

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**"PROPUESTA DE RECAMBIO POR OBSOLESCENCIA DE LOS ACTIVOS DEL
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN QUE ALIMENTA LA CÁMARA DE CONGELADOS
DE NESTLÉ CD CONCEPCIÓN, REGIÓN DEL BÍO BÍO"**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero en Mantenimiento Industrial.

Alumno:

Christian Alexis Vidal Alarcón

Profesor Guía:

Guillermo Felipe Larson Muñoz

2024

Dedicatoria: A mí madre, que siempre creyó en mí, y a toda mi familia, que me apoyó en todas mis locuras. Los amo a todos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Técnica Federico Santa María por brindarme tantas herramientas y aprendizajes valiosos para mi vida profesional. Durante mi carrera, no solo adquirí conocimientos, sino también grandes amistades, gracias por tantos momentos inolvidables.

Agradezco al cuerpo docente, que siempre estuvo dispuesto a responder cualquier pregunta en las distintas asignaturas, así como al personal de bienestar estudiantil y de biblioteca. Su dedicación y compromiso fueron invaluable para mi desarrollo académico.

Finalmente, agradezco a mi familia, cuyo apoyo fue esencial para superar cada etapa de la universidad. Fueron un pilar fundamental en mi educación, junto a Nino y Floki, mis queridas mascotas, que me acompañaron y dieron consuelo durante esas largas noches de estudio.

RESUMEN

Este proyecto propone una evaluación integral del sistema de refrigeración de la cámara de congelados de Nestlé CD Concepción, con el foco en la identificación y cuantificación de la obsolescencia de los equipos actuales. A través de un análisis conceptual profundo, se explorarán conceptos clave como vida útil de activos, tasa de fallo y MTBF, con el fin de determinar el estado actual de los equipos y proponer un recambio. Se realizará una evaluación técnica detallada de los equipos existentes, considerando factores como su antigüedad, rendimiento y frecuencia de fallas para mostrar el ciclo de vida del activo dentro de la curva de la bañera. Paralelamente, se llevará a cabo un análisis comparativo de diferentes proveedores y tecnologías de refrigeración, considerando aspectos como costos de inversión, costos operativos, vida útil estimada y garantías. Con base en la información recopilada, se realizará un análisis de costo-beneficio que permita evaluar la viabilidad económica de la inversión en nuevos equipos. Este análisis considerará factores como el retorno de la inversión, el mantenimiento, y la reducción de riesgos asociados a fallas en el sistema de refrigeración. Finalmente, se presentarán conclusiones y recomendaciones claras y concisas, incluyendo un plan de implementación detallado que permita llevar a cabo la renovación. Esta renovación permitirá mejorar la eficiencia, reducir los costos operativos y garantizar la calidad y seguridad de los productos, contribuyendo a la sostenibilidad de la empresa

Contenido

INTRODUCCIÓN 14

OBJETIVOS 15

 OBJETIVO GENERAL 15

 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 17

 1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO 19

 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 19

 1.3 COMPRESOR 20

 1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 20

 1.5 BENEFICIOS DEL PROYECTO 22

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 24

 2.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD 26

 2.2 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) 26

 2.3 OBSOLECIENCIA 27

 2.3.1 AUMENTO DE COSTOS OPERATIVOS Y DE MANTENIMIENTO 27

 2.3.2 REDUCCIÓN EN LA EFICIENCIA OPERATIVA 27

 2.3.3 RIESGOS AUMENTADOS DE FALLOS Y PARADAS NO PLANIFICADAS 27

 2.4 VIDA ÚTIL 27

 2.5 TASA DE FALLOS 28

 2.6 CURVA DE LA BAÑERA 28

 2.6.1 FASE DE MORTALIDAD INFANTIL 28

 2.6.2 FASE DE VIDA ÚTIL NORMAL 28

 2.6.3 FASE DE DESGASTE 28

 2.7 RESUMEN TIPOS DE FALLAS Y MODOS DE FALLA 29

 2.8 LEY DE DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL 30

 2.9 REFRIGERACIÓN 30

 2.9.1 REFRIGERANTES NATURALES 30

 2.9.2 R-744 (DIÓXIDO DE CARBONO, CO2) 31

 2.9.3 R-290 (PROPANO, C3H8) 31

 2.9.4 R-600^a (ISOBUTANO, (H3C)-CHCH3-CH3) 31

2.9.5 R-717 (AMONIACO, NH3)	31
2.10 AMONIACO	32
2.11 MANTENIMIENTO EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN NH3	33
2.11.1 INSPECCIÓN VISUAL	34
2.11.2 LIMPIEZA REGULAR.....	34
2.11.3 VERIFICACIÓN DE LÍQUIDOS Y ACEITES.....	34
2.11.4 PRUEBAS DE FUGAS	34
2.11.5 MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR.....	34
2.12 NORMATIVA ISO 55001.....	34
CAPÍTULO III: DISEÑO Y SOLUCIÓN	37
3.1 PRESENTACIÓN DE EQUIPOS.....	39
3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ACTIVOS ACTUALES	39
3.1.2 DESAFÍOS Y NECESIDADES	39
3.2 HISTORIAL DE FALLAS.....	40
3.3 HISTORIAL DE FALLAS, MTBF, TASA DE FALLAS Y PROYECCIÓN DE CONFIABILIDAD SEGÚN LA LEY DE DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL.....	41
3.4 CURVA DE LA BAÑERA; DESGASTE ACELERADO Y PÉRDIDA DE VALOR	42
3.5 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN MÁS MODERNOS Y EFICIENTES.....	43
3.5.1 ELECCIÓN DE REFRIGERANTE PERMITIDO POR LA EMPRESA NESTLÉ	43
3.6 ALCANCE DEL SERVICIO REQUERIDO/ ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	43
3.6.1 ÁREA EVALUADA.....	43
3.6.2 PLANO PLANTA ZONA EVALUADA.....	44
3.6.3 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO EN CÁMARA	44
3.6.4 INGRESO DE PRODUCTOS POR DÍA	45
3.6.5 REQUERIMIENTO DE T°	45
3.6.6 REQUERIMIENTOS PARA EL PROYECTO	45
3.7 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE SOLUCIONES TECNOLÓGICAS DE PROVEEDORES	45
3.8 ANÁLISIS CICLO DE VIDA	46
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	49

4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA IMPLEMENTANDO VALOR ACTUAL NETO 51

CAPÍTULO V:.....53

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 53

5.1 CONCLUSIONES.....55

5.1.1 VIDA ÚTIL Y OBSOLESCENCIA DE LOS EQUIPOS 55

5.1.2 IMPACTO ECONÓMICO DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS OBSOLETOS..55

5.1.3 EFICIENCIA Y SOSTENIBILIDAD 55

5.1.4 CONFORMIDAD CON NORMAS INTERNACIONALES 55

5.1.5 RETORNO DE INVERSIÓN Y BENEFICIOS A LARGO PLAZO 55

5.2 RECOMENDACIONES.....56

5.2.1 IMPLEMENTAR EL REEMPLAZO DE EQUIPOS OBSOLETOS.....56

5.2.2 ADOPTAR UNA GESTIÓN PROACTIVA DEL CICLO DE VIDA DE LOS ACTIVOS
.....56

5.2.3 OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....56

5.2.4 REALIZAR UN SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN CONTINUA.....56

BIBLIOGRAFÍA 57

ÍNDICE DE FIGURAS

1Figura 1-3 Conjunto de Compresores. Fuente: Elaboración propia.....20

2Figura 1-4 Productos Cámara de Congelados NESTLÉ. Fuente: Elaboración Propia.
.....21

3Figura 2-6-3 Curva de la Bañera. Fuente: Wikipedia, Wyatts. 29

4Figura 3-4 Tasa de Fallos por Años de Funcionamiento. Fuente: Elaboración propia.
.....42

5Figura 3-4 Tasa de Fallos por Años de Funcionamiento/Valor Contable. Fuente:
Elaboración propia. **iError! Marcador no definido.**42

6Figura 3-6-1 Plano Bodegas NESTLÉ CD CCP. Fuente: Servicio Técnico.....43

7Figura 3-6-2 Plano Cámara Congelados NESTLÉ CD CCP. Fuente: Servicio Técnico.
.....44

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Costos Falla 2021/2022. Fuente: Elaboración propia.	22
Tabla 2 Tipos de falla. Fuente: Manual de Mantenimiento, Alejandro J. Pistarelli.	29
Tabla 3 Modos de Falla. Fuente: Manual de Mantenimiento, Alejandro J. Pistarelli. ...	30
Tabla 4 Potencial de Calentamiento. Fuente: NORMA ASHRAE.	32
Tabla 5 Propiedades del Amoniaco. Fuente: Elaboración propia.	33
Tabla 6 Historial de Fallas/Valor Contable. Fuente: Elaboración propia.....	40
Tabla 7 Historial de Fallas y Confiabilidad. Año de Funcionamiento, Valor Contable, Fallas Anuales, Acumulado de Fallas, MTBF, Tasa de Fallos y Proyección Exponencial. Fuente: Elaboración propia.	41
Tabla 8 Capacidad de Almacenamiento en Cámara de Congelados NESTLÉ CD CPP. Fuente:	44
Tabla 9 Ingreso de productos en TON por día. Fuente: Elaboración propia.	45
Tabla 10 Requerimiento de temperatura. Fuente: Elaboración propia.	45
Tabla 11 Evaluación proveedores. Fuente: Elaboración propia.	46
Tabla 12 La Inflación en números. IPC y Tendencias desde 1994. Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas Chile.....	46
Tabla 13 Análisis Ciclo de Vida. Fuente: Elaboración propia.....	47
Tabla 14 Evaluación Económica incluyendo VAN. Fuente: Elaboración propia.....	51

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

MTBF : Tiempo medio entre fallas.

°C : Grados Celsius.

RCM : Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

TPM : Mantenimiento Productivo Total.

R-744 : Refrigerante Dióxido de Carbono (CO₂).

R-290 : Refrigerante Propano (C₃H₈).

R-600^a : Refrigerante Isobutano (H₃C)-CHCH₃-CH₃).

R-717 : Refrigerante Amoníaco (NH₃).

GWP : Potencial de Calentamiento Global.

g/mol : Gramos/mol.

Sp³ : Unión Orbital con tres Orbitales.

% : Porcentaje.

ml : Miligramos.

ISO : Organización Internacional de Normalización.

BTU : British Thermal Unit (Unidad Térmica Británica).

M² : Metros cuadrados.

M³ : Metros cúbicos.

TON : Tonelada.

T° : Temperatura.

USD : Dólar Estadounidense.

CLP : Peso Chileno.

IPC : Índice de Precios de Consumo

VAN : Valor Actual Neto.

INTRODUCCIÓN

La preservación de la cadena de frío en la industria alimentaria es fundamental para garantizar la calidad y seguridad de los productos. En este contexto, la cámara de congelados de Nestlé CD Concepción es un componente esencial en la cadena de suministro, garantizando la preservación de los productos y su eficiente distribución. Sin embargo, la creciente obsolescencia y la frecuencia de fallas en los equipos de refrigeración amenazan tanto la calidad como la seguridad de los productos almacenados. Este proyecto tiene como objetivo realizar una evaluación exhaustiva del sistema de refrigeración actual, enfocándose en la identificación y cuantificación de las deficiencias críticas. Se llevará a cabo un análisis detallado que incluye la vida útil de los activos, la tasa de fallos y el MTBF (Tiempo Medio Entre Fallos), con el fin de comprender mejor el estado actual de los equipos y su ciclo de vida. Además, se explorarán diferentes opciones de recambio mediante un análisis comparativo de proveedores y tecnologías, considerando costos de inversión, operativos, vida útil y garantías. La viabilidad económica de la inversión en nuevos equipos será evaluada a través de un análisis de costo-beneficio, que incluirá consideraciones sobre el retorno de la inversión y la reducción de riesgos operacionales. Finalmente, se propondrá un plan de implementación que permita llevar a cabo la renovación del sistema de refrigeración de manera eficiente, asegurando la continuidad de las operaciones y la competitividad de la empresa.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer un recambio por obsolescencia del sistema de refrigeración que alimenta la cámara de congelados en Nestlé CD Concepción, región del Bío Bío, y de esta manera con el nuevo equipo asegurar la disponibilidad operativa y mantener la continuidad en la cadena de frío.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el estado actual de los equipos de refrigeración, identificando la obsolescencia y la necesidad de actualización.
- Realizar una investigación conceptual sobre los temas relacionados con la obsolescencia de los equipos de refrigeración.
- Analizar alternativas de equipos de refrigeración más modernos y eficientes que cumplan con los estándares de calidad y seguridad requeridos.
- Realizar un análisis económico del recambio de los equipos, evaluando el retorno y la retribución económica de la inversión.

CAPÍTULO I:
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Nestlé es una reconocida empresa multinacional y la mayor compañía de alimentos y bebidas a nivel mundial. Con presencia en 186 países, Nestlé cuenta con más de 2.000 marcas que abarcan una amplia variedad de productos, tanto a nivel global como regional. Su trayectoria en la industria de alimentos y bebidas se ha caracterizado por la calidad, la innovación y el compromiso con la nutrición, brindando opciones saludables y deliciosas para los consumidores en todo el mundo.

El Centro de Distribución Nestlé Concepción, ubicado en Collao 2075, es una infraestructura clave para las operaciones de la empresa, encargada de almacenar y distribuir una gran variedad de productos alimenticios a nivel local y regional. En este centro, la bodega de congelados desempeña un papel crucial, ya que es responsable de mantener productos a temperaturas críticas que oscilan entre -21°C y -25°C, asegurando así la calidad y seguridad de los alimentos.

Los equipos actuales que soportan la operación de la cámara de congelados han presentado diversas problemáticas, incluyendo elevados costos de mantenimiento y desafíos operacionales. Estas situaciones no solo incrementan los gastos operativos, sino que también ponen en riesgo la eficiencia y confiabilidad del sistema de refrigeración. En este contexto, se propone realizar una mejora integral de los equipos de refrigeración, con el objetivo de optimizar el rendimiento, reducir los costos y asegurar el cumplimiento de los estándares. Es fundamental implementar un enfoque integral de mantenimiento para asegurar la calidad y la integridad de los productos almacenados en la cámara de congelados.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En el proyecto se desarrollará un análisis de obsolescencia de los activos más críticos que componen los equipos del sistema de refrigeración para hacer un muestreo de cómo debería realizarse un análisis de obsolescencia en el sistema completo de refrigeración. A su vez realizar una investigación de todos los conceptos claves relacionados con la misma a través de la. Vida útil, gestión de los activos MTBF, tasa de fallos, ley de distribución exponencial y curva de la bañera de los equipos. Con el fin de analizar la viabilidad de realizar un recambio de equipos evaluando el retorno y retribución económica.

Los equipos son operados por el personal de servicio técnico el cuál se encargan de la supervisión y control de los equipos de refrigeración utilizados para la conservación de

productos que deben ser almacenados en temperaturas controladas. El objetivo principal es realizar un análisis de obsolescencia de los equipos críticos que actualmente alimentan la cámara de congelados. Estos equipos incluyen un conjunto de compresores que son cruciales para la operación de está cámara de helados, debido a que son el corazón del sistema de refrigeración, desempeñando un papel fundamental en el ciclo de refrigeración al comprimir el refrigerante y mantener el flujo necesario para la transferencia de calor. Este proceso es esencial para reducir y mantener las bajas temperaturas dentro de la cámara de congelados, lo que garantiza la conservación de los productos almacenados.

1.3 COMPRESOR

			
<i>Compresor 1 Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>Compresor 2 Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>Compresor 3 Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>Compresor 4 Fuente: Elaboración propia.</i>

1Figura 1-3 Conjunto de Compresores. Fuente: Elaboración propia.

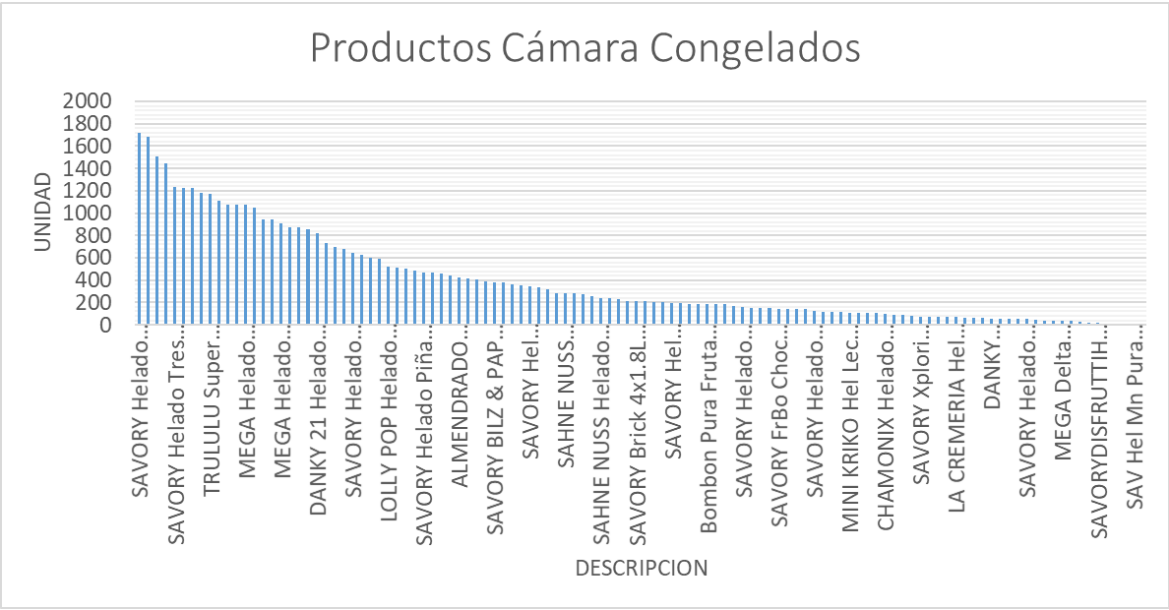
El compresor es un componente crucial en el sistema de refrigeración, ya que es responsable de comprimir el refrigerante gaseoso y elevar su presión. Este proceso aumenta la temperatura del refrigerante, permitiendo que libere calor en el condensador. En el equipo SABROE, hay un conjunto de unidades de compresores, lo que proporciona redundancia y capacidad para manejar diferentes cargas de refrigeración. Los compresores juegan un papel vital en mantener la eficiencia del ciclo de refrigeración.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La justificación de este proyecto se basa en que los equipos exceden su tiempo de vida útil, debido a esto, ha aumentado progresivamente su tasa de falla. Lo que ha provocado una disminución de confiabilidad de los equipos. Además, esto ha generado un indicador negativo para la empresa debido a que la confiabilidad es un pilar fundamental de la disponibilidad de los equipos. Además, los productos alimenticios

no pueden perder la cadena de frío. Si esta se interrumpe, los productos incumplen con los estándares de calidad y no pueden ser vendidos.

Los productos almacenados en la cámara de congelados incluyen:



2Figura 1-4 Productos Cámara de Congelados NESTLÉ. Fuente: Elaboración propia.

Según los antecedentes reportados por el departamento de servicio técnico, en el año 2021 hubo una falla en la planta SABROE donde los compresores del sistema de refrigeración fallaron inesperadamente debido a la falta de mantenimiento preventivo. Esto provocó que todos los productos almacenados en la bodega tuvieran que ser trasladados temporalmente a una bodega arrendada, lo que resultó en una pérdida de aproximadamente 35 millones de pesos mensuales en costos de arriendo durante 3 meses y 380.000 pesos en arriendo de reefers en un período de 5 meses. Además, los costos de mantenimiento no planificado del compresor afectado, incluyendo dos overhauls, con un valor de 7.300.000 pesos. En total, esto generó un gasto aproximado de 106 millones de pesos.

Costos Falla (MCLP)	2021		2022			
	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	
Cámara externa	\$ 35	\$ 35	\$ 19,8			
Reefer	\$ 0,38	\$ 0,38	\$ 0,38	\$ 0,38	\$ 0,38	
MTTO			\$ 7,3	\$ 7,3		
SUBTOTAL	\$ 35,4	\$ 35,4	\$ 27,5	\$ 7,7	\$ 0,38	TOTAL \$ 106,3

Tabla 1 Costos Falla 2021/2022. Fuente: Elaboración propia.

A partir de esta información, se puede concluir que la gestión del mantenimiento en el sistema de refrigeración del centro de distribución Nestlé CD Concepción no ha sido adecuada, ya que una correcta planificación de los mantenimientos preventivos de los compresores habría evitado los elevados costos de mantenimiento y los tiempos de inactividad prolongados. Sin embargo, esto representa una oportunidad para implementar mejoras significativas en el sistema de refrigeración de la cámara de congelados. Este proyecto no solo busca mejorar el conocimiento y la gestión del mantenimiento, sino también abordar los riesgos asociados a la producción y garantizar la calidad y seguridad de los productos almacenados. La actualización de los equipos con tecnología moderna y eficiente, permitirá optimizar la eficiencia, reducir los costos operativos y de mantenimiento, y minimizar los riesgos asociados, contribuyendo así a la disponibilidad de los equipos y seguridad del centro de distribución.

1.5 BENEFICIOS DEL PROYECTO

La implementación de este proyecto garantizará la continuidad operativa del sistema de refrigeración, al prevenir fallas inesperadas y reducir los tiempos de inactividad. Además, optimizará el funcionamiento de los equipos, reduciendo los costos operativos asociados a mantenimientos frecuentes.

CAPÍTULO II:
MARCO TEÓRICO

2.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

El RCM (Reliability Centred Maintenance) es un método estructurado, deductivo y participativo que define la estrategia de mantenimiento más apropiada para cada equipo actuando en su contexto operativo real. Una estrategia apropiada es un conjunto de tareas capaz de evitar que sucedan modos de falla o reducir drásticamente sus consecuencias de manera eficiente. Esta técnica establece cuándo una tarea es posible desde el punto de vista técnico y cuándo es económicamente viable para un horizonte de validez definido. La eficacia y eficiencia de los planes de mantenimiento de cualquier máquina, pueden mejorar significativamente con esta herramienta de decisión.

Sin embargo, el RCM no busca únicamente resolver problemas de confiabilidad, va más allá de ello e introduce un cambio cultural respecto a los conceptos a tener en cuenta al momento de pensar en Mantenimiento. Sobre todo, introduce la idea, hoy entendida por la mayoría, que el Mantenimiento tiene como finalidad asegurar que las funciones de los equipos se sostengan en el tiempo. El RCM es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual. Con las definiciones anteriores queda claro que se trata de un proceso sistémico de análisis cuya finalidad es desarrollar las bases técnicas del mantenimiento que orienten los esfuerzos en aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas productivos y, por ende, la seguridad del negocio. El RCM prioriza el análisis para aquellos modos de falla cuyas consecuencias pueden afectar la seguridad de las personas o el medio ambiente. Hay un tratamiento especial para estos casos, y se proponen alternativas que reducen el riesgo de accidente y aseguran un desarrollo sustentable. Es un proceso de mejora de carácter proactivo, porque no es preciso que sucedan las fallas para empezar a prevenirlas.

2.2 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

El Mantenimiento Total Productive Maintenance (TPM) es una estrategia integral que transforma la gestión del mantenimiento industrial al involucrar a todos los trabajadores, desde gerentes e ingenieros hasta técnicos de mantenimiento y operarios de la fábrica, en lugar de relegar esta responsabilidad únicamente a los técnicos especializados. Su objetivo es mantener la producción continua, sin defectos y sin tiempos de inactividad imprevistos. La filosofía de las 5S proporciona los cimientos del TPM, complementado con los ocho pilares fundamentales: mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, mejora enfocada, control de calidad, mantenimiento de la seguridad y el medio ambiente, desarrollo de personal y gestión temprana de equipos.

La implementación del TPM reducirá los tiempos de inactividad imprevistos, optimizará el rendimiento de los equipos, involucrará a todos los empleados en el mantenimiento, asegurará la calidad constante de los productos almacenados y mantendrá un entorno de trabajo seguro y sostenible. En resumen, el TPM ofrece beneficios significativos al mejorar la eficiencia operativa, reducir costos, mejorar la calidad y aumentar la competitividad de la empresa.

2.3 OBSOLECIENCIA

La obsolescencia de equipos en el ámbito del mantenimiento se refiere al proceso en el cual los activos y equipos utilizados en un sistema, instalación o industria se vuelven anticuados, ineficientes o incapaces de cumplir con los estándares operativos actuales. Este fenómeno puede ocurrir debido a varias razones, tales como la evolución tecnológica, cambios en las normativas o estándares de la industria, desgaste natural con el tiempo, o la aparición de alternativas más avanzadas y eficientes.

En términos de mantenimiento, la obsolescencia presenta varios desafíos significativos:

2.3.1 AUMENTO DE COSTOS OPERATIVOS Y DE MANTENIMIENTO A medida que un equipo envejece, su mantenimiento puede volverse más costoso y complejo. Las piezas de repuesto pueden ser difíciles de conseguir.

2.3.2 REDUCCIÓN EN LA EFICIENCIA OPERATIVA Los equipos obsoletos suelen ser menos eficientes y pueden no cumplir con los requisitos de rendimiento actuales, lo que puede resultar en una disminución en la productividad.

2.3.3 RIESGOS AUMENTADOS DE FALLOS Y PARADAS NO PLANIFICADAS Los equipos que han superado su vida útil esperada tienen una mayor probabilidad de fallar inesperadamente, lo que puede llevar a interrupciones en la operación y aumentar el riesgo de accidentes o daños a otros activos.

El análisis de obsolescencia es, por lo tanto, una práctica crucial en la gestión de activos y el mantenimiento industrial, permitiendo a las organizaciones identificar cuándo es necesario reemplazar o actualizar sus equipos para mantener la eficiencia operativa, cumplir con las normativas, y reducir los riesgos asociados con la operación de equipos anticuados.

2.4 VIDA ÚTIL

La vida útil de un equipo o activo se refiere al período durante el cual se espera que el equipo funcione de manera eficiente y segura, cumpliendo con los requisitos operativos para los que fue diseñado. Este período puede variar según el tipo de equipo, su uso,

mantenimiento y las condiciones de operación. La vida útil no solo se mide en términos de tiempo, sino también en términos de ciclos de operación, cantidad de producción, o cualquier otro parámetro relevante para el equipo en cuestión. La determinación de la vida útil es esencial para planificar el mantenimiento, la sustitución de activos y la gestión de riesgos en las operaciones industriales.

2.5 TASA DE FALLOS

La tasa de fallos es un indicador que representa la frecuencia con la cual un equipo o sistema experimenta fallos durante un período determinado de tiempo. Se expresa típicamente en fallos por hora, día, o unidad de producción, y es un parámetro clave en la evaluación de la fiabilidad de los equipos. La tasa de fallos puede variar a lo largo de la vida útil del equipo, siendo generalmente alta al inicio (debido a problemas de puesta en marcha) y al final (debido al desgaste y la obsolescencia), con un período de estabilidad en el medio. Este concepto es crucial para planificar estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo.

2.6 CURVA DE LA BAÑERA

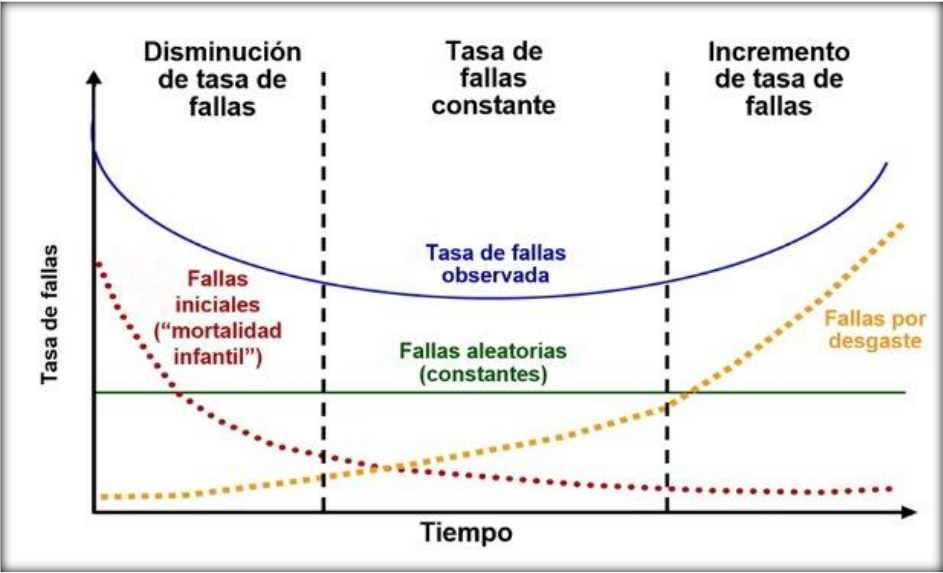
La curva de la bañera es un modelo gráfico que describe la tasa de fallos de un equipo a lo largo de su vida útil. La curva se divide en tres fases principales:

2.6.1 FASE DE MORTALIDAD INFANTIL Representa el inicio de la vida útil, donde la tasa de fallos es alta debido a defectos de fabricación o problemas iniciales.

2.6.2 FASE DE VIDA ÚTIL NORMAL Durante esta fase, la tasa de fallos se estabiliza y es relativamente baja, lo que indica un periodo de operación confiable y eficiente.

2.6.3 FASE DE DESGASTE En esta fase final, la tasa de fallos aumenta nuevamente a medida que el equipo se acerca al final de su vida útil debido al desgaste y envejecimiento natural.

Este modelo es fundamental para entender el comportamiento de los activos a lo largo del tiempo y para desarrollar estrategias de mantenimiento efectivas que minimicen los riesgos y costos asociados con los fallos.



3Figura 2-6-3 Curva de la Bañera. Fuente: Wikipedia, Wyatts.

2.7 RESUMEN TIPOS DE FALLAS Y MODOS DE FALLA

Falla	
Funcional	Se presenta una falla funcional cuando un componente deja de stisfacer, parcial o totalmente la función requerida.
Sintomatica o Potencial	Una falla sintomática es una condición de estado verificable en un componente o sus propiedades, que indica que una falla funcional está en proceso de ocurrencia aunque dicho componente no haya dejado, aún de cumplir completamente sus funciones.
Simultanea	En sistemas funcionales con redundancias o protecciones, se presenta una falla simultanea cuando ocurre una falla en el equipo a proteger, mientras la protección o redundancia se encuentra también en estado de falla o avería.
Recurrente	Falla funcional repetitiva fuera de la frecuencia aceptable de ocurrencia . También llamada crónica, puede ser causada por un mismo modo de falla o por diferentes, actuando simultaneamente.

Tabla 2 Tipos de falla. Fuente: Manual de Mantenimiento, Alejandro J. Pistarelli.

Falla			
(Según el estado paramétrico)		(Según el origen)	
Evidente	Modo de falla que se pone de manifiesto a través de la falla funcional, en forma evidente bajo las condiciones normales de funcionamiento, suponiendo que es el único que sucede en el sistema.	De diseño	Modo de falla ocasionado por un mal diseño (Errores de estimación de contexto operativo, errores de cálculo, etc)
Oculto	Modo de falla que ocurre en los dispositivos redundantes o de protección (Funciones ocultas) no dotados de seguridad inherente. La falla funcional provocada por un modo de falla oculto no es detectable en condiciones normales de trabajo.	De fabricación	Modo de falla ocasionado durante el proceso de transformación o fabricación.
		De traslado y montaje	Modo de falla ocasionado durante las tareas de montaje e instalación, o durante el traslado del componente.
Recurrente	Las mismas consideraciones que en "Falla recurrente".	De uso u operación	Modo de falla ocasionado por la falta de idoneidad en el uso u operación del equipo.
Dominante	Modo de falla que provoca la mayor cantidad de fallas funcionales en un componente.	Por eventos aleatorios	Modo de falla cuya probabilidad de ocurrencia es totalmente aleatoria (Causas inherentes al equipo , ambientales, debidas al cambio repentino de contexto de funcionamiento, etc.)
Común	Modo de falla que puede afectar a más de un componente simultáneamente.	Por desgaste natural o envejecimiento	Modo de falla que tiene una vinculación directa con la vida operativa del elemento. También denominado paramétrico.

Tabla 3 Modos de Falla. Fuente: Manual de Mantenimiento, Alejandro J. Pistarelli.

2.8 LEY DE DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL

La ley de distribución exponencial es una función estadística que describe el tiempo entre eventos en un proceso de fallos, donde los eventos ocurren de manera continua y aleatoria a lo largo del tiempo. En el contexto del mantenimiento, se utiliza para modelar el tiempo hasta el fallo de un equipo cuando los fallos ocurren de manera aleatoria y con una tasa constante. Esta distribución es caracterizada por su propiedad de "falta de memoria", lo que significa que la probabilidad de que ocurra un fallo en un futuro próximo es independiente del tiempo transcurrido sin fallos. Esta ley es útil en el análisis de fiabilidad y en la planificación de mantenimiento, particularmente para equipos en la fase de vida útil normal, donde la tasa de fallos es constante.

2.9 REFRIGERACIÓN

La refrigeración juega un papel trascendental en la preservación de alimentos, la eficiencia industrial y la creación de entornos confiables. Su relevancia se manifiesta en diversas industrias, desde la conservación de productos perecederos hasta procesos críticos en la fabricación y distribución. La refrigeración es una tecnología que no solo mejora la vida cotidiana, sino que también desempeña un papel crucial en la seguridad alimentaria y la sostenibilidad global.

2.9.1 REFRIGERANTES NATURALES

Un refrigerante natural es una sustancia que se utiliza en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, caracterizada por no agotar la capa de ozono y no contribuir

significativamente al calentamiento global. A diferencia de los refrigerantes sintéticos, los refrigerantes naturales no contienen sustancias artificiales que puedan dañar el medio ambiente. Estos refrigerantes son considerados más sostenibles y ecológicos, y están compuestos por sustancias que existen de manera natural, como el dióxido de carbono (CO₂, R-744), hidrocarburos como el propano (R-290) y el Isobutano (R-600a), y el amoníaco (R-717).

2.9.2 R-744 (DIÓXIDO DE CARBONO, CO₂)

El CO₂ es un gas natural que se encuentra de forma abundante en la atmósfera. Es un refrigerante natural con un Potencial de Calentamiento Global (GWP) muy bajo y sin impacto en la capa de ozono. Se utiliza principalmente en sistemas de refrigeración industrial y comercial, como en supermercados y almacenes de alimentos. Debido a su alta presión de operación, requiere sistemas diseñados específicamente para manejar estas condiciones.

2.9.3 R-290 (PROPANO, C₃H₈)

El propano es un hidrocarburo natural que tiene excelentes propiedades de refrigeración y un GWP muy bajo. Es altamente inflamable, lo que requiere estrictas medidas de seguridad en su manejo. Utilizado en aplicaciones comerciales pequeñas, como vitrinas refrigeradas, y en refrigeración doméstica en algunos países. Sin embargo, es inflamable y requiere medidas de seguridad adicionales.

2.9.4 R-600^a (ISOBUTANO, (H₃C)-CHCH₃-CH₃)

Un refrigerante natural utilizado principalmente en aplicaciones de refrigeración doméstica. Tiene un GWP muy bajo y es una opción eficiente y respetuosa con el medio ambiente. Sin embargo, al igual que el propano, es inflamable y necesita precauciones de seguridad adecuadas.

2.9.5 R-717 (AMONIACO, NH₃)

El amoníaco es un refrigerante natural con un historial extenso en aplicaciones industriales. Es conocido por su alta eficiencia energética y tiene un GWP cero, lo que significa que no contribuye al calentamiento global. Además, no tiene ningún impacto sobre la capa de ozono. Se utiliza principalmente en grandes instalaciones industriales como plantas de procesamiento de alimentos y almacenes frigoríficos. Proporciona un excelente rendimiento termodinámico. Toxicidad y potencial inflamabilidad. Requiere estrictos protocolos de seguridad y sistemas de detección de fugas.

La refrigeración a través del amoníaco destaca como una opción eficiente y sostenible, especialmente en aplicaciones industriales y alimentarias. Su importancia radica en su capacidad para ofrecer una refrigeración efectiva mientras minimiza el impacto

ambiental. Sin embargo, su implementación exitosa exige un enfoque meticuloso en la seguridad y el diseño de sistemas, garantizando un equilibrio óptimo entre eficiencia, sostenibilidad y seguridad. La elección del amoníaco como refrigerante demuestra cómo la innovación puede converger con la responsabilidad ambiental en la búsqueda de soluciones eficaces en la refrigeración.

Número ASHRAE	Nombre del Refrigerante	Potencial de Calentamiento	Aplicación del Refrigerante
R-290	Propano	3	Refrigeración Comercial
R-600 ^a	Isobutano	3	Refrigeración Domestica
R-744	Dióxido de carbono	1	Refrigeación Supemercados
R-717	Amoniac	0	Refrigeración Industrial

Tabla 4 Potencial de Calentamiento. Fuente: NORMA ASHRAE.

Los refrigerantes naturales, aunque pueden requerir ajustes en los diseños de los sistemas de refrigeración, ofrecen beneficios significativos como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la preservación de la capa de ozono. La transición hacia refrigerantes naturales representa un paso crucial hacia la sostenibilidad en la industria de la refrigeración, equilibrando la eficiencia energética con la protección del medio ambiente.

2.10 AMONIACO

El amoniac, con una fórmula química NH₃ y una masa molecular de 17,03 g/mol, exhibe propiedades físicas distintivas. En estado gaseoso, es incoloro, pero su olor es fuerte y penetrante, lo que permite detectarlo fácilmente. La molécula presenta una forma tetraédrica con un vértice vacante debido a la formación de orbitales híbridos sp³.

El punto de ebullición del amoniac es de -33°C, mientras que su punto de fusión es de -78°C. La densidad relativa del líquido en comparación con el agua es de 0,68, y la solubilidad en agua es buena, con 34 g/100 ml a 20°C. Además, la densidad relativa del gas en comparación con el aire es de 0,59, lo que indica que es más liviano que el aire.

En términos de seguridad, el amoniac tiene límites de explosividad entre el 15% y el 28% en volumen en el aire, con una temperatura de auto ignición de 651°C. Su exposición a concentraciones elevadas en el aire puede provocar quemaduras graves en la piel, ojos, garganta y pulmones, y en casos extremos, puede causar ceguera, edema pulmonar e incluso la muerte. A concentraciones más bajas, puede provocar tos e irritación de nariz y garganta. Su ingesta o contacto con la piel en estado líquido puede causar quemaduras graves y congelación, respectivamente.

Propiedades Físicas del Amoníaco	
Fórmula Química	NH3
Masa molecular	17,03 g/mol
Punto de ebullición	(-33°C)
Punto de fusión	(-78°C)
Densidad relativa del liquido (agua=1g/ml)	0,68
Solubilidad en agua	Buena (34 g/100 ml a 20°C)
Presión de vapor (Kpa a 26°C)	1013
Límites de explosividad	(% en volumen en el aire) 15%
	(% en volumen en el aire) 28%
Temperatura de auto ignición	651°
Densidad relativa del gas (aire=1g/ml)	0,59

Tabla 5 Propiedades del Amoníaco. Fuente: Elaboración propia.

2.11 MANTENIMIENTO EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN NH3

En el campo del mantenimiento de sistemas de refrigeración industrial por amoníaco (NH3), resulta esencial garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de estos sistemas ampliamente utilizados en la industria del frío. La refrigeración industrial por NH3 destaca por sus propiedades termo físicas y su bajo impacto ambiental. Para maximizar la vida útil de los equipos y asegurar un rendimiento óptimo, el mantenimiento planificado se presenta como una práctica fundamental.

Este mantenimiento apropiado ofrece beneficios clave, como la prolongación de la vida útil de los equipos al prevenir fallas prematuras, la optimización del rendimiento para reducir el consumo de energía y costos operativos, y la garantía de la seguridad en la operación de los sistemas de NH3. Los procedimientos recomendados incluyen inspecciones visuales periódicas para detectar desgaste, corrosión o fugas, la limpieza regular de componentes como bobinas y filtros, la verificación de niveles de líquido y aceite, pruebas de fugas para la detección temprana de posibles riesgos, y un mantenimiento exhaustivo del compresor, componente clave en estos sistemas de refrigeración. En definitiva, este enfoque integral de mantenimiento contribuye no solo a la eficiencia operativa sino también a la seguridad de los sistemas de refrigeración industrial por NH3.

2.11.1 INSPECCIÓN VISUAL

Realiza inspecciones visuales periódicas para detectar signos de desgaste, corrosión, fugas o cualquier otro problema potencial. Presta especial atención a las tuberías, las juntas y los componentes del sistema de refrigeración.

2.11.2 LIMPIEZA REGULAR

La limpieza regular de los componentes del sistema de refrigeración es crucial para mantener su eficiencia. Limpia las bobinas del evaporador y el condensador, los filtros de aire y cualquier otro elemento que pueda acumular suciedad u obstrucciones.

2.11.3 VERIFICACIÓN DE LÍQUIDOS Y ACEITES

Controla regularmente los niveles de líquido refrigerante y aceite lubricante. Asegúrate de que los niveles estén dentro de los rangos recomendados por el fabricante y realiza los ajustes necesarios.

2.11.4 PRUEBAS DE FUGAS

Las fugas de amoníaco pueden representar un grave riesgo para la seguridad. Realiza pruebas periódicas de fugas utilizando equipos especializados y toma las medidas correctivas adecuadas en caso de detectar alguna fuga.

2.11.5 MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR

El compresor es uno de los componentes clave en un sistema de refrigeración industrial por NH₃. Realiza un mantenimiento regular del compresor, incluyendo la limpieza de las válvulas, la verificación de la presión y el reemplazo de los sellos según las recomendaciones del fabricante.

2.12 NORMATIVA ISO 55001

La norma ISO 55001:2014 establece un marco para la gestión de activos dentro de una organización, proporcionando directrices y requisitos que permiten optimizar la utilización de los activos físicos. Esta norma se enfoca en asegurar que los activos se gestionen de manera efectiva durante todo su ciclo de vida, desde la adquisición y operación, hasta el mantenimiento y disposición final. Su objetivo principal es ayudar a las organizaciones a maximizar el valor que obtienen de sus activos, minimizar riesgos asociados y asegurar el cumplimiento de sus objetivos estratégicos.

La norma enfatiza la importancia de la integración de la gestión de activos en todos los niveles de la organización, promoviendo una cultura de mejora continua y toma de decisiones basada en datos precisos y análisis rigurosos. Esto incluye la necesidad de planificar y controlar operativamente los procesos relacionados con la gestión de activos.

En este proyecto, nos enfocaremos específicamente en la Sección 8.1 de la norma, que trata sobre la "Planificación y control operativo" del ciclo de vida de los activos.

Esta sección subraya la importancia de que la organización planifique, implemente y controle los procesos necesarios para cumplir con los requisitos del sistema de gestión de activos, asegurando que los activos se gestionen adecuadamente a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida. Esto implica considerar todos los factores relevantes durante las etapas de adquisición, operación, mantenimiento y disposición de los activos. La gestión efectiva del ciclo de vida es crucial para optimizar el rendimiento, reducir riesgos y maximizar el valor obtenido de los activos, aspectos que serán abordados a lo largo del desarrollo de este proyecto.

CAPÍTULO III:
DISEÑO Y SOLUCIÓN

3.1 PRESENTACIÓN DE EQUIPOS

3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ACTIVOS ACTUALES

Los compresores actuales serán el punto de partida para demostrar la obsolescencia en el sistema de refrigeración, proporcionando una visión más clara sobre cómo recopilar datos para todos los equipos del sistema. Estos compresores fueron adquiridos en 1994 y, hasta la fecha, han superado su vida útil estimada, experimentando un desgaste significativo a lo largo de los años. A pesar del mantenimiento y las reparaciones realizadas, su rendimiento y confiabilidad se han visto afectados, lo que ha resultado en un aumento en los costos de mantenimiento y una disminución en la eficiencia del sistema.

3.1.2 DESAFÍOS Y NECESIDADES

Los compresores actuales presentan desafíos que afectan directamente la producción y la rentabilidad de la planta Sabroe. Estos desafíos incluyen una mayor tasa de fallas, tiempos de inactividad prolongados y costos recurrentes de mantenimiento. Para garantizar la continuidad del proceso de producción y mejorar la eficiencia, es crucial abordar estos desafíos mediante la adquisición de nuevos equipos.

Como parte de nuestra propuesta, planeamos realizar un muestreo de los equipos existentes para evaluar su obsolescencia y determinar la necesidad de un recambio. Este muestreo nos permitirá obtener datos precisos sobre el estado actual de los compresores, identificar posibles problemas de obsolescencia y evaluar la viabilidad de su funcionamiento a largo plazo. Con base en los resultados de este muestreo, podremos tomar decisiones informadas sobre la adquisición de nuevos compresores y garantizar una solución que se ajuste a las necesidades actuales y futuras de la planta Sabroe.

3.2 HISTORIAL DE FALLAS

La muestra del historial de fallas se obtiene a partir de los registros contables de las mantenciones realizadas al compresor. De este modo, se genera una tabla que refleja los años de actividad y el historial de fallas de los equipos.

N°	AÑO	Valor Contable	Falla x año
1	1994	\$ 85.370.212	4
2	1995	\$ 79.272.339	3
3	1996	\$ 73.174.467	2
4	1997	\$ 67.076.595	0
5	1998	\$ 60.978.723	0
6	1999	\$ 54.880.850	0
7	2000	\$ 48.782.978	0
8	2001	\$ 42.685.106	0
9	2002	\$ 36.587.234	0
10	2003	\$ 30.489.361	0
11	2004	\$ 24.391.489	0
12	2005	\$ 18.293.617	0
13	2006	\$ 12.195.745	0
14	2007	\$ 6.097.872	0
15	2008	\$ -	0
16	2009	\$ -	0
17	2010	\$ -	0
18	2011	\$ -	0
19	2012	\$ -	8
20	2013	\$ -	6
21	2014	\$ -	3
22	2015	\$ -	4
23	2016	\$ -	3
24	2017	\$ -	3
25	2018	\$ -	7
26	2019	\$ -	8
27	2020	\$ -	6
28	2021	\$ -	9
29	2022	\$ -	5
30	2023	\$ -	9
31	2024	\$ -	7

Tabla 6 Historial de Fallas/Valor Contable. Fuente: Elaboración propia.

3.3 HISTORIAL DE FALLAS, MTBF, TASA DE FALLAS Y PROYECCIÓN DE CONFIABILIDAD SEGÚN LA LEY DE DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL

Con base en los datos recopilados, se calcula el acumulado de fallas como la sumatoria de las fallas a lo largo de los años. Se determina el MTBF, que representa el tiempo promedio entre fallas por unidad de tiempo (años), y la tasa de falla, que corresponde a la frecuencia de fallos en el tiempo transcurrido. Finalmente, se realiza una proyección de la probabilidad de confiabilidad del equipo mediante la aplicación de la ley de distribución exponencial.

Cálculos realizados en Excel.

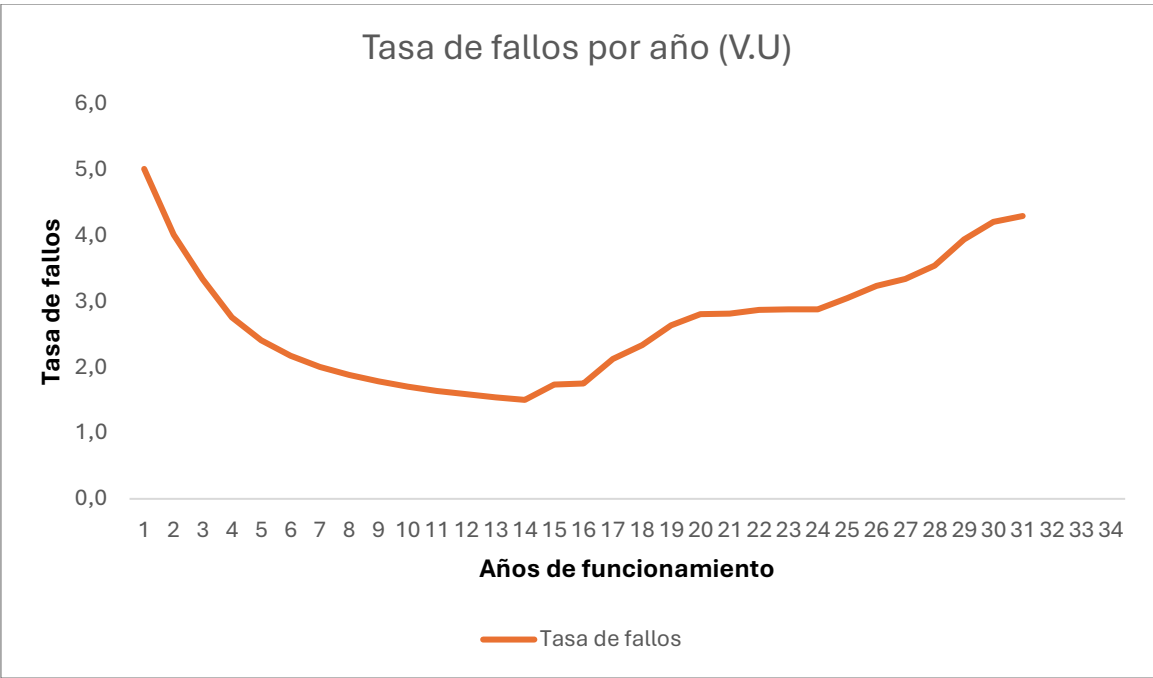
$$F(T) = 1 - e^{(-\text{Lamda} * t)}$$

N°	AÑO	Valor Contable	Falla x año	Acumulado de fallas	MTBF	Tasa de fallos	LEY EXPONENCIAL
1	1994	\$ 85.370.212	5	5	0,2	5,0	0,3935
2	1995	\$ 79.272.339	3	8	0,3	4,0	0,6321
3	1996	\$ 73.174.467	2	10	0,3	3,3	0,7769
4	1997	\$ 67.076.595	1	11	0,4	2,8	0,8647
5	1998	\$ 60.978.723	1	12	0,4	2,4	0,9179
6	1999	\$ 54.880.850	1	13	0,5	2,2	0,9502
7	2000	\$ 48.782.978	1	14	0,5	2,0	0,9698
8	2001	\$ 42.685.106	1	15	0,5	1,9	0,9817
9	2002	\$ 36.587.234	1	16	0,6	1,8	0,9889
10	2003	\$ 30.489.361	1	17	0,6	1,7	0,9933
11	2004	\$ 24.391.489	1	18	0,6	1,6	0,9959
12	2005	\$ 18.293.617	1	19	0,6	1,6	0,9975
13	2006	\$ 12.195.745	1	20	0,7	1,5	0,9985
14	2007	\$ 6.097.872	1	21	0,7	1,5	0,9991
15	2008	\$ -	1	22	0,7	1,5	0,9994
16	2009	\$ -	1	23	0,7	1,4	0,9997
17	2010	\$ -	1	24	0,7	1,4	0,9998
18	2011	\$ -	1	25	0,7	1,4	0,9999
19	2012	\$ -	8	33	0,6	1,7	0,9999
20	2013	\$ -	6	39	0,5	2,0	1,0000
21	2014	\$ -	3	42	0,5	2,0	1,0000
22	2015	\$ -	4	46	0,5	2,1	1,0000
23	2016	\$ -	3	49	0,5	2,1	1,0000
24	2017	\$ -	3	52	0,5	2,2	1,0000
25	2018	\$ -	7	59	0,4	2,4	1,0000
26	2019	\$ -	8	67	0,4	2,6	1,0000
27	2020	\$ -	6	73	0,4	2,7	1,0000
28	2021	\$ -	9	82	0,3	2,9	1,0000
29	2022	\$ -	15	97	0,3	3,3	1,0000
30	2023	\$ -	12	109	0,3	3,6	1,0000
31	2024	\$ -	7	116	0,3	3,7	1,0000

Tabla 7 Historial de Fallas y Confiabilidad. Año de Funcionamiento, Valor Contable, Fallas Anuales, Acumulado de Fallas, MTBF, Tasa de Fallos y Proyección Exponencial. Fuente: Elaboración propia.

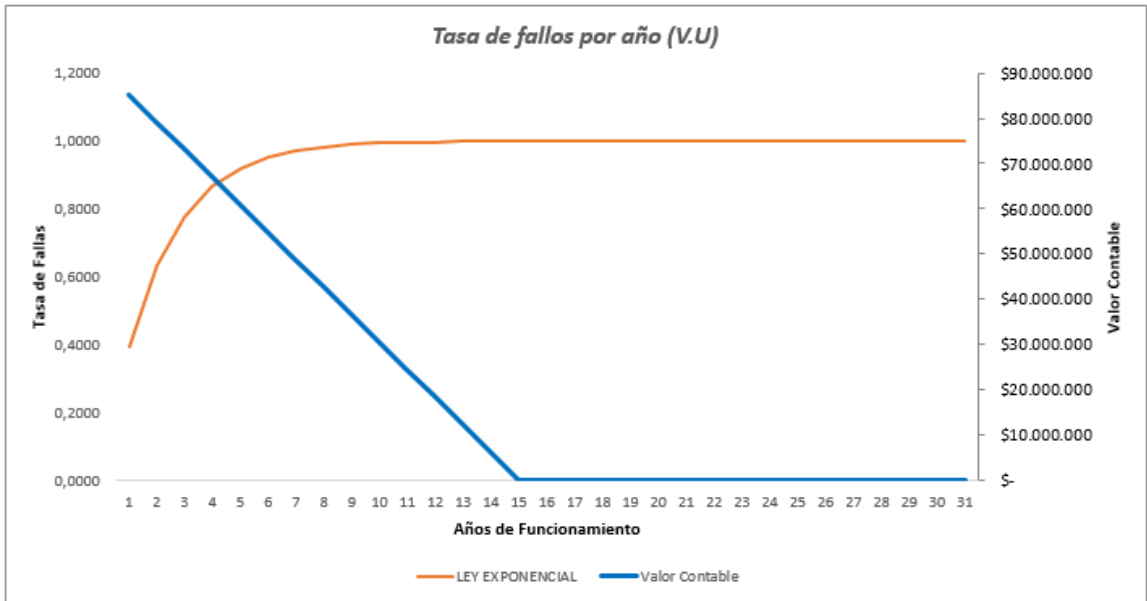
3.4 CURVA DE LA BAÑERA; DESGASTE ACCELERADO Y PÉRDIDA DE VALOR

En el gráfico N°2 aplicamos la curva de tasa de fallos por años de funcionamiento: De acuerdo a la forma de la gráfica, observamos que los equipos se encuentran en el cuadrante de fallas por desgaste, se recomienda renovar el equipo. Aumento de fallas sostenidos.



4Figura 3-4 Tasa de Fallos por Años de Funcionamiento. Fuente: Elaboración propia.

Para el gráfico N°3 analizamos el valor contable del equipo: Donde podemos interpretar que, a medida que disminuye la vida útil del equipo, la probabilidad de falla aumenta con el paso del tiempo.



5Figura 3-4 Tasa de Fallos por Años de Funcionamiento/Valor Contable. Fuente: Elaboración propia.

3.5 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN MÁS MODERNOS Y EFICIENTES

3.5.1 ELECCIÓN DE REFRIGERANTE PERMITIDO POR LA EMPRESA NESTLÉ

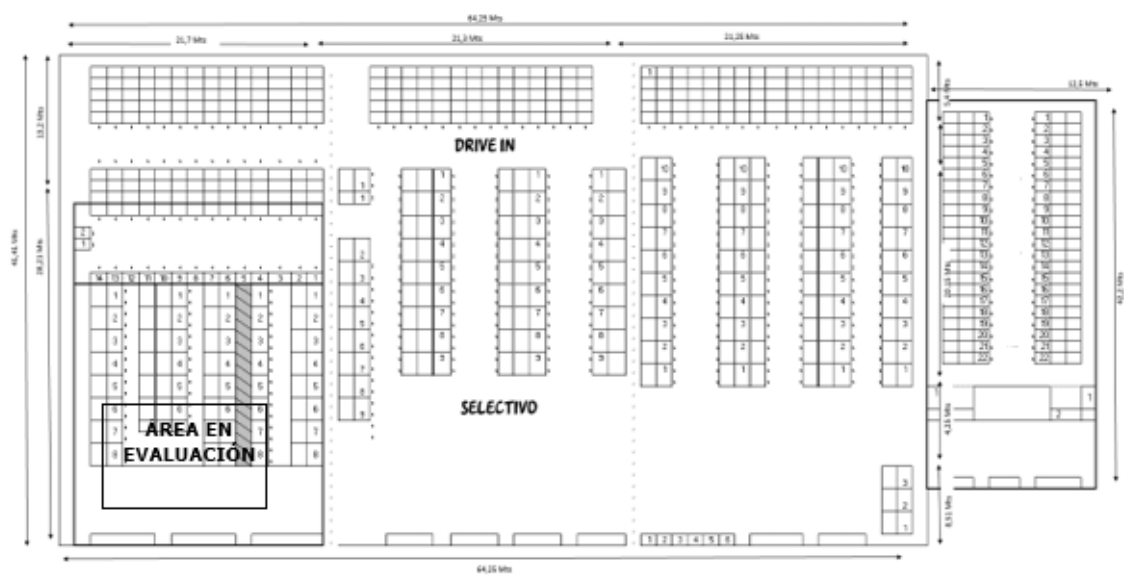
La empresa NESTLÉ, comprometida con la reducción de su huella de carbono y la sostenibilidad ambiental, ha decidido utilizar amoníaco (R717) como refrigerante en su nuevo sistema de refrigeración. El amoníaco es reconocido por sus propiedades termodinámicas superiores, su eficiencia energética y su bajo impacto ambiental, con un Potencial de Calentamiento Global (GWP) prácticamente nulo. Además, no contribuye al agotamiento de la capa de ozono, lo que refuerza su perfil como una opción ideal y sostenible para la industria alimentaria.

3.6 ALCANCE DEL SERVICIO REQUERIDO/ ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

El objetivo del proyecto es implementar un equipo de refrigeración en cámara frigorífica que utilice NH3 y glicol/high cool (propuesta en base a la temperatura requerida en cámara -25°C) para garantizar el frío de los productos de helados que se despachan y reciben desde el centro de Concepción. Adicionalmente es necesario realizar el desarme de la planta de NH3 (Sabroe) que se encuentra actualmente fuera de servicio en sala de máquinas. Dimensionar los requerimientos de frío en BTU asegurando una cámara a -25°.

3.6.1 ÁREA EVALUADA

A continuación, se presenta la zona que se encuentra en evaluación para el proyecto en el Centro de Distribución Nestlé Concepción.



6Figura 3-6-1 Plano Bodegas NESTLÉ CD CCP. Fuente: Servicio Técnico.

3.6.2 PLANO PLANTA ZONA EVALUADA

Actual cámara (Congelados) de planta Sabroe.



7Figura 3-6-2 Plano Cámara Congelados NESTLÉ CD CCP. Fuente: Servicio Técnico.

3.6.3 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO EN CÁMARA

Pasillo	Lado	Tipo Rack	Nichos	UB Pal	Fondo	Altura	Disponible
Pasillo 10	P10A	Selectivo	8	4	2	3	48
	P10B	Selectivo	8	4	4	3	96
Pasillo 12	P12A	Selectivo	7	2	2	3	84
	P12B	Selectivo	7	2	1	3	42
Pasillo 13	P13A	Selectivo	6	2	2	3	72
	P13B	Selectivo	7	2	2	3	84
TOTAL							426
TON (Aproximada)			298				

Tabla 8 Capacidad de Almacenamiento en Cámara de Congelados NESTLÉ CD CPP. Fuente: Elaboración propia.

3.6.4 INGRESO DE PRODUCTOS POR DÍA

TON	28
-----	----

Tabla 9 Ingreso de productos en TON por día. Fuente: Elaboración propia.

3.6.5 REQUERIMIENTO DE T°

T° ENTRADA	-18°C
T° DESEADA CÁMARA	-25°C
PRE CÁMARA	2 A 4 °C

Tabla 10 Requerimiento de Temperatura. Fuente: Elaboración propia.

3.6.6 REQUERIMIENTOS PARA EL PROYECTO

- Sistema compacto, solución presente en el mercado.
- Minimizar consumo energético del equipo.
- Confiabilidad del sistema.
- Posibilidad de reducir operadores de equipos.
- El producto almacenado corresponde a pallet y cajas de Helados.
- Asegurar una temperatura de -25° C en cámara y de 2 a 4 °C en pre cámara.

3.7 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE SOLUCIONES TECNOLÓGICAS DE PROVEEDORES

En esta sección, se procederá a la evaluación detallada de las propuestas presentadas por tres proveedores: Johnson Controls, Tecnoinox, y Luis Videla. El objetivo de este análisis es seleccionar la solución tecnológica que mejor se ajuste a las necesidades operativas del sistema de refrigeración del centro de distribución de Nestlé CD Concepción.

Ítem	Johnson Controls	Luis Videla	Tecninox
Suministro Equipos y Elementos	USD 392.443	\$ 318.000.000	USD 348.744
Puesta en marcha de Compresores	USD 3.897		USD 49.170
Instalación Equipo Evaporadores red Ace/Inox		\$ 38.600.000	
Ingeniería y Administración Obra	USD 60.892		
Montaje Electro Mecánico	USD 43.263	\$ 83.800.000	USD 132.260
Desarme Equipo Existente	USD 12.062	\$ 32.600.000	Considera
Plan de Mantenimiento	SI	SI	SI
Disponibilidad de repuestos (T. Respuesta)	30 Días	15 Días	17 Días
Subtotal	USD 712.557	\$ 473.000.000	USD 530.174
Total CLP	\$ 680.192.661	\$ 473.000.000	\$ 506.093.497

Tabla 11 Evaluación proveedores. Fuente: Elaboración propia.

Tras analizar detalladamente las propuestas de los tres proveedores, Johnson Controls, Luis Videla y Tecninox, considerando un tipo de cambio aproximado de 956 CLP por USD, se concluye que Luis Videla es la opción más recomendable. Un análisis de sensibilidad indica que incluso ante variaciones moderadas en el tipo de cambio, Luis Videla se mantiene como la opción más económica. Al evaluar el costo total en pesos chilenos, incluyendo servicios como el plan de mantenimiento y la flexibilidad en el desarme, Luis Videla ofrece la mejor relación costo-beneficio

3.8 ANÁLISIS CICLO DE VIDA

Para finalizar este análisis, se aplica la ecuación o balanceo del ciclo de vida, como se muestra en la tabla a continuación. En este proceso, se comparan los costos asociados al funcionamiento de los equipos en términos de valor presente // la fórmula del valor futuro. Además, se considera el valor de los equipos cuando fueron adquiridos en 1994, ajustado a la fecha actual teniendo en cuenta la inflación acumulada, la inflación media, el IPC de 1994 y el IPC actual.

Inflación acumulada Desde 1994	237.79%
Inflación media Desde 1994	4.14%
IPC 1994	44.73
IPC hoy	151.10

Tabla 12 La Inflación en números. IPC y Tendencias desde 1994. Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas Chile.

	Equipo Sabroe	Equipo Nuevo
Adquisición (HOY)	\$ 325.939.854	\$ 440.000.000
Costo de operación (Anual)	\$ 168.000.000	\$ 72.000.000
Costo de mantenimiento Preventivo	\$ 12.000.000	\$ 12.000.000
Costo de mantenimiento Correctivo	\$ 60.000.000	\$ -
Costo de reemplazo	\$ 16.000.000	\$ 5.000.000
TOTAL (HOY)	\$ 581.939.854	\$ 529.000.000
*Costo de reemplazo (Menor cantidad de NH3).		
Variación por funcionamiento del equipo SABROE		\$ -52.939.854

Tabla 13
 Análisis Ciclo de Vida. Fuente: Elaboración propia.

A partir de la evaluación realizada y considerando los datos proporcionados en la tabla comparativa, se puede concluir de manera contundente que la implementación del nuevo sistema de refrigeración representa una opción económicamente más viable a largo plazo. El análisis del ciclo de vida demuestra que el nuevo sistema generará un ahorro de 52 millones de CLP en comparación con el equipo Sabroe. Este ahorro se debe principalmente a los menores costos de operación, mantenimiento y recambio del nuevo equipo.

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA IMPLEMENTANDO VALOR ACTUAL NETO

La tabla presenta un análisis comparativo entre el sistema actual y el nuevo sistema propuesto. El sistema actual, con un costo inicial de instalación de \$466,000,000, genera costos operativos anuales de \$219,600,000. Al implementar el nuevo sistema, con un costo inicial de \$466,000,000, se espera reducir los costos operativos anuales a \$96,000,000, lo que representa un ahorro anual de \$100,140,000. Este ahorro significativo permitirá recuperar la inversión inicial en un plazo estimado de 4.7 años. El análisis del valor actual neto (VAN) muestra que el proyecto es financieramente viable, generando un valor presente neto positivo de \$210,848,645, lo que indica que los beneficios a largo plazo superan los costos iniciales.

- Periodo de recuperación: costo instalación / ahorro anual
- Periodo de recuperación: \$466,000,000 / \$100,140,000
- Periodo de recuperación: 4,7 = 4,7 años

Los resultados nos entregan un VAN positivo y un flujo de caja favorable, lo que indica la viabilidad económica del proyecto y su capacidad para generar beneficios a largo plazo para el hogar.

	Actual	Nuevo	
Instalación		\$ 466.000.000	
Gast Anual			Ahorro
Mano de Obra	\$ 192.000.000	\$ 96.000.000	\$ 96.000.000
Energía	\$ 27.600.000	\$ 23.460.000	\$ 4.140.000
			\$ 100.140.000
PERIODO DE RECUPERACIÓN	4,7		

	AÑO 1	AÑO2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Instalación	\$ -466.000.000									
Gasto Anual	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000
Ahorro Anual	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000
TOTAL	\$ -585.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000

	AÑO 1	AÑO2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Sin Proyecto	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000

Analisis VAN	AÑO 1	AÑO2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Con Proyecto	\$ -585.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000	\$ -119.460.000
Sin Proyectos.	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000	\$ -219.600.000
Diferencia	\$ -365.860.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000	\$ 100.140.000
VAN	\$ 210.848.645									

Tabla 14 Evaluación Económica incluyendo VAN. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

5.1.1 VIDA ÚTIL Y OBSOLESCENCIA DE LOS EQUIPOS

La evaluación detallada del sistema de refrigeración ha revelado que varios de los equipos actuales han superado su vida útil óptima, lo que los coloca en un estado avanzado de obsolescencia. Esto no solo se refleja en la antigüedad de los equipos, sino también en su creciente tasa de fallos y la reducción de su eficiencia operativa. La curva de la bañera ha sido un modelo útil para visualizar cómo los equipos están entrando en la fase final de su ciclo de vida, caracterizada por una mayor frecuencia de fallos, lo que justifica la necesidad de su reemplazo.

5.1.2 IMPACTO ECONÓMICO DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS OBSOLETOS

El análisis económico demuestra que el mantenimiento de los equipos obsoletos no es sostenible a largo plazo. Los costos asociados con las reparaciones recurrentes, la pérdida de eficiencia energética, y el riesgo de fallos catastróficos exceden los costos de inversión en nuevos equipos. Además, el alto costo de mantener los equipos actuales no solo afecta la rentabilidad, sino que también pone en riesgo la continuidad operativa, especialmente en una instalación crítica como la cámara de congelados.

5.1.3 EFICIENCIA Y SOSTENIBILIDAD

Los nuevos equipos propuestos, como el Ammolite Intarcon NH3, ofrecen mejoras significativas en términos de eficiencia energética y operativa. Su implementación no solo reducirá los costos operativos, sino que también contribuirá a una reducción significativa de la huella de carbono de la instalación, alineándose con las metas de sostenibilidad de la empresa. Esto refuerza la viabilidad técnica y económica del proyecto de recambio.

5.1.4 CONFORMIDAD CON NORMAS INTERNACIONALES

La propuesta de recambio y la gestión de la obsolescencia están en plena conformidad con la norma ISO 55001, que enfatiza la importancia de gestionar los activos a lo largo de su ciclo de vida. La documentación y planificación realizada aseguran que la empresa mantendrá su capacidad operativa mientras adopta una gestión más proactiva y estratégica de sus activos.

5.1.5 RETORNO DE INVERSIÓN Y BENEFICIOS A LARGO PLAZO

El análisis costo-beneficio sugiere que la inversión en nuevos equipos no solo es viable sino también favorable desde el punto de vista financiero. El retorno de la inversión, considerado junto con la reducción en los costos de mantenimiento y energía, justifica plenamente la adopción de la nueva tecnología. A largo plazo, esto fortalecerá la

competitividad de la empresa al asegurar la fiabilidad y continuidad del sistema de refrigeración.

5.2 RECOMENDACIONES

5.2.1 IMPLEMENTAR EL REEMPLAZO DE EQUIPOS OBSOLETOS

Se recomienda proceder con el reemplazo de los equipos de refrigeración que han superado su vida útil y presentan un estado avanzado de obsolescencia. Es crucial priorizar la adquisición e instalación de los nuevos equipos, como el Ammolite Intarcon NH3, para asegurar la continuidad operativa y mejorar la eficiencia del sistema de refrigeración.

5.2.2 ADOPTAR UNA GESTIÓN PROACTIVA DEL CICLO DE VIDA DE LOS ACTIVOS

Es recomendable establecer un plan de gestión proactiva del ciclo de vida de los activos que contemple el monitoreo continuo de la condición de los equipos. Esto permitirá identificar de manera temprana los signos de obsolescencia y planificar reemplazos o actualizaciones de manera eficiente, evitando interrupciones en la operación.

5.2.3 OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Se debe optimizar el programa de mantenimiento preventivo para los nuevos equipos, asegurando que se realicen inspecciones y mantenimientos regulares que maximicen la vida útil de los activos y minimicen el riesgo de fallos inesperados. Esto debe incluir la capacitación del personal en las nuevas tecnologías y protocolos de mantenimiento.

5.2.4 REALIZAR UN SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN CONTINUA

Es recomendable implementar un sistema de seguimiento y evaluación continua del rendimiento de los nuevos equipos. Esto permitirá ajustar las operaciones según sea necesario y garantizar que los beneficios esperados en términos de eficiencia energética y reducción de costos se materialicen.

BIBLIOGRAFÍA

- Bernad. ¿Qué es la refrigeración con amoníaco? ⚙️. José Bernad. <https://www.josebernad.com/que-es-refrigeracion-con-amoniaco/>
- Manual de Mantenimiento; Ingeniería, Gestión y Organización. Alejandro J. Pistarelli. (Libro)
- (S/f). Manufactura-latam.com. <https://www.manufactura-latam.com/es/blog/estimacion-de-la-vida-util-de-una-planta-industrial>
- Archivo: Curva de bañera.jpg. (s/f). [Wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bathtub_curve.jpg). Recuperado el 21 de agosto de 2024, de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bathtub_curve.jpg
- Compresores de aire: ¿reparar o reemplazar? (s/f). [Sullair](https://america.sullair.com/es/blog/compresores-de-aire-reparar-o-reemplazar). Recuperado el 21 de agosto de 2024, de <https://america.sullair.com/es/blog/compresores-de-aire-reparar-o-reemplazar>
- (S/FB). Openstax.org. <https://openstax.org/books/introducción-estadística-empresarial/pages/5-3-la-distribucion-exponencial>
- SII. (s/f). [Sii.cl](https://www.sii.cl/valores_y_fechas/tabla_vida_util_activo_inmovilizado.html). https://www.sii.cl/valores_y_fechas/tabla_vida_util_activo_inmovilizado.html
- Nuestros Centros de Distribución · Cañaveral 220, Quilicura, Región Metropolitana, Chile. <https://www.nestle.cl/aboutus/nuestros-centros-de-distribucion>
- Nestlé S.A. (/ˈnɛslɪ, -li, -əl/ NESS-lay, -lee, -əl, French: [nɛslɛ], German: <https://empresa.nestle.es/es/sobrenestle#:~:text=Nestlé%20es...,una%20gran%20variedad%20de%20productos>
- Mantenimiento adecuado de sistemas de refrigeración. https://www.engormix.com/ganaderia/miscellaneous/mantenimientoadeuado-sistemas-refrigeracion_a27968/
- GRANDES BENEFICIOS de un Mantenimiento Overhaul - Pro MP. <https://www.promp.com.pe/blog/grandes-beneficios-de-un-mantenimiento-overhaul/>
- NH3 (Amoníaco) | PRTR España. <https://prtr-es.es/NH3-amoniaco,15593,11,2007.html>
- Professional Development. [ashrae.org](https://www.ashrae.org)
- ASHRAE. <https://www.ashrae.org/file%20library/professional%20development/ashrae-unep/unep---ashrae-factsheet--spanish-.pdf>
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. [Una Gestión RCM](https://dconfianza.pe/blog/2020/07/mantenimiento-centrado-en-confiabilidad/)
- <https://dconfianza.pe/blog/2020/07/mantenimiento-centrado-en-confiabilidad/>

- Refrigerantes Naturales.
<https://www.gildardoyanez.com/refrigerantes-naturales/>
- Bernardo. (26 de abril de 2018). Historia de la Refrigeración: De la Prehistoria a la Actualidad. José Bernardo; José Bernardo | Refrigeración y maquinaria para hostelería. <https://www.josebernad.com/historia-de-la-refrigeracion-de-la-prehistoria-a-la-actualidad/>
- Molina, JM (2023, 24 de mayo). Historia de la refrigeración. INTARCÓN. <https://www.intarcon.com/historia-de-la-refrigeracion/>
- Sabroe. (s/f). Sabroe.com. Recuperado el 21 de agosto de 2024, de <https://www.sabroe.com>