

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

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN A PLAN DE MANTENIMIENTO
MEDIANTE TÉCNICAS DE RCM A SISTEMA DE GLP A CAMIONES
GRANELES**

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

Alumno:

José Antonio Vargas Briones

Profesor Guía:

Mg. Ing. Carlos Baldi González

RESUMEN

Este trabajo de título se enfoca en los camiones graneles de la empresa Lipigas, con un énfasis particular en la bomba del sistema de GLP, la cual opera de lunes a sábado y, en ocasiones, los domingos. En promedio, se realiza una descarga diaria de 6.327 litros, aunque algunos días se efectúa una jornada doble. Uno de los principales problemas identificados es la falta de un plan de mantenimiento preventivo estructurado para los equipos de granel, lo que ha generado un alto nivel de mantenimiento correctivo. El trabajo por realizar se organiza en tres capítulos, en los que se aplican herramientas de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para asegurar la operatividad continua de los equipos y extender su vida útil.

Se utiliza la herramienta matriz de criticidad, con esto poder categorizar según el índice de criticidad de los equipos que componen el sistema de GLP de los camiones graneles de la empresa Lipigas. Esta herramienta fue fundamental para saber cuál es el equipo que conlleva una mayor consecuencia al sistema, los resultados de la matriz indicó que el equipo con más alto índice de criticidad era la bomba del sistema.

Mediante un FMECA realizado al equipo más crítico, se logra identificar las funciones primarias y secundarias, fallas funcionales, modos de fallas, entre otros. Luego se realiza mediante las decisiones RCM un diagrama para evaluar cada falla, con esto facilitó seleccionar las actividades de mantenimiento para el equipo.

El análisis técnico – económico realizado muestra la comparación entre el plan de mantenimiento actual sin RCM y el plan propuesto con RCM, esta comparación muestra un costo del plan actual de \$24.358.950 CLP y el plan propuesto de \$16.269.550 CLP, lo que conlleva a un beneficio para la empresa de \$8.089.400 CLP con 10 fallas esperadas en un año. Por último, es importante señalar que al precisar los datos sobre los costos reales de los repuestos y acercarnos más a la información del equipo, el enfoque RCM podrá ofrecer resultados que reflejen de manera más precisa la realidad operativa de la empresa Lipigas.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVO ESPECÍFICO	3
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA Y RECONOCIMIENTO DE EQUIPOS CRÍTICOS.	5
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.	7
1.2. UBICACIÓN	7
1.3. GLP	8
1.4. ANTECEDENTES DE LA PRODUCCIÓN	9
1.5. PROCESO DEL SISTEMA GLP EN GRANELES	10
1.6. TIPO DE MANTENIMIENTO	12
1.7. ANÁLISIS DE CRITICIDAD	13
1.8. CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS SEGÚN ANÁLISIS DE CRITICIDAD	17
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO Y DESARROLLO DE ANÁLISIS FMECA	19
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA	21
2.2. APLICACIONES	22
2.3. DATOS TÉCNICOS	22
2.3.1. COMPONENTES	23
2.4. CONTEXTO OPERACIONAL	25
2.5. DEFINICIÓN DE FUNCIONES	25
2.6. FALLAS FUNCIONALES	25
2.7. MODOS DE FALLA	26
2.8. CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO	27
2.9. ANÁLISIS FMECA DEL EQUIPO	29
2.10. JERARQUIZACIÓN POR MODO DE FALLAS	32
2.11. DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	33
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA	39
3.1. ANÁLISIS DE LAS RECOMENDACIONES RCM	41
3.1.1. PLAN DE MANTENIMIENTO	41
3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS PROPUESTAS	42
3.3. IMPACTO EN LA DISPONIBILIDAD.	43
3.4. FACTIBILIDAD TÉCNICA - ECONÓMICA.	43
3.4.1. COSTOS DEL RCM.	45

3.4.2.	PLAN ACTUAL DE MANTENIMIENTO.	46
3.4.3.	ANÁLISIS ECONÓMICO DE RENTABILIDAD.	46
	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA.	51
	ANEXOS	52
A.	ANEXO A: CHECKLIST DIARIO	52
B.	ANEXO B: CALENDARIO DE CHECKLIST	55
C.	ANEXO C: TABLA ÍNDICE DE CRITICIDAD	55
D.	ANEXO D: TABLA ÓRDENES DE COMPRA	56
E.	ANEXO E: ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Logo actual de Lipigas.	7
Figura 1-2:	Vista satelital, Planta Lipigas.	8
Figura 1-3:	Diagrama de proceso de distribución.	9
Figura 1-4:	Imagen satelital de tanques de almacenamiento.	10
Figura 1-5:	Proceso de sistema de GLP.	10
Figura 1-6:	Partes del proceso de GLP.	11
Figura 1-7:	Matriz de criticidad (frecuencia x consecuencia).....	16
Figura 2-1:	Bomba BLACKMER LGL 2.	23
Figura 2-2:	Bomba BLACKMER LGL 3.	23
Figura 2-3:	Componentes de la bomba.	23
Figura 2-4:	Jerarquización por riesgo.	332
Figura 2-5:	Diagrama de decisiones.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Ponderación de FF.....	14
Tabla 1-2:	Ponderación de IP.....	15
Tabla 1-3:	Ponderación de SS.....	15
Tabla 1-4:	Ponderación de CR.....	15
Tabla 1-5:	Ponderación de TR.....	16

Tabla 1-6: Ponderación de TO 16

Tabla 1-7: Índice de criticidad. 17

Tabla 2-1: Datos técnicos de la bomba 23

Tabla 2-2: Componentes de la bomba..... 24

Tabla 2-3: Análisis FMECA (1/3).....¡Error! Marcador no definido.

Tabla 2-4: Análisis FMECA (2/3)..... 30

Tabla 2-5: Análisis FMECA (3/).....¡Error! Marcador no definido.1

Tabla 2-6: Actividades de mantenimiento. 34

Tabla 2-7: Órdenes de compra. 35

Tabla 2-8: Plan de mantenimiento. 36

Tabla 2-9: Actividad de mantenimiento..... 37

Tabla 3-1: Impacto en la disponibilidad..... 443

Tabla 3-2: Beneficio por modo de falla. 44

Tabla 3-3: Análisis de costos de planes. 47

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1: Análisis por fallas 48

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS

RCM: Mantenimiento centrado en la confiabilidad

GLP: Gas licuado de petróleo

CLP: Peso chileno

B. SIMBOLOGÍA

l/min: Litros en minutos

m³: Metros cúbicos

RPM: Revoluciones por minuto

°F: Grados Fahrenheit

°C: Grados Celsius

PSI: Libra por pulgada cuadrada

Nm: Newton metro

INTRODUCCIÓN

Lipigas es una empresa chilena destacada por su especialización en la comercialización de gas licuado de petróleo (GLP), gas natural y gas natural licuado. Su amplia gama de productos está orientada a satisfacer las necesidades de diversos sectores, como el residencial, comercial e industrial, garantizando soluciones energéticas eficientes y confiables. Gracias a su compromiso con la calidad y excelencia en el suministro y distribución de estos recursos, Lipigas se ha consolidado como un referente en el mercado nacional.

En Lipigas, el mantenimiento de los equipos es un aspecto clave para asegurar el correcto funcionamiento y la continuidad de los procesos productivos. Sin embargo, en ocasiones, la ejecución de estas tareas no se lleva a cabo de manera eficiente, lo que se traduce en altos costos de mantenimiento. Además, una ejecución deficiente de estas actividades puede afectar negativamente la eficiencia operativa y la seguridad de las operaciones.

Uno de los principales problemas radica en la ausencia de un plan estructurado de mantenimiento preventivo para los equipos de granel, lo que ha llevado a un alto nivel de mantenimiento correctivo. Este enfoque resulta en costos elevados debido a las paradas no planificadas, la reparación de equipos fuera de tiempo y otros factores asociados. Como consecuencia, el presupuesto anual destinado al área de granel se ve afectado de manera significativa, con un uso adelantado de los recursos.

Para abordar esta situación, se propone implementar un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM (Reliability Centered Maintenance), lo que permitiría una reducción considerable en los costos de mantenimiento. Una comparación entre el costo del plan actual (\$24.358.950 CLP) y el plan propuesto (\$16.216.550 CLP) revela un ahorro estimado de \$8.089.400 CLP, considerando un total de 10 fallas anuales.

RCM, como metodología de mantenimiento, es una herramienta esencial para optimizar la gestión del mantenimiento. Permite identificar las tareas clave para asegurar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos, y establecer el momento preciso para realizarlas. De este modo, no solo se reducirían los costos operativos, sino que también se minimizarían los tiempos de inactividad, mejorando la eficiencia y prolongando la vida útil de los activos.

OBJETIVO GENERAL

Proponer mejoras al plan de mantenimiento del sistema de GLP en la flota de camiones graneleros de la empresa Lipigas, utilizando técnicas de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), con la finalidad de una mejora en la eficiencia operativa y analizando los costos asociados al mantenimiento.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Determinar el equipo crítico del sistema, mediante la aplicación de metodología de criticidad, identificando la problemática presente en el sistema.
- Desarrollar un análisis FMECA para el equipo con mayor impacto en el sistema, utilizando la metodología RCM, proponiendo un plan de actividades de mantenimiento.
- Evaluar la viabilidad técnica y económica de las actividades propuestas, mediante un análisis costo-beneficio, que permita proporcionar la toma de decisiones.

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

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.

Lipigas, fundada en 1950, es una destacada empresa chilena especializada en la distribución y comercialización de gas licuado de petróleo (GLP). Iniciando su trayectoria en la región de Valparaíso, Lipigas rápidamente se expandió y se consolidó como un líder en el sector al fusionarse con otras empresas regionales dedicadas al rubro. Hoy en día Lipigas se posiciona como la principal compañía de comercialización de GLP en Chile, con una cuota de mercado del 37%. La empresa no solo destaca por su amplia cobertura nacional, sino también por operar las plantas de almacenamiento más grandes del país, asegurando un suministro eficiente y confiable de GLP a nivel nacional.



Fuente: <https://lipigas.cl/>

Figura 1-1: Logo actual de Lipigas.

1.2. UBICACIÓN

Ubicada en la comuna de Concón, Región de Valparaíso, específicamente en la calle Dos Norte N°200, la planta de Lipigas se encuentra estratégicamente posicionada en las cercanías de ENAP y del terminal marítimo de Ventanas. Esta ubicación privilegiada contribuye a su destacada capacidad de almacenamiento, haciendo de esta planta la más grande a nivel nacional en términos de capacidad de almacenaje. Su proximidad a importantes infraestructuras logísticas no solo optimiza la eficiencia operativa, sino que también refuerza su papel clave en el suministro de gas licuado de petróleo (GLP) a nivel regional y nacional.



Fuente: Google Maps, Elaboración propia.

Figura 1-2: Vista satelital, Planta Lipigas.

1.3. GLP

Gas Licuado de Petróleo (GLP) es una mezcla de hidrocarburos que se encuentra en estado líquido a presión o a bajas temperaturas. Se compone principalmente de propano y butano, aunque su composición puede variar según el lugar de producción y las especificaciones del mercado.

Los puntos más relevantes sobre el GLP:

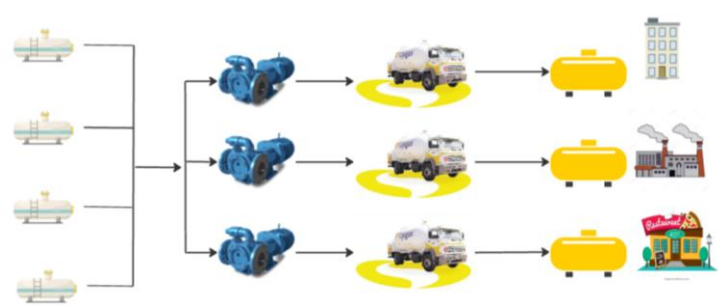
- A. **Estado y Almacenamiento:** A temperatura ambiente, el GLP es un gas, pero se puede licuar a través de la compresión o enfriamiento. En su estado líquido, se almacena en tanques presurizados, lo que facilita su transporte y distribución.
- B. **Usos Comunes:** El GLP se puede utilizar de diversas maneras tales como:
 - **Residencial:** Para calefacción, cocina y agua caliente.
 - **Comercial e Industrial:** En procesos industriales, generación de calor y energía, y en aplicaciones comerciales como restaurantes y oficinas.
 - **Transporte:** Como combustible en vehículos diseñados para funcionar con GLP, conocidos actualmente como autos a gas.
- C. **Ventajas:**
 - **Eficiencia Energética:** El GLP es una fuente de energía eficiente y de alta densidad energética.

- **Menor Emisión de Contaminantes:** Comparado con otros combustibles fósiles (carbón o petróleo), el GLP emite menos dióxido de carbono y otros contaminantes al quemarse.
- **Versatilidad:** Puede ser utilizado en áreas donde el suministro de gas natural no está disponible.
- **Seguridad:** Aunque el GLP es generalmente seguro, su almacenamiento y manejo deben hacerse siguiendo estrictas normas de seguridad debido a su naturaleza inflamable y a la presión bajo la que se encuentra.

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 e industriales.

1.4. ANTECEDENTES DE LA PRODUCCIÓN

Según los datos recolectados a través del sistema “MTsolutions” software utilizado en la empresa, en el cual se muestra que Lipigas registra una venta promedio de 196.137 litros de GLP por día, esta cantidad es transportada por 31 camiones graneles (12 graneles, 7 botellas y 2 bolos) a lo largo de la región, como además fuera de ella. Esta significativa capacidad de distribución está orientada a satisfacer las necesidades de diversos sectores, abarcando el uso comercial, residencial e industrial, lo que posiciona a Lipigas como un actor clave en el mercado de gas licuado.



Fuente: <https://miro.com>, Elaboración propia.

Figura 1-3: Diagrama de proceso de distribución.

La Planta de Concón se destaca por ser la de mayor capacidad de almacenamiento a nivel nacional, compuesta por 31tanques, los cuales se clasifican de la siguiente manera: 15 tanques de 400 m³, 12 tanques de 100 m³ y 4 tanques de 160 m³ especialmente diseñados para gas catalítico.



Fuente: Google Maps, Elaboración propia.

Figura 1-4: Imagen satelital de tanques de almacenamiento.

1.5. PROCESO DEL SISTEMA GLP EN GRANELES

El proceso del sistema de GLP en los camiones graneles se podrá observar en la siguiente figura: este sistema es fundamental para el transporte seguro y eficiente de gas licuado de petróleo.



Fuente: <https://miro.com>, Elaboración propia

Figura 1-5: Proceso de sistema de GLP.

- I. **Almacenamiento del GLP:** El primer paso es tener el GLP almacenado en el tanque del camión cisterna. Este proceso de llenado se realiza a través de bombas, como se observa en la figura 1-3.
- II. **Inicio del proceso de descarga:** Una vez en el destino, comienza el proceso de descarga del producto. Se activa la válvula interna la cual da el paso al gas para que la bomba empiece impulsar el gas a través de tuberías.

- III. **Medición del volumen:** El gas fluye hacia el cuenta litros, donde se mide la cantidad de GLP que se está descargando (l/min). Esta medición es crucial para llevar un registro preciso.
- IV. **Conexión a tanques del cliente:** Finalmente, el GLP se dirige hacia el carrete, donde se encuentra la manguera de descarga, que está conectada a los tanques o bombonas de los clientes, completando así el proceso de entrega.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-6: Partes del proceso de GLP.

- A. **TANQUE DE ALMACENAMIENTO:** Deposito cuyo fin primordial es resguardar el GLP.
 - a) **MANÓMETRO:** Indicador analógico utilizado para medir presión. (existen dos manómetros, uno en el tanque y otro en la línea)
 - b) **TERMOMETRO:** Instrumento utilizado para medir temperatura.
 - c) **ROTOGAGE:** Diseñados para proporcionar una determinación precisa del contenido en tanques.
- B. **VÁLVULA INTERA:** Esta diseñada para permitir que el gas fluya hacia el tanque cuando la presión de la línea de aguas abajo excede la presión del tanque.
- C. **BOMBA:** Equipo que se utiliza para generar un caudal necesario.
- D. **VÁLVULAS BOLA:** Tiene la finalidad de controlar un flujo a través de una apertura, cierre u obstrucción parcial.
- E. **CUENTA LITRO:** Dispositivo de medición, que sirve para la medición, control y gestión del producto que pasa por el equipo.

- F. CARRETE: Acá se encuentra en conjunto el motor eléctrico con la manguera, el motor tiene por finalidad facilitar el enrollar y desenrollar la manguera.

1.6. TIPO DE MANTENIMIENTO

En el contexto actual, el equipo de mantención del área de granel se enfrenta a la importante tarea de garantizar la operatividad y eficiencia de los equipos. Para lograrlo, se implementa una combinación de mantenimiento preventivo y correctivo. Sin embargo, la tendencia es avanzar hacia un enfoque más proactivo, priorizando el mantenimiento preventivo. Este cambio no solo busca optimizar el rendimiento y la vida útil de los equipos, sino también minimizar costos y reducir tiempos de inactividad.

Según López, A. B. (2017). *Mantenimiento industrial: Estrategias y buenas prácticas*. El mantenimiento preventivo es definido como un conjunto de actividades planificadas y programadas para mantener los equipos operativos en condiciones óptimas de trabajo, con el objetivo de minimizar las fallas imprevistas. A través de este tipo de mantenimiento, se busca optimizar la eficiencia de los sistemas y reducir costos a largo plazo. Estas actividades se realizan antes de que el equipo falle, lo que permite identificar problemas potenciales y corregirlos a tiempo.

El proceso de gestión del mantenimiento se regula a través de órdenes de trabajo que siguen un ciclo completo, desde su generación hasta su cierre, todo ello mediante el uso del software SAP implementado en la empresa. Estas órdenes son generadas por el programa de mantenimiento preventivo, que asegura un enfoque proactivo en la gestión de los activos. Una de las principales acciones en este proceso es la realización de checklist diarios con una cantidad máxima de dos graneles, ver ANEXO A: CHECKLIST DIARIO, complementadas con inspecciones a cada equipo con una frecuencia de dos veces al mes, ver ANEXO B: CALENDARIO DE CHECKLIST. Este enfoque sistemático no solo optimiza la operatividad, sino que también contribuye a la prolongación de la vida útil de los equipos.

Desde hace unos años, la empresa comenzó con la certificación de la metodología japonesa KAIZEN, la cual tiene por finalidad implementar un enfoque de mejora continua en todos sus procesos. Este compromiso con la excelencia busca no solo optimizar la eficiencia y la calidad de los productos y servicios, sino también fomentar una cultura organizacional que valore la participación de todos los empleados. A través de la identificación de oportunidades de mejora y la implementación de cambios incrementales, la empresa se propone generar un impacto positivo y sostenible en su desempeño, adaptándose a un entorno en constante evolución y mejorando la satisfacción del cliente.

Según Imai, M. (2012) en su obra *Kaizen: La clave para la mejora continua* (2ª ed.), Kaizen es una filosofía de gestión originaria de Japón que se centra en la mejora continua y gradual de todos los aspectos de una organización. La palabra "Kaizen" proviene de dos términos japoneses: "Kai", que significa "cambio" o "mejorar", y "Zen", que significa "bueno" o "mejor". Así, Kaizen se refiere a cambiar para mejorar.

Imai explica que esta filosofía se aplica tanto en procesos empresariales como en la vida personal, promoviendo la idea de que las pequeñas mejoras constantes pueden tener un impacto significativo a lo largo del tiempo. En lugar de enfocarse solo en grandes cambios o innovaciones, Kaizen se basa en la participación de todos los empleados, desde los niveles más bajos hasta los directivos, para identificar y llevar a cabo mejoras incrementales en los procesos, la calidad, y la eficiencia.

En resumen, Kaizen no es solo una metodología, sino una mentalidad que promueve la cultura de la mejora continua, involucrando a toda la organización en el proceso de cambio y perfeccionamiento constante.

1.7. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Para poder identificar los equipos críticos del sistema, se realiza un análisis de criticidad, con el objetivo de brindar criterios para una futura toma de decisiones en el mantenimiento de los equipos. Este análisis permite evaluar la importancia de cada componente en función de su impacto en la operación general, con esto se jerarquiza los equipos mediante un índice de criticidad (IC). Al establecer un enfoque sistemático para priorizar los equipos, se facilita la asignación eficiente de recursos y se optimizan

las estrategias de mantenimiento, garantizando así la continuidad y la eficacia de las operaciones.

"El análisis de criticidad es una herramienta esencial para identificar qué activos son más importantes para la operación y para priorizar el mantenimiento, asegurando que los recursos sean utilizados de manera eficiente y efectiva en aquellos equipos cuyo fallo tendría las consecuencias más graves para la organización." Moubray, J. (1997). *RCM: Gateway to World-Class Maintenance*. Industrial Press.

Para realizar el análisis de criticidad, se debe calcular el índice de criticidad utilizando la ecuación (1), que consiste en multiplicar la frecuencia de fallas (FF) por la consecuencia de fallas (CF). Esta última se evalúa a partir de la suma de cinco puntos: impacto en la producción (IP), impacto en la seguridad y salud (SS), costos de reparación (CR), tiempo de reparación (TR) y tiempo de inactividad (TO). Una vez cuantificados estos puntos, se procede al cálculo con la ecuación (2) para obtener el índice de criticidad de cada equipo.

$$IC = FF \times CF$$

Ecuación 1

$$IC = FF \times (IP + SS + CR + TR + TO)$$

Ecuación 2

Tabla 1-1: Ponderación de FF.

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: Revista sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial.

El impacto en la producción es un registro porcentual de perdida de producción diaria, el IP defina 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 1-2.

Tabla 1-2: Ponderación de IP.

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: Revista sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial.

El impacto en la seguridad y salud es el registro de la ocurrencia de eventos en los cuales puede haber alguna persona lesionada. La ponderación de SS se muestra en la tabla 1-3.

Tabla 1-3: Ponderación de SS

SEGURIDAD Y SALUD (SS)	VALOR
¿CUÁL ES LA LESIÓN MÁS SIGNIFICATIVA QUE PUEDE PRESENTARSE EN LA OPERACIÓN DEL EQUIPO?	
NO HAY ALGÚN RIESGO DE LESIÓN	1
LESIONES LEVES (SON ASISTIDAS DE LA FÁBRICA, 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: Revista sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial.

El costo de reparación hace referencia al costo promedio por falla que se necesita para restituir el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento, acá se incluye labor, materiales y transporte. La ponderación del CR se muestra en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Ponderación de CR

COSTOS DE REPARACIÓN (CR)	VALOR
¿CUÁL ES EL COSTO ANUAL DEL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO?	
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: Revista sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial.

El tiempo de reparación es el tiempo promedio de reparación de la falla por día, se toma en consideración desde que el equipo pierde la función hasta que vuelva a cumplir su función nuevamente. El TR mide la efectividad para restituir el equipo a condiciones óptimas de operatividad. La ponderación del TR se muestra en la tabla 1-5.

Tabla 1-5: Ponderación de TR

TIEMPO DE REPARACIÓN (TR)		VALOR
¿CUÁL ES EL TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR EL EQUIPO?		
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: Revista sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial.

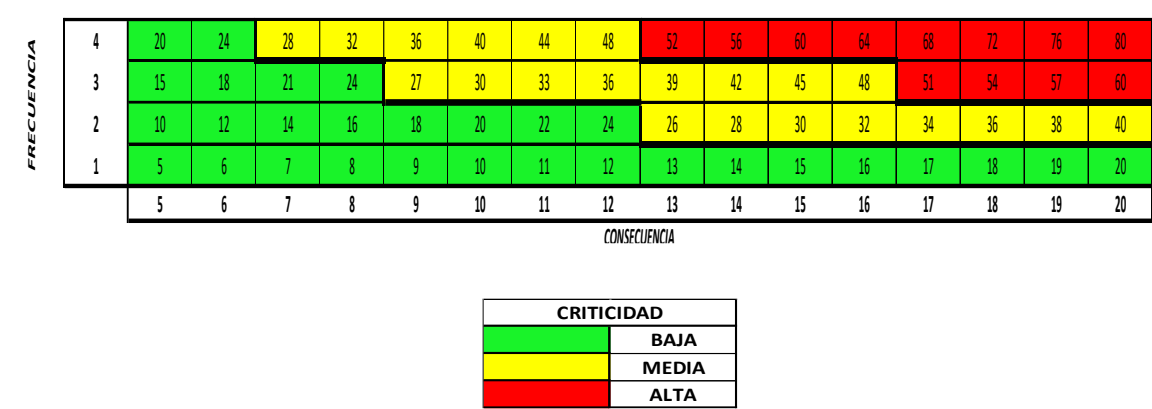
El tiempo de operación es el tiempo que dura el equipo en producción. La ponderación del TO se muestra en la tabla 1-6.

Tabla 1-6: Ponderación de TO

TIEMPO DE OPERACIÓN (TO)		VALOR
¿CUÁL ES EL TIEMPO DE TRABAJO DE ESTA MÁQUINA?		
OPCIONALMENTE		1
UN TURNO DE TRABAJO		2
DOS TURNOS DE TRABAJO		3
TOTALMENTE		4

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

Una vez obtenido el valor del índice de criticidad de cada equipo, se clasificaron en tres categorías: alta criticidad (51-80), media criticidad (26-50) y baja criticidad (5-25). Según lo vemos en la figura 1-7.



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

Figura 1-7: Matriz de criticidad (frecuencia x consecuencia).

1.8. CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS SEGÚN ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Se identificaron los equipos del sistema de GLP en camiones graneles y se calculó el índice de criticidad para cada uno. Posteriormente, se clasificaron según el nivel de criticidad que arrojó la ecuación. Los resultados se pueden consultar en la tabla 1-7, mientras que en VER ANEXO C: TABLA ÍNDICE DE CRITICIDAD se presenta la tabla completa.

Tabla 1-7: Índice de criticidad.

EQUIPOS	IC	CRITICIDAD
Bomba	28	
Cuenta litro	22	
Motor eléctrico	16	
Válvula interna	13	
Válvulas de bola	10	

Fuente: Elaboración propia.

Al evaluar la criticidad de los equipos vinculados al sistema de GLP en camión granel, se observa que la bomba tiene un índice de criticidad media. Sin embargo, al compararla con los demás equipos, es la que presenta el mayor nivel de criticidad. Por esta razón, se priorizará el uso de las herramientas del RCM en este equipo. Es importante señalar que, si aplicamos esta misma parametrización en otros sistemas del camión granel o en la planta de envasado de la empresa, se identificarán equipos con índice de criticidad alta.

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

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA

Principalmente se trabaja con dos tipos de bombas las cuales son; Blackmer LGL2 y Blackmer LGL3 son bombas de desplazamiento positivo de paletas deslizantes, diseñadas y fabricadas para ofrecer un rendimiento excepcional en aplicaciones que requieren un manejo eficiente y seguro de líquidos y gases de alta viscosidad. Ambas bombas están especialmente diseñadas para ser utilizadas en el transporte y manejo de productos como GLP, butano, amoníaco anhidro, entre otros fluidos de características similares. Estas bombas se destacan por su construcción robusta, alta fiabilidad y su capacidad para mantener un flujo constante, incluso en condiciones de trabajo exigentes.

Blackmer LGL2:

La LGL2 es una bomba compacta de doble paleta que se caracteriza por su capacidad de trabajar en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo el servicio de plantas a granel, el transporte de gases y líquidos a presión y su uso en el llenado de cilindros de gas. Su diseño de doble paleta permite un flujo suave y continuo, lo que es ideal para aplicaciones que requieren un bombeo preciso y sin interrupciones.



Fuente: Catalogo bombas blackmer, paletas deslizantes.

Figura 2-1: Bomba blackmer LGL 2.

Blackmer LGL3:

La LGL3 es una versión de mayor capacidad que la LGL2, diseñada para manejar mayores volúmenes de fluidos y para aplicaciones industriales más exigentes. Esta bomba es perfecta para el manejo de líquidos de alta viscosidad y se utiliza comúnmente en plantas de mayor tamaño o en el transporte a granel de productos líquidos y gaseosos.



Fuente: Catalogo bombas blackmer, paletas deslizantes.

Figura 2-2: Bomba blackmer LGL 3.

2.2. APLICACIONES

Con certificación UL (Underwriters Laboratories) para su uso en GLP, butano y amoníaco anhidro, estas robustas bombas de paletas deslizantes de hierro dúctil ofrecen una gran versatilidad, siendo aptas para una amplia variedad de aplicaciones, tales como el servicio en plantas a granel, el llenado de múltiples cilindros, vaporizadores, camiones cisterna y transporte.

2.3. DATOS TÉCNICOS

Se recopilan datos técnicos de las bombas blackmer LGL2 Y LGL3 mediante el manual del fabricante de las bombas.

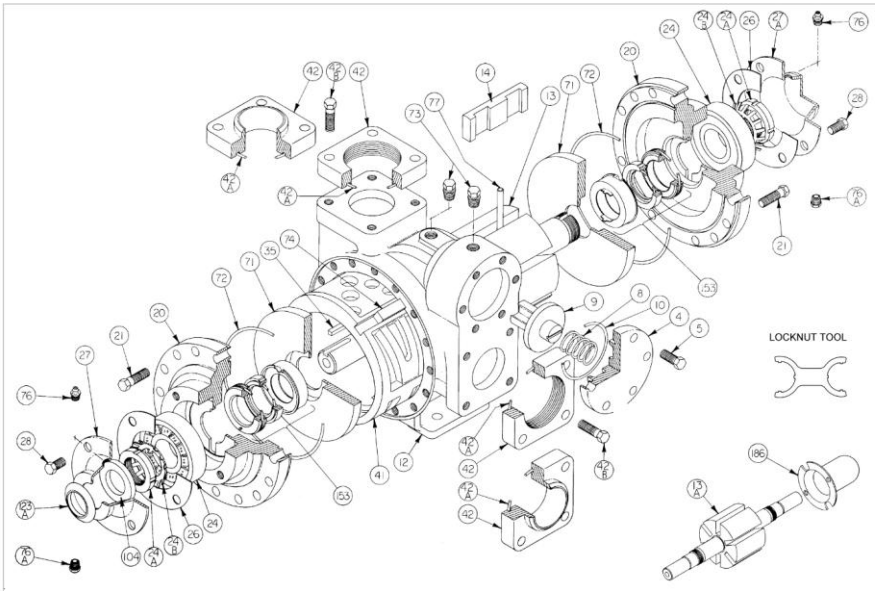
Tabla 2-1: Datos técnicos de la bomba

DATOS TÉCNICOS		
Modelos	LGL 2	LGL 3
Torsión requerida a 100 psi (6.9 bar)	48 lbs ft (65Nm)	89 lbs ft (121Nm)
Max velocidad de la bomba a la max presión diferencial	640 RPM	800 RPM
Máxima presión diferencial	125 PSI (8,62 Bar)	
Máxima temperatura operativa	240°F (115°C)	
Máxima presión de trabajo	350 PSI (24,1 Bar)	

Fuente: Manual bombas Blackmer, elaboración propia.

2.3.1. COMPONENTES

En la siguiente figura 2-1 y tabla 2-2 se ve el desglose de componentes de la bomba y las partes que contiene.



Fuente: Manual Blackmer.

Figura 2-3: Componentes de la bomba.

Tabla 2-2: Componentes de la bomba.

N° Ref	Componente	Partes por bomba
4	Cubierta válvula de alivio (RV)	1
5	Tornillos de tapa - Cubierta de RV	6
8	Resorte	1
9	Válvula RV	1
10	O-Ring - Cubierta RV	1
12	Carcasa	1
13 A	Rotor y eje	1
14	Paletas	6
20	Cabeza	2
21	Tornillos de tapa - Cabeza 2	32
	Tornillos de tapa - Cabeza 3	40
24	Rodamiento de bolas	2
24 A	Contratuerca-cojinete	2
24 B	Cojinete de arandela de seguridad	2
26	Empaquetadura de tapa del cojinete	2
27	Tapa de cojinete (interior)	1
27 A	Tapa de cojinete (exterior)	1
28	Tornillos de tapa - Cubierta de rodamiento	8 a 12

N° Ref	Componente	Partes por bomba
35	Llave - eje, 1/4" cuadrado	1
41	Liner	1
42	Brida - NPT	2
	Brida - Soldada	
42 A	O-Ring - Brida	2
42 B	Tornillos - Brida NPT	8
	Tornillos - Brida soldada	
71	Disco	2
72	O-Ring - cabeza	2
73	Tapón de calibre	2
74	Llave de revestimiento	1
76	Ajuste de grasa	2
76 A	Ajuste de alivio de grasa	2
77	Barra de empuje	3
104	Sello de grasa	1
123 A	Escudo de suciedad	1
186	Protector de eje	1

Fuente: Manual bombas Blackmer, elaboración propia.

2.4. CONTEXTO OPERACIONAL

El equipo opera de lunes a sábado y en ocasiones también los domingos. El funcionamiento es por períodos de descarga, según las necesidades del cliente y la cantidad de litros requeridos. Normalmente se realiza una descarga diaria de 6.327 litros, aunque algunos días se trabaja en doble jornada, lo cual se duplica esa cantidad. La bomba está ubicada en la parte inferior del tanque, lo que la expone constantemente al polvo, impactos de piedras y otros elementos que pueden afectarla.

2.5. DEFINICIÓN DE FUNCIONES

Función primaria: Impulsar GLP desde el tanque de almacenamiento hacia bombonas (tanques) de almacenamiento de los clientes con un caudal de 12 - 13,6 m³/h.

Función secundaria: Mantener una presión de trabajo entre 120 – 150 [PSI].

2.6. FALLAS FUNCIONALES

Una falla funcional es un tipo de defecto o mal funcionamiento en un sistema o equipo que limita el cumplimiento de su función principal. Es decir, cuando un componente o sistema no realiza las tareas o actividades para las que fue diseñado de manera adecuada. Para el equipo se definen dos fallas funciones para cada función primaria y secundaria, las cuales son:

- La bomba impulsa un caudal menor a 12 m³/h.
- Imposibilidad de bombear GLP.
- Trabajo menor de 120[PSI].
- No genera presión.

2.7. MODOS DE FALLA

El modo de falla se refiere a la forma o manera específica en que un sistema, componente o proceso puede fallar, es decir, cómo se manifiesta el mal funcionamiento y qué efectos tiene sobre el rendimiento del sistema. En términos generales, el modo de falla describe la forma en que una falla ocurre dentro de un sistema y el tipo de defecto que lo provoca.

“La manera en que un componente o sistema no cumple con los requisitos funcionales esperados o no realiza sus funciones de acuerdo con las especificaciones, causando una disfunción del sistema.”, **Smith, D. J. (2004).** *Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers*. 7th edition. Butterworth-Heinemann.

Se definen por cada falla funcional tres modos de fallas los cuales son los siguientes:

- Paletas desgastadas.
- Conjunto de rodamiento desgastados.
- Barra de empuje rota.
- Eje de la bomba bloqueado.
- Línea de succión bloqueada.
- Eje de la bomba roto.
- Sello mecánico desgastado.
- kit de O-Ring desgastado.
- Discos desgastados.
- Rodamiento fracturado.
- Etapa de succión bloqueada.
- Paletas rotas.

2.8. CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO

Se evalúa cuantitativamente el riesgo asociado a cada modo de falla. Tomando como referencia "*Reliability-Centered Maintenance*" (John Moubray) El **Reliability-Centered Maintenance (RCM)** es una metodología para gestionar y cuantificar los riesgos asociados al mantenimiento de equipos, basado en el análisis de fiabilidad de los sistemas. RCM ayuda a identificar y clasificar los modos de fallo, analizando la probabilidad de que un sistema o componente falle y el impacto que tendría en las operaciones.

- Frecuencias de fallas: Frecuencia de fallas anuales.
- MTTR: Tiempo medio de reparación (incluye tiempos logísticos, ejecución, puesta en marcha)
- Impacto en la producción: Costo de ineficiencia por hora, perdidas por conceptos de producción.
- Costos directos por falla: Costos asociados a la reparación de la falla (hh, insumos, repuestos, logística, etc.)
- Impacto en la seguridad: Clasificación A, B y C.
- Impacto medio ambiente: Clasificación A, B y C.
- Riesgo cuantitativo: Calculado con la siguiente ecuación:

$$Frec. Falla \times (MTTR \times Imp. Prod + Costo directo por falla)$$

Ecuación 3

- Riesgo cualitativo: Cuantificación del riesgo (impacto medio ambiente e impacto en la seguridad).
- Gráfico: Cuantificación del riesgo cualitativo.

IMPACTO EN MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD

- Clasificación A: Alto impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia del modo de fallo. (valor numérico 3)
- Clasificación B: Mediano impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia del modo de fallo. (valor numérico 2)
- Clasificación C: Bajo impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia del modo de fallo. (valor numérico 1)
- 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 2-3: FMECA (1/3)

Sistema/Subistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional
Sistema de bombeo de GLP.	1	Impulsar GLP desde el tanque de almacenamiento hacia bombonas (tanques) de almacenamiento de los clientes con un caudal de 12 - 13,6 m³/h.	1.1	La bomba impulsa un caudal menor a 12 m³/h.
			1.2	Imposibilidad de bombear GLP.
	2	Mantener una presión de trabajo entre 120 - 150 [PSI].	2.1	Trabajo menor de 120[PSI].
			2.2	No genera presión.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-4: FMECA (2/3)

#	Modo de Falla	Efecto Falla	FREC FALLAS	MTTR (LOG-EJEC-P EN MARCH A)	IMP. PROD. CLP/hr	COSTOS DIRECTOS POR FALLA CLP/falla
1.1.1	Paletas desgastadas.	Evidente/ No Evidente: No Descripción del Evento: El desgaste en las paletas produce una disminución del caudal. Efecto: Ruido, Vibración, Temperatura y baja de caudal. Detección:	1	4	\$ 6.959.700	\$ 245.000
1.1.2	Conjunto de rodamiento dañados.	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: Rodamientos dañados provoca una inficiencia en el equipo produciendo vibraciones, ruidos, entre otros. Efecto: Ruido, Vibración, Temperatura Detección:	0,5	3	\$ 6.959.700	\$ 450.000
1.1.3	Barra de empuje rota.	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: La barra de empuje produce una disminución del caudal, hasta atrancamiento de la bomba. Efecto: Ruido, Vibración, Temperatura y baja de caudal. Detección:	2	5	\$ 6.959.700	\$ 250.000
1.2.1	Eje de la bomba bloqueado.	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: La bomba queda trancada, imposibilitada de bombear GLP. Efecto: Temperatura, bomba trancada Detección:	2	6	\$ 6.959.700	\$ 350.000
1.2.2	Línea de succión bloqueada.	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: Línea bloqueada lo que imposibilita bombear GLP provocando aumento de presión, Efecto: Aumento de presión en la línea. Detección:	0,5	4	\$ 6.959.700	\$ 225.000
1.2.3	Eje de la bomba roto.	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: El eje roto puede provocar varios daños en la bomba, también así la imposibilidad de bombear el producto. Efecto: Ruido, Vibración, Temperatura y baja de caudal. Detección:	0,2	6	\$ 6.959.700	\$ 1.200.000
2.1.1	Sello mecánico desgastado.	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: Un sello mecánico desgastado puede producir fugas de gas al exterior lo cual puede ser riesgoso para todo el entorno de donde este el equipo. Efecto: Fuga de GLP Detección:	1	4	\$ 6.959.700	\$ 250.000
2.1.2	kit de O-Ring desgastado.	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: Un O-ring desgastado produce fugas de producto lo cual provoca perdidas de presión. Efecto: Fuga de GLP Detección:	1	4	\$ 6.959.700	\$ 185.000
2.1.3	Disco dañado.	Evidente/ No Evidente: No Descripción del Evento: Un disco dañado provoca perdidas de presion en la bomba, lo que conlleva a perdida de función del equipo. Efecto: Ruido, Vibraciones Detección:	1	4	\$ 6.959.700	\$ 300.000
2.2.1	Rodamiento fracturado.	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: Rodamientos fracrurado provoca una inficiencia en el equipo produciendo vibraciones, ruido excesivo. Efecto: Ruido excesivo Detección:	0,5	3	\$ 6.959.700	\$ 330.000
2.2.2	Etapas de succión bloqueada	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: Al estar bloqueada la etapa de succión no hay caudal ni presión. Efecto: No hay presión. Detección:	0,5	6	\$ 6.959.700	\$ 300.000
2.2.3	Paletas dañadas.	Evidente/ No Evidente: No Descripción del Evento: Las paletas dañadas producen una disminución del caudal. Efecto: Ruido, Vibración, Temperatura y baja de caudal. Detección:	1	3	\$ 6.959.700	\$ 245.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-5: FMECA (3/3)

#	IMP SEG	IMP AMB	RIESGO CUANTITATIVO CLP/año	RIESGO CUALITATIVO	IMP SEG	IMP AMB	RIESGO ECONOMICO	\$ 84.216.400	SHA	MAX R. CUANTITATIVO x SHA	GRÁFICO
1.1.1	C	C	\$ 28.083.800	CC	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	ZONA VERDE
1.1.2	C	C	\$ 10.664.550	CC	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ZONA VERDE
1.1.3	C	C	\$ 70.097.000	CC	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	3,00	ZONA AMARILLA
1.2.1	C	C	\$ 84.216.400	CC	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	3,00	ZONA AMARILLA
1.2.2	B	C	\$ 14.031.900	BC	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ZONA VERDE
1.2.3	B	C	\$ 8.591.640	BC	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ZONA VERDE
2.1.1	A	A	\$ 35.248.500	AA	3,00	3,00	2,00	2,00	3,00	6,00	ZONA ROJA
2.1.2	A	A	\$ 28.023.800	AA	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00	ZONA AMARILLA
2.1.3	C	C	\$ 28.138.800	CC	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	ZONA VERDE
2.2.1	B	C	\$ 10.604.550	BC	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ZONA VERDE
2.2.2	B	C	\$ 21.029.100	BC	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ZONA VERDE
2.2.3	C	C	\$ 21.124.100	CC	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ZONA VERDE

Fuente: Elaboración propia.

2.10. JERARQUIZACIÓN POR MODO DE FALLAS



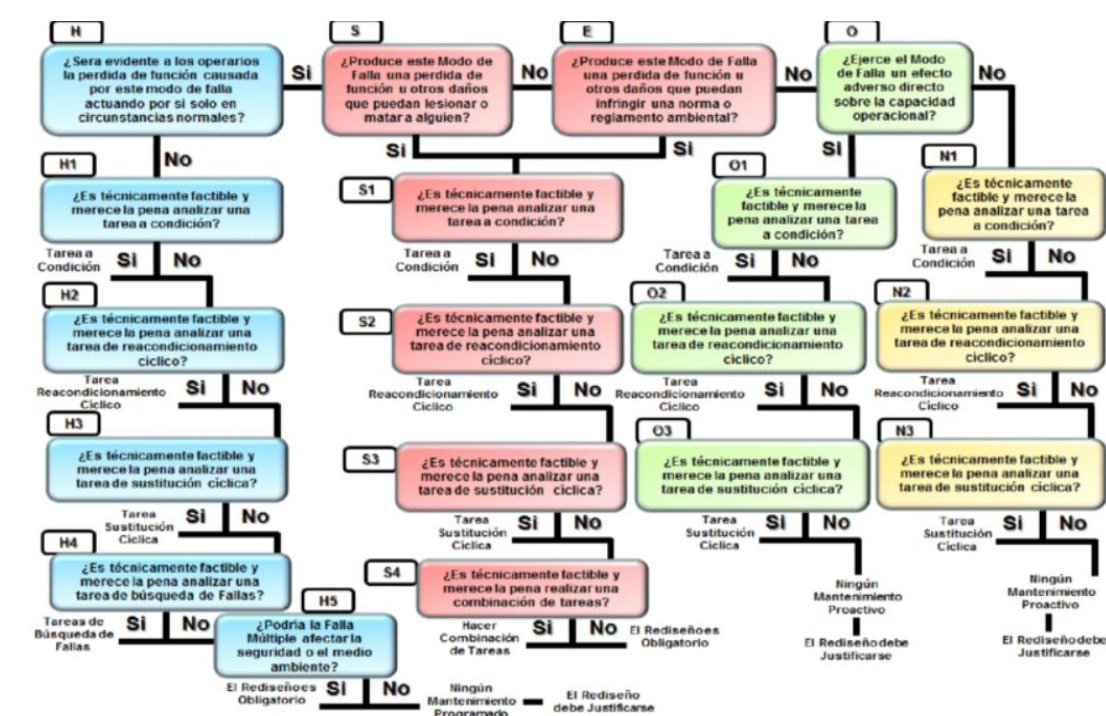
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-4: Jerarquización por riesgo.

A partir de los resultados obtenidos, clasificar los riesgos de acuerdo con su nivel de criticidad facilita la toma de decisiones informadas sobre el mantenimiento. Esto permite organizar los modos de falla según su gravedad, lo que a su vez ayuda a priorizar las acciones correctivas y preventivas. Los modos de falla con los niveles más altos de riesgo son los más críticos y deben recibir atención inmediata. Como se observa en la figura 2-4, en el punto 2.1.1 se aborda el tema de los sellos mecánicos desgastados, el cual representa uno de los aspectos más críticos dentro del sistema. Esto se debe a su impacto directo en la seguridad y el medio ambiente en caso de que se produzca una falla.

2.11. DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Las actividades de mantenimiento en la industria se fundamentan en un proceso estructurado que permite tomar decisiones eficaces para garantizar el buen funcionamiento de los equipos y sistemas. Este proceso está claramente descrito en la norma SAE JA1011, que establece directrices para la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento, asegurando así una mayor eficiencia, confiabilidad y seguridad en las operaciones.



Fuente: RCM II John Moubray

Figura 2-5: Diagrama de decisiones.

Las actividades de mantenimiento propuestas para el equipo se verán reflejadas en la tabla 2-6.

Tabla 2-6: Actividades de mantenimiento.

Falla funcional	#	Modo de falla	Actividad de Mantenimiento	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación (veces por año)	Nº de personas	HH - Ejecución	Tarifa de especialidad	Insumos, materiales, servicios requeridos	Costo anual
La bomba impulsa un caudal menor a 13,6 m³/h.	1.1.1	Paletas desgastadas.	Tarea de sustitución cíclica.	Cambio de paletas	2	2	3	\$ 25.000	\$ 95.000	\$ 395.000
	1.1.2	Conjunto de rodamiento desgastados.	Tarea de sustitución cíclica.	Cambio de conjunto de rodamientos.	2	2	3	\$ 25.000	\$ 300.000	\$ 600.000
	1.1.3	Barra de empuje rota.	Tarea de sustitución cíclica.	Cambio de barra de empuje.	2	2	3	\$ 25.000	\$ 100.000	\$ 400.000
Imposibilidad de bombear GLP.	1.2.1	Eje de la bomba bloqueado.	Tarea de reacondicionamiento cíclico.	Inspección y limpieza de componentes.	2	2	3	\$ 25.000	\$ 200.000	\$ 500.000
	1.2.2	Línea de succión bloqueada.	Tarea de reacondicionamiento cíclico.	Limpieza de piping.	2	2	3	\$ 25.000	\$ 75.000	\$ 375.000
	1.2.3	Eje de la bomba roto.	Tarea de sustitución cíclica.	Cambio de eje.	2	2	4	\$ 25.000	\$ 1.000.000	\$ 1.400.000
Trabajo menor de 120[PSI].	2.1.1	Sello mecánico desgastado.	Tarea de sustitución cíclica.	Cambio de sello mecánico.	2	2	3	\$ 25.000	\$ 250.000	\$ 550.000
	2.1.2	kit de O-Ring desgastado.	Tarea de sustitución cíclica.	Cambio de O-Ring.	2	2	2	\$ 25.000	\$ 85.000	\$ 285.000
	2.1.3	Disco desgastados.	Tarea de sustitución cíclica.	Cambio de discos.	2	2	3	\$ 25.000	\$ 150.000	\$ 450.000
No genera presión.	2.2.1	Rodamiento fracturado.	Tarea de sustitución cíclica.	Cambio de rodamiento.	2	2	3	\$ 25.000	\$ 180.000	\$ 480.000
	2.2.2	Etapas de succión bloqueada	Tarea de reacondicionamiento cíclico.	Limpieza de etapas de succión.	2	2	3	\$ 25.000	\$ 150.000	\$ 450.000
	2.2.3	Paletas rotas.	Tarea de sustitución cíclica.	Cambio de paletas.	2	2	3	\$ 25.000	\$ 95.000	\$ 395.000
Costo Total									\$	6.280.000

Fuente: Elaboración propia.

Los datos reflejados en la tabla anterior fueron obtenidos mediante encuestas informales al personal técnico encargado del área de mantenimiento granel, a través de estas encuestas se obtuvieron: HH – ejecución, tarifa de especialidad, Nº de personas. Por otra parte, los insumos, materiales, servicios requeridos se obtuvieron gracias a información recopilada de órdenes de compra VER ANEXO D: ÓRDENES DE COMPRA. Finalmente, la frecuencia de aplicación se obtuvo mediante entrevistas informales con el equipo de mantenimiento de Lipigas desde el encargado y los técnicos que constituyen el equipo, todo esto en relación con las horas de trabajo de los equipos.

Tabla 2-7: Órdenes de compra.

		
Items	Cantidad	Precio
Rodamientos	2	\$ 300.000
Paletas	1 (Caja)	\$ 95.000
Barra de empuje	1 (Caja)	\$ 100.000
Eje - Rotor	1	\$ 1.000.000
Sello mecánico	1 (Par)	\$ 250.000
Kit O-Ring	1	\$ 85.000
Disco	1 (Par)	\$ 150.000
Paños	1 (Caja)	\$ 50.000
Limpiador industrial	10 litros	\$ 150.000
Grasa	Tarro (16 Kg)	\$ 95.000

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la tabla 2-8 se presenta la planilla detallada del plan de mantenimiento, diseñada para optimizar la gestión de recursos y garantizar la continuidad operativa de los equipos. En ella se detallan las actividades programadas, los tiempos de ejecución, así como las frecuencias y los responsables de cada tarea. Esta herramienta facilita el seguimiento tanto de las acciones preventivas como correctivas, permitiendo un control más ágil y eficiente, y contribuyendo a la mejora continua del rendimiento de los activos de la empresa.

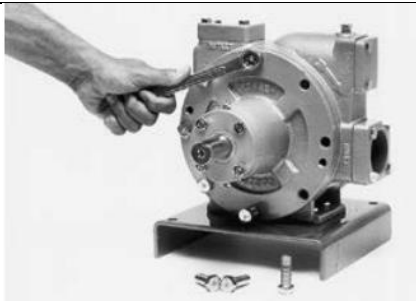
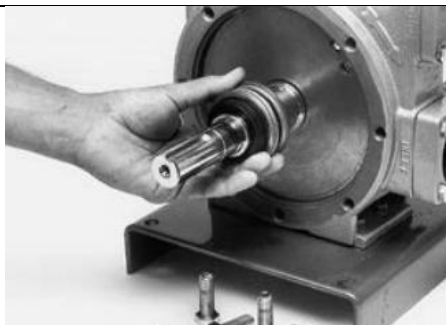
Tabla 2-8: Plan de mantenimiento.

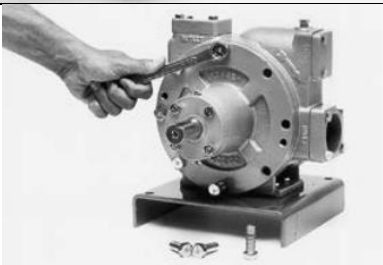
ÁREA DE MANTENCIÓN								
N° GRANEL:								
Fecha	Próxima fecha de actividad	Nombre de ejecutantes	Modo de falla	Tipo de tarea	Frecuencia	Tarea a ejecutar	HH - Ejecución	Insumos, materiales, servicio requerido
			Paletas desgastadas	Tarea de sustitución cíclica	6 meses	Cambio de paletas		
			Conjunto de rodamiento desgastados	Tarea de sustitución cíclica	6 meses	Cambio de conjunto de rodamientos		
			Barra de empuje rota	Tarea de sustitución cíclica	6 meses	Cambio de barra de empuje		
			Eje de la bomba bloqueado	Tarea de reacondicionamiento cíclico	6 meses	Inspección y limpieza de componentes		
			Línea de succión bloqueada	Tarea de reacondicionamiento cíclico	6 meses	Limpieza de pipping		
			Eje de la bomba roto	Tarea de sustitución cíclica	6 meses	Cambio de eje		
			Sello mecánico desgastado	Tarea de sustitución cíclica	6 meses	Cambio de sello mecánico		
			kit de O-Ring desgastado	Tarea de sustitución cíclica	6 meses	Cambio de O-Ring		
			Discos desgastados	Tarea de sustitución cíclica	6 meses	Cambio de discos		
			Rodamientos fracturados	Tarea de sustitución cíclica	6 meses	Cambio de rodamientos		
			Etapas de succión bloqueada	Tarea de reacondicionamiento cíclico	6 meses	Limpieza de etapas de succión		
			Paletas rotas	Tarea de sustitución cíclica	6 meses	Cambio de paletas		

Fuente: Elaboración propia.

Además, se detalla el paso a paso de las actividades de mantenimiento. A continuación, se presenta un ejemplo de una de las actividades en la Tabla 2-9, mientras que el resto de las actividades se pueden consultar en VER ANEXO E: ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO.

Tabla 2-9: Actividad de mantenimiento.

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO: CAMBIO DE SELLO MECÁNICO		 Lipigas.
Importante: Antes de comenzar a realizar el trabajo en la bomba, es necesario vaciar el tanque para asegurarse de que no quede gas en su interior. Esto garantiza realizar el desmontaje de la bomba de forma segura. Mantener un ambiente limpio, aún la cantidad más pequeña de suciedad en su nuevo sello puede causar fallas tempranas. Mantenga todas las partes, herramientas y sus manos limpias mientras instala el sello.		
Paso 1: Afloje los pernos de la tapa (usar llave 19 mm) y retire la tapa junto con el rodamiento adjunto, asegurándose de sostenerla firmemente en el eje mientras lo hace.		
PASO 2: Retire el O-Ring de la tapa y coloque el cabezal en el banco de trabajo. Con cuidado, saque el sello de la tapa usando un destornillador largo, alcanzando a través de la abertura de la tapa del rodamiento. Inspeccione el labio interior del sello y, si es necesario, retírelo utilizando el mismo procedimiento.		
PASO 3: Gire la tapa e instale el nuevo sello de engrase con la cara hacia abajo, presionándolo dentro de la cavidad detrás del rodamiento principal. Esto se puede hacer de manera más sencilla utilizando el asiento viejo del sello, al que se le ha removido el O-Ring. Aplique una cantidad generosa de aceite ligero en el nuevo asiento del sello. Luego, utilizando un disco protector, presione suavemente el sello en su lugar.		
PASO 4: Retire el montaje viejo del sello del eje de la bomba mientras presiona la cartela. Esto le permitirá quitar el retenedor del sello sin necesidad de extraer el eje o el rotor de la bomba.		

PASO 5: Limpie bien la bomba y aplique una cantidad generosa de aceite ligero. Luego, instale el nuevo conjunto del sello, alineando la ranura del retenedor con el pasador conductor del sello en el eje.	
PASO 6: Instale la nuevo O-ring en el cabezal. Aplique una cantidad generosa de aceite ligero en ambas caras del sello y con cuidado coloque el cabezal en el eje de la bomba.	
PASO 7: Colocar los pernos de la tapa (usar llave 19 mm) y realizar apriete siguiendo un patrón cruzado. No es necesario desmontar ni recalibrar la tapa de los rodamientos. Para reemplazar el sello del lado opuesto repetir todos los pasos anteriores.	
Lubricación Vuelva a engrasar el rodamiento después de limpiar a fondo los accesorios y las aberturas de engrase. La suciedad en los rodamientos puede causar fallas prematuras. Utilice únicamente la grasa recomendada para cojinetes de bola. Si está usando una pistola de grasa, aplique la grasa de manera gradual y deténgase tan pronto como el accesorio de alivio se abra.	

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

3.1. ANÁLISIS DE LAS RECOMENDACIONES RCM

Se realiza la comparación las dos formas que se plantea el mantenimiento: la cual ya se encuentra presente en la empresa y una nueva propuesta que se enfoca en la confiabilidad. También discutiremos los beneficios de esta nueva estrategia y qué resultados podemos esperar al implementar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

El RCM ofrece varios beneficios en la mantenibilidad de activos, los primordiales son la mejora en la confiabilidad, reducción de costos, mayor disponibilidad, entre otros. Esto conlleva a aumentar el rendimiento y la vida útil de un equipo 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.

3.1.1. PLAN DE MANTENIMIENTO

Para implementar este plan de mantenimiento preventivo, es necesario adaptar los procesos actuales de la empresa, los cuales están orientados principalmente al mantenimiento correctivo. Se recomienda continuar con los checklist quincenales para cada equipo e incorporar inspecciones rutinarias de los equipos, con el fin de evaluar el estado de sus componentes y detectar posibles fallas antes de que ocurran. Además, es fundamental mantener una comunicación constante con los operadores para recibir retroalimentación inmediata sobre cualquier anomalía que pueda presentarse en el sistema.

Es imprescindible desarrollar procedimientos de trabajo claros, que definan el paso a paso a seguir, las herramientas a utilizar y, lo más importante, garantizar que todas las actividades se realicen bajo estrictos estándares de seguridad. Se debe incluir un sistema de seguimiento y registro detallado de todas las actividades realizadas, lo que facilitará la trazabilidad de las tareas de mantenimiento.

Las competencias técnicas necesarias para llevar a cabo estas actividades incluyen mantenimiento mecánico, manejo de rodamientos y conocimiento en GLP

3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS PROPUESTAS

Las actividades de mantenimiento propuestas se basan de acuerdo en tres tipos de tareas proactivas del mantenimiento:

- A. 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.
- B. 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.
- C. 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.

3.3. IMPACTO EN LA DISPONIBILIDAD.

Es primordial asegurar que el área de granel esté siempre lo más cercano al 100% de disponibilidad para que el proceso productivo de la empresa funcione sin contratiempos. Sin embargo, en ocasiones no se logra cumplir con este objetivo, y esto puede impactar directamente en nuestra productividad. Como se puede ver en la tabla 3-1, si un equipo no está disponible, incluso por un solo día, se puede enfrentar una disminución del 3% en la capacidad de producción, cabe mencionar que nunca se encuentran los 31 graneles a disposición.

Tabla 3-1: Impacto en la disponibilidad.

Impacto en la disponibilidad		
N° granel	Producción diaria	% Disponibilidad
31	\$ 215.750.700	100%
30	\$ 208.791.000	97%
28	\$ 194.871.600	90%
25	\$ 173.992.500	81%
22	\$ 153.113.400	71%

Fuente: Elaboración propia.

Es esencial mantener 30 graneles para asegurar la operatividad que la empresa espera. Aunque siempre hay margen para mejorar la disponibilidad, la propuesta de optimización que se considera puede ayudar a alcanzar niveles altos de disponibilidad. Lo cual facilitará las operaciones, sino que también traerá consigo múltiples beneficios para el equipo de mantenimiento y a la empresa en general.

3.4. FACTIBILIDAD TÉCNICA - ECONÓMICA.

La evaluación técnica y económica implica comparar los costos del mantenimiento actual con los gastos asociados a un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Implementar mejoras siempre conlleva cambios que deben tener en cuenta la infraestructura existente, los equipos disponibles, los recursos necesarios y cualquier limitación técnica que podamos enfrentar. Este enfoque nos ayudará a tomar decisiones más informadas y efectivas para el futuro.

A través de la Tabla 3-2, se realiza una comparación entre el riesgo económico por fallas (expresado en CLP/año) y el costo del plan de mantenimiento propuesto basado en RCM, mencionando el número de fallas que hay en la actualidad y las que se esperan con la implementación de la metodología. En esta comparación, se observan beneficios en los 12 modos de falla analizados, con utilidades que varían desde los \$2.895.820 hasta los \$41.608.200. Al sumar todos los beneficios generados por los diferentes modos de falla, el total alcanza los \$185.892.070.

Tabla 3-2: Beneficio por modo de falla.

Modo de falla	Riesgo económico actual anual	N° de fallas	N° de fallas esperadas	Riesgo Futuro anual	Costo por modo de falla	Beneficio
Paletas desgastadas.	\$ 28.083.800	1	0,5	\$ 14.041.900	\$ 395.000	\$ 13.646.900
Conjunto de rodamiento dañados.	\$ 10.664.550	0,5	0,25	\$ 5.332.275	\$ 600.000	\$ 4.732.275
Barra de empuje rota.	\$ 70.097.000	2	1	\$ 35.048.500	\$ 400.000	\$ 34.648.500
Eje de la bomba bloqueado.	\$ 84.216.400	2	1	\$ 42.108.200	\$ 500.000	\$ 41.608.200
Línea de succión bloqueada.	\$ 14.031.900	0,5	0,25	\$ 7.015.950	\$ 375.000	\$ 6.640.950
Eje de la bomba roto.	\$ 8.591.640	0,2	0,1	\$ 4.295.820	\$1.400.000	\$ 2.895.820
Sello mecánico desgastado.	\$ 35.248.500	1	0,5	\$ 17.624.250	\$ 550.000	\$ 17.074.250
kit de O-Ring desgastado.	\$ 28.023.800	1	0,5	\$ 14.011.900	\$ 285.000	\$ 13.726.900
Disco dañado.	\$ 28.138.800	1	0,5	\$ 14.069.400	\$ 450.000	\$ 13.619.400
Rodamiento fracturado.	\$ 10.604.550	0,5	0,25	\$ 5.302.275	\$ 480.000	\$ 4.822.275
Etapa de succión bloqueada	\$ 21.029.100	0,5	0,25	\$ 10.514.550	\$ 450.000	\$ 10.064.550
Paletas dañadas.	\$ 21.124.100	1	0,5	\$ 10.562.050	\$ 395.000	\$ 10.167.050
Total	\$ 359.854.140	Total		\$179.927.070	\$6.280.000	\$173.647.070

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos demuestran de manera clara los beneficios de implementar las técnicas RCM propuestas. Esto se debe a que, en el mantenimiento actual de la empresa, los modos de falla generan costos elevados. En cambio, el nuevo plan de mantenimiento no solo implica una inversión menor, sino que también reduce significativamente las fallas esperadas, lo que lo convierte en una opción altamente rentable.

3.4.1. COSTOS DEL RCM.

La implementación del enfoque de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en el sistema de bombeo de gas licuado de petróleo (GLP) implica una serie de costos que necesitamos evaluar con detenimiento. Estos costos incluyen tanto aspectos directos como indirectos.

En cuanto a los costos directos, consideramos los gastos relacionados con la adquisición de nueva tecnología, como herramientas de monitoreo, así como la necesidad de repuestos específicos identificados durante el análisis RCM. También es importante tener en cuenta la capacitación del personal, ya que para que las nuevas prácticas de mantenimiento sean efectivas, el equipo técnico deberá pasar por un período de aprendizaje y entrenamiento adicional.

Por otro lado, los costos indirectos pueden incluir tiempos de inactividad durante la transición al nuevo enfoque, así como la posible reorganización de las rutinas de mantenimiento, lo que podría afectar temporalmente la productividad. Abordar estos aspectos con cuidado facilitara asegurar una implementación exitosa y sostenible.

Adicionalmente a los costos que se verán en la siguiente tabla se debe incluir la inversión de dos nuevas herramientas más tecnológicas a las cuales se encuentran en la empresa, las cuales serían un pirómetro y un tacómetro, los cuales tendrían un valor de \$250.000 CLP entre los dos productos.

3.4.2. PLAN ACTUAL DE MANTENIMIENTO.

En la empresa Lipigas, el plan de mantenimiento actual combina enfoques reactivos y proactivos. Sin embargo, está en proceso de adoptar un enfoque más proactivo, poniendo 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. Al priorizar el mantenimiento preventivo, se garantiza un entorno de trabajo más eficiente y sostenible.

El proceso de gestión del mantenimiento se regula a través de órdenes de trabajo que siguen un ciclo completo, desde su generación hasta su cierre, todo ello mediante el uso del software SAP implementado en la empresa. Estas órdenes son generadas por el programa de mantenimiento preventivo, que asegura un enfoque proactivo en la gestión de los activos.

3.4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO DE RENTABILIDAD.

Al analizar la prefactibilidad técnica, hemos identificado indicadores positivos que respaldan nuestra propuesta de optimizar el plan de mantenimiento del sistema de GLP en camiones de granel. Esto, especialmente en el componente seleccionado, sugiere que no solo es viable llevar a cabo esta iniciativa, sino que también podemos implementar el enfoque RCM con total confianza. Como se muestra en la Tabla 2-5, los costos asociados al riesgo cuantitativo CLP/año por modo de falla en la bomba, con un rango entre \$84.216.400 y \$8.591.640, respectivamente, son considerablemente más altos en comparación con el costo del plan de mantenimiento con RCM propuesto, que es de \$6.280.000. Esto revela un beneficio claro en ambos casos, ya sea considerando el modo de falla con el costo más bajo o el más alto.

En la evaluación de prefactibilidad, hay varios aspectos clave que debemos tener en cuenta. En primer lugar, se busca reducir el tiempo de inactividad cuando ocurren fallos en los equipos, además de minimizar la probabilidad de que surjan fallas en el futuro. Estos indicadores nos permitirán medir la efectividad de implementar el RCM. Esto queda

reflejado en la Tabla 2-6, donde se detallan las actividades de mantenimiento, las horas de ejecución y los costos asociados. Comparado con la forma en que se trabaja actualmente en la empresa, esta propuesta representaría una mejora significativa.

En la tabla 3-2, se comparan los costos actuales de mantenimiento con los que se podrían lograr mediante el enfoque RCM. Es importante destacar que estos resultados son estimaciones para cada escenario, tanto en el actual como en los propuestos. Si analizamos detenidamente los valores monetarios de ciertos componentes, se ve factible para la empresa de implementar las técnicas de un mantenimiento basado en confiabilidad.

Tabla 3-3: Análisis de costos de planes.

	Plan actual sin RCM	Plan propuesto con RCM	Plan propuesto con RCM	Plan propuesto con RCM
N° de fallas esperadas	11,2	10	8	6
Tiempo fuera de servicio por fallas (hrs)	52	44	35	26
Horas en ejecución de plan de mantenimiento	0	36	29	22
Tiempo fuera de servicio por mantención (hrs)	0	0	0	0
% de planificación de actividades	0%	100%	100%	100%
Costo de ineficiencia Clp/año	\$ 24.358.950	\$ 10.439.550	\$ 8.351.640	\$ 5.567.760
Costo plan de mantenimiento Clp/año	-	\$ 6.280.000	\$ 6.280.000	\$ 6.280.000
Costo total	-	\$ 16.719.550	\$ 14.631.640	\$ 11.847.760
Beneficio	-	\$ 7.639.400	\$ 9.727.310	\$ 12.511.190

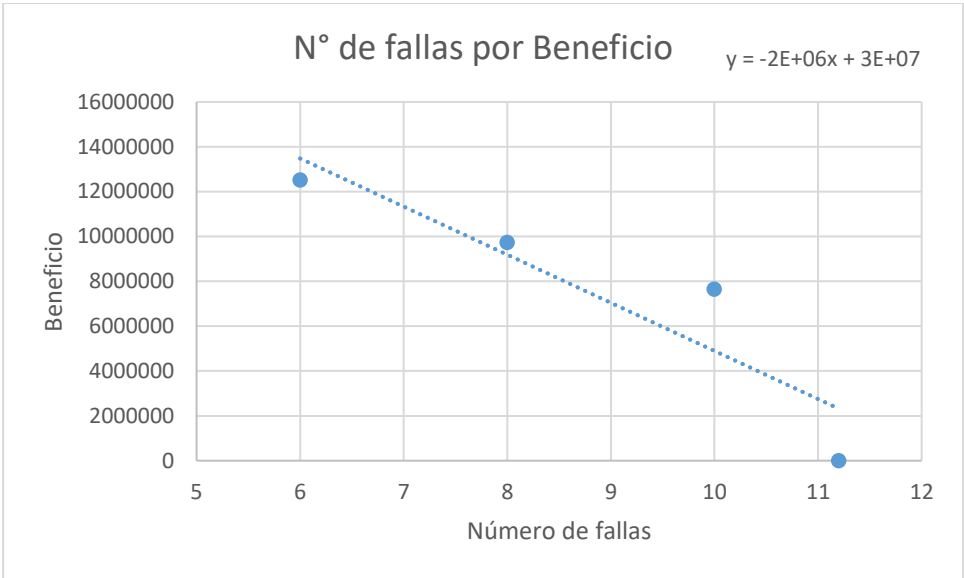
Fuente: Elaboración propia.

Los datos presentados en la Tabla 3-2 muestran una proyección de los costos totales asociados a la reducción de fallas esperadas en un futuro, comparando el escenario actual con las propuestas alternativas. Es importante señalar que se ha considerado el plan de mantenimiento previamente propuesto en la Tabla 2-6, cuyo costo asciende a \$6.280.000. Actualmente, el costo anual debido a las fallas en la empresa alcanza los \$24.358.950 CLP. Sin embargo, las propuestas planteadas sugieren costos de \$16.719.550 CLP, \$14.631.640 CLP y \$11.847.760 CLP, lo que correspondería a una reducción de fallas anuales a 10, 8 y 6, respectivamente.

Lo que resulta particularmente relevante es que las diferencias entre los costos proyectados y el costo actual son sustanciales. Si se implementan esta estrategia, la empresa podría experimentar una disminución significativa en los costos. En otras palabras, la propuesta no solo representa una mejora en la eficiencia, sino también una optimización considerable del presupuesto destinado a resolver fallas.

Es por esta razón que se considera altamente favorable la implementación de esta metodología, ya que no solo tiene el potencial de reducir el número de fallas, sino también de generar un ahorro sustancial en los costos operativos, lo que se traduce en una mayor rentabilidad.

Gráfico 3-1: Análisis por fallas



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 3-1 se puede observar la línea de tendencia, que refleja las proyecciones realizadas mediante la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Estas proyecciones estiman los resultados futuros en términos de reducción de fallas y el tiempo de inactividad que éstas provocan.

El propósito principal de este análisis es destacar los beneficios económicos que la empresa podría obtener al reducir el número de fallas a lo largo del año. Según las estimaciones, los ahorros potenciales serían de \$7.639.400, \$9.727.310 y \$12.511.190 CLP, dependiendo de si se reduce el número de fallas anuales a 10, 8 o 6, respectivamente. Esto se puede evidenciar en la ecuación de la recta $y = -2E+06x + 3E+07$, donde nos describe una relación inversa entre x e y, con una pendiente negativa de $-2.000.000$ millones, lo que significa que, por cada incremento en x, el valor de y disminuirá en 2 millones. El valor inicial de y cuando $x = 0$ es de \$24.358.950 CLP. Esta relación es importante ya que nos facilita hacer predicciones y entender las variaciones entre x e y.

Este análisis demuestra que, al implementar una estrategia de mantenimiento más eficiente, no solo 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 Y RECOMENDACIONES

La metodología RCM se centra en asegurar que los activos de una organización funcionen de manera confiable y estén siempre disponibles cuando se necesitan, el RCM implica un análisis más profundo: se estudia cómo cada equipo desempeña su función y se identifican posibles problemas que podrían surgir, así la empresa puede anticiparse a las fallas y adoptar medidas preventivas, lo que conlleva ahorrar costos y mejora la eficiencia. Para poder desarrollar esta propuesta fue primordial la colaboración del equipo de mantenimiento de la empresa Lipigas, tanto del jefe de mantenimiento como de los técnicos en mantención, mediante consultas, entrevistas informales, órdenes de compra, entre otros, se pudo recopilar información para conocer el proceso, sus fallas, herramientas utilizadas y el capital anual asignado para el área.

Esta información fue fundamental para establecer cómo evaluar los diferentes activos y así realizar el análisis de criticidad, destacando que la bomba que tienen los camiones graneles es la más crítica dentro del sistema. Utilizar. Además, el FMECA fue clave para identificar las funciones de cada equipo, los posibles fallos y sus consecuencias. Con esta información, pudimos mejorar el plan de mantenimiento, lo que nos permite prevenir o mitigar problemas que podrían interrumpir la producción.

El análisis técnico – económico que lleva a la comparación del plan de mantenimiento actual con la propuesta de plan de mantenimiento con RCM mostro un beneficio económico de \$7.639.400 CLP con 10 fallas esperadas en un año. Los costos relacionados con la implementación de RCM incluyen inversiones en herramientas y capacitación del personal. A pesar de estos gastos iniciales, la implementación de técnicas RCM en un plan de mantenimiento resulta muy viable. Esta estrategia optimiza los procesos de mantenimiento, además aporta beneficios económicos significativos para la producción.

En la tabla 3-2 se presenta una comparativa clave que destaca el riesgo económico actual, estimado en \$359.854.140, frente al riesgo futuro de \$179.927.070. Además, se detallan las fallas y sus costos asociados, que suman un total de \$6.280.000. A partir de estos datos, se obtiene un beneficio de \$173.647.070. La reducción significativa entre el riesgo económico actual y el beneficio potencial evidencia el alto nivel de rentabilidad que se puede alcanzar al aplicar esta metodología. Estos resultados no solo justifican su implementación, sino que también resaltan su impacto positivo en la optimización de costos y la reducción de riesgos.

Se recomienda motivar al equipo de mantención para el comienzo de la implementación de la propuesta de plan de mantenimiento, además de conocer las técnicas RCM mediante la lectura de la SAE JA 1011 y de libros de John Moubray (RCM y RCM II), se pueden ver favorecidos debido a que pueden implementar esta técnica en otras áreas de mantención de la empresa, así mismo realizar capacitaciones sobre las nuevas estrategias que se están implementando en el área. Por otro lado, se recomienda el capacitar a los operadores de los graneles sobre el rango de RPM en las cuales se deben trabajar las bombas y mantener un feedback sobre el trabajo del sistema de GLP (presión de línea y descarga lt/min) de ellos hacia los técnicos, debido a que si se ve una anomalía en el sistema se puede programar una intervención en el equipo antes de que este falle. Finalmente crear una planilla relacionada a las actividades realizadas a los equipos con esto llevar un registro de fallas y así también poder realizar un stock de inventario.

BIBLIOGRAFÍA.

- Imai, M. (2012). *Kaizen: La clave para la mejora continua* (2ª ed.). McGraw-Hill.
- Moubray, J. M. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad II*. North Carolina, USA: Florida.
- SAE. (1999). *JA1011. Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad* (12 p.). París, Francia.
- Duque R., Pablo. (2022). *Ingeniería del mantenimiento RCM* [Diapositiva]. Departamento de Mecánica, Curso Ingeniería de Mantenimiento, Viña del Mar, Chile
- Gasca, M. C., Camargo, L. L., & Medina, B. (2017). Sistema para evaluar la confiabilidad de equipos críticos en el sector industrial. *Research in Energy and Materials, REM*. Recibido el 29 de noviembre de 2016; aceptado el 27 de enero de 2017; versión final publicada el 16 de marzo de 2017, en agosto de 2017.
- BLACKMER. (1809). *Bombas de desplazamiento positivo y compresores libres de aceite para aplicaciones de gas licuado*. BLACKMER.
- BLACKMER. (2011). *BLACKMER parts list models: LGLD2E, LGL2E, LGLD3F, LGL3F section 501 and discontinued LGLD3E, LGL3E effective Jun 2011 keep with 501-C00 installation, operation and maintenance instructions*. BLACKMER.
- BLACKMER. (1809). *Bombas Blackmer para gas licuado para camiones con servicio de gas LP y NH3 y con montaje en base: Instrucciones para instalación, operación y mantenimiento modelos: LGLD2E, LGL2E, LGLD3F, LGL3F y modelos discontinuados LGLD3E, LGL3E*. BLACKMER.

ANEXOS

A. ANEXO A: CHECKLIST DIARIO

CHECK LIST CAMIONES GRANEL							
EQUIPO GLP							
GRANEL:			FECHA I		FECHA II		Mes:
Actividad	Acción	Método	Buen estado	Mal estado	Buen estado	Mal estado	Indique la observación en caso de estar en mal estado
CUENTALITROS							
Detección de Fugas	Recircular GLP a presión de trabajo y verificar fugas en todo el equipo GLP, mediante solución jabonosa.	Solución Jabonosa					
Recircular	Velocidad de descarga mínima del 150 litros/min a 650 RPM en el eje de la bomba.	Tacografo					
Verificar	Visualización de LED (display) del cuentalitros.	Visual					
Verificar	Sellos de seguridad.	Visual					
Verificar	Existencia de pernos.	Visual					
Verificar	Existencia de certificado de Calibración de Cuentalitros vigente.	Visual					
Verificar	Impresión correcta de tiket de inyector.	Impresión					
Verificar	Aprete de Pernos de flanges y caja de tarjeta madre del cuentalitros.	Herramienta					
BOMBA							
Detección de Fugas	Recircular GLP a presión de trabajo y verificar fugas en todo el equipo GLP, mediante solución jabonosa.	Solución Jabonosa					
Recircular	Velocidad de descarga mínima del 150 litros/min a 650 y 750 RPM en el eje de la bomba.	Tacografo					
Verificar	Aprete de pernos exteriores de bomba.	Herramienta					
Verificar	Existencia de pernos.	Herramienta					
Verificar	Montaje de pernos de sujeción de bomba, que pase la tuerca mínimo 4 hilos.	Visual					
Verificar	Estado general de Tomafuerza hidráulico en especial: fuga de aceite, aprete de conectores, nivel de aceite, tº trabajo no superior a 65°C, partida en paralelo de tomafuerza y enfriador de aceite (radiador), estado de mangueras hidráulicas, estado machon entre bomba glp y motor hidráulico.	Visual y Termómetro láser					
Verificar	Estado general de Tomafuerza mecánico: engrase de crucetas, sujeción de machones en eje, existencia de machon largo con eje deslizante	Visual					
Verificar	Ruido en el enganche del toma fuerza	Acústico					
Verificar	Ruido y vibración excesiva en la bomba	Acústico y tacto					
Verificar	Presión manométrica de la línea. Presión mínima con la bomba activada 120 psi	Visual					
CARRETE							
Detección de Fugas	Recircular GLP a presión de trabajo y verificar fugas en todo el equipo GLP, mediante solución jabonosa	Solución Jabonosa					
Verificar	Estado de manguera descarga GLP de acuerdo a procedimiento	Visual					
Verificar	Estado de codo giratorio	Visual					
Verificar	Enrollado y desenrollado completo de manguera GLP	Visual					
Verificar	Cabezal de llenado en buenas condiciones	Visual					
Verificar	Sistema eléctrico (botonera y motor) del carrete en buen estado	Visual					
Verificar	Estado de cadena 3/8" simple AS del carrete	Visual					
Verificar	Rosca y accionamiento de la válvula acción rápida rego (pistola llenado)	Visual					

VARIOS						
Detección de Fugas	Recircular GLP a presión de trabajo y verificar fugas en todo el equipo GLP, mediante solución jabonosa	Solución Jabonosa				
Verificar	Accionamiento correcto de parada de emergencia o comando a distancia	Accionar parada				
Aprete	Aprete de flexibles tipo abrazadera partida	Herramienta				
Aprete	Aprete de pernos de sujeción de estanque de GLP a chasis camión. Verifique estado sujeción	Herramienta				
Verificar	Estado de disco rotogage y spich	Girar rotogage				
Verificar	Estado de termómetro y manómetro, verificar lectura	Visual				
Verificar	Existencia y operabilidad de corta corriente	Accionar corte corriente				
Verificar	Placa reinspección en estanque	Visual				
VÁLVULAS						
Detección de Fugas	Recircular GLP a presión de trabajo y verificar fugas en todo el equipo GLP, mediante solución jabonosa	Solución Jabonosa				
Recircular	Velocidad de descarga mínima del 150 litros/min a 650 y 750 RPM en el eje de la bomba	Tacografo				
Aprete	Aprete de pernos y tornillos de toda válvula de GLP	Herramienta				
Verificar	Apertura y cierre correcto de válvula interna. Verificar accionamiento (comandos a distancia)	Accionar				
Verificar	Funcionamiento correcto de válvula de exceso de flujo de línea de llevado y línea de vapor	Accionar				

MECÁNICO							
REVISIÓN							
Actividad	Acción	Método	Buen estado			Mal estado	Indique la observación en caso de estar en mal estado
NEUMÁTICOS							
Verificar	Estado de dibujo de los neumáticos. 2mm profundidad mínima(según instructivo de seguridad OPR-INS-006)	Profundimetro					
Verificar	Estado y presión del neumático de repuesto (según instructivo de seguridad OPR-INS-006)	Medidor de presión					
Verificar	No uso de neumáticos recauchados en el eje delantero (según instructivo de seguridad OPR-INS-006)	Visual					
Verificar	Estado de pernos de sujeción en ruedas (certificado de mantencion de transportista)	Visual					
FRENO							
Verificar	Funcionamiento de freno (certificado de mantencion de transportista)	Pisar el pedal					
Verificar	Funcionamiento de freno de estacionamiento de aire o manual (certificado de mantencion de transportista)	Accionándolo					
MECÁNICO							
Visual	Fugas de aceite,combustible, y agua	Visual					
Visual	Sistema de suspensión (certificado de mantencion de transportista)	Visual					
Visual	Tubo de escape en buen estado	Visual					

SEGURIDAD							
Actividad	Acción	Método	REVISIÓN				Indique la observación en caso de estar en mal estado
			Buen estado			Mal estado	
Visual	Cuenta con solución jabonosa	Visual					
Visual	Posee 2 extintores de P.Q.S., de 6 kilos mínimo al día	Visual					
Visual	Posee 1 extintor en la cabina, al día	Visual					
Visual	2 Cuñas	Visual					
Visual	Botiquín	Visual					
Visual	2 Conos	Visual					
Visual	Señalética por los cuatro costados	Visual					
Visual	Funcionamiento corta corriente	Visual					
Visual	Huíncha reflectante en el TK.	Visual					
Visual	Sellos de seguridad GPS	Visual					
Visual	Tacómetro o tacolín operativo	Visual					
Visual	Letrero para descarga	Visual					
Visual	Posee linterna	Visual					
Visual	Acople con spicher	Visual					
Visual	Gata y herramientas básicas	Visual					
Visual	Triángulo	Visual					
Tripulación							
Visual	Cuenta con uniforme Empresa	Visual					
Visual	Cuenta con EPP (zapatos, guantes, casco, lentes)	Visual					
Visual	Cuenta con chaleco reflectante	Visual					
Camión							
Visual	Sist. Escape de gas (separado alimentación combustible)	Visual					
Auditiva	Alarma de retroceso operativa	Auditiva					
Visual	Baliza funcionando	Visual					
Visual	Carrocería en buen estado	Visual					
Visual	Luces de iluminación (altas y bajas)	Visual					
Visual	Luces de posición	Visual					
Visual	Luces de freno y estacionamiento	Visual					
Visual	Micas instaladas y/o en buen estado	Visual					
Visual	Neumáticos en buen estado (incluye el de repuesto)	Visual					
Visual	Sistema de freno incluye el de estacionamiento (certificado de mantencion de transportista)	Visual					
Documentación							
Visual	Permiso de circulación	Visual					
Visual	Revisión técnica	Visual					
Visual	Seguro obligatorio	Visual					
Visual	Inscripción SEC	Visual					
Visual	Acreditación del conductor para conducir vehículos de carga peligrosa (inibit o similar))	Visual					
Visual	Certificado de TK transporte GLP	Visual					
Visual	Permiso de la tripulación otorgado por Lipigas	Visual					
Visual	Plan de Emergencia	Visual					
Visual	Procedimiento de carga y descarga de GLP	Visual					
Visual	Hoja Datos de Seguridad, para el transporte (1 sola hoja)	Visual					
Visual	Hoja Datos de Seguridad del GLP	Visual					
Camión: Realizador: Fecha I : Conductor OBS: APROBADO: RECHAZADO: VIGENCIA: FIRMA							
 CERTIFICADO DE REVISIÓN DE CHECK LIST CAMIONES GRANEL  Camión: Realizador: Fecha II : Conductor Aprobado: Rechazado: Vigencia: Firma							
Nota: Este documento debe ser conservado por el Camion, hasta su proxima inspección. Presente este documento, cada vez que cargue GLP en la isla de carga. Este documento podra ser solicitado en cualquier momento como control. Será responsabilidad de la empresa de transporte guardar y mantener este documento en el camión, por la vigencia indicada. Luego de esa fecha podra ser eliminado. Obs:							

B. ANEXO B: CALENDARIO DE CHECKLIST

CHECKLIST Septiembre 2024.									
Almacen	Sistema	Patente	Revisiones Técnicas	Transportista	Fecha I	Horario	Fecha II	Horario	1er Fecha octubre. 24..
GR 37	LCR	HTPH-24		Transviña	02/09/2024.	8:00 hrs	16/09/2024.	8:00 hrs	01/10/2024.
BOT 70		JE4714		Transviña.	02/09/2024.	8:00 hrs	16/09/2024.	8:00 hrs	01/10/2024.
GR 142	LCR	HWVY-57		Unifletero	03/09/2024.	8:00 hrs	17/09/2024.	8:00 hrs	02/10/2024.
BOT 009	LCR	FRHJ-88		Transviña	03/09/2024.	8:00 hrs	17/09/2024.	8:00 hrs	02/10/2024.
GR 84	LCR	HWVY-57.		Transviña	04/09/2024.	8:00 hrs	19/09/2024.	8:00 hrs	03/10/2024.
BOT 271	LCR	GRH652		Transviña	04/09/2024.	8:00 hrs	19/09/2024.	8:00 hrs	03/10/2024.
GR 77	LCR	HYGB-71		Transviña	05/09/2024.	8:00 hrs	20/09/2024.	8:00 hrs	04/10/2024.
GR 15	LCR	HTPH-23		Transviña	05/09/2024.	8:00 hrs	20/09/2024.	8:00 hrs	04/10/2024.
BOT 270	LCR	Pendiente.		Transviña	06/09/2024.	8:00 hrs	21/09/2024.	8:00 hrs	05/10/2024.
BOT 121	LCR	HTPH-27		Transviña	06/09/2024.	8:00 hrs	21/09/2024.	8:00 hrs	05/10/2024.
BOT 008	LCR	FFVW-64		Transviña	07/09/2024.	8:00 hrs	23/09/2024.	8:00 hrs	07/10/2024.
GR 633	LCR	HWVK48		Transviña	07/09/2024.	8:00 hrs	23/09/2024.	8:00 hrs	07/10/2024.
BOT 014	LCR	GCFX-35		Transviña	09/09/2024.	8:00 hrs	24/09/2024.	8:00 hrs	08/10/2024.
GR 06	LCR	JTFS-98		Transviña	09/09/2024.	8:00 hrs	24/09/2024.	8:00 hrs	08/10/2024.
GR 100	LCR	LPHD-14		Unifletero	10/09/2024.	8:00 hrs	25/09/2024.	8:00 hrs	09/10/2024.
GR 74	LCR	JTFT-24		Transviña	10/09/2024.	8:00 hrs	25/09/2024.	8:00 hrs	09/10/2024.
GR 09	LCR	DPJJ-78		Transviña	11/09/2024.	8:00 hrs	26/09/2024.	8:00 hrs	10/10/2024.
GR 61	LCR	DPJJ78		Transviña	11/09/2024.	8:00 hrs	26/09/2024.	8:00 hrs	10/10/2024.
BOT 10	LCR			Transviña.	12/09/2024.	8:00 hrs	27/09/2024.	8:00 hrs	11/10/2024.
GR613	LCR			Transviña.	12/09/2024.	8:00 hrs.	27/09/2024.	8:00 hrs	11/10/2024.
Almacen	Sistema	Patente	Revisiones Técnicas	Transportista		Horario	Fecha II	Horario	
BOLO 44	Mec LC	JE-53-54		Transviña	06-09-2024	8:00 hrs	21/09/2024.	8:00 hrs	05-10-2024
BOLO 40	LCR	JE-53-49		Transviña	07-09-2024	8:00 hrs	23/09/2024.	8:00 hrs	07-10-2024
BOLO 46	Mec Nep	JF-49-88		Transviña	08-09-2024	8:00 hrs	23/09/2024.	8:00 hrs	08-10-2024

C. ANEXO C: TABLA ÍNDICE DE CRITICIDAD

EQUIPOS	FF	IP	SS	CR	TR	TO	IC	CRITICIDAD
Bomba	2	2	4	1	4	3	28	
Cuenta litro	2	1	4	1	2	3	22	
Motor eléctrico	2	1	2	1	1	3	16	
Válvula interna	1	1	4	1	4	3	13	
Válvulas de bola	1	1	4	1	1	3	10	

D. ANEXO D: TABLA ÓRDENES DE COMPRA

		
Items	Cantidad	Precio
Rodamientos	2	\$ 300.000
Paletas	1 (Caja)	\$ 95.000
Barra de empuje	1 (Caja)	\$ 100.000
Eje - Rotor	1	\$ 1.000.000
Sello mecánico	1 (Par)	\$ 250.000
Kit O-Ring	1	\$ 85.000
Disco	1 (Par)	\$ 150.000
Paños	1 (Caja)	\$ 50.000
Limpiador industrial	10 litros	\$ 150.000
Grasa	Tarro (16 Kg)	\$ 95.000

E. ANEXO E: ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

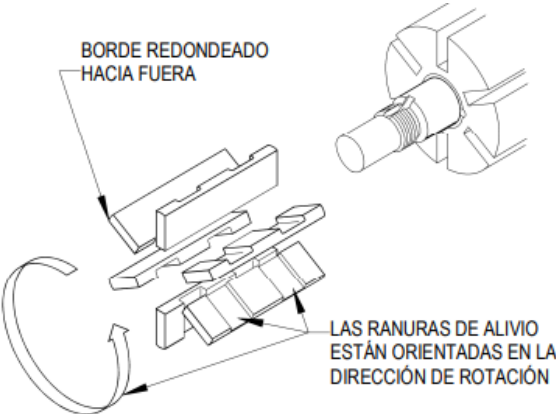
ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO: DESMONTAJE DE BOMBA	
Importante: Antes de comenzar a realizar el trabajo en la bomba, es necesario vaciar el tanque para asegurarse de que no quede gas en su interior. Esto garantiza realizar el desmontaje de la bomba de forma segura.	
PASO 1: Comience por uno de los extremos de la bomba y limpie cuidadosamente el eje, asegurándose de que esté libre de rebabas. Esto es importante para evitar daños al sello mecánico al desmontar el conjunto del cabezal interno.	
PASO 2: Retire los pernos de la cubierta del cojinete interno y deslice con cuidado la cubierta del cojinete interno junto con la junta para retirarlas del eje.	
PASO 3: Retire los pernos de la cubierta del cojinete externo y deslice con cuidado la cubierta del cojinete externo y la junta para retirarlas del eje.	
PASO 4: Para quitar las contratuercas y las arandelas de seguridad: a. Levante la lengüeta de la arandela de seguridad y gire la contratuerca hacia la izquierda para retirarla del eje. b. Deslice la arandela de seguridad para sacarla del eje. Inspeccione la arandela de seguridad en busca de daños y reemplácela si es necesario. c. Repita los pasos a y b en el extremo opuesto del eje.	
PASO 5: Retire los pernos del cabezal y, con cuidado utilice una palanca para separar el cabezal de la carcasa.	

PASO 6: Deslice el cabezal para retirarlo del eje. La junta tórica del cabezal, el cojinete, el asiento estacionario del sello mecánico y las juntas tóricas estacionarias saldrán junto con el conjunto del cabezal. Retire y deseche la junta tórica del cabezal. a. Extraiga el cojinete de su alojamiento en el cabezal. b. Para retirar el asiento estacionario del sello mecánico, use el extremo de un destornillador para empujar suavemente la cara posterior del asiento desde el cabezal. Coloque una tela debajo del sello para evitar daños. Tenga cuidado de no tocar la cara pulida del sello al desmontarlo. Retire y deseche la junta tórica estacionaria del sello mecánico.
PASO 7: Retire con cuidado del eje el conjunto del sello rotatorio, que incluye la camisa de sello, la cara del sello rotatorio y las juntas tóricas rotatorias. Deseche la junta tórica rotatoria.
PASO 8: Retire el disco cuidadosamente.
PASO 9: Retire con mucho cuidado el rotor y el eje de la carcasa. Mientras una mano tira del eje, use la otra para sostener el rotor y evitar que caigan las paletas y las varillas de empuje. Coloque el rotor y el eje a un lado con cuidado, para su posterior reemplazo y remontaje de las paletas.

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO: MONTAJE DE BOMBA	
Importante: Antes de comenzar a realizar el trabajo en la bomba, es necesario vaciar el tanque para asegurarse de que no quede gas en su interior. Esto garantiza realizar el desmontaje de la bomba de forma segura.	
PASO 1: Coloque la tapa de la bomba en una superficie de trabajo limpia, asegurándose de que la brida esté hacia abajo.	
PASO 2: Inserte el sello interior de engrase a través de la cavidad del rodamiento principal hasta que asome por el fondo del agujero. Asegúrese de que las aletas del sello estén orientadas hacia abajo.	
PASO 3: Presione el rodamiento principal en su lugar dentro de la tapa e instale el anillo retenedor para asegurar el rodamiento.	
PASO 4: Coloque el accesorio de alivio en el agujero roscado de 1/8” NPT y ajuste el cabezal según sea necesario.	
PASO 5: Lubrique el asiento del sello mecánico con aceite ligero. Luego, presione el asiento con los dedos hasta que quede completamente asentado en la tapa. Asegúrese de que la cara brillante del asiento quede hacia arriba. Aplique una cantidad generosa de aceite para limpiar cualquier impureza y huella remanente. Instale el O-ring en la guía de la caja del lado de entrada de la tapa.	
PASO 6: Presione los sellos de engrase exterior en cada tapa del rodamiento.	
PASO 7: Inserte los pasadores del resorte en los agujeros correspondientes de la cuña de la leva.	

PASO 8: Instale la cuña de la leva en la caja de la bomba. Deslice la leva dentro de la caja, asegurándose de que las ranuras de entrada estén alineadas con la porción de entrada de la caja.
PASO 9: Coloque un disco lateral y ajuste el cabezal en su lugar, fijándolo con dos pernos.
PASO 10: Gire la bomba sobre la tapa montada. Asegúrese de que haya suficiente espacio para que el eje se extienda a través de la tapa al menos 6 pulgadas.
PASO 11: Mientras sostiene el eje-rotor en posición vertical, instale los accionadores de las paletas. Coloque el rotor-eje verticalmente en la unidad y deslice las paletas en las ranuras del rotor. Asegúrese de que la punta redonda de las paletas haga contacto con la leva y que las ranuras de las paletas estén orientadas correctamente según la dirección de rotación.
PASO 12: Instale la segunda tapa.
PASO 13: Lubrique el eje de la bomba y el sello de carbón con aceite ligero. Instale el conjunto del retenedor del sello alineando la ranura del retenedor con el pasador de alineación del sello. Presione cuidadosamente el carbón del sello en el conjunto del retenedor, asegurándose de que la cara pulida quede hacia afuera. Alinee los cortes del carbón con los pasadores del retenedor. Aplique más aceite para eliminar cualquier impureza y huella remanente. PASO 14: Instale cuidadosamente la tapa sobre el eje de la bomba y el montaje del sello. Luego, apriete los pernos siguiendo el patrón de torque recomendado en los diagramas. Esto asegura que el cabezal quede correctamente fijado sin deformar el puerto de entrada de la leva.
PASO 15: Gire la bomba y retire la primera tapa.
PASO 16: Repita el paso 13 para instalar el conjunto del retenedor del sello y el carbón en el lado opuesto.
PASO 17: Atornille la tapa al cuerpo de la bomba según lo descrito en el paso 14. Asegúrese de que el eje del rotor gire libremente en cualquier dirección.
PASO 18: Deslice el anillo guía del rodamiento en el extremo del eje hasta que haga contacto con el anillo interior del rodamiento principal. Monte el conjunto del rodamiento de empuje sobre el anillo guía y luego instale la tapa del rodamiento.
PASO 19: Apriete suavemente la tapa del rodamiento usando dos pernos opuestos, asegurándose de que el eje del rotor ya no pueda girar libremente. Luego, mida el espacio entre el cabezal y la tapa del cojinete en los cuatro puntos alrededor de la tapa. Si es necesario, realice ajustes para que el espacio se mantenga en 0.001". Redondee la medida promedio al número par más cercano. Esta será la cantidad de suplemento necesario para la tapa de los rodamientos.
PASO 20: Retire los dos pernos de la tapa del cojinete e instale la cantidad medida de suplemento, sumando 0.006". Luego, reinstale los cuatro pernos de la tapa del cojinete y apriételos en un patrón cruzado.
PASO 21: Instale el anillo guía del cojinete y el montaje del rodamiento de empuje en el lado opuesto de la bomba.

PASO 22: Repita el paso 19 en el lado opuesto, esta vez instalando un suplemento adicional de 0.002". Luego, instale los cuatro pernos de la tapa del cojinete y apriételos en un patrón cruzado.
PASO 23: Finalmente, instale la cuña del eje y verifique que el eje rote suavemente.

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO: CAMBIO DE SELLO MECÁNICO		 Lipigas.
Importante: Antes de comenzar a realizar el trabajo en la bomba, es necesario vaciar el tanque para asegurarse de que no quede gas en su interior. Esto garantiza realizar el desmontaje de la bomba de forma segura.		
PASO 1: Retire el conjunto del cabezal desde el lado no accionado de la bomba siguiendo los pasos 4 a 9 de la sección "Desmontaje de la bomba" de las actividades de mantenimiento.		
PASO 2: Gire el eje manualmente hasta que una de las paletas llegue a la posición superior, como si fuera la hora "12" en un reloj. En este punto, desmonte la paleta cuidadosamente.		
PASO 3: Instale una nueva paleta, asegurándose de que el borde redondeado quede hacia arriba y que las ranuras de alivio estén alineadas con la dirección de rotación del rotor.		
PASO 4: Repita los pasos 2 y 3 hasta haber reemplazado todas las paletas del rotor.		
PASO 5: Vuelva a montar la bomba siguiendo las instrucciones de la sección "Montaje de la bomba" de este manual.		