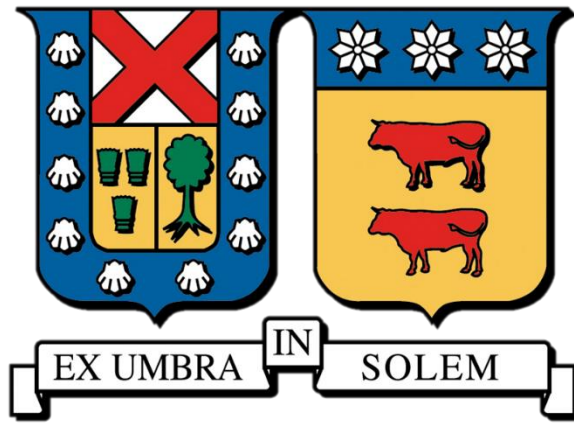


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA



“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN A PLAN DE MANTENIMIENTO MEDIANTE
TÉCNICAS DE RCM A SALA DE BOMBEO DE GLP”

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

Alumno: Sr. Ricardo Arancibia Muñoz

Profesor guía: Mg. Ing. Pablo Duque Ramírez

RESUMEN

El trabajo de título actual comprende tres capítulos, donde se emplean herramientas asociadas al mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés), con el propósito de identificar las acciones necesarias para garantizar la continuidad operativa de los activos de la empresa Lipigas. Esto permitirá que dichos activos sigan desempeñando las funciones para las que fueron adquiridos.

La selección del equipo y sistema crítico fue viable gracias a la herramienta matriz de criticidad, obteniendo los valores de IC para la línea de envasado, lo cual permitió jerarquizar los equipos y sistemas presentes en el proceso productivo según las consecuencias que pueden ocasionar frente a una posible falla, perjudicando, entre otros, los costos económicos y posibles daños en las personas, instalaciones y/o medio ambiente. Los resultados de criticidad indicaron que el equipo/sistema con mayor valor de IC corresponde a la sala de bombeo de GLP

A través de un análisis de modos, efectos y criticidad de fallas (FMECA) realizado al sistema de bombeo, fue posible identificar sus funciones primarias, fallas funcionales, modos de fallas, etc.

Se empleó el diagrama de decisión RCM para evaluar las implicaciones de cada falla, lo que permitió seleccionar las actividades de mantenimiento. Este análisis facilitó la identificación del tipo de actividad a realizar, ya sea mantenimiento reactivo, preventivo, predictivo, reacondicionamiento cíclico o sustitución, en función de las consecuencias de cada modo de falla.

La comparación entre un enfoque de Mantenimiento Correctivo y la Propuesta de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) se llevó a cabo mediante una evaluación técnica y económica. El análisis del mantenimiento correctivo-preventivo reveló un gasto total de \$79.726.728 (CLP), mientras que el enfoque RCM implicó un costo total de \$10.450.000 (CLP). Esto último comprendió los costos de inversión, englobando herramientas, equipos de diagnóstico y programas de formación, esto representa en términos porcentuales un 85% de reducción con relación a costos de mantenimiento, considerando un beneficio de \$67.726.728. Finalmente se destaca que precisando datos en torno a valores reales de costos de repuestos y una mayor cercanía a datos del equipo, el enfoque RCM entregara resultados aún más cercanos a la realidad operativa, este estudio debe ser tomado en cuenta como una base de implementación en la empresa.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

 OBJETIVOS.....3

1 CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DE EMPRESA E IDENTIFICACIÓN DE EQUIPO/SISTEMA CRÍTICO.....4

 1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.....5

 1.2 UBICACIÓN.....5

 1.3 GAS LICUADO DE PETRÓLEO 6

 1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ENVASADO.....7

 1.5 ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN.....8

 1.6 DESCRIPCIÓN LINEAMIENTOS ACTUALES DE MANTENIMIENTO.....9

 1.7 INDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO/SISTEMA CRÍTICO 11

 1.7.1 CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS/SISTEMA SEGÚN EL VALOR DEL IC 15

2 CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO/SISTEMA CRÍTICO Y DESARROLLO DE ANÁLISIS FMECA 16

 2.1 DESCRIPCIÓN SALA DE BOMBAS 17

 2.2 UBICACIÓN INTERNA SALA DE BOMBAS.....18

 2.3 DESCRIPCIÓN BOMBA SIHI MULTIETAPAS.....19

 2.3.1 APLICACIONES.....20

 2.3.2 DATOS TÉCNICOS.....20

 2.3.3 REFERENCIA DE PLANO 20

 2.3.4 COMPONENTES 21

 2.4 CONTEXTO OPERACIONAL 21

 Propósito del proceso/equipo.....21

 Descripción del proceso.....21

 2.5 DEFINICIÓN DE FUNCIONES 22

 Función primaria.....22

 Función secundaria 22

 2.6 FALLAS FUNCIONALES 22

 2.7 MODOS DE FALLA 23

 2.8 CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO 24

 2.8.1 IMPACTOS EN MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD 24

 2.9 ANÁLISIS FMECA DEL SITEMA/EQUIPO CRÍTICO.....25

 2.10 JERARAQUIZACIÓN POR RIESGO DE (FMECA) DE LOS MODOS DE FALLA DEL SISTEMA/EQUIPO. 26

 2.11 DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y CUANTIFICACIÓN DE ESFUERZOS 27

 2.11.1 DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y CUANTIFICACIÓN DE ESFUERZOS (CONTINUACIÓN) 28

3	CAPÍTULO III: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL ENFOQUE RCM.....	29
3.1	ANÁLISIS DE LAS RECOMENDACIONES RCM	30
3.1.1	PLAN DE MANTENIMIENTO	32
3.2	DESCRIPCIÓN DE LAS MEJORAS PROPUESTAS.....	32
3.3	IMPACTO EN LA DISPONIBILIDAD	33
3.4	FACTIBILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA	34
3.4.1	COSTOS DEL RCM.....	34
3.5	PLAN ACTUAL DE MANTENIMIENTO	35
3.6	RIESGOS Y CONTINGENCIAS ECONÓMICAS.....	36
3.6.1	ANÁLISIS ECONÓMICO DE RENTABILIDAD	36
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
	BIBLIOGRAFÍA	41
	ANEXOS	42
	ANEXO A: REGISTRO PERSONAL DE MANTENIMIENTO	42
	ANEXO B: FACTORES PARA CRITICIDAD.....	43
	ANEXO C: RBD ENVASADO CONCÓN.....	44
	ANEXO D: SEGUNDO ESCENARIO PROPUESTO RCM	45
	ANEXO E: CURVA CARACTERISTICA DE LA BOMBA.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1, Planta Lipigas 1956	
Figura 1-2, Carrusel envasado 1956.....	5
Figura 1-3, vista satelital planta Concón.....	6
Figura 1-4, Diagrama proceso de envasado	7
Figura 1-5, Matriz de criticidad (frecuencia x consecuencia).....	14
Figura 2-1, Vista satelital planta Concón.....	18
Figura 2-2, sala de bombas.....	18
Figura 2-3, Plano referencial bomba SIHI	20
Figura 2-4, Jerarquización por riesgo.....	26
Figura 2-5, Diagrama de decisión RCM	27
Figura 3-1, grafico circular disponibilidad.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1, Ponderación de FF 11

Tabla 1-2, Ponderación del IP 12

Tabla 1-3, Ponderación del SS 12

Tabla 1-4, Ponderación CR 13

Tabla 1-5, Ponderación del TR 13

Tabla 1-6, Ponderación del TO 13

Tabla 1-7, IC 15

Tabla 2-1, Diagrama SIPOC del proceso 17

Tabla 2-2, Lista de componentes 21

Tabla 2-3, Análisis FMECA 25

Tabla 2-4, Actividades de mantenimiento RCM 28

Tabla 3-1, implementación del RCM (costo)..... 35

Tabla 3-2, Comparación RCM..... 37

INTRODUCCIÓN

Lipigas es una empresa chilena asociada al suministro y distribución de gas licuado de petróleo y otros combustibles, fundada en 1950, tiene su sede central en la ciudad de Santiago de Chile, con plantas de envasado y almacenamiento en distintas regiones del país, siendo la ubicada en la comuna de Concón la más grande en términos de almacenamiento.

La empresa cuenta con una amplia red de distribución en Chile, que incluye más de 2.500 puntos de venta y distribución, además de tener presencia en otros países de la región, como Perú, Colombia y Ecuador. Su principal negocio es la venta de gas envasado para uso doméstico, comercial e industrial, pero también ofrece otros productos y servicios relacionados con la energía, como la instalación y mantención de sistemas de calefacción y cocina a gas, venta de calderas, servicios de climatización y generación de energía eléctrica.

La importancia del mantenimiento en Lipigas no puede subestimarse, ya que su finalidad radica en garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y asegurar la ininterrumpida continuidad de los procesos productivos. No obstante, la realidad muestra que el mantenimiento no siempre se ejecuta de manera óptima, lo que desencadena consecuencias adversas. A pesar de que se espera alcanzar un nivel de disponibilidad del 98% en las instalaciones, los datos reales reflejan bajas hasta un 96% de disponibilidad. Esta discrepancia, a nivel de planta, se traduce en costos elevados y tiempos de inactividad prolongados, disminuyendo la eficiencia operativa. Resulta aún más considerable el hecho de que las fallas en equipos críticos pueden hacer que la disponibilidad descienda hasta un 80%, resaltando así la magnitud del desafío que representa optimizar los procedimientos de mantenimiento en Lipigas.

En este contexto, la metodología de RCM (Reliability Centered Maintenance) se presenta como una herramienta útil para optimizar el mantenimiento de los equipos, ya que permite identificar las tareas de mantenimiento necesarias para garantizar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos. Además, RCM permite establecer el momento óptimo para realizar las tareas de mantenimiento, lo que puede reducir los costos asociados y minimizar los tiempos de inactividad.

En el presente trabajo, se busca la implementación del método de RCM en la sala de sistemas de bombeo de gas licuado de petróleo (GLP) de la empresa Lipigas, con el objetivo de optimizar el mantenimiento de los equipos y mejorar la eficiencia operativa de la empresa. Se trata de una tarea importante, ya que la sala de sistemas de bombeo de GLP es una instalación en donde se encuentran equipos catalogados como críticos para la línea de producción (bombas SIHI), ya que es responsable de la distribución del gas de las líneas de envasado.

OBJETIVOS

Proponer mejoras al plan de mantenimiento de la sala de bombeo de GLP en empresas Lipigas, a través de la aplicación de técnicas de RCM, reduciendo los costos asociados a mantenimiento.

Los objetivos específicos para lograr el objetivo general antes mencionado son:

1. Realizar un análisis de criticidad que considere tanto la frecuencia de las fallas como sus consecuencias, con el propósito de identificar los equipos de mayor criticidad.
2. Desarrollar propuestas de mejora, aumentando la disponibilidad de la sala de bombas. A través de análisis FMECA.
3. Evaluar técnica y económicamente la viabilidad de implementar las recomendaciones derivadas del enfoque RCM en las salas de bombeo de GLP.

1 CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DE EMPRESA E IDENTIFICACIÓN DE EQUIPO/SISTEMA CRÍTICO

1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

Lipigas es una empresa chilena en el rubro de la distribución y comercialización de gas licuado de petróleo (GLP) y otros combustibles. Fundada en 1950, en Chile, a partir de la distribuidora de gas licuado de Valparaíso, la que posteriormente se une con tres empresas comercializadoras del producto establecidas en otras regiones del país. Tras lograr un proceso de crecimiento sostenido, en 1997 este grupo de empresas alcanza la mayor cobertura de distribución de gas licuado de petróleo (GLP) a nivel nacional.



Fuente: Archivos Lipigas



Fuente: Archivos Lipigas

Figura 1-1, Planta Lipigas 1956

Figura 1-2, Carrusel envasado 1956

1.2 UBICACIÓN

La planta Lipigas Concón sitúa su ubicación en la quinta región de Valparaíso, específicamente en calle dos norte #200, en las cercanías del parque industrial de la comuna. Esta se trata de la planta más grande a nivel de almacenamiento de la empresa, dentro del país, además de mantener una cercanía con el terminal marítimo de ventanas, siendo este la principal fuente de ingreso de materias primas de la planta.



Fuente: Google Maps, elaboración propia

Figura 1-3, vista satelital planta Concón

1.3 GAS LICUADO DE PETRÓLEO

El GLP, abreviatura de Gas Licuado de Petróleo, 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.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ENVASADO

El proceso de envasado de cilindros de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en la planta envasadora de Concón sigue los siguientes pasos de la figura 1:



Figura 1-4, Diagrama proceso de envasado

El primer paso es recibir el GLP a granel en la planta envasadora. El GLP suele llegar en camiones cisterna. Una vez descargado, el GLP se almacena en tanques de almacenamiento a presión y a temperatura ambiente controlada. Estos tanques suelen estar diseñados para garantizar la seguridad y cumplir con las regulaciones aplicables. Antes de proceder al envasado, se realiza un control de calidad para asegurar que el GLP cumpla con los estándares y especificaciones requeridos. Se verifican aspectos como la composición, el olor, la presión y la temperatura.

- 1.-Ingreso de cilindros: Los cilindros vacíos se colocan en una línea de envasado. Mediante pallets, por las grúas horquilla.
- 2.-Detección de ovalidad: se inspecciona visualmente las características geométricas de los cilindros de gas que serán llenados y distribuidos.
- 3.4-Ingreso de tara: se refiere al proceso de recibir y registrar el peso de los cilindros vacíos antes de que se les llene con gas. La tara es el peso del cilindro sin el contenido, es decir, el peso del cilindro en sí mismo y cualquier otro componente fijo que pueda estar asociado, como las válvulas y las tapas de seguridad.

- 5.-Inyección de GLP a cilindros (sala de bombas).
- 6.-Romanas de envasado de cilindros.
- 7.-Control de peso: una vez que el cilindro está lleno, se verifica el peso del cilindro completo para asegurarse de que contenga la cantidad adecuada de GLP. Si es necesario, se realizan ajustes para alcanzar el peso deseado.
- 8.-Detección de fugas: detectar cualquier escape no deseado de gas desde el cilindro, ya sea debido a imperfecciones en el sellado, daños en la válvula u otras irregularidades en el contenedor.
- 9.-Selladora: asegurar que el cilindro quede completamente sellado para evitar fugas y garantizar la seguridad durante el almacenamiento, transporte y uso del gas.
- 10.-Lavado de cilindros: implica el lavado a alta presión de los cilindros antes de salir del área de producción.
- 11.-Retiro de cilindros mediante grúa horquilla.
- 12.-Almacenamiento y distribución: Los cilindros llenos y etiquetados se almacenan en áreas designadas dentro de la planta envasadora. Desde allí, se distribuyen a través de camiones o se cargan en contenedores para su transporte a los puntos de venta o distribución.

1.5 ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN

De acuerdo con los datos de la empresa, mediante la plataforma MTsolutions la planta de Concón presenta un aproximado de 230 toneladas de GLP por día que se están envasado en turnos de 8 horas siendo dos por día, se destaca que el uso de los equipos de bombeo es un uso combinado que varía cada semana.

La Planta Concón es la segunda en mayor cantidad de envasado, pero la primera en almacenamiento, contando con 15 tanques con capacidad de 400 [m³], 12 tanques de 100 [m³] y 4 tanques de 160 [m³]especiales para gas catalítico.

Lipigas concentra un 35,5% de participación de mercado en Chile con sus 480 mil toneladas vendidas al año. Este grueso volumen de ventas se concentra en un 63% en la distribución de GLP envasado en cilindros de gas.

Dado el volumen de cilindros de gas que se deben envasar diariamente, y con tal de abastecer a las centrales de distribución, se instalaron equipos e instrumentos que permitieron en el año 1998 automatizar las líneas de envasado de los cilindros de 5, 15, 45 kilos, y multiformato en las plantas Maipú y Concón, en donde se encuentra el diseño de la nueva sala de bombas.

1.6 DESCRIPCIÓN LINEAMIENTOS ACTUALES DE MANTENIMIENTO

Hoy en día al área de mantención de Lipigas trabaja con una estrategia de plan de mantenimiento que incluye intervenciones de acuerdo con una combinación entre tareas preventivas y correctivas, con apuntes de llevar el mantenimiento hacia un lado más predictivo, en este sentido se han realizado tareas en torno a medición de vibraciones del nivel I de severidad y tanto del nivel II relacionado a análisis de espectro, se menciona que estas han sido ejecutadas por empresas externas.

El proceso de la gestión del mantenimiento se regula a través de ordenes de trabajo que siguen un ciclo, desde su generación hasta su cierre, todo esto mediante el uso del software SAP, implementado en la empresa, estas órdenes pueden ser generadas tanto por una falla imprevista como por el programa de mantenimiento preventivo. Una de las principales acciones en mantenimiento comprende la realización de checklist mensuales, en base a experiencia del equipo de mantenedores además de recomendaciones del fabricante.

La empresa cuenta además con certificación de KAIZEN, por tanto, la empresa hace énfasis en:

- Participación de todos: Kaizen implica que todos los miembros de la organización, desde los empleados de nivel básico hasta la alta dirección, participen activamente en el proceso de mejora continua. Se fomenta la generación de ideas y sugerencias por parte de todos los empleados, ya que se reconoce que tienen conocimientos y experiencia valiosos para contribuir.
- Eliminación de desperdicios: Kaizen busca identificar y eliminar cualquier tipo de desperdicio o actividad innecesaria en los procesos empresariales. Esto incluye la reducción de tiempos de espera, la optimización del flujo de trabajo, la eliminación de movimientos innecesarios y la minimización de los defectos en los productos o servicios.

- Mejora gradual y constante: El enfoque de Kaizen es realizar mejoras graduales y sostenibles en lugar de cambios drásticos. Se promueve la implementación de pequeñas mejoras de manera continua, en lugar de intentar cambios masivos que pueden resultar disruptivos o difíciles de gestionar.
- Enfoque en la calidad: Kaizen pone un fuerte énfasis en la mejora de la calidad de los productos o servicios de una empresa. Esto implica la adopción de prácticas como el control de calidad, la estandarización de procesos y la capacitación de los empleados para mantener y mejorar constantemente los estándares de calidad.
- Enfoque en las personas: El método Kaizen reconoce que las personas son el activo más valioso de una empresa. Se fomenta la capacitación y el desarrollo de habilidades de los empleados, así como su participación en la toma de decisiones relacionadas con la mejora continua. Además, se busca crear un ambiente de trabajo seguro, saludable y motivador para promover la satisfacción y el compromiso de los empleados.

El conjunto de bombas existentes en el área “sala de bombas” además de otros sistemas asociados a seguridad (red de incendios), compresores, etc., son catalogados como equipos críticos de acuerdo con el impacto hacia las líneas de producción y seguridad de los trabajadores.

Es importante destacar que el área de mantenimiento no trabaja con indicadores asociados al propio, ya sean tales como MTTR, MTBF, etc., si bien trabajan con la disponibilidad de equipos críticos esta es en base a observación, es decir una inspección diaria por parte del mantenedor en donde el resultado es un sí o no, en otras palabras, está disponible o no lo está. Los indicadores asociados a mantenimiento son evaluados a nivel de las plantas de la empresa, esto realizado por el programador de mantenimiento también mediante el software mencionado MTsolutions en donde se monitorea la información relacionada a KPI's de mantenimiento, MTBF, MTTR y disponibilidad de las plantas, además de otros indicadores tales como OEE, calidad y eficiencia.

1.7 IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO/SISTEMA CRÍTICO

Para identificar los equipos/sistemas críticos se realiza el análisis de criticidad, evaluando la frecuencia de la falla por su consecuencia, a través de la encuesta a un conjunto de personas seleccionadas del área de mantenimiento, de la planta. Con base en los resultados de las encuestas, se jerarquizan los equipos del proceso de envasado, mediante la cuantificación de un índice de criticidad IC, a partir de las ecuaciones (1) y (2), y de la ponderación de las respuestas, según las tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

El IC de acuerdo con la ecuación (1), es el producto de la frecuencia de fallas FF y la consecuencia de la falla CF,

IC = FF × CF

Ecuación 1: IC

Frecuencia de Fallas (FF)	Valor
¿Qué tan frecuente son las fallas ocurridas?	
Menos de 1 por año	1
Entre 2 y 12 por año	2
Entre 13 y 52 por año	3
Más de 52 por año (más de una por semana)	4

Fuente: Sistema para evaluar la confiabilidad de equipos críticos en sector industrial

Tabla 1-1, Ponderación de FF

La CF se evalúa a partir de la suma de: el impacto en la producción IP, el impacto en la seguridad y salud SS, los costos de reparación CR, el tiempo de reparación TR, y el tiempo de operación TO. Finalmente, IC se calcula utilizando la ecuación (2).

IC = FF × (IP + SS + CR + TR + TO)

Ecuación 2: IC

El IP registra porcentualmente la producción aproximada que se deja de obtener por día, debido a fallas ocurridas, definiendo la consecuencia inmediata de la ocurrencia de la falla, que puede representar un paro total o parcial de los quipos del sistema y al mismo tiempo el paro del proceso productivo de la unidad. La ponderación del IP se muestra en la tabla 2.

Impacto en la Producción (IP)	Valor
¿Cuál es el impacto en la producción?	
Menor al 25%	1
25% de impacto	2
50% de impacto	3
75% de impacto	4

Fuente: Sistema para evaluar la confiabilidad de equipos críticos en sector industrial

Tabla 1-2, Ponderación del IP

El SS registra la ocurrencia de eventos en los cuales alguna persona puede resultar lesionada, La ponderación de SS se muestra en la tabla 3.

Seguridad y Salud (SS)	Valor
¿Cuál es la lesión más significativa que puede presentarse en la operación del equipo?	
No hay algún tipo de lesión	1
Lesiones leves (son asistidas dentro de la planta, no hay incapacidad)	2
Lesiones significativas (incapacidad entre 1 y 30 días)	3
Lesiones de incapacidad parcial o permanente (mayor de 30 días)	4

Fuente: Sistema para evaluar la confiabilidad de equipos críticos en sector industrial

Tabla 1-3, Ponderación del SS

El CR hace referencia al costo promedio por falla requerido para restituir el equipo/sistema a condiciones óptimas de funcionamiento, incluye labor, materiales y transporte. La ponderación del CR se muestra en la tabla 4.

Costos de Reparación (CR)	Valor
¿Cuál es el costo anual del mantenimiento del equipo/sistema?	
Menos de 1.000 dólares	1
Entre 1.000 y 5.000 dólares	2
Entre 5.001 y 10.000 dólares	3
Más de 10.000 dólares	4

Fuente: Sistema para evaluar la confiabilidad de equipos críticos en sector industrial

Tabla 1-4, Ponderación CR

El TR es el tiempo promedio empleado para reparar la falla, se considera desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para cumplirla nuevamente. El TR, mide la efectividad para restituir el sistema/equipo a condiciones óptimas de operatividad. La ponderación del TR se muestra en la tabla 5.

Tiempo de Reparación (TR)	Valor
¿Cuál es el tiempo promedio para reparar el equipo/sistema?	
Menor a 4 horas	1
Igual o mayor a 4 horas y menor a 6 horas	2
Igual o mayor a 6 horas y menor a 12 horas	3
Mayor a 12 horas	4

Fuente: Sistema para evaluar la confiabilidad de equipos críticos en sector industrial

Tabla 1-5, Ponderación del TR

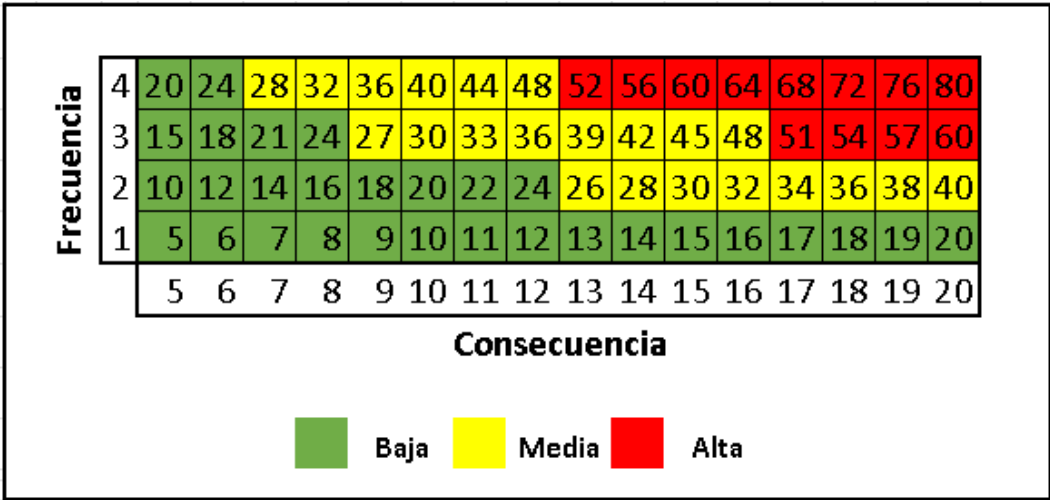
El TO es el tiempo que dura el equipo en producción. La ponderación del TO se muestra en la tabla 6.

Tiempo de Operación (TO)	Valor
¿Cuál es el tiempo de trabajo del equipo/sistema?	
Opcionalmente	1
Un turno de trabajo	2
Dos turnos de trabajo	3
Totalmente	4

Fuente: Sistema para evaluar la confiabilidad de equipos críticos en sector industrial

Tabla 1-6, Ponderación del TO

Obtenido el valor del índice de criticidad de cada equipo, éstos se clasificaron como de alta criticidad entre (51-80), media criticidad (26-50) o baja criticidad (5-25), de acuerdo con la matriz de criticidad de la figura 2.



Fuente: Sistema para evaluar la confiabilidad de equipos críticos en sector industrial

Figura 1-5, Matriz de criticidad (frecuencia x consecuencia)

1.7.1 CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS/SISTEMA SEGÚN EL VALOR DEL IC

Se identificaron los equipos/sistema de producción de la empresa, se calculó el índice de criticidad para cada equipo, y se procedió a clasificar los equipos como de alta, media o baja criticidad, como se muestra en la tabla 7. Ver anexo B para tabla completa.

EQUIPO/SISTEMA	IC	CRITICIDAD
BOMBAS GLP	51	Alta
COMPRESORES	30	Media
CARRUSEL ENVASADO	28	
LINEA TRANSPORTADORA	26	
PALETIZADO	26	
SELLADORA	24	Baja
DETECTORA GOMAS	20	
CONTROL DE PESO	12	
INTRODUCTOR	10	
TABULADOR	9	
DETECTORA DE FUGAS	9	
LAVADO	8	
SKID REGULACIÓN	7	

Fuente: elaboración propia

Tabla 1-7, IC

Determinado el grado de criticidad de los equipos asociados a la línea de envasado, se obtiene que el sistema Bombas de GLP, presenta un alto valor de IC por tanto es donde se pondrá énfasis en utilizar las herramientas del RCM.

**2 CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO/SISTEMA CRÍTICO Y
DESARROLLO DE ANÁLISIS FMECA**

2.1 DESCRIPCIÓN SALA DE BOMBAS

El sistema de bombeo de la planta, diseñado en el año 1998, para efectos de modernización de la planta, debe su existencia al requerimiento de llevar a cabo principalmente el proceso de alimentación de los carruseles de envasado del área de producción, comprendidas las líneas de 5,15, y 45 kg además de la modalidad de multiformato, en este sentido cuenta con cuatro conjuntos bomba-motor unidos de forma lineal, con modelos de SIHI multietapas, las cuales tres de ellas están enfocadas hacia el envasado, presentado una configuración lógica de redundancia total, es decir un equipo de estos puede mantener los requerimientos del área de plataforma (envasado).

Los equipos son enumerados desde de la siguiente manera: 102, 104, 106, 107, siendo estos últimos tres los encargados de mover el GLP hacia el área de plataforma.

El proceso a grandes rasgos consiste en transportar el gas licuado petróleo desde los tanques de almacenamiento de la planta hacia el área de sala de bombas por medio de piping, para luego ser dirigido hacia el área de operaciones donde se encuentran las romanas de envasado para los cilindros, en este sentido todos los cambios de equipo entiéndase desde una bomba a otra son en base a requerimientos de producción o según como decida en relación al funcionamiento de las bombas el supervisor de zona de plataforma. Mas a detalle en el diagrama SIPOC del proceso.

Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
Tanque de almacenamiento GLP (aprox. 400 m ³)	GLP, Motor electrico	Bombear GLP entre 35-40 m ³ /h, con presiones de max: 280 Psi - min: 300 Psi.	GLP a caudal deentre 35-40 m ³ /h	Interno: carrusel de envasado (5 kg, 15 kg, 45 kg y multiformato)

Fuente: elaboración propia

Tabla 2-1, Diagrama SIPOC del proceso

2.2 UBICACIÓN INTERNA SALA DE BOMBAS

Vista satelital planta Lipigas Concón, en encuadre rojo ubicación sala de bombas.



Fuente: Google Maps, elaboración propia

Figura 2-1, Vista satelital planta Concón



Fuente: elaboración propia

Figura 2-2, sala de bombas

2.3 DESCRIPCIÓN BOMBA SIHI MULTJETAPAS

El funcionamiento de las bombas SIHI de múltiples etapas se basa en el principio de la fuerza centrífuga. Estas bombas están compuestas por una serie de etapas, donde cada etapa consta de un impulsor y un difusor. El impulsor es una rueda giratoria con palas curvas que gira dentro de una carcasa, impulsando el líquido hacia adelante. El difusor es una estructura en forma de anillo que rodea el impulsor y ayuda a convertir la energía cinética del líquido en energía de presión.

El líquido ingresa a la bomba a través de la entrada, y en cada etapa, el impulsor acelera el líquido y lo impulsa hacia el siguiente difusor. A medida que el líquido pasa por cada etapa, su presión aumenta gradualmente. Esto se debe a que cada etapa agrega una cantidad adicional de energía de presión al líquido.

Una característica importante de las bombas SIHI de múltiples etapas es que están diseñadas con un eje en el centro que conecta todos los impulsores. Esto permite que todos los impulsores giren a la misma velocidad y sincronizados, lo que resulta en un flujo de líquido uniforme y una mayor eficiencia.

El rendimiento de una bomba SIHI de múltiples etapas depende de varios factores, como el número de etapas, el tamaño de los impulsores y difusores, la velocidad de rotación y el tipo de líquido que se bombea. Estas bombas son conocidas por su capacidad para generar presiones elevadas y manejar fluidos viscosos y corrosivos, lo que las hace adecuadas para una amplia gama de aplicaciones industriales, incluyendo la industria química, petroquímica, de alimentos y bebidas, y de energía.

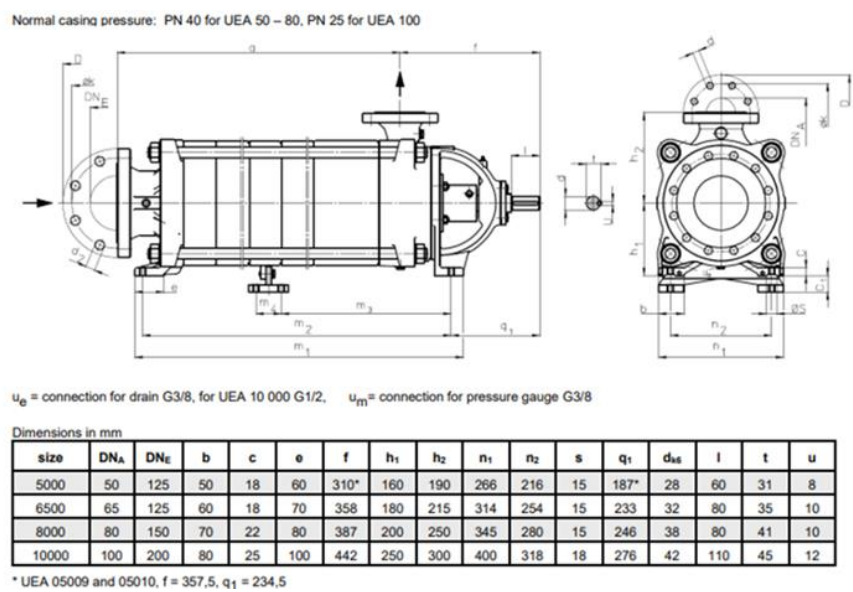
2.3.1 APLICACIONES

Las bombas centrífugas de la serie UEA con etapa inductora de NPSH se aplican para bombear sin problema en los casos de condiciones desfavorables en el lado de aspiración. La capacidad de las bombas de esta serie para bombear líquidos en su punto de ebullición permite un amplio campo de aplicación para bombear condensados, gases licuados, refrigerantes, GLP, y agua de alimentación de calderas.

2.3.2 DATOS TÉCNICOS

- Caudal: hasta 220 m³/h
- Altura: hasta 280 m
- Velocidad: máx. 3.600 rpm
- Temperatura: máx. 140 °C
- Presión del cuerpo.: hasta 40/25 bar
- Cierres de eje: empaquetadura, cierre mecánico
- Materiales: fundición gris, fundición nodular, acero inoxidable

2.3.3 REFERENCIA DE PLANO



Fuente: Manual del equipo

Figura 2-3, Plano referencial bomba SIHI

2.3.4 COMPONENTES

Ítem	Componentes	
106	Carcasa de aspiración	
107	Carcasa de descarga	
108	Carcasa de etapa	
109	Envolvente de etapa	
111	Etapa de succión (interna)	
114	Carcasa de canal lateral	
210	Eje	
230	Impulsor (interno)	
231	Impulsor NPSH	
235	Impulsor de rueda de paletas	
350	Conjunto de rodamientos	
412	O-ring	
433	Sellado del eje	DNE
		RBG
		XEY
523	Manga del eje en el sello mecánico	

Fuente: Manual el equipo

Tabla 2-2, Lista de componentes

2.4 CONTEXTO OPERACIONAL

Propósito del proceso/equipo

Bombeo de GLP / Bomba SIHI UEAY 5009 multietapa.

Abastecer a carruseles de envasado (Gas Licuado del Petróleo).

Descripción del proceso

El sistema de bombeo debe abastecer los carruseles de envasado para suministrar hacia las distintas líneas con caudal de 35-40 m³/h a presiones de Min 280 Psi y Max de 300 Psi, cabe destacar que el sistema presenta una configuración en redundancia total.

2.5 DEFINICIÓN DE FUNCIONES

Función primaria

Impulsar GLP de tanque de almacenamiento a carrusel de envasado a un caudal de entre 35-40 m³/h.

Función secundaria

Generar presión de trabajo entre 280-300 [PSI].

2.6 FALLAS FUNCIONALES

Una falla funcional es una condición en la cual un equipo/sistema es total o parcialmente, incapaz de trabajar a los parámetros de funcionamiento definidos en su operación. Se definen dos tipos de fallas funcionales para cada función, primaria y secundaria respectivamente:

- Bomba impulsa GLP a menos de 35-40 m³/h
- Incapaz de impulsar GLP
- Bomba incapaz de trabajar a una presión mayor o igual a 280 [PSI]
- No genera presión

2.7 MODOS DE FALLA

Un modo de falla es un evento causa raíz que puede tener ocurrencia en un componente y provocar la falla funcional del equipo/sistema, esta causa raíz puede ser de diversas maneras ya sea física, humana o administrativa, un modo de fallo puede afectar a mas de una falla funcional.

- De acuerdo con RCM “Causa física de cada falla funcional”.
- ISO 14224 “Evidencia física de fallar reflejada en el estado final del ítem mantenible afectado”.

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

- Impulsores internos desgastados
- Conjuntos de rodamientos dañado
- Línea de succión parcialmente bloqueada
- Eje de la bomba bloqueado
- Carcaza de la bomba rota
- Línea de succión totalmente bloqueada
- Sello mecánico desgastado
- Carcasa de descarga rota
- Impulsor de rueda de paletas con desgaste
- Etapa de succión bloqueada
- Rodamiento Fracturado
- Impulsor de la bomba roto.

2.8 CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO

Se cuantifica el riesgo para cada modo de falla:

- FREC FALLAS: Frecuencia anual.
- MTTR: Incluye tiempos logísticos, ejecución, puesta en marcha (todo el tiempo que el equipo no está productivo)
- IMP. PROD: Costo de ineficiencia por hora, cuanto se pierde por concepto de producción.
- COSTOS DIRECTOS POR FALLA: Costos de reparar la falla (hh, insumos, repuestos, logística, confinamiento, etc)
- IMP. SEG: Clasificación A, B, C
- IMP. AMB: Clasificación A, B, C
- RIESGO CUANTITATIVO:

$$FREC.FALLAS \times (MTTR \times IMP.PROD + COST.DIREC.FALLAS)$$

- RIESGO CUALITATIVO: Cualificación del riesgo (IMP SEG, IMP AMB)
- GRÁFICO: Cuantificación de riesgo cualitativo

2.8.1 IMPACTOS EN MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD

- Clasificación A: Alto impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia de este modo de fallo.
 - Clasificación B: Mediano impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia de este modo de fallo.
 - Clasificación C: Bajo impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia de este modo de fallo.
-
- Clasificación A-A: Riesgo Máximo
 - Clasificación A-C, A-B o B-A: Riesgo Medio
 - Clasificación B-C o CC: Riesgo Mínimo

2.9 ANÁLISIS FMECA DEL SITEMA/EQUIPO CRÍTICO

Sistema/Subistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto 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	RIESGO CUALITATIVO	GRÁFICO
Sistema de bombeo de GLP	1	Impulsar GLP de tanque de almacenamiento a curruusel de envasado a un caudal entre 35 40 m3/h	1.1	Bomba Impulsa GLP a menos de 35 [m3/h]	1.1.1	Impulsores internos desgastados	Evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Flujo, vibración, temperatura y baja de caudal. Acción correctiva:	1	3	\$ 1.502.176	\$ 500.000	c	c	\$ 5.006.528	cc	1,00
					1.1.2	Conjuntos de rodamientos dañado	Evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Ruido, vibraciones, temperatura. Acción correctiva:	0,5	3	\$ 1.502.176	\$ 360.000	c	c	\$ 2.433.264	cc	1,00
					1.1.3	Línea de succión parcialmente bloqueada	Evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Bajo Caudal, Aumento de presión en la línea. Acción correctiva:	1	3	\$ 1.502.176	\$ 120.000	b	c	\$ 4.626.528	bc	2,00
			1.2	Incapaz de suministrar GLP	1.2.1	Eje de la bomba bloqueado	Evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): No hay Caudal. Acción correctiva:	1	4	\$ 1.502.176	\$ 360.000	c	c	\$ 6.368.704	cc	1,00
					1.2.2	Carcaza de la bomba rota	Evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Fuga de GLP, Flujo, No hay caudal. Acción correctiva:	0,2	5	\$ 1.502.176	\$ 26.200.000	a	b	\$ 6.742.176	ab	3,00
					1.2.3	Línea de succión totalmente bloqueada	Evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Aumento de presión en la línea, No hay caudal. Acción correctiva:	1	4	\$ 1.502.176	\$ 210.000	b	c	\$ 6.218.704	bc	2,00
	2	Generar presión de trabajo entre 280-300 [PSI]	2.1	Bomba incapaz de trabajar a una presión mayor o igual a 280 [PSI]	2.1.1	Sello mecánico desgastado	Evidente: No Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Fuga de GLP, Baja presión. Acción correctiva:	2	4	\$ 1.502.176	\$ 260.000	c	b	\$ 12.537.408	cb	2,00
					2.1.2	kit de O-ring desgastado	Evidente: Si Afecta SHA: Si Efecto operacional (síntomas): Desprendimiento de GLP en el ambiente. Acción correctiva:	2	3	\$ 1.502.176	\$ 170.000	b	b	\$ 9.353.056	bb	2,00
					2.1.3	Impulsor de rueda de paletas con desgaste	Evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Flujo, Vibración, Temperatura y baja de presión y caudal. Acción correctiva:	2	3	\$ 1.502.176	\$ 370.000	c	c	\$ 9.753.056	cc	1,00
			2.2	No genera presión	2.2.1	Etapa de succión bloqueada	Evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): No hay presión, ni caudal. Acción correctiva:	2	4	\$ 1.502.176	\$ 460.000	c	c	\$ 12.937.408	cc	1,00
					2.2.2	Rodamiento Fracturado	Evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): No hay presión, ni caudal, Ruido excesivo. Acción correctiva:	0,5	1,5	\$ 1.502.176	\$ 240.000	b	c	\$ 1.246.632	bc	2,00
					2.2.3	Impulsor de la bomba roto.	Evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Flujo, Temperatura, No hay presión, ni caudal. Acción correctiva:	0,5	3	\$ 1.502.176	\$ 500.000	b	c	\$ 2.503.264	bc	2,00

Fuente: elaboración propia

Tabla 2-3, Análisis FMECA

2.10 JERARQUIZACIÓN POR RIESGO DE (FMECA) DE LOS MODOS DE FALLA DEL SISTEMA/EQUIPO.

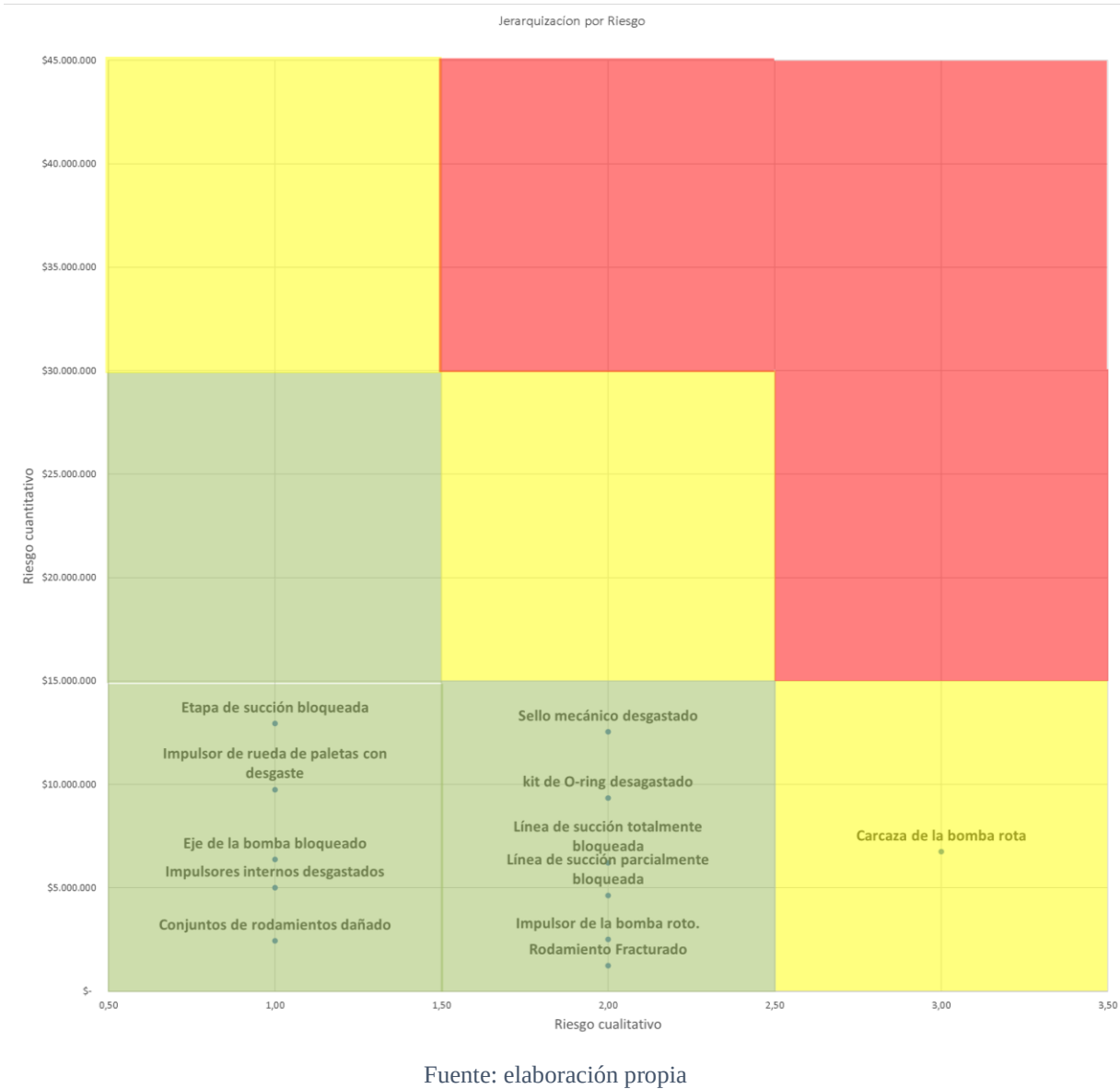
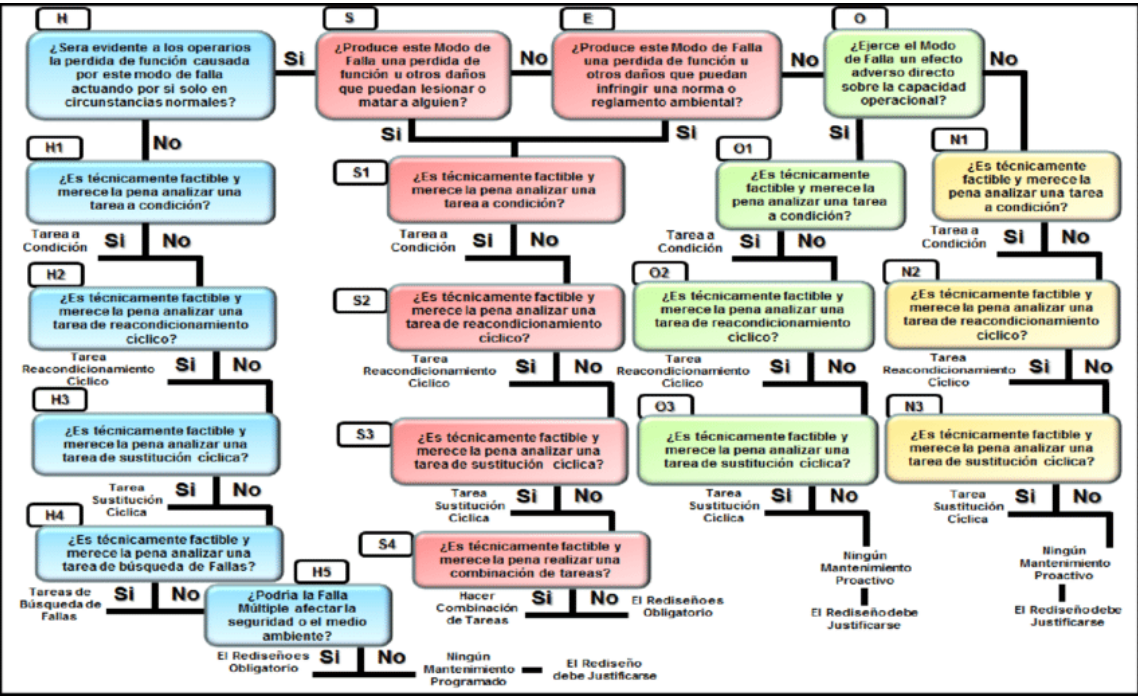


Figura 2-4, Jerarquización por riesgo

A raíz de los resultados, la jerarquización por riesgo facilita la toma de decisiones informadas sobre las acciones de mantenimiento, organizando los modos de falla según su puntuación de criticidad, lo que permite priorizar las acciones de mitigación y corrección. Los modos de falla con mayores puntuaciones de riesgo se consideran más críticos y requieren una atención inmediata, en este caso el modo de falla “Carcasa de la bomba rota”.

2.11 DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y CUANTIFICACIÓN DE ESFUERZOS

Para realizar la selección de actividades de mantenimiento se realiza mediante el diagrama de decisión del RCM II John Moubray.



Fuente: RCM II John Moubray

Figura 2-5, Diagrama de decisión RCM

2.11.1 **DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y CUANTIFICACIÓN DE ESFUERZOS (CONTINUACIÓN)**

#	Modo de Falla	Actividad Mtto	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación (veces por año)	Numero de personas	HH -ejecución	Tarifa Especialidad	Insumos, Materiales, o servicios requeridos	COSTO ANUAL
1.1.1	Impulsores internos desgastados	Tarea de reacondicionamiento cíclico	Reparación de impulsor interno	1	2	4	\$ 20.000	\$ 380.000	\$ 540.000,00
1.1.2	Conjuntos de rodamientos dañado	Tarea de sustitucion cíclica	Cambio conjunto de rodamientos	2	2	2	\$ 20.000	\$ 300.000,00	\$ 460.000,00
1.1.3	Línea de succión parcialmente bloqueada	Tarea de reacondicionamiento cíclico	Limpieza sistema de piping	4	2	3	\$ 20.000	\$ 50.000,00	\$ 530.000,00
1.2.1	Eje de la bomba bloqueado	Tarea de reacondicionamiento cíclico	Limpieza de componentes	2	2	3	\$ 20.000	\$ 200.000,00	\$ 440.000,00
1.2.2	Carcaza de la bomba rota	Tarea de condición	Inspección técnica del equipo	1	3	5	\$ 20.000	\$ 550.000,00	\$ 850.000,00
1.2.3	Línea de succión totalmente bloqueada	Tarea de reacondicionamiento cíclico	Limpieza de piping	2	2	3	\$ 20.000	\$ 50.000,00	\$ 290.000,00
2.1.1	Sello mecánico desgastado	Tarea de sustitucion cíclica	Cambio de sello	3	2	2	\$ 20.000	\$ 100.000,00	\$ 340.000,00
2.1.2	kit de O-ring desgastado	Tarea de sustitucion cíclica	Cambio de Kit O-ring	2	1	2	\$ 20.000	\$ 50.000,00	\$ 130.000,00
2.1.3	Impulsor de rueda de paletas con desgaste	Tarea de sustitucion cíclica	Cambio kit de paletas	2	2	4	\$ 20.000	\$ 250.000,00	\$ 570.000,00
2.2.1	Etapas de succión bloqueada	Tarea de reacondicionamiento cíclico	limpieza etapa succión	2	2	3	\$ 20.000	\$ 300.000,00	\$ 540.000,00
2.2.2	Rodamiento Fracturado	Tarea de sustitucion cíclica	Cambio de rodamiento	3	2	3	\$ 20.000	\$ 180.000,00	\$ 540.000,00
2.2.3	Impulsor de la bomba roto.	Tarea de sustitucion cíclica	Cambio kit de impulsor	1	2	3	\$ 20.000	\$ 380.000,00	\$ 500.000,00
Costo total									\$ 5.730.000,00

Fuente: elaboración propia

Tabla 2-4, Actividades de mantenimiento RCM

El resultado de las actividades de mantenimiento proporciona una guía clara para la planificación y ejecución de tareas, teniendo énfasis en aportes hacia una claridad en las actividades de mantenimiento, planificación efectiva, priorización de tareas, estimación de costos, optimización de recursos y en la mejora continua.

3 CAPÍTULO III: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL
ENFOQUE RCM

3.1 ANÁLISIS DE LAS RECOMENDACIONES RCM

El presente capítulo tiene como objetivo principal realizar una evaluación a la planificación de las tareas de mantenimiento para la mitigación de las fallas, y el estudio de la evaluación económica de la propuesta de optimización del plan de mantenimiento para la sala de bombeo. Se presenta la comparativa y las principales ventajas entre la manera de realizar el mantenimiento ya existente y la propuesta centrada en la confiabilidad, así como también los resultados esperados de la implementación de RCM

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad ofrece recomendaciones clave para mejorar la efectividad y eficiencia de los planes de mantenimiento. Estas recomendaciones se centran en identificar las estrategias óptimas de mantenimiento para cada equipo o sistema, basadas en un análisis de su función, modos de falla potenciales y consecuencias de dichas fallas. RCM propone la implementación de tareas de mantenimiento que maximizan la operatividad mientras minimizan costos innecesarios. Esto se logra priorizando el mantenimiento proactivo sobre el reactivo, identificando tareas de mantenimiento predictivo, preventivo o basado en condiciones específicas para abordar las causas fundamentales de las fallas. Las recomendaciones de RCM están dirigidas a optimizar la disponibilidad de los activos, reducir los riesgos de falla y mejorar la seguridad, al tiempo que se busca minimizar el impacto económico derivado de las actividades de mantenimiento.

En el contexto de la metodología RCM II de John Moubray, la definición de actividades de mantenimiento ofrece una serie de beneficios significativos:

- **Claridad en las Tareas de Mantenimiento:** proporciona una comprensión detallada y específica de las actividades de mantenimiento necesarias para garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos críticos. Esto evita ambigüedades y establece procedimientos claros y precisos para el personal de mantenimiento.
- **Enfoque en la Prevención de Fallas:** al identificar las actividades de mantenimiento preventivo, la metodología RCM II busca prevenir fallas y maximizar la vida útil de los equipos, lo que resulta en una reducción significativa de paradas no planificadas y tiempos de inactividad.

- Optimización de Recursos: al definir con precisión las actividades de mantenimiento necesarias, se puede optimizar el uso de recursos como mano de obra, repuestos, herramientas y tiempo, evitando el sobre mantenimiento o la subutilización de recursos.
- Seguridad Mejorada: establece protocolos de mantenimiento que pueden mejorar la seguridad operativa al garantizar que las tareas de mantenimiento se realicen de manera adecuada y oportuna, reduciendo así los riesgos asociados a equipos mal mantenidos.
- Reducción de Costos: al enfocarse en actividades específicas y justificables de mantenimiento, se minimizan los costos innecesarios al tiempo que se maximiza la confiabilidad de los equipos críticos, lo que conduce a una reducción general de los costos de operación y mantenimiento.
- Mejora Continua: la definición clara de actividades de mantenimiento permite un seguimiento y evaluación más efectivos de la eficacia del plan de mantenimiento, lo que facilita la identificación de áreas de mejora continua en los procedimientos y en la gestión del mantenimiento.

Los niveles de mejora que puede lograr la empresa empleando un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad son considerables, con relación a que por la parte técnica tiene mucho margen de ser provechoso, ya que difícilmente sea perjudicial si se tiene en cuenta la buena predisposición de los operadores, los mecánicos de mantención, los eléctricos, más la disponibilidad de los insumos y repuestos para los equipos que trabajan en el proceso productivo.

Si técnicamente es viable, se parte porque económicamente también lo sea, y para lograr esta comprobación, se realizará el estudio correspondiente de ambas partes, comparando estas con las ya existentes.

3.1.1 PLAN DE MANTENIMIENTO

Para llevar a cabo una correcta planificación del mantenimiento se debe tener claro lo siguiente: Se requiere llevar a cabo tareas de mantenimiento proactivo, modificando la forma de mantención presente en Lipigas, para disminuir las mantenciones correctivas y principalmente, aumentar la disponibilidad de los activos. Tareas como la creación de Check list específicos para las bombas, inspecciones de rutina para ver el estado de los componentes de los activos, y aún más importante, generar los procedimientos que den seguridad a quien ejecutara la tarea y que se muestre el paso a paso de realizar la mantención, son de vital importancia para tener un protocolo de seguimiento y registro de lo que se realiza. Las competencias técnicas que requiere el trabajo son de mecánica, mantenimiento, rodamientos y lubricación, pudiendo ser en el caso de algunas tareas, competencia técnica hidráulica.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS MEJORAS PROPUESTAS

Las mejoras propuestas se basan de acuerdo en tareas proactivas del mantenimiento:

- Reacondicionamiento cíclico: este tipo de 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.

Estos enfoques de mantenimiento son estrategias utilizadas para asegurar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, cada uno con sus propias ventajas y consideraciones. El uso de uno u otro puede depender de factores como la criticidad del equipo, la disponibilidad de repuestos, el costo de mantenimiento y la experiencia previa en el rendimiento del equipo en cuestión.

3.3 IMPACTO EN LA DISPONIBILIDAD

Para el área de mantenimiento es relevante el mantener los números en torno a disponibilidad, con el fin de mantener los procesos productivos, ahora bien, esto no siempre es logrado de manera efectiva y es reflejado en la disponibilidad de equipos, esto lleva a consecuencias adversas.

Actualmente la disponibilidad esperada es de un 98%, y esto contrasta con la data real de bajas hasta un 96%, es evidente que estos números son mejorables y es posible lograr mantener la operatividad.

La optimización del plan de mantenimiento a través de las técnicas de RCM, pretende beneficios acerca de la mejora en la disponibilidad de los activos, la aplicación efectiva de RCM en la sala de sistemas de bombeo de GLP se traducirá en una mejora sustancial en la eficiencia operativa de Lipigas. La optimización del plan de mantenimiento conduce a una mayor disponibilidad de los equipos, lo que se reflejará en una menor frecuencia de fallos y en una capacidad mejorada para prever y mitigar posibles averías. Así, se espera una significativa reducción en los costos de mantenimiento, a la par que se garantiza una continuidad más fluida en los procesos productivos.

3.4 FACTIBILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA

La evaluación técnica y económica consiste en contrastar los costos asociados del actual mantenimiento frente a los costos involucrados en la propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

La implementación de mejoras siempre lleva cambios que deben considerar la infraestructura existente, equipos disponibles, recursos necesarios y cualquier limitación técnica.

3.4.1 COSTOS DEL RCM

La implementación del enfoque RCM en el sistema de bombeo de gas licuado de petróleo (GLP) conlleva una serie de costos asociados que deben ser minuciosamente evaluados. Estos costos abarcan tanto aspectos directos como indirectos. En términos directos, se contemplan los gastos relacionados con la adquisición de tecnología adicional, como herramientas de monitoreo, así como la posible necesidad de repuestos específicos que son identificados como necesarios a través del análisis RCM. Además, se deben considerar los posibles costos de capacitación del personal, ya que la implementación exitosa de nuevas prácticas de mantenimiento puede requerir una curva de aprendizaje y entrenamiento adicional para el equipo técnico. Por otro lado, los costos indirectos involucran los lapsos de inactividad durante la transición hacia el nuevo enfoque, así como la posible necesidad de reorganización en las rutinas de mantenimiento, lo que puede impactar temporalmente la productividad.

A continuación, se muestra el costo de las implementaciones de RCM:

Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación (veces por año)	Numero de personas	HH -ejecución	Tarifa Especialidad	Insumos, Materiales, o servicios requeridos	COSTO ANUAL
Reparación de impulsor interno	1	2	4	\$ 20.000	\$ 380.000	\$ 540.000,00
Cambio conjunto de rodamientos	2	2	2	\$ 20.000	\$ 300.000,00	\$ 460.000,00
Limpieza sistema de piping	4	2	3	\$ 20.000	\$ 50.000,00	\$ 530.000,00
Limpieza de componentes	2	2	3	\$ 20.000	\$ 200.000,00	\$ 440.000,00
Inspección técnica del equipo	1	3	5	\$ 20.000	\$ 550.000,00	\$ 850.000,00
Limpieza de piping	2	2	3	\$ 20.000	\$ 50.000,00	\$ 290.000,00
Cambio de sello	3	2	2	\$ 20.000	\$ 100.000,00	\$ 340.000,00
Cambio de Kit O-ring	2	1	2	\$ 20.000	\$ 50.000,00	\$ 130.000,00
Cambio kit de paletas	2	2	4	\$ 20.000	\$ 250.000,00	\$ 570.000,00
limpieza etapa succión	2	2	3	\$ 20.000	\$ 300.000,00	\$ 540.000,00
Cambio de rodamiento	3	2	3	\$ 20.000	\$ 180.000,00	\$ 540.000,00
Cambio kit de impulsor	1	2	3	\$ 20.000	\$ 380.000,00	\$ 500.000,00
Costo total						\$ 5.730.000,00

Fuente: elaboración propia

Tabla 3-1, implementación del RCM (costo)

Segundo escenario propuesto en ANEXO D.

3.5 PLAN ACTUAL DE MANTENIMIENTO

El actual plan de mantenimiento basa su funcionamiento en una combinación de tareas proactivas y reactivas, en donde lo apuntes son de llevar las acciones hacia un ámbito más preventivo, con relación a ello la gestión del mantenimiento se rige mediante órdenes de trabajo que siguen un ciclo desde su inicio hasta su conclusión, y está operativa se ejecuta a través del software SAP, implantado en la empresa. Estas órdenes pueden originarse tanto por fallos imprevistos como por el programa de mantenimiento preventivo. Un componente crucial en esta labor es la realización de check lists mensuales, que se construyen sobre la base de la experiencia del equipo de mantenedores y las recomendaciones proporcionadas por el fabricante.

Esto claramente es perfectible ya que, al ser un equipo crucial en el proceso de envasado, la importancia del como se gestiona el mantenimiento es relevante en la propuesta operativa de la empresa, sobre todo pensando en los objetivos de disponibilidad de los activos.

3.6 RIESGOS Y CONTINGENCIAS ECONÓMICAS

Considerando la relevancia estratégica de la implementación del método RCM en la sala de sistemas de bombeo de gas licuado de petróleo (GLP) de Lipigas, es fundamental abordar los riesgos y contingencias económicas asociados a esta iniciativa. Dada la importancia crítica de estos equipos para la continuidad de la línea de producción, existe un riesgo inherente a cualquier cambio en los procesos de mantenimiento. Los costos iniciales de implementación, como la capacitación del personal en nuevas metodologías, la adquisición de herramientas especializadas o la posible necesidad de parar la operación para llevar a cabo cambios, pueden representar un desafío financiero significativo. Asimismo, existe el riesgo de que las mejoras propuestas no generen el impacto esperado en la disponibilidad, lo que podría resultar en costos adicionales de ajuste o revisión de las estrategias implementadas. Además, los tiempos de adaptación a las nuevas prácticas podrían generar una disminución temporal en la eficiencia operativa antes de que se logren observar los beneficios completos. Por tanto, es fundamental considerar estrategias de contingencia que contemplen un monitoreo constante, revisiones periódicas y ajustes ágiles para mitigar cualquier desviación en los objetivos financieros y operativos.

3.6.1 ANÁLISIS ECONÓMICO DE RENTABILIDAD

Si analizamos la prefactibilidad técnica encontramos indicativos bastante positivos para el objetivo de generar esta propuesta de optimización al plan de mantenimiento en la empresa. Esto quiere decir que es posible realizarlo e implementar RCM, siempre y cuando el enfoque selectivo para hacerlo tenga como foco el activo más importante, que en este caso viene siendo el sistema de bombeo de GLP.

Aspectos cruciales por considerar en la prefactibilidad incluyen la reducción del tiempo de inactividad durante fallos del equipo, la disminución de la probabilidad de futuras fallas, y la comparación entre la vida útil actual y pasada. Estos indicadores se centran en evaluar la eficacia de la implementación de RCM, buscando mejoras significativas al adoptar el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. El objetivo primordial es fortalecer la seguridad en los riesgos operativos asociados al equipo.

Como se puede observar en la figura. Con la implementación de RCM se pretende lograr un 98% de disponibilidad, el cual a modo de ilustrar se genera el grafico circular:



Figura 3-1, grafico circular disponibilidad

Si se lograra aumentar la disponibilidad de los equipos en un 2%, que equivale a disminuir los tiempos de parada. Considerando que RCM logra aumentar la disponibilidad, y aumenta en 2%, para obtener una idea de la rentabilidad del proceso se debe compara el costo total de la implementación del plan de mantenimiento con relación a los costos actuales en la materia.

A continuación, se detalla el contraste entre los costos actuales de mantenimiento y lo propuesto a través del enfoque RCM, se destaca que los resultados son en base a una estimación para ambos casos, tanto actual como el propuesto, es por ello que si se precisa en torno a los valores monetarios de algunos componentes se tendrá una buena lectura acerca del real beneficio para la empresa de implementar las técnicas de un mantenimiento basado en confiabilidad:

	Plan actual sin RCM	Plan propuesto con RCM	Plan propuesto N°2 con RCM
N° de fallas esperada	13,7	10	0
Tiempo fuera de servicio x fallas (h)	40,5	29,5	0
Horas de ejecución de plan de Mtto preventivo (h)	0	37	60
Tiempo fuera de servicio x plan (h)	0	0	10
% oportunidad en planificación de las actividades	0	100%	83%
Costo ineficiencia CLP/anual	\$ 79.726.728,00	\$ 58.072.555,00	\$ 1.550.000,00
Costo plan de mantenimiento (CLP/anual)		\$ 5.730.000,00	\$ 10.450.000,00
Costo global		\$ 63.802.555,00	\$ 12.000.000,00
Beneficio en CLP		\$ 15.924.173,00	\$ 67.726.728,00

Fuente: elaboración propia

Tabla 3-2, Comparación RCM

Con la implementación de las técnicas de RCM, el mantenimiento en Lipigas se vería maximizado en gran forma, es considerable la reducción de costos posibles y la optimización de tiempos, así como los ajustes en disponibilidad, se espera que esta aumente alrededor de un 2% hablando cuantitativamente, lo que genera que el área de mantenimiento este cumpliendo con el objetivo de disponibilidad esperada que propone la empresa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología RCM es una herramienta fundamental que nos permite comprender la criticidad de cada equipo o máquina dentro de la planta, lo que resulta en la determinación de actividades de mantenimiento que aseguren su funcionamiento según los objetivos para los que fueron adquiridos. Para desarrollar una propuesta factible hacia la optimización del plan de mantenimiento, fue esencial trabajar en colaboración con el equipo de mantenimiento de Lipigas, compuesto por el jefe de Mantenimiento y los mecánicos mantenedores. A través de entrevistas informales, se recopiló información crucial para comprender el proceso productivo, las fallas recurrentes identificadas por técnicos y operadores, los costos asociados a fallas críticas, el presupuesto asignado al departamento de mantenimiento y las herramientas de diagnóstico disponibles.

Esta información fue esencial para seleccionar los criterios de evaluación y jerarquizar los activos según su criticidad, identificando como más crítica la sala de bombas de la planta. El uso de herramientas RCM como el análisis SIPOC permitió identificar el proceso que abarca el sistema de bombeo en las líneas de envasado, mientras que el FMECA fue crucial para identificar las funciones del equipo, los tipos de fallas y sus consecuencias, permitiendo así generar mejoras en el plan de mantenimiento para prevenir o mitigar fallas funcionales y detener la producción.

El análisis FMECA reveló modos de fallas, principalmente atribuibles a un mantenimiento deficiente, como la falta de inspecciones diarias que podrían anticipar rupturas de sellos mediante inspección visual, y escasez de revisiones mensuales que podrían anticipar roturas de rodamientos mediante técnicas predictivas.

Un análisis técnico-económico comparativo entre el plan de mantenimiento actual y la propuesta RCM mostró un beneficio del RCM del orden de \$67.726.728 CLP, representando una reducción del 85% en los costos anuales de mantenimiento. Los costos asociados al RCM implican inversiones en herramientas, instrumentos de diagnóstico y capacitación. Sin embargo, basándonos en estos costos, la propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad es completamente factible, generando beneficios económicos tanto para el mantenimiento como para la producción.

Este plan de mantenimiento propuesto debería considerarse como una base para Lipigas, recomendando la implementación de políticas que faciliten el desarrollo e implementación del RCM, incluyendo la formación de grupos de trabajo interdepartamentales, acuerdos sobre frecuencias de mantenimiento, mejoras frente a nuevas fallas y un seguimiento riguroso mediante indicadores clave. Además, se destaca que una mayor precisión en los datos permite una visión aún más cercana a la realidad de la implementación del RCM.

El aprendizaje obtenido de este trabajo profundiza los conocimientos sobre el RCM y provee nuevas herramientas para la planificación, gestión y control del mantenimiento. La aplicación de la metodología RCM en Lipigas no solo ofrece la posibilidad de implementarse en otros equipos de la planta, sino que también permite aumentar su disponibilidad y confiabilidad.

En última instancia, la efectividad de la aplicación del RCM radica en el enfoque correcto al determinar la importancia relativa entre equipos y establecer la prioridad de las tareas para mitigar los modos de falla. Sin embargo, es crucial mantener la motivación de los trabajadores, quienes desempeñan un papel fundamental como agentes activos para una gestión efectiva y la realización de un mantenimiento centrado en la confiabilidad. La evolución de la política de mantenimiento es vital para la perdurabilidad del RCM, ya que los activos y procesos están en constante cambio, requiriendo políticas flexibles y adaptables. Considerando que las personas también cambian, es esencial abordar cualquier declive en la actitud con medidas preventivas. Preguntas reflexivas, como “¿si el contexto operativo ha cambiado lo suficiente como para requerir modificaciones en las decisiones iniciales del análisis?” o “¿si han surgido nuevos modos de falla desde el inicio del análisis que deben registrarse en las hojas de trabajo RCM?”, ayudan a asegurar que la organización continúe beneficiándose plenamente del ejercicio original.

Se recomienda la lectura del texto "RCM II" de John Moubray (2004), junto con las normativas SAE JA 1011/12 e ISO 14224, para una mayor familiarización con los conceptos y el proceso de implementación del RCM.

BIBLIOGRAFÍA

- MOUBRAY, John M. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2a ed. Florida: North Carolina, 28803, USA, 2004. ISBN 09539603-2-3.
- SAE. JA1011. Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. París, Francia. 1999. 12p.
- SAE. JA1012. Una guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). París, Francia. 2002. 62p.
- ISO 14224:2016, Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, 1-272, Ginebra, Suiza (2016)
- BALDI G, Carlos. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM (diapositiva). Viña del mar, Chile: Departamento de Mecánica, Curso Gestión de Activos. 2020.
- DUQUE R. Pablo. Ingeniería del mantenimiento RCM (diapositiva). Viña del mar, Chile: Departamento de Mecánica, Curso Ingeniería de Mantenimiento. 2022.
- MUÑOZ Ligeti, Fabian Enrique. PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD A EQUIPO CRÍTICO EN ÁREA ZONA INTERMEDIA ENAP REFINERÍAS ACONCAGUA. Memoria (Ingeniero de ejecución en mantenimiento industrial), Viña del Mar, Chile. UTFSM, 2017.
- Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial Maira C. Gasca, Luis L. Camargo y Byron Medina
Universidad Antonio Nariño, Research in Energy and Materials, REM. Avenida Libertador Calle 14 No.13-55, Santa Marta, Colombia.
Recibido nov. 29, 2016; Aceptado Ene. 27, 2017; Versión final Mar. 16, 2017, Publicado ago. 2017
- Manual: Centrifugal Pumps, Gas handling combi pump in segmental design UEA 5002-10015, HALBERG Maschinenbau GmbH Halbergstr. 1, 67061 Ludwigshafen, Germany Tel. +49 (0) 621 56 12 - 0 Fax +49 (0) 621 56 12 – 209 www.halberg.com

ANEXOS

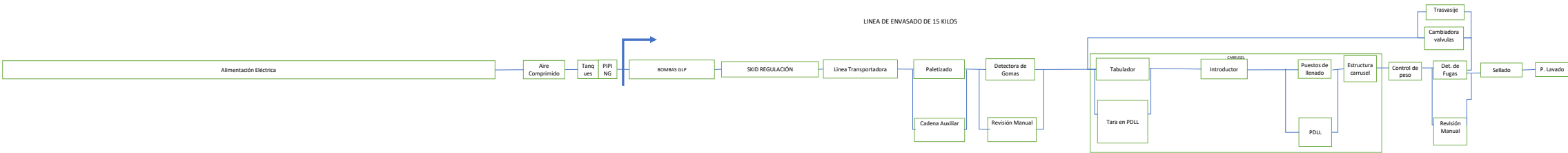
ANEXO A: REGISTRO PERSONAL DE MANTENIMIENTO

Escaneado con CamScanner

ANEXO B: FACTORES PARA CRITICIDAD

CODIGO	EQUIPO/SISTEMA	FF	IP	SS	CR	TR	TO	IC	CRITICIDAD
	BOMBAS GLP	3	3	4	3	4	3	51	
	COMPRESORES	2	4	2	3	3	3	30	
	CARRUSEL ENVASADO	2	4	2	2	3	3	28	
	LINEA TRANSPORTADORA	2	4	2	2	2	3	26	
	PALETIZADO	2	4	2	2	2	3	26	
	SELLADORA	2	3	1	2	3	3	24	
	DETECTORA GOMAS	2	1	2	2	2	3	20	
	CONTROL DE PESO	1	2	2	2	3	3	12	
	INTRODUCTOR	1	3	1	1	2	3	10	
	TABULADOR	1	1	1	2	2	3	9	
	DETECTORA DE FUGAS	1	1	1	2	2	3	9	
	LAVADO	1	1	1	1	2	3	8	
	SKID REGULACIÓN	1	1	1	1	1	3	7	

ANEXO C: RBD ENVASADO CONCÓN



ANEXO D: SEGUNDO ESCENARIO PROPUESTO RCM

#	Modo de Falla	Actividad Mtto	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación (veces por año)	Numero de personas	HH -ejecución	Tarifa Especialidad	Insumos, Materiales, o servicios requeridos	COSTO ANUAL
1.1.1	Impulsores internos desgastados	Tarea de reacondicionamiento cíclico	Reparación de impulsor interno	2	2	6	\$ 20.000	\$ 380.000	\$ 860.000,00
1.1.2	Conjuntos de rodamientos dañado	Tarea de condicion	Análisis de lubricación	4	2	4	\$ 20.000	\$ 500.000,00	\$ 1.140.000,00
1.1.3	Línea de succión parcialmente bloqueada	Tarea de reacondicionamiento cíclico	Limpieza sistema de piping	4	2	6	\$ 20.000	\$ 50.000,00	\$ 1.010.000,00
1.2.1	Eje de la bomba bloqueado	Tarea de reacondicionamiento cíclico	Limpieza de componentes	2	2	3	\$ 20.000	\$ 200.000,00	\$ 440.000,00
1.2.2	Carcaza de la bomba rota	Tarea de condición	Inspección técnica del equipo	2	3	8	\$ 20.000	\$ 550.000,00	\$ 1.510.000,00
1.2.3	Línea de succión totalmente bloqueada	Tarea de reacondicionamiento cíclico	Limpieza de piping, inspección de válvulas	3	2	6	\$ 20.000	\$ 150.000,00	\$ 870.000,00
2.1.1	Sello mecánico desgastado	Tarea de sustitucion cíclica	Cambio de sello	4	2	2	\$ 20.000	\$ 100.000,00	\$ 420.000,00
2.1.2	kit de O-ring desgastado	Tarea de sustitucion cíclica	Cambio de Kit O-ring	4	1	4	\$ 20.000	\$ 50.000,00	\$ 370.000,00
2.1.3	Impulsor de rueda de paletas con desgaste	Tarea de sustitucion cíclica	Cambio kit de paletas	3	2	4	\$ 20.000	\$ 250.000,00	\$ 730.000,00
2.2.1	Etapa de succión bloqueada	Tarea de reacondicionamiento cíclico	limpieza etapa succión	4	2	6	\$ 20.000	\$ 300.000,00	\$ 1.260.000,00
2.2.2	Rodamiento Fracturado	Tarea de sustitucion cíclica	Cambio de rodamiento	4	2	5	\$ 20.000	\$ 180.000,00	\$ 980.000,00
2.2.3	Impulsor de la bomba roto.	Tarea de sustitucion cíclica	Cambio kit de impulsor	2	2	6	\$ 20.000	\$ 380.000,00	\$ 860.000,00
								Costo total	\$ 10.450.000,00

ANEXO E: CURVA CARACTERISTICA DE LA BOMBA

