

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTAMARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SANTIAGO-CHILE



Formulación de propuesta para el mejoramiento del sistema de refrigeración con amoníaco como refrigerante de una planta de producción avícola.

Diego Rafael Díaz Cordero

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO

CIVIL MECÁNICO

Profesores Guía: Mg. Eugenia Torres

Profesor Correferente: Mg. Luis Guzmán

ABRIL 2021

RESUMEN

En este trabajo de titulación se formulan propuestas para el mejoramiento del sistema de refrigeración con amoníaco de una planta de producción avícola. La necesidad surge debido a los múltiples riesgos que genera el sistema de refrigeración actual, riesgos provenientes principalmente de las propiedades del refrigerante empleado y la dependencia que tiene los procesos de productivos con el sistema de refrigeración.

Las mejoras a realizar, tienen como objetivo el cumplimiento de los requerimientos del reglamento de condiciones de seguridad de los sistemas de refrigeración con amoníaco elaborado por el ministerio de salud. Debido a la diversidad de estos requerimientos se acotó este trabajo a los puntos que poseen relación con el mantenimiento y parte de la operación y seguridad del sistema de refrigeración.

En el desarrollo, se utilizaron los diagramas de bloque de confiabilidad, para identificar los equipos a evaluar y su relación con el sistema de refrigeración. Luego, se utilizaron los árboles de fallas para obtener los modos de fallas que debían ser analizados en cada equipo del sistema. Posteriormente, para la categorización de estos modos de falla se empleó la metodología de inspección basada en riesgo, donde cada modo de falla fue evaluado según su probabilidad de falla y sus consecuencias ambientales, de seguridad y salud, de producción y de costos de mantenimientos.

Al identificar los modos de fallas de mayor riesgo para la organización, se generaron las siguientes propuestas: 12 inversiones correspondientes a un costo de \$ 132.000.000, 6 servicios externos que generan un costo anual de \$ 52.483.509 y planes de tareas a realizar por personal de planta equivalentes a 743 horas de trabajos al año. Con estas propuestas se disminuirán los riesgos identificados, ya sea disminuyendo sus probabilidades de fallas y/o mitigando sus consecuencias.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	- 2 -
INDICE DE CONTENIDOS.....	- 3 -
ÍNDICE DE FIGURAS	- 8 -
ÍNDICE DE TABLAS.....	- 10 -
Introducción.....	- 12 -
PLAN DE TRABAJO	- 15 -
Objetivos	- 16 -
1. Descripción de la empresa.....	- 17 -
1.1. Antecedentes Generales.....	- 17 -
1.2. Misión.....	- 18 -
1.3. Visión	- 18 -
1.4. Planta Agroindustrial El Paico S.A.	- 19 -
1.5. Ubicación geográfica.....	- 19 -
1.6. Procesos productivos	- 20 -
1.6.1. Proceso productivo del pollo	- 21 -
1.6.2. Proceso productivo de pavos	- 22 -
1.6.3. Plano de la planta con sus zonas de proceso	- 24 -
2. Refrigeración	- 26 -
2.1. Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor	- 27 -
2.2. Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor	- 30 -
2.3. Tipos de refrigeración.....	- 32 -
2.4. Refrigerantes.....	- 32 -

2.4.1.	Clasificación de refrigerantes	- 33 -
2.4.1.1.	Clasificación por seguridad	- 33 -
2.4.1.2.	Clasificación según impacto a la capa de ozono	- 35 -
2.4.1.3.	Clasificación según sus compuestos químicos	- 35 -
2.4.1.3.1.	Halocarbonos	- 37 -
2.4.1.3.2.	Hidrocarbonos	- 37 -
2.4.1.3.3.	Mezclas Azeotrópicas.....	- 38 -
2.4.1.3.4.	Mezclas Zeotrópicas.....	- 38 -
2.4.1.3.5.	Refrigerante Inorgánicos	- 38 -
2.4.2.	Historia de los refrigerantes.....	- 39 -
2.5.	Amoniaco	- 40 -
2.6.	International Institute of Ammonia Refrigeration (IIAR)	- 43 -
2.7.	Sistemas de refrigeración de la planta	- 45 -
2.8.	Sistema de refrigeración principal.....	- 47 -
2.9.	Equipos del sistema de refrigeración principal.....	- 49 -
2.10.	Subsistemas de refrigeración	- 50 -
3.	Requerimientos necesarios para el funcionamiento y mantenimiento de un sistema de refrigeración con amoniaco según reglamento existentes en el país.	- 51 -
3.1.	Reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoniaco	- 52 -
3.1.1.	Título I: Disposiciones generales.	- 53 -
3.1.2.	Título II: Capacitaciones y competencias personales.....	- 56 -
3.1.3.	Título III: De las condiciones generales de diseño e instalación de los sistemas de refrigeración que utilizan amoníaco.....	- 58 -

3.1.4.	Título IV: Operación y mantención.....	- 60 -
3.1.5.	Título V: Fiscalización y sanciones.....	- 60 -
4.	Estado actual de planta Agroindustrial El Paico S.A. con respecto al reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoniaco	- 61 -
5.	Realizar las propuestas de mejoras que sean necesaria para el cumplimiento de los reglamentos estudiados.	- 65 -
5.1.	Implementación metodología de inspección basado en riesgo.....	- 66 -
5.1.1.	Implementación de RBD	- 67 -
5.1.1.1.	Equipos comunes del sistema de refrigeración.....	- 69 -
5.1.1.2.	Equipos de cada sub-sistema	- 70 -
5.1.1.3.	Equipo de cada línea de suministro	- 71 -
5.1.1.4.	Equipos comunes y particulares	- 71 -
5.1.2.	Análisis mediante árboles de falla	- 72 -
5.1.2.1.	Árbol de fallas de evaporadores	- 73 -
5.1.2.2.	Árbol de fallas de estanques de bombeo	- 74 -
5.1.2.3.	Árbol de fallas de bombas de amoniaco.....	- 74 -
5.1.2.4.	Árbol de fallas de compresores	- 75 -
5.1.2.5.	Árbol de fallas de condensadores evaporativos.....	- 75 -
5.1.2.6.	Árbol de fallas de estanque acumulador de alta presión	- 76 -
5.1.3.	Determinación de la probabilidad de falla.....	- 76 -
5.1.4.	Consecuencia de las fallas	- 78 -
5.1.4.1.	Consecuencia en la producción de la planta.....	- 79 -
5.1.4.2.	Consecuencia en la seguridad y salud	- 80 -

5.1.4.3.	Consecuencia en el medio ambiente.....	- 81 -
5.1.4.4.	Consecuencia en costo de mantenimiento o reparación	- 82 -
5.1.5.	Determinación del riesgo.....	- 84 -
5.1.6.	Modos de falla de alto riesgo y con alto impacto	- 88 -
5.1.7.	Administración de riesgo.....	- 90 -
5.1.7.1.	Válvulas de seguridad.....	- 90 -
5.1.7.2.	Filtración de amoníaco hacia el exterior.....	- 91 -
5.1.7.2.1.	Sobrepresión en cañerías por líquido almacenado entre 02 válvulas	- 91 -
5.1.7.2.2.	Choque hidráulico	- 92 -
5.1.7.2.3.	Corrosión galvánica.....	- 93 -
5.1.7.2.4.	Corrosión atmosférica.....	- 93 -
5.1.7.2.5.	Corrosión bajo aislamiento.....	- 94 -
5.1.7.2.6.	Agrietamiento por corrosión por esfuerzos	- 94 -
5.1.7.2.7.	Diagrama BOW-TIE.....	- 95 -
5.1.7.3.	Plan de mantenimiento	- 97 -
5.2.	Propuestas extras para el mejoramiento	- 99 -
5.2.1.	Identificación de estado y sentido de circulación del refrigerante en las cañerías	- 100 -
5.2.2.	Registro de recargas de amoníaco.	- 101 -
5.2.3.	Mantener sistema de refrigeración libre de fuga e investigar y reportar todo olor o fuga que se detecte	- 102 -
5.3.	Resultados del reglamento.....	- 104 -
5.4.	Resultados de la Inspección Basada en Riesgo	- 106 -
6.	Análisis de costos de propuestas	- 107 -

6.1.	Inversiones.....	- 107 -
6.2.	Costos económicos anuales	- 109 -
6.3.	Planes de tareas y horas hombre asociadas	- 109 -
6.4.	Recursos disponibles	- 111 -
7.	Recomendaciones para la continuidad del plan de mejoras a realizar posteriormente al trabajo de titulación	- 114 -
8.	Conclusiones.....	- 117 -
9.	REFERENCIAS	- 122 -
10.	Anexos	- 125 -
10.1.	Tablas de probabilidad, consecuencias y riegos de cada modo de falla	- 125 -
10.2.	Gráficos burbuja de los riesgos en cada ámbito evaluado.....	- 135 -
10.3.	Árboles de fallas complementarios.....	- 138 -
10.3.1.	Evaporador.....	- 138 -
10.3.2.	Bombas de amoniaco.....	- 141 -
10.3.3.	Compresores	- 141 -
10.3.4.	Condensadores evaporativos	- 142 -
10.4.	Estado inicial y final de requerimientos del reglamento sobre condiciones de seguridad.....	- 144 -
10.5.	Planes de mantenimiento en formato Fractal	- 149 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 0-1: Plan de trabajo para lograr los objetivos planteados	- 15 -
Figura 1.6.1-1: Diagrama de flujo del proceso productivo del pollo	- 21 -
Figura 1.6.3-1: Plano de planta con colores destacando cada zona del proceso productivo.....	- 24 -
Figura 2.2-1: Diagrama T-s del ciclo real de refrigeración	- 30 -
Figura 2.4.1.1-1: Matriz de identificación de refrigerantes clasificados por seguridad(Instituto Nacional de Normalización, 2017).....	- 35 -
Figura 2.5-1: Gráfico que muestra los calores latentes de diversos refrigerantes	- 41 -
Figura 2.7-1: Diagrama de cañerías del sistema completo de refrigeración de la planta. -	46 -
Figura 2.8-1: Esquema de funcionamiento de un sistema de refrigeración con amoniaco convencional.....	- 47 -
Figura 3.1.3-1: Formato de identificación para las cañerías que transporten amoniaco . -	59 -
Figura 4-1: Gráfico que muestra en porcentaje el estado de la planta con respecto al reglamento estudiado.....	- 63 -
Figura 5.1.1-1: Diagrama de bloque del sub-sistema de refrigeración de alta presión (2[bar], -10[°C]).....	- 68 -
Figura 5.1.1-2: Diagrama de bloque del sub-sistema de refrigeración de baja presión (-0,08[bar], -35[°C]).....	- 68 -
Figura 5.1.1-3: Diagrama de bloque del sub-sistema de refrigeración para congeladores IQF's (-0,37[bar], -42[°C]).....	- 69 -
Figura 5.1.2.1-1: Árbol de falla principal de evaporador	- 73 -
Figura 5.1.2.2-1: Árbol de falla de los estanque de bombeo	- 74 -
Figura 5.1.2.3-1: Árbol de falla principal de las bombas de amoniaco	- 74 -
Figura 5.1.2.4-1: Árbol de fallas principal de compresores	- 75 -
Figura 5.1.2.5-1: Árbol de fallas principal de condensadores evaporativos.....	- 75 -
Figura 5.1.2.6-1: Árbol de falla de estanque acumulador de alta presión	- 76 -

Figura 5.1.5-1: Gráfico que muestra la suma de los riesgos de cada equipo del sistema de refrigeración.....	- 85 -
Figura 5.1.5-2: Gráfico que muestra la cantidad de riesgo que tiene cada combinación de probabilidades y consecuencias.....	- 86 -
Figura 5.1.7.2.7-1: Diagrama Bow-Tie del riesgo de la rotura de una cañería	- 96 -
Figura 5.2.2-1: Gráfico que muestra la cantidad de amoníaco cargado al sistema los últimos años y el porcentaje equivalente de la cantidad de refrigerante de la planta.....	- 102 -
Figura 5.3-1: Gráfico de evolución de los requerimientos del reglamento de seguridad.....	- 104 -
Figura 7-1: Plan de trabajo para realizar la totalidad de requisitos del reglamento de condiciones de seguridad.....	- 116 -
Figura 10.2-1: Gráfico de burbuja que muéstrala distribución de los riesgos evaluados en el medio ambiente	- 136 -
Figura 10.2-2: Gráfico de burbuja que muéstrala distribución de los riesgos evaluados en seguridad y salud	- 137 -
Figura 10.2-3: Gráfico de burbuja que muéstrala distribución de los riesgos evaluados en producción	- 137 -
Figura 10.2-4: Gráfico de burbuja que muéstrala distribución de los riesgos evaluados en costo de mantenimiento y reparación	- 138 -
Figura 10.3.1-1: Árbol de falla de la falla del sistema de ventilación.....	- 138 -
Figura 10.3.1-2: Árbol de falla de la filtración de amoníaco hacia el exterior.....	- 139 -
Figura 10.3.1-3: Árbol de falla de la baja eficiencia de transferencia de calor	- 140 -
Figura 10.3.1-4: Árbol de falla de la falla de una electroválvula	- 140 -
Figura 10.3.3-1: Árbol de falla de un bajo nivel de aceite	- 141 -
Figura 10.3.4-1: Árbol de falla de una baja eficiencia de transferencia de calor	- 142 -
Figura 10.3.4-2: Árbol de falla de la falla de una bomba de agua.....	- 142 -
Figura 10.3.4-3: Árbol de falla de la falla del sistema de ventilación.....	- 143 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: tipos de refrigeración.....	- 32 -
Tabla 2: Clasificación de refrigerantes según origen y composición química.	- 36 -
Tabla 3: Tabla resumen de los halocarbono existentes	- 37 -
Tabla 4: Calores latente s de diversos refrigerantes	- 41 -
Tabla 5: Datos de potencia entregada o cedida por unidad de área.....	- 42 -
Tabla 6: Efecto de la exposición del amoniaco a diversas concentraciones	- 43 -
Tabla 7: Tabla que muestra los equipos del sistema de refrigeración principal.	- 49 -
Tabla 8: Información de los subsistemas existentes en la planta.	- 50 -
Tabla 10: Tabla que muestra la capacitación que requiere cada cargo	- 56 -
Tabla 11: Tabla de horas pedagógicas por cada capacitación	- 57 -
Tabla 12: Resumen de situación actual de planta según el reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoniaco. 1/2.....	- 61 -
Tabla 13: Resumen de situación actual de planta según el reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoniaco. 2/2.....	- 62 -
Tabla 14: Categoría y valor asignado a cada probabilidad de falla según la frecuencia. -	77 -
Tabla 15: Categoría y valor asignado a las consecuencias en la producción	- 80 -
Tabla 16: Categoría y valor asignado a las consecuencias en seguridad y salud	- 81 -
Tabla 17: Categoría y valor asignado a las consecuencias en el medio ambiente.....	- 82 -
Tabla 18: categoría y valor asignado a las consecuencias en costo de reparación o mantenimiento	- 83 -
Tabla 19: Matriz de riesgo utilizada para clasificar los modos de falla	- 85 -
Tabla 20: Modos de falla con alto riesgo	- 88 -
Tabla 21: Modos de falla con consecuencias de valor 5	- 89 -
Tabla 22: Tabla que muestra las medidas para disminuir la probabilidad de las fallas y la forma de mitigar las consecuencias	- 97 -
Tabla 23: Dimensiones para etiquetas de identificación de cañerías	- 101 -

Tabla 24: Tabla que muestra las inversiones a realizar para las modificaciones necesarias en la planta	- 108 -
Tabla 25: Costos económicos anuales	- 109 -
Tabla 26: Tareas a realizar en condensadores evaporativos.....	- 110 -
Tabla 27: Tareas a realizar en bomba de amoniaco.....	- 110 -
Tabla 28: Tareas a realizar en evaporadores	- 111 -
Tabla 29: Tareas a realizar en compresores.....	- 111 -
Tabla 30: Gatos, presupuestos y ahorro del área de suministros el año 2019	- 112 -
Tabla 31: Tiempo a emplear en tareas de cada equipo del sistema de refrigeración	- 113 -
Tabla 32: Tabla con la categoría y probabilidad de falla de cada modo de falla identificado	- 125 -
Tabla 33: Tabla con las consecuencias de todos los modos de fallas identificados de los equipos evaluados.....	- 128 -
Tabla 34. Riesgo obtenido para cada modo de falla identificado en los equipos evaluados... ..	- 131 -
Tabla 35: Tabla con la suma de riesgos de cada equipo, en los 4 ámbitos evaluados... -	135 -
Tabla 36: Tabla con la evolución del estado de los requerimientos del reglamento sobre condiciones de seguridad.....	- 144 -
Tabla 37: Plan de mantenimiento de condensadores evaporativos en formato Fractal -	149 -
Tabla 38: Plan de mantenimiento de las bombas de amoniaco en formato Fractal	- 151 -
Tabla 39: Plan de mantenimiento evaporadores (cuadro de válvulas) en formato Fractal.....	- 153 -
Tabla 40: Plan de mantenimiento de los compresores en formato Fractal.....	- 156 -

Introducción

Los sistemas de refrigeración en la actualidad, representan un pilar clave dentro del estilo de vida de las sociedades, esto debido a los diversos beneficios que otorgan y la amplia gama de usos que poseen. Unos de los ámbitos donde estos sistemas son imprescindibles es en la industria alimenticia, ya que, para la conservación de los alimentos, la refrigeración es la herramienta que permite que los productos puedan poseer una vida útil prolongada, permite también la posibilidad de transportar los alimentos a largas distancias y conservar los productos en las condiciones ideales para su consumo. De lo antes mencionado, se desprende que la relación entre la industria alimenticia y los sistemas de refrigeración corresponde a una dependencia directa, ya que, la necesidad de mantener condiciones óptimas de los productos se mantiene desde el primer momento que se comienza a refrigerar, pasando por los procesos de producción, los almacenamientos, los transportes, hasta llegar al consumidor final.

La empresa que se estudió para el desarrollo del presente trabajo, es una empresa faenadora y exportadora de productos alimenticios de pollo y pavos, esta es la segunda empresa con mayor producción de este tipo de alimentos y fue la primera empresa chilena en cumplir con el total de las normas exigidas para exportar estos productos a Europa. La exportación de productos a Europa y otros países tiene como consecuencia un exhaustivo control en la producción de la planta dado principalmente por la supervisión del SAG (servicio agrícola ganadero). Esta supervisión contempla el monitoreo de varios parámetros de los productos, tales como la temperatura y humedad del galpón de recepción de los animales, el insensibilizado del ave, el control de enfermedades de los animales, entre otros., Juntos a los parámetros anteriormente señalados, la temperatura de las salas de procesos y rangos de temperatura de los productos en diferentes etapas de la producción son monitoreados de forma frecuente en el proceso productivo, existiendo varios inconvenientes en caso que los parámetros no se encuentren en los rangos exigidos. Por un lado, en el caso de la temperatura de las

salas de procesos actualmente México posee un requerimiento de mantener dichas salas bajo los 10°C , al no ser cumplido este requerimiento los productos procesados para el mercado de México deben modificar su destino afectando significativamente las ganancias por dichos productos, cabe destacar que otros mercados poseen diferentes rangos de temperatura, sin embargo, al ser México el país con el requerimiento de menor temperatura se utiliza como patrón para disminuir la probabilidad de incumplimiento. Por otro lado, el incumplimiento en la temperatura del producto puede generar necesidad de reproceso como es el caso de los productos que no disminuyen su temperatura de la necesaria para ser despachado, o puede generar la detención del proceso como es el caso del canal del ave cuando no tiene la temperatura adecuada para ingresar al trozado automático.

El sistema de refrigeración actual de la planta utiliza el amoníaco como principal refrigerante dadas las variadas ventajas que este presenta en comparación con sus posibles sustitutos, sin embargo, el amoníaco posee características negativas que deben ser consideradas para la operación de la planta, estas cualidades negativas son la toxicidad e inflamabilidad del compuesto. Si bien cuando existe una fuga de amoníaco su olor característico sirve para alarmar a las personas cercanas, una fuga de gran tamaño puede tener como consecuencia problemas graves de salud, pudiendo provocar la muerte de personas que estén en contacto con concentraciones elevadas del refrigerante. Este riesgo latente generó la preocupación del ministerio de salud chileno, el cual publicó un reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoníaco, en este se muestran requerimientos que deberán cumplirse para asegurar la integridad y buen funcionamiento de los sistemas de refrigeración que utilicen dicho refrigerante como fluido principal

Junto al reglamento publicado como posible futura normativa obligatoria para la industria del país, la organización donde se realizó este trabajo tiene una preocupación por el sistema de refrigeración existente en sus instalaciones, esto debido a que han ocurrido acontecimientos en la planta que si bien jamás han tenido consecuencias

graves, la probabilidad de ocurrir es latente como ha pasado en otras plantas que han lamentables consecuencias fatales debido a la falta de medidas de prevención, malos diseños, mala operación u otros aspectos no considerados con anterioridad. Además, como se mencionó anteriormente, la dependencia de la producción con el buen funcionamiento del sistema de refrigeración genera la necesidad de poseer una elevada disponibilidad del sistema para no tener pérdidas económicas implicadas por fallas o mal desempeño de los equipos.

PLAN DE TRABAJO

Para la realización del presente trabajo de titulación se utilizó una serie de tareas en un orden específico, con esto fue posible completar tareas recopilando información para lograr continuar con la siguiente tarea, dicho plan de trabajo es mostrado a continuación con un resumen de las tareas o información recopilada en cada tarea del trabajo:

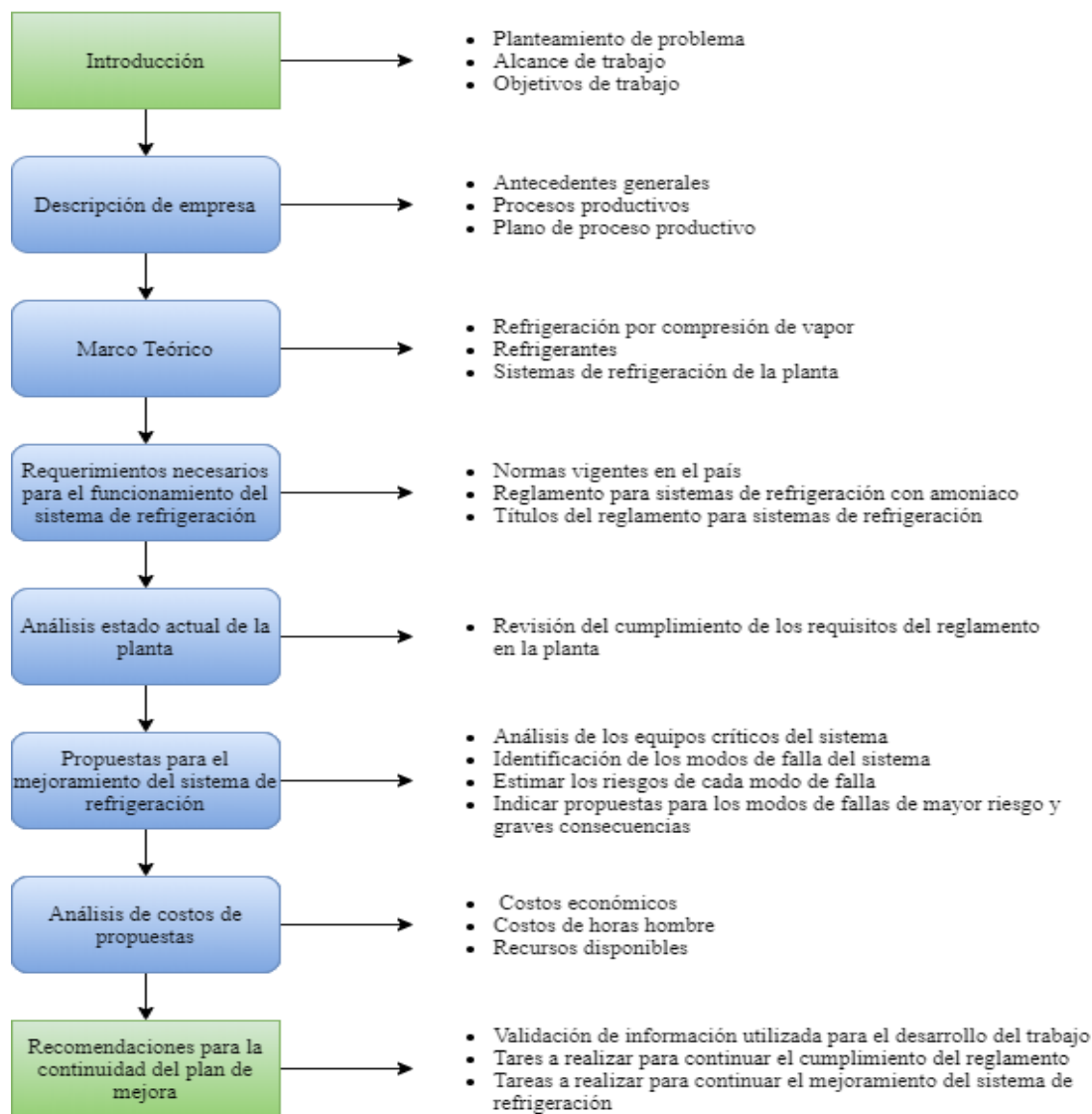


Figura 0-1: Plan de trabajo para lograr los objetivos planteados

Objetivos

Objetivo General:

El objetivo general de este trabajo es formular una propuesta para el mejoramiento del sistema de refrigeración con amoníaco como refrigerante de una planta de producción avícola, este trabajo se basará en los reglamentos existentes en el país que permiten las buenas praxis tanto del proceso de refrigeración, como del personal que trabaja en contacto directo o indirecto con el frigorífico.

Objetivos Específicos:

1. Determinar los requerimientos necesarios para el funcionamiento y mantenimiento de un sistema de refrigeración con amoníaco según reglamento existentes en el país.
2. Determinar el estado actual de la planta en referencia a lo estudiado en los reglamentos.
3. Realizar las propuestas de mejoras que sean necesaria para el cumplimiento de los reglamentos estudiados.
4. Realizar análisis de costos para las propuestas de mejoras a realizar.
5. Realizar recomendaciones para la continuidad del plan de mejoras a realizar posteriormente al trabajo de titulación.

1. Descripción de la empresa

1.1. Antecedentes Generales

La empresa donde se desarrolló el trabajo., es una empresa productora y exportadora de aves, pollos y pavo, además de una amplia variedad de sub productos derivados de estos.

En la actualidad, la marca cuenta con una amplia oferta compuesta por pollos y pavos frescos, enteros y trozados; cecinas, se destacan las salchichas y jamones; productos congelados, tales como: hamburguesas, nuggets y escalopas.

Empresa Ariztía garantiza y se caracteriza por ofrecer productos sanos, livianos, frescos y de calidad, manteniéndose a la vanguardia de las normas que rige el Servicio Agrícola y Ganadero.

La Empresa cuenta con tres plantas procesadoras, dos en la Región Central de Chile y una en Arica, en el límite norte con Perú. Las plantas cuentan con Certificación HACCP, ISO 9001, ISO 14000, y en el caso de la planta ubicada en la comuna de El Paico cuenta con una Certificación BRC en High Level e ISO 22.000

Su ardua trayectoria y crecimiento le ha permitido posicionarse dentro del mercado como la segunda empresa Avícola del país, estando presente en 20 países de América, Europa y Asia del Pacífico. Un 80% de sus ventas corresponden a productos en base al pollo y pavo, mientras que el resto son cecinas, procesados de pollo, subproductos, quesos y otros.

En la figura 1.1-1 se aprecia el eslogan y logo Corporativo de la empresa Ariztía Ltda.



Figura 1.1-1: Eslogan y logo corporativo de Ariztía Ltda.

1.2. Misión

Ser reconocida como una empresa líder del sector alimentos en Chile, por su alta calidad de productos, capacidad de innovación y profundo conocimiento de sus clientes. Ariztía debe ser un referente en la industria de alimentos nacional destacando por sus altos estándares de clase mundial.

La preocupación esencial de la compañía es incrementar el valor económico para sus accionistas, mediante la maximización del uso capital, a través de una alta eficiencia operacional para incrementar continuamente los márgenes del negocio.

La empresa debe desarrollar una mentalidad global en sus negocios y buscar capturar las oportunidades comerciales y tecnológicas que se le presentan tanto en los mercados internos como globalizados.

1.3. Visión

Ser una empresa de clase mundial, a la vanguardia del sector alimentos por satisfacer las necesidades de sus consumidores y clientes, con marcas de alta preferencia y propuestas de valor innovadoras, sustentada en un equipo humano de excelencia y conductas éticas íntegras.

1.4. Planta Agroindustrial El Paico S.A.

La planta Agroindustrial El Paico es la principal planta faenadora y exportadora de carne de ave de la empresa Ariztía, esta planta faena más del 50% de las aves de la compañía. Fue construido el año 1992, y fue la primera planta en cumplir con el 100% de las normas exigidas para exportar sus productos a lo largo de toda Europa. Cuenta, entre otros, con túneles de congelado rápido IQF, que permiten una congelación más rápida de la carne, y por ello una mejor calidad de ésta al descongelar. También opera una planta de cocción y ahumado para pavos enteros y cortes de pavo o pollo, listos para consumir.

1.5. Ubicación geográfica

La Planta Agro-Industrial el Paico, se localiza en el Kilómetro 50 de la Ruta 78 en dirección a San Antonio, Avenida Los Libertadores #1714, comuna de El Monte, provincia de Talagante, Región Metropolitana. En la figura 1.5-1 se muestra un plano con la ubicación de la planta:



Figura 1.5-1: Localización General Agroindustrial el paico.

Además, se muestra una fotografía área de la planta Agroindustrial El Paico



Figura 1.5-2: Vista aérea planta agroindustrial el paico.

1.6. Procesos productivos

La planta donde se realizó el trabajo de titulación elabora productos provenientes de pollo y de pavo. Ambas aves presentan diferencias en sus procesos productivos en la planta, estas diferencias son: cantidad de aves procesadas, cantidad de personas que trabajan en el proceso, automatización de las labores de producción, pausas entre los procesos productivos, entre otras diferencias.

El pollo es la principal ave procesada en la planta, la cantidad de pollos elaborados son casi 80 veces la cantidad de pavos que se faenan diariamente. Esto genera que la mayoría de las personas que cumplen funciones de producción en la planta se destinen a trabajos relacionados al proceso del pollo, junto a las inversiones para modificar y automatizar la producción de estos productos

1.6.1. Proceso productivo del pollo

La figura 1.6.1-1, muestra un diagrama de flujo donde se observan los pasos en la producción del pollo desde la recepción hasta el almacenamiento de los productos elaborados previo al despacho.

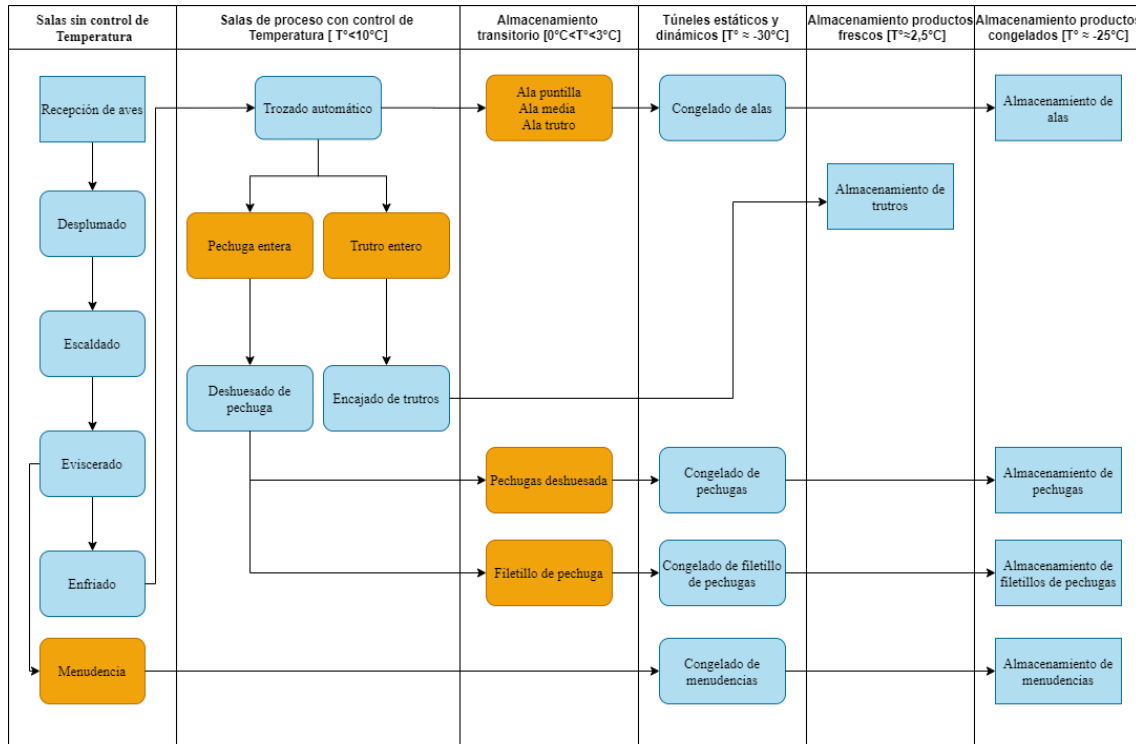


Figura 1.6.1-1: Diagrama de flujo del proceso productivo del pollo

En el diagrama anterior, se observa que desde la recepción del ave el proceso se realiza de forma continua obteniendo como resultado alas almacenadas transitoriamente, trutos almacenados en cámaras de producto fresco listo para despacho y almacenamiento de pechugas deshuesadas y filetillos de pechugas. Este producto puede procesarse en una línea productiva debido a la existencia del enfriado del producto mediante un chiller de agua que enfría el producto con agua fría y hielo y un posterior enfriado por aire en el chiller de aire. Los productos que son almacenados de forma transitoria son posteriormente enfriados en túneles estáticos o dinámicos para

luego ser almacenados en cámaras de conservación de productos congelados para ser despachados. Los sub-productos que se obtienen del proceso del pollo son las menudencias de ave. Estos sub-productos son congelados en túneles estáticos y luego son guardados en cámaras de almacenamiento de productos congelados para ser despachados.

Otra diferencia de los procesos del pollo y el pavo es la existencia de un trozado automático del pollo y un deshuesado también automático de la pechuga entera, en estos procesos el personal de producción tiene la función del colgado de los productos, operadores técnicos que se encargan de revisar el desempeño de los equipos y personal que realiza el reproceso cuando los equipos no entregan productos satisfactorios según los requerimientos existentes.

1.6.2. Proceso productivo de pavos

La figura 1.6.2-1, muestra un diagrama de flujo donde se puede observar los pasos en la producción del pavo, desde la recepción hasta el almacenamiento de los productos elaborados previo al despacho.

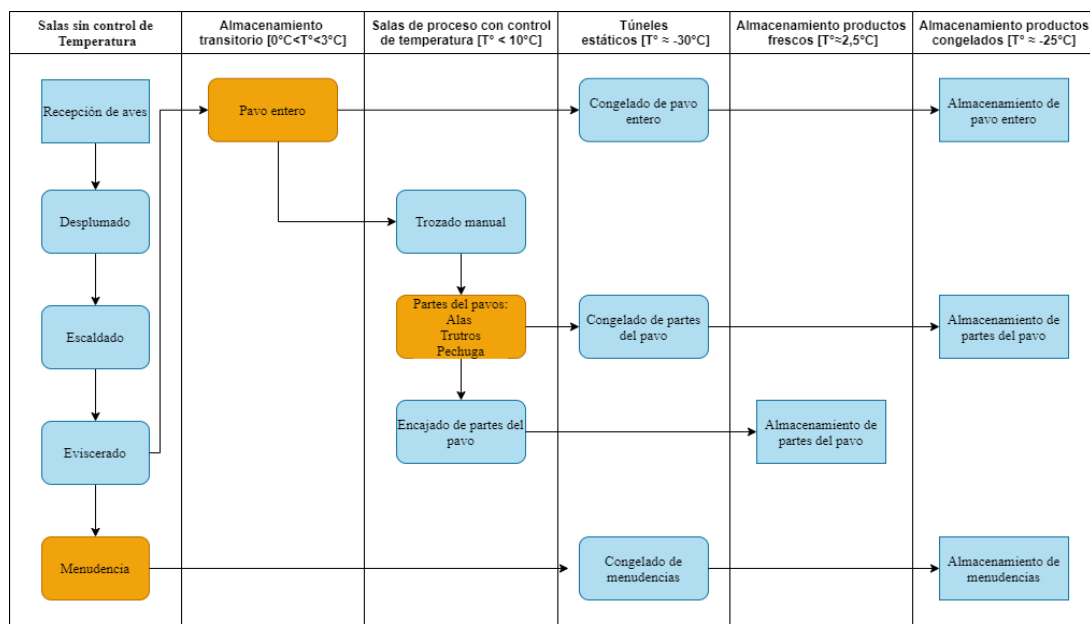


Figura 1.6.2-1: Diagrama de Flujo del proceso productivo del pavo

Como se observa en el diagrama anterior una de las principales diferencias del proceso productivo del pollo y el pavo es que este último no presenta un proceso en línea, ya que, terminando la faena (proceso de evisceración) las menudencias son congeladas en túneles estáticos y posteriormente almacenados en cámaras de conservación para ser despachados, sin embargo, el pavo entero es almacenado transitoriamente, esto ocurre pues el pavo es faenado en el turno de tarde y no existen equipos dispuestos para el enfriamiento del producto, por ende, el pavo es almacenado durante toda la noche para poder ser trozado al día siguiente de su faena. Otra diferencia existente es que el trozado del ave se realiza completamente manual en el caso del pavo y existe congelamiento y almacenamiento de pavo entero para su posterior venta, a diferencia del pollo que todo el producto es trozado.

Cabe destacar que en ambos diagramas de flujo anteriormente mostrados se dividen las salas de procesos según la temperatura en las que deben mantenerse.

1.6.3. Plano de la planta con sus zonas de proceso

La figura 1.6.3-1 muestra el plano de la planta, con diferentes colores que muestran las zonas del proceso productivo:

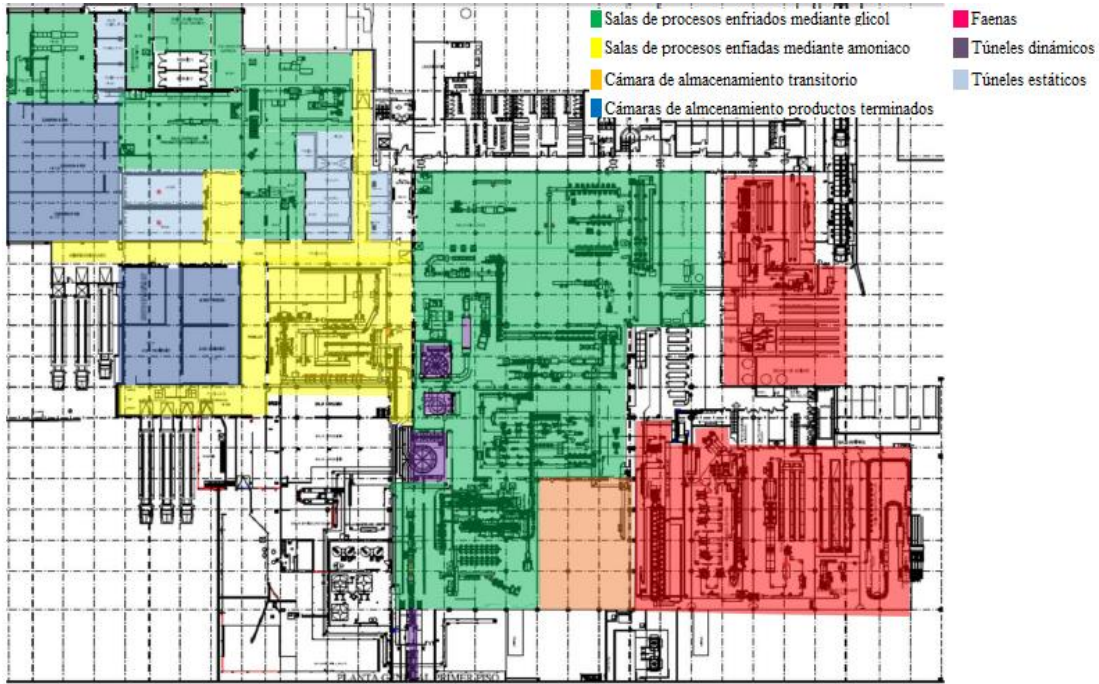


Figura 1.6.3-1: Plano de planta con colores destacando cada zona del proceso productivo

En el plano se muestra en color rojo las zonas pertenecientes al área de faena, las cuales corresponden a salas sin uso del sistema de refrigeración de la planta.

En color verde se muestran todas las salas de proceso que son refrigeradas mediante una mezcla de agua-glicol, estas salas deben permanecer a una temperatura menor a los 10°C , debido a requerimiento de exportación.

En color amarillo se muestran las zonas del proceso que son refrigeradas mediante amoníaco, estas salas igual que las anteriores deben permanecer a una temperatura menor a 10°C .

En color naranja se muestra la cámara de almacenamiento transitorio que almacena el pavo de un día para otro y almacena los productos que son congelados pero no en un flujo en línea.

En color morado se muestran los túneles dinámicos o congeladores individuales rápidos (IQF's) los cuales utilizan amoníaco para funcionar y personal de producción en contacto directo con los equipos.

En celeste se muestran los túneles estáticos donde se almacena producto por periodos de tiempo de aproximadamente 40 *horas* para congelar.

Finalmente, en azul se muestran las cámaras de almacenamiento de productos frescos y congelados que serán posteriormente despachados.

2. Refrigeración

En la naturaleza es posible observar una gran cantidad de fenómenos espontáneos sin que exista una acción humana o de otro tipo que interceda. Uno de estos fenómenos es la transferencia de calor, la cual corresponde a la energía térmica en tránsito debido a una diferencia de temperatura espacial, la transferencia de calor ocurre de manera espontánea cuando un cuerpo (sólido, líquido o gaseoso) que posee mayor temperatura interactúa con otro cuerpo a menor temperatura. Sin embargo, para diversas necesidades se requiere que la transferencia de calor se realice de manera inversa, donde la energía térmica debe fluir desde cuerpos con menor temperatura a otros con mayor temperatura, con la finalidad de bajar o mantener la temperatura de un cuerpo. Este fenómeno se conoce como refrigeración, y debido a que en la naturaleza no ocurre sin intervención externa se deben utilizar máquinas refrigerantes que pueden ser refrigeradores, acondicionadores de aire, frigoríficos industriales, entre otros. La máquina a utilizar dependerá del uso, la temperatura, y otros factores que influyan en la transferencia de calor deseada.

Para que las máquinas refrigerantes extraigan energía térmica de una región de baja temperatura y la lleven a otra región de temperatura mayor deben realizar un ciclo, este es nombrado como ciclo de refrigeración y juntos a las máquinas y dispositivos del ciclo se necesita un fluido de trabajo llamado refrigerante el cual debe poseer distintas especificaciones que se describirán más adelante en este trabajo.

Para cuantificar la refrigeración se utiliza la capacidad de enfriamiento, esta medida corresponde a la tasa de calor extraído del espacio u objeto a refrigerar, esta propiedad se mide con unidades de potencia, siendo utilizado en el sistema internacional de unidades los *Watts* como unidad de medida, sin embargo, existen otras medidas que se emplean en distintos países y se pueden encontrar en diversos equipos, la tonelada de refrigeración es un ejemplo y corresponde a la capacidad de un sistema de refrigeración para congelar 1tonelada de agua (líquida) a $0[^\circ C]$, en hielo a $0[^\circ C]$ en 24 horas. Otra unidad utilizada en refrigeración, y principalmente en los

equipos de aires acondicionados es el Btu (British thermal unit) que corresponde a la energía necesaria para elevar en $1[^\circ F]$, la temperatura de $1[lbm]$ de agua a $68[^\circ F]$.(Y. Cengel & M. Boles, 2011)

2.1. Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

Los sistemas de refrigeración en su gran mayoría utilizan el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, para explicar su funcionamiento a continuación la figura 2.1-1 expone el esquema del ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor:

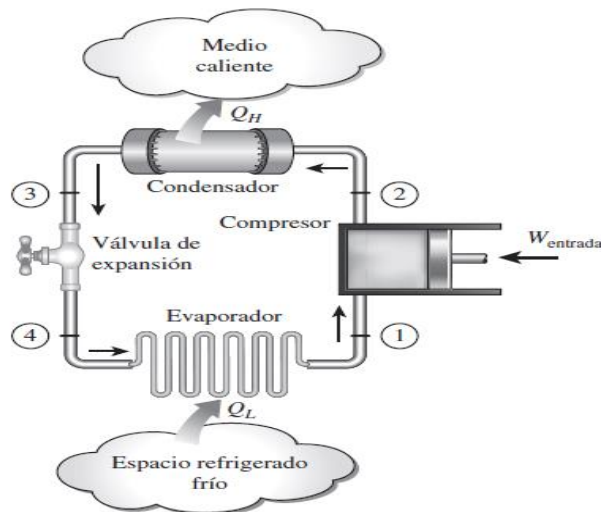


Figura 2.1-1: Esquema del ciclo de refrigeración por compresión de vapor. (Y. Cengel & M. Boles, 2011)

Se observa que en este ciclo existen 4 procesos principales, el primero consiste en una compresión del refrigerante en estado gaseoso mediante un compresor, acá ingresa el refrigerante como vapor saturado (estado 1) y sale a la presión de trabajo que utilice el condensador (estado 2) como vapor sobrecalentado. Luego del condensador el refrigerante sale del equipo como líquido saturado (estado 3) en este proceso el condensador extrae calor del refrigerante y lo expulsa hacia los exteriores (la

temperatura del refrigerante será mayor que la temperatura de los exteriores por la energía recibida en el compresor). El refrigerante que en esta etapa se encuentra completamente en estado líquido pasa por una válvula de expansión o un capilar, la cual genera una disminución de presión, quedando con la misma presión que se encuentra en el evaporador, junto a lo anterior, su temperatura obtiene un valor menor a la temperatura del lugar a refrigerar (estado 4). Por último, luego de la válvula de expansión el refrigerante se encuentra como vapor húmedo de baja calidad, e ingresa al evaporador donde se evapora completamente absorbiendo el calor del lugar a refrigerar, saliendo de este proceso el refrigerante vapor saturado (estado 1) donde vuelve a ingresar al compresor comenzando un nuevo ciclo.

A continuación la figura 2.1-2 muestra el diagrama T-s de un ciclo ideal de refrigeración:

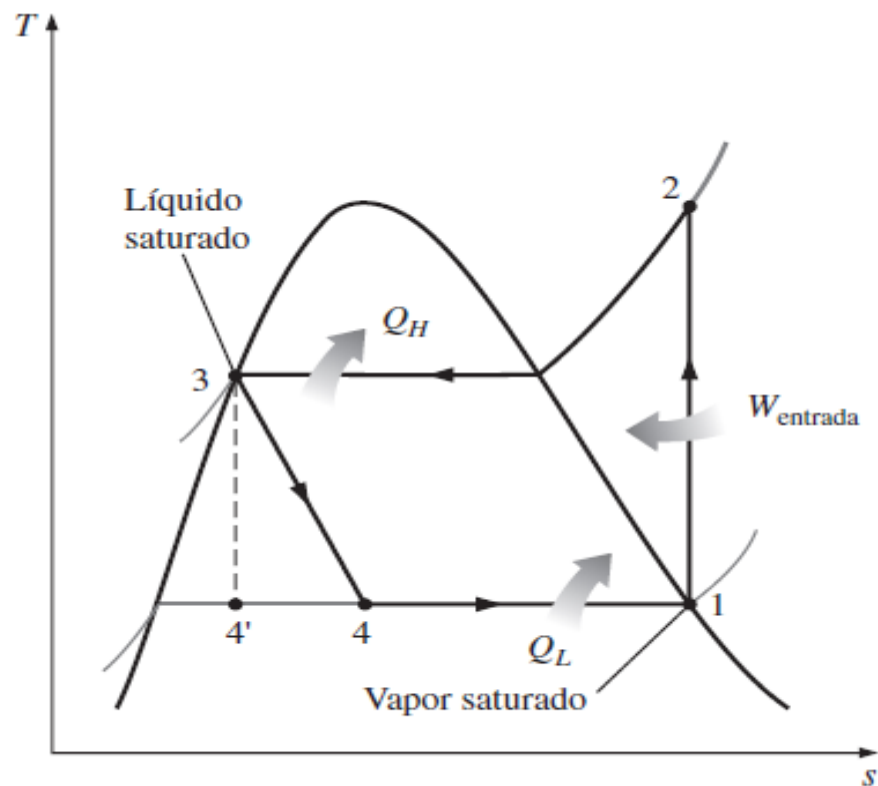


Figura 2.1-2: Diagrama T-s del ciclo real de refrigeración (Y. Cengel & M. Boles, 2011)

Este gráfico utiliza los mismos estados revisados en el diagrama anterior. El área bajo la curva de los diagramas T-s corresponden a la transferencia de calor del ciclo, por ende, en este diagrama e área bajo la curva del proceso 4-1 corresponde al calor absorbido del sector a enfriar, mientras que el área bajo la curva del proceso 2-3 corresponde al calor rechazado hacia el exterior por medio del condensador. Se puede observar del diagrama que en el proceso 3-4 existe una disminución de presión y temperatura junto a un aumento de entropía, este aumento de entropía genera una disminución en la capacidad de absorber calor en el proceso 4-1 (esto debido a la disminución de la longitud de la curva) este aumento de entropía es generado debido a la transferencia de calor existente entre el refrigerante y las paredes cercanas, esto se da por la restricción de sección que experimenta en los tubos capilares o la expansión en libre que ocurre en las válvulas de expansión.

2.2. Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor

A continuación la figura 2.2-1 muestra el diagrama T-s del ciclo real de refrigeración:

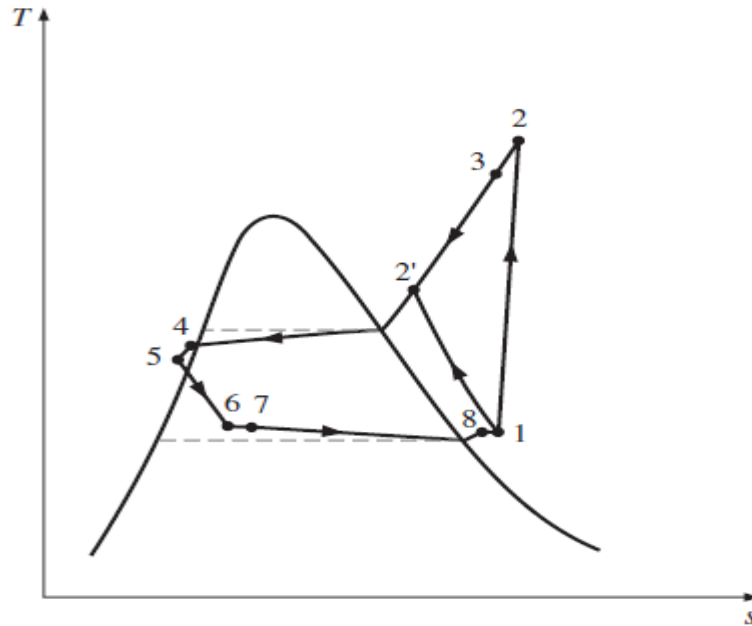


Figura 2.2-1: Diagrama T-s del ciclo real de refrigeración

En la realidad los ciclos de refrigeración difieren del ciclo ideal mostrado anteriormente debido a varias irreversibilidades que existen, principalmente las que afectan al sistema de refrigeración son la fricción entre el refrigerante y sus alrededores y la transferencia de calor que ocurren en las caídas de presión. En primer lugar, cuando el refrigerante sale del evaporador es extremadamente complejo obtener que salga como vapor saturado, esto implica que existen posibilidades que el fluido que ingresa al compresor no sea gas seco, sino que posea parte de refrigerante líquido generando problemas en el funcionamiento óptimo del compresor. Para aquel motivo se diseñan los compresores para generar un sobrecalentamiento previo a ingresar al compresor, sin embargo, estos dispositivos generan una caída de presión y una transferencia de calor hacia el refrigerante que aumentan el volumen específico, por ende, aumentan el trabajo

necesario para hacer funcionar el ciclo de refrigeración. Por otro lado, la compresión real no es isentrópica debido a la fricción generada en los equipos, este aumento en la entropía genera un aumento en el consumo energético de los compresores. En el proceso de condensación se genera una pérdida de presión debido a la fricción de las cañerías, además estos equipos no se pueden controlar para obtener un líquido saturado a la salida del equipo, por ende, es necesario realizar un sub-enfriamiento del refrigerante para evitar el mal funcionamiento de los equipos de expansión. Debido a los problemas antes descritos se deben realizar modificaciones a las instalaciones de sistemas de refrigeración, donde la más usada en lo que respecta a la refrigeración industrial es la incorporación de depósitos de refrigerante tanto en estado líquido como gaseoso, donde con el uso de estos se pueden extraer los fluidos desde puntos particulares en el estado requerido para cada equipo (líquido o gas saturado) y así evitar los problemas de sobre consumo de energía, daños a los equipos por su uso en condiciones no optimas, u otra posible consecuencia.

2.3. Tipos de refrigeración

Como se mencionó anteriormente, la refrigeración es utilizada masivamente en la actualidad, esta se emplea con distintas finalidades, utilizando diversos equipos, y a distintas temperaturas. Por ende, los sistemas de refrigeración pueden ser clasificados de varias formas, a continuación la tabla 1 donde se agrupan los sistemas de refrigeración por sus diferentes usos:

Tabla 1: tipos de refrigeración

Tipos de refrigeración	Equipo o lugar a enfriar	Temperaturas de trabajo
Refrigeración domestica	Refrigeradores y congeladores domésticos	10°C : (-20°C)
Refrigeración comercial	Muebles frigoríficos de tiendas, supermercados, etc	10°C : (-20°C)
Refrigeración industrial	Equipos industriales, máquinas de hielo, almacenamiento en frío, túneles de congelado rápido, entre otros.	-10°C : (-60°C)
Refrigeración de transporte	Camiones, tranportes marítimos, etc.	0°C : -18°C

2.4. Refrigerantes

En la actualidad existen una gran variedad de refrigerantes que se utilizan o han sido utilizados para los distintos sistemas de refrigeración, existen refrigerantes que se encuentran en la naturaleza como el agua o el aire, como existe una gran gama de refrigerantes sintéticos creados por el hombre.

Una características de los refrigerantes que debe ser evaluada antes de su elección tiene que ver con los riesgos que presentan los fluidos, un problema dentro de los refrigerantes es la toxicidad, esta característica limita la utilización de refrigerantes tóxicos a ciertos lugares, pues el tener un refrigerante de alta toxicidad en equipos utilizados en hogares puede provocar accidentes graves incluso fatales, por algún problema en el sistema o accidente posible. Si bien su uso en la industria puede generar consecuencias similares, en estas se deben contemplar acciones reactivas y tener preparación para hacer frente. Otro

gran problema de los refrigerantes es el efecto que presentan en el medio ambiente, donde algunos de los refrigerantes más utilizados en una época eran de los principales culpables de la destrucción de la capa de ozono, así como también se consideran algunos como gases de efecto invernadero responsables de aumentar el calentamiento global.

2.4.1. Clasificación de refrigerantes

2.4.1.1. Clasificación por seguridad

Una manera de clasificar a los refrigerantes es según su seguridad, basado en este parámetro se clasifica dependiendo de su toxicidad y su flamabilidad:

- Toxicidad

Según la toxicidad los refrigerantes se clasifican en la categoría A o la categoría B, dependiendo de su grado de exposición permisible

Clase A: En esta clase se encuentran los refrigerantes que no presentan toxicidad para las personas en concentraciones menores o iguales a 400[ppm] en volumen según el índice CMA-PTP(Instituto Nacional de Normalización, 2017)

Clase B: En esta clase se encuentran los refrigerantes con los cuales se han encontrado prueba de toxicidad en concentraciones menores o iguales a 400[ppm] en volumen según el índice CMA-PTP(Instituto Nacional de Normalización, 2017)

- Inflamabilidad

Según la inflamabilidad de los refrigerantes se pueden clasificar en 3 categorías, 1, 2 o, 3

Clase 1: En esta categoría se encuentra los refrigerantes que no propagan la llama cuando se les somete a pruebas en aire, a $100^{\circ}C$ y $101,3[kPa]$ (Instituto Nacional de Normalización, 2017)

Clase 2: En esta categoría se encuentra los refrigerantes que presentan un límite inferior de inflamabilidad mayor a $0,1 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ cuando se les somete a pruebas en aire, a $100^{\circ}C$ y $101,3[kPa]$ y un calor de combustión menor que $19.000 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ (Instituto Nacional de Normalización, 2017)

Clase 3: En esta categoría se encuentra los refrigerantes muy inflamables con una límite inferior de inflamabilidad menor o igual $0,1 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ cuando se les somete a pruebas en aire, a $100^{\circ}C$ y $101,3[kPa]$ y un calor de combustión mayor o igual que $19.000 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ (Instituto Nacional de Normalización, 2017)

A continuación la figura 2.4.1.1-1 muestra la matriz donde se deben ubicar los refrigerantes según las clasificaciones antes descritas:

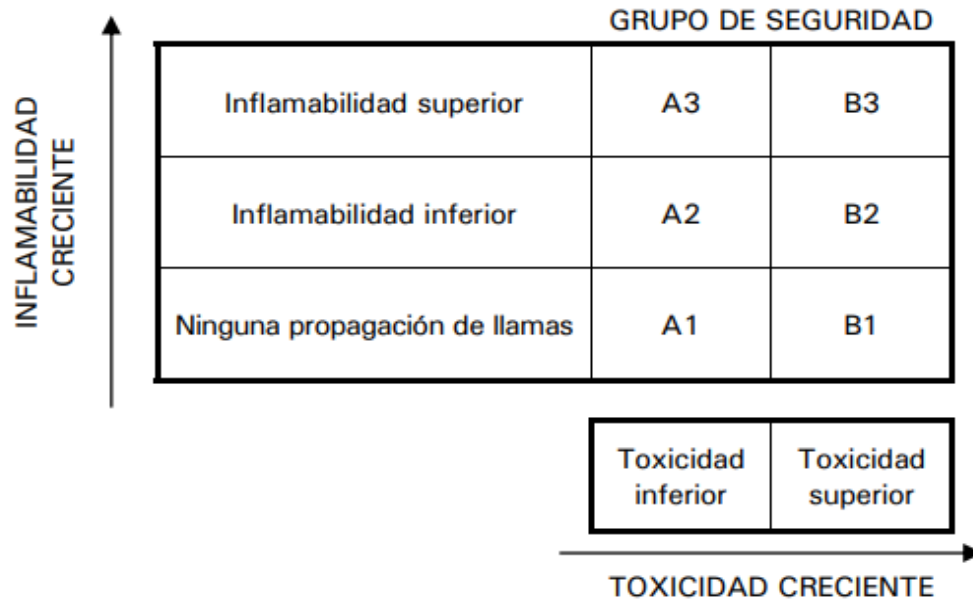


Figura 2.4.1.1-1: Matriz de identificación de refrigerantes clasificados por seguridad (Instituto Nacional de Normalización, 2017)

2.4.1.2. Clasificación según impacto a la capa de ozono

Refrigerante SAO: refrigerante que tiene un Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (PAO) mayor a cero.

Refrigerante no SAO: refrigerante que tiene un nulo Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono

2.4.1.3. Clasificación según sus compuestos químicos

Los refrigerantes son compuestos o elementos químicos que están definidos por sus nombres y formulas, sin embargo, existe una clasificación para los refrigerantes que se les otorga un código que los identifica según el origen que tengan y principalmente la composición química, esta clasificación se expone en el estándar 34 de la ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado). Esta clasificación agrupa a los refrigerantes en 7 grupos, estos se muestran en la tabla 2:

Tabla 2: Clasificación de refrigerantes según origen y composición química.

Serie	Nombre	Refrigerante
000	Metanos	R12, R23
100	Etanos	R134a, R141b
200	Propanos	R290
400	Zeotropos	R407C, R410A
500	Azeotropos	R502, R507
600	Orgánicos	R600, R600a
700	Inorgánicos	R717, R744

(Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Colombia, 2014)

De este cuadro se observa que el código de cada refrigerante comienza con la letra “R”, esta se utiliza por la palabra refrigerant (refrigerante en inglés), además el primer número de cada código se asigna según el grupo al cual pertenece. Ahora, la construcción del resto del código presenta distintos métodos y varía según el grupo al que corresponda, por ejemplo, algunos números se asignan por la cantidad de átomos de carbono, hidrógeno, u otros elementos, otros números indican el orden de la aparición del refrigerante, las letras finales del código que se adicionan en el código tienen relación con las proporciones de mezclas o la simetría del compuesto. En el caso de los refrigerantes inorgánicos el código se forma mediante la letra R que ya fue explicada, el número 7 que indica su correspondencia al grupo de refrigerantes inorgánicos y los dos números siguientes que exponen la masa moléculas del componente, en el caso de amoníaco que posee una masa molecular de $17 \left[\frac{g}{mol} \right]$ su código corresponde al R717. El código de este refrigerante se explica debido a la importancia que presenta en este trabajo.

2.4.1.3.1. Halocarbonos

Estos refrigerantes son compuestos que poseen una estructura de carbono junto a uno o varios de los halógenos de la tabla periódica, los halógenos que se unen a la estructura principal son el cloro, el flúor y el bromo.

Los halocarbonos se pueden dividir en 3 grupos según los halógenos que posea su composición, a continuación se muestra un resumen en la tabla 3:

Tabla 3: Tabla resumen de los halocarbono existentes

Refrigerante	Abreviación	Halógenos en la composición	Ejemplos	Impacto ambiental
Clorofluorcarbonos	CFC	Cloro Flúor	R11, R12, R113, R115	Gran daño a la capa de ozono Gas de efecto invernadero
Hidroclorofluorcarbonos	HCFC	Cloro Flúor Hidrógeno	R22, R123	Menor daño a la capa de ozono Gas de efecto invernadero
Hidrofluorcarbonos	HFC	Flúor Hidrógeno	R134a	Nulo daño a la capa de ozono Gas de efecto invernadero

2.4.1.3.2. Hidrocarbonos

Estos refrigerantes corresponden a los conformados por carbono e hidrógeno, dentro de este grupo se encuentra el metano, el etano, el propano, el ciclopropano, el butano y el ciclopentano. Una gran desventaja que tienen estos compuestos es su alta inflamabilidad, aunque por otro lado su producción tiene un costo muy bajo, no presentan efectos sobre el daño a la capa de ozono, tiene una baja toxicidad y un bajo aporte al calentamiento global.

2.4.1.3.3. Mezclas Azeotrópicas

Los refrigerantes de este grupo corresponden a mezclas de 2 sustancias que poseen distintas propiedades individualmente pero que al mezclarse se comportan de una forma unificada como si fuera un solo compuesto.

El refrigerante más utilizado de este grupo es el R502 que corresponde a una mezcla de R22 y R115, mejorando sus propiedades aumentando su eficiencia y disminuyendo su toxicidad.

2.4.1.3.4. Mezclas Zeotrópicas

Los refrigerantes de este grupo corresponden a mezclas de variados componentes volátiles, al ser usados en sistemas de refrigeración su composición varía durante la evaporación o la condensación. Este fenómeno ocurre, debido a que existen en la mezcla componentes más volátiles que otros, estos componentes al llegar a su temperatura de evaporación comienzan a evaporarse mientras que los compuestos menos volátiles se mantienen en estado líquido, así para poder evaporar todo el líquido se debe continuar aumentando la temperatura. La diferencia entre la temperatura que tiene la mezcla cuando se evapora su primera gota y la temperatura que posee cuando se evapora la última gota de la mezcla se llama deslizamiento de temperatura, y es un fenómeno que le ocurre a todas las mezclas zeotrópicas.

2.4.1.3.5. Refrigerante Inorgánicos

Los refrigerantes de este grupo se caracterizan por no poseer carbono en su composición, exceptuando el dióxido de carbono CO_2 que pese a poseer carbono

pertenece a esta clasificación. Los compuestos de este grupo se destacan por su aparición temprano en la historia, siendo de los primeros compuestos que se utilizaron como refrigerantes. Sin embargo, esto no implica que no sean de utilidad en la actualidad, donde sus propiedades termodinámicas, sus costos, y otras condiciones los convierten en alternativas interesantes para la aplicación como refrigerantes en diversos procesos de refrigeración, aire acondicionado o bombas de calor.

Algunos refrigerantes inorgánicos son el amoníaco, el agua, el aire, dióxido de carbono, dióxido de azufre, entre otros

2.4.2. Historia de los refrigerantes

El amoníaco ha sido producido y utilizado desde que se descubrieron sus propiedades para actuar como refrigerante, sin embargo, con la aparición de refrigerantes sintéticos principalmente con los hidroclorofluorcarbonos se comenzó a desplazar el uso del amoníaco como refrigerante de las plantas industriales, esto ocurrió en la década de 1950, siendo los principales reemplazos el HCFC-22 y luego el CFC-50, cabe destacar que el amoníaco no dejó de utilizarse ni producirse, solamente disminuyó su utilización.

Posterior a esto, en la década de 1970 se descubrió la relación directa que tenían los CFC con el agotamiento de la capa de ozono, esto provocó el Protocolo de Montreal en 1987 que corresponde a un acuerdo internacional que elimina los CFC. Esto generó la prohibición de producción y de utilización de dichos refrigerantes.

Luego, se identificó el efecto perjudicial que tienen los otros refrigerantes sintéticos utilizados, los cuales son los HCFC y los HFC que presenta un efecto perjudicial sobre el calentamiento global, por ende, se generó un acuerdo internacional para limitar el uso de dichas sustancias, este acuerdo corresponde a la Enmienda de Kigali al protocolo de Montreal, efectuado el 2016.(Shecco, 2019)

2.5. Amoniaco

El amoniaco es un compuesto que posee una molécula de nitrógeno y 3 moléculas de hidrógeno (NH_3) en su composición, es incoloro, corrosivo, irritante, posee un fuerte olor característico que es detectable a bajas concentraciones en el ambiente.

La temperatura de evaporación del amoniaco a presión ambiental corresponde a $-33,3^{\circ}C$, esto significa que en condiciones ambientales el amoniaco se encuentra en estado gaseoso.

El amoniaco presenta usos diversos en la actualidad, su uso como fertilizante es donde se emplea la mayor parte de la producción. Además, el amoniaco se emplea como compuesto para variados productos de limpieza y como refrigerantes en diversos sistemas de refrigeración, entre otras utilidades.

El empleo del amoniaco como fluido refrigerante se debe a diversas razones, entre las principales se encuentran sus propiedades termodinámicas en comparación con los posibles refrigerantes sustitutos. En primer lugar, el calor latente del amoniaco es superior que el de los otros refrigerantes, siendo este un aspecto clave en el funcionamiento de los sistemas de refrigeración, ya que, significa que con igual cantidad de refrigerante es capaz de absorber mucho más calor en su evaporación (acción principal en el sistema de refrigeración) y de expulsar calor en su condensación (proceso necesario en el sistema). A continuación, la tabla 4 muestra una comparativa que muestra los valores de calor latente de distintos refrigerantes:

Tabla 4: Calores latentes de diversos refrigerantes

Refrigerante	Calor latente [kJ/kg]
Agua - R718	2.489
Amoniaco - R717	1.248
R410A	214
HCFC22 - R22	202
HFC 134a- R134a	196
R404A	162

(Parashuram. R, 2012)

A continuación el gráfico 2.5-1 muestra los valores de la tabla anterior:

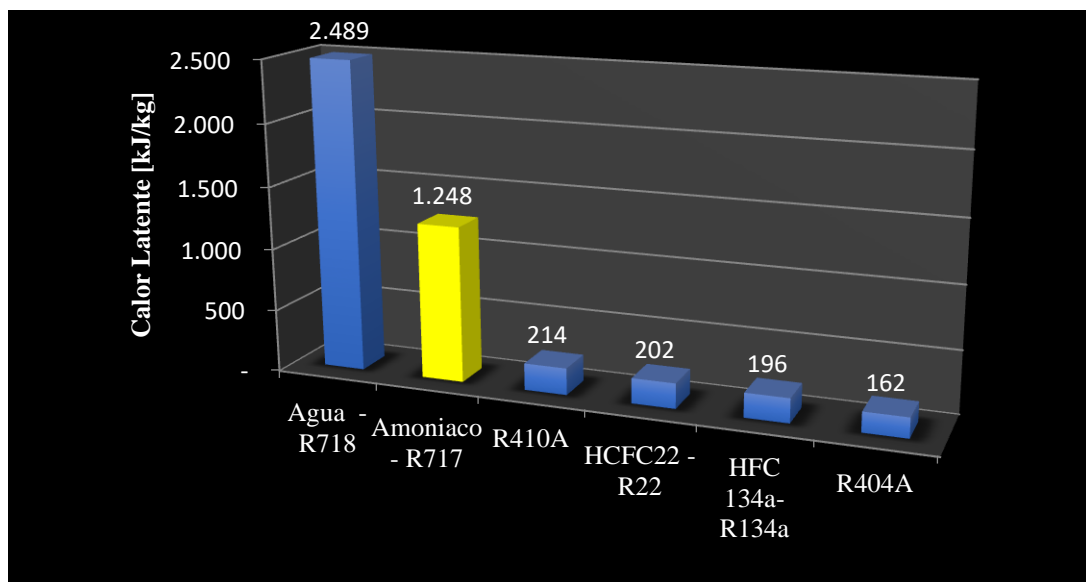


Figura 2.5-1: Gráfico que muestra los calores latentes de diversos refrigerantes

Lo anterior, junto a otras propiedades como la viscosidad, la densidad, entre otras, genera la posibilidad de utilizar evaporadores y condensadores de menor tamaño que si se utilizará otro tipo de refrigerante, la necesidad de menor cantidad de refrigerante genera igualmente que el resto de equipos del sistema sea de menor tamaño, la posibilidad de utilizar un menor diámetro en las cañerías, menor consumo de

energía eléctrica, etc. A continuación, la tabla 5 muestra una comparativa de las dimensiones de evaporadores y condensadores para amoníaco y HCF22:

Tabla 5: Datos de potencia entregada o cedida por unidad de área

	Amoniaco R717	HCFC 22
Condensación dentro de los tubos [W/m ² K]	4200 - 8500	1400 - 2000
Condensación fuera de los tubos [W/m ² K]	7500 - 11000	1700 - 2800
Evaporación dentro de los tubos [W/m ² K]	3100 - 5000	1500 - 2800
Evaporación fuera de los tubos [W/m ² K]	2300 - 4500	1400 - 2000

(Parashuram. R, 2012)

Otra ventaja que posee el amoníaco es la detección de fuga en el sistema, pues al poseer un olor característico y detectable a bajas concentraciones permite encontrar fugas en el sistema con mayor rapidez en comparación con el resto de refrigerantes que en su mayoría no presentan olor. Por último, una de las mayores bondades del amoníaco es su inocuidad con el medio ambiente, pues este refrigerante no genera daño alguno a la capa de ozono, ni forma parte de los gases invernaderos responsables del calentamiento global.

Las desventajas que presenta el amoníaco como refrigerante es su toxicidad e inflamabilidad, la toxicidad del amoníaco implica que las personas que deban trabajar con los equipos que utilizan este fluido deben estar capacitados para realizarlo contando con información de seguridad sobre el tema, también imposibilita o al menos dificulta la utilización de este refrigerante en equipos domésticos debido al alto riesgo, así como en equipos de acondicionamiento de ambientes, la inflamabilidad es menos preocupante debido a la concentración específica que debe tener el compuesto, además de las altas temperaturas necesarias para comenzar la inflamación.

A continuación la tabla 6 muestra las consecuencias de la exposición del amoníaco a diversas concentraciones:

Tabla 6: Efecto de la exposición del amoníaco a diversas concentraciones

Concentración [ppm]	Tiempo	Efecto
10.000		Muerte como resultado de asfixia; los sobrevivientes pueden morir más tarde como resultado de complicaciones
5.000 - 10.000		Mortalidades por obstrucción de las vías respiratorias.
700 - 1.700		Incapacidad por lagrimeo de los ojos y tos
550	30 minutos	Irritación del tracto respiratorio superior, lagrimeo de los ojos
134	5 minutos	Lagrimeo de los ojos, irritación ocular, irritación nasal, irritación de garganta, irritación torácica
140	2 horas	Irritación severa, necesidad de abandonar el área de exposición
100	2 horas	Irritación molesta en los ojos y la garganta
50 - 80	2 horas	Perceptible irritación de ojos y garganta
20 - 50		Molestias leves, dependiendo de si un individuo está acostumbrado a oler amoníaco

(The Fertilizer Institute, s. f.)

2.6. International Institute of Ammonia Refrigeration (IAR)

El instituto internacional de refrigeración con amoníaco, se define como una organización técnica de miembros con representación de la industria de todas las facetas de la comunidad de refrigeración natural, incluidos fabricantes, ingenieros, contratistas, usuarios finales, académicos, científicos, capacitadores y más. Esta organización posee utilidad para toda organización que emplea la refrigeración industrial mediante los refrigerantes naturales, siendo el amoníaco el refrigerante principal en el que se enfoca. Su objetivo es promover el uso seguro de los refrigerantes naturales mediante la educación, diversa información, pautas, estándares, entre otros.

Esta organización corresponde a un desarrollador de documentos técnicos en el área de la refrigeración industrial con refrigerantes naturales, esta posee una gran cantidad de publicaciones con diversos temas, como capacitación para el personal de operación de las plantas de refrigeración, estándares para el diseño de sistemas de

refrigeración, el cumplimiento de normativas de la plantas, pautas para la operación y el mantenimiento de los sistemas.

El IAR junto a su conferencia principal realizada en Estados Unidos, realiza diversos eventos internacionales en diferentes grados de participación. Su participación internacional está relacionada tanto con los miembros de la organización de diferentes países como con las alianzas existentes entre IAR y organizaciones de países extranjeros, en Chile la organización que presenta una alianza es la cámara chilena de la refrigeración (CCHRYC).

IAR se consolidó en su posición para establecer códigos de la industria cuando el American National Standards Institute (ANSI) acreditó sus estándares desarrollados. Siendo el primero el IAR-2, que fue aprobado en 1974. Hasta la fecha existen vigentes 7 estándares desarrollados por IAR, junto a boletines, programas de capacitación y más de 500 documentos técnicos, todos estos utilizados para las mejores prácticas en la refrigeración con amoníaco como refrigerante. (International Institute of Ammonia Refrigeration, 2020)

Uno de los documentos desarrollados por el instituto internacional de refrigeración con amoníaco es la guía Ammonia Refrigeration Management (ARM), esta es utilizada para proporcionar una descripción detallada de los procedimientos para implementar un programa de gestión del sistema de refrigeración con baja carga (carga < 10.000 [lb]). Esta guía no posee la condición de requisito reglamentario, más bien una recomendación de buenas prácticas para las empresas que utilicen el amoníaco como refrigerantes de sus empresas.

2.7. Sistemas de refrigeración de la planta

El sistema de refrigeración de la planta funciona con 2 refrigerantes en un sistema cascada, estos refrigerantes son el amoniaco como refrigerante principal y una mezcla de agua con glicol como refrigerante secundario.

Ahora, el sistema de la planta no funciona completamente con el modo de cascada, ya que, en estos sistemas el refrigerante principal se utiliza solamente para realizar la transferencia de calor enfriando el refrigerante secundario. No obstante, en el sistema de la planta el amoniaco (refrigerante principal) se utiliza para refrigerar equipos de la planta y para enfriar la mezcla de agua con glicol (refrigerante secundario) mediante 3 intercambiadores de placas.

Para ilustrar lo anterior, se muestra un plano de la planta en la figura 2.7-1, donde se observa parte del circuito del sistema de refrigeración de la planta, en su parte inferior se muestra el ciclo de refrigeración de amoniaco donde se ubican los compresores y estanque recirculadores con sus bombas, los compresores y condensadores en la zona derecha del plano, en el centro se observan algunos de los evaporadores y equipos donde se utiliza el amoniaco (no se muestran todos pues corresponden a más de 80 equipos ubicados en la planta). Finalmente, en la zona superior se pueden observar 2 de los 3 intercambiadores de calor de placa que enfrían la mezcla de agua-glicol ubicados en la planta, y las cañerías que transportan la mezcla de agua-glicol que van desde estos intercambiadores a los equipos enfriados mediante el refrigerante secundario, los cuales corresponden a su mayoría de fancoils.

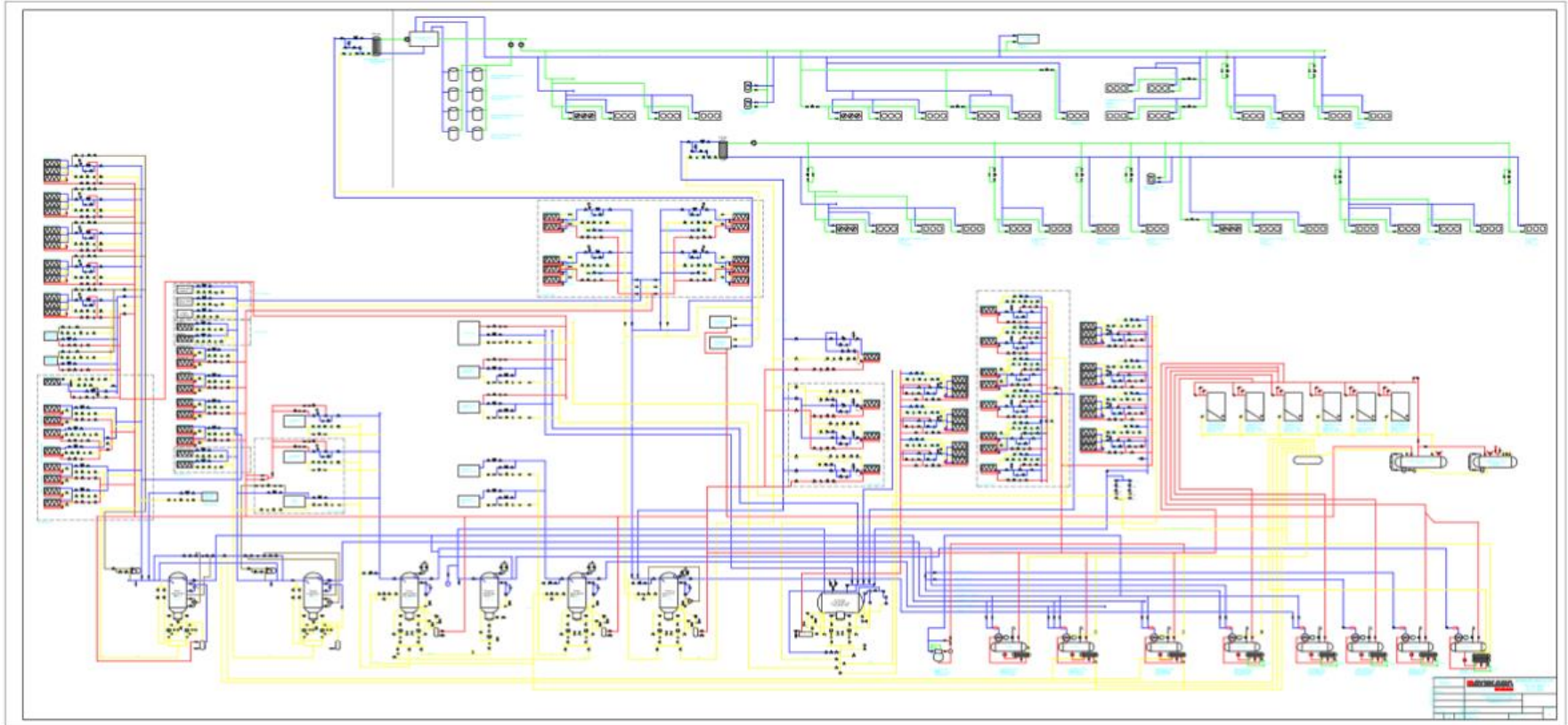


Figura 2.7-1: Diagrama de cañerías del sistema completo de refrigeración de la planta.

2.8. Sistema de refrigeración principal

El sistema de refrigeración principal utilizado corresponde a un sistema de compresión de vapor, producto de este sistema se suministra refrigerante a las temperaturas necesarias para la producción.

Para el mejor entendimiento de estos sistemas se muestra un esquema en la figura 2.8-1 que representa como funciona un sistema de refrigeración mediante compresión de vapor:

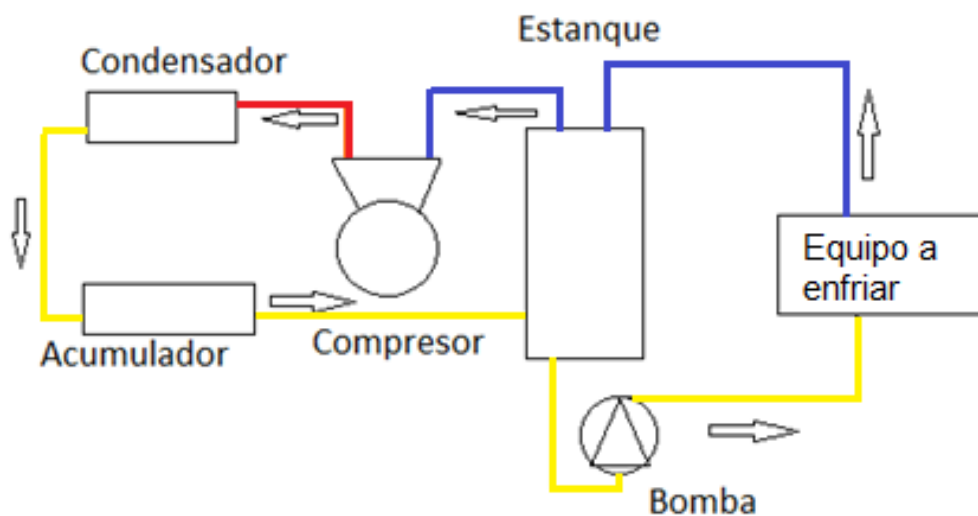


Figura 2.8-1: Esquema de funcionamiento de un sistema de refrigeración con amoníaco convencional

En este esquema se muestra las conexiones que existen entre los distintos equipos del sistema de refrigeración con amoníaco, se puede ver que las cañerías se representan con los colores para diferenciar los estados del refrigerante que se transportan por las cañerías, las cañerías en color representan las cañerías que transportan amoníaco en estado líquido, las de color azul representa las cañerías que transportan amoníaco en estado de gas húmedo y las de color rojo representan las cañerías que transportan amoníaco como gas sobre calentado.

Ahora bien, el esquema mostrado es explicativo, pues se muestra un ciclo básico considerando un solo equipo de cada tipo, sin embargo, el sistema de la planta cuenta con varios equipos de cada tipo conectados entre ellos. Estas distribuciones se utilizan para cumplir las capacidades de enfriamiento requeridos por los procesos de la planta, donde el sistema completo de refrigeración principal puede ser separado en 2 secciones:

En primer lugar, se tienen los equipos que son enfriados mediante el paso del refrigerante, este es el objetivo del proceso y su ubicación se encuentra a lo largo de toda la planta, estos equipos son evaporadores ubicados en las salas para enfriar las salas del proceso, intercambiadores de calor ubicados en distintos puntos para enfriar otros fluidos como agua, una mezcla de agua-glicol, equipos operados directamente en las salas de producción, entre otros. Estos equipos conforman la mayor cantidad de unidades y son subdivididos en 3 grupos lo cuales se agrupan por la temperatura a la que ingresa el refrigerante líquido.

La segunda sección del sistema de refrigeración principal son los equipos que tienen como finalidad extraer el calor absorbido por el amoniaco para hacerlo pasar por los equipos ubicados en la planta mencionados anteriormente.

2.9. Equipos del sistema de refrigeración principal

En la tabla 7 se muestra un cuadro con los tipos de equipos y componentes que conforman el sistema de refrigeración principal, la cantidad de equipos existentes en planta, si su función es común para el sistema o trabaja para un subsistema en específico y la función que poseen en el sistema:

Tabla 7: Tabla que muestra los equipos del sistema de refrigeración principal.

Equipos	Cantidad de equipos	Común del sistema o subsistema	Función
Tanques recirculadores	7	Subsistema	Separar el refrigerante en sus fases líquida y gaseosa, mantener un nivel de líquido para poder sobrealimentar los evaporadores y evitar la cavitación de las bombas, mantener refrigerante gaseoso como vapor saturado para evitar ingreso de líquido a los compresores y almacenar el aceite del sistema para poder eliminarlo.
Bombas	12	Subsistema	Mantener una presión constantes en el refrigerante suministrado a los equipos a enfriar.
Equipo a enfriar	>80	Subsistema	Intercambiadores de calor que realizan la refrigeración requerida por los procesos productivos, estos equipos pueden ser evaporadores o equipos destinados a enfriar algún material u otro fluido.
Compresores	11	Subsistema	Succionar el gas de los estanques recirculadores para mantener la presión (y temperatura) de operación. Elevar la presión de descarga para permitir el flujo desde los condensadores a los estanques acumuladores y posteriormente de estos a los estanques recirculadores.
Condensadores	6	Común	Condensar el refrigerante que ingresa al equipo a alta temperatura y presión mediante el paso de aire forzado y agua que se evapora al absorber la carga térmica del refrigerante.
tanques acumuladores	2	Común	Almacenar el refrigerante en estado líquido proveniente de los condensadores, suministrar los estanques recirculadores para mantener el nivel de refrigerante líquido óptimo para operar y almacenar el refrigerante cuando el sistema de refrigeración se encuentra detenido de forma parcial o total
Válvulas	>1500	Subsistema y común	Estos componen controlan el flujo de refrigerante en la planta, la forma de controlar depende del tipo de válvula, existen manuales, solenoides, de seguridad, reguladoras de presión, entre otras.

2.10. Subsistemas de refrigeración

Como ya fue mencionado el sistema de refrigeración principal que utiliza el amoníaco como refrigerante posee 3 subsistemas que se diferencian por la temperatura del refrigerante líquido que ingresa a los equipos a enfriar. En la tabla 8 se muestra la información de los 3 subsistemas existentes:

Tabla 8: Información de los subsistemas existentes en la planta.

Sub-sistema	Presión de operación [bar]	Temperatura de operación [°C]	Características principales
Alta presión	2	-10	Presión de operación sobre la atmosférica, permite detectar fugas de amoníaco con facilidad y evita la incorporación de agentes externos al sistema
Baja presión	-0,08	-35	Presión de operación bajo la atmosférica, difícil detección de fugas de amoníaco, en caso de existir permite el ingreso de gases no condensables al sistema junto a humedad. Los compresores funcionan en sus condiciones óptimas de trabajo.
Baja presión para IQF's	-0,37	-42	Presión de operación bajo la atmosférica, difícil detección de fugas de amoníaco, en caso de existir permite el ingreso de gases no condensables al sistema junto a humedad. La baja presión de trabajo requiere un sistema de subenfriamiento para el buen funcionamiento de los equipos.

3. Requerimientos necesarios para el funcionamiento y mantenimiento de un sistema de refrigeración con amoníaco según reglamento existentes en el país.

Actualmente, en el país existen 2 normas vigentes relacionadas con los sistemas de refrigeración, estableciendo requisitos generales de buenas prácticas para el diseño, armado e instalación de los sistemas.

En primer lugar, se encuentra la norma chilena 3241:2017 que corresponde a “Sistemas de refrigeración y climatización – Buenas prácticas para el diseño, armado, instalación y mantención”, esta norma excluye de su alcance los sistemas de refrigeración que utilizan refrigerante naturales, dentro de los cuales se encuentra el amoníaco, siendo su foco los sistemas de refrigeración que utilicen refrigerantes sintéticos de alta presión para su operación. Por otro lado, la norma chilena 3301:2017 que corresponde a “Sistemas de refrigeración y climatización que utilizan refrigerantes inflamables – Buenas prácticas para la instalación y mantención”. Esta norma tiene como alcance los sistemas de refrigeración que utilizan refrigerantes inflamables, refiriéndose específicamente a los que se clasifican como A2; A2L y A3 según la norma ISO 817, cabe destacar que según dicha norma, el amoníaco se encuentra clasificado como B2L, ya que, es un refrigerante inflamable y altamente tóxico. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Colombia, 2014)

3.1. Reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoniaco

Si bien existen diversas normativas, reglamentos, guías u otros documentos que establecen requisitos o recomendaciones para la operación, mantenimiento y seguridad de los sistemas de refrigeración en general. Para lo que respecta a los sistemas que utilizan el amoniaco como refrigerante existe un documento en específico que posee más relevancia y preocupación en la empresa donde se realizó este trabajo. Este documento fue realizado por el ministerio de salud y corresponde al reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoniaco, si bien, este no corresponde a un documento con vigencia actualmente, se prevé una futura aprobación y entrada en vigencia.

La creación de este reglamento nace de la necesidad de establecer condiciones y requisitos para los sistemas de refrigeración con amoniaco operantes en el país. En la actualidad se carece de normas, reglamentos u algún documento que permita una fiscalización, o regulación de las instalaciones que utilicen este químico como refrigerante, donde el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de las instalaciones en el país se realizan según las personas o empresas involucradas en cada acción. Siendo lo más habitual, que las empresas que poseen un sistema de refrigeración con amoniaco realicen la operación de las plantas mediante trabajadores que han aprendido a base de experiencia, pues tampoco existen estudios específicos que capaciten a los operadores para trabajar en este tipo de instalaciones, por otro lado, los trabajos relacionados con el diseño, la construcción y el mantenimiento de las plantas son encargados a empresas externas prestadoras de servicio, donde estos servicios cuentan con el respaldo entregado por la experiencia y estudios personales que posean los ejecutantes de los trabajos debido a la falta de fiscalización y/o certificaciones. Cabe destacar, que los trabajadores que realizan la operación de la plantas de refrigeración, pueden contar con la capacitación o experiencia necesaria para realizar trabajos de

mantenimiento de la planta e incluso ser apoyo en el diseño y/o construcción de la misma.

Cabe destacar que el IIAR realizó un programa de administración de refrigeración por amoníaco (ARM) este corresponde a un programa voluntario diseñado para ayudar a las instalaciones a supervisar sus sistemas de refrigeración de amoníaco de manera segura y responsable.(Y. Rivera, 2018). Este programa se utiliza como un programa voluntario para las plantas que poseen una baja carga de amoníaco en sus instalaciones, la baja carga de amoníaco se consideran todas las instalaciones que posean menos de 4.536 [kg] (10.000 [lb]), el reglamento realizado por el ministerio de salud posee requerimientos similares a los expuestos por el ARM como guías para un buen funcionamiento de los sistemas.

El reglamento estudiado está conformado por 6 títulos que agrupan los requisitos y necesidades para el funcionamiento de los sistemas de refrigeración con amoníaco:

3.1.1. Título I: Disposiciones generales.

Este título está compuesto por los siguientes tópicos:

Ámbito de aplicación, es el alcance que tendrá el reglamento, este alcance corresponde a establecer las condiciones y requisitos que deben cumplir los sistemas de refrigeración con amoníaco, con el objeto de resguardar su funcionamiento seguro y evitar daños a la salud de las personas. (Ministerio de salud, Chile, 2016)

Definiciones, en este párrafo se entregan los significados de los términos, para generar un vocabulario en los involucrados con los sistemas de refrigeración.

Información que debe ser remitido a la Seremi de Salud correspondiente por parte de la planta, dentro de esta información los que más se destaca son la necesidad de planos de la planta con la ubicación de todos los equipos principales del sistema de

refrigeración, la carga de amoniaco actual de la planta, la cantidad que ha sido cargada los últimos 3 años al sistema y la información personal y laboral de los operadores, mantenedores, técnicos frigoristas y supervisores.

Información actualizada que debe estar presente en planta, en primer lugar, se debe tener la información del proyecto del sistema de refrigeración, que corresponde a lo siguiente:

- Responsables del diseño del sistema
- Responsables de la implementación y puesta en marcha del sistema
- Descripción técnica
- Diagrama de flujo de refrigeración de cada sistema
- Plano de planta con la ubicación de los equipos principales

Junto a lo anteriormente mencionado se debe tener en la planta los siguientes documentos:

- Matriz de riesgo con sus medidas de control y mitigación.
- Programa escrito de mantenimiento preventivo de todos los equipos del sistema de refrigeración y un control escrito de la ejecución de dichas mantenciones.
- Manual de operaciones del sistema de refrigeración y de sus equipos principales
- Plan de emergencia con un programa de capacitación de dicho plan
- Registro detallado de todas las válvulas de seguridad instaladas en la planta.
- Además de llevar un registro escrito de las mantenciones y calibraciones de estas válvulas.

Registro detallado de los detectores de amoníaco instalados en cada sistema de refrigeración. Además de llevar un registro escrito de las mantenciones y calibraciones de los detectores.

Se debe tener una hoja de vida de todos los estanques utilizados en el sistema de refrigeración, hoja que debe contar con la siguiente información:

- Nombre del fabricante
- Año de fabricación
- Número de serie
- Material de construcción
- Espesores de manto y cabezales
- Presión de diseño
- Prueba de presión

Además, se estipula que los estanques que sean fabricados después de la entrada en vigencia de este reglamento deben contar con un certificado del fabricante que detalle la norma según la cual se fabricó, las pruebas a las que fue sometido e indicando la prueba de presión.

Se estipula las personas que desarrollarán los labores de operación, mantención y supervisión de los sistemas de refrigeración, también estipula las condiciones a cumplir en situaciones que puedan hacer fuego en caso de equipos que trabajen con chispa, trabajos de soldadura, corte o similares. Por último, se estipula que la planta deberá contar con un programa de elementos de protección personal escrito que determine los procedimientos para la selección, compra, uso, ajuste, limpieza, desinfección, revisión, mantención, almacenamiento, sustitución y disposición final.

3.1.2. Título II: Capacitaciones y competencias personales

En este título se muestran las capacitaciones que deben realizarse a los trabajadores que posean relación directa o indirecta dentro de la planta con el sistema de refrigeración con amoníaco, este título comienza explicando que las capacitaciones deben ser visado por el Seremi de Salud, donde se solicitarán un documento oficial que contenga la información que la entidad requiera.

Tabla 9: Tabla que muestra la capacitación que requiere cada cargo

Cargo	Fundamentos básicos de refrigeración industrial con amoníaco	Operación de planta de refrigeración con amoníaco	Mantenimiento y supervisión de las instalaciones de amoníaco	Seguridad industrial y normativa de amoníaco
Operador Mantenedor (Técnico frigorista)	x	x	x	x
Supervisor	x	x	x	x
Personal de planta de proceso				x
Gerencia				x
Prevencionista de riesgo	x	x		x
Brigadista de emergencia	x	x		x
Personal Administrativo				x

(Ministerio de salud, Chile, 2016)

La tabla 9 muestra cómo se agrupan las personas que pertenecen a una planta en 7 grupos y especifica las capacitaciones que deberán poseer las personas según el grupo donde se encuentran clasificados, esta clasificación es realizada según el cargo que desempeñan las personas dentro de la planta y su relación con el sistema de refrigeración.

Junto con señalar las capacitaciones que deberán ser realizadas al personal de la planta según su ocupación, el reglamento señala cuales son los números de horas pedagógicas que deben poseer cada módulo, junto a los contenidos mínimos que deben

incluirse. A continuación se muestra en la tabla 10 las horas pedagógicas que deben ser poseer las capacitaciones a realizar:

Tabla 10: Tabla de horas pedagógicas por cada capacitación

Capacitación	Horas pedagógicas
Fundamentos básicos de refrigeración industrial con amoníaco	24 horas
Operación de planta de refrigeración con amoníaco	16 horas
Mantenimiento y supervisión de las instalaciones de amoníaco	16 horas
Seguridad industrial y normativa de amoníaco	4 horas

Por último, en este título se señalan las competencias profesionales además de las responsabilidades y funciones que deben poseer y desempeñar las personas involucradas en los sistemas de refrigeración con amoníaco. Para estas especificaciones se separan al personal responsable en dos tablas, por un lado, se tiene a los responsables de la instalación y montaje del sistema o la modificación de este, estos profesionales son los siguientes:

- Proyectista
- Instalador
- Inspector técnico
- Soldador calificado

Y por otro lado, se enlista el personal técnico interno de la planta, esta lista se muestra a continuación:

- Mantenición

- Operador
- Supervisor

3.1.3. Título III: De las condiciones generales de diseño e instalación de los sistemas de refrigeración que utilizan amoníaco

Debe contar con al menos 2 zonas de seguridad ubicadas en lados opuestos de la planta

Debe tener al menos 2 equipos de respiración autónoma, manteniendo a los operadores con capacitación vigente para el uso correcto de estos equipos, la cual debe realizarse al menos 1 vez por año.

Debe contar con un sistema de detección de amoníaco, este debe ser calibrado y mantenido según recomendaciones del fabricante.

Las válvulas de seguridad deben estar instaladas directamente al sistema.

Ninguna abertura de la sala de máquinas puede comunicarse con las vías de escape de la planta

La sala de máquina debe contar con un sistema de refrigeración que asegure que la temperatura ambiental de la sala se mantenga bajo los 40°C.

La sala de máquinas debe contar con un sistema ventilación forzada que opera de manera automática en caso de fuga de algún equipo o dispositivo del sistema, además de contar con una opción de activación manual.

Este título expone la documentación-planos que deben ser mantenidos de manera actualizada en la planta junto a lo expuesto en el título I (información que debe ser remitida al Seremi de Salud). Esta información necesaria se muestra a continuación:

- Descripción del proyecto de refrigeración
- Plano de planta de la instalación completa indicando la ubicación de los equipos y los ruteos de las cañerías que transportan el refrigerante.
- Diagrama de flujo del sistema de refrigeración.
- Proyecto eléctrico
- Especificaciones técnicas de los equipos principales
- Diagrama de flujo simplificado con las válvulas de corte de uso en caso de emergencia
- Registro de recargas de amoniaco. Además, estipula que si las recargas superan el 15% de la carga total del sistema en 1 año se deberá determinar la causa e informar a la gerencia la razón.

La última sección de este título muestra el formato que deben tener las identificaciones que deben colocarse en las cañerías que transporten refrigerante a través de la planta, estas identificaciones de las cañerías deben mostrar el estado del refrigerante, el sentido de circulación del refrigerante mediante una flecha, la descripción del refrigerante mediante una abreviación, señalar si posee alta o baja presión y poseer la palabra amoníaco para identificar que es el fluido transportado. En la figura 3.1.3-1 se muestra un ejemplo de esta identificación:



Figura 3.1.3-1: Formato de identificación para las cañerías que transporten amoniaco

3.1.4. Título IV: Operación y mantenimiento

En este título se estipula que la empresa debe contar con un procedimiento escrito de trabajo seguro de la operación y un procedimiento escrito de mantenimiento preventiva del sistema de refrigeración con amoníaco, ambos procedimientos deben ser la pauta para realizar los trabajos en la planta, ya que, se deben confeccionar según recomendaciones de fabricantes según buenas prácticas de operación y mantenimiento.

Otro apartado de este título indica que los operadores y mantenedores deben mantener el sistema de refrigeración libre de fugas de amoníaco, investigando y reportando cualquier olor o fuga detectada. Siendo el técnico frigorista el responsable de reparar con la máxima premura posible cada fuga identificada.

El título IV indica que se debe mantener un diagrama de flujo actualizado a la vista en la sala de máquinas, junto a un diagrama de flujo simplificado. Este último se utilizará en caso de emergencias, pues estos diagramas solo contienen las válvulas de corte para poder aislar los sistemas en caso de alguna fuga de grandes dimensiones.

Por último, se indica los libros que deben llevarse por los operadores de los sistemas de refrigeración con amoníaco, estos corresponden al libro de operación diaria y el libro de novedades. Cabe destacar que en este apartado señala la información que deben llevarse en dichos libros.

3.1.5. Título V: Fiscalización y sanciones

En este título se explica que la autoridad sanitaria fiscalizará y controlará el cumplimiento de las disposiciones del reglamento además de sancionar las infracciones según lo establecido en el Libro Décimo del Código Sanitario.

4. Estado actual de planta Agroindustrial El Paico S.A. con respecto al reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoniaco

Tabla 11: Resumen de situación actual de planta según el reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoniaco. 1/2

N° de artículo	N° Meses posterior a publicación	Contenido artículo	Estado planta	Tarea a Realizar
3	3	Plano de planta con ubicación equipos principales	No cumple	Realizar plano con equipos principales en la planta
3	3	Carga de amoniaco	Cumple	Recopilar información
3	3	Datos operadores	No cumple	Recopilar información
4	12	Proyecto del sistema de refrigeración (proyectista, descripción técnica, diagrama de flujo)	No cumple	Recopilar información
4	12	Matriz de riesgo con medidas de control y mitigación	No cumple	Realizar matriz de riesgo
4	12	Programa escrito de mantenimiento preventivo	No cumple	Realizar planes de tareas para equipos y programa de mantenimiento para el sistema de refrigeración
4	12	Manual de operación del sistema de refrigeración	No cumple	Crear Manual Operación
4	12	Plan de emergencia (programa de capacitación)	Cumple parcialmente	Revisar Plan de emergencia actual y modificar si es necesario. Calendarizar capacitaciones.
4	12	Registro detallado hoja de vida válvulas de seguridad	No cumple	Realizar levantamiento técnico de cada Válvula seguridad
4	12	Registro detallado hoja de vida detectores de amoniaco	No cumple	Definición de cambio de sistema detección Amoniaco
5	36	Hoja vida estanques del sistema	No cumple	Recopilar información
6	12	La operación, mantención o reparación debe ser realizado por un técnico frigorista	Cumple parcialmente	Falta capacitación por organismo o institución reconocida por el estado
7	12	Operador permanente	Cumple	
8	12	Capacitación y entrenamiento de las personas que trabajen en los sistemas de refrigeración con amoniaco	Cumple parcialmente	Falta entrenamiento, certificado o definir criterios mínimos para la realización de labores
9	12	Prohibición fumar, y cualquier tipo de fuego exceptuando soldaduras, chispas	Cumple	
10	12	No pueden haber equipos con chispa, llama o inyección de aire en sectores que existan equipos de refrigeración	Cumple	
11	3	Contar con plan de contingencia y procedimiento de trabajo seguro para corte y soldadura	Cumple	
12	12	Elaboración de un programa de elementos de protección personal	No cumple	Comunicar área de prevención de riesgos sobre necesidad de programa de elementos de protección personal
13	12	Capacitaciones según cargo del personal	No cumple	Comunicar área de personal sobre la capacitación que se deberán realizar una vez publicado el reglamento
14	12	Definición de curso de Capacitaciones según niveles	No cumple	Comunicar área de personal sobre la capacitación que se deberán realizar una vez publicado el reglamento
15		Horas pedagógicas y contenidos mínimos de cursos de capacitación	No aplica	
16	12	Competencias profesionales y responsabilidades o funciones de personal a cargo	No cumple	Comunicar área de personal sobre la capacitación que se deberán realizar una vez publicado el reglamento
17	3	Condiciones a cumplir para cada proyecto o ampliación	No cumple	Generar un procedimiento de trabajo para nuevos proyectos o ampliación
18	12	El diseño o modificación del sistema de refrigeración debe ser realizado por un proyectista competente	Cumple	
19	12	La implementación de los nuevos sistema de refrigeración o sus modificaciones las debe realizar un instalador y debe contar con la aprobación formal del proyectista	Cumple parcialmente	Las nuevas instalaciones cumple, sin embargo, las modificaciones no se realizan según aprobación de proyectistas.
20	12	La planta debe tener a lo menos 2 zonas de seguridad en lados opuestos, además de veletas	Cumple	
21	12	Contar con a lo menos 2 equipos de respiración autónoma, capacitación, carga y mantención al día	Cumple	

Tabla 12: Resumen de situación actual de planta según el reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoníaco. 2/2

N° de artículo	N° Meses posterior a publicación	Contenido artículo	Estado planta	Tarea a Realizar
22	12	Contar con sistema de detección de amoníaco, calibrado y mantenido según fabricante	No cumple	Definir cambio de sistema de detección de amoníaco y generar plan de calibración y mantención según fabricante
23	12	Equipos con condición de tránsito e iluminación correctas según fabricante y DS. N°594 1999	No cumple	Comunicar al área de prevención de riesgos la necesidad de evaluar las condiciones de tránsito e iluminación
24	12	Protección contra daños mecánicos de equipos o elementos del sistema de refrigeración expuestos al tráfico vehicular	Cumple	
25	12	Cruces de cañerías por muros, pisos y techos deben ser sellados	Cumple	
26	12	No se debe utilizar termómetros de mercurio en instalaciones con sistemas de refrigeración por amoníaco,	Cumple	
27	12	Válvulas de seguridad deben estar instaladas directamente en el sistema	Cumple	
28	12	Existencia de señales de advertencia y barreras físicas para impedir acceso personal no autorizado	Cumple	
29	12	Existencia de 2 o más vías de escape en diferentes direcciones, libres de obstáculo y apertura hacia afuera	No cumple	Estudiar posibles soluciones
30	12	Ducha y lava ojos en el exterior de cada puerta a no más de 10 metros con accionamiento rápido	Cumple	
31	12	Ninguna abertura desde la sala de máquina podrá comunicarse con la vías de escape de la planta	No cumple	Estudiar posibles soluciones
32	12	Sistema de ventilación natural o forzado para que T° no exceda los 40[°C]	No cumple	Estudiar posibles soluciones
33	12	Sistema de ventilación forzado que opere de forma automática en caso de fuga (opción manual)	No cumple	Estudiar posibles soluciones
34	3	SADEMA provista de lugar para colación y servicio higiénico exclusivo para operador	No aplica	
35	12	Descripción del proyecto de refrigeración	No cumple	Realizar la descripción del proyecto de refrigeración
35	12	Plano de planta instalación completa (equipos, Sadema, y ruteo de cañerías)	No cumple	Realizar plano de planta de la instalación completa
35	12	Diagramas de flujo actualizado del sistema de refrigeración	No cumple	Realizar diagrama de flujo actualizado del sistema de refrigeración
35	12	Proyecto eléctrico (diagrama unilineal de fuerzas y control), plano canalizaciones eléctricas y cuadro carga	No cumple	Realizar proyecto eléctrico del sistema
35	12	Especificaciones técnicas de los equipos principales	No cumple	Recopilar información
35	12	Diagrama de flujo simplificada con válvulas de corte para su uso en caso de emergencia	No cumple	Realizar diagrama de flujo simplificado del sistema de refrigeración
35	12	Registro de recargas de amoníaco. Si las recargas anuales son >15% determinar causa e informar	No cumple	Realizar formato de análisis de causa para las recargas excesivas de refrigerante en la planta
36	12	Identificación de estado y sentido de circulación del refrigerante en las cañerías	No cumple	Rotular cañerías
37	12	Contar con procedimiento escrito de trabajo seguro de la operación (incluye correcto llenado de libros de operación y novedades)	No cumple	Realizar procedimientos escritos de operación
38	3	Procedimiento escrito de mantención preventiva de cada sistema de refrigeración	No cumple	Realizar procedimientos escritos de mantención
39	12	Mantener sistema de refrigeración libre de fuga e investigar y reportar todo olor o fuga que se detecte	No cumple	Crear sistema de inspección, identificación y solución de fugas en el sistema de refrigeración.
40	12	Mantener diagrama de flujo a la vista y diagrama de flujo simplificado para emergencias fuera de SADEMA y portería	No cumple	Definir Diagramas requeridos
41	12	Libros necesarios para la operación del sistema de refrigeración	Cumple parcialmente	Revisar situación actuar y realizar mejoras
42	12	Los libros de novedades y de operación diaria, plan de emergencia, procedimiento y mantenimiento deben estar en lugar seguro, seco y de fácil acceso	Cumple parcialmente	Definir estructura de Trabajo

En las tablas 11 y 11, se muestran los artículos del reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoníaco, el número de los artículos, un resumen del contenido, el estado actual de la planta y la tarea a realizar para cumplir cada artículo.

De esta tabla resumen se extrae que de los 47 requisitos que posee el reglamento, la planta cumple 11, no cumple 32, 1 no aplica y 3 cumplen parcialmente. Las cantidades anteriores se muestran gráficamente expresadas en porcentajes en la figura 4-1:

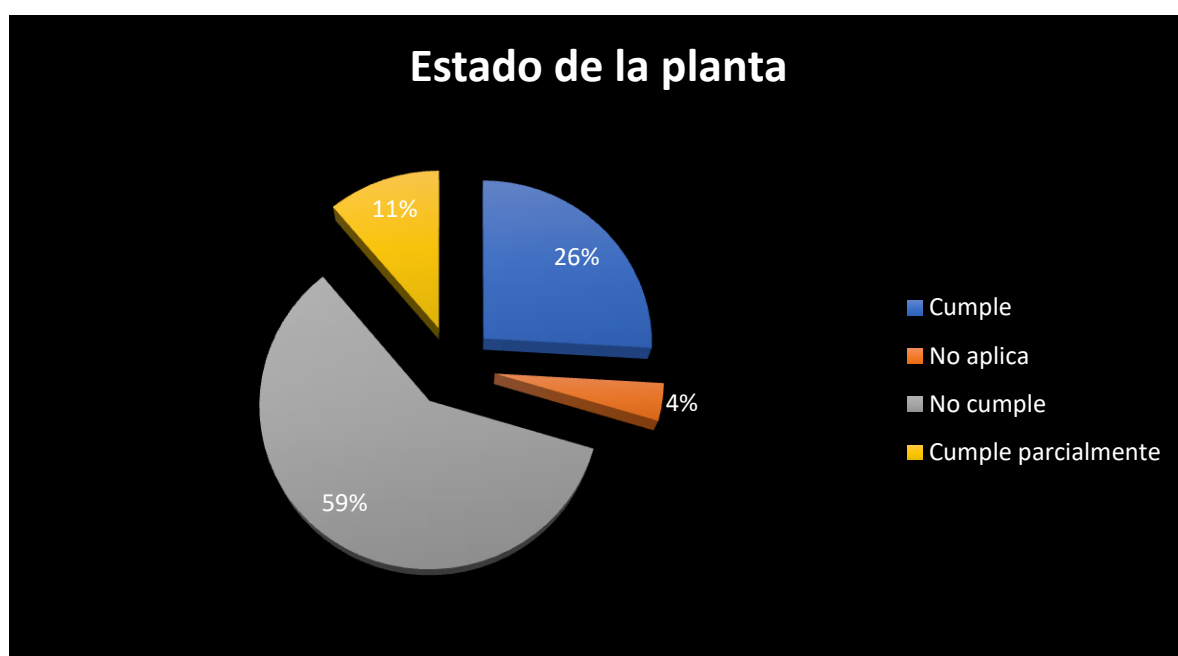


Figura 4-1: Gráfico que muestra en porcentaje el estado de la planta con respecto al reglamento estudiado.

En primer lugar, se observa que de los artículos del reglamento estudiado en la planta cumple un 26%, de este porcentaje una parte corresponde a temas de seguridad generales de la planta, como la prohibición de fumar o de algún tipo de fuego, la necesidad de contar con un plan de contingencia y procedimiento de trabajo seguro para trabajos de corte y soldadura, la necesidad de contar con al menos 2 zonas de seguridad

en lados opuestos de la planta, la existencia de señales de advertencia y barreras físicas para impedir acceso personal no autorizado. En lo que respecta al sistema de refrigeración los artículos que se cumplen corresponden a la necesidad de tener un operador de forma permanente en la planta, que los cruces de cañerías deben estar sellados y que las válvulas de seguridad deben estar conectadas directamente al sistema de refrigeración.

Los artículos que no son cumplidos por las condiciones actuales de la planta corresponden al 59% del total, estos artículos son de diversos tópicos, existen artículos relacionados a los trabajos realizado por el personal de la planta como lo son el manual de operación del sistema de refrigeración, la necesidad de un programa escrito de mantenimiento del sistema, procedimientos seguros de operación y de mantención preventiva. Hay artículos relacionados con la documentación y registros necesarios como lo son los planos de la planta con la ubicación de los equipos del sistema de refrigeración, un registro detallado de la hoja de vida de las válvulas de seguridad instaladas en el sistema, la hoja de vida de los estanques del sistema, descripción del proyecto de refrigeración, diagrama de flujo actualizado, especificaciones técnicas de los equipos, etc. Otros artículos tienen relación con la seguridad como la matriz de riesgo, programa de elementos de protección personal, condiciones de tránsito, entre otros.

El 11% de los artículos del reglamento el estado actual de la planta los cumple, sin embargo, no en su totalidad o al menos no de una manera óptima, por ende, se deben realizar mejoras para su cumplimiento a cabalidad.

Un 2 % de los requisitos no aplican a las condiciones de la planta, este punto corresponde a 1 artículo del reglamento, este se trata de las horas pedagógicas y contenido mínimo de los cursos de capacitación que tendrán que ser impartidos por un organismo o institución del estado, por ende, estas instituciones serán las responsable de adecuar sus curso con los contenidos necesarios.

5. Realizar las propuestas de mejoras que sean necesaria para el cumplimiento de los reglamentos estudiados.

En el capítulo anterior de este trabajo fueron identificados los cumplimiento de cada artículo del reglamento en base al estado inicial de la planta, de este levantamiento se obtuvo que un 70% de los artículos del reglamento la planta no cumplen o solo cumple parcialmente, este 70% corresponde a 39 puntos a tratar para el cumplimiento del reglamento de forma completa.

Si bien, uno de los objetivos del trabajo realizado es presentar propuestas para el cumplimiento del reglamento estudiado como todo proyecto a implementar se presenta una condición que debe ser considerada y es la cantidad finita de recursos. Esto genera la necesidad de priorizar las actividades para poder evaluar las condiciones con mayor impacto en la organización y trabajar sobre aquellas condiciones. Ahora, como el alcance de este trabajo no puede abarcar todas los artículos y los distintos tópicos faltantes del reglamento las propuestas realizadas tendrán como objetivo los puntos con mayor prioridad para la organización, sin embargo, debido a la necesidad de cumplir el reglamento de forma íntegra los demás tópicos deberán ser gestionados de manera posterior para finalizar lo que quedará pendiente de este trabajo de titulación.

Dentro de las tareas a realizar, se observó que los artículos podían ser clasificados en 6 grupos que englobaban el tipo de tarea que correspondían, estos grupos son los siguientes:

- Mantenimiento
- Operación
- Seguridad
- Documentación
- Recursos humanos

- **Proyectos**

De la lista anterior, se puede observar que dentro del alcance de este trabajo corresponden los 03 primeros ítems enlistados, esto se debe a que de los 03 últimos 02 corresponden a tareas realizables por personal de la organización, por un lado, la recopilación de documentos lo deben realizar los trabajadores del área del sistema de refrigeración y por otro lado, el área de recursos humanos debe planificar las capacitaciones según lo requerido para cada puesto de trabajo. Finalmente, lo respectivo a los proyectos debe ser revisado por las áreas de proyectos y prevención de riesgos para la implementación de protocolos para los nuevos trabajos a realizar en la empresa.

5.1. Implementación metodología de inspección basado en riesgo

Como se comentó los artículos que se trabajaran en este artículo son los relacionados con el mantenimiento, la operación y la seguridad. El tópico que se trabajará principalmente es el mantenimiento del sistema, este puede ser trabajado mediante la metodología de inspección basada en riesgo expuesta por la norma API RP-580. Se verá que esta metodología está dirigida principalmente al mantenimiento, sin embargo, se abarcaran los 03 ámbitos mencionados, pues al evaluar los riesgos del sistema de refrigeración completo se generarán planes de inspección, de mantenimiento, además de acciones que involucrarán gran parte de los requisitos realizados por el reglamento estudiado.

La metodología de inspección basada en riesgo tiene como principal objetivo el análisis de las causas que puedan generar alto riesgo en la seguridad de la persona (graves consecuencias), que en el caso de la plana estudiada corresponde a grandes filtraciones que puedan generar diversos efectos, siendo el más crítico accidentes fatales en más de una persona. Los principales beneficios de la aplicación de la metodología de inspección basada en riesgos son la reducción general de riesgos de la instalación y equipos analizados y la aceptación del riesgo actual que tiene la planta

Cabe destacar que esta metodología tiene un alcance para ser utilizada universalmente, sin embargo, fue desarrollada principalmente para ser realizada en industrias de procesos químicos y de hidrocarburos, por ende, es una metodología óptima para ser desarrollada en un sistema de refrigeración que utiliza el amoníaco como principal refrigerante (American Petroleum Institute, 2009)

5.1.1. Implementación de RBD

Para implementar la metodología de inspección basado en riesgo se deben determinar los equipos a evaluar, estos equipos deben ser seleccionados según la importancia que posean dentro del sistema de refrigeración. Para esta selección se utilizarán los diagramas RBD (Reliability Block Diagram), con estos diagramas es posible determinar la configuración del sistema de refrigeración para un análisis de confiabilidad, si bien, en este trabajo no se estudiará la confiabilidad de los equipos, estos diagramas pueden ser utilizados para estudiar la relación que presentan los equipos de un sistema y el impacto de la falla de algún equipo para el sistema completo. (B. S. Dhillon, 2017)

Como se explicó anteriormente en este trabajo, el sistema de refrigeración principal de la planta puede ser dividido en 3 sub-sistemas, los cuales se caracterizan por la presión y temperatura de trabajo de cada subsistema, los diagramas de bloques de cada subsistema se muestran en las figuras 5.1.1-1, 5.1.1-2 y 5.1.1-3.

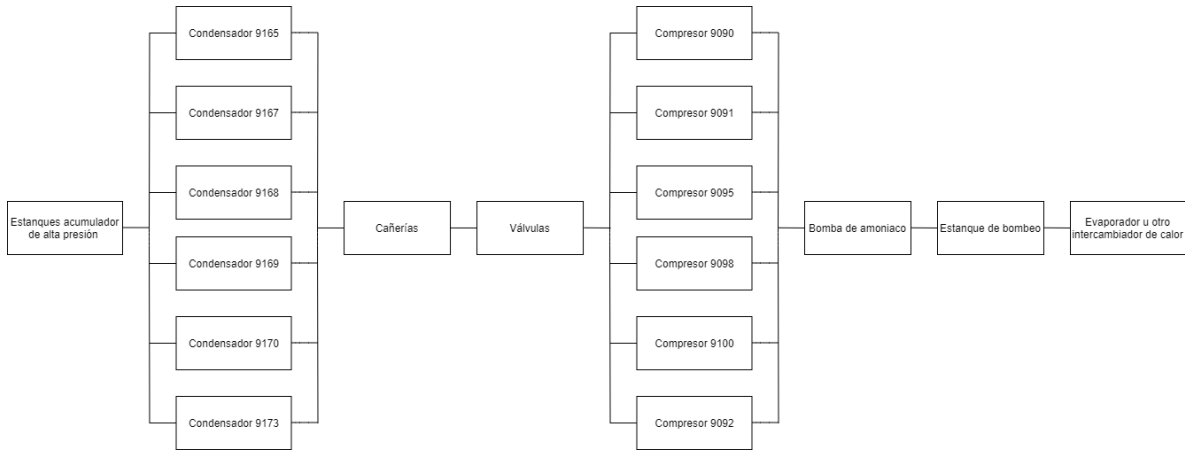


Figura 5.1.1-1: Diagrama de bloque del sub-sistema de refrigeración de alta presión (2[bar], -10[°C])

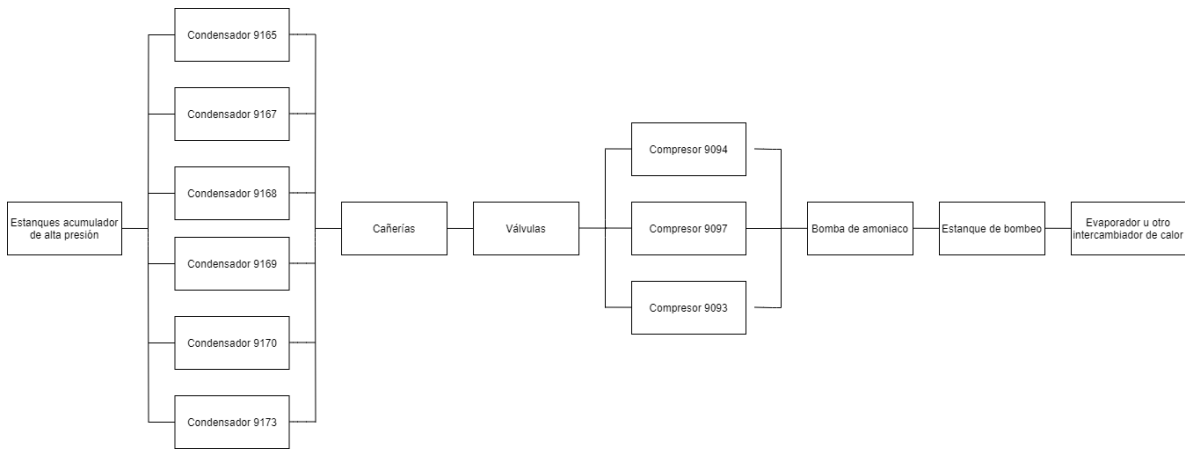


Figura 5.1.1-2: Diagrama de bloque del sub-sistema de refrigeración de baja presión (-0,08[bar], -35[°C])

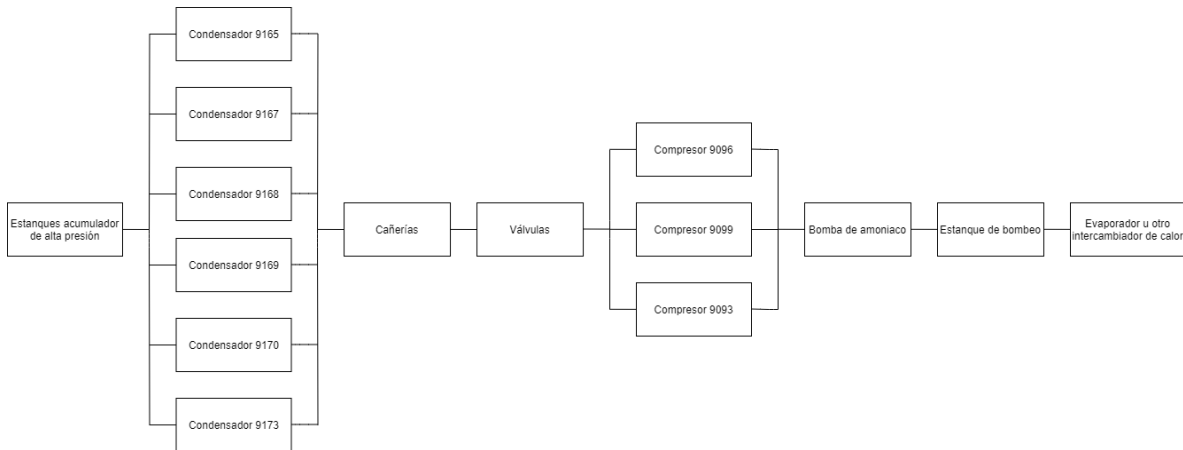


Figura 5.1.1-3: Diagrama de bloque del sub-sistema de refrigeración para congeladores IQF's (-0,37[bar], -42[°C])

5.1.1.1. Equipos comunes del sistema de refrigeración

De los diagramas anteriores se puede observar que existen equipos que son de uso común para todos los sub-sistemas de la planta, esto significa que en el caso que ocurra una falla de esos equipos afectará a la totalidad de la planta. Estos equipos corresponden al estanque acumulador de alta presión y los condensadores evaporativos, para estos equipos existen 02 condiciones que corresponde mencionar. Por un lado, existe un estanque acumulador secundario instalado en planta, sin embargo, la función de dicho estanque es recibir el amoníaco que se carga al sistema sin necesidad de detener la operación, sin embargo, este estanque no posee las conexiones necesarias para reemplazar el estanque principal, por ende, no puede ser considerado como un estanque stand-by porque en caso de necesitar aislar el estanque de acumulación principal el secundario no puede utilizarse para continuar la operación de la planta. Los otros equipos comentados son los condensadores evaporativos, estos equipos cuentan con una condición especial generada por el funcionamiento que presentan en los sistemas de refrigeración, debido a esto, la cantidad de condensadores necesarios para el

funcionamiento óptimo del sistema posee una dependencia directa de las condiciones ambientales externas, en días de altas temperaturas (sobre los 26°C) deben estar operativos los 6 equipos para el funcionamiento correcto del sistema, esto genera que en los diagramas antes mostrados los condensadores debiesen mostrarse como equipos en serie, pues con la falla de 01 de los equipos la capacidad de refrigeración del sistema disminuiría inmediatamente. Por otro lado, en días de baja temperatura ambiental ($<12^{\circ}\text{C}$) el sistema es capaz de funcionar solo con 4 condensadores, lo que provoca la existencia de 02 equipos inoperativos transformando la relación de los equipos a una redundancia parcial de 4 equipos operando de 6 disponibles. El efecto del ambiente se da por el aumento en la temperatura del agua y el aire atmosférico que genera una ineficiente transferencia de calor en el equipo para condensar el amoníaco, junto a esto, el incremento en pérdidas energéticas debido a la inexistente o al mal estado de la aislación de las cañerías de la planta y el ingreso de aire a mayor temperatura a las salas de procesos genera un incremento en la carga térmica que debe ser removida por los condensadores evaporativos.

5.1.1.2. Equipos de cada sub-sistema

Los únicos equipos que se relacionan con los sub-sistemas completos son los compresores de amoníaco, esto debido a que los compresores de cada sub-sistema están conectados con todos los estanques que funcionan a una presión determinada, como se muestra en los diagramas del sub-sistema de baja e IQF existen 3 compresores en planta para cada presión, sin embargo, para el funcionamiento de la planta solo es requerido operar con 02 equipos, por otro lado, para el sub-sistema de alta presión existen en planta 06 compresores de los cuales solo son necesarios 05 para la operación. Hay que tener una consideración de lo antes comentado, pues si bien para cada sub-sistema se muestra un equipo stand-by para suplir en operación, en planta hay solo 02 compresores en esta modalidad, esto significa que en caso que falla un equipo de cada sub-sistema

no se podría mantener la operación, pues solo se podrían reponer equipos en 02 sub-sistemas.

Por último, cabe destacar que ambos compresores stand-by poseen una capacidad calorífica menor que todos los equipos que normalmente operan, por ende, la redundancia de los compresores no es completamente efectiva, ya que, si bien existen compresores para reemplazar los operativos no cumplirán el mismo desempeño de los que operan normalmente.

5.1.1.3. Equipo de cada línea de suministro

Estos equipos corresponden a los equipos que tienen impacto sobre la menor cantidad de equipos, ya que, son los que están conectados con un grupo de equipos a los que está conectado cada bomba de amoníaco. En este grupo de equipos su relación con la confiabilidad son solamente relaciones en serie, ya que, si bien en el caso de las bombas siempre hay 02 o en el caso de algunos túneles o cámaras hay más de un evaporador, la falla de un equipo disminuye la eficacia del sistema de forma considerable.

5.1.1.4. Equipos comunes y particulares

Dentro del sistema de refrigeración existen cañerías y válvulas que sirven para transportar y controlar los flujos de refrigerante a través del sistema, ambos tienen funcionamiento tanto en las partes comunes de sistema como en cada equipo en particular. Por ende, la fisura de una cañería que requiera que el tramo sea aislado o la falla de una válvula que genere el mismo efecto no permitirá el funcionamiento correcto del sistema donde este instalada

Como conclusión de utilizar esta técnica de conexión entre equipos, obtenemos que la conexión que presentan ser en serie en su gran mayoría, siendo las únicas excepciones los compresores que para los 03 sub-sistemas existen 02 equipos que

pueden trabajar en formato stand-by, sin embargo, su utilización disminuye la potencia de congelación que posee cada sub-sistema. Los otros equipos que presentan una redundancia son los condensadores evaporativos, no obstante, esta condición depende directamente de las condiciones ambientales siendo utilizado para este estudio la condición más crítica, correspondiente a tiempos de alta temperatura exterior que requiere la utilización de la totalidad de los equipos. Por ende, el alcance del estudio se debe ampliar al total de los equipos del sistema ya que, la complejidad del sistema y las exigencias de producción necesitan que el funcionamiento sea óptimo en su totalidad para asegurar la continuidad del negocio.

5.1.2. Análisis mediante árboles de falla

De la sección anterior, se obtuvo que los equipos que deben evaluarse sean los siguientes:

- Estanque acumulador de alta presión
- Condensadores evaporativos
- Cañerías
- Válvulas
- Compresores de amoníaco
- Bombas de amoníaco
- Estanques de bombeo
- Evaporador u otro intercambiador de calor

Debido a que todos los equipos afectan directamente a la confiabilidad del sistema, no solo serán evaluados en busca de consecuencias a la seguridad y salud, si

no, también se verán sus consecuencias en lo respectivo a la producción, al medio ambiente y al costo de mantenimiento.

Para el análisis de los riesgos que se presenta en el sistema de refrigeración con amoníaco se evaluarán todos los modos de fallas que generan las fallas funcionales de los equipos que se estudiaron con anterioridad. Con este objetivo se utilizará el análisis mediante árboles de fallas, este tipo de análisis utiliza la relación causa y efecto para poder determinar las fallas funcionales que puedan presentar los equipos. (A. J. Pistarelli, 2010)

Para mejorar la lectura del presente trabajo, en este capítulo solo se mostrarán las partes del árbol que muestra las fallas funcionales de los equipos, mostrando el detalle de cada modo de falla detectado en la sección 10.3 de los anexos.

5.1.2.1. Árbol de fallas de evaporadores

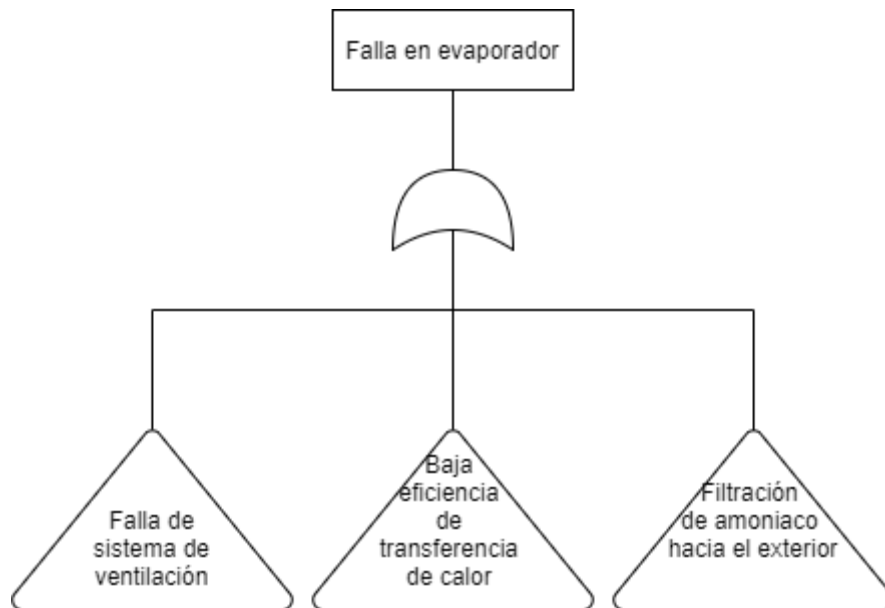


Figura 5.1.2.1-1: Árbol de falla principal de evaporador

5.1.2.2. Árbol de fallas de estanques de bombeo

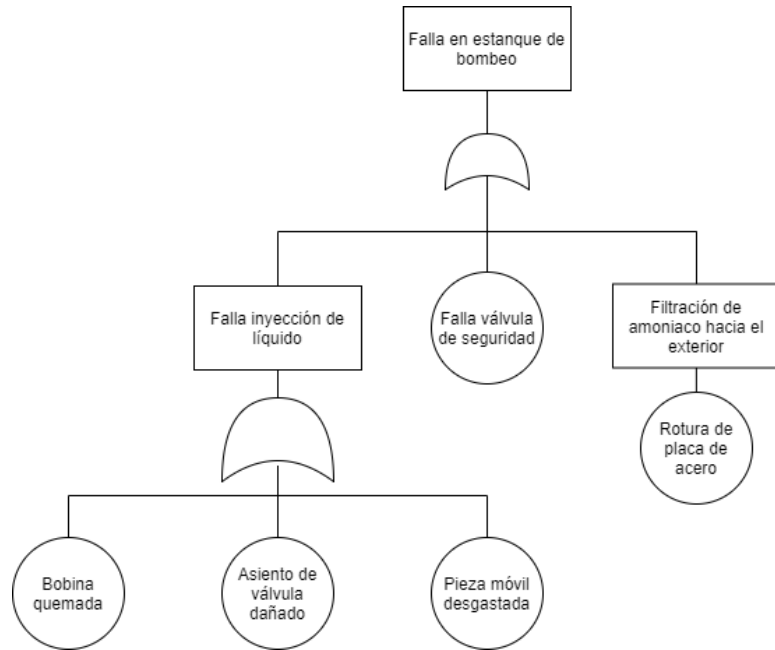


Figura 5.1.2.2-1: Árbol de falla de los estanque de bombeo

5.1.2.3. Árbol de fallas de bombas de amoniaco

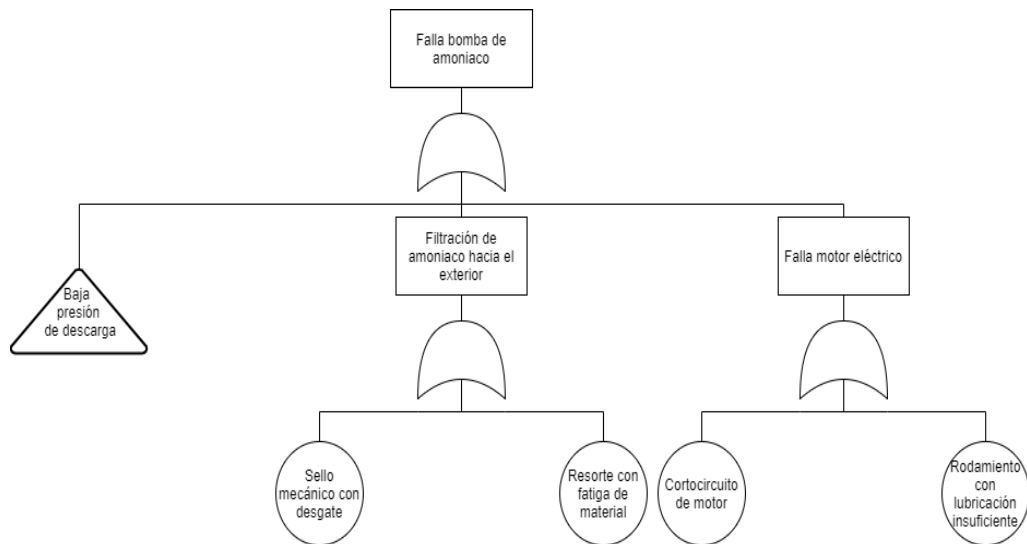


Figura 5.1.2.3-1: Árbol de falla principal de las bombas de amoniaco

5.1.2.4. Árbol de fallas de compresores

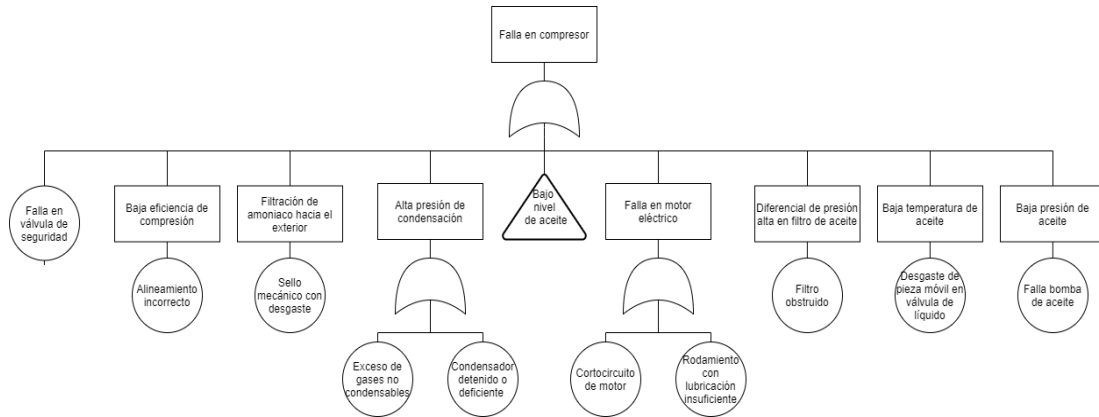


Figura 5.1.2.4-1: Árbol de fallas principal de compresores

5.1.2.5. Árbol de fallas de condensadores evaporativos

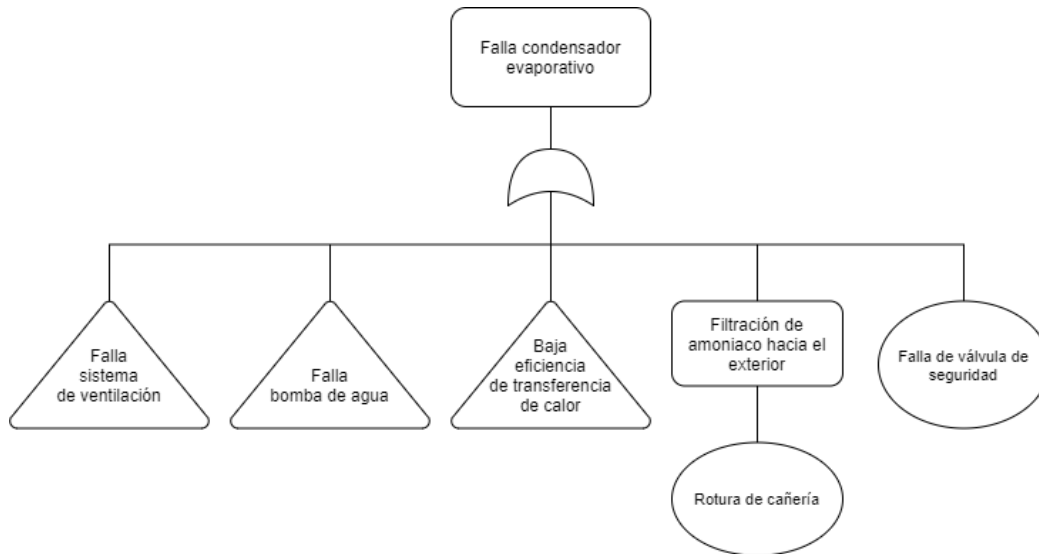


Figura 5.1.2.5-1: Árbol de fallas principal de condensadores evaporativos

5.1.2.6. Árbol de fallas de estanque acumulador de alta presión

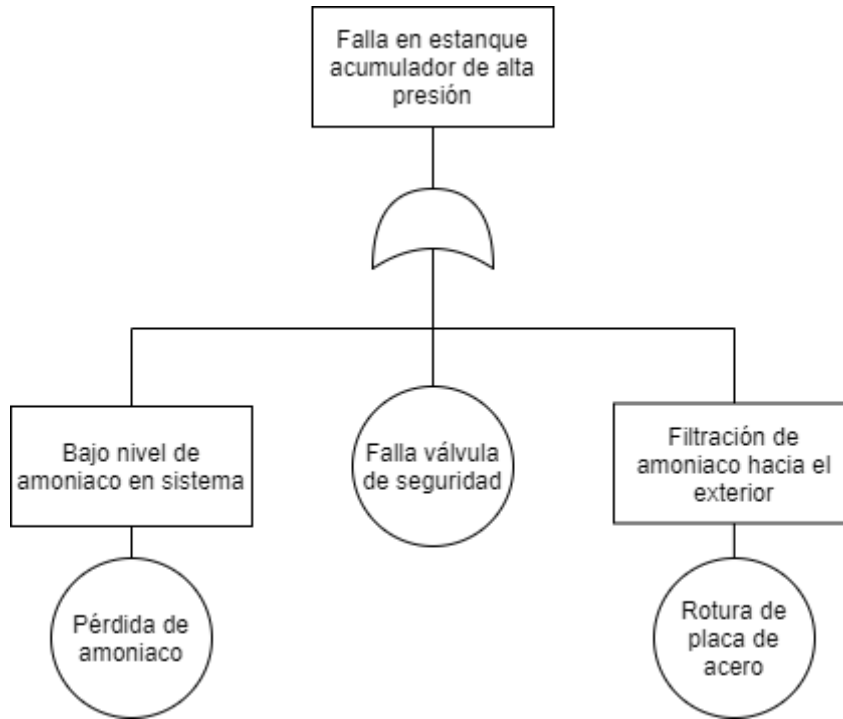


Figura 5.1.2.6-1: Árbol de falla de estanque acumulador de alta presión

5.1.3. Determinación de la probabilidad de falla

Debido a que en la planta no posee análisis de modos de fallas previos ni de probabilidad de fallas, no existe un registro anterior para poder usar de base, tampoco existe información de la frecuencia de las fallas, promedio de buen funcionamiento de los equipos, por ende, para la determinación de las fallas se utilizó principalmente el juicio experto, las personas que brindaron la información correspondieron a los ingenieros que trabajan en planta, los operadores del sistema de refrigeración, contratistas que conocen el sistema de la planta y que tiene conocimientos de otras instalaciones con características similares. Una opción que podría haber sido utilizada es la probabilidad de falla brindada por normas o registros que se basan en datos obtenidos de diversas plantas e instalaciones, sin embargo, estos sistemas cuentan con una condición particular que es la contaminación del refrigerante y en el caso de esta

planta en particular la contaminación del refrigerante es alta, por tanto, se priorizó el juicio experto para poder utilizar la información manejada por personal que conoce el sistema de refrigeración por un periodo de tiempo mayor a 10 años.

Las probabilidades se clasificaron en 5 grupos, donde cada grupo corresponde a un rango de probabilidades, estos rangos se muestran a continuación en la tabla 13:

Tabla 13: Categoría y valor asignado a cada probabilidad de falla según la frecuencia

Probabilidad de falla		
Categoría	Valor	Probabilidad de falla
Muy Alta (MA)	5	$P \geq 24$
Alta (A)	4	$12 \leq P < 24$
Media (M)	3	$3 \leq P < 12$
Baja (B)	2	$1 \leq P < 3$
Muy Baja (MB)	1	$P < 1$

Si bien la probabilidad se estudia de forma cualitativa, el rango entregado es para poder ordenar y unificar los criterios al momento de entender cada una de las categorías, además se puede llegar a un valor de probabilidad según la información recolectada por el personal de la planta. El valor P corresponde a la cantidad de veces que ocurre la falla en 1 año, esta se obtiene de la siguiente forma:

$$P = \frac{\text{Cantidad de falla}}{\text{Periodo de tiempo [años]}} \quad (1)$$

Para comenzar el estudio se debe obtener la probabilidad de cada modo de falla identificado mediante la metodología de árboles de fallas, con esta información

posteriormente es posible determinar la probabilidad de falla que presenta cada falla funcional de los equipos, la probabilidad de falla que posee cada equipo y finalmente la probabilidad de falla del sistema completo de refrigeración.

La categoría y la probabilidad de falla de cada modo de falla identificado mediante los árboles de falla se muestran en la tabla N°32 en el anexo N°10.1

5.1.4. Consecuencia de las fallas

Para las consecuencias de las fallas, la norma API RB 580 tiene como principal objetivo la mitigación de las fallas que tienen consecuencias graves para la seguridad del personal o grandes impactos en medio ambiente debido a derrames o fugas de productos derivados del petróleo, productos químicos, entre otros. Sin embargo, en el presente trabajo al evaluar el sistema de refrigeración completo las consecuencias que pueden generar las fallas presentan impactos de diversos tipos. Debido a lo anterior, las consecuencias se evaluarán en 4 grupos, los cuales corresponden a:

- Pérdida de producción
- Salud y seguridad
- Medio ambiente
- Costos de mantenimiento o reparación

Cada grupo se divide en 3 rangos para poder clasificar la consecuencia de cada modo de falla, a continuación se muestra cada categoría con sus respectivos rangos:

5.1.4.1. Consecuencia en la producción de la planta

La primera consecuencia a evaluar corresponde al impacto generado en la producción, como se vio anteriormente para que el sistema de refrigeración funcione de manera óptima, es necesario que cada equipo funcione adecuadamente, por esto una gran cantidad de fallas presenta un impacto directo en la producción de la planta, ya que, existen equipos que enfrían en línea los productos los cuales al interrumpir el suministro de refrigerante provoca la detención de la producción, otros equipos enfrían los túneles y cámaras que mantienen y disminuyen la temperatura de los productos elaborados los cuales al no presentar las condiciones óptimas pueden llegar incluso a generar pérdidas de producto, lo mismo ocurre con las temperaturas de las salas de proceso las cuales poseen límites debido a normativas que puede provocar la detención del proceso o el cambio de mercado de destino del producto.

Las categorías de las consecuencias en la producción se eligen según la cantidad cualitativa del impacto provocado, se considera una consecuencia alta con un valor asignado de 5 cuando el la falla genera la detención total de la producción, una consecuencia media con un valor asignado 3 cuando la detención o el reproceso de la producción es parcial, mientras que una consecuencia baja con un valor asignado 1 cuando no existe ni detención ni reproceso de la producción. Estos rangos cualitativos se designaron para poder abarcar todo el espectro de consecuencias en producción que puedan generarse, por ejemplo, en las consecuencias en líneas de producción una pérdida total sería la detención del proceso, una pérdida parcial correspondería a una disminución en la velocidad lo que afectaría de forma parcial la producción del proceso.

A continuación, se muestra la tabla 14 que agrupa las categorías, los valores y las consecuencias asociadas con la producción de la planta:

Tabla 14: Categoría y valor asignado a las consecuencias en la producción

Consecuencia en la producción		
Categoría	Valor	Consecuencia asociada
Alta (A)	5	Detención o reproceso total de la producción
Media (M)	3	Detención o reproceso parcial de la producción
Baja (B)	1	Sin detención ni reproceso de la producción

5.1.4.2. Consecuencia en la seguridad y salud

Otra consecuencia evaluada es la que tiene implicancia en la seguridad y salud del personal de la planta, como ya se explicó anteriormente el refrigerante utilizado en el sistema de refrigeración corresponde a una sustancia toxica e inflamable, por ende, los principales modos de fallas que presentan consecuencias son las filtraciones de cualquier equipo, dispositivo, cañerías u otro lugar.

Las categorías se seleccionan según la posible gravedad de las fallas, la categoría alta con valor 5 se le asigna a las fallas que pueden generar un accidente fatal o con consecuencias graves para el personal cercano al sector, la categoría media con valor 3 corresponde a las fallas que puedan generar accidentes con consecuencias menores y por último la categoría baja con valor 1 corresponde a fallas que no generan accidentes o de presentar accidentes provocaría consecuencias mínimas para el personal cercano al sector.

A continuación, se muestra la tabla 15 que agrupa las categorías, los valores y las consecuencias asociadas a la seguridad y salud del personal de la planta:

Tabla 15: Categoría y valor asignado a las consecuencias en seguridad y salud

Consecuencia en seguridad y salud		
Categoría	Valor	Consecuencia asociada
Alta (A)	5	Accidentes con consecuencias graves o fatales
Media (M)	3	Accidentes con consecuencias leves
Baja (B)	1	Sin accidentes o accidentes con consecuencias mínimas

5.1.4.3. Consecuencia en el medio ambiente

Existe una tercera consecuencia la cual corresponde a las fallas que presentan impacto en medio ambiente, como se explicó anteriormente, el amoníaco no presenta interacción con el medio ambiente, por ende, las filtraciones de amoníaco no generan impactos medio ambientales, sin embargo, se agregan en el análisis para poder replicar este estudio posteriormente.

Las categorías se seleccionan según el impacto en el medio ambiente, la categoría alta con valor 5 corresponde a los modos de falla que generan un impacto grave en el medio ambiente, la categoría media con valor 3 corresponde a los modos de

fallas que generan un impacto leve en el medio ambiente, por último la categoría baja con valor 1 corresponden a los modos de fallas que generan un impacto nulo al medio ambiente.

A continuación, se muestra la tabla 16 con las categorías antes descritas

Tabla 16: Categoría y valor asignado a las consecuencias en el medio ambiente

Consecuencia en el medio ambiente		
Categoría	Valor	Consecuencia asociada
Alta (A)	5	Impacto grave al medio ambiente
Media (M)	3	Impacto leve al medio ambiente
Baja (B)	1	No presenta impacto al medio ambiente

5.1.4.4. Consecuencia en costo de mantenimiento o reparación

La última consecuencia a evaluar por las fallas del sistema de refrigeración es el costo de mantenimiento o reparación generado por el modo de falla, estas consecuencias corresponden al costo económico que se debe destinar para poder eliminar la falla funcional y volver a las condiciones óptimas de funcionamiento del equipo o dispositivo que experimento la falla.

La categorización de esta consecuencia se realiza mediante intervalos cuantitativos que se dividen según el costo económico, una consecuencia alta con valor 5, corresponde a las reparaciones o mantenciones con un costo superior a los \$3.000.000, las consecuencias medias con valor 3 corresponden a las reparaciones o mantenciones que presenta un costo entre \$1.000.000 y \$3.000.000, las consecuencias

bajas corresponden a las reparaciones o mantenciones que tiene un costo menor a \$1.000.000.

Estas categorías se muestran en la tabla 17 a continuación:

Tabla 17: categoría y valor asignado a las consecuencias en costo de reparación o mantenimiento

Consecuencia en costo de reparación o mantenimiento		
Categoría	Valor	Consecuencia asociada
Alta (A)	5	$\text{Costo} \geq \$3.000.000$
Media (M)	3	$\$1.000.000 \leq \text{Costo} < \$3.000.000$
Baja (B)	1	$\text{Costo} < \$1.000.000$

La tabla con los valores de las consecuencias de cada modo de falla determinado mediante la metodología de árboles de fallas se muestra en la tabla N°33 en el anexo 10.1

5.1.5. Determinación del riesgo

Para la determinación del riesgo de cada modo de falla se utilizó la siguiente ecuación:

$$R_{mf} = P_{mf} \cdot C_{mf} \quad (2)$$

Donde,

R_{mf} : Es el riesgo de cada modo de falla

P_{mf} : Probabilidad de cada modo de falla

C_{mf} : Consecuencia de cada modo de falla

Una de las herramientas que entrega la inspección basada en el riesgo es la oportunidad de priorizar los modos de falla con tal de analizar y actuar sobre los aspectos más importantes para el analizador, para tal motivo se ubica cada riesgo estimado en una matriz para poder determinar la categoría correspondiente a cada suceso analizado. En la matriz utilizada se ubicó en el eje horizontal las 3 categorías de la consecuencia mientras que en el eje vertical se ubican las 5 categorías de las probabilidades de falla. En la matriz se muestra cada posición con un color y el valor de la multiplicación de los dos factores, los sucesos con un bajo riesgo corresponde a los cuadrados verdes con un valor de 4 o inferior, los riesgos de categoría media utilizan cuadrados de color amarillo con un valor superior a 4 y menor o igual a 10, mientras que los riesgos considerados altos son los cuadrados de color rojo con un valor de 12 o mayor. La matriz mencionada se muestra a continuación en la tabla 18:

Tabla 18: Matriz de riesgo utilizada para clasificar los modos de falla

Probabilidad	Muy Alta	5	5	15	25
	Alta	4	4	12	20
	Media	3	3	9	15
	Baja	2	2	6	10
	Muy Baja	1	1	3	5
			1	3	5
			Baja	Media	Alta
Consecuencia					

El riesgo de cada modo de falla se muestra en tabla N°34 ubicada en el anexo N°10.1. La suma de los riesgos de las 4 consecuencias evaluadas para todos los equipos se grafican en la figura 5.1.5-1:

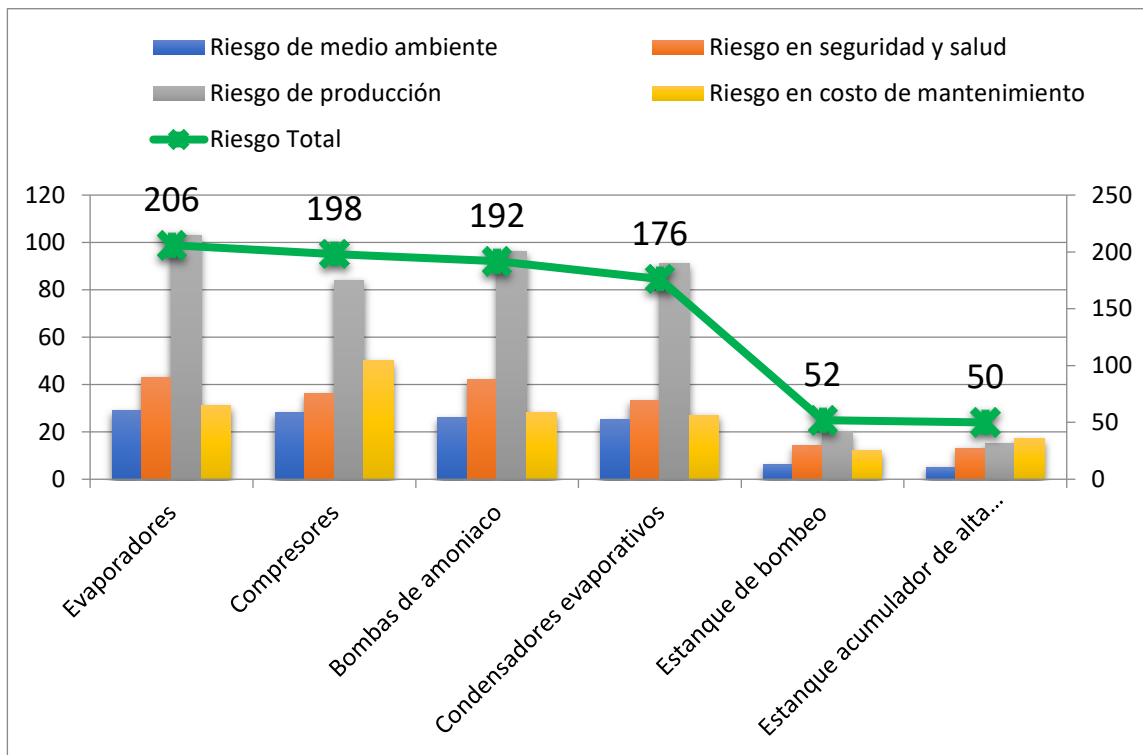


Figura 5.1.5-1: Gráfico que muestra la suma de los riesgos de cada equipo del sistema de refrigeración

En este trabajo para realizar las propuestas para el mejoramiento del sistema de refrigeración se analizarán dos grupos de modos de falla, en primer lugar, se analizarán los sucesos que en la matriz anterior hayan quedado clasificados como un riesgo alto (valor 12 o mayor) esto, debido a que los riesgos de esta categoría poseen un impacto significativo para alguno de los aspectos evaluados, además de una alta probabilidad de ocurrencia. El otro grupo a evaluar serán los modos de falla que no posean un riesgo alto, sin embargo, que posean una consecuencia de alto impacto (valor de consecuencia 5) con una baja probabilidad de falla. Poder evaluar el segundo grupo mencionado es una de las ventajas de emplear esta metodología en particular, ya que, en el caso del trabajo realizado al tratarse de un sistema que puede generar un impacto significativo para la organización se hace necesario la evaluación de los sucesos que si bien pueden ser poco probables su ocurrencia pueda provocar catastróficas consecuencias.

A continuación se muestra en la figura 5.1.5-2 un gráfico que representa la cantidad de modos de falla que se categorizaron en cada posición de la matriz de riesgo:

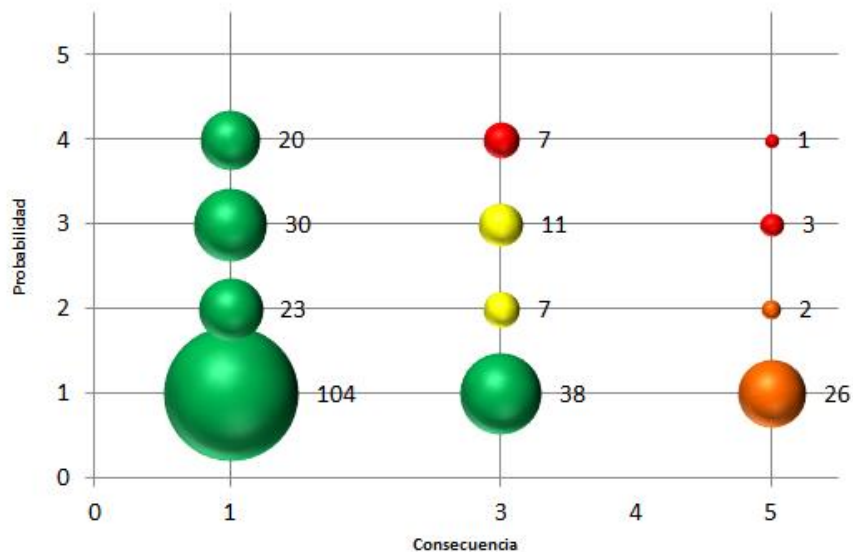


Figura 5.1.5-2: Gráfico que muestra la cantidad de riesgo que tiene cada combinación de probabilidades y consecuencias

En esta se destacaron con colores las posiciones correspondientes a cada categoría antes mencionada (Alto riesgo, medio riesgo y bajo riesgo), junto a lo anterior, se agregó el color naranja para designar a los modos de fallas que no presentan un alto riesgo, sin embargo, posee un consecuencia con valor 5.

Se observa del gráfico que del análisis realizado al sistema de refrigeración se obtuvieron 11 modos de falla con un alto riesgo, cabe destacar que de estos 10, 2 corresponden al mismo modo de falla, hecho que se evaluará posteriormente. Además se obtuvieron 28 modos de falla que no poseen la categoría de alto riesgo, pero poseen una valor de consecuencia 5, por ende, serán igualmente analizados, en esta categoría existe 5 modos de falla que poseen 2 o 3 categorías con un valor de consecuencia 5, finalmente se deben evaluar 20 modos de falla de esta categoría.

En los anexos del capítulo N°10.2 se muestran la posición de los modos de falla para las consecuencias de los 4 aspectos evaluados.

5.1.6. Modos de falla de alto riesgo y con alto impacto

Como se comentó anteriormente, existen 10 modos de falla que poseen un alto riesgo para la organización, estos se muestran en la tabla 19, a continuación:

Tabla 19: Modos de falla con alto riesgo

Modos de falla de alto riesgo	Categorías donde impactan los modos de falla	
	Producción	Seguridad y Salud
Bombas de amoniaco	3	
<i>Falta de amoniaco en bomba</i>	<i>1</i>	
Resorte con fatiga de material	1	
Sello mecánico con desgaste	1	
Compresores	4	
<i>Condensador detenido o deficiente</i>	<i>1</i>	
<i>Filtro saturado</i>	<i>1</i>	
<i>Gases no condensables en condensadores</i>	<i>1</i>	
<i>Línea retorno de aceite obstruido</i>	<i>1</i>	
Condensadores evaporativos	2	
<i>Acumulación de gases no condensables</i>	<i>1</i>	
<i>Sello mecánico con desgaste</i>	<i>1</i>	
Evaporadores		1
<i>Por sello válvulas (o'ring, empaquetaduras)</i>		<i>1</i>
Total general	9	1

Los modos de fallas mostrados fueron categorizados como de alto riesgo para la organización, estos corresponden a valores de 12 o superior en la asignación previamente realizada. En este grupo todos los modos de falla presentan una consecuencia de valor 3 o 5 y un probabilidad de ocurrencia de 3 o mayor (ocurre 1 vez al año o con mayor frecuencia). De esta tabla se observa que 9 de los 10 modos de falla presenten un impacto en la producción de la planta mientras que solo 1 posee impacto en la seguridad y salud del personal de la planta.

Como ya fue mencionado, en este trabajo se analizarán los modos de falla que presentan un alto riesgo para la organización, además de los modos de falla que poseen una consecuencia alta (de valor 5) independiente que su probabilidad de falla sea baja.

Los modos de falla que cumplen con las características mencionadas se muestran a continuación en la tabla 20:

Tabla 20: Modos de falla con consecuencias de valor 5

Modos de falla con consecuencia con valor 5	Categorías donde impactan los modos de falla			
	Mantenimiento	Producción	Seguridad y Salud	Total general
Bombas de amoniaco				
Cortocircuito de motor		1		1
Fuga en cañería			1	1
Rodamiento con lubricación insuficiente		1		1
Compresores				
Cortocircuito	1			1
Falla en válvula de seguridad			1	1
Filtro coalescente	1			1
Alineamiento incorrecto	1			1
Condensadores evaporativos				
Cortocircuito de motor		1		1
Falla válvula de seguridad			1	1
Rodamiento con lubricación insuficiente		1		1
Rodamiento motor eléctrico con lubricación insuficiente		1		1
Rodete con desgaste		1		1
Rotura de cañería			1	1
Evaporadores				
Desgaste pieza móvil		1		1
Fisura válvula		1		1
Rotura de cañería			1	1
Estanque de bombeo				
Bobina quemada		1		1
Falla válvula de seguridad			1	1
Rotura de placa de acero			1	1
Estanque acumulador de alta presión				
Falla válvula de seguridad			1	1
Rotura de estanque			1	1
Total general	3	9	9	21

5.1.7. Administración de riesgo

Antes de comenzar, se eliminan los modos de falla que son evaluados por dos equipos, esto ocurre para la falta de amoníaco en las bombas, pues esto se analiza cuando se estudia la falta de inyección de líquido en los estanques de bombeo, los otros modos de fallas que tienen la misma condición son las fallas que ocurren en los compresores pero que sus causas se originan y analizan en los condensadores evaporativos. Con esto los 31 modos de fallas se reducen a 28 que deben ser evaluados.

- ❖ Retiro de equipos
- ❖ Monitoreo de la condición
- ❖ Mitigar la probabilidad de falla
- ❖ Mitigar las consecuencias de falla

Los métodos utilizados para administrar los diferentes riesgos identificados se muestran a continuación:

5.1.7.1. Válvulas de seguridad

Si bien la falla de una válvula de seguridad no genera la pérdida de funcionalidad de ningún equipo del sistema, su disponibilidad debe asegurarse en caso que ocurra una sobrepresión en el equipo donde esté instalada. Estos dispositivos no están sometidos a operación, por ende, no presentan desgaste de piezas móviles, ni presentan elementos electrónicos que puedan presentar fallas aleatorias. Las fallas de estas válvulas puede deberse a la pérdida de material por corrosión o la falla puntual del muelle de la válvula. Ahora, uno de los boletines del IIAR menciona que estas válvulas deben ser reemplazadas al quinto año de su instalación, con esto, se hace el

levantamiento de todas las válvulas de seguridad instaladas en planta y las válvulas que deben ser instaladas para poder gestionar el reemplazo de las que llevan más de 5 años instaladas y un plan de inspección semestral para detectar daño exterior o pérdida de material por oxidación principalmente en zonas con una alta humedad. (International Institute of ammonia refrigeration, 1997)

5.1.7.2. Filtración de amoníaco hacia el exterior

Ahora se evalúan los modos de fallas que generan filtraciones de amoníaco hacia el exterior debido a la pérdida de la propiedad de contención de las cañerías o estanques. Si bien existen filtraciones de amoníaco que ocurren con mayor frecuencia provenientes de las válvulas, la cantidad de amoníaco es despreciable en comparación con una posible filtración de cañería o estanque por fractura o grandes fisuras. Existen varias causas para la pérdida de contención de las estructuras mencionadas, a continuación se mencionarán juntos a medidas para reducir el riesgo existente:

5.1.7.2.1. Sobrepresión en cañerías por líquido almacenado entre 02 válvulas

Como ya fue mencionado la temperatura de evaporación del amoníaco es de -33°C , por ende, al almacenar refrigerante en estado líquido por periodos prolongados de tiempo se generará la evaporación del fluido. El volumen específico del amoníaco al pasar de estado líquido a gaseoso aumenta más de 500 veces, esto provocaría un aumento sustancial en la presión de la cañería la cual de no ser disminuida a tiempo generará la fractura de la cañería o de alguna válvula. Este fenómeno puede ocurrir entre válvula de corte, sin embargo, para evitar el suceso deben utilizarse procedimientos operacionales y capacitación del personal para que exista una evaluación del sistema cada vez que se cierre una válvula de corte, ya que en su gran

mayoría estos dispositivos solo deben ser maniobrados para realizar mantenciones a los equipos del sistema de refrigeración. Por otro lado, los casos que ocurren de forma automática en el sistema son los de mayor riesgo, ya que, estos ocurren sin supervisión del personal de la planta, un ejemplo de este tipo es el refrigerante que queda atrapado entre las válvula de retención de las descargas de las bombas y las válvulas solenoides de los equipos a enfriar, para estos casos en particular se deben agregar válvulas de sobrepresión que descarguen en las cañerías de succión húmeda para poder evitar aumentos excesivos que puedan generar daños en las estructuras del sistema, con esto disminuiríamos la probabilidad y consecuencia de la falla.(American Society of Heating, Refrigeration and air-conditioning Engineers, 2010)

5.1.7.2.2. Choque hidráulico

Los choques hidráulicos pueden ser generados de dos formas en los sistemas de refrigeración con amoníaco, en primer lugar, existe la posibilidad de que en una cañería de líquido ocurra el cierre de una válvula de un periodo de tiempo pequeño, esto genera un aumento de presión igual a los ocasionados en los sistemas de cañerías de agua. Ahora, para los sistemas de refrigeración con amoníaco estos fenómenos, si bien generan fuertes ruidos no corresponden una causa que ocasiona grandes daños a las estructuras o dispositivos del sistema, debido al diseño de las válvulas que no permiten un cierre rápido que pueda generar dificultades. Por otro lado, existe otro suceso que si genera un incremento de presión considerable en los sistemas de refrigeración y son originados por los desescarches en los evaporadores, para evitar estos sucesos se deben tomar 2 medidas, en primer lugar, instalar válvulas solenoides de gas caliente que presenten aperturas en 2 etapas, estos dispositivos permiten un aumento controlado en la presión dentro del evaporador, donde su primera apertura permite el paso de un 20% del refrigerante por la válvula, mientras que la segunda apertura permite el paso total del refrigerante hacia el equipo, esto reduce la probabilidad de falla, pues reduce significativamente los esfuerzos en las estructuras y dispositivos debidos al aumento de

presión. (Danfoss, 2018). La otra medida a realizar es la instalación de una válvula solenoide de dos etapas en la cañería de aspiración de los evaporadores, estas permiten que al terminar un desescarche la presión acumulada en el evaporador no circule a gran velocidad arrastrando el líquido remanente en el equipo, pues al ingresar a una cañería de baja presión la velocidad del fluido que contiene masas de líquido puede dañar las paredes de las cañerías. (Danfoss, 2008)

5.1.7.2.3. Corrosión galvánica

El amoníaco anhidro en estado puro no generará reacciones químicas con las cañerías, sin embargo, al estar contaminado con agua este genera la reacción química hidróxido de amonio la cual es una solución que llevará corriente eléctrica y puede crear celdas galvánicas en metales. Esta reacción da el paso a la generación de corrosión galvánica en las válvulas, tuberías, estanques, etc. (Danfoss, 2016)

5.1.7.2.4. Corrosión atmosférica

Esta corrosión ocurre en las superficies externas de las cañerías y estanques del sistema de refrigeración, esta corrosión convierte en óxido de hierro el acero carbono de las estructuras. Esto ocurre debido al oxígeno encontrado en el aire atmosférico que está en contacto con tramos de cañerías o superficies de los estanques sin el recubrimiento adecuado. Para disminuir la probabilidad de falla debido a esta corrosión se debe utilizar un recubrimiento adecuado en las estructuras del sistema y eliminar el óxido de hierro existente. La verificación de esto se debe realizar mediante la inspección frecuente de las cañerías y estanques del sistema, además de implementar tareas de limpieza de óxido y aplicación de pinturas que disminuyen la probabilidad de corrosión.

5.1.7.2.5. Corrosión bajo aislamiento

Esta corrosión ocurre bajo el aislamiento instalado en las cañerías, cuando existen puntos de filtración de aire atmosférico en los aislamientos instalados es factible la acumulación de humedad entre el aislamiento y la superficie de las cañerías. Para evitar este tipo de corrosión, se deben realizar tareas de inspección en las cañerías del sistema para poder identificar los puntos donde existan mal estado del aislamiento y pueda ser generado este tipo de corrosión.

5.1.7.2.6. Agrietamiento por corrosión por esfuerzos

Dentro del sistema de refrigeración con amoníaco los estanques acumuladores de alta presión son los equipos más susceptibles a experimentar el agrietamiento por corrosión por esfuerzo, su mayor vulnerabilidad se debe a la condición de almacenar una mayor cantidad de oxígeno (proveniente de los gases no condensables) y una menor cantidad de agua, sin embargo, este fenómeno puede ser encontrado en recipientes de baja presión como los estanques de bombeo. Las grietas generadas comienzan su propagación desde discontinuidades superficiales o discontinuidades en las paredes interiores de recipientes y tuberías susceptibles. Si las tensiones son suficientemente grandes pueden emerger como agujeros superficiales sobre la estructura, para evitar este fenómeno se deberá realizar revisiones exhaustivas en los recipientes en búsqueda de grietas que puedan formar agujeros en las superficies. Para disminuir la probabilidad de falla de este fenómeno los gases no condensables del sistema deben ser purgados, para esto se debe adquirir un purgador de gases no condensable automático.

Como fue mostrado existen varios fenómenos que eliminan la propiedad de contención de cañerías y estanques del sistema de refrigeración, en cada caso se explicaron las medidas para poder disminuir la posibilidad de falla de cada punto. Junto a esto, existe una medida que se propone para disminuir considerablemente las consecuencias de una filtración de amoníaco hacia el exterior, esta medida corresponde

a la instalación de válvulas de corte para segregar los equipos distribuidos en la planta. Esta medida tiene 02 utilidades, por un lado, en caso de filtración de grandes cantidades de amoniaco es posible cortar el suministro de amoniaco hacia la cañería que este filtrando sin tener que acercarse al foco de dicha filtración y que no sea una distancia tan grade como detener el suministro desde la sala de máquina, junto a lo anterior, estas válvulas presentan utilidad para poder aislar ciertos equipos cuando es necesario realizar alguna maniobra sin necesidad de detener todos los equipos conectados al sistema. Por otro lado, existe una medida para disminuir la probabilidad de falla de las cañerías, esta corresponde a la medición del adelgazamiento de las cañerías xmediante el ultrasonido utilizando la técnica de pulso-eco con rayos rectos mediante el método de contacto, si bien esto da mediciones de zonas puntuales, puede dar una representación de estado del resto de cañerías mientras se emplea una muestra representativa del sistema completo, además de realizar las mediciones en los puntos más críticos que puedan ser identificados y realizar un análisis de la evolución del adelgazamiento según los sectores de trabajo, los parámetros de operación, el estado del aislamiento u otra condición a considerar.

5.1.7.2.7. Diagrama BOW-TIE

Los ítems anteriores son mostrados gráficamente mediante la metodología del diagrama Bow-tie, este formato permite exponer la relación existente entre un evento Top (Riesgo a evaluar) con las causas que lo provocan junto a las barreras para evitar dichas causas (esta información se muestra en el sector izquierdo del diagrama), por otro lado, se muestran las consecuencias que se desencadenan del evento Top y las barreras existentes para mitigar dichas consecuencias (esta información se expone en el

sector derecho del gráfico). A continuación se muestra el diagrama Bow-tie que expone la información trabajada anteriormente en la figura 5.1.7.2.7-1:

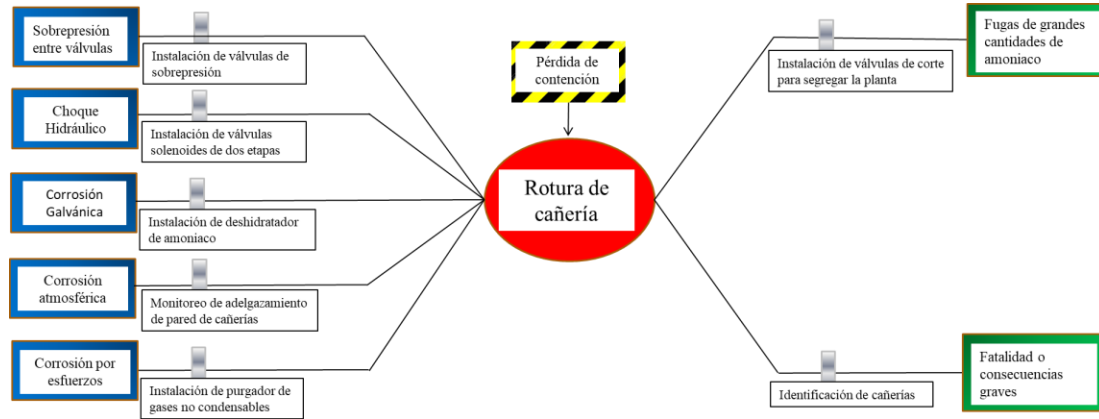


Figura 5.1.7.2.7-1: Diagrama Bow-Tie del riesgo de la rotura de una cañería

5.1.7.3. Plan de mantenimiento

De los 30 modos de falla identificados para administrar los riesgos se han analizados 12 en las secciones anteriores, para los 18 faltantes se realizó la tabla 21 donde se exponen las medidas propuestas para disminuir la probabilidad de falla y/o la mitigación de la consecuencia en caso de ocurrir la falla. Estos se realizan de esta forma pues no requieren una explicación detallada para ser administrados.

Tabla 21: Tabla que muestra las medidas para disminuir la probabilidad de las fallas y la forma de mitigar las consecuencias

Equipos	Falla funcional	Modo de falla	Disminución de probabilidad	Mitigación de consecuencia
Bombas de amoniaco	Filtración de amoniaco hacia el exterior	Sello mecánico con desgaste	Reemplazo de repuestos en periodo definido Inspección de congelamiento estanque de aceite de bomba	Instalación de una bomba stand-by Existencia permanente de repuesto
Bombas de amoniaco	Filtración de amoniaco hacia el exterior	Resorte con fatiga de material	Reemplazo de repuestos en periodo definido Inspección de congelamiento estanque de aceite de bomba	Instalación de una bomba stand-by Existencia permanente de repuesto
Bombas de amoniaco	Falla motor eléctrico	Cortocircuito de motor	Medición de aislamiento de bobina de motor con periodo definido	Instalación de bomba stand-by Existencia de motor para recambio
Bombas de amoniaco	Falla motor eléctrico	Rodamiento con lubricación insuficiente	Plan de lubricación para equipo Inspección de nivel de aceite	Instalación de una bomba stand-by Existencia permanente de repuesto
Condensadores evaporativos	Falla bomba de agua	Cortocircuito de motor	Medición de aislamiento de bobina de motor con periodo definido	

Condensadores evaporativos	Falla bomba de agua	Rodamiento motor eléctrico con lubricación insuficiente	Plan de lubricación para equipo	
Condensadores evaporativos	Falla bomba de agua	Rodete con desgaste	Reemplazo de repuestos en periodo definido Revisión de valores operacionales	Instalación de una bomba stand-by Existencia permanente de repuesto
Condensadores evaporativos	Falla bomba de agua	Sello mecánico con desgaste	Reemplazo de repuesto en periodo definido	Instalación de una bomba stand-by Existencia permanente de repuesto
Condensadores evaporativos	Falla bomba de agua	Rodamiento con lubricación insuficiente	Plan de lubricación para equipo	Instalación de una bomba stand-by Existencia permanente de repuesto
Condensadores evaporativos	Baja eficiencia de transferencia de calor	Acumulación de gases no condensables	Compra de purgador de gases no condensables automático	
Evaporadores	Filtración de amoníaco hacia el exterior	Por sello válvulas (o 'ring, empaquetaduras)	Reemplazar piezas de kit de mantenimiento a válvulas de control	Existencia permanente de repuestos
Evaporadores	Filtración de amoníaco hacia el exterior	Fisura válvula	Revisión de estructura en mantenimiento de válvula	
Evaporadores	Filtración de amoníaco hacia el exterior	Desgaste pieza móvil	Reemplazar piezas de kit de mantenimiento a válvulas de control	Existencia permanente de repuestos
Compresores	Falla en motor eléctrico	Cortocircuito de motor eléctrico	Medición de aislamiento de bobina de motor con periodo definido	Existencia de motor para recambio
Compresores	Bajo nivel de aceite	Filtro coalescente obstruido	Reemplazo de filtro en periodo definido	Existencia permanente de repuestos
Compresores	Bajo nivel de aceite	Línea retorno de aceite obstruido	Plan de revisión y limpieza de filtro	
Compresores	Diferencial de presión alta de filtro de aceite	Filtro saturado	Monitoreo de diferencial de presión del filtro	Realizar limpieza según el monitoreo Existencia permanente de repuesto

Compresores	Baja eficiencia de compresión	Alineamiento incorrecto	Análisis de vibraciones	Realizar el cambio de rodamiento según los análisis
Estanques de bombeo	Falla inyección de líquido	Bobina quemada		Existencia permanente de repuestos

5.2. Propuestas extras para el mejoramiento

En la sección anterior se mostraron las propuestas provenientes de los riesgos detectados según la metodología de la inspección basadas en riesgos, las tareas y modificaciones fueron seleccionadas como principal medida para disminuir la probabilidad de falla o para mitigar las consecuencias detectadas en cada modo de falla evaluado como un alto riesgo o una consecuencia severa para la empresa. Sin embargo, el reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoníaco mostrado en el capítulo 3.1 presenta ciertos requerimientos que al cumplir servirán de igual forma para la disminución de probabilidad de falla y la disminución de consecuencias de los modos de fallas detectados en la evaluación realizada.

5.2.1. Identificación de estado y sentido de circulación del refrigerante en las cañerías

En el capítulo 3.1.3, se muestra la figura N°3.1.3-1 esta muestra el marcaje que debe instalarse en las cañerías del sistema de refrigeración para su identificación. La información que entrega para el personal cercano es el tipo de refrigerante, el equipo o componente de donde proviene el flujo o hacia donde se dirige, se muestra de igual forma el estado en el que se encuentre el refrigerante, ya sea estado líquido, estado gaseoso o como una mezcla de ambos estados, la identificación también expone si dentro de la cañería el amoníaco presenta una alta o una baja presión, siendo la limitante entre ambos estados los $70[psig]$ ($4,83[bar]$). Por último, se muestra en la identificación la dirección en la cual fluye el refrigerante en las cañerías marcadas.

La identificación de cañerías es útil por varias razones, por un lado, es una forma simple de identificar cuales cañerías transportan amoníaco a través de la planta, beneficioso sobre todo en instalaciones con gran existencia de cañerías para transportar diferentes fluidos. Otra utilidad que presenta es la ayuda que otorga para la operación y mantenimiento de la planta, pues se tiene una visión clara del estado del refrigerante dentro de cada cañería y así un fácil accionamiento de las válvulas del sistema.

Por último, esta identificación se asocia con la metodología de la inspección basada en riesgo, ya que, al identificar las cañerías es posible mitigar las consecuencias de una filtración hacia el exterior de amoníaco desde alguna estructura o dispositivo del sistema, pues en caso de presentar una situación como la comentada se tendrá la información de la dirección de los flujos de refrigerante, además de sus estados, presiones y equipos desde donde proviene cada cañerías o hacia donde se dirige. Esta información puede ser de gran ayuda para las acciones correctivas a realizar en situaciones donde la velocidad en la toma de decisiones ayudará a minimizar el impacto de cada acontecimiento por el personal de emergencias. (International Institute of Ammonia Refrigeration, 2014).

Según el boletín 114 la identificación de las cañerías debe realizarse según lo especificado en la tabla 22:

Tabla 22: Dimensiones para etiquetas de identificación de cañerías

Rango de diámetro de cañería	Ancho de marca	Largo de marca	Tamaño de letra	Estado	Nivel de presión
Menor a 1-1/4"	1"	8"	1/2"	1/2"	1/2"
1-1/4" : 2"	1-1/2"	8"	3/4"	3/4"	3/4"
2" : 7"	2-1/2"	12"	1-1/4"	1"	1"
7" : 10"	3-1/2"	24"	2-1/2"	1-1/2"	1-1/2"
Mayor a 10"	4-1/2"	32"	3-1/2"	2"	2"

5.2.2. Registro de recargas de amoniaco.

El sistema de refrigeración con amoniaco es un sistema de refrigeración cerrado, lo que significa que el refrigerante utilizado como fluido principal no debe salir del sistema, por ende, si al momento de montar la instalación se agregó la carga suficiente de amoniaco no debería haber necesidad de recargar la planta con más amoniaco. Sin embargo, debido a fallas en los sellos de equipos o dispositivos, además de posibles rupturas, modificaciones u otros acontecimientos es posible que cierta cantidad de refrigerante salga del sistema y posteriormente debe recargarse para no disminuir la eficiencia del sistema.

Por lo anterior, cada vez que se realicen recargas al sistema de refrigeración con amoniaco debe haber un entendimiento claro de las razones por las cuales se tuvo que realizar la recarga, ya que, según el reglamento de seguridad los sistema tiene un máximo de 15% de recargas posibles al año (en base a la cantidad de amoniaco existentes en la planta). Si las recargas superan dicho porcentaje se debe hacer una análisis detallado y ser mostrado a la gerencia de la planta con el fin de explicar este exceso en compras de amoniaco. A continuación se muestra en la figura 5.2.2-1 un gráfico donde aparecen los porcentajes de amoniaco cargado al sistema de refrigeración

calculados con una base de 30.000 [kg] de amoníaco que son aproximadamente los existente en la planta.

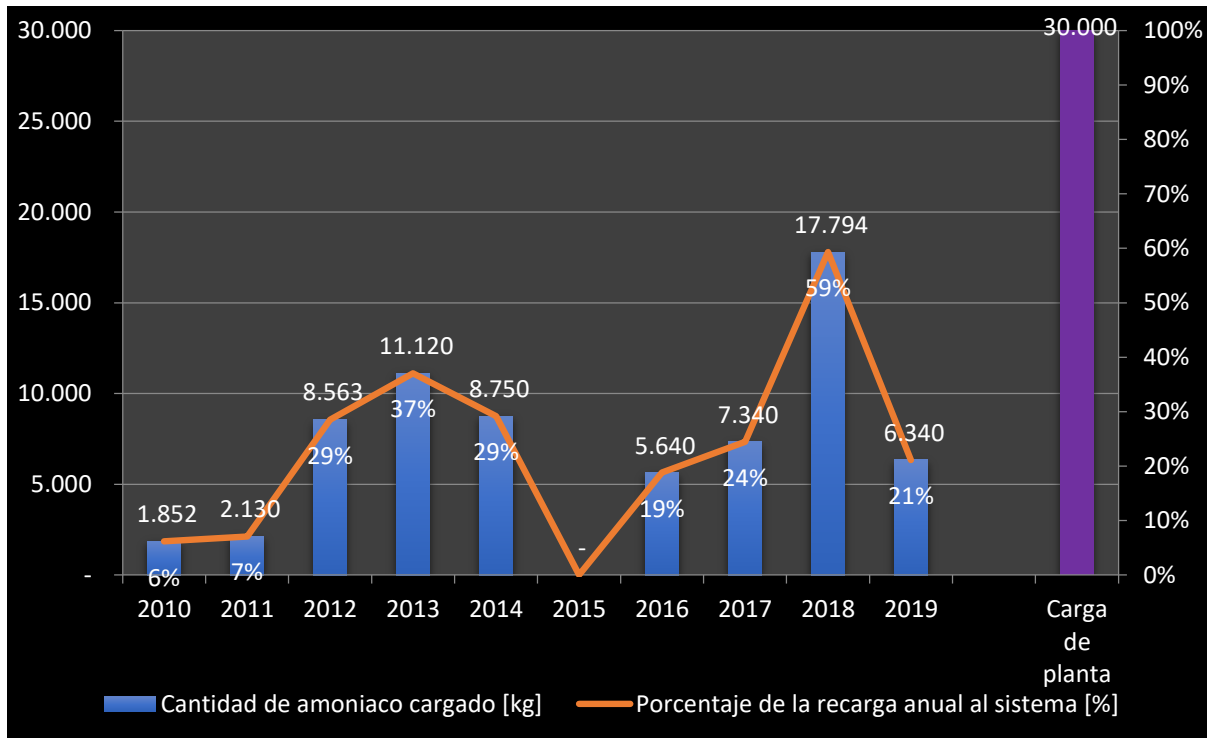


Figura 5.2.2-1: Gráfico que muestra la cantidad de amoníaco cargado al sistema los últimos años y el porcentaje equivalente de la cantidad de refrigerante de la planta

5.2.3. Mantener sistema de refrigeración libre de fuga e investigar y reportar todo olor o fuga que se detecte

Con lo mostrado anteriormente, se observa que se han sobrepasado los 15% que definen el reglamento como límite máximo de recargas que deben realizar las instalaciones con amoníaco como refrigerante, si bien, esto puede deberse a modificaciones del sistema como incorporación de nuevos equipos, cambios de equipos o dispositivos, entre otras modificaciones. Gran parte de las recargas se deben a pérdidas constantes que existen en el sistema completo, las pérdidas más frecuentes se

deben a sellos mecánicos de bombas de amoníaco o compresores, o'ring y empaquetaduras de válvulas u de otros equipos, cualquiera sea la causa de las pequeñas filtraciones un sistema que opera las 24 horas del día generando un liberación al ambiente que si bien se puede entender como de bajo riesgo debido a las bajas concentraciones que generan al largo plazo significan la necesidad de realizar recargas que dan como resultado el gráfico mostrado en la sección anterior.

Para evitar dicho sucesos se genera una planilla para revisar la existencia de filtraciones en los equipos del sistema y en los cuadros de válvulas, con esto se puede tener el control de las filtraciones para generar planes de acción correctiva y preventiva y retroalimentar la información con el personal para poder realizar posteriormente mejoras a los equipos que presentan mayor frecuencia de filtraciones. En la planilla existen los siguientes datos que deben llenarse:

- Fecha
- Hora
- Sector donde se originó la filtración
- Equipo/ Cuadro de válvulas
- Línea (Líquido, succión, gas caliente, retorno deshielo)
- Ppm registrado en detector
- Sector donde se registra la concentración
- Tipo del lugar de la fuga (sala de proceso, sala cerrada, entre techo, sobre techo)
- Causa
- Acción correctiva
- Estado final de la fuga

5.3. Resultados del reglamento

Con las propuestas mencionadas en la sección anterior, junto al trabajo realizado con diversas áreas de la empresa en el tiempo de desarrollo de este trabajo se obtuvo el cumplimiento y avance de varios requerimientos del reglamento sobre condiciones de seguridad de los sistemas de refrigeración con amoníaco, dicho avance se muestra a continuación con un gráfico de columnas en la figura 5.3-1:

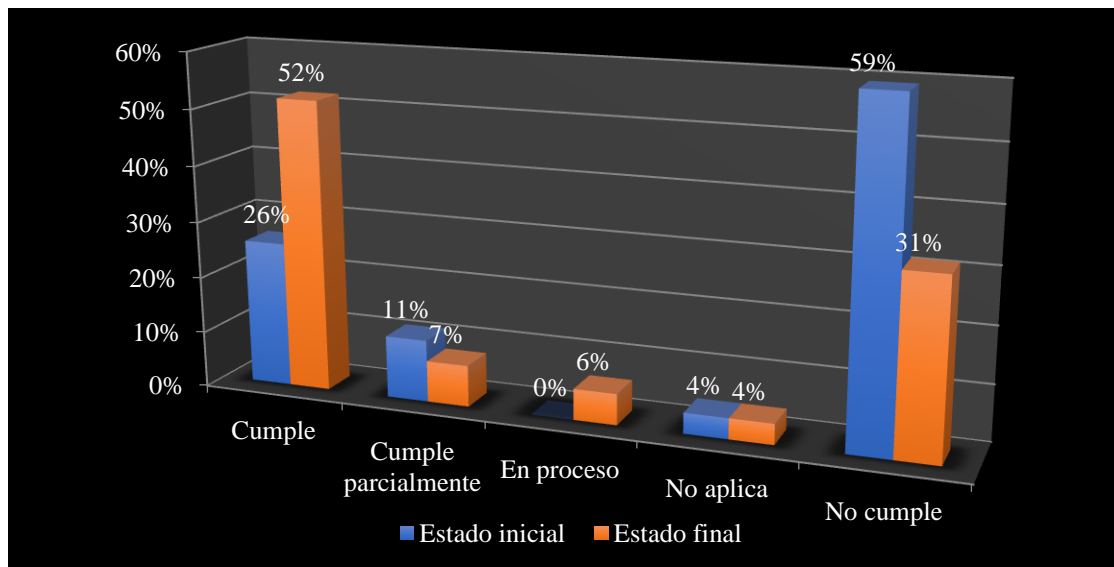


Figura 5.3-1: Gráfico de evolución de los requerimientos del reglamento de seguridad

El detalle de cumplimiento de cada requerimiento se muestra en la sección de anexos, en la tabla N°36 en el anexo 10.4

Del gráfico se observa que hubo una significativa evolución de los requerimientos que inicialmente no se cumplían, cabe destacar que la gran mayoría de estos cumplimientos corresponden a los asociados con el mantenimiento del sistema de refrigeración de la planta, recolección de información, realización de planillas para el control de la operación, entre otros. Como se mencionó en la tabla N°32 se encuentra la totalidad de los requisitos.

Los requisitos que se cumplen parcialmente que no pudieron ser cambiados son responsabilidad del área de seguridad y salud de la empresa y del área de recursos humanos, si bien no fue posible el cumplimiento de los requisitos se informó la necesidad de estos cuando el reglamento sea publicado.

Los requisitos que quedaron en proceso corresponden a manuales y procedimientos de operación y mantenimiento, si bien se desarrollaron procedimientos e instructivos para las tareas que se realizaron, estos escritos no abarcan la totalidad de maniobras de operación y mantenimiento, por ende, queda ubicado como requerimiento en proceso para continuar generando y así poder estandarizar las actividades desarrolladas con el objetivo de disminuir los riesgos y mejorar la eficiencia en las tareas.

Los requerimientos que no aplican siguen correspondiendo a la cantidad de horas pedagógicas que debe desarrollar el personal de la planta y la existencia de un comedor y servicio higiénico en el sector de la sala de máquinas.

Por último, los requisitos que siguen sin cumplir corresponden a planos y modificaciones mayores que deben realizarse, estos fueron informados y se han hechos cotizaciones para su realización, sin embargo, son modificaciones que tienen un alcance mayor que el área de Suministros ya que, corresponden a inversiones de altos valores.

5.4. Resultados de la Inspección Basada en Riesgo

Las propuestas realizadas para disminuir el riesgo de los modos de fallas identificados para el sistema de refrigeración con amoníaco como refrigerante, se obtiene que de los 30 modos de fallas evaluados 25 son mitigados teniendo como resultado un riesgo bajo, esto disminuyendo significativamente la probabilidad de falla y las consecuencias mediante los planes de acción presentados anteriormente en este informe. Por otro lado, existen 5 modos de fallas que no se pudieron mitigar para reducir el riesgo que significan para la planta, estos modos de fallas corresponden a los relacionados con filtración de amoníaco hacia el exterior ya sea por rotura de cañerías o estanques. Dichos modos de fallas no pudieron ser mitigados, puesto que las posibles consecuencias de grandes filtraciones pueden generar consecuencias catastróficas para el personal que se vea afectado, sin embargo, con los planes de acción expuestos anteriormente estos modos de falla serán controlados de mejor manera, junto a la opción de tener planes de contención en caso de ocurrir y reducir significativamente la posibilidad de tener consecuencias fatales para el personal de la planta.

6. Análisis de costos de propuestas

En el capítulo anterior se expusieron las propuestas a realizar para efectuar el mejoramiento del sistema de refrigeración con amoníaco de la planta, junto a mostrar las propuestas se expusieron las razones por las cuales están deben ser realizadas por la empresa. Una de las razones por las que se priorizaron los riegos existentes en la planta es la cantidad limitada de recursos, en este capítulo se expondrán los costos asociados a las propuestas planteadas, divididos en 3 grupos:

Inversión para la implementación: Este costo corresponde a la inversión que debe ser realizada solo una vez para la mejora del sistema de refrigeración con amoníaco, acá se agrupan tareas como la instalación de válvulas, compra de equipos, entre otros.

Costos anuales: Estos costos deben ser asumidos de forma anual para el mejoramiento del sistema de refrigeración, disminuyendo los riesgos identificados.

Costos de mano de obra anual: Este costo corresponden a las horas hombres que deben ser empleadas en tareas determinadas por el personal interno de la planta para poder disminuir el riesgo del sistema de refrigeración

6.1. Inversiones

En primer lugar, se muestran los costos de las modificaciones que se identificaron en las secciones anteriores de este trabajo, estos costos corresponden a inversiones que tendrán como beneficio la disminución de los riesgos del sistema de refrigeración con amoníaco, estas inversiones son para realizar modificaciones como la instalación de equipos para mejorar el estado del amoníaco de la planta, válvulas que disminuirán las posibilidades de almacenamiento de amoníaco entre dos válvulas por largos periodos de tiempo, entre otras mejoras que disminuirán el riesgo de la

instalación. Los valores de las modificaciones se muestran a continuación en la tabla 23:

Tabla 23: Tabla que muestra las inversiones a realizar para las modificaciones necesarias en la planta

Inversiones	Valor unitario [clp]	Cantidad	Valor total [clp]
<i>Instalación de identificadores de flujo en cañerías 2"</i>	\$ 10.000	300	\$ 3.000.000
<i>Instalación de identificadores de flujo en cañerías 4"</i>	\$ 14.000	100	\$ 1.400.000
<i>Instalación de válvulas de seguridad faltantes en los condensadores evaporativos</i>	\$ 1.300.000	10	\$ 13.000.000
<i>Instalación de válvulas de seguridad faltantes en intercambiadores de calor</i>	\$ 500.000	5	\$ 2.500.000
<i>Reemplazo de válvulas de seguridad</i>	\$ 120.000	30	\$ 3.600.000
<i>Instalación de válvulas de sobrepresión para evitar excesos de presión en descarga de bomba</i>	\$ 750.000	7	\$ 5.250.000
<i>Instalar válvulas solenoides de dos etapas en cañerías de gas caliente</i>	\$ 900.000	1	\$ 900.000
<i>Instalar válvulas solenoides de dos etapas en cañerías de succión húmeda</i>	\$ 1.300.000	2	\$ 2.600.000
<i>Compra de deshidratador de amoníaco</i>	\$ 13.500.000	1	\$ 13.500.000
<i>Compra de purgador de gases no condensables automático</i>	\$ 25.000.000	1	\$ 25.000.000
<i>Instalación de válvulas de corte para segregar los equipos de la planta</i>	\$ 250.000	8	\$ 2.000.000
<i>Instalación de bomba de amoníaco stand-by</i>	\$ 4.500.000	7	\$ 31.500.000
<i>Instalación de bomba de agua en condensadores evaporativos stand-by</i>	\$ 2.000.000	7	\$ 14.000.000
<i>Instalar válvulas para purgar aceite de depósitos de aceite</i>	\$ 1.250.000	11	\$ 13.750.000
Total			\$ 132.000.000

6.2. Costos económicos anuales

Otros costos económicos que se identificaron son los que deberán realizarse de forma frecuente, estos costos corresponden al cambio de válvulas de seguridad (las cuales deben reemplazarse luego de 5 años instaladas) y de servicios externos que son necesarios para asegurar el buen funcionamiento del sistema y la disminución de los riesgos. Estos valores se agrupan mediante el costo anual que poseen para la empresa, la tabla se muestra a continuación en la tabla 24:

Tabla 24: Costos económicos anuales

Costos anuales [\$/año]	Gasto unitario	Cantidad de equipos	
		Cantidad de equipos	Costo anual
Reemplazo de válvulas pasados los 5 años	\$ 120.000	30	\$ 720.000
Realizar medición de espesores del sistema cada 1 año (la cantidad y valores expresado en días)	\$ 170.000	10	\$ 1.700.000
Análisis dinámico y estático de los compresores de amoniaco cada 6 meses	\$ 250.000	11	\$ 5.500.000
Ovehaul a compresores de amoniaco cada 25.000 [h]	\$ 12.000.000	11	\$ 34.736.842
Mantenición a bombas de aceite de compresores cada 10.000 [h]	\$ 800.000	11	\$ 5.866.667
Análisis de vibraciones cada 4 meses	\$ 120.000	11	\$ 3.960.000
Total			\$ 52.483.509

6.3. Planes de tareas y horas hombre asociadas

El último costo que se asocia al mejoramiento de sistema con la finalidad de disminuir los riesgos, es la cantidad de horas hombres que deben ser empleados en el desarrollo de diversas tareas para disminuir probabilidad de fallas y mitigar sus consecuencias, estas tareas fueron ingresadas mediante el formato de Fractal, ya que, es el software que utiliza la organización para llevar los planes de mantenimiento, las tareas de cada equipo en este formato se muestran en la sección 10.5 de anexos. A continuación se muestra la tabla 25, 26, 27 y 28 con el resumen de la cantidad de horas de tareas que se requieren para cada equipo del sistema:

Tabla 25: Tareas a realizar en condensadores evaporativos

Condensadores Evaporativos					
Tarea	Frecuencia [mes]	Duración [min]	cantidad de equipos	Duración de tarea [h]	Tiempo empleado al año [h]
Reemplazo de bomba	12	60	7	7	7
Mantenimiento a bomba de agua	12	300	7	35	35
Medición de motor eléctrico de bomba	3	30	7	3,5	14
Lubricación de bomba	2,0	5	7	0,6	3,5
Reemplazo de motor eléctrico de bomba de agua	12	60	7	7	7
Revisión de bomba de agua	4	5	7	0,6	1,75
Revisión condensador	12	480	6	48	48
Total					116

Tabla 26: Tareas a realizar en bomba de amoniaco

Bombas de amoniaco					
Tarea	Frecuencia [mes]	Duración [min]	cantidad de equipos	Duración de tarea [h]	Tiempo empleado al año [h]
Lubricación de bomba	1	15	14	3,5	42
Medición cada 6 meses motor eléctrico	6	30	14	7	14
Revisión cada 2 semanas de congelamiento de bomba	0,5	2	14	0,5	11,2
Cambio bomba de amoniaco	12	120	14	28	28
Mantenimiento a bomba de amoniaco	12	300	14	70	70
Total					165

Tabla 27: Tareas a realizar en evaporadores

Evaporadores					
Tarea	Frecuencia [mes]	Duración [min]	cantidad de equipos	Duración de tarea [h]	Tiempo empleado al año [h]
Mantenición a válvulas de control línea de líquido	48	120	80	160	40
Mantenición a válvulas de control línea de gas caliente	48	120	80	160	40
Mantenición a válvulas de control línea de succión húmeda	48	120	80	160	40
Limpiar filtros de líneas de líquido y gas caliente	24	90	80	120	60
Total					180

Tabla 28: Tareas a realizar en compresores

Compresores					
Tarea	Frecuencia [mes]	Duración [min]	cantidad de equipos	Duración de tarea [h]	Tiempo empleado al año [h]
Cambio de filtro desde 1 [bar]	3	60	11	11	44
Limpieza filtro retorno de aceite desde coalescente cada 3 meses	3	60	11	11	44
Limpieza de equipo cada 3 meses	6	120	11	22	44
Total					132

6.4. Recursos disponibles

En la planta evaluada, el sistema de refrigeración con amoníaco es responsabilidad de un área llamada suministros, esta área posee la administración de otros sistemas ubicados en la planta como lo son: sistema de agua extraída desde pozos, administrar y controlar el vapor suministrado desde la caldera (empresa externa), planta

de tratamiento de osmosis inversa, dosificación de cloro para suministro de agua, suministro de ácido peracético hacia la planta. Por ende, los recursos que dispone el área deben ser distribuidos para asegurar y mantener el óptimo funcionamiento de todos los sistemas antes descritos, a continuación en la tabla 29 se muestra el presupuesto que poseía el área el año 2019, los gastos que se generaron por cada mes, el ahorro obtenido y los porcentajes de estos valores:

Tabla 29: Gatos, presupuestos y ahorro del área de suministros el año 2019

Mes	Gasto	% Gasto	Presupuesto	Ahorro	% ahorro
Enero	\$ 11.762.284	69,2%	\$ 17.002.356	\$ 5.240.072	30,8%
Febrero	\$ 13.375.247	86,5%	\$ 15.458.351	\$ 2.083.104	13,5%
Marzo	\$ 2.364.970	14,7%	\$ 16.101.749	\$ 13.736.779	85,3%
Abril	\$ 17.317.708	112,7%	\$ 15.362.462	\$ -1.955.246	-12,7%
Mayo	\$ 13.235.670	83,3%	\$ 15.897.423	\$ 2.661.753	16,7%
Junio	\$ 19.349.146	120,0%	\$ 16.126.124	\$ -3.223.022	-20,0%
Julio	\$ 9.488.974	59,6%	\$ 15.914.911	\$ 6.425.937	40,4%
Agosto	\$ 8.891.163	52,0%	\$ 17.096.950	\$ 8.205.787	48,0%
Septiembre	\$ 8.115.656	54,8%	\$ 14.805.072	\$ 6.689.416	45,2%
Octubre	\$ 7.292.543	45,0%	\$ 16.219.936	\$ 8.927.393	55,0%
Noviembre	\$ 15.394.903	96,4%	\$ 15.964.572	\$ 569.669	3,6%
Diciembre	\$ 11.508.024	72,7%	\$ 15.837.990	\$ 4.329.966	27,3%
Total	\$ 138.096.288	72,2%	\$ 191.787.896	\$ 53.691.608	27,8%

La tabla anterior, puede ser analizada de diversas formas, en primer lugar, se obtiene que en el año 2019 el área de suministros tuvo un ahorro total de \$ 53.691.608, este valor es superior al monto que se estimó será el que tiene que ser utilizado de forma anual para poder realizar los servicios y compras de dispositivos para la disminución de riesgo del sistema de refrigeración.

Un detalle a considerar es lo variable que fue el gasto a lo largo del año, si se observan los mínimos y máximos gastos se obtiene que el mes de marzo se utilizó un 14,7% del presupuesto dejando un ahorro superior a los 13 millones de pesos, mientras que en el mes de junio se utilizó el 120% del presupuesto gastando 3 millones de pesos más que lo estipulado en el presupuesto. Estas diferencias significativas ocurren debido a la mínima gestión que realizó el área en el control de gastos, debido a esto es trascendental para el área comenzar a realizar las gestiones necesarias para optimizar el uso de los recursos económicos. Ahora, al realizar dicha gestión posiblemente se obtendrán gastos innecesarios realizados que se podrán eliminar o disminuir para optimizar los recursos y a su vez se encontrarán gastos que no se estaban realizando que son necesarios para la disminución de riesgo de los sistemas, asegurar la disponibilidad de los equipos, mantener en las condiciones necesarias los activos u para otra finalidad que no había sido considerada con anterioridad. Todo lo anterior, nos indica que si bien el valor del ahorro total del año 2019 es un dato a considerar que puede ser utilizado como guía, no se puede afirmar que los próximos años se comportarán de igual forma, por ende, la implementación de las tareas señaladas en este trabajo se deben ir implementando a medida que se evalúe el comportamiento de los gastos del área.

Por otro lado, de los planes de tareas propuestos se obtiene la tabla 30:

Tabla 30: Tiempo a emplear en tareas de cada equipo del sistema de refrigeración

Equipo del sistema	Cantidad de equipos	Tiempo anual [h]	Tiempo mensual [h]
Condensadores evaporativos	7	116	10
bombas de amoníaco	14	165	14
Cuadros de válvulas	30	330	28
Compresores	11	132	11
Total		743	62

7. Recomendaciones para la continuidad del plan de mejoras a realizar posteriormente al trabajo de titulación

Parte de la información utilizada para realizar los análisis de este trabajo provienen del conocimiento y experiencia de diferentes personas, por ende, se deben ratificar y corregir los valores utilizados para diversos factores, como lo son la probabilidad de falla, la consecuencia de las fallas, los tiempo de demora en realizar tareas, etc. Esto con la finalidad de generar datos verídicos y consistentes con la realidad de la planta. Con esto podrá mejorarse continuamente el sistema de análisis de riesgos y las acciones para administrar los riesgos de la planta.

Como fue expuesto en el capítulo N°5 debido a los recursos finitos y la amplia cantidad de tópicos mostrados en el reglamento sobre condiciones de seguridad, en este trabajo se analizaron y mostraron propuestas para parte de los requerimientos totales, por ende, es de vital importancia que posterior a este trabajo se continúe el cumplimiento de los requerimiento mostrados para completar las condiciones de seguridad óptimas para una planta que utilice el amoniaco como refrigerante en su sistema de refrigeración. El foco principal de este trabajo fue el plan de mantenimiento del sistema de refrigeración, además de modificaciones necesarias para la disminución del riesgo existente. Junto a esto, se dieron propuestas que ayudan a la operación de la planta y la mejoría en seguridad, sin embargo, estos dos pilares de la planta se deben seguir trabajando. Para la operación solo se propusieron mejoras que ayudaran a los operadores en su trabajo diario pero la estandarización de estos trabajos debe realizada para evitar riesgos, mejorar la eficiencia y eficacia de la operación. En lo respectivo a la seguridad, solo se proponen mejoras técnicas de equipos, sin embargo, el personal de seguridad de planta debe apoyar la realización de instructivos y protocolos tanto para la operación como para las tareas de mantención nuevas que se están proponiendo, junto a capacitaciones en los equipos de protección personal y otras medidas para mejorar la seguridad del personal de operación.

Otro punto que debe abordarse junto a las propuestas de este trabajo son las habilidades y capacitaciones que posee el personal actual que opera la planta, estas se deben analizar pues las nuevas actividades que se realizarán requieren diferentes aptitudes de los operadores que deben ser capacitados en caso de no poseerlas. Con esto se podrá estandarizar el conocimiento necesario para poder operar la planta disminuyendo los riesgos y mejorando el desempeño de los equipos.

La eficiencia energética es un aspecto importante dentro de las organizaciones, sin embargo, la operación de los sistema de refrigeración de la planta no lo tienen como objetivo. Por ende, la gestión sobre este aspecto es necesaria para poder mejorar el desempeño del sistema de refrigeración, cabe destacar que los consumos eléctricos de los compresores de amoniaco son uno de los principales consumos que posee la planta, por ende, la eficiencia energética puede disminuir considerablemente los consumos de la planta. Esto debe abordarse a todo nivel, pues existen grandes modificaciones para su mejoría como lo son el cambio de un sub-sistema de $-10^{\circ}C$ por un sub-sistema de $-4^{\circ}C$, el cambio del sistema de enfriamiento de aceite de los compresores de amoniaco, como también modificaciones en la operación que pueden aportar como lo son la disminución en el tiempo de repuesta para detener el suministro de refrigerante a un servicio cuanto termina de operar, la correcta elección de equipo para los requerimientos energéticos de la planta en cada situación, la manipulación correcta de las válvulas de suministros de amoniaco, evitar el suministro excesivo de refrigerante o bajar la temperatura de operación de los equipos cuando hayan problemas de temperatura en producción, entre otras medidas para mejorar la eficiencia del sistema.

Medir el desempeño del sistema de refrigeración y analizar su comportamiento en el tiempo es otra tarea que se debe realizar, esto es de vital importancia para conocer cuál es el funcionamiento óptimo del sistema, identificar si existe alguna anomalía, o baja en el desempeño. Además, es una ayuda para comparar situaciones como cambio de personal, cambio de estaciones, modificaciones realizadas u otros posibles sucesos. Por último, el tener información y datos del sistema permite la mejora continua, ya que,

sin esta información no se sabría que mejorar o en caso de mejorar cuanto impacto se generó en el sistema.

Se debe mejorar la comunicación del área de suministros con las áreas de producción, este punto está muy ligado al anterior, pues al no existir un monitoreo de comportamiento la única interacción que tiene el área que suministra la refrigeración a las áreas de producción es cuando el sistema tiene un muy bajo desempeño o quedo detenido. Cuando estas situaciones ocurre la comunicación se genera para solucionar el problema y posterior a la solución no existe un análisis en conjunto para evitar su nueva aparición. Por esto, se debe trabajar de manera unida para mejorar el servicio entregado y anticiparse a problemas que puedan generar pérdidas en los procesos productivos.

Por último, como todo sistema en operación se debe tener siempre como objetivo el mejoramiento continuo, para esto una vez implementado estas propuestas se deben documentar los resultados obtenidos, analizarlos y seguir con la proposición de nuevas ideas y mejoras aplicables al sistema de refrigeración con amoníaco. Con este fin se pueden revisar los 4 últimos pasos del plan de trabajo propuestos, al realizar pequeñas modificaciones estas tareas funcionan de forma similar al círculo de Deming de mejora continua. A continuación se muestra el diagrama de flujo del plan de trabajo en la figura 7-1 a realizar para completar completamente los requisitos del reglamento de condiciones de seguridad:

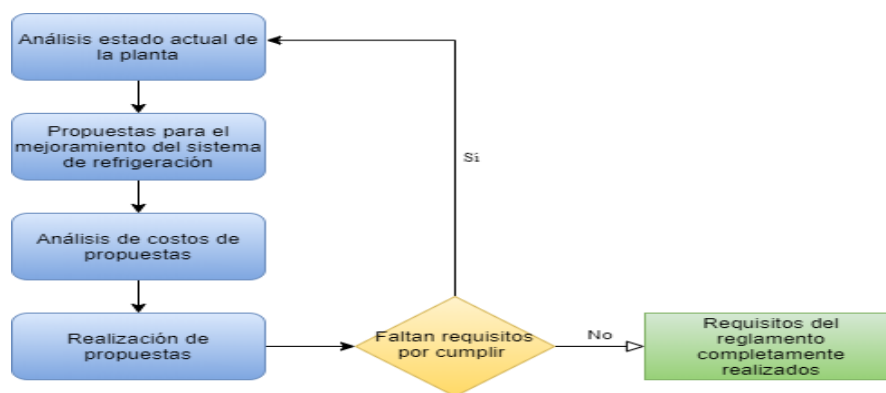


Figura 7-1: Plan de trabajo para realizar la totalidad de requisitos del reglamento de condiciones de seguridad.

8. Conclusiones

En este trabajo de titulación se formularon propuestas para mejorar el sistema de refrigeración con amoniaco de una planta de producción avícola, estas propuestas tienen como objetivo el cumplimiento de requisitos expuestos por los reglamentos estudiados y la disminución de riesgos generados por diversos modos de fallas detectados en el presente trabajo. Estas propuestas consisten en reemplazo de equipos o dispositivos según indicaciones técnicas, modificaciones del sistema de refrigeración, realización de diversos trabajos externos y planes de tareas a realizar por el personal interno de la planta.

Para determinar los requerimientos necesarios para el funcionamiento del sistema de refrigeración con amoniaco, se analizó el reglamento de condiciones de seguridad realizado por el ministerio de salud, de este reglamento se trabajaron los temas que tenían trascendencia para el presente trabajo de titulación como lo son principalmente el mantenimiento del sistema de refrigeración, además de aspectos de la operación y la seguridad del sistema. Ahora, comentar que los tópicos no tratados en este trabajo poseen relevancia para la organización, por tanto, deben ser tratados por diferentes áreas de la organización con el fin de ser abarcado en su plenitud el reglamento publicado por el organismo del estado.

Cuando se determinó el estado inicial de la planta con respecto al reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoniaco se encontró que el 70% de los requerimientos debía ser trabajados, ya sea, porque no se cumplían completamente o porque se cumplían de forma parcial. Dentro de estos puntos se identificaron algunos aspectos de gran importancia para la seguridad y el buen funcionamiento del sistema. Actualmente, en el país la inexistencia de normas que exijan condiciones mínimas de funcionamiento para estos sistemas de refrigeración en particular ha provocado que se diseñen y operen plantas de refrigeración industrial con

condiciones alejadas de las óptimas, esto genera un alto riesgo latente en la planta evaluada y en las distintas plantas que utilizan similares sistemas de refrigeración para su funcionamiento. Se debe considerar que el reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoníaco posee una lista de requerimientos que deben considerarse para la operación de las plantas de refrigeración y que al ser aplicados completamente mejorará la seguridad y reducirá considerablemente los riesgos asociados a este tipo de instalación, sin embargo, el reglamento no se interna en datos técnicos o requerimientos específicos que permitan evaluar los diseños, montajes y operaciones realizados en las plantas del país, pues expone requerimientos de forma superficial que de ser cumplidas puede que no sean lo suficiente para asegurar la seguridad necesaria. Cabe destacar que en la actualidad las empresas dedicadas al diseño, instalación y montaje de sistemas de refrigeración con amoníaco con refrigerante se rigen mediante las normas, boletines y otros textos técnicos publicados por instituciones como el IIAR, sin embargo, partes del sistema de refrigeración no ha sido instalado por este tipo de empresas, ya sea por la antigüedad que tiene la instalación o porque se hicieron modificaciones menores con empresas que no se regían bajo los parámetros señalados, esto genera una necesidad de evaluar una gran cantidad de factores en la planta. Se deben evaluar distintos aspectos como los son las dimensiones utilizadas en cañerías de distintos sectores, el modelo de dispositivos como válvulas o sensores, instalación de válvulas de seguridad, existencia de salidas de emergencias, entre otros. Además de determinar todos los parámetros que deben ser monitoreados, las rutinas y maniobras que deben ser realizadas por los operadores de la planta para poder asegurar una operación óptima controlando las variables que puedan afectar la seguridad del sistema.

Para realizar las propuestas de mejoras de este trabajo se identificaron 3 temas que debían abordarse, estos fueron el mantenimiento de sistemas de refrigeración como principal tema, junto a la operación y la seguridad. Para el trabajo de estos temas se utilizó la metodología de la inspección basada en el riesgo, esta elección permitió

generar información de gran utilidad para la organización, ya que, para emplear la metodología se utilizaron técnicas como los diagramas RBD que generaron un entendimiento de las relaciones de los equipos con el funcionamiento completo del sistema de refrigeración, los árboles de fallas que mostraron todos los modos de fallas que pueden presentar un riesgo para el sistema en cualquiera de los ámbitos estudiados, cabe destacar que en algunos casos eran desconocido por el personal de la planta, pues no habían sido considerados o analizados con anterioridad. Junto a la determinación de los modos de fallas existentes, la evaluación y agrupación de estos por probabilidad de falla y consecuencias para obtener un nivel de riesgo permite la generación de datos para posteriores análisis, siendo en primera instancia necesario ratificar la información utilizada y posteriormente mejorar la información con datos obtenido en la práctica. Otro ámbito destacable de la metodología empleada es la categorización de los modos de fallas según su criticidad, pues si bien se identificaron vario modos de falla, pudieron categorizarse y solo ser analizados los modos de falla considerados relevantes y así emplear los recursos finito en los aspectos de mayor relevancia en esta primera instancia, dando la posibilidad de un futuro análisis incluir en los planes de acción a las tareas que ente trabajo no se consideraron relevante o tal vez retirando alguno que haya sido considerado relevante pero en la práctica se observe que no es necesario trabajar.

Con el análisis de costos de las propuestas se obtuvo que es necesario gastar aproximadamente 52 millones de pesos de forma anual para poder llevar a cabo las compras de válvulas y servicios necesarios para el funcionamiento del sistema de refrigeración, al comparar este valor con el ahorrado el año 2019 por el área que fueron aproximadamente 53 millones de pesos, se asume que es un costo que con el presupuesto del área puede ser cubierto. Sin embargo, se analizaron los gastos del año anterior obteniendo que la diferencia de gastos observados en distintos meses del año implican que actualmente no existe una gestión adecuado con respecto a los gatos, del área por ende, junto a incorporar los costos indicados en este trabajo de titulación se debe realizar un análisis de los gastos realizados por el área y comenzar a realizar las

gestiones necesarias para optimizar el uso del presupuestos del área obteniendo el máximo provecho y disminuyendo los gastos innecesarios debido a la falta de análisis crítico. Por otro lado, con los planes de tareas diseñados para la disminución del riesgo del sistema de refrigeración, se deberán emplear 62 horas mensuales, si bien, esta cantidad de horas podría evaluarse con el personal actual de la planta, es necesario considerar que las tareas propuestas no permiten la operación óptima del sistema de refrigeración mientras son desarrolladas, por ende, junto a este plan de mantenimiento se requiere la incorporación de personal para poder realizar las tareas presentadas en este trabajo para no perjudicar las labores de operación de la planta. Sin embargo, se debe considerar que para realizar las tareas presentadas se deben poseer conocimientos de diversas áreas, por ende, para responsabilizar a una persona de dichas labores se deberá capacitar y controlar para asegurar una buena ejecución de las tareas sin aumentar el riesgo de la seguridad del personal o de la continuidad de la operación.

Con respecto a las recomendaciones para la continuidad del plan de mejoras, en primera instancia se debe evaluar y modificar la información utilizada en este trabajo de titulación, ya que, si bien el juicio experto es una método válido para llevar a cabo la metodología empleada, al obtener información de la práctica se debe corroborar y modificar los datos en función del verdadero comportamiento.

Hubo un par de ámbitos que no se desarrollaron en este trabajo con profundidad como lo son la operación y aspectos de seguridad del personal, aunque se tuvieron en cuenta en el desarrollo del trabajo, al enfocarse principalmente en los aspectos técnicos y de mantenimiento estos puntos quedaron pendientes de un análisis con mayor profundidad para asegurar que puedan ser considerados y evaluados de forma óptima.

Con respecto a las capacitaciones del personal en el reglamento se expone que deben ser llevadas a cabo por una entidad externa, la cual tratara tópicos específicos que deben ser conocidos por el personal de operación, sin embargo, se observa que existen conocimientos que difieren dentro del mismo personal, lo cual puede generar inconvenientes e incluso accidentes por criterios que no son compartidos, por ende, se

requiere que exista una estandarización dentro del conocimiento y la acciones que realice el personal para lo cual no se requiere que existan capacitaciones externas, sino más bien una gestión del conocimiento interna de la planta. Por último, un comportamiento clave dentro de la industria en general es trabajar mediante el foco de la mejora continua, por lo cual, la realización de este trabajo debe ser considerada como un primer paso para utilizar estos análisis y metodologías para posteriormente ser evaluados y mejorados, con esto ir obteniendo cada vez mejores resultados tanto para cumplimientos del reglamentos como el estudiado en este trabajo o metodologías como la gestión del riesgo.

9. REFERENCIAS

- A. J. Pistarelli. (2010). *Manual de Mantenimiento Ingeniería, gestión y Organización* (10.^a ed.). Talleres gráficos R y C.
- American Petroleum Institute. (2009). *Risk-Based Inspection API Recommended Practice 580* (2nd. ed.). <http://www.iranrpm.ir/wp-content/uploads/2013/08/API-RP-580-Risk-Based-Inspection-2009.pdf>
- American Society of Heating, Refrigeration and air-conditioning Engineers. (2010). *2010 ASHRAE Handbook: Refrigeration*. ASHRAE.
- *API RP 580 Risk-Based Inspection 2009*. (s. f.). Recuperado 13 de junio de 2020, de <http://www.iranrpm.ir/wp-content/uploads/2013/08/API-RP-580-Risk-Based-Inspection-2009.pdf>
- B. S. Dhillon. (2017). *Engineering systems reliability, safety and maintenance: an integrated approach*. CRC Press.
- Danfoss. (2008). *Válvulas de solenoide de dos tiempos, tipo PMLX*. <http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/01/DKRCI.PD.BR0.A2.05.pdf>
- Danfoss. (2016). *Efectos de la contaminación de agua, en los sistemas de refrigeración con amoníaco*.
- Danfoss. (2018). *Válvula solenoide de dos posiciones - Tipo ICSH 25-80*. 24.

- Instituto Nacional de Normalización. (2017). *Sistemas de refrigeración y climatización - Buenas prácticas para el diseño, armado, instalación y mantenimiento (NCh3241-2011)*.
- International Institute of ammonia refrigeration. (1997). *Guidelines for: IIAR Minimum Safety Criteria for a Safe Ammonia Refrigeration System*.
- International Institute of Ammonia Refrigeration. (2014). *Guidelines for Identification of Ammonia Refrigeration Piping and System Components*.
- International Institute of Ammonia Refrigeration. (2020). *IIAR*.
https://www.iiar.org/IIAR/About_Us/Who_are_our_members/IIAR/About_Us/Who_are_our_members/Who_Are_Our_Members.aspx?hkey=28ca7327-cc2f-49e9-a7c7-d51d7b446f2c
- *Manual-Buenas-Practicas-Refrigeración.pdf*. (s. f.). Recuperado 4 de junio de 2020, de <http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/Manual-Buenas-Practicas-Refrigeraci%C3%B3n.pdf>
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Colombia. (2014). *Manual de buenas prácticas en refrigeración*.
<http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/Manual-Buenas-Practicas-Refrigeraci%C3%B3n.pdf>
- Ministerio de salud, Chile. (2016). *Reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoníaco*.

- Parashuram. R. (2012). *Advantages of Ammonia Refrigerant over HCFC/HFC Refrigerants*.
- Shecco. (2019). *World Guide to Low-Charge Ammonia*.
https://issuu.com/shecco/docs/a21_report_final
- The Fertilizer Institute. (s. f.). *Health Effects of Ammonia*.
<https://www.tfi.org/sites/default/files/documents/HealthAmmoniaFINAL.pdf>
- *Válvula solenoide de dos posiciones - Tipo ICSH*. (s. f.). Recuperado 5 de junio de 2020, de
<https://assets.danfoss.com/documents/DOC265142481630/DOC265142481630.pdf>
- W. F. Stoecker. (1992). *Refrigeración industrial*. Business news pub co.
- Y. Cengel, & M. Boles. (2011). *Termodinámica (Séptima)*. Mc Graw Hill.
- Y. Rivera. (2018). *Administración de sistemas de Refrigeración por Amoníaco*. Seminario IIAR, Santiago.

10. Anexos

10.1. Tablas de probabilidad, consecuencias y riesgos de cada modo de falla

Tabla 31: Tabla con la categoría y probabilidad de falla de cada modo de falla identificado

Equipos	Falla funcional	Modo de falla	Probabilidad de modo de falla	Categoría de la probabilidad de falla
Bombas de amoníaco	Baja presión de descarga	Filtro de succión saturado	1,00	3
		Acumulación de aceite en bomba	2,00	3
		Fuga en cañería	0,20	1
		Impulsor con desgaste	0,33	1
		Rodamiento con lubricación insuficiente	1,00	3
		Falta de amoníaco en bomba	2,50	3
		Desgaste de eje	1,00	3
	Filtración de amoníaco hacia el exterior	Sello mecánico con desgaste	1,00	3
		Resorte con fatiga de material	1,00	3
	Falla motor eléctrico	Cortocircuito de motor	0,33	1
		Rodamiento con lubricación insuficiente	0,33	1
Condensadores evaporativos	Falla sistema de ventilación	Cortocircuito de motor	0,33	1
		Rodamiento motor eléctrico con lubricación insuficiente	0,33	1
		Rodamiento eje ventilador con lubricación insuficiente	0,50	2
		Corte de correa de transmisión	1,00	3
		Polea con desgaste	0,20	1
	Falla bomba de agua	Cortocircuito de motor	0,33	1
		Rodamiento motor eléctrico con lubricación insuficiente	0,33	1
		Rodete con desgaste	0,20	1
		Sello mecánico con desgaste	1,00	3
		Rodamiento con lubricación insuficiente	0,50	2

	Baja eficiencia de transferencia de calor	Aspersores obstruidos	0,33	1
		Corta gotas roto	0,20	1
		Acumulación de gases no condensables	6,00	4
		Incrustación en cañerías	0,20	1
	Filtración de amoníaco hacia el exterior	Rotura de cañería	0,10	1
	Falla válvulas de seguridad	Falla válvula de seguridad	0,07	1
Evaporadores	Falla sistema de ventilación	Cortocircuito de motor	0,33	1
		Rodamientos de motor eléctrico con lubricación insuficiente	0,33	1
		Desgaste o quebradura de aspa	0,20	1
	Baja eficiencia de transferencia de calor	Evaporador obstruido por agentes externos	6,00	4
		Filtro de línea de líquido obstruido	1,00	3
		Bobina quemada de electroválvula de líquido	0,33	1
		Asiento de electroválvula de líquido dañada	0,33	1
		Pieza móvil de electroválvula de líquido desgastada	0,50	2
		Filtro de línea de gas caliente obstruido	1,00	3
		Bobina quemada de electroválvula de gas caliente	0,33	1
		Asiento de electroválvula de gas caliente dañada	0,33	1
		Pieza móvil de electroválvula de gas caliente desgastada	0,50	2
		Bobina quemada de electroválvula de succión	0,33	1
		Asiento de electroválvula de succión dañada	0,33	1
		Pieza móvil de electroválvula de succión desgastada	0,50	2
		Filtración de amoníaco hacia el exterior	Rotura de cañería	0,10
	Por sello válvulas (o 'ring, empaquetaduras)		3,00	4
	Fisura válvula		0,10	1
	Desgaste pieza móvil		0,50	2
Compresores	Falla en motor eléctrico	Cortocircuito	0,20	1
		Falla rodamiento	0,50	2
	Bajo nivel de aceite	Sello mecánico	0,33	1
		Filtro coalescente	0,25	1
		Sello bomba de aceite	0,20	1

		Línea retorno de aceite obstruido	5,00	4
Alta presión de condensación		Gases no condensables en condensadores	6,00	4
		Condensador detenido o deficiente	11,63	4
	Diferencial de presión alta de filtro de aceite	Filtro saturado	6,00	4
Alta temperatura de aceite	Temperatura de aceite	0,20	1	
Baja presión de aceite	Falla bomba de aceite	0,20	1	
Filtración de amoníaco hacia el exterior	Sello mecánico con desgaste	0,20	1	
	Filtración por capilar roto	0,20	1	
Falla en válvula de seguridad	Falla en válvula de seguridad	0,07	1	
Estanque de bombeo	Filtración de amoníaco hacia el exterior	Rotura de placa de acero	0,05	1
	Falla inyección de líquido	Bobina quemada	0,33	1
		Asiento de válvula dañada	0,33	1
	Pieza móvil desgastada	0,50	2	
Falla en válvula de seguridad	Falla válvula de seguridad	0,07	1	
Estanque acumulador de alta presión	Filtración de amoníaco hacia el exterior	Rotura de estanque	0,05	1
	Bajo de nivel de amoníaco en sistema	Pérdidas de amoníaco	2,50	3
Falla en válvula de seguridad	Falla válvula de seguridad	0,07	1	

Tabla 32: Tabla con las consecuencias de todos los modos de fallas identificados de los equipos evaluados

Equipos	Falla funcional	Modo de falla	Medio ambiente	Seguridad y salud	Producción	Costo de mantenimiento
Bombas de amoniaco	Baja presión de descarga	Filtro de succión saturado	1	1	3	1
		Acumulación de aceite en bomba	1	1	3	1
		Fuga en cañería	1	5	5	3
		Impulsor con desgaste	1	1	3	1
		Rodamiento con lubricación insuficiente	1	1	3	1
		Falta de amoniaco en bomba	1	1	3	1
		Desgaste de eje	1	1	3	1
	Filtración de amoniaco hacia el exterior	Sello mecánico con desgaste	1	3	5	1
		Resorte con fatiga de material	1	3	5	1
	Falla motor eléctrico	Cortocircuito de motor	1	1	5	1
Rodamiento con lubricación insuficiente		1	1	5	1	
Condensadores evaporativos	Falla sistema de ventilación	Cortocircuito de motor	1	1	3	1
		Rodamiento motor eléctrico con lubricación insuficiente	1	1	3	1
		Rodamiento eje ventilador con lubricación insuficiente	1	1	3	1
		Corte de correa de transmisión	1	1	3	1
		Polea con desgaste	1	1	3	1
		Falla bomba de agua	Cortocircuito de motor	1	1	5

		Rodamiento motor eléctrico con lubricación insuficiente	1	1	5	1
		Rodete con desgaste	1	1	5	1
		Sello mecánico con desgaste	1	1	5	1
		Rodamiento con lubricación insuficiente	1	1	5	1
	Baja eficiencia de transferencia de calor	Aspersores obstruidos	1	1	3	1
		Corta gotas roto	1	1	3	1
		Acumulación de gases no condensables	1	1	3	1
		Incrustación en cañerías	1	1	3	1
	Filtración de amoníaco hacia el exterior	Rotura de cañería	1	5	5	3
	Falla válvulas de seguridad	Falla válvula de seguridad	1	5	1	1
Evaporadores	Falla sistema de ventilación	Cortocircuito de motor	1	1	3	1
		Rodamientos de motor eléctrico con lubricación insuficiente	1	1	3	1
		Desgaste o quebradura de aspa	1	1	3	1
	Baja eficiencia de transferencia de calor	Filtro de línea de líquido obstruido	1	1	3	1
		Bobina quemada de electroválvula de líquido	1	1	3	1
		Asiento de electroválvula de líquido dañada	1	1	3	1
		Pieza móvil de electroválvula de líquido desgastada	1	1	3	1
		Filtro de línea de gas caliente obstruido	1	1	3	1
		Bobina quemada de electroválvula de gas caliente	1	1	3	1
		Asiento de	1	1	3	1

		electroválvula de gas caliente dañada				
		Pieza móvil de electroválvula de gas caliente desgastada	1	1	3	1
		Bobina quemada de electroválvula de succión	1	1	3	1
		Asiento de electroválvula de succión dañada	1	1	3	1
		Pieza móvil de electroválvula de succión desgastada	1	1	3	1
		Rotura de cañería	1	1	3	1
	Filtración de amoniaco hacia el exterior	Por sello válvulas (o ring, empaquetaduras)	1	5	5	3
		Fisura válvula	1	3	5	1
		Desgaste pieza móvil	1	3	5	1
		Cortocircuito	1	1	5	1
Compresores	Falla en motor eléctrico	Falla rodamiento	1	1	3	5
		Sello mecánico	1	1	3	3
	Bajo nivel de aceite	Filtro coalescente	1	3	3	1
		Sello bomba de aceite	1	1	3	5
		Línea retorno de aceite obstruido	1	3	3	3
	Alta presión de condensación	Gases no condensables en condensadores	1	1	3	1
		Condensador detenido o deficiente	1	1	3	1
	Diferencial de presión alta de filtro de aceite	Filtro saturado	1	1	3	1
	Baja temperatura de aceite	Desgaste de pieza móvil en válvula de líquido para enfriar compresor	1	1	3	1
	Baja presión de aceite	Falla bomba de aceite	1	1	3	1
	Filtración de amoniaco hacia el exterior	Sello mecánico con desgaste	1	1	3	3
		Filtración por capilar roto	1	1	3	1

	Baja eficiencia de compresión	Alineamiento incorrecto	1	1	3	5
	Falla en válvula de seguridad	Falla en válvula de seguridad	1	5	3	3
Estanque de bombeo	Filtración de amoníaco hacia el exterior	Rotura de placa de acero	1	5	5	5
	Falla inyección de líquido	Bobina quemada	1	1	5	1
		Asiento de válvula dañada	1	1	3	1
		Pieza móvil desgastada	1	1	3	1
	Falla en válvula de seguridad	Falla válvula de seguridad	1	5	1	3
Estanque acumulador de alta presión	Filtración de amoníaco hacia el exterior	Rotura de estanque	1	5	5	5
	Bajo de nivel de amoníaco en sistema	Pérdidas de amoníaco	1	1	3	3
	Falla en válvula de seguridad	Falla válvula de seguridad	1	5	1	3

Tabla 33. Riesgo obtenido para cada modo de falla identificado en los equipos evaluados

Equipos	Falla funcional	Modo de falla	Riesgo medio ambiente	Riesgo de seguridad y salud	Riesgo en producción	Riesgo costo de mantenimiento y reparaciones
Bombas de amoníaco	Baja presión de descarga	Filtro de succión saturado	3	3	9	3
		Acumulación de aceite en bomba	3	3	9	3
		Fuga en cañería	1	5	5	3
		Impulsor con desgaste	1	1	3	1
		Rodamiento con lubricación insuficiente	3	3	9	3

		Falta de amoniaco en bomba	4	4	12	4
		Desgaste de eje	3	3	9	3
	Filtración de amoniaco hacia el exterior	Sello mecánico con desgaste	3	9	15	3
		Resorte con fatiga de material	3	9	15	3
	Falla motor eléctrico	Cortocircuito de motor	1	1	5	1
		Rodamiento con lubricación insuficiente	1	1	5	1
Condensadores evaporativos	Falla sistema de ventilación	Cortocircuito de motor	1	1	3	1
		Rodamiento motor eléctrico con lubricación insuficiente	1	1	3	1
		Rodamiento eje ventilador con lubricación insuficiente	2	2	6	2
		Corte de correa de transmisión	3	3	9	3
		Polea con desgaste	1	1	3	1
		Falla bomba de agua	Cortocircuito de motor	1	1	5
	Rodamiento motor eléctrico con lubricación insuficiente		1	1	5	1
	Rodete con desgaste		1	1	5	1
	Sello mecánico con desgaste		3	3	15	3
	Rodamiento con lubricación insuficiente		2	2	10	2
	Baja eficiencia de transferencia de calor		Aspersores obstruidos	1	1	3
		Corta gotas roto	1	1	3	1
		Acumulación de gases no condensables	4	4	12	4
		Incrustación en cañerías	1	1	3	1
	Filtración de amoniaco hacia el exterior	Rotura de cañería	1	5	5	3
	Falla válvulas de seguridad	Falla válvula de seguridad	1	5	1	1

Evaporadores	Falla sistema de ventilación	Cortocircuito de motor	1	1	3	1
		Rodamientos de motor eléctrico con lubricación insuficiente	1	1	3	1
		Desgaste o quebradura de aspa	1	1	3	1
	Baja eficiencia de transferencia de calor	Filtro de línea de líquido obstruido	3	3	9	3
		Bobina quemada de electroválvula de líquido	1	1	3	1
		Asiento de electroválvula de líquido dañada	1	1	3	1
		Pieza móvil de electroválvula de líquido desgastada	2	2	6	2
		Filtro de línea de gas caliente obstruido	3	3	9	3
		Bobina quemada de electroválvula de gas caliente	1	1	3	1
		Asiento de electroválvula de gas caliente dañada	1	1	3	1
		Pieza móvil de electroválvula de gas caliente desgastada	2	2	6	2
		Bobina quemada de electroválvula de succión	1	1	3	1
		Asiento de electroválvula de succión dañada	1	1	3	1
		Pieza móvil de electroválvula de succión desgastada	2	2	6	2
		Rotura de cañería	1	5	5	3
		Filtración de amoníaco hacia el exterior	Por sello válvulas (o 'ring, empaquetaduras)	4	12	20
	Fisura válvula		1	3	5	1
	Desgaste pieza móvil		2	2	10	2
	Cortocircuito		1	1	3	5
Compresores	Falla en motor eléctrico	Falla rodamiento	2	2	6	6
		Sello mecánico	1	3	3	1
	Bajo nivel	Filtro coalescente	1	1	3	5

	de aceite	Sello bomba de aceite	1	3	3	3
		Línea retorno de aceite obstruido	4	4	12	4
	Alta presión de condensación	Gases no condensables en condensadores	4	4	12	4
		Condensador detenido o deficiente	4	4	12	4
	Diferencial de presión alta de filtro de aceite	Filtro saturado	1	1	3	1
	Baja temperatura de aceite	Temperatura de aceite	1	1	3	1
	Baja presión de aceite	Desgaste de pieza móvil en válvula de líquido para enfriar compresor	1	1	3	3
	Filtración de amoníaco hacia el exterior	Sello mecánico con desgaste	1	1	3	1
		Filtración por capilar roto	1	5	3	3
	Falla en válvula de seguridad	Falla en válvula de seguridad	1	5	5	5
Estanque de bombeo	Filtración de amoníaco hacia el exterior	Rotura de placa de acero	1	1	5	1
	Falla inyección de líquido	Asiento de válvula dañada	1	1	3	1
		Pieza móvil desgastada	2	2	6	2
		Bobina quemada	1	5	1	3
Falla en válvula de seguridad	Falla válvula de seguridad	1	5	5	5	
Estanque acumulador de alta presión	Filtración de amoníaco hacia el exterior	Rotura de estanque	3	3	9	9
	Bajo de nivel de amoníaco en sistema	Pérdidas de amoníaco	1	5	1	3

	Falla en válvula de seguridad	Falla válvula de seguridad				
--	-------------------------------	----------------------------	--	--	--	--

Tabla 34: Tabla con la suma de riesgos de cada equipo, en los 4 ámbitos evaluados

<i>Equipos</i>	<i>Riesgo de medio ambiente</i>	<i>Riesgo en seguridad y salud</i>	<i>Riesgo de producción</i>	<i>Riesgo en costo de mantenimiento</i>
<i>Bombas de amoniaco</i>	26	42	96	28
<i>Compresores</i>	28	36	84	50
<i>Condensadores evaporativos</i>	25	33	91	27
<i>Estanque acumulador de alta presión</i>	5	13	15	17
<i>Estanque de bombeo</i>	6	14	20	12
<i>Evaporadores</i>	29	43	103	31
<i>Total general</i>	119	181	409	165

10.2. Gráficos burbuja de los riesgos en cada ámbito evaluado

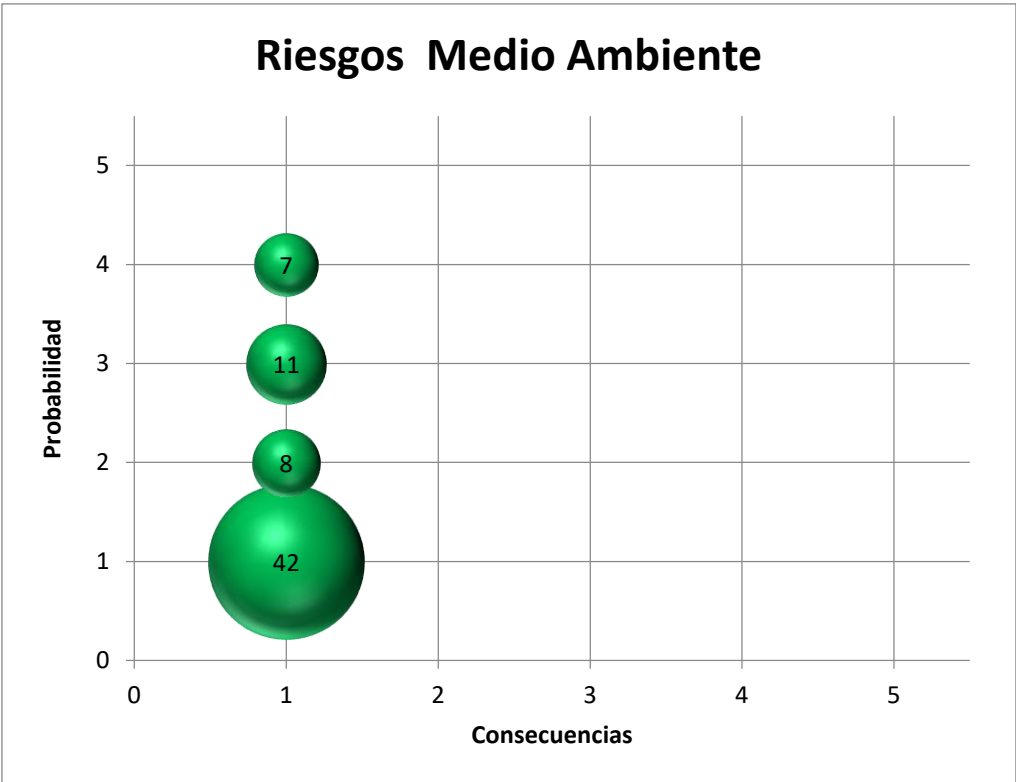


Figura10.2-1: Gráfico de burbuja que muestra la distribución de los riesgos evaluados en el medio ambiente

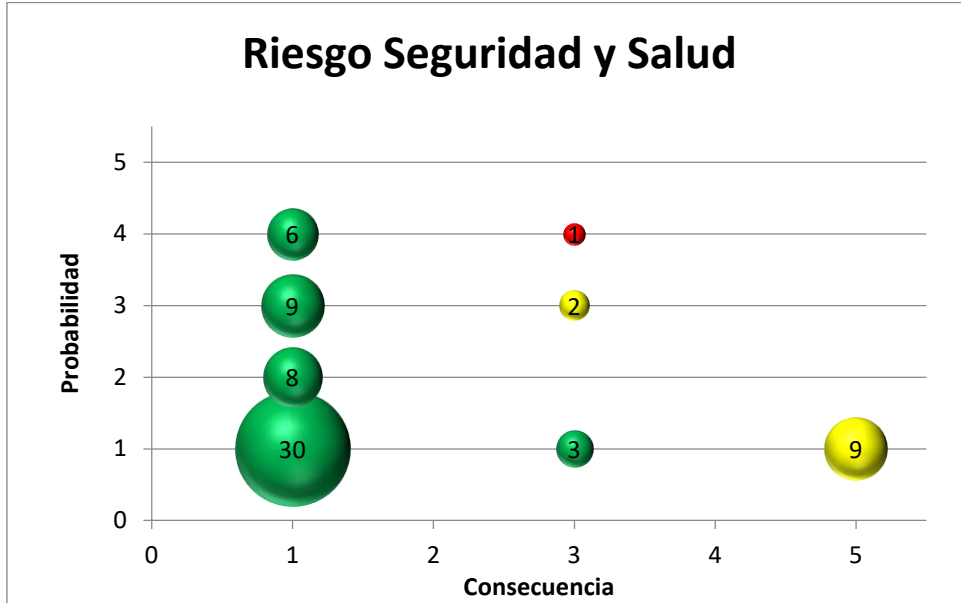


Figura 10.2-2: Gráfico de burbuja que muestra la distribución de los riesgos evaluados en seguridad y salud

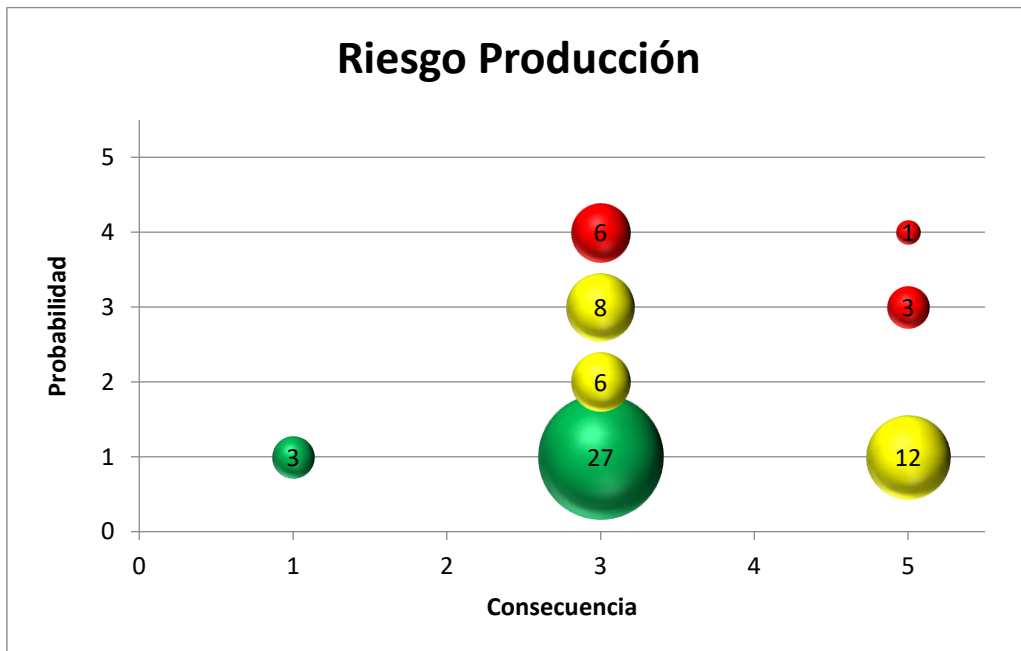


Figura 10.2-3: Gráfico de burbuja que muestra la distribución de los riesgos evaluados en producción

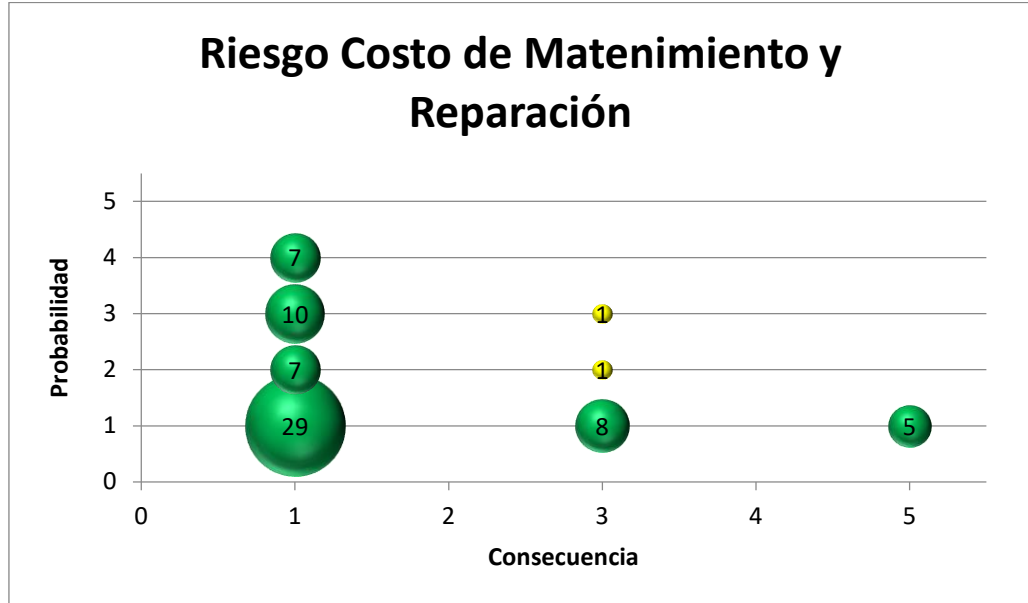


Figura 10.2-4: Gráfico de burbuja que muéstrala distribución de los riesgos evaluados en costo de mantenimiento y reparación

10.3. Árboles de fallas complementarios

10.3.1. Evaporador

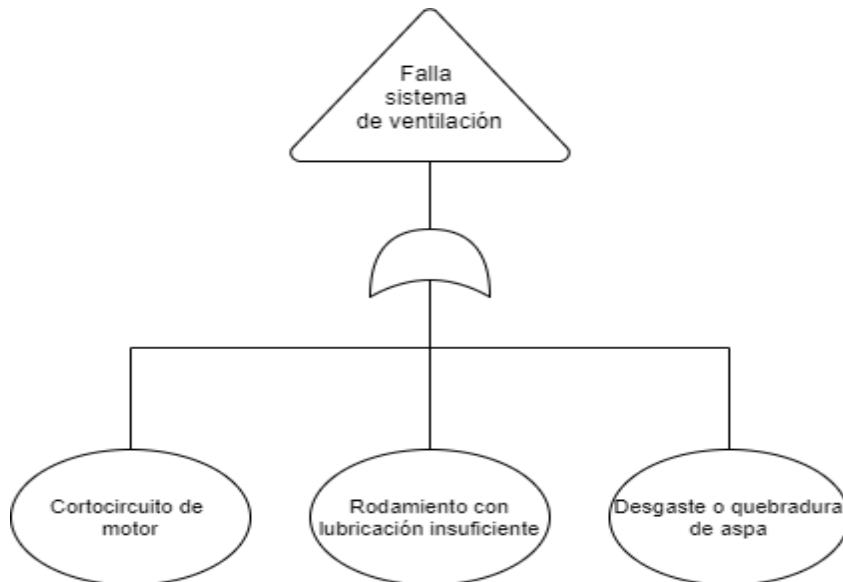


Figura 10.3.1-1: Árbol de falla de la falla del sistema de ventilación

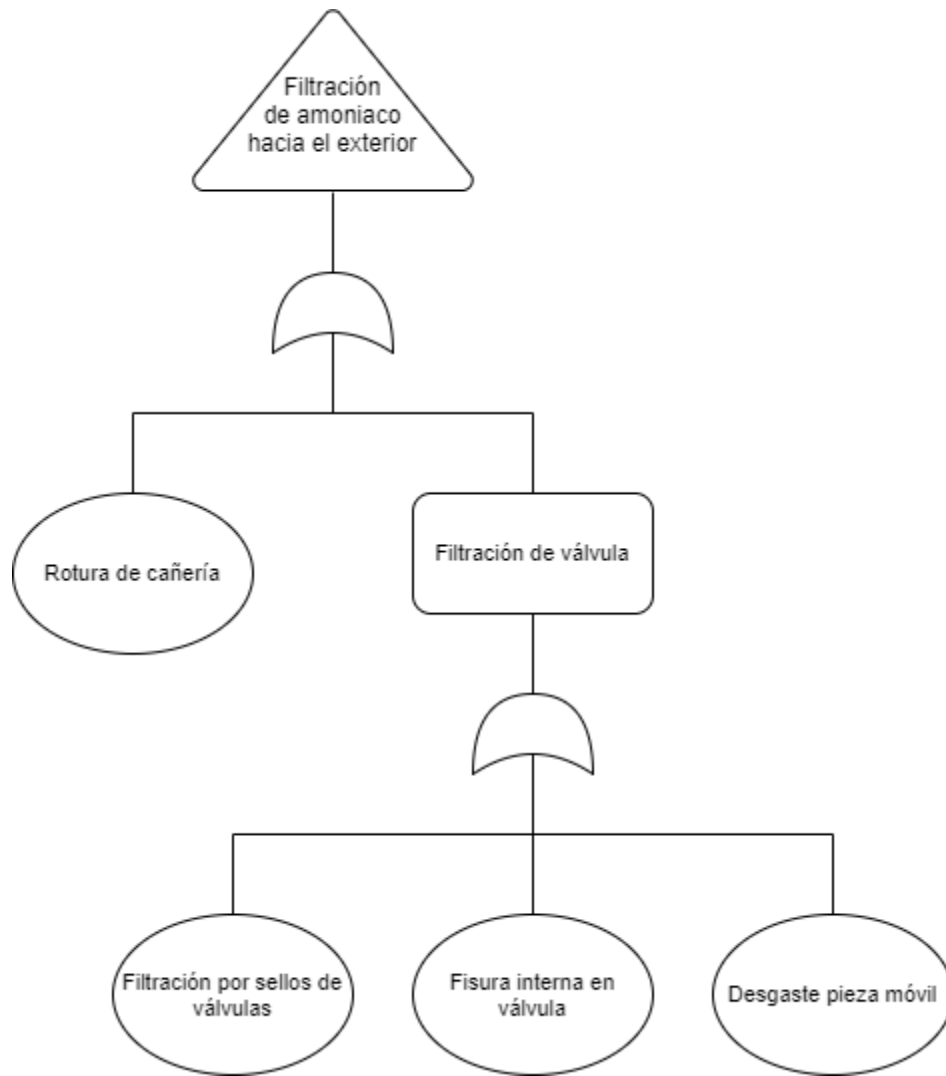


Figura 10.3.1-2: Árbol de falla de la filtración de amoniaco hacia el exterior

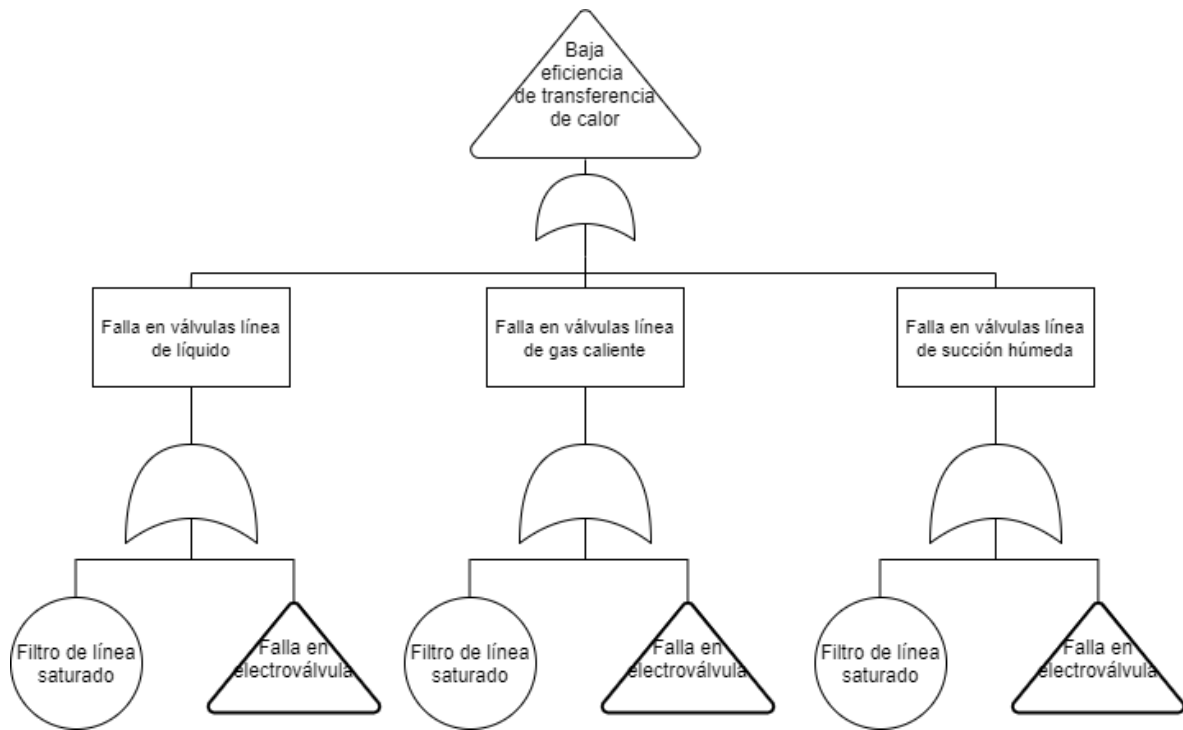


Figura 10.3.1-3: Árbol de falla de la baja eficiencia de transferencia de calor

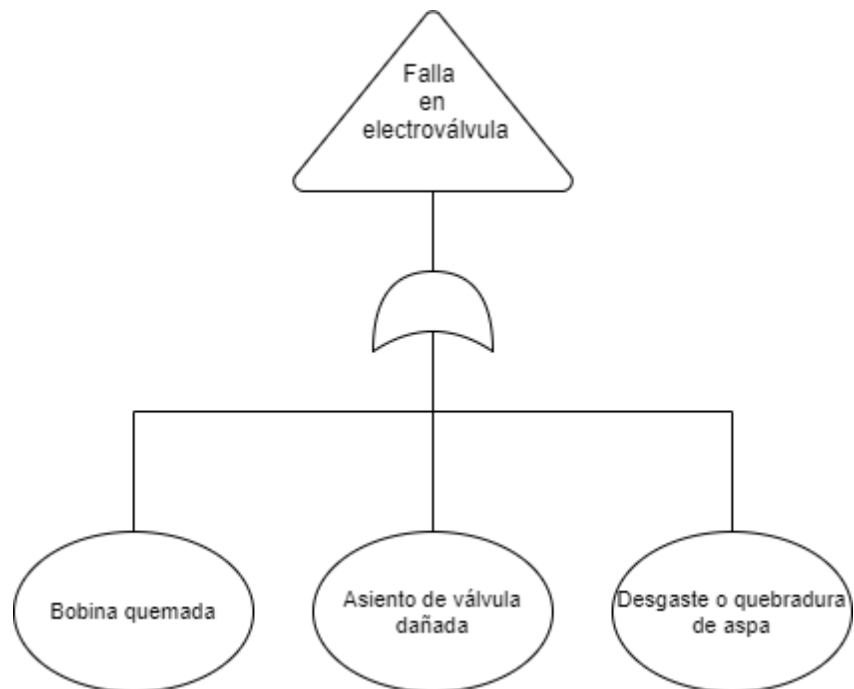
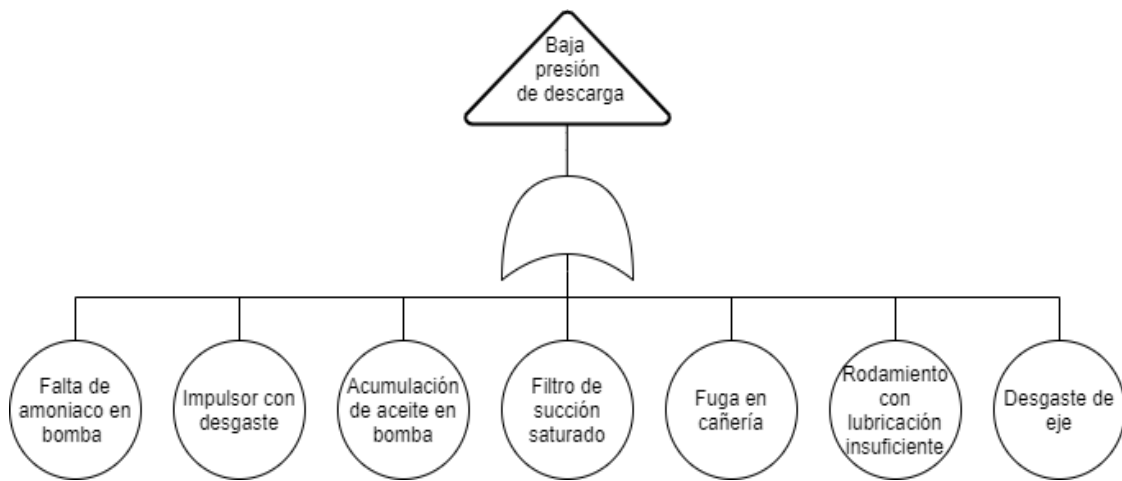


Figura 10.3.1-4: Árbol de falla de la falla de una electroválvula

10.3.2. Bombas de amoniaco



10.3.3. Compresores

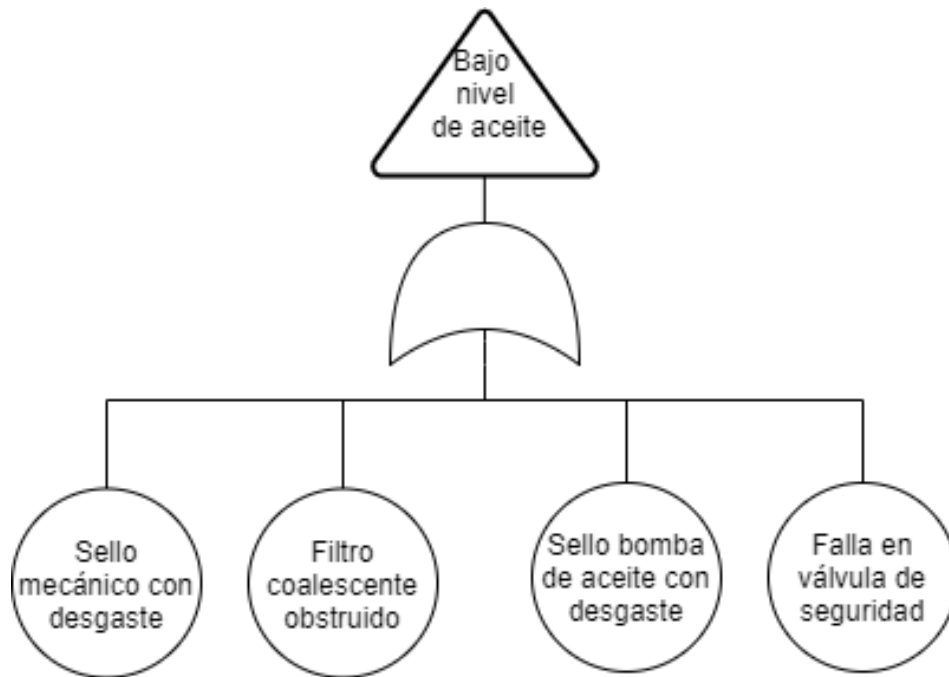


Figura 10.3.3-1: Árbol de falla de un bajo nivel de aceite

10.3.4. Condensadores evaporativos

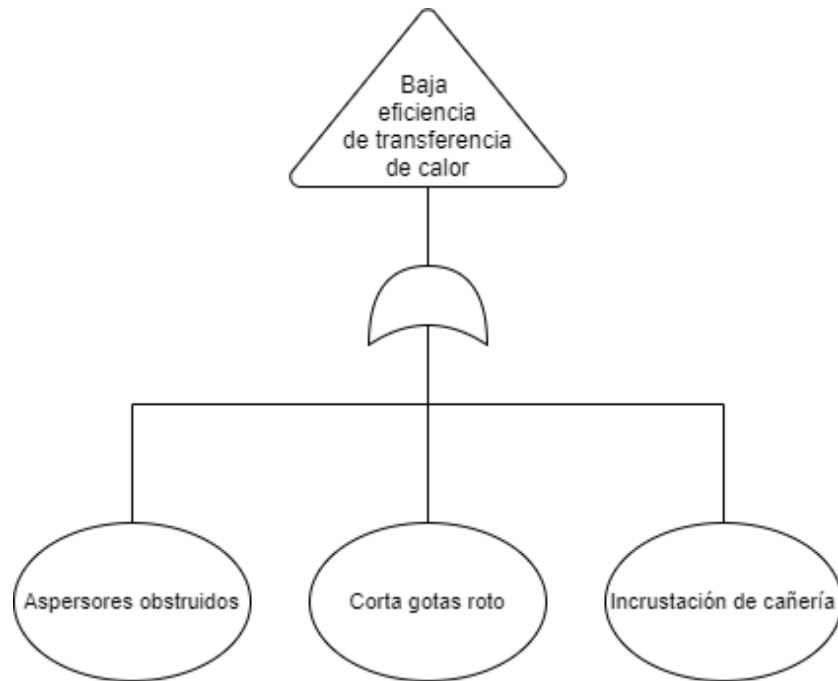


Figura 10.3.4-1: Árbol de falla de una baja eficiencia de transferencia de calor

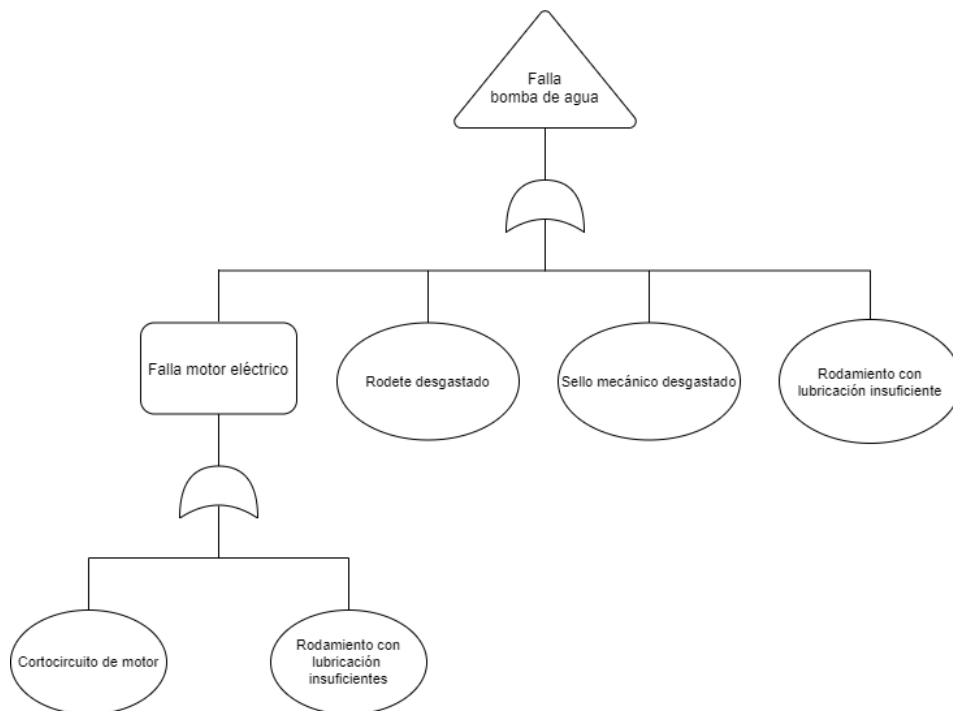


Figura 10.3.4-2: Árbol de falla de la falla de una bomba de agua

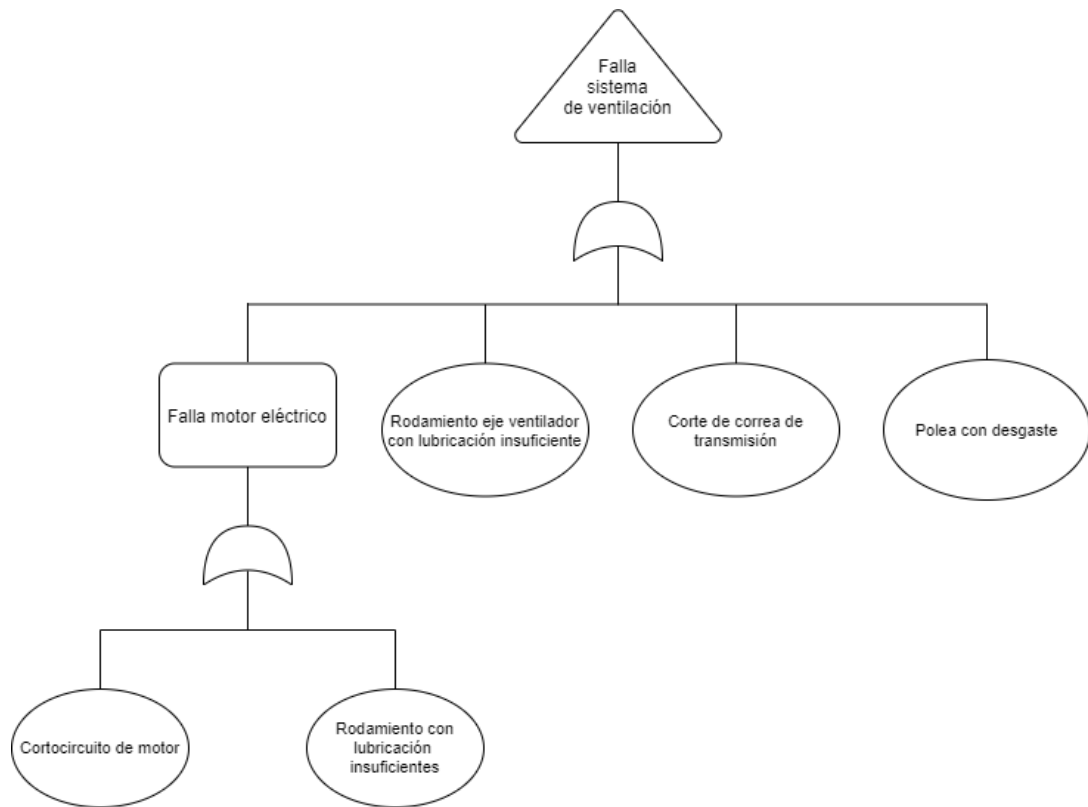


Figura 10.3.4-3: Árbol de falla de la falla del sistema de ventilación

10.4. Estado inicial y final de requerimientos del reglamento sobre condiciones de seguridad

Tabla 35: Tabla con la evolución del estado de los requerimientos del reglamento sobre condiciones de seguridad

Nº de artículo	Nº Meses posterior a publicación	Contenido artículo	Estado planta	Estado final	Tarea a Realizar
3	3	Carga de amoniaco	Cumple	Cumple	
3	3	Plano de planta con ubicación equipos principales	No cumple	Cumple	
3	3	Datos operadores	No cumple	Cumple	
4	12	Plan de emergencia (programa de capacitación)	Cumple parcialmente	Cumple parcialmente	Revisar plan de emergencia actual y modificar si es necesario. Calendarizar capacitaciones.
4	12	Registro detallado hoja de vida válvulas de seguridad	No cumple	Cumple	
4	12	Registro detallado hoja de vida detectores de amoniaco	No cumple	Cumple	
4	12	Programa escrito de mantenimiento preventivo	No cumple	Cumple	
4	12	Matriz de riesgo con medidas de control y mitigación	No cumple	Cumple	
4	12	Manual de operación del sistema de refrigeración	No cumple	En proceso	Crear Manual Operación
4	12	Proyecto del sistema de refrigeración(proyectista, descripción técnica, diagrama de flujo)	No cumple	No cumple	Recopilar información
5	36	Hoja vida estanques del sistema	No cumple	No cumple	Recopilar información

6	12	La operación, mantención o reparación debe ser realizado por un técnico frigorista	Cumple parcialmente	En proceso	Falta capacitación por organismo o institución reconocida por el estado
7	12	Operador permanente	Cumple	Cumple	
8	12	Capacitación y entrenamiento de las personas que trabajen en los sistemas de refrigeración con amoniaco	Cumple parcialmente	En proceso	Falta entrenamiento, certificado o definir criterios mínimos para la realización de labores
9	12	Prohibición fumar, y cualquier tipo de fuego exceptuando soldaduras, chispas	Cumple	Cumple	
10	12	No pueden haber equipos con chispa, llama o inyección de aire en sectores que existan equipos de refrigeración	Cumple	Cumple	
11	3	Contar con plan de contingencia y procedimiento de trabajo seguro para corte y soldadura	Cumple	Cumple	
12	12	Elaboración de un programa de elementos de protección personal	No cumple	No cumple	Generar programa de elementos de protección personal
13	12	Capacitaciones según cargo del personal	No cumple	No cumple	Comunicar área de personal sobre la capacitación que se deberán realizar una vez publicado el reglamento
14	12	Definición de curso de Capacitaciones según niveles	No cumple	No cumple	Comunicar área de personal sobre la capacitación que se deberán realizar una vez publicado el reglamento
15	12	Horas pedagógicas y contenidos mínimos de cursos de capacitación	No aplica	No aplica	

16	12	Competencias profesionales y responsabilidades o funciones de personal a cargo	No cumple	No cumple	Comunicar área de personal sobre la capacitación que se deberán realizar una vez publicado el reglamento
17	3	Condiciones a cumplir para cada proyecto o ampliación	No cumple	No cumple	Generar un procedimiento de trabajo para nuevos proyectos o ampliación
18	12	El diseño o modificación del sistema de refrigeración debe ser realizado por un proyectista competente	Cumple	Cumple	
19	12	La implementación de los nuevos sistema de refrigeración o sus modificaciones las debe realizar un instalador y debe contar con la aprobación formal del proyectista	Cumple parcialmente	Cumple parcialmente	Las nuevas instalaciones cumple, sin embargo, las modificaciones no se realizan según aprobación de proyectistas.
20	12	La planta debe tener a lo menos 2 zonas de seguridad en lados opuestos, además de veletas	Cumple	Cumple	
21	12	Contar con a lo menos 2 equipos de respiración autónoma, capacitación, carga y mantención al día	Cumple	Cumple	
22	12	Contar con sistema de detección de amoniaco, calibrado y mantenido según fabricante	No cumple	Cumple	
23	12	Equipos con condición de tránsito e iluminación correctos según fabricante y DS. N°594 1999	No cumple	No cumple	Comunicar al área de prevención de riesgos la necesidad de evaluar las condiciones de transito e iluminación
24	12	Protección contra daños mecánicos de equipos o elementos del sistema de refrigeración expuestos al tráfico vehicular	Cumple	Cumple	
25	12	Cruces de cañerías por muros, pisos y techos deben ser sellados	Cumple	Cumple	
26	12	No se debe utilizar termómetros de mercurio en instalaciones con	Cumple	Cumple	

		sistemas de refrigeración por amoníaco,			
27	12	Válvulas de seguridad deben estar instaladas directamente en el sistema	Cumple	Cumple	
28	12	Existencia de señales de advertencia y barreras físicas para impedir acceso personal no autorizado	Cumple	Cumple	
29	12	Existencia de 2 o más vías de escape en diferentes direcciones, libres de obstáculo y apertura hacia afuera	No cumple	No cumple	Estudiar posibles soluciones
30	12	Ducha y lava ojos en el exterior de cada puerta a no más de 10 metros con accionamiento rápido	Cumple	Cumple	
31	12	Ninguna abertura desde la sala de máquina podrá comunicarse con la vías de escape de la planta	No cumple	No cumple	Estudiar posibles soluciones
32	12	Sistema de ventilación natural o forzado para que T° no exceda los 40[°C]	No cumple	No cumple	Estudiar posibles soluciones
33	12	Sistema de ventilación forzado que opere de forma automática en caso de fuga (opción manual)	No cumple	No cumple	Estudiar posibles soluciones
34	3	SADEMA provista de lugar para colación y servicio higiénico exclusivo para operador	No aplica	No aplica	
35	12	Diagrama de flujo simplificada con válvulas de corte para su uso en caso de emergencia	No cumple	No cumple	Realizar diagrama de flujo simplificado del sistema de refrigeración
35	12	Registro de recargas de amoniaco. Si las recargas anuales son >15% determinar causa e informas	No cumple	Cumple	
35	12	Diagramas de flujo actualizado del sistema de refrigeración	No cumple	No cumple	Realizar diagrama de flujo actualizado del sistema de refrigeración
35	12	Plano de planta instalación completa (equipos, Sadema, y ruteo de cañerías)	No cumple	No cumple	Realizar plano de planta de la instalación completa

35	12	Especificaciones técnicas de los equipos principales	No cumple	Cumple	
35	12	Proyecto eléctrico (diagrama unilineal de fuerzas y control), plano canalizaciones eléctricas y cuadro carga	No cumple	No cumple	Realizar proyecto eléctrico del sistema
35	12	Descripción del proyecto de refrigeración	No cumple	Cumple	
36	12	Identificación de estado y sentido de circulación del refrigerante en las cañerías	No cumple	No cumple	Rotular cañerías
37	12	Contar con procedimiento escrito de trabajo seguro de la operación (incluye correcto llenado de libros de operación y novedades)	No cumple	En proceso	Realizar procedimientos escritos de operación
38	3	Procedimiento escrito de mantenimiento preventivo de cada sistema de refrigeración	No cumple	En proceso	Realizar procedimientos escritos de mantenimiento
39	12	Mantener sistema de refrigeración libre de fuga e investigar y reportar todo olor o fuga que se detecte	No cumple	Cumple	
40	12	Mantener diagrama de flujo a la vista y diagrama de flujo simplificado para emergencias fuera de SADEMA y portería	No cumple	No cumple	Definir Diagramas requeridos
41	12	Libros necesarios para la operación del sistema de refrigeración	Cumple parcialmente	Cumple	
42	12	Los libros de novedades y de operación diaria, plan de emergencia, procedimiento y mantenimiento deben estar en lugar seguro, seco y de fácil acceso	Cumple parcialmente	Cumple	

10.5. Planes de mantenimiento en formato Fractal

Tabla 36: Plan de mantenimiento de condensadores evaporativos en formato Fractal

NOMBRE DEL PLAN	NOMBRE DE LA TAREA	FRECUENCIA DE LA TAREA	TIPO DE TAREA	CLASIFICACION 1	CLASIFICACION 2	PRIORIDAD	DURACIÓN ESTIMADA	TIEMPO DE PARO [MIN]	NOMBRE DE LA SUBTAREA	TIPO DE DATO SUBTAREA
CONDENSADORES EVAPORATIVOS	REVISION CADA 1 AÑO	CADA 1 AÑO (INVIERNO)	MANTENIMIENTO PERIODICO	TÉCNICO FRIGORISTA	INSPECCIONAR	MEDIA	1 DÍA	1 DÍA	GENERAR ANALISIS SEGURO DE TRABAJO	NUMERO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									PROBLEMAS PARA RETIRAR LA PROTECCION DEL EQUIPO	SI/NO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									REEMPLAZAR CORREAS	SI/NO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									VERIFICAR ESTADO DEL CORTAGOTAS DEL EQUIPO	VERIFICACION
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									VERIFICAR ESTADO DEL CORTAGOTAS DEL EQUIPO	VERIFICACION
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									DESTAPAR ROCIADOR DE AGUA DEL EQUIPO	SI/NO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									VERIFICAR EL ESTADO DE LAS HELICES DEL EQUIPO	VERIFICACION
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									VERIFICAR ESTADO DE POLEAS DEL EQUIPO	VERIFICACION
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									OBSERVACIONES	TEXTO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS	REVISION BOMBA DE AGUA CADA 4 MESES	CADA 4 MESES	MANTENIMIENTO PERIODICO	TECNICO FRIGORISTA	LUBRICAR	MEDIA	1,5 HORAS	1,5 HORAS	BOMBA FUNCIONANDO	SI/NO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									BOMBA DE AGUA PRESENTA FUGA POR SELLO	SI/NO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									BOMBA DE AGUA PRESENTA RUIDO EXCESIVO	SI/NO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									OBSERVACIONES	TEXTO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS	CAMBIO DE MOTOR ELECTRICO CADA 1 AÑO	CADA 1 AÑO (INVIERNO)	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	TÉCNICO FRIGORISTA	REEMPLAZAR	ALTA	3 HORAS	3 HORAS	GENERAR ANALISIS SEGURO DE TRABAJO	NUMERO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									REEMPLAZAR MOTOR ELECTRICO CON PROBLEMA	SI/NO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE MOTOR REEMPLAZADA	VERIFICACION
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									NUMERO DE MOTOR NUEVO	NUMERO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									NUMERO DE MOTOR REEMPLAZADO	NUMERO

CONDENSADORES EVAPORATIVOS									OBSERVACIONES	TEXTO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS	LUBRICACION DE BOMBA CADA 2 MESES	2 MESES	MANTENIMIENTO PERIODICO	TECNICO FRIGORISTA	LUBRICACION	MEDIA	15	0	BOMBA EN FUNCIONAMIENTO	SI / NO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									NUMERO DE BOMBA	NUMERO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									VERIFICAR ESTADO DE GRASA EN RODAMIENO	VERIFICACION
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									LUBRICAR CON GRASA	SI / NO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									OBSERVACIONES	TEXTO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS	MEDICION CADA 6 MESES MOTOR ELECTRICO DE BOMBA DE AGUA	6 MESES	MANTENIMIENTO PERIODICO	TECNICO FRIGORISTA	MEDIR	MEDIA	30	0	NUMERO DE MOTOR	NUMERO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									NUMERO DE BOMBA	NUMERO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									MEDIR TEMPERATURA DE MOTOR ELECTRICO CON TERMOMETRO LASER	MEDIDOR
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									MEDIR AISLACION DE MOTOR	MEDIDOR
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									OBSERVACIONES	TEXTO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS	REEMPLAZO DE BOMBA CADA 1 AÑO	1 AÑO	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	TECNICO FRIGORISTA	REEMPLAZAR	ALTA	120	120	NUMERO DE AST	NUMERO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									NUMERO DE BOMBA SALIENTE	NUMERO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									NUMERO DE BOMBA REEMPLAZADA	NUMERO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									RETIRAR BOMBA INSTALADA	SI / NO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									INSTALAR BOMBA CON MANTENIMIENTO	SI / NO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									VERIFICAR SENTIDO DE GIRO	VERIFICACION
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									PRESION DE DESCARGA DE BOMBA INSTALADA	NUMERO
CONDENSADORES EVAPORATIVOS									OBSERVACIONES	TEXTO

Tabla 37: Plan de mantenimiento de las bombas de amoniaco en formato Fractal

NOMBRE DEL PLAN	NOMBRE DE LA TAREA	FRECUENCIA DE LA TAREA	TIPO DE TAREA	CLASIFICACION 1	CLASIFICACION 2	PRIORIDAD	DURACIÓN ESTIMADA	TIEMPO DE PARO [MIN]	NOMBRE DE LA SUBTAREA	TIPO DE DATO SUBTAREA
BOMBAS DE AMONIACO	REVISAR NIVEL DE ACEITE DE BOMBA CADA 2 SEMANAS	2 SEMANAS	MANTENIMIENTO PERIODICO	TECNICO FRIGORISTA	LUBRICACION	MEDIA	15	0	BOMBA EN FUNCIONAMIENTO	SI / NO
									NUMERO DE BOMBA	NUMERO
									VERIFICAR NIVEL DE ACEITE DE BOMBA	VERIFICACION
									VERIFICAR ESTADO DEL ACEITE	VERIFICACION
									CANTIDAD APROX. DE ACEITE INCORPORADO	NUMERO
									SE LIMPIO EL DEPOSITO DE ACEITE DE LA BOMBA	SI / NO
OBSERVACIONES	TEXTO									
BOMBAS DE AMONIACO	MEDICION CADA 6 MESES MOTOR ELECTRICO	6 MESES	MANTENIMIENTO PERIODICO	TECNICO FRIGORISTA	MEDIR	MEDIA	30	0	NUMERO DE MOTOR	NUMERO
									NUMERO DE BOMBA	NUMERO
									MEDIR TEMPERATURA DE MOTOR ELECTRICO CON TERMOMETRO LASER	MEDIDOR
									MEDIR AISLACION DE MOTOR	MEDIDOR
									OBSERVACIONES	TEXTO
BOMBAS DE AMONIACO	REVISION CADA 2 SEMANAS DE CONGELAMIENTO DE BOMBA	2 SEMANAS	MANTENIMINEOT PERIODICO	TECNICO FRIGORISTA	REVISAR	BAJA	2	0	BOMBA EN FUNCIONAMIENTO	SI / NO
									NUMERO DE BOMBA	NUMERO
									EL DEPOSITO DE ACEITE DE LA BOMBA PRESENTA HIELO	SI / NO
									OBSERVACIONES	TEXTO
BOMBAS DE	REEMPLAZO DE BOMBA CADA 1	1 AÑO	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	TECNICO FRIGORISTA	REEMPLAZAR	ALTA	120	120	NUMERO DE AST	NUMERO

AMONIACO	AÑO									
									NUMERO DE BOMBA SALIENTE	NUMERO
									NUMERO DE BOMBA REEMPLAZADA	NUMERO
									RETIRAR BOMBA INSTALADA	SI / NO
									VERIFICAR ESTADO DE FILTRO DE SUCCION DE LA BOMBA	VERIFICACION
									INSTALAR BOMBA CON MANTENIMIENTO	SI / NO
									VERIFICAR SENTIDO DE GIRO	VERIFICACION
									PRESION DE DESCARGA DE BOMBA INSTALADA	NUMERO
									OBSERVACIONES	TEXTO
BOMBAS DE AMONIACO	MANTENCION A BOMBA DE AMONIACO	1 AÑO	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	TECNICO FRIGORISTA	MANTENIMIENTO MAYOR	ALTA	300	0	NUMERO DE AST	NUMERO
									NUMERO DE BOMBA	NUMERO
									REEMPLAZAR SELLO MECANICO	SI / NO
									REEMPLAZAR RODAMIENTOS	SI / NO
									REEMPLAZAR EJE	SI / NO
									REEMPLAZAR IMPULSOR	SI / NO
									OBSERVACIONES	TEXTO

Tabla 38: Plan de mantenimiento evaporadores (cuadro de válvulas) en formato Fractal

NOMBRE DEL PLAN	NOMBRE DE LA TAREA	FRECUENCIA DE LA TAREA	TIPO DE TAREA	CLASIFICACION 1	CLASIFICACION 2	PRIORIDAD	DURACIÓN ESTIMADA	TIEMPO DE PARO [MIN]	NOMBRE DE LA SUBTAREA	TIPO DE DATO SUBTAREA
EVAPORADOR	MANTENCION A VALVULAS DE CONTROL LINEA DE LIQUIDO	1 AÑO	MANTENIMIENTO PERIODICO	TECNICO FRIGORISTA	INSPECCIONAR	BAJA	3 HORAS	3 HORAS	GENERAR ANALISIS SEGURO DE TRABAJO	NUMERO
EVAPORADOR									VERIFICAR ESTADO EXTERNO VALVULA DE CONTROL	VERIFICACION
EVAPORADOR									ABRIR VALVULA DE CONTROL	SI/NO
EVAPORADOR									VERIFICAR ESTADO INTERNO DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR									VERIFICAR ESTADO DEL ASIEN TO DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR									VERIFICAR EL ESTADO DEL PISTON DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR									VERIFICAR ESTADO DELCILINDRO DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR									VERIFICAR ESTADO DEL ANILLO DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR									CAMBIAR O'RING Y EMPAQUETADURAS DE LA VALVULA	SI/NO
EVAPORADOR									VALVULA FUNCIONANDO CORRECTAMENTE POSTERIOR A REVISION	SI/NO
EVAPORADOR									PRESION DE TRABAJO EQUIPO POSTERIOR A LA REVISION	NUMERO
EVAPORADOR									ES NECESARIO CAMBIAR KIT DE MANTENCION DE LA VALVULA	SI/NO
EVAPORADOR									OBSERVACIONES	TEXTO
EVAPORADOR	MANTENCION A VALVULAS DE CONTROL LINEA	1 AÑO	MANTENIMIENTO PERIODICO	TECNICO FRIGORISTA	INSPECCIONAR	BAJA	3 HORAS	3 HORAS	GENERAR ANALISIS SEGURO DE TRABAJO	NUMERO

	DE GAS CALIENTE										
EVAPORADOR										VERIFICAR ESTADO EXTERNO VALVULA DE CONTROL	VERIFICACION
EVAPORADOR										ABRIR VALVULA DE CONTROL	SI/NO
EVAPORADOR										VERIFICAR ESTADO INTERNO DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR										VERIFICAR ESTADO DEL ASIENTO DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR										VERIFICAR EL ESTADO DEL PISTON DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR										VERIFICAR ESTADO DELCILINDRO DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR										VERIFICAR ESTADO DEL ANILLO DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR										CAMBIAR O'RING Y EMPAQUETADURAS DE LA VALVULA	SI/NO
EVAPORADOR										VALVULA FUNCIONANDO CORRECTAMENTE POSTERIOR A REVISION	SI/NO
EVAPORADOR										PRESION DE TRABAJO EQUIPO POSTERIOR A LA REVISION	NUMERO
EVAPORADOR										ES NECESARIO CAMBIAR KIT DE MANTENCION DE LA VALVULA	SI/NO
EVAPORADOR										OBSERVACIONES	TEXTO
EVAPORADOR	MANTENCION A VALVULAS DE CONTROL LINEA DE SUCCIÓN HUMEDA	1 AÑO	MANTENIMIENTO PERIODICO	TECNICO FRIGORISTA	INSPECCIONAR	BAJA	3 HORAS	3 HORAS		GENERAR ANALISIS SEGURO DE TRABAJO	NUMERO
EVAPORADOR										VERIFICAR ESTADO EXTERNO VALVULA DE CONTROL	VERIFICACION
EVAPORADOR										ABRIR VALVULA DE CONTROL	SI/NO

EVAPORADOR									VERIFICAR ESTADO INTERNO DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR									VERIFICAR ESTADO DEL ASIEN TO DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR									VERIFICAR EL ESTADO DEL PISTON DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR									VERIFICAR ESTADO DELCILINDRO DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR									VERIFICAR ESTADO DEL ANILLO DE LA VALVULA	VERIFICACION
EVAPORADOR									CAMBIAR O'RING Y EMPAQUETADURAS DE LA VALVULA	SI/NO
EVAPORADOR									VALVULA FUNCIONANDO CORRECTAMENTE POSTERIOR A REVISION	SI/NO
EVAPORADOR									PRESION DE TRABAJO EQUIPO POSTERIOR A LA REVISION	NUMERO
EVAPORADOR									ES NECESARIO CAMBIAR KIT DE MANTENCION DE LA VALVULA	SI/NO
EVAPORADOR									OBSERVACIONES	TEXTO
EVAPORADOR	LIMPIEZA FILTRO DE LINEA DE LIQUIDO Y GAS CALIENTE	EVENTO (INTERVENCION DE LINEA)	MANTENIMIENTO CORRECTIVO CONTINGENCIA	TECNICO FRIGORISTA	LIMPIAR	MEDIA	1 HORA	1 HORA	GENERAR ANALISIS SEGURO DE TRABAJO	NUMERO
EVAPORADOR									LIMPIAR FILTRO DE LINEA DE LIQUIDO	SI/NO
EVAPORADOR									VERIFICAR ESTADO DE FILTRO DE LINEA DE LIQUIDO	VERIFICACION
EVAPORADOR									LIMPIAR FILTRO DE LINEA DE GAS CALIENTE	SI/NO
EVAPORADOR									VERIFICAR ESTADO DE FILTRO LINEA DE GAS CALIENTE	VERIFICACION
EVAPORADOR									OBSERVACIONES	TEXTO

Tabla 39: Plan de mantenimiento de los compresores en formato Fractal

NOMBRE DEL PLAN	NOMBRE DE LA TAREA	FRECUENCIA DE LA TAREA	TIPO DE TAREA	CLASIFICACION 1	CLASIFICACION 2	PRIORIDAD	DURACIÓN ESTIMADA	TIEMPO DE PARO [MIN]	NOMBRE DE LA SUBTAREA	TIPO DE DATO SUBTAREA
COMPRESORES	ANALISIS DE VIBRACIONES	4 MESES	MANTENIMIENTO PERIODICO	SERVICIO EXTERNO	MEDIR	MEDIA	20 MIN	0	EQUIPO FUNCIONANDO	SI/NO
COMPRESORES									SE HA REALIZADO CAMBIO DE FILTRO DESDE EL ULTIMO ANALISIS DE VIBRACIONES	SI/NO
COMPRESORES									SE HA REALIZADO RELLENO O CAMBIO DE ACEITE DESDE EL ULTIMO ANALISIS DE VIBRACIONES	SI/NO
COMPRESORES									SE HA REALIZADO ALGUN MANTENIMIENTO O CAMBIO AL EQUIPO DESDE EL ULTIMO ANALISIS DE VIBRACIONES	SI/NO
COMPRESORES									CONCLUSIONES MOTOR	TEXTO
COMPRESORES									CONCLUSIONES COMPRESOR	TEXTO
COMPRESORES									ESTADO DE VIBRACIONES DEL EQUIPO	VERIFICACION
COMPRESORES									OBSERVACIONES	TEXTO
COMPRESORES	CAMBIO DE FILTRO DESDE 1 BAR	SEGÚN MEDIDOR	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	TECNICO FRIGORISTA	REEMPLAZAR	ALTA	180 MIN	180 MIN	GENERAR ANALISIS SEGURO DE TRABAJO	NUMERO
COMPRESORES									EQUIPO PRESENTO FALLA POR DIFERENCIAL DE PRESION DEL FILTRO	SI/NO
COMPRESORES									MAXIMO VALOR DEL DIFERENCIAL DE PRESION	NUMERO

COMPRESORES									HORAS DE FUNCIONAMIENTO DESDE EL ULTIMO CAMBIO DE FILTRO	NUMERO
COMPRESORES									FILTRO ANTERIOR CORRESPONDIA A REPUESTO ORIGINAL	SI/NO
COMPRESORES									FILTRO QUE SE REEMPLAZARA CORRESPONDE A REPUESTO ORIGINAL	SI/NO
COMPRESORES									VERIFICAR ESTADO DEL FILTR (SE OBSERVA ROTURA)	VERIFICACION
COMPRESORES									EL FILTRO REEMPLAZADO ES NUEVO	SI/NO
COMPRESORES									PRODUCTO UTILIZADO PARA LIMPIAR LOS FILTROS	TEXTO
COMPRESORES									OBSERVACIONES	TEXTO
COMPRESORES	MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBA DE ACEITE CADA 10.000 HORAS	10.000 HORAS	MANTENIMIENTO PERIODICO	SERVICIO EXTERNO	REPARAR	MEDIA			EMPRESA REALIZANTE DE MANTENIMIENTO	TEXTO
COMPRESORES									ESTADO DE BOMBA ANTES DEL MANTENIMIENTO	VERIFICACION
COMPRESORES									ESTADO DE BOMBA POSTERIOR A MANTENIMIENTO	VERIFICACION
COMPRESORES									CONCLUSIONES DE INFORME DE EMPRESA EXTERNA	TEXTO
COMPRESORES									HORAS DE FUNCIONAMIENTO DESDE EL ULTIMO MANTENIMIENTO A BOMBA DE ACEITE	NUMERO
COMPRESORES									OBSERVACIONES	
COMPRESORES	CAMBIO FILTROS COALESCENTE, O'RINGS, EMPAQUETADURAS, ENTRE OTROS (OVERHAUL)	25.000 HORAS O EVENTO	MANTENIMIENTO PERIODICO	SERVICIO EXTERNO	REEMPLAZAR	ALTA			EMPRESA REALIZANTE DE MANTENIMIENTO	

COMPRESORES									ESTADO DE BOMBA ANTES DEL MANTENIMIENTO	
COMPRESORES									ESTADO DE BOMBA POSTERIOR A MANTENIMIENTO	
COMPRESORES									CONCLUSIONES DE INFORME DE EMPRESA EXTERNA	
COMPRESORES									HORAS DE FUNCIONAMIENTO DESDE EL ULTIMO MANTENIMIENTO OVERHAU	
COMPRESORES									FECHA DE OVERHAUL ANTERIOR	
COMPRESORES									INDICAR MOTIVO DE OVERHAUL (HORAS DE FUNCIONAMIENTO, FALLA, ACEITE, VIBRACIONES U OTRO)	TEXTO
COMPRESORES									VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE SENSORES	
COMPRESORES									OBSERVACIONES	
COMPRESORES	LIMPIEZA FILTRO RETORNO DE ACEITE DESDE COALESCENTES CADA 3 MESES	3 MESES	MANTENIMIENTO PERIODICO	OPERADOR FRIGORISTA	LIMPIAR	MEDIA			GENERAR ANALISIS SEGURO DE TRABAJO	NUMERO
COMPRESORES									COMPRESOR DETENIDO	SI/NO
COMPRESORES									FALLO EL EQUIPO DEBIDO AL FILTRO	SI/NO
COMPRESORES									ESTADO DEL FILTRO PREVIO A LIMPIEZA	VERIFICACION
COMPRESORES									ESTADO DEL FILTRO POSTERIOR A LA LIMPIEZA	VERIFICACION
COMPRESORES									PRODUCTO EMPLEADO PARA LIMPIAR EL FILTRO	TEXTO
COMPRESORES									OBSERVACIONES	TEXTO

COMPRESORES	LIMPIEZA DE EQUIPOS CADA 6 MESES	6 MESES	MANTENIMEINT O PERIODICO	OPERADOR FRIGORISTA	LIMPIAR	BAJA			GENERAR ANALISIS SEGURO DE TRABAJO	TEXTO
COMPRESORES									COMPRESOR PRESENTA MANCHAS DE ACIETE	SI/NO
COMPRESORES									ESTADO DE EQUIPO PREVIO A LA LIMPIEZA	VERIFICACION
COMPRESORES									ESTADO DEL EQUIPO POSTERIOR A LA LIMPIEZA	VERIFICACION
COMPRESORES									SE ELIMINARON LAS MACHAS DE ACEITE DEL EQUIPO	SI/NO
COMPRESORES									OBSERVACIONES	TEXTO
COMPRESORES	REVISION ELECTRICA CADA 6 MESES A MOTOR	6 MESES	MANTENIMIEN T O PERIODICO	SERVICIO EXTERNO	REVISAR	MEDIA	7 HORAS	7 HORAS	MEDIR CONSUMO ELECTRICO PROMEDIO DE LAS 3 FASES DE MOTOR [RPM]	NUMERO
COMPRESORES									VERIFICAR EL ESTADO DE LA CONEXIÓN ELECTRICA, REAPRETE DE TERMINAL EN CASO DE SER NECESARIO	VERIFICACION
COMPRESORES									REALIZAR MEDICION ESTATICA DE MOTOR, MOTOR DETENIDO Y DESCONECTADO, EMITIR INFORME	NUMERO
COMPRESORES									REALIZAR PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO, VERIFICANDO TAMBIEN SENTIDO DE GIRO	VERIFICACION
COMPRESORES									OBSERVACIONES	TEXTO