

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

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO A EQUIPO CRÍTICO EN LÍNEA DE
MEZCLADO EN PLANTA LUBRICANTES COPEC.**

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

Alumno: Italo Herrera Basáez

Profesor Guía: Mg. Ing. Andrés Aránguiz Garrido

2023

DEDICATORIA

Quiero darle las gracias a mi familia por apoyarme y darme ánimos en todo momento.

Darle las gracias a Constanza por creer en mí y apoyarme desde el inicio.

Se lo dedico a mi hija ya que fue el motor en este proceso que me ayudo a continuar.

Se lo dedico a mis abuelos siempre me apoyaron con sus palabras de ánimo.

RESUMEN

KEYWORDS: JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS, FMECA, JERARQUIZACIÓN DE FALLAS, SIPOC, PLAN DE MANTENIMIENTO, COSTOS DE PLAN DE MANTENIMIENTO.

Una de las razones que motivó la realización de esta memoria de título, es que la Planta de Lubricantes Copec tiene activos con más de 20 años de antigüedad y no todos tienen un plan de mantenimiento, por lo que se busca contribuir con ideas al desarrollo del departamento de mantenimiento y que permita aumentar la vida útil de los equipos.

Se visualizó una oportunidad de mejora dentro de la cantidad de fallas que se obtuvo en Planta de Lubricantes Copec, para generar una propuesta de plan de mantenimiento, la que busca, con metodologías del mantenimiento centrado en la confiabilidad, dar ideas de solución para una futura implementación. Se espera que la propuesta pueda servir como guía para el desarrollo de futuros planes de mantenimiento en diferentes activos.

Con respecto a las metodologías utilizadas, se comenzó con el modelo de Criticidad Total por Riesgos (CTR), para la jerarquización de equipos, luego se aplica el análisis SIPOC para conocer sus funciones y de esta manera continuar con la aplicación de la metodología FMECA. Finalmente se realiza un análisis económico sobre el plan de mantenimiento propuesto para el equipo crítico seleccionado.

Se jerarquizó a través del modelo de Criticidad Total por Riesgos (CTR) 9 subsistemas de los cuales se seleccionó como subsistema crítico la Motobomba ILB, luego se realizó un análisis funcional con análisis SIPOC obteniéndose las funciones en las cuales fueron analizadas con el análisis de modo, efecto y criticidad de falla, jerarquizándose así un total de 15 modos de fallas, de los cuales 04 son Críticos, 06 Semicríticos y 05 No Críticos. A los críticos se les generó un plan de mantenimiento planificando, programando sus actividades. Luego de cuantificar el plan, se aprecia la diferencia entre los costos totales sin un plan de mejora contra los costos totales con una propuesta de mejora, y se prevé que tenga impacto en la reducción de costos de fallas.

Se concluye que se logra el objetivo general de proponer un plan de mantenimiento para una disminución de los costos totales de las fallas a través de metodologías centradas en la confiabilidad. Se consideraron intervenir 04 modos de falla que tenían un costo total de USD 498.766, estos modos de falla se seleccionaron de acuerdo a una jerarquización económica logrando determinar que representaban el 40% del costo total de las fallas. Para lograr una disminución en los costos totales se propuso un plan de mantenimiento cuyo costo total de aplicación es de USD 249.992, esta acción nos permite disminuir el costo total de los modos de falla en un 20,6%, es decir, logramos bajar el costo total sin plan de mejora de USD 1.213.615 a USD 963.623

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

OBJETIVOS 2

 OBJETIVO GENERAL..... 2

 OBJETIVOS ESPECIFICOS 2

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA, PROCESO PRODUCTIVO, JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS Y SELECCIÓN DE EQUIPO CRÍTICO.....3

 1.1 EMPRESA 4

 1.2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA 4

 1.3 CONTEXTO OPERACIONAL..... 5

 1.4 PROCESO PRODUCTIVO 6

 1.4.1 Recepción y almacenamiento de materias primas 6

 1.4.2 Mezclado 6

 1.4.3 Envasado..... 6

 1.4.4 Almacenamiento y distribución 7

 1.5 PROBLEMÁTICA 8

 1.6 PROCESO DE MEZCLADO..... 8

 1.7 ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN EQUIPOS 11

 1.7.1 MODELO DE CRITICIDAD TOTAL POR RIESGO (CTR) 12

 1.7.2 JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS..... 15

2. CAPÍTULO 2: ANÁLISIS SIPOC, DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO, FMECA: MODOS DE FALLA, EFECTOS DE FALLA Y CONSECUENCIAS DE FALLA, JERARQUIZACIÓN DE MODOS DE FALLA. 20

 2.1 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES EN MOTOBOMBA ILB: ANÁLISIS SIPOC..... 21

 2.2 DESCRIPCIÓN DE EQUIPO CRÍTICO: MOTOBOMBA ILB..... 22

 2.3 FMECA DE MOTOBOMBA ILB 26

 2.3.1 FALLA FUNCIONAL MOTOBOMBA ILB 26

 2.3.2 MODOS DE LA FALLA MOTOBOMBA ILB 27

 2.3.3 EFECTOS DE LA FALLA EN MOTOBOMBA ILB..... 27

 2.4 JERARQUIZACIÓN DE MODOS DE FALLA A TRAVÉS DE COSTOS POR FALLA. 30

 2.4.1 FRECUENCIA DE FALLA 30

 2.4.2 TIEMPO PROMEDIO DE REPARACIÓN 31

 2.4.3 COSTOS DE NO PRODUCCIÓN..... 31

 2.4.4 COSTOS DIRECTOS POR FALLA..... 32

 2.4.5 RIESGO CUANTITATIVO POR FALLA..... 32

3. CAPITULO 3: PLANIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO, COSTO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO, EVALUACIÓN ECONÓMICA. 35

 3.1 PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL 36

 3.2 PLAN DE MANTENIMIENTO COMPLETO 36

3.2.1	COSTOS DE EJECUCIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO COMPLETO	36
3.3	PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	39
3.3.1	ACTIVIDADES DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.	39
3.3.2	COSTOS DE EJECUCIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	47
3.3.3	ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	49
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5.	BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN	54
6.	ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Datos de fallas y tiempos de reparación en Procesos de Planta de Lubricantes....	8
Tabla 1-2.	Factor de frecuencia.....	13
Tabla 1-3.	Factor de impacto operacional	13
Tabla 1-4.	Impacto por flexibilidad operacional.	13
Tabla 1-5.	Impacto en costos de mantenimiento.	14
Tabla 1-6.	Impacto en seguridad, higiene y ambiente.	14
Tabla 1-7.	Matiz de criticidad.....	15
Tabla 1-8.	Jerarquización de equipos de proceso de mezclado.....	15
Tabla 1-9.	Matriz de criticidad de proceso de mezclado	16
Tabla 1-10.	Jerarquización de equipos de conjunto ILB.	17
Tabla 1-11.	Matriz de criticidad de equipo ILB.	18
Tabla 2-1.	Análisis SIPOC de motobomba ILB en proceso de mezclado.....	22
Tabla 2-2.	Características de bomba Plenty.....	23
Tabla 2-3.	Características reductor SEW.	24
Tabla 2-4.	Características de motor ABB.	25
Tabla 2-5.	Descripción de función principal.....	26
Tabla 2-6.	FMECA de Motobomba ILB.....	28
Tabla 2-7.	Frecuencia de fallas de los modos de falla del equipo Motobomba ILB	30
Tabla 2-8.	Tiempos de logística, ejecución y puesta en marcha de modos de falla.	31
Tabla 2-9.	Costos directos por fallas.	32
Tabla 2-10.	Riesgo cuantitativo de los modos de falla de Motobomba ILB	33

Tabla 2-11.	Jerarquización económica de modos de falla.....	34
Tabla 3-1.	Costos de plan de mantenimiento completo	37
Tabla 3-2.	Procedimiento para cambio de acoplamiento	40
Tabla 3-3.	Procedimiento para cambio de álabes de bomba.	42
Tabla 3-4.	Procedimiento de reemplazo de piñón de reductor.	44
Tabla 3-5.	Procedimiento de alineamiento.	46
Tabla 3-6.	Costos de plan de mantenimiento propuesto	48
Tabla 3-7.	Costos totales de los planes de mantenimientos propuestos en USD.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Diagrama de Proceso Productivo de la Planta de Lubricantes Copec.....	7
Figura 1-2.	Diagrama de flujo de estanques mezcladores.....	10
Figura 1-3.	Diagrama de flujo de mezclador ILB.....	11
Figura 1-4.	Equipo Motobomba ILB.....	18
Figura 2-1.	Bomba Plenty ILB.	23
Figura 2-2.	Reductor SEW.	24
Figura 2-3.	Motor eléctrico ABB.	25
Figura 3-1.	Programación de las actividades de plan de mantenimiento propuesto.....	40
Figura 3-2.	Rotura en acoplamiento.....	41
Figura 3-3.	Rotura en acoplamiento.....	42
Figura 3-4.	Álabes de bomba desgastados.	43
Figura 3-5.	Desgaste en carcasa de bomba.....	44
Figura 3-6.	Rotura en piñón de reductor.	45
Figura 3-7.	Trabajos de alineación de reductor – bomba.....	47

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1. Costos sin plan de mantenimiento versus con plan de mantenimiento.....49

Gráfico 3-2. Costos del plan completo versus costos del plan propuesto 50

Gráfico 3-3. Costos sin plan versus costos de los modos de fallo seleccionados. 51

SIGLAS

- CTR: Criticidad Total por Riesgos.
- ILB: In Line Blending.
- FMECA: Modos, Efectos y Consecuencias de Fallas.
- MTTR: Mean Time to Repair (tiempo medio de reparación).
- BACKUP: Equipo de respaldo.
- CLP: Pesos Chilenos.
- USD: Dólar Americano.

INTRODUCCIÓN

El presente informe se desarrolló en la empresa Copec, específicamente en su Planta de Lubricantes ubicada en Quintero V región.

La Planta está situada a 40 metros de la orilla del mar, por lo que siempre ha estado en constante guerra con el agresivo ambiente salino, no solo deteriorando su infraestructura de manera acelerada, sino que también, afectando sus equipos y operaciones. A partir de los problemas mencionados anteriormente, surge la intención y las ganas de colaborar en la gestión de mantenimiento de los activos, que, a su vez, fueron el motor que dio origen a este trabajo.

El objetivo es aplicar metodologías de confiabilidad en el proceso productivo de la Planta de Lubricantes Copec para identificar un equipo crítico y trabajar sobre él, conociendo sus características, identificando sus funciones e investigando las fallas que ha presentado durante su ciclo de vida, para luego, implementar un plan de acción en cada una de ellas, obteniendo como resultado la generación de un plan de mantenimiento que será evaluado técnica y económicamente para saber si es factible su ejecución.

Se espera que se obtenga una reducción en los costos totales de las fallas y que el informe sirva como base para la identificación de activos críticos en todos los procesos productivos de la Planta, además, que se transforme en una guía para la implementación de planes de mantenimiento con la finalidad de disminuir las actividades correctivas en cada activo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- I. Proponer plan de mantenimiento a equipo crítico de proceso, a través de metodologías de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la reducción de los costos totales de las fallas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- I. Analizar el proceso productivo de la empresa COPEC para la selección de equipo crítico a través del modelo de criticidad total por riesgos.
- II. Jerarquizar modos de fallas de equipo crítico de proceso mediante análisis de modos, efectos y criticidad de fallos para la selección de tareas de mantenimiento.
- III. Planificar las tareas del plan de mantenimiento para la evaluación de su viabilidad de implementación mediante un estudio económico.

**CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA, PROCESO PRODUCTIVO,
JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS Y SELECCIÓN DE EQUIPO CRÍTICO.**

1.1 EMPRESA

La empresa seleccionada para realizar el trabajo de título fue Copec S.A, una empresa con una amplia trayectoria en el rubro de combustibles. Su historia comienza en 1934 cuando se funda con el nombre de Compañía de Petróleos de Chile, con el objetivo de distribuir y comercializar combustible dentro del país.

Actualmente Copec S.A esta dirigida por el Grupo Angelini y se posiciona como la principal compañía distribuidora de combustibles y lubricantes del país, con una participación en el mercado que supera el 57% y 43% respectivamente, además, cuenta con presencia en 7 países, convirtiéndose en una gran empresa multinacional.

A lo largo de todo Chile cuenta con 15 plantas de almacenamiento de combustibles, 02 laboratorios de análisis de combustibles, además, cuenta con 01 fábrica de aceites lubricantes situada en Quintero, Región de Valparaíso.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

El presente trabajo de título se desarrolló en la Planta de Lubricantes Copec, cuyo principal objetivo es la producción y distribución de aceites lubricantes de alta calidad para distintas industrias, dentro de ellas se encuentra la industria automotriz, marítima, transporte, aérea, minera entre otras.

La Planta de Lubricantes Copec se encuentra ubicada en Camino Costero 1111 en la comuna de Quintero, región de Valparaíso, específicamente en la zona industrial de Loncura, fue fundada en el año 2004 como una respuesta a la creciente demanda de lubricantes en el mercado nacional e internacional.

La Planta de Lubricantes Copec cuenta con un estructurado y planificado proceso de producción en donde se utiliza tecnología de punta para el control de proceso en todas sus etapas, incluyendo equipos de mezclado, equipos de envasado y equipos de etiquetados de última generación. Además, cuenta con un sistema de control de calidad robusto para garantizar que todos los productos cumplan con los estándares de calidad impuestos por EXXON MOBIL.

La Planta de Lubricantes Copec produce una amplia gama de productos incluyendo aceites para motores de gasolina y diésel, aceites para transmisiones mecánicas, líquidos de frenos entre otros.

En cuanto al personal, la Planta cuenta con 81 personas internas de Copec distribuidas en áreas de operaciones, mantención, laboratorio, bodega, distribución, oficinas y gerencia, además, cuenta con 200 personas contratistas.

La seguridad, es una prioridad transversal dentro de la Planta de Lubricantes Copec, para esto, se han implementado medidas de prevención de riesgos y sistemas de

gestión de seguridad para proteger a las personas y el medio ambiente, cumpliendo con todas las normas y regulaciones ambientales, tomando un enfoque sostenible, implementando sistemas de control de emisiones y monitoreo en calidad del aire y agua. Además, tiene un sistema de reciclaje y segregación de residuos no peligrosos, residuos peligrosos y residuos orgánicos.

1.3 CONTEXTO OPERACIONAL

La Planta de Lubricantes Copec se caracteriza por tener un proceso productivo continuo e interconectado, por lo tanto, la falla de uno de los equipos puede tener un gran impacto en la producción, debido a que muchos de los activos dependen unos de otros. La Planta está comprometida con los estándares de calidad y medio ambiente exigidos por Exxon Mobil para garantizar la satisfacción y la confianza del cliente, así como el respeto al medio ambiente de la comunidad de Quintero. Como se nombra anteriormente, la seguridad es un aspecto prioritario y se promueve la prevención de riesgos y la seguridad de las personas a través de campañas y promociones.

El régimen de trabajo es de 2 turnos diarios de 8 horas cada uno, de 07:30 am a 17:15 pm y de 22:30 pm a 07:15 am, de esta forma, se puede asegurar que los productos estén disponibles para los clientes en todo momento.

Aunque aún se encuentra en desarrollo, se está trabajando en un sistema de gestión de mantenimiento para mejorar los tiempos de reparación, reportabilidad y velocidad de repuestas ante la falla, además, actualmente el área de mantenimiento no cuenta con un sistema integral de mantenimiento para satisfacer la gestión de repuestos.

La demanda del mercado es alta, pero la Planta cuenta con una buena gestión en relación al abastecimiento de materias primas. Para almacenar los productos en proceso se utilizan estanques de almacenamientos situados en una zona denominada área de estanques o área-20.

En resumen, el contexto operacional en Planta de Lubricantes Copec se enfoca en garantizar la seguridad y satisfacción del cliente, respetar el medio ambiente y la comunidad, siempre enfocados en la mejora continua de los procesos productivos a través de la tecnología para mantener su posición en el mercado nacional.

1.4 PROCESO PRODUCTIVO

En esta sección se describirá detalladamente el proceso productivo de la Planta de Lubricantes Copec en cada una de sus etapas, su comprensión es de gran importancia para la optimización de la calidad y eficiencia de los productos finales, así como para el mejoramiento continuo de procesos. Además, conoceremos cuales son los procesos más críticos e importantes y que impacto tienen en la producción.

Se dividirá el proceso productivo en 04 etapas principales:

- Recepción y almacenamiento de materias primas.
- Mezclado.
- Envasado.
- Almacenamiento y Distribución.

1.4.1 Recepción y almacenamiento de materias primas

Existen 2 materias primas fundamentales para la fabricación de lubricantes, las cuales son: aceites básicos y aditivos. En cuanto a los aceites básicos se adquieren de forma internacional y son transportados vía marítima a través de un Buque-tanque (BT) hasta el puerto marítimo de Quintero para ser descargado directamente a la zona de estanques de almacenamientos de la Planta de Lubricantes Copec.

Por otra parte, los aditivos se obtienen en el mercado nacional y son transportados vía terrestre a través de camiones, estos aditivos vienen almacenados en tambores de 208 litros y se descargan directamente en la Planta.

1.4.2 Mezclado

En esta etapa se mezclan los aceites básicos con los aditivos para obtener el lubricante como resultado final. Una vez realizado el proceso de mezclado, de aproximadamente 4 horas, el lubricante se encuentra en óptimas condiciones para ser almacenado o transportado directamente a las líneas de envasado. En este proceso se utilizan equipos especializados y personal capacitado.

1.4.3 Envasado

En esta etapa el lubricante es transportado desde los estanques de almacenamiento hasta las diferentes líneas de envasado. En la Planta de Lubricantes Copec existen las siguientes líneas de envasado:

- Línea de envases de 1 litros.
- Línea de envases de 4 litros.

- Línea de baldes de 19 litros.
- Línea de tambores de 208 litros.
- Línea de bins de 1040 litros.
- Estación de llenado graneles.

La línea utilizada depende de la demanda proyectada por el área de planificación.

En este proceso las líneas son totalmente automatizadas y están conformadas por equipos de etiquetado, llenado y tapado.

1.4.4 Almacenamiento y distribución

Una vez que se envasan los lubricantes en los diferentes formatos (envase de 1 litros, envase de 4 litros, baldes de 19 litros, tambores de 208 litros, bins de 1040 litros) se almacenan en la bodega de productos terminados que luego se distribuirán a través de la red de transporte de Copec a los distintos destinos dentro del país.

En la figura 1-1 podemos observar el proceso productivo de la Planta de Lubricantes Copec.

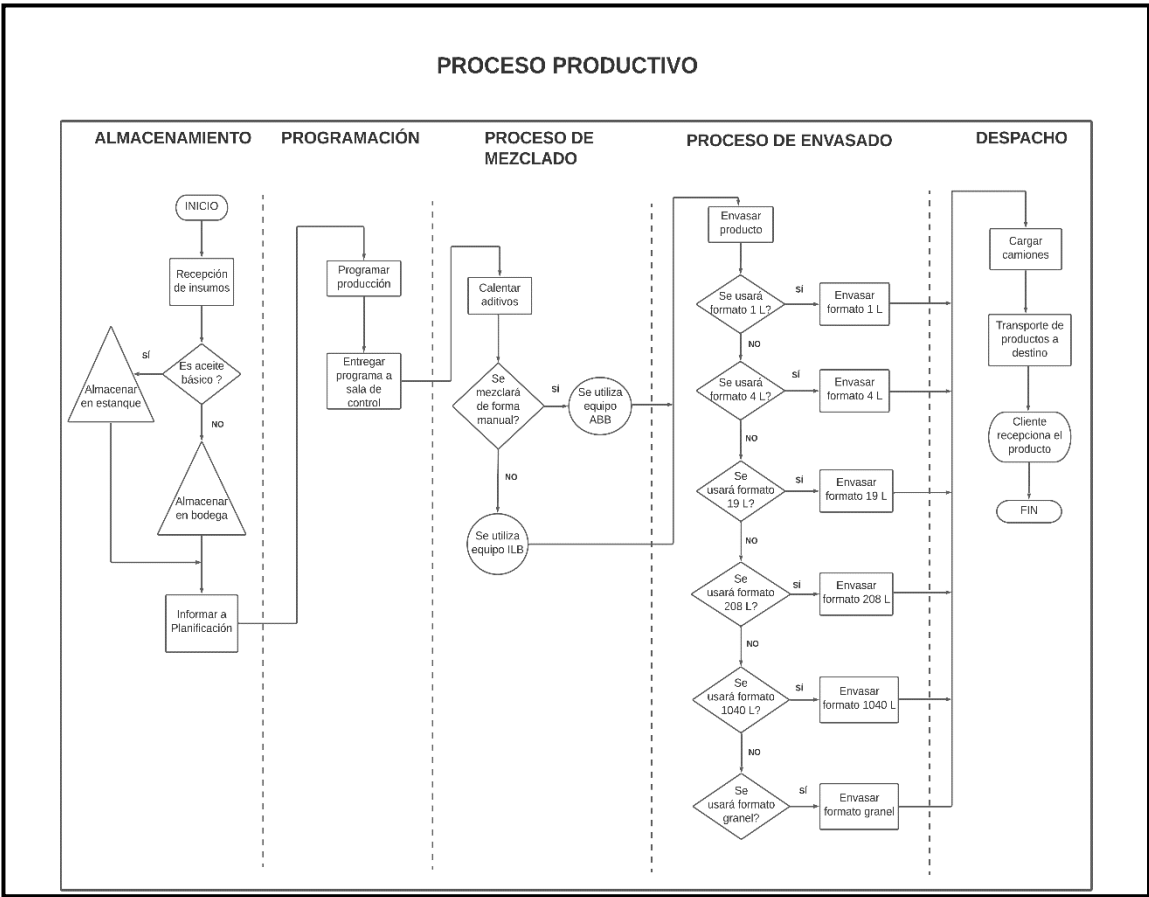


Figura 1-1. Diagrama de Proceso Productivo de la Planta de Lubricantes Copec.

Fuente: Elaboración propia.

1.5 PROBLEMÁTICA

El primer objetivo específico consiste en seleccionar un equipo crítico de un proceso productivo de la Planta de Lubricantes Copec. Para lograrlo, se cuantificaron los registros históricos de fallas totales y los tiempos de reparación total en cada área de proceso, el registro recoge los datos desde el año 2021 en adelante.

En la tabla 1-1 se pueden observar los resultados obtenidos de la recopilación de datos de fallas y tiempos de reparación de los procesos de planta.

Tabla 1-1. Datos de fallas y tiempos de reparación en Procesos de Planta de Lubricantes.

Proceso	Fallas	Tiempo reparación total (hrs)
Recepción de materias primas	33	76
Mezclado	642	1083
Envasado	671	1212
Almacenamiento y distribución	443	1030

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el proceso con mayor cantidad de fallas (671) y con mayor tiempo de reparación (1212) es el proceso de envasado, pero cabe mencionar que muchos de los equipos que conforman el proceso de envasado son arrendados y las reparaciones son realizadas por la empresa encargada de dichos equipos. Caso contrario ocurre en el proceso de mezclado, debido a que los equipos se deben reparar con el personal de mantención en Planta. De todos modos, en el proceso de mezclado, la cantidad de fallas (642) y el tiempo de reparación (1083) son muy elevadas y afectan directamente al proceso productivo. Por este motivo se decide realizar la búsqueda y selección del equipo crítico en el proceso de Mezclado. (los datos fueron recopilados desde el software de gestión de mantenimiento Fracttal).

1.6 PROCESO DE MEZCLADO

A continuación, describiremos en detalle cómo se ejecuta el proceso de mezclado, cuales son los equipos involucrados en este proceso, cuales son los insumos utilizados y que cantidad de personal está a cargo de cada etapa del proceso productivo de mezclado.

Para iniciar el proceso de mezclado, el área de planificación genera una orden de mezclado que es recepcionada por el área de producción. De acuerdo al volumen de la solicitud y la disponibilidad de equipos, dicha mezcla se puede realizar de 2 formas distintas:

- Utilizando el equipo mezclador en línea (ILB).
- Utilizando los equipos estanques mezcladores.

Estanques mezcladores:

Si se decide que la forma de mezclar será a través de la línea de estanques mezcladores se procede de la siguiente manera:

1. Operador de sala de control adiciona la cantidad necesaria de aceites básicos al estanque mezclador.
2. Operador de Planta retira desde bodega los tambores necesarios con el aditivo correspondiente.
3. Operador de Planta introduce los tambores de aditivos a los hornos de proceso para aumentar su temperatura y contribuir al transporte de aditivos por las tuberías de proceso.
4. Una vez alcanzada la temperatura de 60°C, el tambor de aditivos sale del horno de proceso y, a través de cintas de polines transportadoras, se dirige al equipo DDU en donde se succiona el aditivo y se agita.
5. Operador de Planta agrega el aditivo en el estanque mezclador.
6. El proceso dura en promedio 4 horas.
7. Operador de Planta retira una muestra de producto terminado y lo traslada a laboratorio para ser analizado.
8. Cuando laboratorio aprueba la muestra de producto terminado, Operador de sala de control traslada el producto terminado desde estanques mezcladores hasta los estanques de almacenamiento.

Como se mencionó anteriormente, este proceso tiene una duración en promedio de 4 horas sin detenciones y durante este tiempo, se controlan constantemente la temperatura, la presión y otros parámetros operacionales.

En la figura 1-2 se puede observar un diagrama del proceso de mezclado a través de los estanques mezcladores.

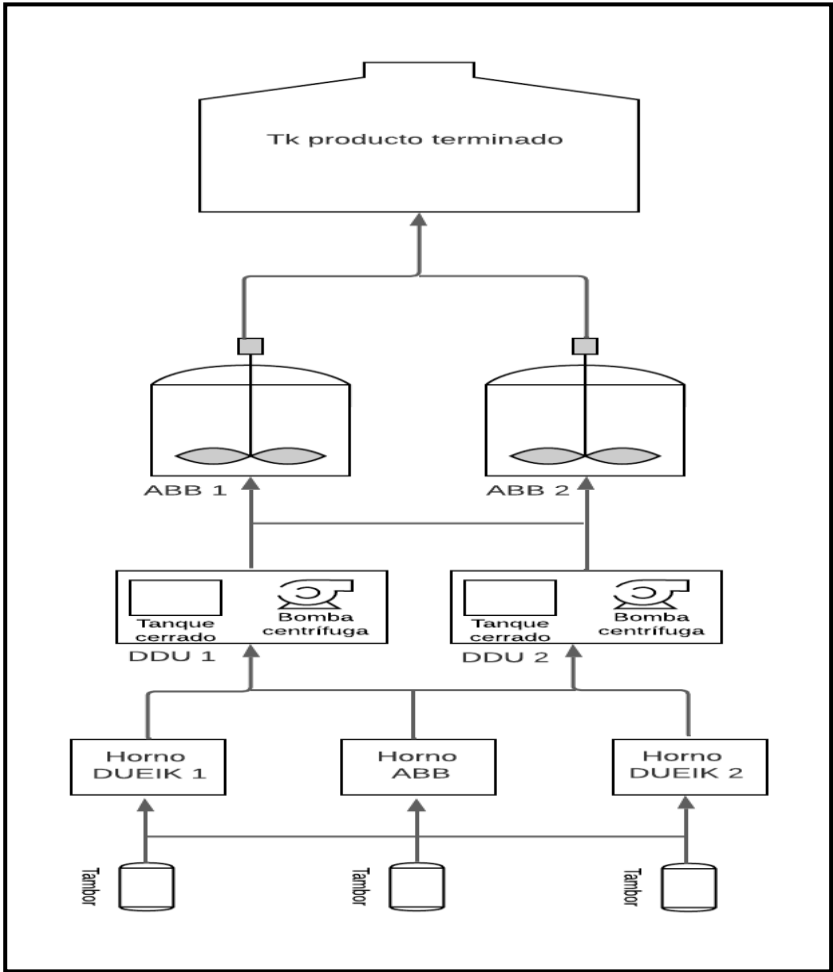


Figura 1-2. Diagrama de flujo de estanques mezcladores.

Fuente: Elaboración propia.

Mezclador en línea (ILB):

Si se decide que la forma de mezclar será a través del mezclador en línea (ILB) se procede de la siguiente manera:

1. Operador de sala de control selecciona la receta en software Lubcell.
2. Operador de sala de control selecciona los aceites básicos que serán utilizados en la mezcla.
3. Operador de sala de control selecciona los aditivos que serán utilizados en la mezcla.
4. Operador de sala de control enciende el equipo ILB.
5. Operador de sala de control traslada la mezcla a los estanques de almacenamiento o directamente a las líneas de envasado.

En la figura 1-3 se puede observar un diagrama del proceso de mezclado a través del mezclador en línea ILB.

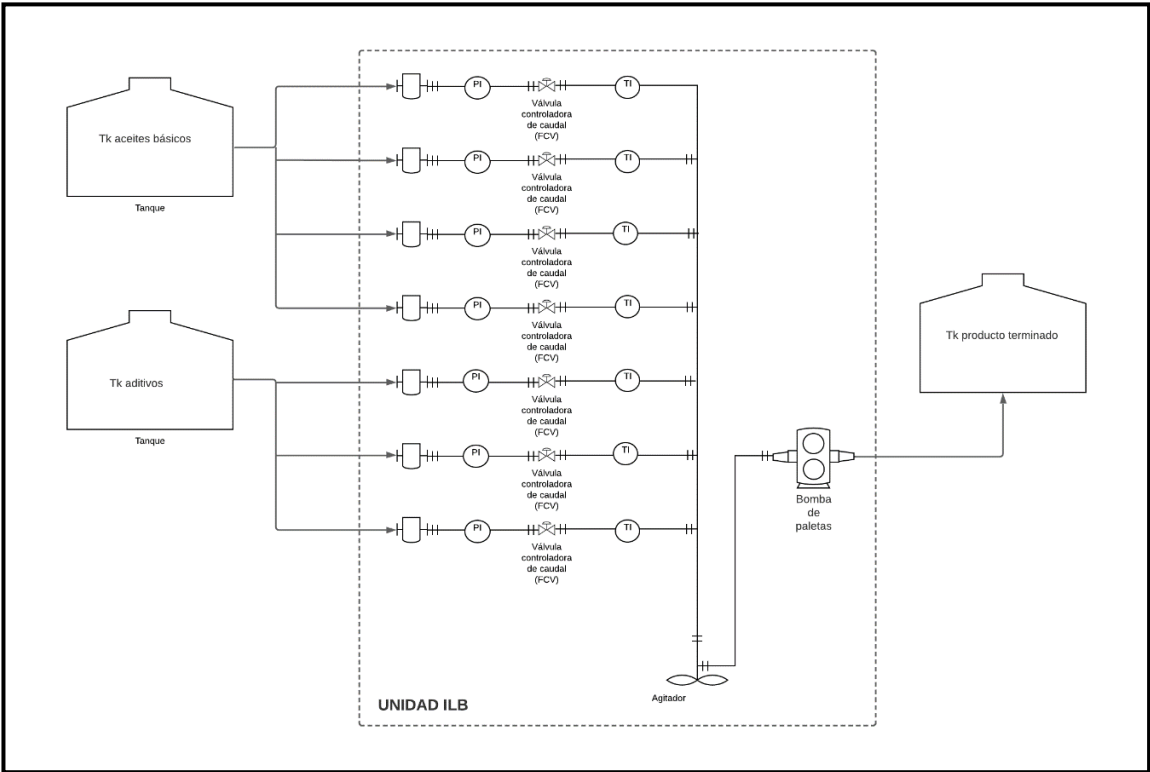


Figura 1-3. Diagrama de flujo de mezclador ILB.

Fuente: Elaboración propia.

1.7 ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN EQUIPOS

Ya hemos identificado el proceso de mezclado y sus equipos como el proceso crítico, a continuación, se realizará un análisis de criticidad en estos equipos cuyo objetivo es identificar, clasificar y jerarquizar los activos en cuanto a su criticidad, en función de los distintos factores que pueden ser riesgosos para la actividad de la Planta.

En el caso del proceso productivo de mezclado en la Planta de Lubricantes Copec, además de ayudar a identificar los equipos más críticos, se podrá priorizar y enfocar los recursos de mantenimiento. También nos permitirá conocer los impactos que podría tener una falla potencial en un activo sobre la producción, los procesos de Planta, aspectos de seguridad entre otros.

En esta oportunidad la herramienta que se aplicará para realizar el análisis de criticidad en equipos, será el modelo de Criticidad Total por Riesgo (CTR).

1.7.1 MODELO DE CRITICIDAD TOTAL POR RIESGO (CTR)

La metodología seleccionada para jerarquizar los activos críticos de la Planta de Lubricantes Copec fue el modelo de Criticidad Total por Riesgo (CTR), las ponderaciones y fórmulas que se utilizarán tienen su origen en el libro "Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos" (Parra y Crespo 2015) esta herramienta se basa en la asignación de valores cuantitativos de distintos factores de importancia en torno a los equipos, como la frecuencia de fallas, la flexibilidad operacional, los costos de mantenimiento, la seguridad higiene y medio ambiente. Para obtener una mayor efectividad en la aplicación de esta herramienta es recomendable que se involucre a todo el equipo de Planta para analizar sus distintas aristas, este análisis debería considerar la participación de gerentes, personal de operaciones, mantención, especialistas, operadores, supervisores, prevencionistas de riesgos entre otros.

El índice de criticidad en el modelo de Criticidad Total por Riesgo está dado por la siguiente ecuación:

$$CTR = FF \times C$$

Donde:

CTR: Criticidad Total por Riesgo.

FF: Frecuencia de fallos.

C: Consecuencia de los eventos de fallos.

Además, el valor de las consecuencias (C), se obtiene de la siguiente manera:

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA$$

Siendo:

IO: Factor de impacto en la producción.

FO: Factor de flexibilidad operacional.

CM: Factor de costes de mantenimiento.

SHA: Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente.

La expresión final del modelo de priorización de CTR es la siguiente:

$$CTR = FF \times ((IO \times FO) + CM + SHA))$$

A continuación, se presentan las ponderaciones que se considerarán para cada uno de los criterios evaluados:

En la tabla 1-2 observamos el factor de frecuencia de fallos (FF) con escala 1-4.

Tabla 1-2. Factor de frecuencia.

Factor de Frecuencia de Fallos		
Ponderación	Resultado	Descripción
4	Frecuente	mayor a 2 eventos al año
3	Promedio	1 y 2 eventos al año
2	Bueno	entre 0,5 y 1 evento al año
1	Excelente	menos de 0,5 eventos al año

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos (Parra & Crespo)

Factores de Consecuencias:

En la tabla 1-3 observamos el factor de impacto operacional (IO) con escala 1-10.

Tabla 1-3. Factor de impacto operacional

Impacto Operacional	
Ponderación	Descripción
10	Pérdidas de producción superiores al 75%
7	Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%
5	Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%
3	Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%
1	Pérdidas de producción menor al 10%

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos (Parra & Crespo)

En la tabla 1-4 observamos el factor impacto por flexibilidad operacional (FO) con escala 1-4.

Tabla 1-4. Impacto por flexibilidad operacional.

Impacto por Flexibilidad Operacional	
Ponderación	Descripción
4	No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes
2	Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios
1	Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos (Parra & Crespo)

En la tabla 1-5 observamos el factor de impacto en costes de mantenimiento (CM) con escala 1-2.

Tabla 1-5. Impacto en costos de mantenimiento.

Impacto en Costos de Mantenimiento	
Ponderación	Descripción
2	Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 20.000 dólares
1	Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 20.000 dólares

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos (Parra & Crespo)

En la tabla 1-6 observamos el factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA) con escala de 1-8.

Tabla 1-6. Impacto en seguridad, higiene y ambiente.

Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente	
Ponderación	Descripción
8	Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que excedan los límites permitidos
6	Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración
3	Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas
1	No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos (Parra & Crespo)

Para obtener el valor de criticidad se consideran los valores totales de cada uno de los factores principales de frecuencia y consecuencia, luego, se ubican en la siguiente matriz de criticidad 4x5, como se muestra en la Tabla 1-7, esto nos permitirá jerarquizar los equipos en tres áreas:

- Área de sistemas No Críticos (NC)
- Área de sistemas de Media Criticidad (MC)
- Área de sistemas Críticos (C)

Tabla 1-7. Matiz de criticidad.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos (Parra & Crespo)

1.7.2 JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS

En la tabla 1-8 se observan los resultados de la ponderación, luego de analizar cada equipo que conforma el proceso productivo de mezclado, como se comentó anteriormente los datos fueron recopilados desde el software de gestión de mantenimiento Fractal.

Al ponderar cada factor de un equipo y resolver la formula, se logra determinar el puntaje total por cada equipo, con esto valores, se puede ingresar en la matriz de criticidad y determinar en qué área de criticidad se encuentra cada equipo seleccionado.

Tabla 1-8. Jerarquización de equipos de proceso de mezclado.

Equipos	Frecuencia de fallas	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo de mtto	Impacto SHA	Consecuencia	CTR
ABB 1	1	7	2	2	3	19	19
ABB 2	1	7	2	2	3	19	19
ILB	4	10	4	2	3	45	180
DDU 2	3	7	2	1	3	18	54
DDU 1	3	7	2	1	3	18	54

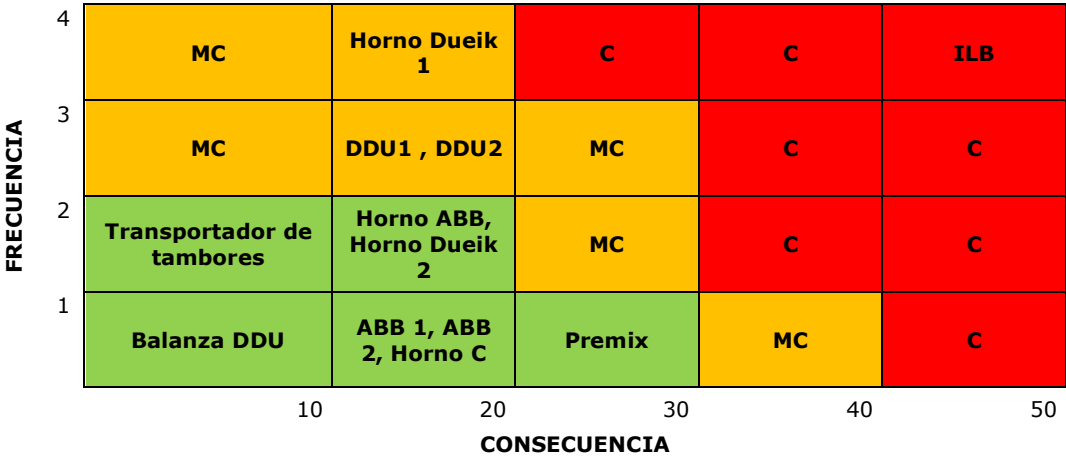
Premix	1	5	4	1	3	24	24
Horno ABB	2	3	2	1	6	13	26
Horno Dueik 1	4	3	2	1	6	13	52
Horno Dueik 2	2	3	2	1	6	13	26
Horno C	1	3	2	1	6	13	13
Balanza DDU	1	1	1	1	1	3	3
Cinta de polines	2	1	1	1	1	3	6

Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos se ingresan a la matriz de criticidad para revisar las áreas de clasificación para cada equipo. Recordemos que las áreas de clasificación son No Crítica, Media Criticidad y Críticos.

En la tabla 1-9 se observan los resultados de la matriz de criticidad.

Tabla 1-9. Matriz de criticidad de proceso de mezclado



Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar que del total de 12 equipos que conforman el proceso de mezclado solo 1 de ellos es Crítico, 3 clasifican como de Mediana Criticidad y 8 se encuentran en el área No Crítico.

El equipo crítico que se generó como resultado de la aplicación de la herramienta CTR es la Unidad ILB, que, a su vez, está conformada por distintos equipos, es por esto, que se decide realizar una segunda derivada y volver a aplicar el análisis CTR para identificar el equipo crítico dentro de la Unidad ILB. En la tabla 1-10 se pueden observar los resultados de la jerarquización de equipos.

Tabla 1-10. Jerarquización de equipos de conjunto ILB.

Equipos	Frecuencia de fallas	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo de mtto	Impacto SHA	Consecuencia	Total
Agitador ILB	3	10	4	2	3	45	135
Motobomba ILB	4	10	4	2	3	45	180
Válvula proporcional	1	7	2	1	3	18	18
Válvula on/off	3	3	1	1	3	7	21
Válvula check	1	1	1	1	1	3	3
Filtros cóncavos	2	7	2	1	1	16	32
Sistema neumático	1	5	1	1	1	7	7
Instrumentos	2	1	1	1	1	3	6
Pipping	1	10	1	1	2	13	13

Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos los ingresaremos a la matriz de criticidad para revisar las áreas de clasificación para cada equipo. Recordemos que las áreas de clasificación son No Crítica, Media Criticidad y Críticos.

En la tabla 1-11 se observan los resultados de la matriz de criticidad.

Tabla 1-11. Matriz de criticidad de equipo ILB.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	Motobomba ILB
	3	Válvula on/off	MC	MC	C	Agitador ILB
	2	Instrumentos	Filtros cóncavos	MC	C	C
	1	Válvula check, Sistema neumático	Válvula proporcional, Pipping	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
CONSECUENCIA						

Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar que del total de 9 equipos que conforman la Unidad ILB, 2 son Críticos, 1 clasifica como de Mediana Criticidad y 6 se encuentran en el área No Crítico.

El equipo crítico que se arroja como resultado de la matriz de criticidad es la Motobomba ILB.

En la figura 1-4 se observa el equipo Motobomba ILB, conformado por un motor, un reductor y una bomba.

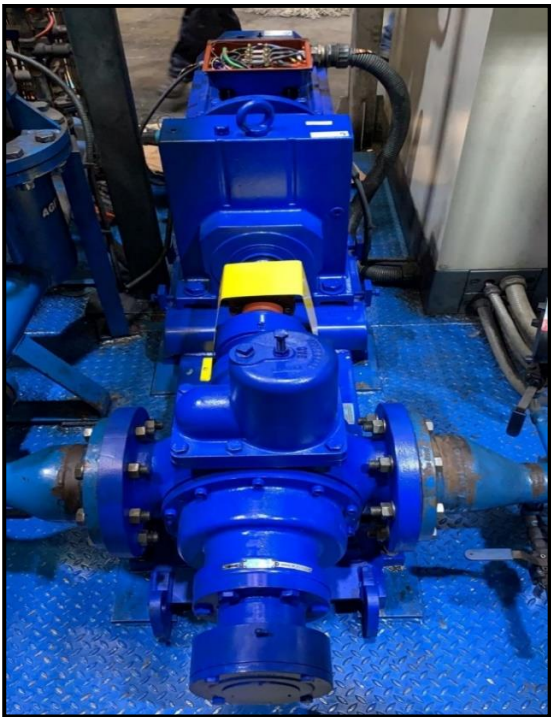


Figura 1-4. Equipo Motobomba ILB.

Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente capítulo nos enfocaremos en analizar los modos, efectos y consecuencias de falla del equipo Motobomba ILB, además, se jerarquizarán económicamente las fallas.

**2. CAPÍTULO 2: ANÁLISIS SIPOC, DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO, FMECA:
MODOS DE FALLA, EFECTOS DE FALLA Y CONSECUENCIAS DE FALLA,
JERARQUIZACIÓN DE MODOS DE FALLA.**

En el capítulo anterior se analizó el proceso productivo de mezclado en la Planta de Lubricantes Copec, con el objetivo de identificar un equipo crítico. Se concluyó que la Motobomba ILB es el equipo crítico sobre el que se trabajará.

En este capítulo, se describirán las funciones del equipo, la descripción del equipo y sus parámetros operacionales, las fallas críticas identificadas y sus correspondientes modos, efectos y consecuencias de las fallas, con el propósito de minimizar los riesgos potenciales. Para comenzar, es fundamental conocer en detalle las funciones y los componentes del equipo Motobomba ILB.

2.1 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES EN MOTOBOMBA ILB: ANÁLISIS SIPOC

La Motobomba ILB es un equipo conformado por un motor, un reductor y una bomba, es una bomba de transferencia de caudal y servicio pesado, se utiliza para la transferencia de aceites básico, transferencia de aditivos en los procesos de mezclado y en el llenado de estanques de almacenamiento o envasado de líneas de llenado.

Es importante destacar que la capacidad nominal de la Motobomba ILB es de 45 m³/h, pero en el contexto operacional de Planta Lubricantes Copec, se requiere que funcione a una capacidad de 42 m³/h según lo establecido por sala de control operacional. Además, se establece un límite inferior de funcionamiento de 40 m³/h para asegurar que se cumplan las necesidades del proceso productivo de mezclado de forma óptima.

Al desarrollar el modelo SIPOC podemos comprender de manera clara el proceso de mezclado de la Planta de Lubricantes Copec. A través de este modelo, podemos identificar la función principal del equipo Motobomba ILB y las interacciones que tiene dentro de su unidad, desde el proveedor interno hasta el cliente final.

La entrada del proceso corresponde a los aceites básicos y aditivos, la cual es transportada a través del equipo Motobomba ILB. La función principal del equipo es el transporte del servicio que posteriormente es entregado como salida a los estanques de producto terminados.

Gracias al modelo SIPOC, podemos visualizar el proceso completo y entender que cada una de las etapas afecta la calidad del producto final. También nos permite identificar oportunidades de mejora y optimización del proceso de mezclado, así como posibles riesgos y problemas que se puedan presentar en el proceso.

En resumen, el modelo SIPOC es una herramienta utilizada para entender y mejorar procesos. En la tabla 2-1 se observan los resultados del análisis SIPOC.

Tabla 2-1. Análisis SIPOC de motobomba ILB en proceso de mezclado.

Proveedor	Entrada	Proceso	Salida	Cliente
Estanques de almacenamiento.	Aceites básicos y aditivos provenientes de importación.	Transportar la mezcla de producto terminado a un flujo de 42 m3/h [+/- 2 m3/h].	Producto terminado libre de partículas.	Estanques de almacenamiento de producto terminado.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que además de la función principal del equipo Motobomba ILB, se identificaron 2 funciones secundarias:

1. Mantener la estanqueidad en el sistema. (Es decir, que el equipo no presente filtraciones).
2. Mantener la temperatura del conjunto a 45°C. [+/- 10°C]

2.2 DESCRIPCIÓN DE EQUIPO CRÍTICO: MOTOBOMBA ILB

La Motobomba ILB es un equipo conformado por un motor, un reductor y una bomba, el motor es de la marca ABB, el reductor es de la marca SEW, la bomba es de la marca Plenty serie G2000 modelo 100, de origen británico, la bomba posee una válvula de alivio de flujo completo incorporada para la protección de la bomba.

En la tabla 2-2, 2-3, 2-4 se nombrarán en detalles las partes y características de cada elemento que conforma la Motobomba ILB:

Tabla 2-2. Características de bomba Plenty.

BOMBA PLENTY	
Características técnicas	
Marca	Plenty
Modelo	U2000-100
Fluido	Para productos químicos o aceites viscosos
Accionamiento	Eléctrica
Tecnología	Bomba de paletas
Instalación	Estacionaria
Sector	Industrial
Aplicaciones	Procesos, control
Caudal	45 m3/hr

Fuente: Manual de equipo.

En la figura 2-1 podemos observar la bomba Plenty del equipo Motobomba ILB.

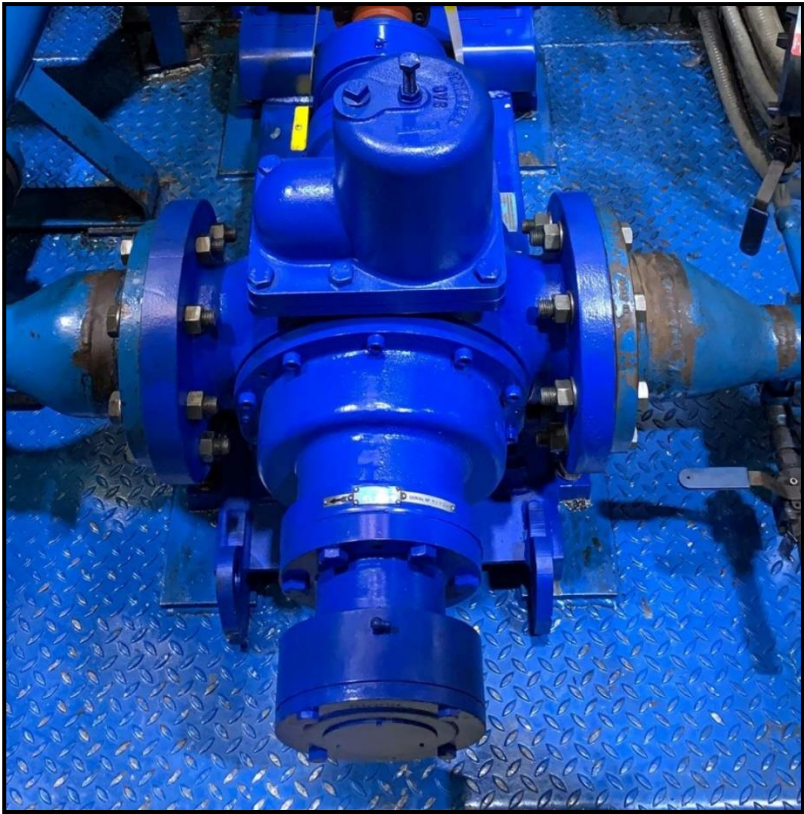


Figura 2-1. Bomba Plenty ILB.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-3. Características reductor SEW.

REDUCTOR SEW	
Características técnicas	
Marca	Sew
Modelo	Serie M
Opciones de reductor	Helicoidal en línea, tamaño 08, reductor de 2 etapas, relación exacta 2.54, montado en la base, unidad de engranajes para permitir la instalación de un motor
Eje de salida	Solido 02.125 pulgadas
HP máximo	33.39
RPM de salida	670
HP máximo de entrada a 1700 rpm	33,39
Par máximo de salida a 1750 rpm	3,142 lb.in
Lubricación	Relleno con aceite mineral 320 para una temperatura ambiente de 0 a 35°C

Fuente: Manual de equipo.

En la figura 2-2 podemos observar el reductor del equipo Motobomba ILB.



Figura 2-2. Reductor SEW.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-4. Características de motor ABB.

MOTOR ABB	
Características técnicas	
Marca	ABB
V	660
Hertz	50
Kilo Watts	30
Revoluciones por minuto (RPM)	1470
Amperaje	34,5
Protección (IP)	55

Fuente: Manual de equipo.

En la figura 2-3 podemos observar el motor del equipo Motobomba ILB.



Figura 2-3. Motor eléctrico ABB.

Fuente: Elaboración propia.

2.3 FMECA DE MOTOBOMBA ILB

El FMECA es una eficaz herramienta que nos permite detectar fallas antes de que ocurran, con el fin de priorizarlas y tomar mejores decisiones.

El objetivo de aplicar FMECA es identificar los modos en los que puede fallar un activo junto con visualizar las posibles consecuencias de los fallos. Para aplicarlo se considerar lo siguiente:

- 1. Definir la función principal y secundaria del activo.
- 2. Definir las fallas funcionales del activo.
- 3. Definir los modos de fallos asociados a cada falla funcional.
- 4. Identificar los efector y consecuencias de cada modo de fallo.

Anteriormente, a través del análisis SIPOC se nombraron las funciones principales y secundarias del equipo Motobomba ILB, en la tabla 2-5 se observa en tabla el sistema, el subsistema, y la función principal.

Tabla 2-5. Descripción de función principal.

Sistema: Unidad ILB		
Subsistema: Motobomba ILB		
Sistema / Subsistema	#	Descripción de función
Motobomba ILB	1	Transportar mezcla a 42 m3/h [+/- 2 m3/h]

Fuente: Elaboración propia.

2.3.1 FALLA FUNCIONAL MOTOBOMBA ILB

Según Moubray una falla funcional se define como la incapacidad, de cualquier activo físico, de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario. De acuerdo a esta definición, podemos identificar 2 fallas funcionales en el equipo Motobomba ILB:

- 1. El equipo no es capaz de transportar la mezcla.
- 2. El equipo no es capaz de transportar la mezcla a 42 m3/h [+/- 2 m3/h].

Además, se identifican 2 fallas en las funciones secundarias:

1. El equipo presenta filtraciones.
2. El equipo no mantiene la temperatura del conjunto a 45°C [$\pm 10^{\circ}\text{C}$].

2.3.2 MODOS DE LA FALLA MOTOBOMBA ILB

El análisis de modos de falla es un paso esencial en la gestión del mantenimiento, ya que su objetivo principal es identificar los distintos modos de falla que puede presentar un equipo. Al conocer estos modos de falla, es posible establecer las acciones necesarias para prevenir o mitigar las fallas, con el fin de garantizar que los equipos continúen cumpliendo su función.

Según Moubray, el modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional.

Más adelante, se nombrarán los modos de falla que podrían causar una falla funcional en el equipo Motobomba ILB.

2.3.3 EFECTOS DE LA FALLA EN MOTOBOMBA ILB

En primer lugar, los efectos de una falla deben responder a la pregunta ¿qué ocurre cuando sucede una falla? Se debe responder con la cantidad de información necesaria para evaluar las consecuencias de la mejor manera posible, se deben incluir datos como evidencia de que se produjo una falla, de que forma la falla afecta a la seguridad, el medio ambiente o la producción, que se debe hacer para reparar la falla y el tiempo que nos tomará repararla.

Según Moubray, los efectos de la falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla.

En la tabla 2-6 se puede observar el desarrollo del análisis FMECA del equipo Motobomba ILB, identificando la descripción de la función principal, las fallas funcionales, los distintos modos de falla y los efectos de cada falla. Esto nos permite tener una visión completa y detallada de cómo funciona el equipo y cuáles son sus potenciales fallas.

Tabla 2-6. FMECA de Motobomba ILB.

Sistema / Subsistema	#	Descripción de función	#	Falla funcional	#	Modo de falla	Efecto de falla
Motobomba ILB	1	Transportar mezcla a 42 m ³ /h [+/- 2 m ³ /h].	A	El equipo no transporta la mezcla de producto terminado.	1.A.1	Trabamiento de bomba	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): detención de la producción. Acción correctiva: desarmar bomba.
					1.A.2	Eje cortado.	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): detención de la producción. Acción correctiva: cambiar eje.
					1.A.3	Piñón de reductor quebrado.	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): detención de la producción. Acción correctiva: cambiar piñón.
					1.A.4	Chaveta de eje cortada.	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): detención de la producción. Acción correctiva: cambiar chaveta.
					1.A.5	Rotura de acoplamiento Motor-Reductor	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): detención de la producción. Acción correctiva: cambiar acoplamiento.
					1.A.6	Motor quemado.	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): detención de la producción. Acción correctiva: cambiar motor.
		Transportar mezcla a 42 m ³ /h [+/- 2 m ³ /h].	B	El equipo no transporta la mezcla de producto terminado a 42 m ³ /h [+/- 2 m ³ /h].	1.B.1	Alabes de bomba gastados.	Evidente / No evidente: no Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): disminución de caudal. Acción correctiva: cambiar alabes.
					1.B.2	Desgastes en piñón de reductor.	Evidente / No evidente: no Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): disminución de caudal, ruido excesivo, partículas metálicas en aceite. Acción correctiva: cambiar piñón.

				1.B.3	Desalineamiento de motor-reductor-bomba	Evidente / No evidente: no Efecto operacional (síntomas): disminución de caudal, vibración excesiva. Acción correctiva: alinear equipos.	Afecta SHA: no
2	Mantener la estanqueidad en el sistema (sin filtraciones).	A	El equipo presenta filtraciones.	2.A.1	Sello mecánico roto.	Evidente / No evidente: si Efecto operacional (síntomas): presencia de filtraciones. Acción correctiva: cambiar sello mecánico.	Afecta SHA: no
				2.A.2	Sello mecánico mal montado.	Evidente / No evidente: si Efecto operacional (síntomas): presencia de filtraciones. Acción correctiva: ajustar sello mecánico.	Afecta SHA: no
				2.A.3	Empaquetaduras de tapas rotas.	Evidente / No evidente: si Efecto operacional (síntomas): presencia de filtraciones. Acción correctiva: cambiar empaquetaduras.	Afecta SHA: no
	Mantener temperatura del conjunto a 45°C [+/- 10°C]	B	El equipo no mantiene la temperatura del equipo a 45°C [+/- 10°C)	2.B.1	Reductor trabado	Evidente / No evidente: no Efecto operacional (síntomas): aumento de temperatura. Acción correctiva: cambiar reductor.	Afecta SHA: no
				2.B.2	Rodamiento de bomba gastado	Evidente / No evidente: no Efecto operacional (síntomas): aumento de temperatura. Acción correctiva: cambiar rodamiento.	Afecta SHA: no
				2.B.3	Rodamiento de reductor gastado	Evidente / No evidente: no Efecto operacional (síntomas): aumento de temperatura. Acción correctiva: cambiar rodamiento.	Afecta SHA: no

Fuente: Elaboración propia.

A través de la aplicación del FMECA, se identificaron 09 modos de falla que pueden provocar una falla funcional, obteniendo como resultado una detención de la producción o una disminución de caudal de producción, ambos eventos críticos para la Planta. Además, se identifican 06 modos de falla que pueden provocar una falla secundaria.

2.4 JERARQUIZACIÓN DE MODOS DE FALLA A TRAVÉS DE COSTOS POR FALLA.

Cuando jerarquizamos los modos de falla podemos identificar cuáles son los críticos, con el fin de concentrar todos los recursos en las fallas que causan el mayor impacto. Para entender el contexto general del riesgo calculado debemos aclarar de donde se obtuvieron los datos de cada factor mencionado.

A continuación, se describirán los factores que se consideraron para el cálculo del riesgo cuantitativo que nos permitirá jerarquizar los modos de falla a través de su costo asociado.

2.4.1 FRECUENCIA DE FALLA

El primer factor es la frecuencia de falla, hace referencia a cuantas veces ocurre el modo de falla en 1 año, en el caso del desalineamiento de motor – reductor - bomba, podemos observar que su frecuencia de falla es de 0,5 por lo tanto, podemos decir que la falla se produce en promedio cada 2 años. En la tabla 2-7 se describe la frecuencia de falla de cada modo de falla del equipo Motobomba ILB.

Tabla 2-7. Frecuencia de fallas de los modos de falla del equipo Motobomba ILB

#	Modo de falla	Frecuencia de falla
1.A.1	Trabamiento de bomba.	0,2
1.A.2	Eje cortado.	0,1
1.A.3	Piñón de reductor quebrado.	0,33
1.A.4	Chaveta de eje cortada.	0,4
1.A.5	Rotura de acoplamiento Motor-Reductor.	0,65
1.A.6	Motor quemado.	0,2
1.B.1	Alabes de bomba gastados.	0,33
1.B.2	Desgastes en piñón de reductor.	0,4
1.B.3	Desalineamiento de motor-reducto-bomba.	0,5
2.A.1	Sello mecánico roto.	0,4
2.A.2	Sello mecánico mal montado.	0,33
2.A.3	Empaquetaduras de tapas rotas.	0,5
2.B.1	Reductor trabado.	0,2
2.B.2	Rodamiento de bomba gastado.	0,3
2.B.3	Rodamiento de reductor gastado.	0,3

Fuente: Elaboración propia

2.4.2 TIEMPO PROMEDIO DE REPARACIÓN

En cuanto al MTTR (Mean Tiempo to Repair / Tiempo Medio de Reparación) se considera el tiempo de logística, el tiempo de ejecución y el tiempo de puesta en marcha, como se observa en la tabla 2-8.

Tabla 2-8. Tiempos de logística, ejecución y puesta en marcha de modos de falla.

#	Modo de falla	Tiempo logística	Tiempo ejecución	Tiempo puesta en marcha	MTTR (log - ejec - p en marcha)
1.A.1	Trabamiento de bomba.	1	4	1	6
1.A.2	Eje cortado.	1	1,5	1	3,5
1.A.3	Piñón de reductor quebrado.	1	4	1	6
1.A.4	Chaveta de eje cortada.	2	2	1	5
1.A.5	Rotura de acoplamiento Motor-Reductor.	1	3	1	5
1.A.6	Motor quemado.	2	2	1	5
1.B.1	Alabes de bomba gastados.	2	4,5	1	7,5
1.B.2	Desgastes en piñón de reductor.	2	3	1	6
1.B.3	Desalineamiento de motor-reducto-bomba.	2	3	1	6
2.A.1	Sello mecánico roto.	2	1	1	4
2.A.2	Sello mecánico mal montado.	1	2	1	4
2.A.3	Empaquetaduras de tapas rotas.	2	1	1	4
2.B.1	Reductor trabado.	1	4	1	6
2.B.2	Rodamiento de bomba gastado.	2	2,5	1	5,5
2.B.3	Rodamiento de reductor gastado.	1	3,5	1	5,5

Fuente: Elaboración propia.

2.4.3 COSTOS DE NO PRODUCCIÓN

En el impacto en la producción o el impacto de no producción, se consideró una producción promedio en la línea de envases de 4 litros. La máquina llenadora es capaz de llenar 16 envases de 4 litros por minuto, en 1 hora es capaz de llenar 960 envases; si consideramos que un envase de 4 litros en el mercado tiene un valor promedio de \$40.000 CLP (ver anexo A), podemos decir que en 1 hora de no producción equivalen a \$38.400.000 y su valor en dólares es de USD 44.703.

2.4.4 COSTOS DIRECTOS POR FALLA

Los costos directos de la falla, que se observan en la tabla 2-9, se dan en relación a los repuestos necesarios para la reparación, las herramientas, los insumos y la logística empleada en la ejecución de las actividades mencionadas. (ver anexo B, C, D)

Tabla 2-9. Costos directos por fallas.

#	Modo de falla	Repuestos	Herramientas	Insumos	Logística	Precio CLP	Precio USD
1.A.1	Trabamiento de bomba.	-	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$210.000	244
1.A.2	Eje cortado.	\$400.000	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$610.000	710
1.A.3	Piñón de reductor quebrado.	\$661.266	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$871.266	1014
1.A.4	Chaveta de eje cortada.	\$100.000	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$310.000	361
1.A.5	Rotura de acoplamiento Motor-Reductor	\$240.000	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$450.000	524
1.A.6	Motor quemado.	\$1.100.000	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$1.310.000	1525
1.B.1	Alabes de bomba gastados.	\$1.288.500	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$1.498.500	1744
1.B.2	Desgastes en piñón de reductor.	\$661.266	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$871.266	1014
1.B.3	Desalineamiento de motor-reducto-bomba.	-	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$210.000	244
2.A.1	Sello mecánico roto.	\$500.000	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$710.000	827
2.A.2	Sello mecánico mal montado.	-	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$210.000	244
2.A.3	Empaquetaduras de tapas rotas.	\$150.000	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$360.000	419
2.B.1	Reductor trabado.	-	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$210.000	244
2.B.2	Rodamiento de bomba gastado.	\$150.000	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$360.000	419
2.B.3	Rodamiento de reductor gastado.	\$150.000	\$50.000	\$80.000	\$80.000	\$360.000	419

Fuente: Elaboración propia.

2.4.5 RIESGO CUANTITATIVO POR FALLA

En la tabla 2-10 se analizará el Riesgo Cuantitativo de cada modo de falla, es decir, cuanto le cuesta a la empresa cada vez que ocurre uno de los modos de falla, considerando factores como frecuencias por año, tiempos de reparación, tiempos de no producción, el valor del producto en el mercado, entre otros.

Tabla 2-10. Riesgo cuantitativo de los modos de falla de Motobomba ILB

#	Modo de falla	Frecuencia de falla	MTTR (log - ejec - p en marcha)	Impacto producción USD/hr	Costos directos por falla UM/falla	Impacto seguridad	Impacto ambiental	Riesgo cuantitativo USD/año	Riesgo cualitativo	Política	Actividad Mtto
1.A.1	Trabamiento de bomba.	0,2	6	44.703	244	C	C	53.693	CC	CBM	Preventivo
1.A.2	Eje cortado.	0,1	3,5	44.703	710	C	C	15.717	CC	UBM	Inspección
1.A.3	Piñón de reductor quebrado.	0,33	6	44.703	1040	C	C	88.855	CC	UBM	Inspección
1.A.4	Chaveta de eje cortada.	0,4	5	44.703	361	C	C	89.551	CC	UBM	Inspección
1.A.5	Rotura de acoplamiento Motor-Reductor.	0,65	5	44.703	524	C	C	145.626	CC	CBM	Preventivo
1.A.6	Motor quemado.	0,2	5	44.703	1525	C	C	45.008	CC	UBM	Inspección
1.B.1	Alabes de bomba gastados.	0,33	7,5	44.703	1744	C	C	111.216	CC	CBM	Preventivo
1.B.2	Desgastes en piñón de reductor.	0,4	6	44.703	1014	C	C	107.693	CC	CBM	Preventivo
1.B.3	Desalineamiento de motor-reducto-bomba.	0,5	6	44.703	244	C	C	134.231	CC	CBM	Preventivo
2.A.1	Sello mecánico roto.	0,4	4	44.703	827	C	C	71.856	CC	CBM	Preventivo
2.A.2	Sello mecánico mal montado.	0,33	4	44.703	244	C	C	59.089	CC	Correctivo	Correctivo
2.A.3	Empaquetaduras de tapas rotas.	0,5	4	44.703	419	C	C	89.616	CC	CBM	Preventivo
2.B.1	Reductor trabado.	0,2	6	44.703	244	C	C	53.693	CC	CBM	Preventivo
2.B.2	Rodamiento de bomba gastado.	0,3	5,5	44.703	419	C	C	73.886	CC	UBM	Inspección
2.B.3	Rodamiento de reductor gastado.	0,3	5,5	44.703	419	C	C	73.886	CC	UBM	Inspección

Fuente: Elaboración propia.

El riesgo cuantitativo total de los 15 modos de falla, es de USD 1.213.615.

Los modos de fallos se clasificarán en Críticos, Semicríticos y No críticos. A continuación, se observan los rangos asociados a la jerarquización de cada modo de fallo.

- **Críticos:** mayor que USD 100.001
- **Semicríticos:** entre USD 60.001 y USD 100.000
- **No Críticos:** menor que USD 60.000

En la tabla 2-11 se jerarquizaron económicamente los modos de fallos y se observan 04 Críticos, 06 Semicríticos y 05 No Críticos.

Tabla 2-11. Jerarquización económica de modos de falla.

#	Modo de falla	Riesgo cuantitativo USD/año
1.A.5	Rotura de acoplamiento Motor-Reductor.	145.626
1.B.3	Desalineamiento de motor-reducto-bomba.	134.231
1.B.1	Alabes de bomba gastados.	111.216
1.B.2	Desgastes en piñón de reductor.	107.693
2.A.3	Empaquetaduras de tapas rotas.	89.616
1.A.4	Chaveta de eje cortada.	89.551
1.A.3	Piñón de reductor quebrado.	88.855
2.B.2	Rodamiento de bomba gastado.	73.886
2.B.3	Rodamiento de reductor gastado.	73.886
2.A.1	Sello mecánico roto.	71.856
2.A.2	Sello mecánico mal montado.	59.089
1.A.1	Trabamiento de bomba.	53.693
2.B.1	Reductor trabado.	53.693
1.A.6	Motor quemado.	45.008
1.A.2	Eje cortado.	15.717

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 2-1 podemos observar los costos de los 15 modos de fallo y distinguir fácilmente cuales son los más costosos y cuáles son los menos costosos.

**3. CAPITULO 3: PLANIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE
MANTENIMIENTO, COSTO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO,
EVALUACIÓN ECONÓMICA.**

En el capítulo anterior se analizó el equipo Motobomba ILB, se identificaron sus funciones a través del análisis SIPOC, se identificaron los modos de falla, los efectos y las consecuencias a través del análisis FMECA y como resultado se obtuvieron distintos modos de fallos que pueden ocasionar una potencial falla. Además, se jerarquizaron económicamente los modos de falla.

En este capítulo, se evaluará la propuesta de plan de mantenimiento, identificando y planificando las tareas de mantenimiento para cada modo de fallo seleccionado. Una vez obtenidas las actividades de mantenimiento se elaborará el plan de mantenimiento y se evaluará su viabilidad técnico económica para determinar si es factible ejecutar el plan propuesto.

3.1 PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

Cabe mencionar que actualmente el equipo Motobomba ILB no cuenta con un plan de mantenimiento, por lo tanto, no existe un control sobre las fallas que pueda presentar. Lo que se realiza actualmente en caso de cualquier falla, consiste en llamar a una empresa contratista experta en motobombas que le realiza un diagnóstico y su respectiva reparación con cambio de componentes de ser necesario. Esta actividad eleva los costos de reparación, ya que se encuentran sujetos a la cotización que imponga dicha empresa, además de los tiempos de reparación, debido a que la empresa se encuentra en Santiago.

3.2 PLAN DE MANTENIMIENTO COMPLETO

El plan de mantenimiento completo considera los 15 modos de fallas identificados anteriormente. Para esto se planificarán y programaran las actividades a ejecutar en cada modo de fallo y se evaluarán los costos asociados a este plan. Este plan completo se plasma a modo de información para compararlo posteriormente con el plan de mantenimiento que se propondrá.

3.2.1 COSTOS DE EJECUCIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO COMPLETO

En la tabla 3-1 podemos observar los costos del plan de mantenimiento completo, es decir, que abarca la totalidad de modos de fallas encontrados a través del FMECA. Este plan de mantenimiento considera 15 modos de fallas, para cada uno de ellos se contempla una acción a ejecutar, la frecuencia de aplicación, el número de personas que deben participar en la actividad, las horas de ejecución, la especialidad de las personas que participaran en la actividad, los costos por especialidad, el costo total de hora hombre, el costo del plan por año y los costos totales del plan (en dólares). El costo total del plan de mantenimiento propuesto es de USD 609.981

Tabla 3-1. Costos de plan de mantenimiento completo

#	Modo de falla	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación [meses]	Número de personas	HH - ejecución	Especialidad	Costo hh especialidad	Costos hh	Costo del plan (año)	Costos totales con plan USD
1.A.1	Trabamiento de bomba	Realizar monitoreo de vibraciones y muestras de aceite.	3	1	3	Sintomático	23,13	69	278	27.124
1.A.2	Eje cortado.	Realizar inspección visual en detenciones programadas. Control dimensional en eje.	4	2	5	Mecánico	20,58	103	309	8.167
1.A.3	Piñón de reductor quebrado.	Realizar inspección visual en detenciones programadas. Control dimensional en piñón.	18	2	5	Mecánico	20,58	103	69	44.496
1.A.4	Chaveta de eje cortada.	Realizar inspección visual y control dimensional en detenciones programadas.	12	2	3	Mecánico	20,58	62	62	44.837
1.A.5	Rotura de acoplamiento Motor-Reductor	Realizar cambio de acoplamientos.	12	2	3	Mecánico	20,58	62	62	72.875
1.A.6	Motor quemado.	Realizar inspección visual, medición de aislamiento eléctrico.	6	1	4	Eléctrico	20,91	84	167	22.671
1.B.1	Alabes de bomba gastados.	Realizar inspección visual y cambio de álabes.	18	2	4,5	Mecánico	20,58	93	62	55.670
1.B.2	Desgastes en piñón de reductor.	Realizar inspección visual y cambio de piñón.	15	2	2,5	Mecánico	23,13	58	46	53.893
1.B.3	Desalineamiento de motor-reducto-bomba	Realizar inspección visual y alineamiento de conjunto.	12	2	3	Mecánico externo	148,00	444	444	67.560

2.A.1	Sello mecánico roto.	Realizar inspección visual en sello mecánico y piso por filtraciones.	4	2	3	Mecánico	20,58	62	185	36.113
2.A.2	Sello mecánico mal montado.	Realizar inspección visual en sello mecánico y piso por filtraciones.	3	2	4	Mecánico	20,58	82	329	29.874
2.A.3	Empaquetaduras de tapas rotas.	Realizar inspección visual y reacondicionamiento en base a condición.	3	2	4	Mecánico	20,58	82	329	45.137
2.B.1	Reductor trabado	Realizar monitoreo de Vibraciones y Muestras de Aceite.	3	1	3	Sintomático	23,13	69	278	27.124
2.B.2	Rodamiento de bomba gastado	Realizar inspección visual, medición de holgura y control de vibraciones en baja frecuencia.	3	2	3	Sintomático	23,13	69	278	37.220
2.B.3	Rodamiento de reductor gastado	Realizar inspección visual, medición de holgura y control de vibraciones en baja frecuencia.	3	2	3	Sintomático	23,13	69	278	37.220

Fuente: Elaboración propia

3.3 PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Este plan de mantenimiento considera 4 actividades que pretende enfocarse en los 04 modos de fallo más críticos según la jerarquización económica de modos de falla.

La propuesta de plan de mantenimiento tiene asociadas las siguientes actividades:

- Cambio de alabes.
- Cambio de acoplamiento.
- Cambio de piñón.
- Alineamiento.

A continuación, se describirán en detalle las tareas a ejecutar en cada actividad que conforma el plan de mantenimiento propuesto, considerando los tiempos de reparación, las frecuencias de intervención, las personas necesarias para ejecutar cada actividad, la especialidad de cada persona, entre otros factores. Luego se mostrarán los costos asociados a este plan de mantenimiento.

3.3.1 ACTIVIDADES DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.

El modo de falla 1.B.1 corresponde a alabes de bomba gastados, su riesgo cuantitativo es de USD 111.216. y la política de mantenimiento a utilizar es UBM y su tarea asociada será un mantenimiento preventivo que consistirá en cambiar los álabes de la bomba del equipo Motobomba ILB.

El modo de falla 1.B.2 corresponde a desgastes en dientes de piñón de reductor, su riesgo cuantitativo es de USD 107.693. y la política de mantenimiento a utilizar es UBM y su tarea asociada será un mantenimiento preventivo que consistirá en cambiar el piñón del reductor del equipo Motobomba ILB.

El modo de falla 1.B.3 corresponde a desalineamiento de motor – reductor – bomba, su riesgo cuantitativo es de USD 134.231. y la política de mantenimiento a utilizar es UBM y su tarea asociada será un mantenimiento preventivo que consistirá en realizar un servicio de alineamiento al equipo Motobomba ILB.

En el caso de la rotura del acoplamiento motor – reductor – bomba se realizará mantenimiento preventivo, es decir se ejecutará una actividad de cambio de acoplamiento, antes de que se produzca la falla, esta actividad debe realizarlo un mecánico y siempre debe haber stock disponible de dicho componente.

En la figura 3-1 podemos observar la programación en meses de las actividades a realizar en el plan de mantenimiento propuesto.

Acción a ejecutar	Fecha de inicio	Fecha de término	P4			P1			P2			P3		
			Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Cambiar acoplamiento	01/12/23	01/12/23												
Cambiar álabes de bomba	01/06/24	01/06/24												
Cambiar piñon de reductor	01/03/24	01/03/24												
Realizar alineamiento de conjunto	01/12/23	01/12/23												

Figura 3-1. Programación de las actividades de plan de mantenimiento propuesto

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3-2, se describen en detalle las tareas a ejecutar en la actividad de cambio de acoplamiento que conforma el plan de mantenimiento propuesto.

Tabla 3-2. Procedimiento para cambio de acoplamiento

PROCEDIMIENTO REEMPLAZO DE COMPONENTE					
1.A.4 - Acoplamiento Reductor - Bomba					
Nº	Descripción	Herramientas y repuestos	Observaciones	Especialidad	Tiempo estimado (min)
1	Detener y apagar equipo.	Candado de bloqueo.	Utilizar EPP.	Mecánico	5
2	Bloquear equipo eléctricamente.	Caja de herramientas.		Eléctrico	5
3	Inspección visual.	Paños.		Mecánico	15
4	Desconectar pipping de bomba.	Solvente.		Mecánico	30
5	Drenar producto dentro de la bomba.	Acoplamientos.		Mecánico	20
6	Retirar tapa de bomba y cubierta de acoplamiento.			Mecánico	20
7	Soltar pernos del acoplamiento.			Mecánico	20
8	Extraer machón de eje.			Mecánico	40
9	Limpiar eje y acoplamiento.			Mecánico	30
10	Montar acoplamiento en ejes.			Mecánico	40
11	Ajustar y asentar acoplamiento nuevo.			Mecánico	20
12	Montar tapa de bomba y cubierta de acoplamiento.			Mecánico	20
13	Conectar pipping de bomba.			Mecánico	30
14	Limpieza en zona de trabajo.			Mecánico	30

15	Desbloqueo eléctrico de equipo.			Eléctrico	5
16	Puesta en marcha, prueba de funcionamiento.			Mecánico	15

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3-2 podemos observar una rotura del acoplamiento machón en el equipo Motobomba ILB ocurrida en la Planta de Lubricantes Copec.

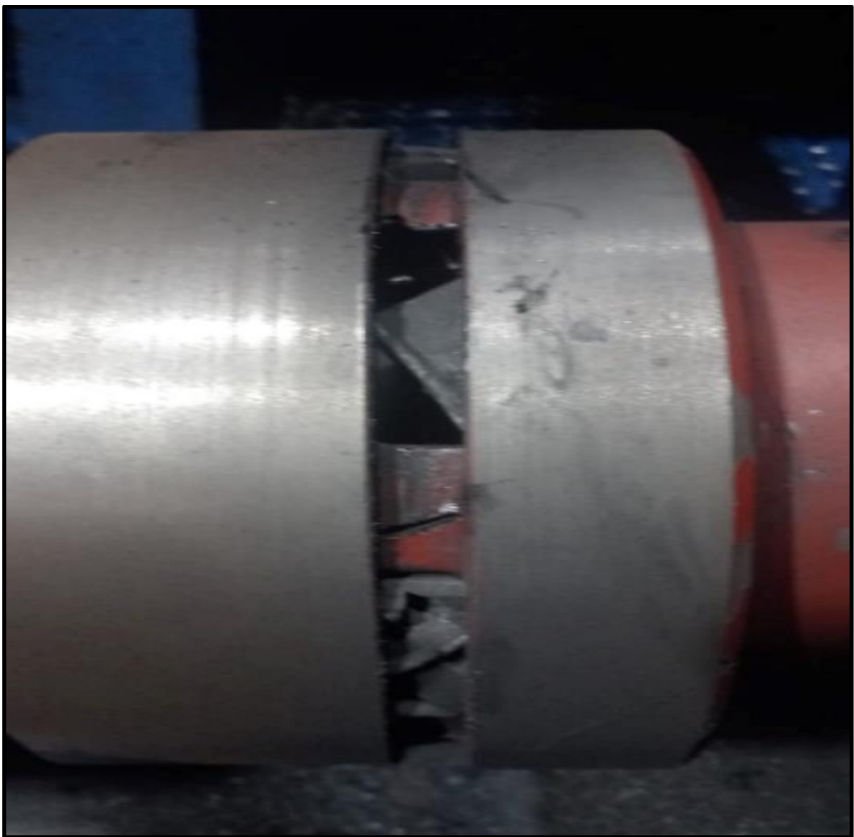


Figura 3-2. Rotura en acoplamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3-3 podemos observar partículas metálicas con alta temperatura debido a una rotura del acoplamiento machón en el equipo Motobomba ILB.



Figura 3-3. Rotura en acoplamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso los álabes gastados, se realizará un mantenimiento preventivo, es decir se ejecutará una actividad de cambio de alabes, antes de que se produzca la falla, esta actividad debe realizarlo un mecánico y siempre debe haber stock disponible de dicho componente.

En la tabla 3-3, se describen en detalle las tareas a ejecutar en la actividad de cambio de álabes de bomba que conforma el plan de mantenimiento propuesto.

Tabla 3-3. Procedimiento para cambio de álabes de bomba.

PROCEDIMIENTO DE REEMPLAZO DE COMPONENTE					
1.B.1 - Álabes de Bomba gastados.					
Nº	Descripción	Herramientas y repuestos	Observaciones	Especialidad	Tiempo estimado (min)
1	Detener y apagar equipo.	Candado de bloqueo.	Utilizar EPP	Mecánico	5
2	Bloquear equipo eléctricamente.	Traspaleta.		Eléctrico	5

3	Inspección visual.	Caja de herramientas.		Mecánico	15
4	Desconectar pipping de bomba.	Paños		Mecánico	30
5	Drenar producto dentro de la bomba.	Solvente		Mecánico	20
6	Desmontar bomba.	Álabes		Mecánico	20
7	Traslado de bomba a taller			Mecánico	20
8	Desarmar bomba.			Mecánico	40
9	Extraer álabes.			Mecánico	10
10	Limpieza de bomba.			Mecánico	10
11	Montar alabes nuevos.			Mecánico	10
12	Armar bomba.			Mecánico	30
13	Traslado de bomba a planta.			Mecánico	10
14	Montar bomba.			Mecánico	30
15	Conectar pipping de bomba.			Mecánico	20
16	Desbloqueo eléctrico de equipo.			Eléctrico	5
17	Puesta en marcha, prueba de funcionamiento.			Mecánico	15

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3-4 podemos observar un desgaste en los álabes de la bomba del equipo Motobomba ILB.

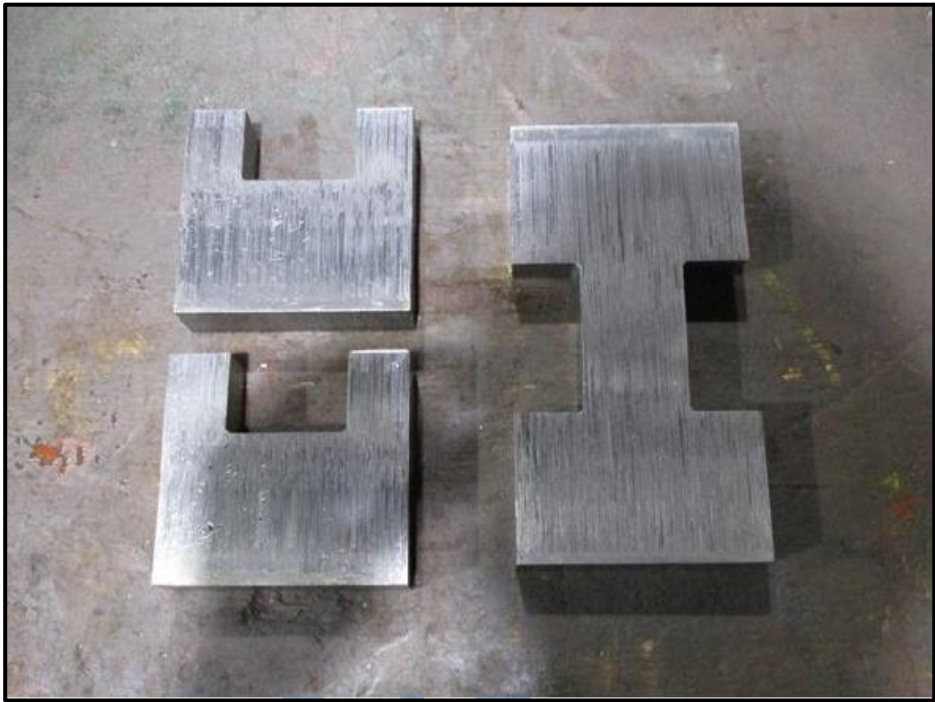


Figura 3-4. Álabes de bomba desgastados.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3-5 podemos observar un desgaste en el cuerpo de la bomba del equipo Motobomba ILB.



Figura 3-5. Desgaste en carcasa de bomba.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del desgaste del piñón del reductor, se realizará un mantenimiento preventivo, es decir se ejecutará una actividad de cambio de piñón, antes de que se produzca la falla, esta actividad debe realizarlo un mecánico y siempre debe haber stock disponible de dicho componente.

En la tabla 3-4, se describen en detalle las tareas a ejecutar en la actividad de cambio de piñón de reductor que conforma el plan de mantenimiento propuesto.

Tabla 3-4. Procedimiento de reemplazo de piñón de reductor.

PROCEDIMIENTO DE REEMPLAZO DE COMPONENTE					
1.B.3 - Desgastes en dientes de piñón de reductor.					
Nº	Descripción	Herramientas y repuestos	Observaciones	Especialidad	Tiempo estimado (min)
1	Detener y apagar equipo.	Candado de bloqueo.	Utilizar EPP	Mecánico	5
2	Bloquear equipo eléctricamente.	Traspaleta.		Eléctrico	5
3	Inspección visual.	Caja de herramientas.		Mecánico	15

4	Desmontar reductor.	Paños		Mecánico	30
5	Traslado de reductor a taller.	Solvente		Mecánico	20
6	Drenaje de aceite reductor.	Piñón.		Mecánico	10
7	Desarmar reductor.	Aceite.		Mecánico	40
8	Extraer piñón.			Mecánico	10
9	Limpieza de piñón y reductor.			Mecánico	20
10	Montar piñón.			Mecánico	10
11	Armar reductor.			Mecánico	40
12	Rellenar aceite de reductor.			Mecánico	15
13	Traslado de reductor a planta.			Mecánico	20
14	Montar reductor.			Mecánico	30
15	Desbloqueo eléctrico de equipo.			Eléctrico	5
16	Puesta en marcha, prueba de funcionamiento.			Mecánico	15

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3-6 podemos observar el desarme del reductor para realizar un cambio de piñón en el equipo Motobomba ILB.



Figura 3-6. Rotura en piñón de reductor.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del desalineamiento de motor - reductor – bomba se realizará un mantenimiento preventivo, es decir se ejecutará una actividad de cambio alineamiento de equipo Motobomba, antes de que se produzca la falla, esta actividad debe realizarlo un mecánico.

En la tabla 3-5, se describen en detalle las tareas a ejecutar en la actividad de alineamiento de conjunto, que conforma el plan de mantenimiento propuesto.

Tabla 3-5. Procedimiento de alineamiento.

PROCEDIMIENTO DE ALINEAMIENTO					
1.B.3 - Desalineamiento de motor – reductor – bomba.					
Nº	Descripción	Herramientas y repuestos	Observaciones	Especialidad	Tiempo estimado (min)
1	Detener y apagar equipo.	Candado de bloqueo.	Utilizar EPP	Mecánico	5
2	Bloquear equipo eléctricamente.	Caja de herramientas.		Eléctrico	5
3	Inspección visual.	Barrotes.		Mecánico	15
4	Soltar elementos de sujeción.	Lainas.		Mecánico	25
5	Montaje de equipo de medición.	Equipo de alineación.		Mecánico	25
6	Medición inicial con equipo laser.	Instrumentos de medición.		Mecánico	25
7	Verificación de acoplamientos.			Mecánico	25
8	Ajustes preliminares.			Mecánico	25
9	Medición final con equipo laser.			Mecánico	25
10	Ajustes finales.			Mecánico	25
11	Verificación de holguras.			Mecánico	25
12	Comprobación de paralelismo.			Mecánico	25
13	Apriete de elementos de sujeción.			Mecánico	20
14	Documentación e informe preliminar.			Mecánico	20
15	Desbloqueo eléctrico de equipo.			Eléctrico	5
16	Puesta en marcha, prueba de funcionamiento.			Mecánico	15

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3-7 podemos observar una actividad de alineación entre reductor y bomba del equipo Motobomba ILB.



Figura 3-7. Trabajos de alineación de reductor – bomba.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 COSTOS DE EJECUCIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

En la tabla 3-6, se observan los costos asociados a las actividades que conforman el plan de mantenimiento. Para su cálculo se consideran los factores de frecuencia de aplicación, tiempo de ejecución, cantidad de personas y especialidad, entre otras.

El costo de las actividades a ejecutar en el modo de falla 1.A.5 es de USD 72.875; el de 1.B.1 es de USD 55.670; en el 1.B.2 es de USD 53.888; en el 1.B.3 es de USD 67.560

El costo total 04 actividades de los modos de falla, es decir, el costo total del plan de mantenimiento propuesto es de USD 249.992

Tabla 3-6. Costos de plan de mantenimiento propuesto

#	Modo de falla	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación [meses]	Número de personas	HH - ejecución	Especialidad	Costo hh especialidad	Costos hh	Costo del plan (año)	Costos totales con plan USD
1.A.5	Rotura de acoplamiento Motor-Reductor	Realizar cambio de acoplamientos.	12	2	3	Mecánico	20,58	62	62	72.875
1.B.1	Alabes de bomba gastados.	Realizar inspección visual y cambio de álabes.	18	2	4,5	Mecánico	20,58	93	62	55.670
1.B.2	Desgastes en piñón de reductor.	Realizar inspección visual y cambio de piñón.	15	2	2,5	Mecánico	20,58	51	41	53.888
1.B.3	Desalineamiento de motor-reducto-bomba	Realizar inspección visual y alineamiento de conjunto.	12	2	3	Mecánico externo	148,00	444	444	67.560

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Para la implementación de un plan de mantenimiento debemos preocuparnos del ámbito técnico y económico, es decir, debemos ser eficaces en la ejecución del plan y eficientes en cuanto a los recursos disponibles, de tal manera, que podamos aprovechar al máximo sus usos.

En la tabla 3-7 podemos apreciar una comparación entre los costos totales de las fallas sin un plan de mantenimiento versus un delta entre los costos totales sin plan menos el costo total del plan propuesto. Esta diferencia representa una disminución de los costos totales en un 20,6%.

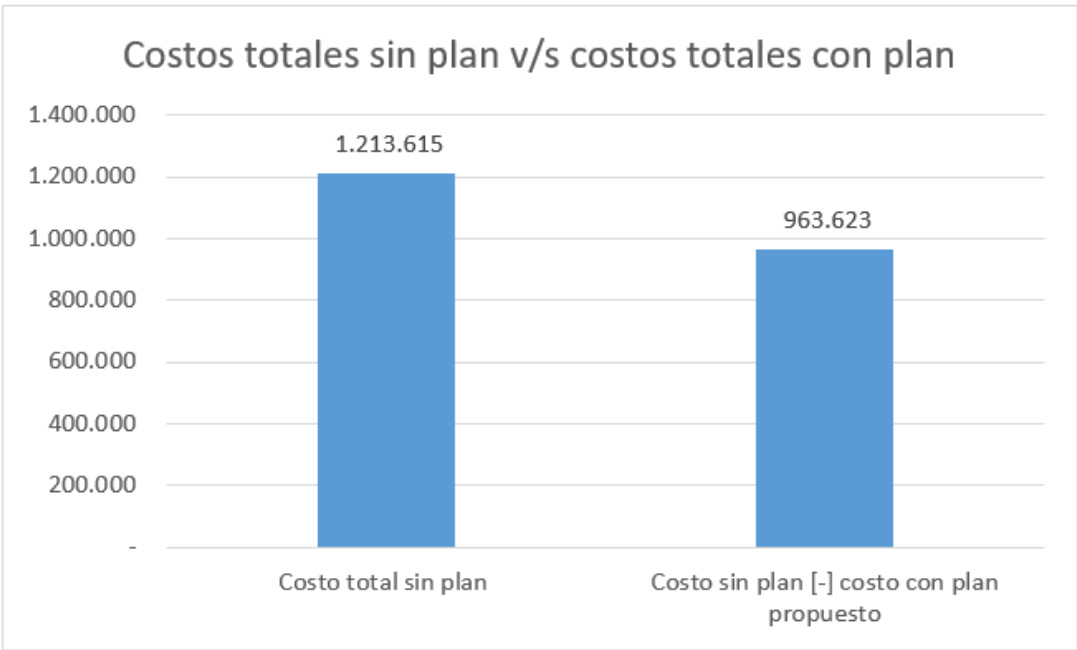
Tabla 3-7. Costos totales de los planes de mantenimientos propuestos en USD

Costo total sin plan	Costo sin plan [-] costo con plan propuesto
1.213.615	963.623

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 3-1 podemos observar el costo total de los fallos sin un plan de mantenimiento contra el costo total de los fallos sin un plan menos el costo del plan propuesto. Esta diferencia representa una disminución de USD 249.992

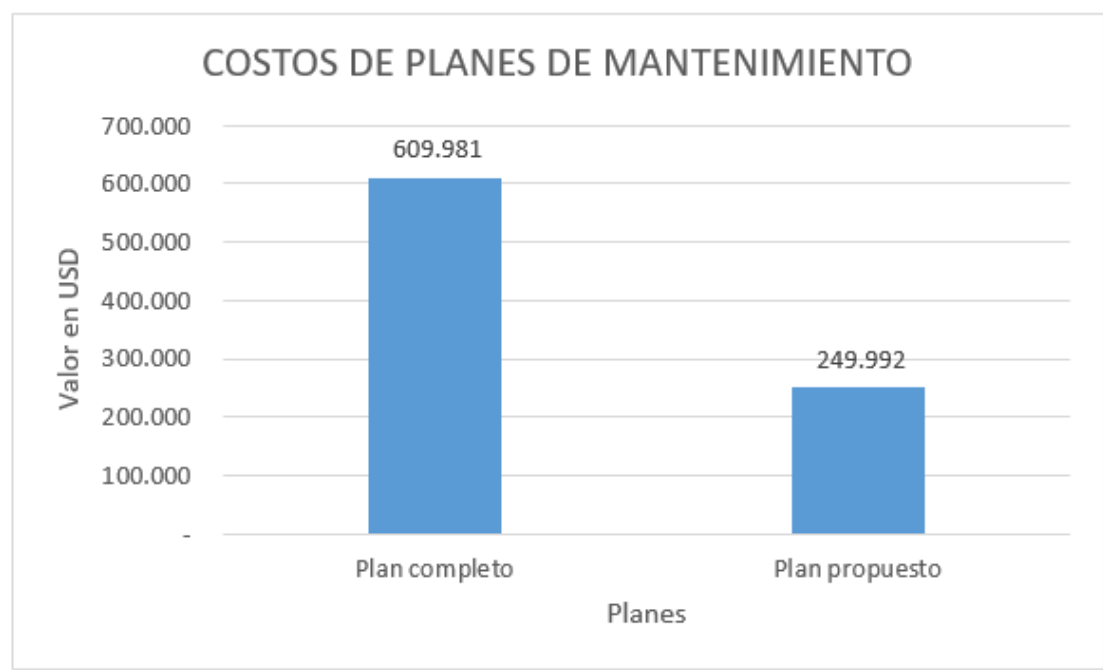
Gráfico 3-1. Costos sin plan de mantenimiento versus con plan de mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia.

En el grafico 3-2 podemos observar la comparación entre el costo total del plan completo, es decir, considerando los 15 modos de fallos con un total del USD 609.981 contra el plan de mantenimiento propuesto que considera 04 modos de fallos con un total de USD 249.922. El plan propuesto es un 59% más económico que el plan completo, tiene una diferencia de USD 359.989

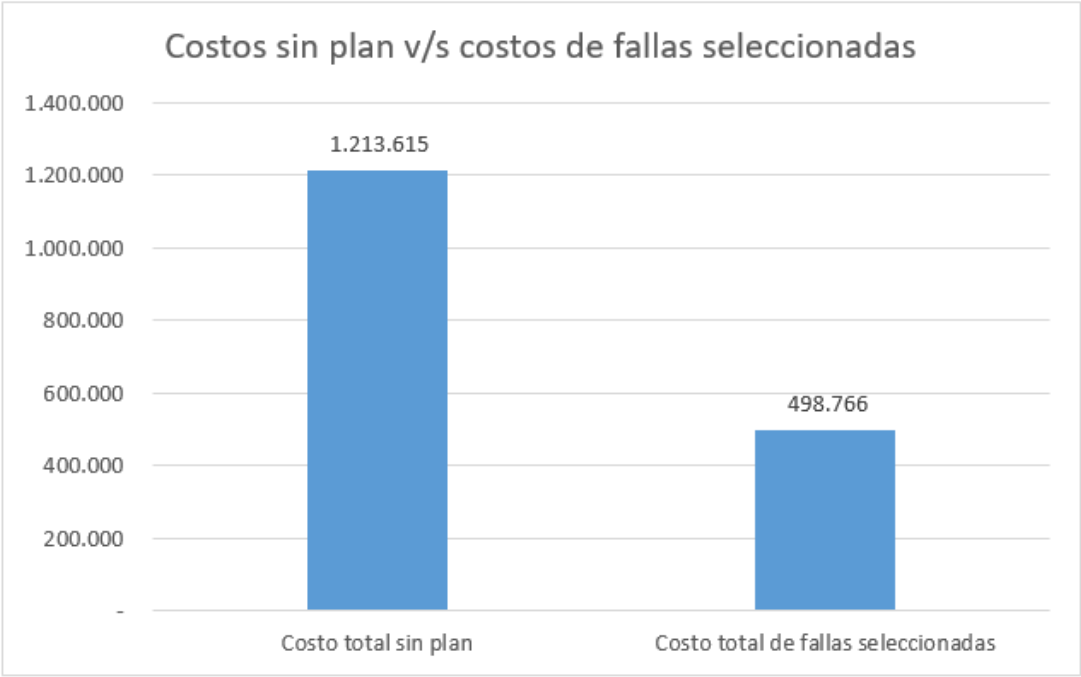
Gráfico 3-2. Costos del plan completo versus costos del plan propuesto



Fuente: Elaboración propia.

En el grafico 3-3 podemos observar una comparación entre el costo total sin plan de los 15 modos de fallos contra el costo total de los 04 modos de fallo seleccionados con una cantidad de USD 498.766

Gráfico 3-3. Costos sin plan versus costos de los modos de fallas seleccionadas.



Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el trabajo podemos reflexionar sobre la importancia que tiene contar con un plan de mantenimiento para los equipos, principalmente para disminuir los costos asociados a las fallas, que involucran el costo de los repuestos, el costo de las horas hombre, costos por la especialidad a la hora de reparación, los costos de las detenciones y horas de no producción entre otras. Cabe mencionar que la empresa no contaba con ningún plan de mantenimiento para el equipo seleccionado Motobomba ILB, tampoco contaba con inspecciones de ningún tipo, check list o una revisión cuando el equipo se detenía, es decir, el equipo solo contaba con los mantenimientos correctivos.

Para lograr un plan de mantenimiento se debe ir paso a paso y cada uno de estos se vuelve tanto o más importante que el paso anterior. Debemos aplicar de manera correcta cada herramienta seleccionada del mantenimiento centrado en confiabilidad para seleccionar un equipo crítico y centrar nuestros esfuerzos en él, luego debemos identificar sus funciones, junto con sus modos y efectos de falla para tener más certeza del plan que aplicaremos. Luego pasamos a uno de los puntos más importantes como lo es la planificación y programación de actividades, debido a que en este punto podemos comenzar a reducir los costos y utilizar de manera eficiente los recursos disponibles.

En este trabajo se consideraron intervenir 04 modos de falla que tenían un costo total de USD 498.766, estos modos de falla se seleccionaron de acuerdo a una jerarquización económica logrando determinar que representaban el 40% del costo total de las fallas. Para lograr una disminución en los costos totales se propuso un plan de mantenimiento cuyo costo total de aplicación es de USD 249.992. Esta acción nos permitiría disminuir el costo total de los modos de falla en un 20,6%, es decir, se puede disminuir el costo total de USD 1.213.615 a USD 963.623

Con lo mencionado anteriormente podemos concluir que se logra el objetivo principal del trabajo que es proponer un plan de mantenimiento para reducir los costos totales de las fallas aplicando metodologías de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

A modo de recomendación, es importante realizar una jerarquización general de todos los equipos situados en planta y seleccionar los equipos críticos para generar un plan de mantenimiento adecuado que permita controlar las intervenciones y disminuir la cantidad de mantenciones correctivas que se ejecutan en planta.

En cuanto al plan de mantenimiento propuesto se recomienda seguir robusteciéndolo e incluir más actividades que consideren los modos de fallos restantes, para seguir disminuyendo los costos totales de las fallas y bajar la probabilidad de que estos fallos ocurran.

Además, se recomienda incluir en las próximas inversiones, la adquisición de una Motobomba ILB de Backup en caso de fallas severas o irreparables, para disminuir los tiempos de detención del proceso de mezclado.

5. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos Parra, C. & Crespo, A. Draft-Vol.-5-Sept.-2012
2. Manual de Mantenimiento Ingeniería, Gestión y organización, Alejandro J. Pistarelli 2010
3. Moubray, J. (1997). RCM2: Reliability-Centered Maintenance. Industrial Press.
4. Norma SAE J1739
5. Clases Gestión de Activos USM 2022.
6. <https://www.empresascopec.cl/wp-content/uploads/2023/04/Memoria-Integrada-Empresas-Copec-2022.pdf>

6. ANEXOS

ANEXO A: Precio de envase Mobil de 4 litros.



AGUA LIMPIAPARABRISAS
HASTA 1 L

Mobil Super™ 2000 Fórmula P 10W-40

Servicio LUB 3

\$41.900*

Acumulas 419 puntos
Full Copec

- ✓ Semi Synthetic
- ✓ Rendimiento 10.000 KM
- ✓ Cuidado del motor ★ ★ ☆

ANEXO B: Cotización de machón de acoplamiento ILB.



ASISTENCIA TECNICA
EN MANEJO DE FLUIDOS

8		Machon de acople GE 148	\$240.500
---	--	---	-----------

ANEXO C: Cotización de álabes de bomba ILB.

Descripción	U.M.	Entrega días hábiles	Cantidad	Precio Unit.	Total
BUJE BRACKET	UNI	30-35	1	USD 228,00	USD 228,00
Empaquetadura BRKT/HEAD L-LL-LS	uni	30-35	1	USD 24,92	USD 24,92
EMPAQUETADURA	UNI	30-35	1	USD 24,92	USD 24,92
ROTOR SHAFT		30-35	1	USD 1.021,85	USD 1.021,85
PIÑON LOCO Y BUJE		30-35	1	USD 510,46	USD 510,46
BUJE PIÑON LOCO	UNI	30-35	1	USD 244,62	USD 244,62

Considerar plazo de entrega en DÍAS HÁBILES

ANEXO D: Cotización de piñón de reductor ILB.

Copec S.A				
Nos es muy grato presentar oferta de Servicios recuperación de Piñones y ejes				
1.- Oferta Económica				
1	Desarme e Inspección	1	298.723	298.723
2	Engranaje helicoidal Z:64	1	390.830	390.830
3	Engranaje helicoidal Z:51	1	661.266	661.266

ANEXO E: Cotización de servicio de alineamiento.

Estimados señores,
102448 - COPEC S.A.

Atención: Ítalo Herrera

E-mail: iherrera@copec.cl

Fono:

Celular: 32 2206664

Ref.: **ALINEACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE EQUIPO ETANORM SYT.**

En atención a la referencia, y de acuerdo a lo solicitado por Uds., tenemos el agrado de ofrecer lo siguiente:

Detalle de mano de obra				
Ítem	Cant.	Descripción	Precio c/u	Precio Total
1	1	Alineación y puesta en marcha	916.860	916.860
2	1	Traslado personal y viáticos	101.250	101.250
Sub Total				1.018.110

Resumen Oferta	
SUBTOTAL	1.018.110
IVA	193.441
TOTAL	1.211.551