overhaul. | DIARIO | Operario en turno | | | | | | |
| 1 | E | 2 | N | N | N | S | N | N | S | | | | | | (SC) Cambio de aceite lubricante. Drenar completamente el carter, limpiar el interior y rellenar hasta el centro de la mirilla. | 6 MESES | Técnico de mantenimiento | | | | | | |

Nota. Se presentan los tipos de tarea para cada modo de falla con colores diferenciadores.

Figura 22.


Hoja de decisión RCM del sistema de sellos mecánicos

|  HOJA DE DECISIÓN RCM HOJA N°3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|-------------|---|---|---|----|----|----|-------------------|----|----|--|---|---------------------------|--|
| COMPRESOR MYCOM N4WB Elaborado por: Juan Camilo Prada Gomez Revisado por: Humberto Pabón | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REF. AMEF | | | EVA. CONSE. | | | | H1 | H2 | H3 | TAREAS A FALTA DE | | | | TAREA A REALIZAR | INTERVALO INICIAL | A REALIZAR POR |
| F | FF | MF | H | S | E | O | O1 | O2 | O3 | H4 | H5 | S4 | | | | |
| SISTEMA DE SELLOS MECÁNICOS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | A | 1 | S | S | S | S | S | N | S | | | | | (TC) Medir fuga del sello con recipiente durante 1 h. Programar overhaul si fuga es mayor a 18 ml/h (condición ideal es menor a 6 ml/h). (SC) Reemplazar conjunto sello mecánico (sello + resortes) | TC: DIARIO SC: 2 AÑOS | Operario en turno / Técnico de mantenimiento |
| 3 | A | 2 | N | S | S | S | N | N | S | | | | | (SC) Reemplazar O ring del collar del sello. Asegurarse que el kit de anillos sea el original de Mycom. | 2 AÑOS | Técnico de mantenimiento |
| 3 | A | 3 | S | S | S | S | N | S | N | | | | | (TC) Realizar analisis de vibraciones en los apoyos del cigüeñal (lado sello y lado bomba) en direcciones vertical, horizontal y axial. | 6 MESES | Contratista externo |
| 3 | B | 1 | S | S | S | S | S | N | S | | | | | (TC) Inspección con detector portátil de NH3 en la zona de la placa y el sello mecánico. Si el detector detecta concentración mayor a 50 ppm, adelantar overhaul. (SC) Reemplazar junta de la placa de cubierta siguiendo las especificaciones del manual. | TC: SEMANAL SC: 2 AÑOS | Operario en turno / Técnico de mantenimiento |
| 3 | B | 2 | N | N | N | S | S | N | N | | | | | (TC) Inspeccionar superficie de contacto de la placa de cubierta. Rectificar o reemplazar solo si la corrosión excede límites visuales aceptables | 2 AÑOS | Técnico de mantenimiento |

Nota. Se presentan los tipos de tarea para cada modo de falla con colores diferenciadores.

Figura 23.


Hoja de decisión RCM del sistema de transmisión

|  HOJA DE DECISIÓN RCM HOJA N°4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|-------------|---|---|---|----|----|----|-------------------|----|----|--|---|-------------------|--------------------------|
| COMPRESOR MYCOM N4WB Elaborado por: Juan Camilo Prada Gomez Revisado por: Humberto Pabón | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REF. AMEF | | | EVA. CONSE. | | | | H1 | H2 | H3 | TAREAS A FALTA DE | | | | TAREA A REALIZAR | INTERVALO INICIAL | A REALIZAR POR |
| F | FF | MF | H | S | E | O | O1 | O2 | O3 | H4 | H5 | S4 | | | | |
| SISTEMA DE TRANSMISIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | A | 1 | S | N | N | S | S | N | | | | | | (TC) Inspeccionar estado de correas mensualmente (grietas, desgaste, elongación) . Reemplazar solo si hay deterioro detectado. | MENSUAL | Operario de turno |
| 4 | A | 2 | N | N | N | S | S | N | | | | | | (TC) Verificar tensión de las correas con medidor de tensión en el tramo libre. Ajustar solo si la tensión está fuera del rango de retensión (30–35 N). Reemplazo del juego de correas cuando la tensión es menor a 25 N. | 3 MESES | Operario de turno |
| 4 | A | 3 | N | N | N | S | S | N | | | | | | (TC) Verificar alineación de poleas motor-compresor con regla recta con el compresor detenido.La desalineación angular no debe superar 0,5 grados entre los planos de las poleas. Si se supera se debe realinear antes de reiniciar la operación. | 6 MESES | Técnico de mantenimiento |
| 4 | A | 4 | S | N | N | S | S | N | | | | | | (TC) Verificar holgura del set bolt . Apretar con llave solo si detecta holgura. | MENSUAL | Operario de turno |

Nota. Se presentan los tipos de tarea para cada modo de falla con colores diferenciadores.

Figura 24.

Hoja de decisión RCM del sistema de protección

|  | | | | | | | | | | | | HOJA DE DECISIÓN RCM | | | | | | | | | | | | HOJA N°5 | | | |
|---|----|----|-------------|---|---|---|----|----|----|-------------------|----|----------------------|----|--|--|--|--|-------------------|--|----------------|--------------------------|----|----|----------|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | COMPRESOR MYCOM N4WB | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | Elaborado por: Juan Camilo Prada Gomez | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | Revisado por: Humberto Pabón | | | | | | | | | | | | | |
| REF. AMEF | | | EVA. CONSE. | | | | H1 | H2 | H3 | TAREAS A FALTA DE | | | | TAREA A REALIZAR | | | | INTERVALO INICIAL | | A REALIZAR POR | | | | | | | |
| F | FF | MF | H | S | E | O | S1 | S2 | S3 | O1 | O2 | O3 | H4 | | | | | | | | | H5 | S4 | | | | |
| SISTEMA DE TRANSMISIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | A | 1 | N | S | N | S | N | N | N | S | | | | | | | | | (BF) Prueba funcional del OP : cerrar válvula de aceite con compresor en marcha y verificar paro en menos de 30 s . Registrar resultado con fecha. | ANUAL | Técnico especialista | | | | | | |
| 5 | A | 2 | S | N | N | S | S | N | N | | | | | | | | | | (TC) Inspección de contactos del presostato OP . Limpiar con limpiador de contactos eléctricos si hay depósitos visibles. Reemplazar el presostato si los contactos presentan picadura profunda o deformación que no se corrige con limpieza. | ANUAL | Técnico especialista | | | | | | |
| 5 | B | 1 | N | S | S | S | N | N | N | S | | | | | | | | | (BF) Prueba funcional del HP con equipo de presurización Nunca probar con válvulas del sistema cerradas. | ANUAL | Técnico especialista | | | | | | |
| 5 | B | 2 | S | S | S | S | S | N | | | | | | | | | | | (TC) Inspección de la válvula de seguridad con detector de NH3. Reemplazar solo si se detecta fuga en condiciones normales | SEMANAL | Técnico en mantenimiento | | | | | | |
| 5 | B | 3 | S | N | N | S | S | N | N | | | | | | | | | | (TC) Verificar la lectura del manómetro de presión de descarga comparándola contra un manómetro patrón certificado, durante una condición de presión estable.Si el error supera mas o menos del 2% se debe reemplazar el manómetro completo. | ANUAL | Técnico especialista | | | | | | |
| 5 | C | 1 | S | N | N | S | S | N | | | | | | | | | | | (TC) Verificar la temperatura del aceite en el cárter antes del arranque programado. Si la temperatura es inferior a 30° C a pesar de haber estado energizado, realizar prueba de continuidad eléctrica a la resistencia y reemplazar si es necesario. | DIARIO | Operario de turno | | | | | | |
| 5 | C | 2 | N | S | S | S | N | N | N | S | | | | | | | | | (BF) Comprobar el set-point del termostato comparando la temperatura real del aceite (termómetro externo) con el momento de disparo del calentador. | ANUAL | Técnico especialista | | | | | | |

Nota. Se presentan los tipos de tarea para cada modo de falla con colores diferenciadores.

Las hojas de decisión de los cinco subsistemas recogen en total 52 tareas de mantenimiento, asignadas a partir de las consecuencias de cada modo de falla y de la viabilidad técnica de las intervenciones disponibles. Además, para cada tarea se estableció la frecuencia de ejecución y el personal responsable de llevarla a cabo con el fin de que el compresor se

mantenga en condiciones operativas adecuadas durante el mayor tiempo posible, reduciendo las paradas no programadas y fortaleciendo la confiabilidad del proceso productivo de la planta.

Un aspecto relevante del plan es la definición de tres niveles de overhaul progresivos, que determinaron la frecuencia de las tareas que requieren desmontaje del compresor. El nivel 1, con frecuencia anual, agrupa las intervenciones del sistema de lubricación, que son accesibles sin desmontar el compresor por completo. El nivel 2, cada dos años, incorpora adicionalmente las inspecciones de los componentes internos del sistema de compresión. El nivel 3, con un intervalo de cuatro años, incluye el reemplazo sistemático de los platos de válvula y los asientos de válvula de descarga, siguiendo las indicaciones del fabricante. Esta estructura responde tanto a criterios técnicos del manual como a la realidad operativa de la empresa, donde el desmontaje del compresor representa un costo significativo en mano de obra especializada y parada de producción.

7.3. Consolidación de tareas

Con el propósito de facilitar la implementación del plan, las tareas resultantes del árbol de decisión fueron organizadas según su tipo en cuatro tablas independientes: tareas a condición (Figura 25), tareas de reacondicionamiento cíclico (Figura 26), tareas de sustitución cíclica (Figura 27) y tareas de búsqueda de falla (Figura 28). Dentro de cada tabla, las tareas se ordenaron de forma descendente según su frecuencia de ejecución, es decir, de las más frecuentes a las menos frecuentes. Esta organización permite que el personal de mantenimiento identifique rápidamente qué debe hacerse primero y con qué periodicidad. La distribución porcentual de las tareas según su tipo se resume en la Figura 29.

Figura 25.

Tareas a condición del plan de mantenimiento RCM

| TAREA A REALIZAR | FRECUENCIA |
|---|------------|
| Verificar presión de aceite en manómetro dentro del rango operativo. | DIARIO |
| Monitorear temperatura de aceite dentro del rango operativo. | DIARIO |
| Verificar nivel de aceite en mirilla del cárter y superficie exterior del carter. | DIARIO |
| Verificar si existe vibración anormal o golpeteo metálico irregular proveniente del bloque. | DIARIO |
| Medir fuga del sello con recipiente durante 1 h. | DIARIO |
| Verificar la temperatura del aceite en el cárter antes del arranque programado. | DIARIO |
| Inspección con detector de NH3: zona del sello mecánico, válvula de seguridad, tuberías y conexiones externas del circuito de aceite. | SEMANAL |
| Inspeccionar estado de correas. | MENSUAL |
| Verificar holgura del set bolt. | MENSUAL |
| Análisis de calidad de aceite . | 3 MESES |
| Verificar tensión de las correas con medidor de tensión | 3 MESES |
| Realizar análisis de vibraciones en los apoyos del cigüeñal | 6 MESES |
| Verificar alineación de poleas motor-compresor con regla recta con el compresor detenido. | 6 MESES |
| Medir holgura radial, axial y diámetro del eje de engranajes de bomba de aceite. | ANUAL |
| Inspeccionar ensamble del filtro CUNO. | ANUAL |
| Inspeccionar estado de válvula de control de aceite buscando deformación, corrosión o desgaste. | ANUAL |
| Inspeccionar resorte de regulación. Reemplazar si hay fisura o desgaste perceptible. | ANUAL |
| Inspección de contactos del presostato OP | ANUAL |
| Verificar la lectura del manómetro de presión de descarga comparándola contra un manómetro patrón certificado. | ANUAL |
| Inspeccionar válvulas de descarga y resortes. | 2 AÑOS |
| Inspeccionar válvulas de succión y resortes. | 2 AÑOS |
| Inspeccionar resortes de válvulas de succión y descarga. | 2 AÑOS |
| Inspeccionar el plato de válvula. | 2 AÑOS |
| Inspeccionar pistones. | 2 AÑOS |
| Inspeccionar y medir diámetro exterior del perno de pistón. | 2 AÑOS |
| Medir diámetro interno de la camisa con micrómetro para interior | 2 AÑOS |
| Verificar el estado de lubricación interna de cada cilindro iluminando con linterna en el interior de la camisa. | 2 AÑOS |
| Medir diámetro de muñequillas con micrometro. | 2 AÑOS |
| Medir diámetro interno del buje principal con micrómetro. | 2 AÑOS |
| Inspección visual de la superficie del cigüeñal. | 2 AÑOS |
| Inspeccionar estado y medir diámetro interno del rodamiento de empuje con micrómetro. | 2 AÑOS |
| Inspeccionar superficie de contacto de la placa de cubierta | 2 AÑOS |

Nota. Las tareas se distribuyen en orden descendiente según la frecuencia.

Se consolidaron 32 tareas a condición de los 35 totales, debido a que varias tareas cubren más de un modo de falla simultáneamente. Esto ocurre cuando dos o más modos generan el mismo síntoma detectable y requieren la misma respuesta por parte del operario, por lo que registrar la misma instrucción dos veces en el plan no añade ningún valor práctico.

Figura 26.*Tareas de reacondicionamiento cíclico del plan de mantenimiento RCM*

| TAREA A REALIZAR | FRECUENCIA |
|--|------------|
| Limpiar filtro CUNO: girar rascador y separar placas con cuchilla delgada; verificar giro libre. | ANUAL |
| Limpiar interior del enfriador por el lado agua | ANUAL |
| Limpiar colador de succión del cárter con aire comprimido. | ANUAL |
| Limpiar depósitos de carbón en la parte superior del cilindro y zona de la válvula | 2 AÑOS |
| Limpiar orificios internos de aceite del cigüeñal con aire comprimido | 2 AÑOS |
| Limpiar el orificio de suministro de aceite buje con aire comprimido. | 2 AÑOS |

Nota. Las tareas se distribuyen en orden descendiente según la frecuencia.

Figura 27.*Tareas de sustitución cíclica del plan de mantenimiento RCM*

| TAREA A REALIZAR | FRECUENCIA |
|---|------------|
| Cambio de aceite lubricante. | 6 MESES |
| Reemplazar anillos de pistón. | 2 AÑOS |
| Reemplazar casquetes de biela | 2 AÑOS |
| Reemplazar conjunto sello mecánico (sello y resortes) | 2 AÑOS |
| Reemplazar O ring del collar del sello. | 2 AÑOS |
| Reemplazar junta de la placa de cubierta | 2 AÑOS |
| Reemplazar plato de válvula. | 4 AÑOS |
| Reemplazar válvulas de descarga. | 4 AÑOS |

Nota. Las tareas se distribuyen en orden descendiente según la frecuencia.

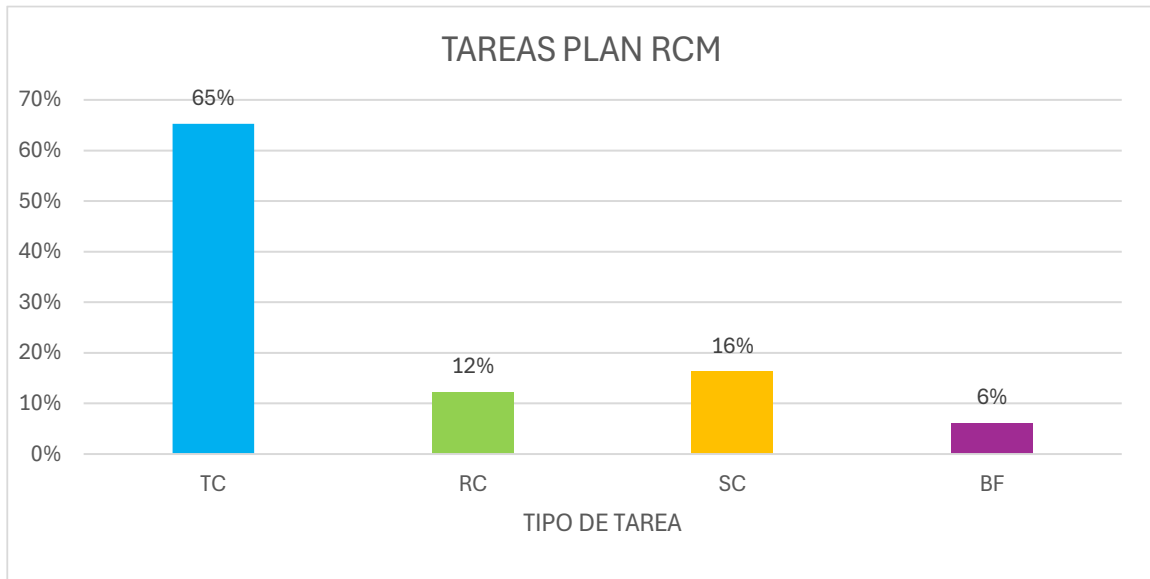
Figura 28.*Tareas de búsqueda de falla del plan de mantenimiento RCM*

| TAREA A REALIZAR | FRECUENCIA |
|---|------------|
| Prueba funcional del OP | ANUAL |
| Prueba funcional del HP con equipo de presurización | ANUAL |
| Comprobar el set-point del termostato | ANUAL |

Nota. Las tareas se distribuyen en orden descendiente según la frecuencia.

Figura 29.

Gráfico porcentual de tareas de mantenimiento



Nota. El gráfico porcentual permite tener información visual del plan de mantenimiento.

El gráfico evidencia que las tareas a condición representan la mayor proporción del plan. Esto se debe principalmente a las características operativas del compresor donde la mayoría de sus modos de falla genera síntomas detectables antes de que ocurra la falla funcional, ya sea a través de los parámetros de la ronda diaria como presión de aceite, temperatura, nivel de aceite, fugas o mediante la inspección directa durante el overhaul. En ese contexto, la tarea a condición resulta la estrategia más eficiente, porque permite intervenir el equipo solo cuando existe evidencia real de deterioro, evitando tanto los riesgos del mantenimiento reactivo como el costo innecesario del reemplazo preventivo de componentes que aún tienen vida útil. Las tareas de sustitución cíclica y reacondicionamiento cíclico se aplicaron únicamente donde el fabricante establece reemplazos sistemáticos obligatorios o donde el componente no permite detectar el deterioro de forma anticipada.

8. Conclusiones

Se realizó la jerarquización y caracterización de los activos de la planta siguiendo los lineamientos de la norma ISO 14224, lo que permitió establecer por primera vez un sistema de codificación estandarizado para todos los equipos. A partir de este proceso se elaboraron las fichas técnicas de los activos principales, que constituyen el primer registro documental formal de la empresa y la base sobre la cual se desarrollaron las fases siguientes del análisis.

Se aplicó un análisis de criticidad cualitativo basado en la metodología de Crespo, adaptado al contexto operacional de la planta. El resultado identificó al compresor recíprocante MYCOM N4WB como el activo de mayor criticidad, determinado principalmente por el riesgo de seguridad que implica el amoníaco como fluido de trabajo y por su impacto directo sobre la línea principal de producción de bloques de hielo.

Se definieron las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla del compresor MYCOM N4WB aplicando la metodología RCM bajo los lineamientos de Moubray (2004) y la norma SAE JA1011 (1999). Este proceso permitió documentar de forma estructurada el comportamiento de falla de cada subsistema del activo, incluyendo las relaciones de cascada entre modos de distintos subsistemas.

Se elaboró el AMEF del compresor MYCOM N4WB, identificando 46 modos de falla distribuidos en cinco subsistemas. Los valores de NPR obtenidos oscilaron entre 28 y 168, con la mayoría de los modos ubicados en el rango de riesgo medio. El análisis confirmó que el NPR no es criterio suficiente para la toma de decisiones en el RCM, ya que modos con severidad máxima exigen tareas proactivas independientemente de su valor numérico.

Se estableció el plan de mantenimiento mediante la aplicación del árbol de decisión RCM a cada uno de los 46 modos de falla identificados. El resultado fue un plan con 52 tareas de mantenimiento distribuidas en cuatro tipos: 35 tareas a condición (TC), 6 de reacondicionamiento cíclico (RC), 8 de sustitución cíclica (SC) y 3 de búsqueda de falla (BF). Las tareas se estructuraron en tres niveles de overhaul progresivos de 1 año, 2 años y 4 años adoptando y ajustando los intervalos recomendados por el fabricante a la realidad operativa y económica de la empresa.


Referencias Bibliográficas


- Acosta Pérez, S. (2023). Plan de Mantenimiento RCM a Equipo Crítico del Área de Refrigeración con Amoniacó en la Empresa Red Cárnica S.A.S. Sede Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander.
- Automotive Industry Action Group (AIAG). (2008). Potential failure mode and effects analysis (FMEA) (4.a ed.). AIAG.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2001). ASHRAE handbook Fundamentals. ASHRAE.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2018). ASHRAE handbook Refrigeration. ASHRAE.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). Thermodynamics: An engineering approach (7.a ed., p. 623). McGraw-Hill.
- Cámara de la Industria Argentina de Fitosanitarios y Afines (CIAFA). (s.f.). Amoniacó: ficha técnica de producto. CIAFA.
<https://www.ciafa.org.ar/files/CifCcpW51KkMYg09bNKhIpCOQInCwDiq5DiEB99T.pdf>
- Crespo Márquez, A. (2007). The maintenance management framework: Models and methods for complex systems maintenance (p. 89). Springer.
- Hurtado Ferrer, S. A., & Nolasco Pulido, S. A. (2024). Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para un sistema de refrigeración por amoniacó en una empresa del sector lácteo. Universidad de Antioquia.

- International Organization for Standardization. (2016). ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO.
- Mayekawa. (2014). Instruction manual for W-series reciprocating compressors. Mayekawa.
- Miller, R., & Miller, M. (2018). Air conditioning and refrigeration. McGraw-Hill.
- Moubray, J. (2004). Mantenimiento centrado en confiabilidad (2.a ed., pp. 46, 54, 115, 141, 160, 195). Aladon LLC.
- SAE International. (1999). SAE JA1011: Evaluation criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) processes. SAE International.
- Sifonte, J. R., & Reyes-Picknell, J. V. (2017). Reliability centered maintenance — reengineered: Practical optimization of the RCM process with RCM-R (pp. 12, 28). CRC Press.
- Smith, A. M. (2017). Reliability-centered maintenance: Implementation made simple (2.a ed.). McGraw-Hill.
- Smith, A. M., & Hinchcliffe, M. (2004). RCM — Gateway to world class maintenance. Elsevier.
- Stoecker, W. F., & Jones, J. W. (1982). Refrigeration and air conditioning (2.a ed.). McGraw-Hill.

Apéndices

Apéndice A. Taxonomía de sistemas de la planta.

|  | | HIELOS SANTA FE LTDA | | Fecha: 20/01/2026 | | |
|---|------------------|------------------------|--|--------------------------------|--------|------------------------|
| SCI | | | | | | |
| Categoría Principal | Nivel Taxonómico | Jerarquía de Taxonomía | Definición | Descripción | Código | Código Único de Activo |
| Subdivisión de equipos | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo | Compresor recíprocante de aire | CAIR | IDC-PPL-SCI-CAIR-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Maquina compacta de cubos | MCC | IDC-PPL-SCI-MCC-01 |

|  | | HIELOS SANTA FE LTDA | | Fecha: 20/01/2026 | | |
|---|------------------|------------------------|--|---------------------------|--------|------------------------|
| SCF | | | | | | |
| Categoría Principal | Nivel Taxonómico | Jerarquía de Taxonomía | Definición | Descripción | Código | Código Único de Activo |
| Subdivisión de equipos | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Compresor recíprocante | COMR | IDC-PPL-SCF-COMR-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Valvula de expansión | VAEX | IDC-PPL-SCF-VAEX-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Serpentín (Evaporador) | SERP | IDC-PPL-SCF-SERP-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Tanque almacenamiento NH3 | TANH | IDC-PPL-SCF-TANH-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Condensador evaporativo | COND | IDC-PPL-SCF-COND-01 |

|  | | HIELOS SANTA FE LTDA | | Fecha: 20/01/2026 | | |
|---|-------------------------|-------------------------------|--|-----------------------|---------------|-------------------------------|
| | | SPA | | | | |
| Categoría Principal | Nivel Taxonómico | Jerarquía de Taxonomía | Definición | Descripción | Codigo | Codigo Único de Activo |
| Subdivisión de equipos | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Motobomba | MOBO | IDC-PPL-SPA-BOMA-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Bomba axial | BOMA | IDC-PPL-SPA-VAEX-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Equipo de filtrado | EFIL | IDC-PPL-SPA-EFIL-01 |
| | 6 | Clase de equipo/unidad | Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables. | Tanque almacenamiento | TANQ | IDC-PPL-SPA-TANQ-01 |


Apéndice B. Fichas técnicas de los activos vitales

| | | | | |
|--|--------------------------------|--|--|--------------------------------------|
|  | HIELOS SANTA FE LTDA | | Código | IDC-PPL-SCF-COMR-01 |
| | | | Fecha | 26/01/2026 |
| | | | Ubicación | Sala de máquinas |
| | <i>FICHA TECNICA DE EQUIPO</i> | | Sistema | SCF |
| DESCRIPCIÓN VISUAL | | | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
|  | | | NOMBRE | Compresor reciprocante |
| | | | FABRICANTE | MYCOM |
| | | | MODELO | N2A |
| | | | VELOCIDAD MAXIMA | 1100 RPM |
| | | | UNIDAD MOTRIZ | Motor trifasico |
| | | | POTENCIA | 30 HP |
| | | | VOLTAJE | 440 V |
| | | | LUBRICACION | Bomba de aceite integrada (ISO VG68) |
| | | | TRANSMISIÓN | Correas en V (4) |
| | | | | |
| | | | Regimen continuo de operación (24/7) | |
| | | | Ambiente de trabajo:Sala de maquinas, con exposicion a alta humedad relativa y trazas de vapores de amoniaco | |
| | | | Monitoreo por rondas de verificacion de los niveles de presion y de aceite por parte de los operarios | |
| | | | Cuenta con tres manómetros (succión, aceite, descarga), una valvula de seguridad y una valvula solenoide de control de capacidad | |
| FUNCION | | | HALLAZGOS | |
| <p>Comprimir vapor de amoniaco R-717 desde una presión de succión de 0.15 a 0.24 MPa hasta una presión de descarga de 1 a 1.3 MPa. El refrigerante en estado de vapor a alta presión es descargado hacia el separador de aceite para luego ser suministrado al condensador. El equipo debe ser capaz de mantener un flujo volumetrico de 70 m3/h operando a una velocidad de 1100 RPM y accionado a 75 HP.</p> | | | Trazas de vapores de amoniaco detectadas mediante via olfativa. | |
| | | | Oxidacion en pernos de las tapas y tuberias | |
| | | | Degradamiento de la capa de pintura y suciedad general | |

|  | HIELOS SANTA FE LTDA | Código | IDC-PPL-SCI-CAIR-01 |
|--|--------------------------------|--|--------------------------------|
| | | Fecha | 26/01/2026 |
| | FICHA TECNICA DE EQUIPO | Ubicación | Segundo nivel |
| | | Sistema | SCI |
| DESCRIPCIÓN VISUAL | | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
|  | | NOMBRE | Compresor reciprocante |
| | | FABRICANTE | INGERSOLL RAND |
| | | MODELO | SS3L3 |
| | | VELOCIDAD MAXIMA | 1200 RPM |
| | | UNIDAD MOTRIZ | Motor monofasico |
| | | POTENCIA | 3 HP |
| | | VOLTAJE | 230 V |
| | | LUBRICACION | Splash Lubrication (ISO VG100) |
| | | TRANSMISIÓN | Correa en V |
| | | CONTEXTO OPERACIONAL | |
| | | Ambiente de trabajo: Segundo nivel de la planta, comparte espacio con condensadores y tanques de almacenamiento. Ambiente corrosivo y humedo | |
| | | Monitoreo diario del nivel de la purga y de la presion de tarado | |
| | | Cuenta con una valvula de seguridad mecanica y disparo termico en el motor para proteccion de sobrecarga. | |
| FUNCION | | HALLAZGOS | |
| Comprimir aire atmosférico mediante un sistema reciprocante de una etapa hasta una presión máxima de 135 PSIG. El aire comprimido es almacenado en el tanque vertical para su posterior uso en la maquina cubicadora. El equipo opera a una velocidad de cabezal de aprox. 1100 RPM accionado por un motor de 3 HP | | No se observa corrosion ni deprendimiento de pintura | |
| | | Alineacion de transmision correcta | |
| | | No se detectan fugas de aire, y el lubricante se observa claro y en el nivel adecuado | |

| | | | |
|---|--------------------------------|---|--------------------------------------|
|  | HIELOS SANTA FE LTDA | Código | IDC-PPL-SCB-COND-01 |
| | | Fecha | 26/01/2026 |
| | FICHA TECNICA DE EQUIPO | Ubicación | Segundo nivel |
| | | Sistema | SCB |
| DESCRIPCIÓN VISUAL | | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
|  | | NOMBRE | Condensador evaporativo |
| | | FABRICANTE | Hielos Santa Fe (Fabricación propia) |
| | | MODELO | N/A |
| | | VELOCIDAD MAXIMA (VENTILADORES) | 1750 RPM |
| | | POTENCIA | 10 HP |
| | | VOLTAJE | 440 V |
| | | TIPO | Tiro forzado |
| | | TRANSMISIÓN | Correas en V |
| | | CONTEXTO OPERACIONAL | |
| | | Regimen de operación continuo vinculado al compresor N4WB | |
| | | Sistema instalado en segundo nivel de la planta, expuesto a altos niveles de humedad y radiación solar. | |
| | | Verificación diaria de los orificios de la flauta (que no se encuentren obstruidos) y del correcto funcionamiento de los ventiladores | |
| | | No cuenta con alarmas o señales en el equipo, sino que se verifica la presión de descarga del compresor para saber si existen problemas de funcionamiento o limpieza. Cuenta con válvula de seguridad | |
| FUNCION | | HALLAZGOS | |
| Realizar el rechazo de calor del amoníaco (R-717) que proviene de la descarga del compresor Mycom N4WB, transformándolo de fase gaseosa a fase líquida a alta presión, mediante un proceso de intercambio de calor evaporativo. | | Obstrucción de algunos orificios de la flauta de riego | |
| | | Corrosión y suciedad en la estructura. | |
| | | Degradación del relleno evaporativo | |

| | | | |
|--|---|--|--------------------------------------|
|  | HIELOS SANTA FE LTDA <i>FICHA TECNICA DE EQUIPO</i> | Código | IDC-PPL-SCF-COND-01 |
| | | Fecha | 26/01/2026 |
| | | Ubicación | Segundo nivel |
| | | Sistema | SCF |
| DESCRIPCIÓN VISUAL | | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
|  | | NOMBRE | Condensador evaporativo |
| | | FABRICANTE | Hielos Santa Fe (Fabricación propia) |
| | | MODELO | N/A |
| | | VELOCIDAD MAXIMA (VENTILADORES) | 1750 RPM |
| | | POTENCIA | 5 HP |
| | | VOLTAJE | 440 V |
| | | TIPO | Tiro forzado |
| | | TRANSMISIÓN | Correas en V |
| | | CONTEXTO OPERACIONAL | |
| Regimen de operación continuo vinulado al compresor N2A | | | |
| Sistema instalado en segundo nivel de la planta, expuesto a altos niveles de humedad y radiación solar. | | | |
| Verificación diaria de los orificios de la flauta (que no se encuentren obstruidos) y del correcto funcionamiento de los ventiladores | | | |
| No cuenta con alarmas o señales en el equipo, sino que se verifica la presión de descarga del compresor para saber si existen problemas de funcionamiento o limpieza. Cuenta con valvula de seguridad | | | |
| FUNCION | | HALLAZGOS | |
| Realizar el rechazo de calor del amoníaco (R-717) que proviene de la descarga del compresor Mycom N2A, transformandolo de fase gaseosa a fase líquida a alta presión, mediante un proceso de intercambio de calor evaporativo. | | Obstrucción de algunos orificios de la flauta de riego | |
| | | Corrosión y suciedad en la estructura. | |
| | | Degradación del relleno evaporativo | |

| | | | |
|---|---|---|---|
|  | HIELOS SANTA FE LTDA <i>FICHA TECNICA DE EQUIPO</i> | Código | IDC-PPL-SCB-TANH-01 |
| | | Fecha | 26/01/2026 |
| | | Ubicación | Segundo nivel |
| | | Sistema | SCB |
| DESCRIPCIÓN VISUAL | | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
|  | | NOMBRE | Tanque receptor de amoniaco |
| | | FABRICANTE | Desconocido (modificado por la empresa) |
| | | TIPO | Horizontal de alta presion |
| | | CAPACIDAD ESTIMADA | 550 L |
| | | MATERIAL | ASTM A516 |
| | | FLUIDO | R-717 |
| | | PRESIÓN DE DISEÑO | 5 Mpa |
| | | ESPEJOR | 1/2" |
| | | CONTEXTO OPERACIONAL | |
| Almacenamiento continuo a alta presion vinulado al compresor N4WB | | | |
| Sistema instalado en segundo nivel de la planta, expuesto a altos niveles de humedad generados por los condensadores evaporativos. | | | |
| Monitoreo de la presion de operación mediante la lectura del manometro, ademas de una inspeccion olfativa para detectar trazas de amoniaco. | | | |
| Cuenta con mecanismos de proteccion de alivio, como valvulas de seguridad. | | | |
| FUNCION | | HALLAZGOS | |
| Almacenar y suministrar amoniaco (R-717) en fase liquida a alta presion recibido del condensador, con el fin de asegurar un sello de liquido para evitar el paso de vapor a la linea de baja presion. Trabaja en rangos de operación de 1.4 a 1.5 Mpa | | Tiene una modificacion estructural no certificada en las tapas laterales | |
| | | No presenta corrosion en el cuerpo, sin embargo en los apoyos cuenta con corrosion leve | |
| | | El tanque se encuentra expuesto al ambiente, lo que permite la ganancia de calor del entorno. | |

| | | | |
|---|--------------------------------|---|--|
|  | HIELOS SANTA FE LTDA | Código | IDC-PPL-SCI-MCC-01 |
| | | Fecha | 26/01/2026 |
| | FICHA TECNICA DE EQUIPO | Ubicación | Sala de maquinas |
| | | Sistema | SCI |
| DESCRIPCIÓN VISUAL | | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
|  | | NOMBRE | Maquina de cubos |
| | | FABRICANTE | VOGT ICE |
| | | MODELO | P118F |
| | | SERIAL NO. | 88J9652501 |
| | | UNIDAD MOTRIZ | Sistema compuesto (Motor de compresor, bomba de agua y cortador) |
| | | POTENCIA BOMBA DE AGUA-CORTADOR | 1 HP, 1/2 HP |
| | | VOLTAJE | 208-230 V |
| | | CAPACIDAD NOMINAL | 5 Ton/dia |
| | | REFRIGERANTE | R-22 |
| | | CONTEXTO OPERACIONAL | |
| | | Regimen intermitente de operación dependiendo de la capacidad del cuarto frio | |
| Ambiente de trabajo: Sala de maquinas, comparte espacio con compresores. Ambiente humedo. | | | |
| Monitoreo diario del nivel del aceite del compresor al menos en 1/4 de la mirilla y de las presiones de alta y baja. | | | |
| Cuenta con protecciones termicas (reles de sobrecarga), presostatos de alta y baja y valvula de alivio de presion. | | | |
| FUNCION | | HALLAZGOS | |
| Producir hielo cilindrico de manera automatica mediante un ciclo de congelacion por pelicula descendente de agua. El equipo trabaja en ciclos repetitivos de congelacion con rangos de presion de 190 a 210 PSIG. Al finalizar el tiempo de congelacion, el hielo se desprende debido a gas de refrigerante caliente y posteriormente un cortador giratorio, corta el hielo en tubos. | | No se observa corrosion ni deprendimiento de pintura | |
| | | Alineacion de transmision correcta | |
| | | No se detectan fugas de aire, y el lubricante se observa claro y en el nivel adecuado | |