

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN A PLAN DE MANTENIMIENTO DE
COMPRESOR SABROE MEDIANTE TÉCNICA DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero en MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL.

Alumno:

Nicolas Andrés Vega Reveco

Profesor Guía:

Mg. Ing. Pablo Duque Ramírez

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE
MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: •PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN A PLAN DE MANTENIMIENTO DE COMPRESOR
SA3ROE MEDIANTE TÉCNICA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

Nombre del candidato(a): Nicolás Andrés Vega Reveco

Carrera / Grado: Ing. mantenimiento industrial

Campus: Viña del Mar ; Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Pablo Duque Ramírez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico
mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de
inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o
intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 08-07-2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 03-07-2025

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por
estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

El presente trabajo consta de tres capítulos, donde se utilizan herramientas relacionadas al mantenimiento basado en confiabilidad (RCM), con la finalidad de tomar acciones en las actividades de mantenimiento, para que el activo analizado continúe con su operatividad, y con ello, alargar su vida útil.

En primera instancia, se utiliza la herramienta matriz de criticidad, con el propósito de categorizar los equipos que componen el sistema de unidad de frío, planta de la empresa GASMAR. Esta herramienta es fundamental para identificar cuál es el equipo más crítico, que conlleva una mayor consecuencia al sistema, obteniendo como resultado de la matriz, que el equipo con el mayor índice de criticidad, es el compresor.

Mediante un análisis de modos de fallas, efecto y criticidad realizado al equipo más crítico, se identifican las funciones primarias, secundarias, fallas funcionales, modos de fallas, entre otros. Dado lo anterior, se realiza mediante las decisiones de RCM, un diagrama para evaluar cada falla, con esto facilita determinar las actividades de mantenimiento adecuadas para el equipo.

Al realizar el análisis técnico – económico, queda plasmado la comparación entre el plan de mantenimiento vigente y el plan propuesto con RCM, mostrando el valor económico del plan actual de \$ 45.487.995 y el plan propuesto de \$ 27.355.013 CLP, lo que conlleva a un beneficio para la empresa de \$ 18.132.982 CLP, con 9 fallas esperadas en un año, en comparación a las 20 fallas existentes.

ÍNDICE

RESUMEN	2
ÍNDICE	4
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	6
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA	7
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVO ESPECÍFICO	2
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA Y RECONOCIMIENTO DE EQUIPOS CRÍTICOS.	3
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.	4
1.2. UBICACIÓN	5
1.3. GLP (GAS LICUADO DE PETRÓLEO)	5
1.4. DIAGRAMA ILUSTRATIVO DEL PROCESO GENERAL	6
6	
1.4.1. RECEPCIÓN DEL GAS EN EL MUELLE	7
1.4.2. SECTOR TRINCHERA - CAÑERÍAS	7
1.4.3. ESTANQUE N°5 Y PISCINA DE SEGURIDAD	7
1.4.4. UNIDAD DE REFRIGERACIÓN	8
1.4.5. ZONA DE ODORANTE Y CROMATÓGRAFO	8
1.4.6. ZONA DE CARGA DE CAMIONES	8
1.4.7. OLEODUCTO	8
1.4.8. ANTORCHA DE SEGURIDAD	8
1.5. DESCRIPCIÓN DE MANTENIMIENTO APLICADO EN GASMAR	9
1.5.1. PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO	9
1.5.2. PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO	10
1.6. SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR ORDENADOR	10
1.7. TIPOS DE MANTENIMIENTO UTILIZADOS	11
1.7.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO	11
1.7.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO	12
1.7.3. MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN	12
1.8. ANÁLISIS DE CRITICIDAD	12
1.9. CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS SEGÚN ANÁLISIS DE CRITICIDAD	15

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO Y DESARROLLO DE ANÁLISIS FMECA	17
2.1. DESCRIPCIÓN UNIDAD DE FRÍO	18
2.2. UBICACIÓN UNIDAD DE FRÍO PLANTA	18
2.3. DESCRIPCIÓN COMPRESOR SABROE	19
2.3.1 DATOS OPERACIONALES	21
2.3.2. COMPONENTES	21
2.4. CONTEXTO OPERACIONAL	22
2.5. DEFINICIÓN DE FUNCIONES	23
2.6. FALLAS FUNCIONALES	23
2.7. MODOS DE FALLA	24
2.8. CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO	24
2.8.1 IMPACTO EN MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD	25
2.9. ANÁLISIS FMECA DEL EQUIPO	25
2.10. JERARQUIZACIÓN POR MODO DE FALLAS	26
2.11. DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	26
2.11.1. HOJA DE DECISIONES	28
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA	31
3.1. ANÁLISIS DE LAS RECOMENDACIONES DEL RCM	32
3.2. PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO	32
3.3. DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM	33
3.4. IMPACTO DE INACTIVIDAD DEL EQUIPO	34
3.5. FACTIBILIDAD TÉCNICA - ECONÓMICA	35
3.6. COSTOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO RCM	35
3.7. PLAN DE MANTENIMIENTO VIGENTE EN GASMAR	36
3.8. ANÁLISIS ECONÓMICO DE PLAN DE MANTENCIÓN.	36
CONCLUSIÓN 41	
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS 43	
A. ANEXO A: INSPECCIÓN DE PARÁMETROS	43
B. ANEXO D: TABLA ÓRDENES DE COMPRA	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Logo actual de Gasmar.....4

Figura 1-2: Vista satelital, Planta Gasmar quintero.....5

Figura 1-3: Diagrama ilustrativo general de planta.....6

Figura 1-4: Matriz de criticidad (frecuencia x consecuencia) 16

Figura 2-1: Vista satelital planta Quintero.....19

Figura 2-2: Compresor unidad de frío planta.....19

Figura 2-3: Componentes de compresor.....21

Figura 2-4: Jerarquización por riesgo.....26

Figura 2-5: Diagrama de decisión.....27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Ponderación de FF..... 13

Tabla 1-2: Ponderación de IO..... 13

Tabla 1-3: Ponderación de FO 14

Tabla 1-4: Ponderación de SHA 14

Tabla 1-5: Ponderación de CM 15

Tabla 1-6: Índice de criticidad. 15

Tabla 1-7: Porcentaje de criticidad 17

Tabla 2-1: Diagrama SIPOC del proceso 18

Tabla 2-2: Datos operacionales del compresor 20

Tabla 2-3: Componentes de compresor 21

Tabla 2-4: FMECA 25

Tabla 2-7: Hoja de decisión (1/2) 28

Tabla 2-8: Hoja de decisión (2/2) 29

Tabla 2-9: Actividades de mantenimiento 30

Tabla 3-1: Indicador de ahorro potencial después de RCM.....37

Tabla 3-2: Comparación de costos de plan de mantenimiento 38

Tabla 3-3: Comparación de costos de plan de mantenimiento 39

Tabla 3-4: Comparación de costos de plan de mantenimiento 40

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS

RCM: Mantenimiento centrado en la confiabilidad

GLP: Gas licuado de petróleo

B. SIMBOLOGÍA

m³: Metros cúbicos

RPM: Revoluciones por minuto

°C: Grados Celsius

PSI: Libra por pulgada cuadrada

INTRODUCCIÓN

Gasmar es una empresa chilena asociada al almacenamiento y distribución de gas licuado de petróleo. Fundada en 1992, tiene su sede central en la ciudad de Santiago de Chile, cuenta con dos terminales de almacenamiento de producto, el principal terminal se encuentra ubicado en la comuna de Puchuncavi y un segundo terminal ubicado en la comuna de Mejillones, siendo la primera la más grande en términos de almacenamiento. La empresa cuenta con una red de distribución a distintas regiones en Chile, el producto (GLP), es distribuido desde los terminales, a través de camiones cisterna y por medio de oleoductos (SONACOL), para uso doméstico, comercial e industrial.

El mantenimiento es de suma importancia para los terminales de Gasmar, ya que es lo que garantiza que el producto se mantenga en condiciones óptimas, en estado de almacenamiento, como en la distribución de este. La finalidad del mantenimiento radica en garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y asegurar la continuidad de los procesos productivos. Sin embargo, en la realidad, el mantenimiento correctivo, tiene un indicador mayor al mantenimiento preventivo, el cual se da a entender que no se abarcan todas las actividades preventivas necesarias para que el activo esté disponible, lo que conlleva a consecuencias no favorables. Los indicadores que se esperan mejorar son los tiempos inactivos del equipo, debido a las detenciones y/o mantenciones no programadas. Esta disconformidad, a nivel de planta, se traduce en costos elevados, penalizaciones económicas, tiempos de inactividad prolongados y aplazamiento de mantenciones planificadas/programadas.

Basándose en lo antes mencionado, la metodología de RCM (Reliability Centered Maintenance), surge como una herramienta para mejorar el mantenimiento de los equipos, ya que permite identificar las tareas de mantenimiento necesarias, para garantizar la confiabilidad y disponibilidad de estos. Además, RCM, establece los tiempos de ejecución para realizar las tareas de mantenimiento, lo cual se ve reflejado en la reducción de costos y tiempos de inactividad propuestos, mediante esta metodología.

OBJETIVO GENERAL

Proponer la optimización del plan de mantenimiento del equipo crítico de unidad de frío planta, aplicando la técnica de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), con el propósito de mejorar la eficiencia operativa, reduciendo el tiempo de inactividad no programado y asegurar su funcionamiento.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Realizar un análisis de criticidad, del sistema de unidad de frío planta, considerando la frecuencia de fallas y consecuencias, con la finalidad de identificar el equipo crítico, mediante el análisis del gráfico de dispersión logarítmica, para su posterior análisis.
- Desarrollar análisis de modos de falla, efecto y criticidad del equipo crítico, con el propósito de identificar las actividades de mantenimiento.
- Evaluar técnica y económicamente la propuesta, determinado la viabilidad de lo propuesto de mejora, derivadas del análisis RCM.

**CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA Y
RECONOCIMIENTO DE EQUIPOS CRÍTICOS.**

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.

Gasmar es una empresa chilena, en el rubro de almacenamiento y distribución de gas licuado de petróleo (GLP). Fundada en 1992, en la bahía de Quintero, en la región de Valparaíso, cuenta con cinco tanques, los cuales almacenan un total de 145 mil metros cúbicos de GLP, la distribución del producto se realiza mediante SONACOL (sociedad nacional de oleoducto) y a través de camiones a distintas partes del país, siendo una empresa clave en asegurar el abastecimiento de la industria del GLP, en la zona centro sur del país, mediante la constitución de la sociedad Hualpén Gas S.A. con la empresa Abastible en el año 2013. En el año 2019 se construye un nuevo terminal en Mejillones, que cuenta con un almacenamiento de 20.000 metros cúbicos, empezando su funcionamiento el año 2022.



Fuente: <https://www.gasmar.cl/>

Figura 1-1: Logo actual de Gasmar.

1.2. UBICACIÓN

La planta Gasmar, sitúa su ubicación en la quinta región de Valparaíso, específicamente en la comuna de Puchuncavi, ruta F-30-E. Esta se trata de la planta más grande a nivel de almacenamiento de la empresa, además de mantener una cercanía con el terminal marítimo de Oxiquim, siendo este la principal fuente de ingreso de materias primas de la planta, mediante descarga de productos desde buques.



Fuente: Google Maps, Elaboración propia.

Figura 1-2: Vista satelital, Planta Gasmar quintero.

1.3. GLP (GAS LICUADO DE PETRÓLEO)

El Gas Licuado de Petróleo (GLP), es un tipo de combustible utilizado en diferentes aplicaciones, tanto domésticas como industriales. Se obtiene a partir de la refinación del petróleo crudo y se compone principalmente de propano y butano, que se encuentran en estado líquido, bajo condiciones normales de presión y temperatura. El GLP es altamente versátil y se utiliza en una amplia gama de aplicaciones. En el ámbito doméstico, se utiliza principalmente como combustible para la cocina, ya sea en forma de bombona o a través de una instalación fija, conectada a una red de suministro. También se utiliza como combustible para calentadores de agua y sistemas de calefacción en algunos casos. En la industria, el GLP se utiliza en diversos sectores, como la agricultura, la industria del automóvil, la industria química y la generación de energía. Es utilizado en motores de vehículos a gas, equipos de soldadura, hornos industriales, generadores eléctricos y muchos otros procesos industriales. Una de las principales ventajas del GLP, es su alta densidad energética, lo que significa que proporciona una gran cantidad de

energía, en comparación con su volumen. Además, es un combustible limpio en términos de emisiones, lo que lo hace más respetuoso con el medio ambiente, en comparación con otros combustibles fósiles. El GLP es fácil de transportar y almacenar, debido a su estado líquido a presión atmosférica y temperatura moderada. Esto facilita su distribución y lo convierte en una opción conveniente para áreas donde la infraestructura de gas natural puede ser limitada.

En resumen, el gas licuado de petróleo es una fuente de energía versátil y eficiente, que juega un papel crucial, en el suministro de energía para diversas aplicaciones, tanto residenciales como comerciales.

1.4. DIAGRAMA ILUSTRATIVO DEL PROCESO GENERAL

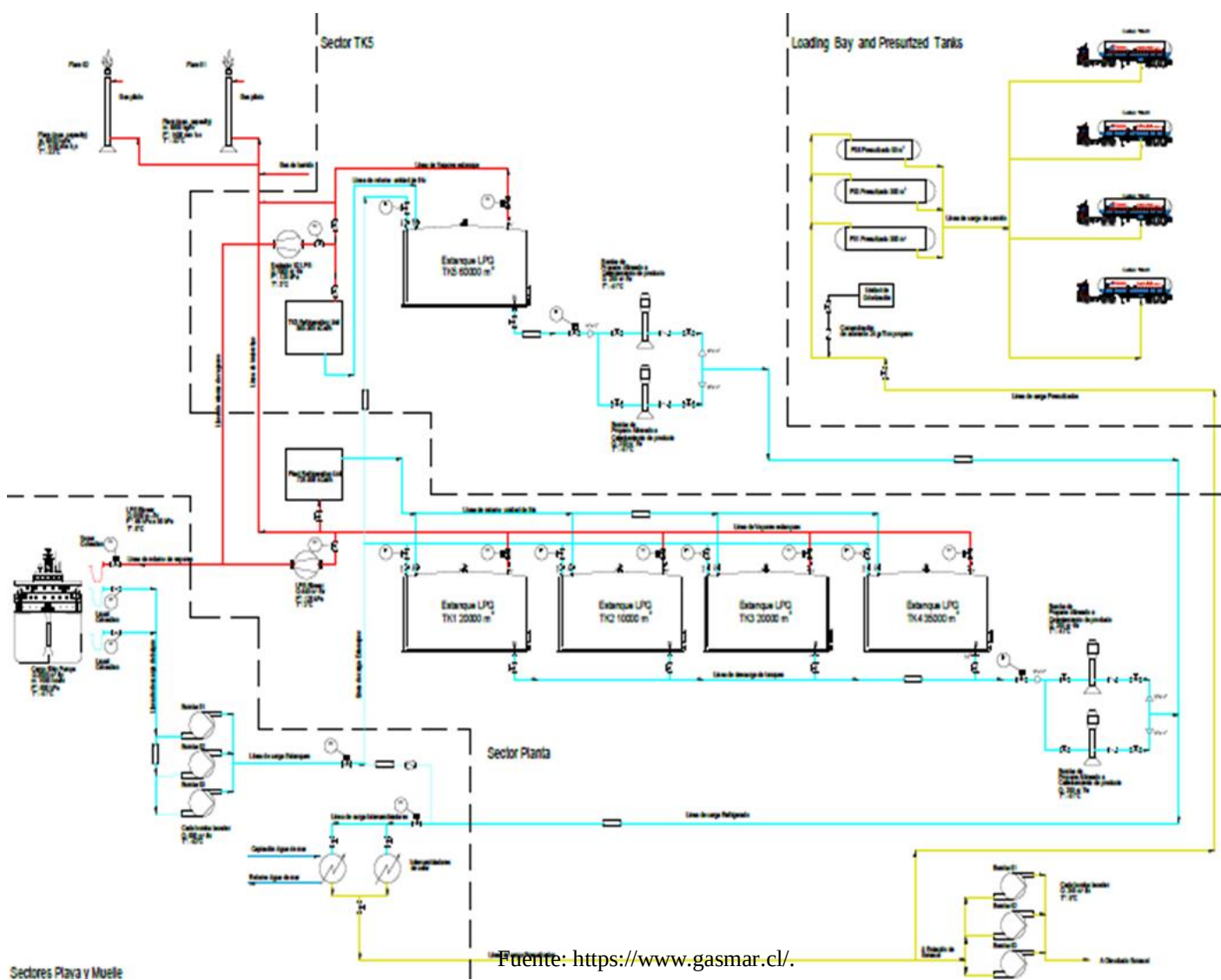


Figura 1-3: Diagrama ilustrativo general de planta.

En la figura 1-3, se observa el proceso general de la planta, desde la llegada del buque a muelle, el almacenamiento del producto en los tanques, los sistemas de seguridad como son antorchas, las unidades de frío, hasta la zona de carga de camiones y traspaso de producto vía oleoducto, a continuación, se describe a grandes rasgos el proceso.

1.4.1. RECEPCIÓN DEL GAS EN EL MUELLE

Cuando nuestros clientes lo han programado, llegan los buques cargados con gas licuado al muelle que se encuentra frente a la planta de Gasmar y son descargados en un proceso que toma alrededor de dos días por buque. El propano y butano ambos denominados habitualmente como gas licuado, son gases inoloros que, al estar refrigerados, alcanzan un estado líquido que permite que su traslado y manejo sean económicos y seguros. Los controles y medidas de seguridad previas y durante la actividad de descarga son extremadamente rigurosos. La operación se efectúa a través de conexiones y flexibles que tienen válvulas de seguridad bidireccionales incorporadas.

1.4.2. SECTOR TRINCHERA - CAÑERÍAS

Una vez que el gas licuado comienza a ser descargado, se transporta a través de cañerías hacia los estanques de almacenamiento, lo que garantiza una operación confiable.

1.4.3. ESTANQUE N°5 Y PISCINA DE SEGURIDAD

Esta es la estructura de almacenamiento más grande del terminal, con una capacidad de 60.000 m³, ó 35.000 toneladas. Permite almacenar el contenido de aproximadamente 2,3 millones de balones de gas y fue fabricado en el 2014. Se trata del estanque más nuevo de la planta e incluye aspersores de agua para enfriamiento y monitores equidistantes en cuatro puntos del estanque, controlados de manera remota con motores eléctricos desde la sala de control.

Las piscinas de seguridad contienen cerca de 11 millones de litros de agua para apoyar la red de incendios, cumpliendo exigentes estándares normativos internacionales.

1.4.4. UNIDAD DE REFRIGERACIÓN

El aumento de presión que genera naturalmente el gas es controlado constantemente y de manera automática por las unidades de refrigeración. Las cuales se tienen unidades robustas, con equipamiento que se revisa y renueva de manera permanente, para contar siempre con equipos en funcionamiento y otros de respaldo.

1.4.5. ZONA DE ODORANTE Y CROMATÓGRAFO

Esta es una de las zonas más importantes del terminal, debido a que gran parte de las medidas de seguridad tienen que ver con lo que aquí ocurre: la aplicación del odorante al gas licuado. El gas licuado en su estado original no tiene olor; el aroma conocido como “olor a gas” es producto de la incorporación de un compuesto odorante que se aplica en dosis muy pequeñas: 24 gr -una tacita de café- por cada tonelada de gas.

1.4.6. ZONA DE CARGA DE CAMIONES

El medio en el cual se transporta el producto es a través de camiones, los que son cargados en zonas especialmente habilitadas. El camión que ingresa a planta se pesa y se chequean las medidas de seguridad del terminal y el transporte, para luego eliminar la estática. La conexión del camión a una de nuestras islas de carga es un proceso que no excede los 40 minutos, se llena el semirremolque con aproximado 22 toneladas.

1.4.7. OLEODUCTO

El 85% del gas licuado que se entrega desde el terminal se transporta por una red de cañerías de propiedad de un tercero hacia Santiago, en donde los clientes llenan los cilindros y comienzan su comercialización hacia los hogares.

1.4.8. ANTORCHA DE SEGURIDAD

El terminal cuenta con dos antorchas de seguridad, como una medida de seguridad adicional para hacer frente a aumentos de presión que se pudiesen generar en los estanques. Cuando se registra un aumento de presión no absorbido por la unidad de

refrigeración, automáticamente se abren unas válvulas que liberan el exceso de presión hacia las antorchas. Por protocolo, la antorcha titular debe estar siempre encendida.

1.5. DESCRIPCIÓN DE MANTENIMIENTO APLICADO EN GASMAR

Dentro de las empresas las cuales tienen un proceso productivo, existen diferentes tipos de departamentos especializados para el funcionamiento de la planta, dentro de los cuales se mencionan el departamento de proyecto, departamento de comercio, departamento de operación, departamento de seguridad y medio ambiente y departamento de mantenimiento, siendo cada una de ellas responsable de cumplir las exigencias, misión, visión y objetivos empresariales fomentando la mejora continua.

Existen cuatro áreas en la planta para ejecución del mantenimiento del terminal y de los equipos:

- Área mecánica,
- Área eléctrica, instrumentación y control
- Área pintura
- Área servicios generales

Las áreas mencionadas anteriormente se conocen por realizar las actividades de mantenimiento de equipos de terreno, ejecución de obras industriales, como montaje de equipos, instalación y puesta en marcha, además de lo anterior, mantiene un control de los equipos mediante datos plasmados en informes de los parámetros obtenidos a través de mantenimiento preventivos, con el fin de tener un control de estos. Además, cuentan con profesionales que poseen los conocimientos que le permiten mejorar la producción, tener eficiencia en los procesos respetando los equilibrios medioambientales, integridad y seguridad.

1.5.1. PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO

El departamento de planificación de GASMAR tiene como principal objetivo organizar y coordinar a largo plazo las actividades necesarias para realizar el mantenimiento de equipos, máquinas o infraestructuras de manera eficiente, minimizando interrupciones y optimizando recursos, así como también generar un control y

retroalimentación sobre dichos planes, procurando realizar gestión de estrategias y recursos requeridos para cumplir de forma satisfactoria las especificaciones de los objetivos en tiempos determinados, tratando de distribuir de forma eficiente el presupuesto de mantenimiento.

- Qué actividades se deberán ejecutar en la inspección.
- Definición de objetivos de mantenimiento.
- Determinación de tipos de mantenimiento.

1.5.2 PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO

El área de programación del mantenimiento cumple la función clave de establecer un cronograma detallado de las actividades de mantenimiento, reunir recursos y coordinar fechas y horas exactas en las que se lleve a cabo los mantenimientos en conjunto con todas las áreas involucradas. Para realizar un programa de mantenimiento confiable se debe considerar lo siguiente:

- Priorizar actividades dependiendo de su criticidad.
- Verificar si se encuentran todos los recursos necesarios para la orden de trabajo.
- Establecer procedimientos de mantenimiento y documentación técnica para cada orden de trabajo

En la gran mayoría de las empresas de procesos existen software utilizados en el área de mantenimiento que hacen posible medir y mejorar el rendimiento de sus activos, además de y gestionar y coordinar las estrategias de forma sencilla, descrito lo anterior el software utilizado en la empresa gasmar en el área de mantenimiento es SAP PM.

1.6. SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR ORDENADOR

El programa SAP es una herramienta digital que se utiliza para gestionar y optimizar las actividades relacionadas con el mantenimiento de los equipos y las instalaciones de una empresa, permite a las empresas planificar, ejecutar y monitorear

tareas de mantenimiento, mejorando la eficiencia y reduciendo el tiempo de inactividad de los activos.

SAP dentro de sus múltiples funcionalidades tiene un módulo llamado PM (Plant maintenance o gestión del mantenimiento) dedicado a el control de mantención de los activos, este módulo cuenta herramientas que ayudan a organizar todas las gestiones. A continuación, se presentan submódulos principales

- Gestión de Datos Maestros
- Planificación de Mantenimiento
- Programación de mantenimiento
- Gestión de Órdenes de Mantenimiento
- Notificación de Averías y Fallas

1.7. TIPOS DE MANTENIMIENTO UTILIZADOS

Desde los inicios de las industrias y los procesos productivos la mantención ha sido un ente importante para evitar fallos inesperados, el mantenimiento se puede describir como el conjunto de actividades técnicas, administrativas y de gestión que se realizan en equipos, sistemas o instalaciones para asegurar su funcionamiento óptimo, prolongar su vida útil y prevenir fallos. Basándose en la norma ISO 14224:2016 existen diferentes tipos de mantenimiento aplicados en la planta Gasmar, a continuación, se describe cada uno de ellos.

1.7.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo es un tipo de mantenimiento el cual se lleva a cabo después de que un equipo haya fallado o presenta algún defecto. Su objetivo es reparar o restaurar el funcionamiento de los equipos para que vuelvan a operar de manera correcta. Este tipo de mantenimiento se aplica cuando ya ha ocurrido una avería o mal funcionamiento. Este tipo de mantenimiento inmediato tiene como consecuencia altos costos de mantención, pérdida en productividad e inseguridad al personal.

1.7.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Estrategia de mantenimiento programada que consiste en realizar inspecciones, ajustes, reparaciones y reemplazos de componentes o equipos de manera regular y planificada para evitar que se produzcan fallos o averías inesperadas. Asegurando que los activos se mantengan en condiciones óptimas de funcionamiento. Algunas de las tareas que se destacan en un mantenimiento preventivo son:

- Limpieza de equipo
- Cambio de componentes
- Rutas de inspección
- Lubricación
- Regulación

1.7.3. MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN

Mantenimiento que utiliza técnicas avanzadas de monitoreo y análisis de datos para predecir cuándo un equipo o maquinaria podría fallar, con el objetivo de realizar acciones de mantenimiento justo antes de que ocurra el fallo. el mantenimiento predictivo permite optimizar los recursos y minimizar el tiempo de inactividad no planificado.

- Análisis vibracional
- Análisis de ultrasonido
- Análisis de aceites
- Cámaras termográficas
- Tintas penetrantes (ASTM E1417 – UNE-EN ISO 3452-1)

1.8. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Para identificar los equipos críticos de un sistema, se realiza mediante un análisis de criticidad, el cual evalúa la frecuencia de falla de los equipos por su consecuencia. Una

vez obtenido los resultados de las encuestas, se jerarquizan los equipos del proceso mediante la cuantificación de un índice de criticidad IC, a continuación, se presenta la ecuación de índice de criticidad

$$IC = FF \times C [(IP \times FO) + CM + ISHA)]$$

Ecuación: Índice de criticidad

Tabla 1-1: Ponderación de FF

Frecuencia de fallas	Fallas por año	Valor
Mala	Más de 4 fallas anuales	4
Regular	Entre 3 y 5 fallas anuales	3
Buena	1 o 2 fallas anuales	2
Excelente	0 fallas anuales	1

Fuente: Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial.

El impacto operacional es un registro porcentual de perdida de producción diaria, define la ocurrencia inmediata de la falla, puede estar representada con un paro total o parcial de los equipos en cuestión y al mismo tiempo el paro del proceso. La ponderación del impacto en la producción se refleja en la tabla 2.

Tabla 1-2: Ponderación de IO.

Impacto operacional	Consecuencias	Escala
Extremadamente alto	Pérdida total de producción de toda planta	10
Alto	Pérdida de toda la producción de un proceso	8
Regular	Pérdidas parciales de un proceso de producción	5
Bajo	Pérdidas mínimas del proceso de producción	3
Sin impacto	No genera ningún impacto en la producción	1

Fuente: Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial.

La flexibilidad hace referencia a la capacidad que se tiene de adaptación una vez ocurrida una falla en el equipo, en la siguiente tabla se presenta tres rangos con sus respectiva flexibilidad y consecuencias.

Tabla 1-3: Ponderación de FO

Flexibilidad	Consecuencias	Escala
Alta	Mínima capacidad de adaptarse a cambios y problemas	4
Regular	Capacidad regular de adaptación	2
Baja	Alta disponibilidad de respaldo y adaptación a cambios	1

Fuente: Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial.

El impacto de SHA hace referencia a las consecuencias para el personal y medio ambiente debido a una falla en el equipo, a continuación, se presenta la ponderación del SHA.

Tabla 1-4: Ponderación de SHA

Impacto SHA	Consecuencias	Escala
Extremadamente alto	Impacto ambiental catastrófico externo e interno/ Pérdidas de vidas (muerte) requiriendo notificación a instituciones públicas	8
Alto	Daño irreparable al medio ambiente o accidente mortal	6
Promedio	Daño reversible al medio ambiente o accidente con daños menores	4
Bajo	Accidentes leves	2
Sin impacto	No existen accidentes laborales ni daños al medio ambiente	1

Fuente: Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial.

El costo de mantención mide el valor económico dado por una falla en el equipo, a continuación, se presenta los niveles de costos según la escala.

Tabla 1-5: Ponderación de CM

Costos de Mant.	Consecuencias	Escala
Alto	Costo mayor o igual a 1000 dólares	2
Bajo	Costo menor a 1000 dólares	1

Fuente: Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial.

1.9. CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS SEGÚN ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Tabla 1-6: Índice de criticidad.

Equipo	Frecuencia de fallas (FF)	Impacto Op. (IO)	Flexibilidad Op. (FO)	Costos de Mant. (CM)	Impacto SHA	Consecuencias (C)	Total	Jerarquización
Compresor de piston	4	8	4	2	6	40	160	Critico
Condensador	2	5	4	2	4	26	52	Semi Critico
Intercooler	2	5	4	1	2	23	46	Semi Critico
Separador de gotas	2	5	4	1	1	22	44	Semi Critico
Tanque	1	5	4	2	6	28	28	No critico
Válvula XV	2	5	2	1	1	12	24	No critico
Válvula HV	2	5	2	1	1	12	24	No critico
Válvula FV	2	5	2	1	1	12	24	No critico
Indicador de presión	2	5	1	1	4	10	20	No critico
Indicador de temperatura	2	5	1	1	4	10	20	No critico
Transmisor de flujo	2	3	2	1	1	8	16	No critico
Transmisor indicador de presión	2	3	2	1	1	8	16	No critico
Transmisor indicador de temperatura	2	3	2	1	1	8	16	No critico

Fuente: Elaboración propia

Se identifican los equipos asociados al proceso productivo analizado, se calculó el índice de criticidad para cada equipo y se procedió a clasificar los equipos en crítico con un rango de (101 – 250), semi crítico con rango de (40- 100) y no crítico con rango de (0 – 39).

Determinada la criticidad de los equipos asociados al proceso analizado, se obtiene que el compresor de pistón presenta un alto valor de IC, dado esto se pondrá énfasis en utilizar las herramientas del RCM al equipo más crítico.

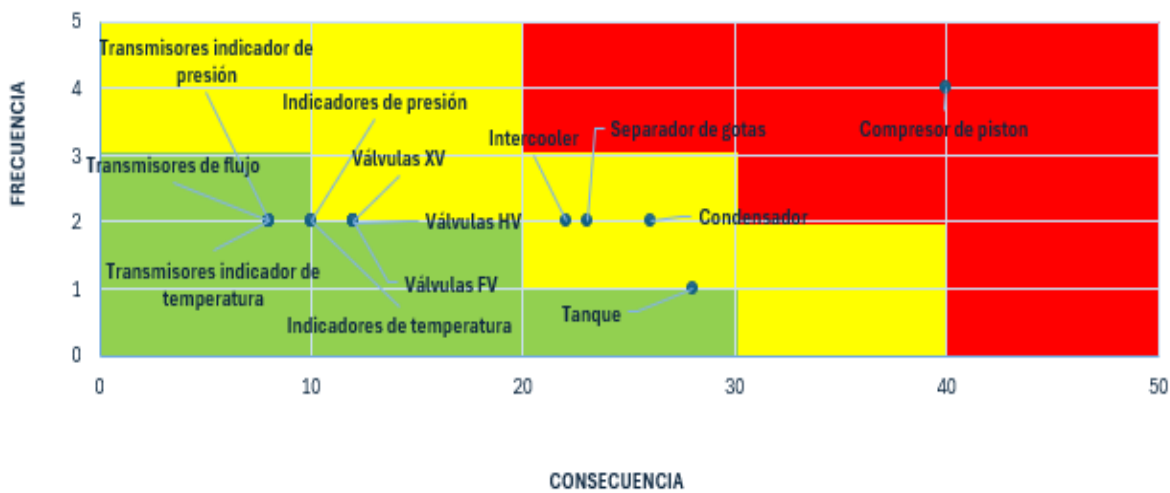
Una vez obtenido el valor del índice de criticidad de cada equipo, se clasificaron en tres categorías: alta criticidad, media criticidad y baja criticidad. Según lo vemos en la figura 1-7, junto a su porcentaje.

Tabla 1-7: Porcentaje de crítico

Zona	Cantidad	Porcentaje
Critico	1	8%
Semi Critico	3	23%
No critico	9	69%

Fuente: Elaboración propia

Al obtener los valores del índice de criticidad, se procede a plasmar esos valores en una matriz de criticidad de cada equipo clasificándolos como crítico (rojo), semi crítico (amarillo) y no crítico (verde).



Fuente: Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial.

Figura 1-4: Matriz de criticidad (frecuencia x consecuencia).

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO Y DESARROLLO
DE ANÁLISIS FMECA

2.1. **DESCRIPCIÓN UNIDAD DE FRÍO**

El sistema de compresión de la unidad de frío de planta debe su instalación al requerimiento de llevar a cabo el proceso de compresión de los gases existentes en los tanques ubicados en planta, los tanques ubicados en planta se denominan como TK1, TK2, TK3 Y TK4, cada uno con una capacidad de almacenamiento distinta. La unidad de Frío cuenta con seis compresores de pistón de la marca Sabroe, dos separados de gotas, dos intercoolers, cuatro condensadores y dos receivers, cada uno con una función particular con la finalidad de retornar los gases extraídos en estado líquido hacia los tanques para disminuir las presiones en ellos.

Los compresores ubicados en unidad de frío planta son enumerados de la siguiente manera: 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 y 6000 siendo estos los encargados de mover el GLP desde los tanques hacia los condensadores.

El proceso, a grandes rasgos, consiste en transportar los gases existentes de GLP desde los tanques de almacenamiento de la planta mediante compresores hacia el área de unidad de frío por medio de piping, pasando el productos en primera instancia por separadores de gotas, para luego realizar la succión de producto por la primera etapa del compresor para descargarlo hacia el intercoolers, una vez realizado lo anterior se realiza la succión del producto por la segunda etapa del compresor desde el intercoolers para descargarlos hacia los condensadores, una vez pasado por los condensadores el producto se transporta hacia los receiver y finalmente retornan en estado líquido a los tanques.

Tabla 2-1, Diagrama SIPOC del proceso

PROVEEDORES	ENTRADA	PROCESO	SALIDA	CLIENTE
Tanque de almacenamiento de GLP	Gases de GLP	Comprimir GLP, con presiones entre 13 - 15 Bar	GLP a presiones de 15 Bar hacia condensadores	GLP en estado líquido a tanques de almacenamiento

Fuente: elaboración propia

2.2. **UBICACIÓN UNIDAD DE FRÍO PLANTA**

Vista satelital planta Gasmar Quinteros, área marcada zona de unidad de frío planta.



Fuente: Google Maps

Figura 2-1, Vista satelital planta Quintero



Fuente: elaboración propia

Figura 2-2, compresor unidad de frío planta

2.3. DESCRIPCIÓN COMPRESOR SABROE

El funcionamiento del compresor Sabroe es del tipo pistón (reciprocantes), el cual cuenta con ocho pistones en su parte interior, además consta de dos etapas de succión y descarga, una etapa de baja, la cual succiona el producto desde los tanques pasando por el separador de gotas y descargándolo a una presión de 8 Bar hacia el intercooler, la segunda etapa del compresor succiona producto desde intercooler, para descargarlo hacia los condensadores a una presión de 15 Bar. Ayuda a convertir la energía cinética del líquido en energía de presión.

Una característica importante del compresor Sabroe es que cuenta con una etapa de descarga de baja y una etapa de descarga de alta, a diferencia de otros compresores ubicados en el terminal, lo que le permite realizar dos funciones en un solo equipo.

El rendimiento del compresor Sabroe depende de lo requerido por parte de operaciones, este equipo cuenta con tres etapas de funcionamiento, la primera etapa el compresor trabaja a 33% (cuatro pistones) de su capacidad, la segunda etapa trabaja a un 66% (seis pistones) de su capacidad y por último la tercera etapa a un 100% (ocho pistones) de su capacidad, la puesta en servicio de sus capacidades depende de la cantidad de vapores existentes en los tanques y por ende de la demanda por parte de operaciones, con la finalidad de disminuir las presiones en ellos.

2.3.1 DATOS OPERACIONALES

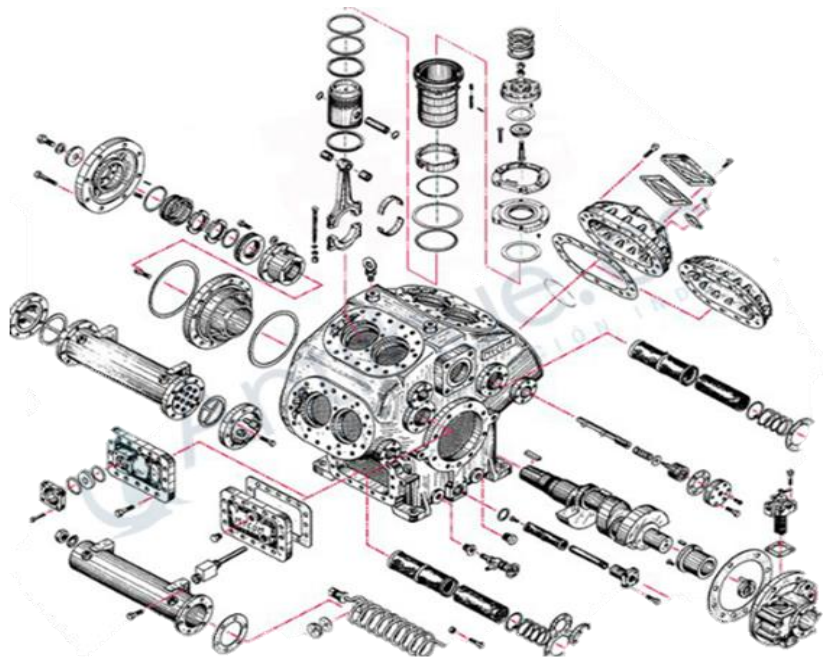
Tabla 2-2: Datos operacionales del compresor

PARÁMETROS OPERACIONALES	
Presión de aceite	4,5 bar
Presión succión	0,5 bar
presión intermedia	2,5 bar
Presión descarga alta	15 bar
Temperatura succión	-2 °C
Temperatura de int/salida	60 °C
Temperatura de descarga	58° C

Fuente: elaboración propia.

2.3.2. COMPONENTES

A continuación, mediante la figura 2-3 se muestra el despiece del compresor SABROE, además en la tabla 2-3 se nombran los principales componentes.



Fuente: Manual SMC 186-188/TSMC 188.

Figura 2-3: Componentes de compresor.

Tabla 2-3: Componentes de compresor.

ITEM	COMPONENTES
1	Clindros
2	Pistones
3	Anillo de piston
4	Bielas
5	Válvulas de succión
6	Válvulas de descarga
7	Cigüeñal
8	Acoplamiento
9	Bomba de aceite
10	filtros de aceite
11	Sello mecánico
12	Solenoides
13	Separador de gas/aceite
14	Rodamientos
15	Culatas

Fuente: Manual compresor Sabroe,

En la tabla 2-2 se presentan los principales componentes del compresor Sabroe.

2.4. CONTEXTO OPERACIONAL

A través de lo establecido por la norma SAE JA1011 se describe el contexto operacional del activo analizado, ya sea propósito y funciones.

Propósito del equipo

- Compresión eficiente de GLP a alta presión
- Control preciso de la capacidad de enfriamiento

Descripción del proceso

El proceso de los compresores Sabroe es el de comprimir gases para su circulación en sistemas de refrigeración. Estos compresores, al ser de pistón (reciprocantes), utilizan cilindros y pistones para comprimir el gas y moverlo a través del sistema de unidad de frío. Estos equipos son ideales para aplicaciones que requieren alta presión y capacidad de enfriamiento en ambientes industriales.

2.5. **DEFINICIÓN DE FUNCIONES**

Función primaria

- Comprimir volúmenes de vapores de 4.712 litros por ciclo existentes en los tanques con un rango de descarga entre 13 a 15 bar, depositándolo hacia los condensadores.

Función secundaria

- Suministrar gas continuo a presión constante.

2.6. **FALLAS FUNCIONALES**

Una falla funcional es la incapacidad de un equipo para cumplir con el propósito para el que fue diseñado, habiendo fallas de manera parcial o total. Se definen dos tipos de fallas funcionales para cada función respectivamente:

- Incapaz de comprimir GLP
- Compresor incapaz de trabajar a presiones de descarga entre 13 y 15 [Bar]

2.7. MODOS DE FALLA

Un modo de fallo es la manera específica en que un componente, sistema o proceso deja de funcionar correctamente, ya sea por un mal funcionamiento, daño o rendimiento inadecuado, esta causa raíz puede ser ya sea física o humana.

A continuación, se definen modos de fallos para fallas funcionales mencionados.

Se definen seis modos de falla, con relación a cada falla funcional:

Incapacidad de comprimir vapores.	1.1 Pistones y cilindros atascado.	El compresor entrega una presión de descarga menor a 13 bar.	2.1 Conductos obstruidos.
	1.2 Contactor mal montado.		2.2 Sello mecánico fisurado.
	1.3 Filtro de succión obstruido.		2.3 Filtro separador de gas/aceite saturado
	1.4 Culata obstruida.		2.4 Válvula de retención gripada
	1.5 Nivel de aceite en cárter menor a los establecido		2.5 empaque de culata fisurada
	1.6 Rodamiento trabado.		2.6 Motor desalineado.

2.8. CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO

Se evalúa cuantitativamente el riesgo asociado a cada modo de falla, para ello se utiliza material de apoyo de la norma SAE JA1011.

- Frecuencia de fallas: Frecuencia de fallas anuales
- MTTR: Incluye tiempos logísticos, ejecución, puesta en marcha
- Impacto producción: Costo de ineficiencia por hora, cuanto se pierde por concepto de producción
- Costo directo por falla: Costos de reparar la falla (HH, insumos, repuestos, logística, confinamiento, etc.)
- Impacto de seguridad: Clasificación A, B, C
- Impacto de medio ambiente: Clasificación A, B, C
- Riesgo cuantitativo: Frecuencia de fallas por $(MTTR \times IMP. PRODUCCIÓN) + COSTOS DIRECTOS POR FALLA$
- Riesgo cualitativo: cualificación del riesgo $(IMP. SEG., IMP. MEDIO AMBIENTE)$
- Gráfico: Cuantificación de riesgo cualitativo

2.8.1 **IMPACTO EN MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD**

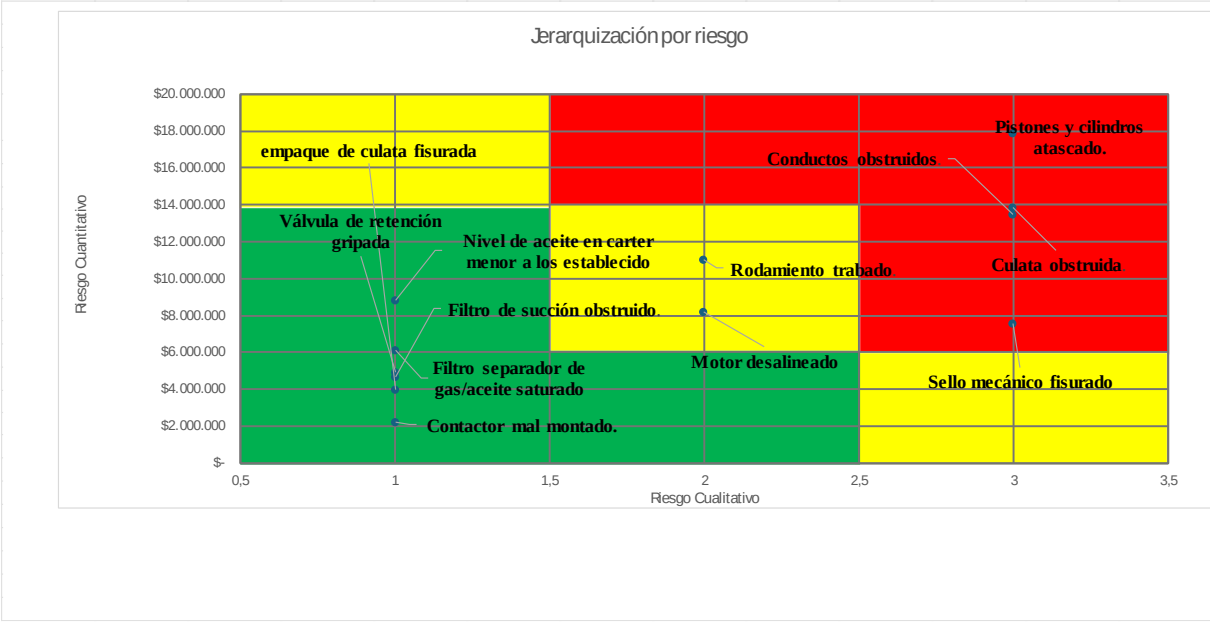
- Clasificación A: Alto impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia del modo de fallo.
- Clasificación B: Mediano impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia del modo de fallo.
- Clasificación C: Bajo impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia del modo de fallo.
- Clasificación A-A: Riesgo máximo.
- Clasificación A-B, A-C o B-A: Riesgo medio.
- Clasificación B-C o CC: Riesgo mínimo.

2.9. ANÁLISIS FMECA DEL EQUIPO

Tabla 2-4: FMECA

Sistema	Función	Falla Funcional	Modos de falla	Efecto de falla	FREC FALLAS	MTTR (LOG-EJEC-P EN MARCHA)	IMP. PROD. CLP/ hr	COSTOS DIRECTOS POR FALLA CLP/ falla	IMP SEG	IMP AMB	RIESGO CUANTITATIVO CLP/año	GRÁFICO
Sistema de compresión de vapores	Comprimir vapores existentes en los tanques con un rango de descarga entre 13 - 15 bar, depositandolo hacia los condensadores.	1Incapacidad de comprimir vapores.	1.1 Pistones y cilindros atascado.	Evidente: No	1	24	\$ 433.219	\$ 7.500.000	A	C	\$ 17.897.256	3
				Afecta SHA: No								
				Efecto operacional: Incapacidad de extraer vapores de los TK.								
				Accion correctiva: Abrir y destrabar pistones, cambiarlos si es necesario.								
			1.2 Contactor mal montado.	Evidente: Si	1	3	\$ 433.219	\$ 895.000	C	C	\$ 2.194.657	1
				Afecta SHA: No								
				Efecto operacional: No enciende el equipo ya que no se encuentra energizado.								
				Accion correctiva: Desmontar y volver montar contactor de manera correcta.								
			1.3 Filtro de succión obstruido.	Evidente: Si	1	7	\$ 433.219	\$ 1.610.000	A	C	\$ 4.642.533	1
				Afecta SHA: No								
				Efecto operacional: Deja de extraer de manera optima los vapores.								
				Accion correctiva: Reemplazar filtro de succion.								
			1.4 Culata obstruida.	Evidente: No	2	10	\$ 433.219	\$ 2.590.000	A	C	\$ 13.844.380	3
				Afecta SHA: No								
				Efecto operacional: Aumento de temperatura de equipo								
				Accion correctiva: Limpieza de culatas, retirando sedimento presente								
			1.5 Nivel de aceite en carter menor a los establecido	Evidente: Si	4	3	\$ 433.219	\$ 900.000	A	C	\$ 8.798.628	1
				Afecta SHA: No								
				Efecto operacional: Perdida de funcionamiento, compresor no parte .								
				Accion correctiva: Rellenar compresor con aceite.								
			1.6 Rodamiento trabado.	Evidente: Si	1	15	\$ 433.219	\$ 4.550.000	A	C	\$ 11.048.285	2
				Afecta SHA: No								
				Efecto operacional: Perdida de funcionamiento, no arranca el compresor .								
				Accion correctiva: Cambiar elemento rodante.								
		2El compresor entrega una presión de descarga menor a 13 bar.	2.1 Conductos obstruidos.	Evidente: No	2	12	\$ 433.219	\$ 1.980.000	A	C	\$ 14.357.256	3
				Afecta SHA: No								
				Efecto operacional: Perdida de presión en el sistema.								
				Accion correctiva: Limpiar los conductos, eliminando todo tipo de obstrucción.								
			2.2 Sello mecánico fisurado.	Evidente: Si	1	10	\$ 433.219	\$ 3.200.000	B	A	\$ 7.532.190	3
				Afecta SHA: Si								
				Efecto operacional: Presenta fugas de aceite.								
				Accion correctiva: Reemplazar sello mecanico.								
			2.3 Filtro separador de gas/aceite saturado	Evidente: Si	2	5	\$ 433.219	\$ 887.000	B	C	\$ 6.106.190	1
				Afecta SHA: Si								
				Efecto operacional: Baja de presión, alta temperatura a salida de compresión, bajo caudal								
				Accion correctiva: Revisión y limpieza o cambio de filtro separador								
			2.4 Válvula de retención gripada	Evidente: Si	1	5	\$ 433.219	\$ 2.747.000	A	C	\$ 4.913.095	1
				Afecta SHA: No								
				Efecto operacional: Baja de presión, baja rendimiento								
				Accion correctiva: Cambio de Kit de servicio								
			2.5 empaque de culata fisurada	Evidente: Si	1	6	\$ 433.219	\$ 1.350.000	A	C	\$ 3.949.314	1
				Afecta SHA: Si								
				Efecto operacional: Fuga de GLP hacia la atmosfera								
				Accion correctiva: Cambiar empaque de culata.								
			2.6 Motor desalineado.	Evidente: Si	4	3	\$ 433.219	\$ 750.000	A	C	\$ 8.198.628	2
				Afecta SHA: No								
				Efecto operacional: Vibraciones excesivas al funcionar el equipo.								
				Accion correctiva: Corregir y alinear el motor junto al compresor.								

2.10. JERARQUIZACIÓN POR MODO DE FALLAS



Fuente: *elaboración propia.*

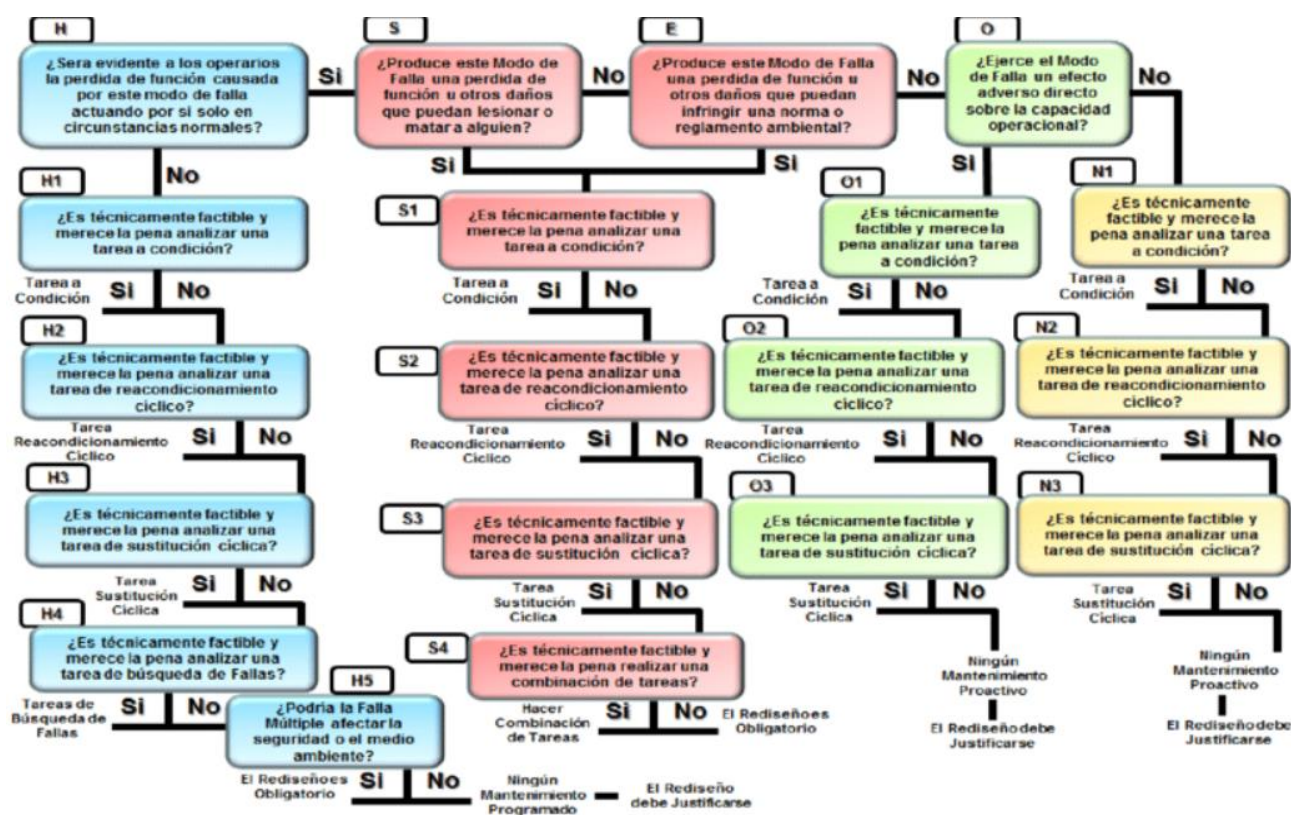
Figura 2-4: Jerarquización por riesgo.

A partir de los resultados obtenidos, se puede clasificar los riesgos de acuerdo con su nivel de criticidad. Esto permite organizar los modos de falla según su gravedad, lo que a su vez ayuda a priorizar las actividades. Los modos de falla con los niveles más altos de riesgo son los más críticos y deben recibir una mayor atención

2.11. DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Con la finalidad de poder identificar el tipo de tarea de mantenimiento a ejecutar sobre cada modo de falla es necesaria la utilización de una hoja de decisión, con esta podremos seguir una ruta tras responder a las preguntas que plantea sobre el tipo de falla: H, S, E y O, correspondiendo a fallas ocultas, seguridad, medio ambiente y operaciones respectivamente. Los tipos de tareas de mantenimiento corresponden a tareas proactivas, las cuales pueden ser:

- **Tarea a condición:** consiste en inspeccionar la existencia de fallas potenciales en un elemento o componente con la finalidad de evitar la falla funcional.
- **Tarea de reacondicionamiento cíclico:** consiste en reacondicionar la capacidad operativa de un equipo antes o en el límite de su vida útil.
- **Tarea de sustitución cíclica:** consiste en descartar un elemento o componente antes o en el límite de su vida útil.



Fuente: Norma SAE JA1011 (SAE 2009).

Figura 2-5: Diagrama de decisiones

2.11.1. HOJA DE DESICIONES

Este documento sirve como herramienta para registrar, analizar y justificar las decisiones relacionadas con las actividades de mantenimiento, dado lo anterior garantiza la trazabilidad de las acciones implementadas y optimiza los recursos disponibles. A continuación, se presenta la hoja de decisiones RCM.

Tabla 2-7: Hoja de decisión (1/2)

HOJA DE DECISIÓN RCM			ACTIVO: COMPRESOR DE PISTÓN SABROE SISTEMA: SISTEMA DE COMPRESIÓN DE GLP				ACTIVO N°1			FACILITADOR		
							SISTEMA N°1			AUDITOR		
REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	TAREA "A FALTA DE"		
							S1	S2	S3			
							O1	O2	O3			
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4
1	1	1	N				S					
1	1	2	S	N	N	S	S					
1	1	3	S	N	N	S	N	N	S			
1	1	4	N				N	S				
1	1	5	S	S			S					
1	1	6	S	N	N	S	N	N	S			
1	2	1	N				N	S				
1	2	2	S	N	S		N	N	S			
1	2	3	N				S					
1	2	4	S	N	N	S	N	N	S			
1	2	5	S	S			S					
1	2	6	S	N	N	N	S					

Fuente: RCM II John Moubray.

Tabla 2-8: Hoja de decisión (2/2)

FACILITADOR	FECHA: 15/01/2025	HOJA N° 1
AUDITOR	FECHA: 23/11/2024	DE 1
TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA ANUAL	A REALIZAR POR
Tarea a condición: Revisar y reparar el pistón o realizar cambio de componente	1	
Tarea a condición: Verificar el estado del contactor y normalizar su estado	2	
Tarea sustitución cíclica: Cambiar filtro	1	
Tarea reacondicionamiento cíclico: Realizar limpieza de culata	1	
Tarea a condición: Rellenar compresor con aceite	3	
Tarea sustitución cíclica: Cambiar rodamiento	1	
Tarea reacondicionamiento cíclico: Limpiar conducto	1	
Tarea sustitución cíclica: Realizar el cambio de sello mecánico	1	
Tarea a condición: Realizar limpieza de filtro	2	
Tarea sustitución cíclica: Cambio de kit de servicio	1	
Tarea a condición: Realizar cambio de empaque	1	
Tarea a condición: Alinear equipo mediante instrumentos laser	4	

Fuente: RCM II John Moubray.

En la siguiente tabla se presentan las actividades de mantenimiento propuestas para el equipo seleccionado.

Tabla 2-9: Actividades de mantenimiento.

Falla Funcional		Modos de falla	Actividad Mtto	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación (al año)	Numero de personas	HH - ejecución	Tarifa Especialidad	Insumos, Materiales, o servicios requeridos	PTTO ANUAL
1	Incapacidad de comprimir vapores.	1.1 Pistones y cilindros atascado.	Tarea a condición	Revisar y reparar el piston o realizar cambio de componente	1	2	10	\$ 30.000	\$ 1.000.000	\$ 1.661.030
		1.2 Contactor mal montado.	Tarea a condición	Verificar el estado del contactor y normalizar su estado	2	2	2	\$ 30.000	\$ 40.000	\$ 280.000
		1.3 Filtro de succión obstruido.	Tarea sustitución ciclica	Cambiar filtro	1	2	4	\$ 30.000	\$ 80.000	\$ 441.060
		1.4 Culata obstruida.	Tarea reacondicionamient o ciclico	Realizar limpieza de culata	1	2	5	\$ 30.000	\$ 40.000	\$ 486.715
		1.5 Nivel de aceite en carter menor a los establecido	Tarea a condición	Rellenar compresor con aceite	3	2	1	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 210.000
		1.6 Rodamiento trabado.	Tarea sustitución ciclica	Cambiar rodamiento	1	2	9	\$ 30.000	\$ 500.000	\$ 1.287.060
2	El compresor entrega una presión de descarga menor a 13 bar.	2.1 Conductos obstruidos.	Tarea reacondicionamient o ciclico	Limpiar conducto	1	2	4	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 270.530
		2.2 Sello mecánico fisurado.	Tarea sustitución ciclica	Realizar el cambio de sello mecánico	1	2	6	\$ 30.000	\$ 100.000	\$ 971.364
		2.3 Filtro separador de gas/aceite saturado	Tarea a condición	Realizar limpieza de filtro	2	2	2	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 271.060
		2.4 Válvula de retención agripada	Tarea sustitución ciclica	Cambio de kit de servicio	1	2	4	\$ 30.000	\$ 100.000	\$ 587.060
		2.5 empaque de culata fisurada	Tarea a condición	Realizar cambio de empaque	1	2	6	\$ 30.000	\$ 90.000	\$ 451.060
		2.6 Motor desalineado.	Tarea a condición	Alinear equipo mediante instrumentos laser	4	2	2	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 510.000

Fuente: Elaboración propia.

Los datos presentes en la tabla anterior fueron obtenidos mediante encuestas informales al personal técnico encargado del área de mantenimiento y departamento de gestión de mantenimiento, dado lo anterior se pudo obtener datos como hora hombre – ejecución, tarifa de especialidad y números de personas involucradas en cada actividad y su frecuencia de aplicación. Por otra parte, los insumos, materiales, servicios requeridos se obtuvieron gracias a información recopilada de órdenes de compra. Ver Anexo B: ÓRDENES DE COMPRA.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

3.1. ANÁLISIS DE LAS RECOMENDACIONES DEL RCM

En este punto se realiza la comparación de dos maneras que se aborda el mantenimiento en la empresa Gasmar, el primer tipo de mantenimiento es el cual está presente en la empresa y el segundo tipo de mantenimiento propuesto es mediante la técnica de mantenimiento centrado en confiabilidad. Además de lo anterior también se abordará los beneficios del mantenimiento RCM y de los resultados esperados al implementar esta técnica.

Al implementar el mantenimiento centrado en confiabilidad, esta ofrece una cantidad de beneficios en la mantenibilidad del activo como en el sistema productivo, dentro de los cuales se pueden mencionar reducción de costos, mayor disponibilidad del equipo, planificación y programación de las actividades y mantenimientos mayores. Esto conlleva beneficios tales como aumento de rendimiento, disminución de los tiempos de detenciones no programadas y mayor vida útil del activo, a través de implementación de tareas de mantenimiento.

Las recomendaciones del RCM van dirigidas al enfoque en el riesgo, buscando minimizar los costos asociados a tareas de mantenimiento. y reducción de las intervenciones no programadas.

3.2. PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO

Para llevar a cabo este plan de mantenimiento propuesto de RCM a la empresa mencionada, se deben cumplir con ciertas tareas de mantenimiento preventivo planteados, lo que conlleva a modificar la manera de mantención que tiene la empresa (mantenimiento correctivo o por condición principalmente), para esto se recomienda implementar inspecciones de parámetros operacionales dos veces por semana para la verificación de funcionamiento, mantener una retroalimentación constante con los operadores en caso de alguna anomalía del sistema y realizar procedimientos de trabajo e incorporar documento de contrastación de parámetros de mantenciones realizadas anteriores.

3.3. DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM

La toma de decisiones responde las dos últimas preguntas del RCM, “¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir cada falla?” y “¿Qué se debe hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?”. Para ellos el diagrama consta de una serie de preguntas que se realizan a cada uno de los modos de falla del equipo, las cuales se catalogan con distintos tipos de letras además cada una de ella con una distinta consecuencia en la instalación y son:

- H: Se encuentra una falla oculta.
- S: consecuencias en la seguridad.
- E: consecuencias en el medio ambiente.
- O: Consecuencias operacionales y no operacionales.

No obstante, a medida que se van contestando las preguntas se obtienen diferentes tipos de tareas de mantenimiento como lo son el mantenimiento a condición, sustitución y reacondicionamiento cíclicos.

- Reacondicionamiento cíclico: Esta tarea implica acciones de mantenimiento que se llevan a cabo en intervalos regulares y predeterminados. Estas tareas se realizan para restaurar o reacondicionar un componente, equipo o sistema a un estado específico, independientemente de si ha experimentado fallas o deterioro. El objetivo es prevenir fallas futuras y garantizar que el equipo funcione dentro de los parámetros deseados.
- Sustitución cíclica: similar al reacondicionamiento cíclico, la sustitución cíclica implica el reemplazo de componentes, partes o equipos en intervalos regulares y planificados. A diferencia del reacondicionamiento, donde se pueden realizar reparaciones o ajustes, en la sustitución cíclica se retiran y reemplazan partes completas, incluso si aparentemente están en buen estado. Este enfoque se basa en la idea de que ciertos componentes tienen una vida útil determinada y se reemplazan antes de que fallen para prevenir interrupciones en la operación.
- Mantenimiento a condición o tarea a condición: estas tareas de mantenimiento se realizan en respuesta a señales o indicadores específicos que muestran un cambio en las condiciones de operación de un equipo o componente. En lugar de realizar

mantenimiento basado en tiempo o uso, el mantenimiento a condición implica monitorear constantemente parámetros como temperatura, vibración, presión, entre otros, para identificar anomalías o señales tempranas de falla. Cuando se detecta una desviación de las condiciones normales, se realiza la tarea de mantenimiento necesaria para prevenir una falla inminente.

3.4. IMPACTO DE INACTIVIDAD DEL EQUIPO

Es fundamental mantener el área de unidad de frío cien por ciento operativa con todos sus equipos, mencionado lo anterior el compresor es una parte fundamental en el proceso de enfriamiento del producto (GLP), siendo el que traslada el gas a través del sistema, dado esto se debe asegurar que el área de unidad de frío esté siempre al 100% operativa para que el proceso funcione sin contratiempos. No obstante, según información obtenida en la empresa (base de datos) el equipo de compresión cuenta con una indisponibilidad de 112 horas durante el año 2024, impactando directamente al proceso, esto se contempla de carácter grave debido a las alzas de temperaturas en los tanques generan gases y con ello presiones altas, teniendo que enviar los gases producidos hacia zona de antorcha o activando válvulas de seguridad ubicadas en la parte superior de los tanques para la expulsión de estos.

La propuesta de optimización de mantención propuesta conlleva a una reducción de los tiempos inactivos por mantenciones correctivas y por condición no contemplados, esto facilitará a la producción y traerá múltiples beneficios para el equipo de mantenimiento y a la empresa.

3.5. FACTIBILIDAD TÉCNICA - ECONÓMICA

Para realizar una evaluación técnica y económica conlleva comparar los costos del plan de mantenimiento actual en relación con los costos propuestos asociados a un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Al momento de Implementar mejoras a la mantención de los equipos, esto siempre conlleva cambios de los que se deben tener en cuenta, tales como equipos disponibles o redundantes, recursos necesarios y limitaciones técnicas que se pueden encontrar. Este enfoque permitirá tomar decisiones más informadas y efectivas para el futuro del proceso de la planta.

3.6. COSTOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO RCM

La propuesta de implementación del enfoque de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en el sistema de compresión de la unidad de frío de planta implica costos ya sea tanto directos como indirectos.

En los costos directos se consideran gastos relacionados con la adquisición de nueva tecnología para la mantención del activo, como herramientas de monitoreo, así como la necesidad de repuestos específicos identificados en el análisis RCM. También es importante tener en cuenta la capacitación del personal, ya que para que las nuevas prácticas de mantenimiento sean efectivas y se pueda obtener el mayor provecho de ellas el equipo técnico deberá ser capacitado y por último otro punto importante es la actualización de planes de mantenimiento con nuevos enfoques y planificaciones de mantenciones.

En cambio, los costos indirectos se contemplan los tiempos que el equipo se encuentra fuera de servicio debido a la implementación de nuevas direcciones de mantenimientos, así también como la planificación de las mantenciones, debido a esta adaptación el proceso productivo podría verse afectado temporalmente. Sin embargo, al abordar estos aspectos ayudará a asegurar una implementación exitosa y sostenible a futuro.

3.7. PLAN DE MANTENIMIENTO VIGENTE EN GASMAR

La empresa Gasmar cuenta actualmente con un plan de mantenimiento basado en mantenciones correctivas, por condición y preventivo, Sin embargo, el plan preventivo no abarca todas las necesidades o actividades en base a las fallas existente del equipo, superando, en horas, las mantenciones correctivas y por condición, a las mantenciones preventivas, según los indicadores en la empresa, dado lo anterior se propone un enfoque más proactivo, poniendo más énfasis en el mantenimiento preventivo. Este cambio no solo tiene como objetivo optimizar el rendimiento y la vida útil de los equipos, sino también reducir costos y minimizar los tiempos de inactividad no programados. Al priorizar el mantenimiento preventivo, se garantiza un proceso productivo más eficiente y sostenible.

La gestión del mantenimiento de la empresa Gasmar se establece mediante órdenes de trabajo, las cuales van desde su generación hasta su cierre, todo ello mediante la utilización del software SAP PM implementado en la empresa. Las órdenes de mantenimiento son generadas por el programa de mantenimiento preventivo matriz, estas determinan una dirección proactiva en la mantención de los activos.

3.8. ANÁLISIS ECONÓMICO DE PLAN DE MANTENCIÓN.

Al analizar la viabilidad técnica y económica, se encuentran indicadores favorables que respaldan la propuesta de implementar el plan de mantenimiento basado en confiabilidad al sistema de compresión de unidad de frío de planta. Esto significa que basándose en los datos es posible llevar a cabo esta iniciativa.

En esta evaluación técnica económica se encuentran puntos en los cuales se deben tener una mayor consideración para una mejora continua, dentro de estos puntos es reducir los tiempos fuera de servicio del activo por mantenciones no programadas y además disminuir futuras fallas potenciales que afecten al sistema. Estos indicadores facilitaran para medir la efectividad de implementar el mantenimiento en confiabilidad.

A continuación, en la siguiente tabla se presenta el ahorro potencial derivado del análisis de modos de falla junto a su valor cuantitativo anual, además, del plan de mantenimiento propuesto junto a su valor anual y por último el indicador de RCM futuro que se espera obtener, como se observa en la tabla las frecuencias de falla después de RCM se propone una disminución de estas con el propósito de verificar el ahorro potencial en CLP de lo propuesto del análisis establecido.

Tabla 3-1: Indicador de ahorro potencial después de RCM.

INDICADOR ANTES DE RCM				PLAN DE MANTENIMIENTO		INDICADOR DE AHORRO DESPUES DE RCM			
Modos de falla	FREC FALLAS	MTTR (LOG-EJEC-PEN MARCHA)	RIESGO CUANTITATIVO CLP/ año	Frecuencia de aplicación (al año)	PTTO ANUAL (CLP/ año)	FREC FALLAS	MTTR (LOG-EJEC-PEN MARCHA)	RIESGO CUANTITATIVO CLP/ año	AHORRO POTENCIAL CLP
1.1 Pistones y cilindros atascado.	1	24	\$ 17.897.256	1	\$ 1.600.000	0,5	24	\$ 8.948.628	\$ 7.348.628
1.2 Contactor mal montado.	1	3	\$ 2.194.657	2	\$ 280.000	0,3	3	\$ 658.397	\$ 1.256.260
1.3 Filtro de succión obstruido.	1	7	\$ 4.642.533	1	\$ 723.219	0,5	7	\$ 2.321.267	\$ 1.598.048
1.4 Culata obstruida.	2	10	\$ 13.844.380	1	\$ 783.219	1	10	\$ 6.922.190	\$ 6.138.971
1.5 Nivel de aceite en carter menor a los establecido	4	3	\$ 8.798.628	3	\$ 643.219	2	3	\$ 4.399.314	\$ 3.756.095
1.6 Rodamiento trabado.	1	15	\$ 11.048.285	1	\$ 1.473.219	0,3	15	\$ 3.314.486	\$ 6.260.581
2.1 Conductos obstruidos.	2	11	\$ 13.490.818	1	\$ 723.219	1	11	\$ 6.745.409	\$ 6.022.190
2.2 Sello mecánico fisurado.	1	10	\$ 7.532.190	1	\$ 893.219	0,5	10	\$ 3.766.095	\$ 2.872.876
2.3 Filtro separador de gas/aceite saturado	2	5	\$ 6.106.190	2	\$ 723.219	1	5	\$ 3.053.095	\$ 2.329.876
2.4 Válvula de retención gripada	1	5	\$ 4.913.095	1	\$ 773.219	0,5	5	\$ 2.456.548	\$ 1.683.329
2.5 empaque de culata fisurada	1	6	\$ 3.949.314	1	\$ 843.219	0,3	6	\$ 1.184.794	\$ 1.921.301
2.6 Motor desalineado.	4	3	\$ 8.198.628	4	\$ 530.000	2	3	\$ 4.099.314	\$ 3.569.314
						Ahorro anual en CLP			\$ 44.757.467

Fuente: Elaboración propia.

En este punto se demuestran las comparaciones de algunos indicadores de mantenimiento del plan vigentes como del plan propuesto al activo analizado. Es importante mencionar que los valores plasmados en las tablas son estimaciones para ambos casos. Al analizar los datos se observa el beneficio que obtendría la empresa al implementar el mantenimiento basado en confiabilidad.

Tabla 3-2: Comparación de costos de plan de mantenimiento.

	Plan actual sin RCM	Plan propuesto con RCM
N° de fallas esperadas	6	2
Tiempo fuera de servicio por fallas (hora)	55	18
Horas en ejecución de plan de mantenimiento	6	19
% de planificación de actividades	32%	100%
Costo de ineficiencia Clp/año	\$ 23.827.045	\$ 7.797.942
Costo plan de mantenimiento Clp/año	-	\$ 2.418.275
Costo total	-	\$ 10.216.217
Beneficio (CLP)	-	\$ 13.610828

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla se presenta una proyección de datos enfocados a los modos de fallas de **alta criticidad**, en ello se encuentran el número de fallas sin RCM, lo cual contemplan 5 fallas al año, con un tiempo fuera de servicio de 46 horas, en comparación con lo proyectado mediante el plan de mantenimiento con RCM, proyectando una disminución a 2 fallas por año junto con ello reducir los tiempos fuera de servicio de las actividades no contempladas, por otra parte el costo anual por falla con el plan de mantenimiento vigente alcanza los \$ 23.827.045, sin embargo, mediante la propuesta planteada se logran costos de \$ 10.216.217, obteniendo un beneficio de \$ 13.610828.

Dado lo anterior y verificando los costos de cada plan de mantenimiento a los modos de fallas analizados resulta favorable implementar el mantenimiento en base a la confiabilidad, esto conlleva a una mejora en el plan de mantención del equipo y

optimización considerable del presupuesto destinado a resolver fallas, aumentando las horas preventivas y disminuyendo las actividades correctivas o no programadas.

Tabla 3-3: Comparación de costos de plan de mantenimiento.

	Plan actual sin RCM	Plan propuesto con RCM
N° de fallas esperadas	5	2
Tiempo fuera de servicio por fallas (hora)	18	7
Horas en ejecución de plan de mantenimiento	6	17
% de planificación de actividades	35%	100%
Costo de ineficiencia Clp/año	\$ 7.797.942	\$ 4.332.190
Costo plan de mantenimiento Clp/año	-	\$ 2.768.424
Costo total	-	\$ 6.667.395
Beneficio (CLP)	-	\$ 1.996.985

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla muestra una proyección de datos contemplando los modos de fallas de **media criticidad** , para ello al igual que la tabla anterior se muestra el número de fallas sin RCM, lo cual contempla 6 fallas al año, con un tiempo fuera de servicio de 28 horas, en comparación con lo proyectado mediante el plan de mantenimiento con RCM, proyectando una disminución a 3 fallas por año, junto con ello reducir los tiempos fuera de servicio de las actividades no contempladas, por otra parte el costo anual por falla con el plan de mantenimiento vigente alcanza los \$ 7.797.942, sin embargo, mediante la propuesta planteada se logran costos de \$ 6.667.395 , teniendo un beneficio de \$ 1.996.985.

Dado lo anterior y verificando los costos de cada plan de mantenimiento resulta favorable implementar el mantenimiento en base a la confiabilidad, esto conlleva a una mejora en el plan de mantención del equipo y optimización considerable del presupuesto destinado a resolver averías.

Tabla 3-4: Comparación de costos de plan de mantenimiento.

	Plan actual sin RCM	Plan propuesto con RCM
N° de fallas esperadas	21	9
Tiempo fuera de servicio por fallas (hora)	102	46
Horas en ejecución de plan de mantenimiento	25	55
% de planificación de actividades	45%	100%
Costo de ineficiencia Clp/año	\$ 45.621.557	\$ 19.928.074
Costo plan de mantenimiento Clp/año	-	\$ 7.426.939
Costo total	-	\$ 27.355.013
Beneficio (CLP)	-	\$ 18.132.982

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla muestra una proyección de datos contemplando todos los modos de fallas tanto los de **baja criticidad, media criticidad y alta criticidad** , representando el número de fallas sin RCM, lo cual contempla 21 fallas al año, con un tiempo fuera de servicio de 102 horas, en comparación con lo proyectado mediante el plan de mantenimiento con RCM, proyectando una disminución a 9 fallas por año, junto con ello reducir los tiempos fuera de servicio de las actividades no contempladas, por otra parte el costo anual por falla con el plan de mantenimiento vigente alcanza los \$ 46.621.557, sin embargo, mediante la propuesta planteada se logran costos de \$ 27.355.013, teniendo un beneficio de \$ 18.132.982.

Dado lo anterior y verificando el análisis de costos de cada plan de mantenimiento a los modos de fallos resulta favorable implementar el mantenimiento en base a la confiabilidad, esto conlleva a una mejora en el plan de mantención del equipo y optimización considerable del presupuesto destinado a resolver averías.

Este análisis demuestra que, al implementar una estrategia de mantenimiento planificado/programado, se obtiene como resultado un mantenimiento más eficiente, se mejora la disponibilidad de los equipos, sino que también se reduce significativamente los costos operativos. La disminución de fallas optimiza el rendimiento de la empresa, generando un ahorro económico considerable a largo plazo.

CONCLUSIÓN

La aplicación de la metodología centrada en confiabilidad busca asegurar que los activos funcionen de manera confiable y estén disponibles cuando se requiera, el RCM realiza un análisis de función de cada equipo e identifica posibles anomalías que podrían surgir, así la empresa que la utilice podrá anticiparse a posibles fallas y adoptar medidas preventivas, lo que conlleva un ahorro monetario, además de mejorar la disponibilidad del activo. Para poder desarrollar esta propuesta, fue necesario realizar entrevistas al equipo de mantenimiento, tanto al área de gestión como personal ejecutante de las actividades, además del personal de operaciones, dado esto, se pudo recopilar información para conocer el proceso, sus fallas, herramientas utilizadas y el costo de repuestos asignado para el activo.

La información recopilada, fue fundamental para evaluar los diferentes activos asociados a la unidad de frío de planta y así realizar el análisis de criticidad, dando como resultado, que el compresor es el más crítico dentro del sistema. Mediante el análisis de modos de fallas, efecto y criticidad, fue clave para identificar las funciones del equipo, los posibles fallos y sus consecuencias. Con esta información, se pueden realizar propuestas de mejora al plan de mantenimiento existente, lo que permite prevenir o mitigar, problemas catastróficos a futuro en la producción.

El análisis técnico - económico del plan de mantenimiento actual, con el plan de mantenimiento con RCM propuesto, evidencia un beneficio económico de **\$ 18.132.982 CLP**, con 9 fallas esperadas en un año. Asimismo, un aumento de horas al plan preventivo y una disminución de tiempo del equipo, fuera de servicio. La implementación de técnicas

RCM, resulta muy factible, optimizando los procesos de mantenimiento y aportando beneficios económicos significativos, para la producción.

BIBLIOGRAFÍA

- MOUBRAY, John M. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad II. Florida: North Carolina, USA, 2004.
- SAE. JA1011. Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. París, Francia. 1999. 12p.
- SAE JA1012 “A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard
- ISO 14224:2016, Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, 1-272, Ginebra, Suiza (2016)
- Instruction manual: SMC 186-188 MK2 and TSMC 188 MK2

ANEXOS

A. ANEXO A: INSPECCIÓN DE PARÁMETROS



INSPECCIÓN DE PARÁMETROS COMPRESORES SABROE

DATOS GENERALES

FECHA:	COMPRESOR:
MECÁNICO:	OM:
ITO:	HOROMETRO:

PARÁMETROS DEL EQUIPO

E/S	F/S
PRESIÓN DE ACEITE	NIVEL DE ACEITE
P. DESCARGA	NIVEL BOTELLA SELLO
P.SUCCIÓN	T° SUCCIÓN
P. INTERMEDIA	T°DESCARGA

REVISIÓN RETORNO DE ACEITE

PRIMERA ETAPA	SEGUNDA ETAPA
---------------	---------------

OBSERVACIONES:

ESTADO DE ALINEACIÓN

ALINEADO _____ DESALINEADO _____

OBSERVACIONES: _____

TENSIÓN DE CORREAS

TENSIÓN DE CORREAS ANTES DE INTERVENIR

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Kg

TENSIÓN DE CORREAS DESPUES DE INTERVENIR

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Kg

* Tensión de correas deben quedar en un rango entre 6,5 kg a 9 kg con un punto de deflexión de 1,5 cm en el centro de la correa

OBSERVACIONES: _____

PRUEBA DE ESTANQUEIDAD

PRESIÓN INICIAL: _____ HORA INICIAL: _____

PRESIÓN FINAL: _____ HORA FINAL: _____

DIFERENCIA DE PRESIÓN: _____

* Presión no debe disminuir mas de 3 bar en 5 minutos

* Poner en servicio compresor, una vez se realice detención de equipo se procede a cerrar válvula de descarga de segunda etapa

OBSERVACIÓN: _____

B. ANEXO D: TABLA ÓRDENES DE COMPRA

Ítem	Cant	Descripción	Val.Unit(CLP)	Val.Total(CLP)
9	1	Filtro de succión	\$ 80.000	\$ 80.000
10	1	Sello mecánico	\$ 100.000	\$ 100.000
11	1	Rodamientos	\$ 500.000	\$ 500.000
12	1	Kit de válvula	\$ 100.000	\$ 100.000
13	1	Empaque de culatas	\$ 90.000	\$ 90.000
14	1	pistón y cilindro	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000