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

Propuesta de mejoras, mediante ACR para bombas criticas del proceso de flotacion en planta las tortolas.

Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniero de Ejecución en mecánica de procesos y mantenimiento industrial.

Alumnos: Jaime Ignacio Carrasco Castro

Benjamín Pajarito Medina

Profesor Guía: Mg. Ing. Carlos Baldi González

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

Título del trabajo: Propuesta de mejoras, mediante ACR para bombas críticas del proceso de flotación en planta las tórtolas.

Nombre del candidato(a): Jaime Ignacio Carrasco Castro

Carrera / Grado: Ingeniería de Ejecución en mecánica de procesos y mantenimiento industrial.

Campus: Viña del mar **Departamento:** Departamento de mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Carlos Baldi González, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

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

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

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

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

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

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

4.- FIRMAS

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

Fecha: 28-10-2026 **Firma:** CARLOS ANDRES BALDI GONZALEZ Firmado digitalmente por CARLOS ANDRES BALDI GONZALEZ Fecha: 2026.10.28 15:44:29 -03'00'

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 28-10-2026 **Firma:** Jaime Carrasco

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

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

Título del trabajo: Propuesta de mejoras, mediante ACR para bombas críticas del proceso de flotación en planta las tórtolas.

Nombre del candidato(a): Benjamín Pajarito Medina

Carrera / Grado: Ingeniería de Ejecución en mecánica de procesos y mantenimiento industrial.

Campus: Viña del mar **Departamento:** Departamento de mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Carlos Baldi González, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

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

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

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

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

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

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

4.- FIRMAS

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

CARLOS ANDRES BALDI GONZALEZ

Firmado digitalmente por CARLOS ANDRES BALDI GONZALEZ
Fecha: 2026.10.28 15:41:56 -03'00'

Fecha: 28-10-2026 **Firma:** _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 28-10-2026 **Firma:**



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

AGRACEDIMIENTOS

Primero que todo quiero dar las gracias a dios por permitirme llegar hasta esta instancia también a mi familia, mi polola, mis hijos por el apoyo incondicional y la fortaleza que se me dio día a día para sobrellevar cada uno de los obstáculos que se viví durante este largo proceso.

Por otro parte darle las gracias a los profesores quienes nos entregaron todos sus conocimientos y ayudarnos en cada una de las dificultades.

Jaime Carrasco.

Principalmente dar las gracias a mi familia por siempre haber estado para mí en cada una de las dificultades que se me presentaron dentro del camino que tuve que recorrer durante este largo proceso, no olvidar cada uno de los consejos que me entregaron mis compañeros, profesores y amigos, que también creyeron en mí que si podía lograr llegar al final de esta hermosa etapa.

Benjamín Pajarito.

RESUMEN

Para el presente trabajo de título se plantea como objetivo principal la elaboración de una propuesta de mejora al plan de mantenimiento sobre las bombas centrifugas flotantes operadas por la empresa Relix Water, la cual es la responsable de proporcionar los datos e información necesarios para la resolución de la problemática presente.
El problema se basa en el poco manejo y control que presenta la empresa Relix wáter en el área de mantenimiento, área que al presente se encuentra en manos de una empresa externa.

Basado en lo mencionado, se dan a conocer los objetivos específicos necesarios para dar solución a la problemática.

Se presenta la empresa a través de su contexto operacional, identificando su proceso productivo, ubicación, aspectos generales, entre otros. Seguido de esto se determina el equipo critico a trabajar, seleccionado a través del diagrama de dispersión logarítmica.

Se dan a conocer las fallas más recurrentes del equipo, explicando de forma rigurosa su jerarquización a través de una matriz de criticidad, describiendo así las causas y efectos de cada una de las variables que intervienen en la generación de la falla de los elementos internos y externos del equipo.

Toda información descrita anteriormente, entrega las bases para determinar las posibles soluciones. Las soluciones propuestas son aplicadas a través del plan de mantenimiento, en donde se indican las actividades a realizar, los encargados de llevarlas a cabo y su frecuencia.

Finalmente se presenta la factibilidad técnica-económica de la mejora, examinando los costos asociados a la realización de las tareas por medio del indicador denominado valor actual de costos (VAC), en donde se consideran los costos de inversión, costos operacionales, costos de mantenimiento y su tasa de descuento correspondiente.

Este indicador nos permite saber cuál de los mantenimientos aplicados actualmente, en comparación contra los sugeridos para un futuro generarían mayor costo y así poder decidir entre cada uno de ellos cual es el más factible rentablemente.

En base a lo anterior, el costo de la implementación de la nueva mejora de mantenimiento da como resultado una rentabilidad favorable, obteniendo un ahorro promedio de 303,58 UF anualmente.

ABSTRACT

I For this title work, the main objective is to prepare a proposal to improve the maintenance plan for the floating centrifugal pumps operated by the company Relix Water, which is responsible for providing the data and information necessary for the resolution of problems. The present problem.

The problem is based on the poor management and control that the Relix water company presents in the maintenance area, an area that is currently in the hands of an external company.

Based on the above, the specific objectives necessary to solve the problem are made known.

The company is presented through its operational context, identifying its production process, location, general aspects, among others. Following this, the critical equipment to be worked on is determined, selected through the logarithmic scatter diagram.

The most recurrent failures of the equipment are made known, rigorously explaining their hierarchy through a criticality matrix, thus describing the causes and effects of each of the variables that intervene in the generation of the failure of the internal elements and external to the team.

All the information described above provides the basis for determining possible solutions.

The proposed solutions are applied through the maintenance plan, which indicates the activities to be carried out, those responsible for carrying them out and their frequency.

Finally, the technical-economic feasibility of the improvement is presented, examining the costs associated with carrying out the tasks through the indicator called current cost value (VAC), where investment costs, operational costs, maintenance costs are considered. and its discount rate corresponding to

This indicator allows us to know which of the maintenances currently applied, compared to those suggested for the future, would generate a higher cost and thus be able to decide between each of them which is the most profitable.

Based on the above, the cost of implementing the new maintenance improvement results in a favorable profitability, obtaining an average savings of 303.58 UF annually.

INDICE

INTRODUCCION

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA, ANALISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO Y PROBLEMÁTICA. 3

1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA 5

1.1 IDENTIFICACION DE LA EMPRESA. 5

1.2 EQUIPO DE TRABAJO 6

1.2.1 MISIÓN 6

1.2.2 VISIÓN 6

1.2.3. CLIENTES 6

1.3 PROCESO PRODUCTIVO. 7

1.3.1 LAYOUT PROCESO PRODUCTIVO. 8

1. FASE 1.3.2: LLEGADA DE MATERIA PRIMA. 8

1.3.3 FASE 2: BOMBEO DE PISCINAS PRIMARIAS 9

1.3.4 BOMBAS VERTICALES 9

1.3.5 TUBERIAS 10

1.3.6 FASE 3: BOMBEO DE PISCINAS SECUNDARIAS 10

1.3.7 MANÓMETROS 10

1.3.8 VARIADORES 11

1.3.9 FASE 4: LLENADO ESTANQUES TK. 12

1.4 PROBLEMÁTICA 12

1.4.1 DIAGRAMA DE DISPERSIÓN LOGARÍTMICA. 13

1.4.2 SELECCIÓN DEL EQUIPO CRITICO: BOMBA CENTRIFUGA FLOTANTE 14

CAPITULO 2: APLICACIÓN DEl METODO ACR 17

2.1. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA TECNICA DE ANALISIS CAUSA RAIZ.18

2.1.1 ETAPA I: CONFORMACION DEL EQUIPO NATURAL DE TRABAJO. 18

2.1.2 ETAPA II: DEFINICION Y JERARQUIZACION DE LOS PROBLEMAS. 19

2.1.3 ETAPA III: DEFINICION Y PRIORIZACION DE MODOS DE FALLA 19

2.1.3.1 MATRIZ DE CRITICIDAD 19

2.1.4 ETAPA IV: DEFINICIÓN Y VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS. 19

2.1.5 ETAPA V: DEFINICION DE LAS CAUSAS RAICES FISICAS, HUMANAS Y LATENTES. 20

2.1.6 ETAPA VI: IDENTIFICACION E IMPLEMENTACION DE LAS SOLUCIONES 20

2.1.7 ETAPA VII: EVALUACION DE LA EFECTIVIDAD DE LAS SOLUCIONES20

2.2 Modelo ACR propuesto para eliminar fallas criticas 21

2.2.1 Antecedentes y justificación 21

2.2.2 Conformación del equipo de trabajo 21

2.2.3 Definición y jerarquización de los problemas 22

2.2.4 ETAPA III: DEFINICION Y PRIORIZACION DE MODOS DE FALLA 23

2.2.4.1 MATRIZ DE CRITICIDAD 23
2.2.5 DEFINICIÓN Y VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS 27
2.2.6 ETAPA V: DEFINICION DE LAS CAUDAS RAICES FISICAS(CRF), 31
HUMANAS(CRH) Y LATENTES (CRL). 31
CAPITULO 3: PROPUESTA DE MEJORAS SOBRE EL PROCESO A TRAVÉS DE TAREAS PLANIFICADAS PARA SU EVALUACION TECNICA-ECONOMICA.35
3.1 ETAPA VI: IDENTIFICACION E IMPLEMENTACION DE LAS SOLUCIONES.36
3.1.1 PLANIFICACION DEL MANTENIMIENTO 36
3.1.2 PROGRAMA DE MANTENIMENTO 37
3.2 MEDIDAS BASICAS DE SEGURIDAD 38
3.3 FORMATO PAUTA DE TRABAJO 39
3.4 FORMATO DE CHECK LIST 40
3.5 ETAPA VII: EVALUACION DE LA EFECTIVIDAD DE LAS SOLUCIONES. 41
3.5.1 COSTOS ASOCIADOS A LAS SOLUCIONES 41
3.5.2 VAC PERIODO AÑOS ANTERORES (2019,2020,2021). 42
3.5.3 VAC CORRESPONDIENTE BASADO EN LA PROPUESTA DE MANTENIMINENTO PARA LOS AÑOS 2022,2023 Y 2024. 45
3.5.4 VAC CORRESPONDIENTE BASADO EN LA PROPUESTA DE MANTENIMINENTO PARA LOS AÑOS 2022,2023 Y 2024. 48
CONCLUSIÓN 50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Piscina quilapilum 1 5
Figura 1-2: Ubicación de la planta productiva 7
Figura 1-3: Layout proceso productivo 8
Figura 1-4: Instalación de bomba centrifuga vertical 9
Figura 1-5: Variador CFW-11 11
Figura 1-6: Diagrama de dispersión logarítmica Jack knife
Figura 1-7: Imagen equipo critico 14
Figura 3-1: Desglose modo de falla 42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Causas registradas para la realización del diagrama de dispersión
Tabla 2-1: Conformación equipo de trabajo
Tabla 2-2: Detalle de fallas y problemas
Tabla 2-3: Criterios de cálculos de criticidad
Tabla 2-4: Análisis de criticidad para bomba centrifuga
Tabla 2-5 Causas raíces de los modos de falla
Tabla 3-1: Formato de pauta de trabajo para bomba centrifuga

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

ACR: Análisis causa raíz

HDPE: Polietileno de alta densidad

ISO: Organización internacional de estandarización

DIN: Estándares técnicos

PN: presión nominal

SAR: Sistema de aguas saturadas

TK: Estanques de agua

MTTR: Tiempo medio de reparación

TPPR: Tiempo promedio para reparar

RPM: Revoluciones por minuto

VAC: Valor actual de costos

h: Hora.

HH: Hora hombre.

CRL: Causa raíz latente.

CRH: Causa raíz humana.

CRF: Causa raíz física.

Io: Inversión inicial.

Ct: Costos incurridos durante el periodo t.

n: Horizonte de evaluación.

r: Tasa social de descuento.

t: Tiempo de evaluación del costo.

IPC: índice de precios al consumidor.

SIMBOLOGÍA

lt/s: Litro por segundo.

f/s: Indisponibilidad de tiempo.

%: Porcentaje.

Uf: Unidad de fomento.

°C: Grados Celsius.

°F: Grados Fahrenheit.

mm: Milímetros.

$\frac{m^3}{h}$: Metro cubico por hora.

INTRODUCCIÓN

A día de hoy el mantenimiento se define como un conjunto de técnicas y normas establecidas para la preservación de un equipo o maquinaria para que proporcione su mejor rendimiento en el mayor tiempo posible, ya sea en las plantas industriales o en cualquier área que sea requerida.

Con el paso del tiempo el mantenimiento ha sufrido cambios debido a la irrupción del desarrollo tecnológico, es por esto que desde sus inicios era empleado solo de manera correctiva para solucionar fallas o piezas dañadas. Actualmente se han desarrollado departamentos para el mantenimiento que tienen como fin, no solo solucionar las fallas, sino que actuar antes y prevenir que se produzca un problema o avería con mayor consecuencia. Modernamente se pueden identificar tres tipos de mantenimiento; el predictivo, que se encarga del control de funcionamiento de la máquina en servicio, el preventivo, que encuentra y corrige los problemas menores antes que estos generen fallas y por último el correctivo, en el cual se realiza la reparación de una avería en el momento en que la maquina ha dejado de funcionar.

En estos tiempos modernos en los que se presenta una economía tan globalizada y mercados altamente competitivos el mantenimiento industrial es uno de los ejes fundamentales dentro de la industria ya que se está cuantificando en la calidad y cantidad de la producción.

Actualmente existen equipos y maquinarias que presentan gran relevancia en las funciones de un proceso. Es por esto que no solo bastan con los tipos de mantenimientos mencionados anteriormente si no que se necesita eliminar de raíz la causa de falla. No es suficiente con cambiar la pieza o elemento, también de debe plantear interrogantes que apunten a descubrir el por qué fallo.

En actualidad la empresa Relix Water posee un contrato para la reparación de las bombas centrifugas flotantes utilizadas en el proceso productivo a través de la empresa minera transnacional Anglo American, siendo esta la encargada del mantenimiento correctivo a los equipos, inclinándose por dar prioridad a la producción en vez de priorizar la vida útil de las bombas.

Además, la empresa operante debe cumplir con un mínimo diario de 35.000 a 40.000 metros cúbicos. Este valor va directamente relacionado con la materia prima proporcionada por los camiones aljibes y la llegada del agua del canal Ovejería, cualquier retraso por parte de estas dos fuentes generara sanciones económicas tanto para la empresa operante y para la encargada de la llegada de las aguas industriales.

Por otra parte, se debe tener en consideración que las fallas que pueda presentar una bomba, ya que una parada imprevista a causa de cualquier tipo falla puede llegar a generar una pérdida de 1.512 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$sobre el proceso.

Para esto se emplea el Análisis Causa Raíz (ACR), el cual es un método basado en el supuesto de que los problemas se resuelven de mejor manera corrigiendo o eliminando su causa raíz en vez de solo tratar su síntoma de inmediato. Para llevar cabo este método nos basamos en preguntas tan básicas como: ¿Por qué ocurrió? ¿Cuál es el problema? ¿Qué sea hará para prevenir que ocurra de nuevo?

Estas preguntas ayudan a definir las metas para así analizar las causas de manera correcta y lograr sus soluciones para prevenir las fallas.

El método se aplicará sobre la empresa Relix Water, la cual está encargada del suministro y supervisión de aguas industriales para el uso de operaciones mineras. En este caso no se dispone con un plan de mantenimiento programando para los equipos que se encuentran dentro del proceso, es por esto que en conjunto con un equipo de trabajo se espera detectar las principales fallas críticas, A modo de mejorar la confiabilidad del proceso se asignaran tareas de mantenimiento que ayudaran a evitar o minimizar los efectos de un fallo.

A fin de cuentas, se realizará un estudio técnico-económico con el fin de comprobar si las soluciones dictaminadas son factibles para la empresa y así lograr un buen plan de mantenimiento para los equipos; permitiendo obtener mejores resultados por la parte de la producción y por otra parte disminuyendo los gastos económicos que conlleva el desarrollo de realizar un mantenimiento predictivo.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Desarrollar una propuesta de mejora al sistema de bombeo del área de flotación de la planta las Tórtolas, a través de la aplicación de la metodología de análisis causa raíz, que contemple el estudio técnico y económico sobre la propuesta.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Diagnosticar la situación actual de la empresa, mediante la identificación de los activos que están presentes en el proceso productivo, a través de investigación, visitas técnicas, determinando la problemática mediante la elaboración de un diagrama de dispersión logarítmica Jack Knife.
- Analizar los modos de falla mediante la metodología ACR, jerarquizando su modo de fallas a través de una matriz de criticidad e identificando sus causas raíces físicas, humanas y latentes para cada modo de falla establecido.
- Proponer una mejora al plan de mantenimiento actual a través del estudio técnico-económico comprobando su vialidad a través del indicador VAC.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA, ANALISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO Y PROBLEMÁTICA.

1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA

Como capitulo inicial, se dará a conocer el modo de operación de la empresa, así como su realización del proceso de producción, identificando las tareas y equipos correspondientes; a partir de esto presentar la problemática del equipo.

1.1 IDENTIFICACION DE LA EMPRESA.

La empresa a cargo es ReliX Water la cual se especializa en entregar soluciones innovadoras en agua para los sectores de minería, agricultura e industriales. Al día de hoy presentan un equipo de ingeniería que utiliza conceptos innovadores, entregando ingeniería de detalle para cada proyecto basado en un estudio que considera los requerimientos de cada cliente.

ReliX no solo es la encargada de realizar las operaciones mencionadas anteriormente, sino que también de realizar su respectiva mantención de cada activo en los distintos proyectos que llevan a cabo.

Para esta ocasión Relix es la encargada de la operación y supervisión de bombas flotantes de la planta Las Tórtolas.



Figura 1-1. Piscina Quilapilum 1.

Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 04/07/22.

1.2 EQUIPO DE TRABAJO

Dentro del área de trabajo, la jerarquización está establecida a partir de un supervisor, quien está a cargo del tema administrativo, en el cual debe entregar las labores y ordenes de trabajo que deben realizar los operadores mecánicos, además de estar evaluando los parámetros de cada uno de los equipos que se encuentren dentro del área para que el proceso productivo se lleve a cabo y completarlo de la mejor manera posible.

El proceso se realiza en turnos rotativos de 7 días trabajados por 7 días descansados con jornadas diarias de 12 horas generando así un turno diurno y uno nocturno.

1.2.1 MISIÓN

El equipo profesional de ReliX Water posee una vasta experiencia trabajando en las condiciones geográficas y climáticas extremas de las operaciones mineras, cumpliendo con todos los requisitos de seguridad, del medioambiente y actuando con responsabilidad social.

1.2.2 VISIÓN

Son reconocidos internacionalmente por la conformidad de los servicios otorgados, ofreciendo soluciones innovadoras de tratamiento de agua, eficientes y rentables.

1.2.3. CLIENTES

En los últimos años, cada vez se ha hecho más difícil tener un acceso limitado al agua potable, de igual manera que las aguas industriales, ya sea por los efectos del calentamiento global, las sequías y/o a la falta de infraestructura. Es por esto que ReliX Water apoya a diversos sectores a hacer frente a la escasez de agua sin dejar de actuar de manera responsable desde el punto de vista ambiental y social.

Se atiende a clientes tales como:

- ANGLOAMERICAN
- ANTOFAGASTAMINERALS
- MINERA TRES VALLES
- AGRICOLA CHALLAPAMPA

1.3 PROCESO PRODUCTIVO.

El principal objetivo del proceso es el suministro de aguas claras, hacia la mina Los Bronces con aguas provenientes del tranque “Las TORTOLAS” perteneciente a ANGLO AMERICAN CHILE, ubicado en la comuna de Colina, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana de Santiago, Chile.



Figura 1-2: Ubicación de la planta productiva.
Fuente: Anglo American.

La zona demarcada de color rojo es donde se realiza el proceso de recirculación y descargas de aguas hacia la Planta 1 y Planta 2 Las Tórtolas a través de un sistema de bombas en balsa.

El proceso productivo está constituido por cuatro fases:

- Fase 1: Llegada de materia prima.
- Fase 2: Bombeo de piscinas primarias.
- Fase 3: Bombeo piscinas secundarias.
- Fase 4: Llenado estanques TK.

1.3.1 LAYOUT PROCESO PRODUCTIVO.

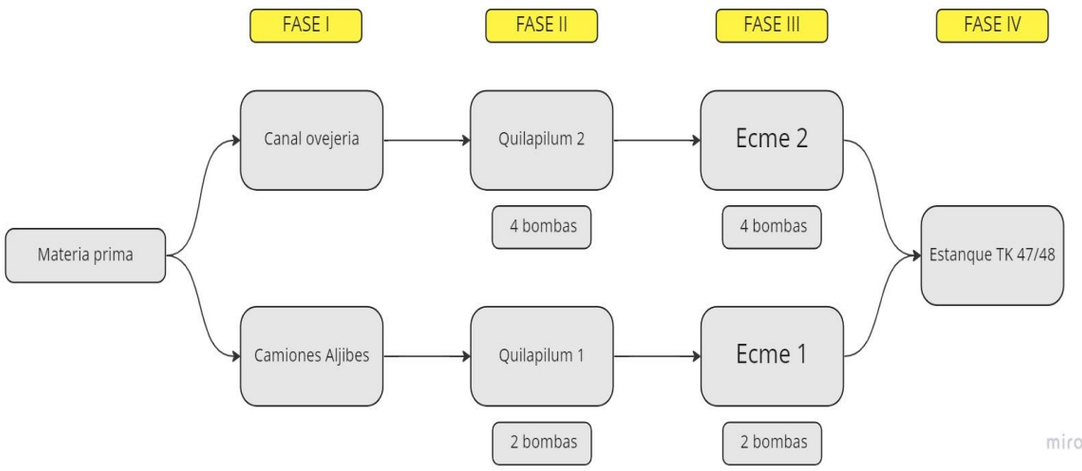


Figura 1-3: Layout proceso productivo.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura se ve el funcionamiento del proceso de las cuatro fases mencionadas anteriormente y en donde a continuación se explicarán detalladamente cada una de ellas.

1. FASE 1.3.2: LLEGADA DE MATERIA PRIMA.

En la primera parte del proceso se debe entender que la llegada de la materia prima es la base de cualquier proceso industrial, es decir nuestro punto de partida de la cadena productiva.

En este caso se cuenta con dos fuentes de alimentación encargadas de proveer el agua a utilizar, por una parte, es proveniente de camiones aljibes, los cuales se encargan de traer aguas residuales. Estas aguas son obtenidas de otras empresas que a través de su proceso productivo que generan aguas residuales las cuales no tienen la posibilidad de reutilizarlas o recircularlas en su proceso. De igual manera la búsqueda de este tipo de aguas se basa en no competir con las aguas de consumo humano ayudando así en la búsqueda de alternativas en donde no compiten con las aguas de consumo y así aportar con la escasez hídrica que hoy afecta a nuestro país.

De igual manera se cuenta con un segundo ingreso de aguas las cuales son provenientes del relave de la, mina Los Bronces a través del canal de Ovejería.

1.3.3 FASE 2: BOMBEO DE PISCINAS PRIMARIAS

La llegada de las aguas provenientes de los camiones aljibes son acumuladas en una piscina industrial denominada Quilapilum 1 la cual cuenta con dos bombas flotantes las cuáles serán las encargadas de impulsar el agua hacia la siguiente fase.

De igual manera las aguas que se integran desde el canal se acumulan en otra piscina de mayor capacidad que la primera, trabajada por cuatro bombas flotantes designada como Quilapulum 2.

1.3.4 BOMBAS VERTICALES

En esta parte del proceso el agua comienza a ser impulsada por las bombas de tipo cantiléver utilizadas para aplicaciones exigentes. Esta gama de bombas está diseñada para bombear todo tipo de líquidos, ya sean limpios, contaminados o fangos.

De esta manera el bombeo es independiente para cada una de las piscinas, pero a la misma vez trabajan de forma simultánea para así llevar el agua a la fase 3 del proceso.



Figura 1-4: Instalación bomba centrifuga vertical nueva

Fuente: Elaboración propia.

1.3.5 TUBERIAS

El agua es transportada por las bombas a través de tuberías HDPE, las cuales las son fabricadas bajo las normas ISO 4427-DIN 8074 siendo así de paredes lisas haciendo imposible la generación de algas al interior de ellas y formación de nidos de microorganismos.

Existen dos diámetros de tuberías presentes en el proceso de bombeo:

- Para la Línea 1 se utiliza una tubería HDPE de tipo PN16 la cual está preparada para trabajar a una presión nominal de 16 [bar], siendo así esta misma de un diámetro de 160 [mm].
- Para la Línea 2 se utiliza una tubería HDPE de tipo PN20 la cual está preparada para trabajar a una presión nominal de 20 [bar], siendo así esta misma de un diámetro de 200 [mm].

La Línea 1 une las aguas de la piscina Quilapilum 1 con su próxima piscina secundaria que será denominada como Ecme 1 y a su vez la Línea 2, con aguas provenientes de Quilapilum 2 se una con Ecme 2.

1.3.6 FASE 3: BOMBEO DE PISCINAS SECUNDARIAS

Fase similar a la anterior, en donde se realizará un bombeo de agua desde la piscina Ecme 1, con dos bombas y lo mismo sucederá en la piscina Ecme 2, con cuatro bombas. Las aguas serán desplazadas hacia la siguiente fase.

Para lograr los accionamientos y paradas del sistema de bombeo, las bombas son trabajabas en conjuntamente con variadores.

1.3.7 MANÓMETROS

A la salida de cada bomba se encuentra un manómetro encargado de medir la presión del líquido saliente, estos son análogos y la función principal que cumplen es comparar las lecturas con las registradas de los variadores de frecuencia.

1.3.8 VARIADORES

En este sistema productivo los variadores tienen la función de ajustar la velocidad y caudal de la bomba para así mantener su presión correcta en su valor de referencia establecido.

Reducirán la potencia de salida de una aplicación mediante el control de la velocidad del motor para así garantizar que el motor no funcione a velocidades superiores a la establecida.

Las bombas utilizadas trabajan con alta corriente de 380 Volts, de la marca WEG modelo CFW-11 que son alimentadas por transformadores y en donde el operador a cargo puede variar sus Hertz o RPM para así variar su flujo de salida.



Figura 1-5: Variador CFW-11.

Fuente: Elaboración propia.

1.3.9 FASE 4: LLENADO ESTANQUES TK.

En esta fase final las aguas provenientes de las piscinas secundarias se juntan y terminan su tratamiento en los estanques de agua de proceso TK 47/48 de la planta Las Tórtolas.

El agua acumulada en estos estanques se utiliza para alimentar el sistema de aguas recuperadas (SAR), para así lograr transformar estas aguas de tipos residuales en aguas claras para otros fines. De igual manera otro resto de las aguas son designadas para trabajos en la planta, así como procesos de molienda, flotación o recirculación de aguas.

1.4 PROBLEMÁTICA

Una vez mencionada detalladamente las fases y equipos que componen el proceso productivo, se debe buscar la problemática que se presenta dentro del contexto operacional.

Principalmente se debe tener en cuenta que no se aplica un plan de mantenimiento de manera preventiva sobre el proceso, sino que solo de forma correctiva.

Si bien en el lugar de operación se encuentran personas encargadas de monitorear el proceso, estas no se encuentran capacitadas para la reparación de algún equipo que presente fallas en el momento, es por eso que cuando ocurren cualquier tipo de anomalía se llama a técnicos de empresas externas para cumplir con las reparaciones, siendo así mayores los tiempos de falla.

La planta debe operar durante las 22 horas del día, para esto cada bomba debe impulsar entre 70-75 [lt/s], calculando de manera aproximada un flujo de aguas de 36.288 metros cúbicos, valor el cual puede variar debido a las distintas alteraciones que pueda presentar el sistema. Una parada imprevista de 1 hora a causa de cualquier falla puede llegar a generar una pérdida de 1.512 metros cúbicos sobre el proceso. Es por esto que ante a esta problemática se buscara reducir el número de fallas proponiendo mejoras sobre el área de mantención utilizando el método de análisis causa raíz (ACR).

Considerado el proceso productivo, comprendiendo su conjunto de tareas y procedimientos requeridos se deben de analizar las fallas críticas existentes para así determinar la jerarquía y prioridades del proceso, y así dirigir los recursos y esfuerzos a estas áreas donde será necesaria mejorar su confiabilidad operacional.

1.4.1 DIAGRAMA DE DISPERSIÓN LOGARÍTMICA.

La metodología se basa en el diagrama de priorización Jack Knife el cual permite determinar las prioridades del mantenimiento, ubicando estas actividades en un diagrama de dispersión en base a su cantidad de detenciones y tiempos de actividad de los equipos, dando como resultado un gráfico multicriterio ordenando los elementos de mayor criticidad.

El periodo investigado va desde el 04-04-2022 hasta el 07-06-2022 siendo un total de 64 días operativos. Para determinar cuáles serán las causas de mayor impacto dentro del proceso, el equipo realizo un historial de fallas, clasificando estas mismas a través de sus tiempos de detención, número de paradas y su tiempo medio entre fallas (MTTR), el cual está dado por la siguiente formula:

$$MTTR = \frac{Tiempo\ total\ de\ mantenimiento}{Cantidad\ de\ fallas}$$

Con la formula mencionada anteriormente, se construyó una tabla de datos con los resultados obtenidos para posteriormente realizar el diagrama de dispersión logarítmica.

A continuación, los datos más relevantes utilizados en la tabla.

Causas	C. de fallas	Tiempo (f/s) min.	MTTR
Piscinas de bombeo	13	2362	181,7
Tuberías	15	1685	112,3
Bomba centrifuga	23	4988	216,9
Motor eléctrico	17	3904	229,6
Fluido de canal	12	1448	120,7

Tabla 1-2: Causas registradas para la realización del diagrama de dispersión.

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de la tabla, se procede a realizar el diagrama de dispersión logarítmica Jack Knife resultando de la siguiente manera:

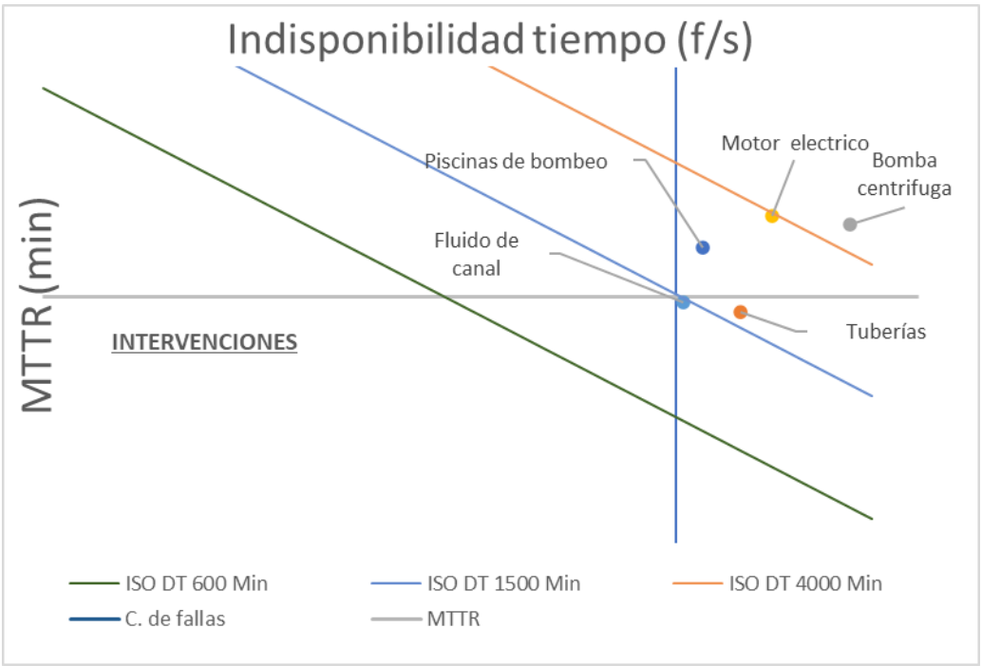


Figura 1-6: Diagrama de dispersión logarítmica Jack Knife.

Fuente: Elaboración propia.

A través del grafico mostrado anteriormente en la figura 1-6, se determinan los tiempos de indisponibilidad de las fallas más significativas del proceso productivo las cuales estarán ubicadas en el cuadrante superior derecho, siendo estas las que se ubican sobre la línea ISO DT indisponibilidad 4500 min.

En esta zona el cuadrante se presentan fallas agudas y crónicas, para esta ocasión el grafico entrega como resultado dos causas que superan la línea ISO DT 4000 min, las fallas eléctricas y la bomba centrifuga.

1.4.2 SELECCIÓN DEL EQUIPO CRITICO: BOMBA CENTRIFUGA FLOTANTE

Como se puede ver en el grafico representando anteriormente en la figura 1-5, existen dos fallas ubicadas en el cuadrante superior derecho, correspondientes a fallas agudas y crónicas.

Para la selección del equipo crítico, la empresa mandante dictamino que las fallas originadas por la bomba centrifuga son las que provocan mayor impacto productivo y a su vez las más repetitivas dentro del proceso, siendo este el equipo a evaluar.



Figura1-7: Imagen equipo crítico.

Fuente: Elaboración personal.

CAPITULO 2: APLICACIÓN DEL METODO ACR

2.1. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA TECNICA DE ANALISIS CAUSA RAIZ.

Cuando se genera una falla, esta se percibe por medio de manifestaciones o síntomas, no siendo estas sus causas principales. Esto conlleva que en muchas ocasiones se actúa sobre las consecuencias y no sobre la causa raíz del problema. Es por esto que existen diversas recomendaciones de técnicas que han recibido la denominación de Análisis Causa Raíz (ACR), las cuales tienen como propósito buscar soluciones efectivas a eventos de fallos. Es por esto que el método ACR ayudara a identificar la falla raíz que exista en un equipo o activo para así dar soluciones al problema que se presente según sea el caso.

Para identificar las causas de un suceso o una tendencia el análisis de raíz puede llevarse a cabo mediante una serie de principios, técnicas y metodologías que ayudaran en la recopilación de datos, gráficos e identificación de los problemas. Estas deben seguir cuatro pasos básicos los cuales son, la definición de la problemática, análisis del problema, la identificación de la solución y por último la implementación de la misma.

Para el presente estudio de investigación nos guiaremos por la metodología recomendada que se llevara a cabo de la siguiente manera:

1. Conformación del equipo natural de trabajo.
2. Definición y jerarquización de los problemas.
3. Definición y priorización de modos de falla.
4. Definición y validación de hipótesis.
5. Definición de las causas raíces físicas, humanas y latentes.
6. Identificación e implementación de las soluciones.
7. Evaluación de la efectividad de las soluciones.

A continuación, se explicará en qué consiste cada uno de estos puntos y sus etapas.

2.1.1 ETAPA I: CONFORMACION DEL EQUIPO NATURAL DE TRABAJO.

Para conformar un equipo de trabajo lo principal es definir un grupo pequeño de personas, las cuales deben estar diversificadas en sus funciones dentro de la operación y de esta manera aportaran conocimientos distintos del producto, conociendo así las áreas técnicas correspondientes por cada integrante. Además de esto deben contar con el tiempo necesario y poseer la autoridad requerida para ejercer acciones y decisiones durante el proceso de la investigación.

2.1.2 ETAPA II: DEFINICION Y JERARQUIZACION DE LOS PROBLEMAS.

En esta etapa se definirá de manera adecuada los problemas para el equipo de trabajo respondiendo de manera estructurada las siguientes preguntas:

- ¿Qué fue lo que sucedió? Se responderá a nivel de sistema y equipo.
- ¿Cuándo sucedió? Se establecerán las fechas y frecuencias de los eventos.
- ¿Donde ocurrió el problema? Se agruparán las instalaciones para que permita visualizar si hay diversos problemas en una misma área.

2.1.3 ETAPA III: DEFINICION Y PRIORIZACION DE MODOS DE FALLA

Para esta parte del proceso se buscará describir el problema a través de hechos y datos reales aportados por aquellos trabajadores que se encuentran relacionados directamente con el mismo.
Las informaciones entregadas deben ser precisa y detallada para que el problema sea conceptualizado y entendido de manera correcta por el equipo de trabajo.

2.1.3.1 MATRIZ DE CRITICIDAD

Para el mantenimiento la criticidad corresponde al indicador que se usa para determinar el grado de importancia de uno o varios activos para un determinando proceso de producción, es por esto que se analizaran y evaluaran los modos de fallas de la bomba centrifuga a través de una matriz de criticidad basada en distintos criterios.

2.1.4 ETAPA IV: DEFINICIÓN Y VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.

Las hipótesis es una fase más del proceso para encontrar la causa raíz. Esta muestra la transición entre los modos de fallo y las determinaciones de las causas raíces donde se identificarán las causas más probables por las que han podido ocurrir esos modos de fallo.
La validación de la hipótesis debe ser realizada de la forma más objetiva posible ya que de ser verificada, esta se convertirá en la causa raíz física.

2.1.5 ETAPA V: DEFINICION DE LAS CAUSAS RAICES FISICAS, HUMANAS Y LATENTES.

Verificada la hipótesis a partir de los datos e información técnica necesaria pasa a ser tratada como una causa, la cual es clasificada como:

- Causa raíz física: aquellas relacionadas con materiales o cosas tangibles. Involucran dichas situaciones o manifestaciones de origen físico que afectan la continuidad operativa del proceso.
- Causa raíz humana: generadas por fallos ocasionados por las intervenciones inapropiadas de un ser humano. El factor humano puede incidir de manera directa o indirectamente en la ocurrencia del fallo.
- Causa raíz latente: esta causa está relacionada con la falta o deficiencia en los sistemas gerenciales o administrativos, agrupa todos esos problemas que a pesar de que nuca se han generado, es factible su ocurrencia.

2.1.6 ETAPA VI: IDENTIFICACION E IMPLEMENTACION DE LAS SOLUCIONES

Las soluciones a un problema deben seleccionarse si éstas evitan o al menos reducen tanto la recurrencia del fallo o problema como el impacto a la seguridad de las personas, el ambiente, a la calidad y a la producción (Woodhouse, 1999)

Por otra parte, las soluciones deben ser respaldadas a través de un Análisis Costo Beneficio para justificar su aplicación.

2.1.7 ETAPA VII: EVALUACION DE LA EFECTIVIDAD DE LAS SOLUCIONES

Posteriormente a la realización de las soluciones y sus planes de acción, se deben planificar tareas de mantenimiento para la evaluación de vialidad de la propuesta de mejora a través de un estudio técnico-económico.

2.2 Modelo ACR propuesto para eliminar fallas criticas

2.2.1 Antecedentes y justificación

Las bombas centrifugas serán los equipos de producción directa dentro de nuestro sistema, las cuales están encargadas de transformar la energía mecánica en energía cinética de presión a un fluido. Estos activos permiten aumentar la velocidad de los fluidos para que estos puedan desplazarse a través de grandes distancias.

El análisis de causas de fallas sobre estos equipos es realizado por el servicio técnico de los representantes de los fabricantes, al ser de esta forma se priva de bastante información relevante para la empresa operante. Es por esta razón que se buscara la oportunidad de aprender y desarrollar las habilidades necesarias para identificar las causas raíces humanas, físicas y latentes para lograr la efectividad de sus propuestas.

Dentro del sistema de bombeo operan 12 bombas centrifugas flotantes verticales, en las cuales una falla de estas reflejaría un gran impacto dentro del proceso productivo por lo que se buscara realizar un buen mantenimiento preventivo para así continuar la operación de la producción sin inoportunos. Para lograr esto se deben vigilar de cerca aquellas posiciones que debido a su criticidad puedan parar la producción y se requiera intervenir de manera inmediata antes de que la falla pueda ir a más.

Hay que lograr un perfecto seguimiento sobre estos equipos ya que es de vital importancia tenerlos identificados de manera correcta para asignar exactamente sus trabajos requeridos, ya sean inspecciones periódicas, planes de mantenimiento preventivos o trabajos correctivos.

Es por esto que se conformara un equipo de trabajo, el cual se encargará de realizar un seguimiento sobre las fallas que presente la bomba en el periodo de tiempo determinado.

2.2.2 Conformación del equipo de trabajo

El equipo natural de trabajo es el conjunto de personas encargadas de cumplir el análisis para dar solución al problema y así mismo proponer mejoras para el futuro. El grupo se conformará por los siguientes responsables.

NOMBRE	ROL	CARGO
Sebastian Farias	Facilitador	Supervisor de operaciones
Alejandro Zuñiga	Lider	Operador de producción
Emerson Pilquiman	Participantes	Operador de producción
Benjamin Pajarito	Participantes	Participantes memoristas
Jaime Carrasco	Participantes	Participantes memoristas

Tabla 2-1: Conformación equipo de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla, se muestran los integrantes y su rol en el equipo, quienes establecerán reuniones de forma periódica en donde se trabajarán los antecedentes de fallas para encontrar soluciones en conjunto.

2.2.3 Definición y jerarquización de los problemas

El análisis del problema comienza con la recopilación de datos de las fallas del equipo.

Se procede a realizar una lista con las 23 fallas correspondientes a la bomba centrífuga durante el periodo del primer semestre del año 2022:

N°	¿QUÉ?	¿CUÁNDO?	¿DÓNDE?
1	Desalineación	28-06-2022	Planta las Tórtolas
2	Falla de rodamientos	19-06-2022	Planta las Tórtolas
3	Contaminación al interior de tuberías	13-06-2022	Planta las Tórtolas
4	Rotura de sello mecánico	07-06-2022	Planta las Tórtolas
5	Holguras excesivas	01-06-2022	Planta las Tórtolas
6	Falla de bujes	27-05-2022	Planta las Tórtolas
7	Contaminación al interior de tuberías	24-05-2022	Planta las Tórtolas
8	Sobretensión	16-05-2022	Planta las Tórtolas
9	Falla acoplamientos	05-05-2022	Planta las Tórtolas
10	Rotura de sello mecánico	19-04-2022	Planta las Tórtolas
11	Sobretensión	11-04-2022	Planta las Tórtolas
12	Bolsas de aire en la tubería	03-04-2022	Planta las Tórtolas
13	Rotura de sello mecánico	31-03-2022	Planta las Tórtolas
14	Falla de rodamientos	29-03-2022	Planta las Tórtolas
15	Partes desprendidas dentro de la bomba	18-03-2022	Planta las Tórtolas
16	Desalineación	06-03-2022	Planta las Tórtolas
17	Rotura de sello mecánico	28-02-2022	Planta las Tórtolas
18	Rotura de sello mecánico	20-02-2022	Planta las Tórtolas
19	Contaminación al interior de tuberías	14-02-2022	Planta las Tórtolas
20	Falla de rodamientos	12-02-2022	Planta las Tórtolas
21	Falla de bujes	25-01-2022	Planta las Tórtolas
22	Sobretensión	17-01-2022	Planta las Tórtolas
23	Falla de rodamientos	05-01-2022	Planta las Tórtolas

Tabla 2-2: Detalle de fallas y problemas.

Fuente: Registro de fallas bomba centrifuga primer semestre 2022.

2.2.4 ETAPA III: DEFINICION Y PRIORIZACION DE MODOS DE FALLA

Una vez definidas las fallas del equipo, se procederá a jerarquizarlos en función a su criticidad, es decir, desde su mayor a menor impacto en el sistema productivo. Se construirá una tabla de criterios basada por los datos e informaciones entregadas por la empresa.

2.2.4.1 MATRIZ DE CRITICIDAD

De acuerdo a la matriz de criticidad, esta permite otorgar prioridad a los modos de fallas para su correcta aplicación de mantenimiento preventivos correspondientes.

La criticidad está totalmente relacionada con el riesgo, generando así una estructura que facilite la toma de decisiones efectivas y acertadas, además de direccionar recursos técnico-económicos sobre las áreas y eventos que contienen mayor impacto en la empresa.

En este caso se analizará 10 modos de fallas distintos, utilizando para ello la siguiente formula:

Criticidad = Frecuencia de falla * Consecuencia

Siendo la Consecuencia:

Consecuencia = {(Impacto Operacional * Flexibilidad * TPPR) + Costo Mantenimiento + Impacto Seguridad + Impacto Ambiente}

A continuación, se presentan las tablas utilizadas para el cálculo de la priorización de riesgo mostrando los distintos criterios para la asignación de las ponderaciones correspondientes:

Frecuencia de falla	
Menos de 1 falla por año	1
Entre 2 y 4 fallas por año	2
Entre 5 y 8 fallas por año	3
Entre 9 y 12 fallas por año	4
Mas de 12 fallas por año	5
Impacto operacional	
Parada inmediata de toda la producción	10
Afecta más del 50% a la producción	7
Afecta menos del 50% a la producción	4
No afecta a la producción	1
Costos de mantenimiento	
Menos de 30 UF	3
Entre 31 UF y 300 UF	4
Mas de 301 UF	5

Flexibilidad operacional	
No existe opción de producción	10
Sistema puede seguir funcionando	7
Se dispone de equipo igual o similar	4
Impacto ambiente	
Alto	3
Medio	2
Bajo	1
Tiempo medio entre fallas (MTTR)	
Menos de 1 hora	1
Entre 1 y 8 horas	4
Entre 8 y 24 horas	7
Mas de 24 horas	10
Impacto seguridad	
Afecta a la seguridad humana	10
Afecta las instalaciones causando daños severos	7
Provoca daños menores, incidentes - accidentes	1
No provoca daño a personas, instalaciones o al ambiente	0

Tabla 2-3: Criterios para cálculo de criticidad.

Fuente: Elaboración propia.

Las ponderaciones obtenidas se clasificarán de la siguiente manera:

- Baja criticidad: entre 1 y 30.
- Media criticidad: entre 31 y 60.
- Alta criticidad: más de 61.

Establecidos los valores de todos los criterios a utilizar se procederá a realizar el cálculo final con el fin de poder determinar los elementos más críticos en el sistema de producción. En la siguiente tabla 2-7 se mostrarán los resultados obtenidos.

Análisis de criticidad									
Modo de falla	Frecuencia de falla	Impacto operacional	Flexibilidad	MTTR	Costo de mantenimiento	Impacto de seguridad	Impacto ambiente	Consecuencia	Criticidad
Falla de rodamientos	2	4	3	2	2	10	3	39	**78**
Rotura de sello mecánico	3	7	2	2	2	7	3	40	**120**
Falla de bujes	2	1	2	1	1	1	2	6	12
Sobretensión	2	4	3	3	2	10	3	51	**102**
Partes desprendidas dentro de la bomba	1	2	1	1	1	7	1	11	11
Holguras excesivas	1	1	2	1	1	1	1	5	5
Desalineación	2	4	3	3	2	7	2	47	**94**
Falla acoplamientos	1	1	2	2	1	1	1	7	7
Contaminación de tuberías	2	1	3	1	1	1	3	8	16
Bolsas de aire en la tubería	1	1	2	1	1	7	1	11	11

Baja criticidad		Media criticidad		Alta criticidad	

Tabla 2-4: Análisis de criticidad para bomba centrifuga.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 2-7 se puede apreciar que para cada modo de falla correspondiente se le otorgara una ponderación relacionada con la criticidad y así lograr jerarquizarlos de mayor a menor. El análisis nos permite dar prioridad a los modos de fallas más severos dentro del sistema, para este caso se presentaron 10 modos de fallas distintos arrojando como consecuencia que existen cuatro modos de falla de alta criticidad, siendo estos los siguientes:

- Rotura de sello mecánico.
- Sobretensión.
- Desalineación.
- Falla por rodamiento.

2.2.5 DEFINICIÓN Y VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

Una vez definidos los modos de fallo se procederá a definir y validar las hipótesis, las más probables deberán hacerlo con hechos mientras que las inconsistentes deberán ser descartadas. Se describirá cada una de las hipótesis y su respectiva validación.

1. Modo de falla: Bolsas de aire en la tubería.

   Hipótesis:

   1.1 Válvulas eliminadoras de aire: encargados de mantenimiento realizan inspección a cada una de las válvulas de admisión-expulsión dentro del sistema verificando que estas operan en correctas condiciones. **Descartada.**

2. Modo de falla: Contaminación al interior de tuberías.

   Hipótesis:

   2.1 Disminución de caudal: Al realizar inspección visual se observa que la línea no presenta gran tipo de residuo al interior que impida el paso de las aguas.



3. Modo de falla: Falla de acoplamiento.

   Hipótesis:

   3.1 Selección de acoplamientos: es la correspondiente para los requisitos específicos de su aplicación. **Descartada**.



3.2 Lubricación: empresas externas a la operante realizan tareas de lavado y lubricación sobre estas partes con el fin de mejorar su confiablidad y tiempo de actividad. **Descartada.**





4. Modo de falla: Partes desprendidas dentro de la bomba.

   Hipótesis:

   4.1 Presencia de solidos: coladeras o cedazos instalados en las líneas de succión. **Descartada.**



5. Modo de falla: Falla de bujes.

   Hipótesis:

   5.1 Selección del buje: bujes a utilizar son fabricados de acuerdo a su solicitud de diámetro, tolerancia del eje, alojamiento y largo correspondiente. **Descartada.**

6. Modo de falla: Holguras excesivas:

Hipótesis:

6.1 Falta de apriete en tornillos de fijación: los pernos al ser revisados se pueden observar que se encuentran dentro de la tolerancia de fuerza establecida por el fabricante. **Descartada.**

7. Modo de falla: Rotura de sello mecánico.

Hipótesis:

7.1 Diseño y selección: el sello es seleccionado de manera correcta según catalogo del fabricante. **Descartada**

7.2 Instalación incorrecta del sello mecánico: se verifico que esta causa de falla se genera debido a que el elemento supera las horas de trabajo establecidas por el fabricante. **Validada.**



7.3 Mantenimiento inadecuado: no existe un plan de mantenimiento sobre el equipo, lo que hace más corta la vida útil de los componentes. **Validada.**



8. Modo de falla: Falla en los rodamientos.

Hipótesis:

8.1 Rodamientos incorrectos: la elección del rodamiento utilizado no es el indicado para las horas de trabajo correspondientes de la bomba. **Validada.**

9. Modo de fallo: Sobretensión.

Hipótesis:

9.1 Valores elevados sobre los establecidos: Se realizaron mediciones, las cuales no se encontraban bajo los parámetros ideales. **Validada.**



10. Modo de falla: Desalineación.

Hipótesis:

10.1 Exceso de vibraciones: se designó a una empresa externa dedicada al área de vibraciones para realizar mediciones sobre la bomba dando como resultado que el equipo no trabajaba sobre los parámetros correctos. **Validada.**

10.2 Desequilibrio de la bomba: el personal de instalación no se encuentra totalmente capacitado para la correcta instalación y alineación de las bombas. **Validada.**

2.2.6 ETAPA V: DEFINICION DE LAS CAUDAS RAICES FISICAS(CRF), HUMANAS(CRH) Y LATENTES (CRL).

Posterior a la jerarquización de los modos de fallo y su selección sobre los de mayor impacto, se procederá a definir y validar las distintas hipótesis mencionadas en el apartado anterior, las cuales fueron el producto de una lluvia de ideas entre los integrantes del equipo de trabajo.

Las hipótesis se validaron mediante inspecciones en terreno en conjunto con los expertos en la materia de mantenimiento de las bombas (contratistas), es por esto que las hipótesis que no fueron descartadas fueron analizadas en detalle para la definición de sus posibles causas raíces y como consecuencia de esto proponer distintas recomendaciones que ayuden a mejorar la confiabilidad y disponibilidad del equipo.

A continuación, se mostrará la tabla con los tipos de causas asociadas a cada modo de fallo correspondiente validados en el punto anterior de la investigación:

	MODOS DE FALLA	**HIPÓTESIS**	**CAUSAS RAICES FÍSICAS, HUMANAS Y LATENTES.**	**RECOMENDACIONES**
7	Rotura de sello mecánico.	7.2 Instalación incorrecta del sello mecánico.	7.2.1 Escape del fluido hacia el exterior (CRF).	Realizar el cambio del sello mecánico en las horas recomendadas por el fabricante. Inspecciones rutinarias de manera preventiva y creación de un cronograma de mantenimiento basado en el tiempo de operación de la bomba. Contratación de un personal fijo de mantenimiento en la planta el cual se encuentre capacitado a realizar el procedimiento correspondiente de mantención.
			7.2.2 Mal montaje de los elementos por parte de los mantenedores (CRH).	
			7.2.3 Falta de capacitación. Procedimiento erróneo. Falta de supervisión (CRL).	
		7.3 Mantenimiento inadecuado	7.3.1 Sello falla antes de cumplir su ciclo de vida útil (CRF).	
			7.3.2 No hubo supervisión periódica. Nula limpieza y lubricación (CRH).	
			7.3.3 La empresa opta por un mantenimiento correctivo (CRL)	

8	Falla en los rodamientos	8.1 Rodamientos incorrectos	8.1.1 Rodamiento de la bomba presenta desgaste, producto de sus excesivas horas de trabajo. (CRF)	Analizar el requerimiento del rodamiento a utilizar. Realizar la compra del rodamiento según las horas de trabajo requeridas de la bomba. Inspección para determinar que el rodamiento instalado sea el correcto.
			8.1.2 Errónea selección del rodamiento, ya que se realizó sin tomar en cuenta los parámetros establecidos por el fabricante (CRH).	
			8.1.3 Búsqueda de nuevos proveedores (CFL).	
9	Sbretensión	9.1 Valores elevados sobre los establecidos.	9.1.1 Presencia de alteraciones en el panel de control de la bomba (CRF).	Contratación de un equipo externo encargado de incorporar un sistema de alarma con el propósito que cada vez que las bombas en funcionamiento trabajen sobre sus parámetros establecidos para no generar alteraciones en el sistema de control.
			9.1.2 Operador de turno sobre exige los parámetros establecidos sobre el funcionamiento de la bomba (CRH).	
			9.1.3 Personal no competente (CRL).	
10	Desalineación	10.1 Exceso de vibraciones	10.1.1 Presencia de ruidos y dificultades para operar dentro del sistema (CRF).	Contratación de empresa externa calificada en el área de medición de vibraciones para la identificación del problema. Revisar el correcto montaje de la bomba, alertar en cualquier caso de operación inadecuada o detener el equipo de ser necesario. Crear inspecciones periódicas preventivas.
			10.1.2 Mal montaje de los elementos. Operaciones inadecuadas. No detener el equipo en el momento oportuno (CRH).	
			10.1.3 Falta de capacitación por parte del personal a cargo (CRL).	
		10.2 Desequilibrio de la bomba	10.2.1 Desequilibrio de la bomba debiéndose investigar la falla natural (CRF).	
			10.2.2 Procedimiento de instalación mal ejecutado. (CRH).	
			10.2.3 Errores de instalación. No existe supervisión para este tipo de reparaciones (CRL).	

Tabla 2-5: Causas raíces de los modos de fallo

Fuente: Elaboración propia.

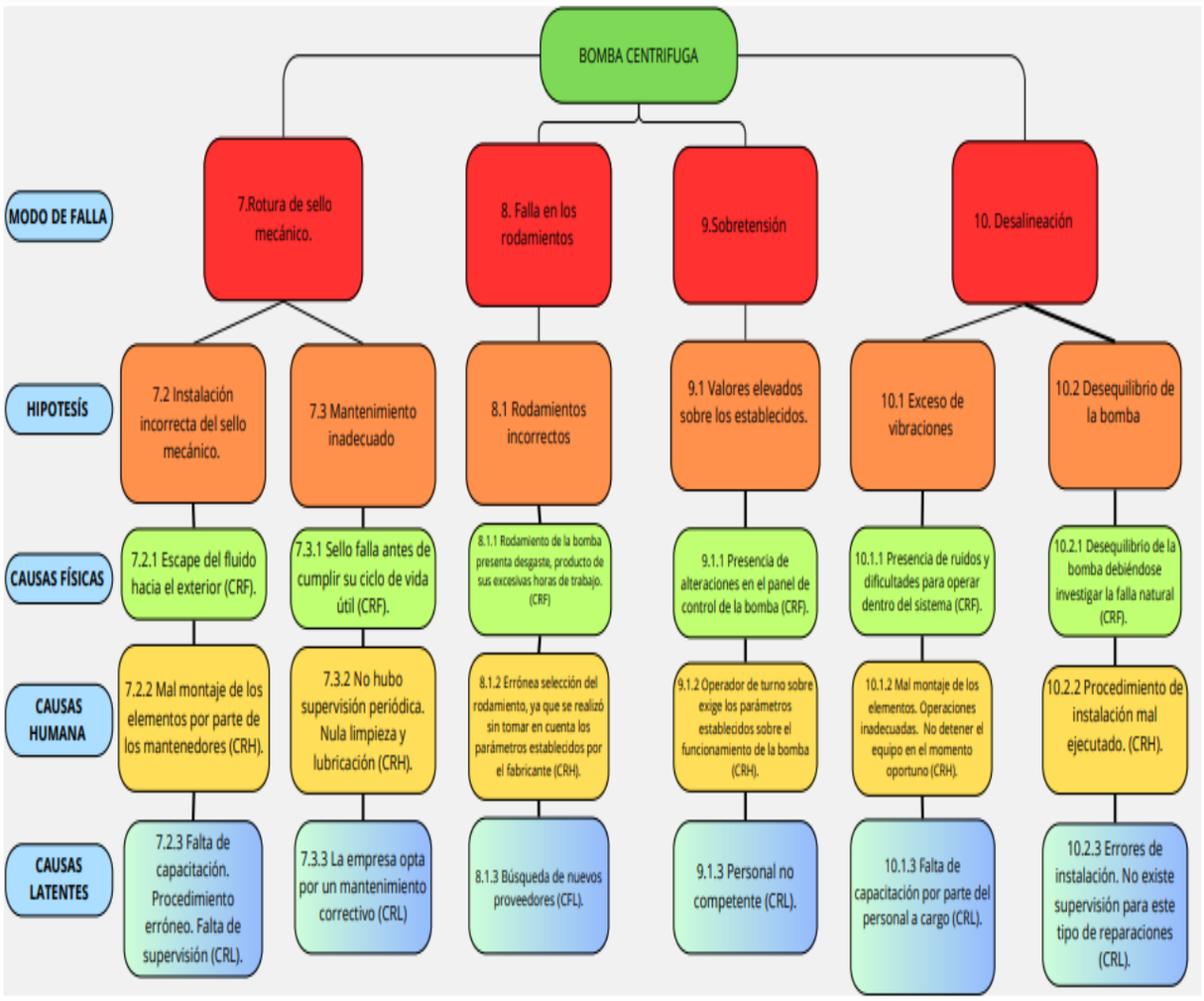


Figura 3-1: desglose de modos de falla

Fuente: Elaboración propia a través de programa Miro.

A continuación, en el siguiente capitulo se explicará las tareas de mantención que se deben aplicar para los modos de fallas determinados y así poder lograr disminuir su cantidad de fallas, por lo cual a través de un estudio técnico-económico se podrá observar si es viable dichas propuestas.

CAPITULO 3: PROPUESTA DE MEJORAS SOBRE EL PROCESO A TRAVÉS DE TAREAS PLANIFICADAS PARA SU EVALUACION TECNICA-ECONOMICA.

3.1 ETAPA VI: IDENTIFICACION E IMPLEMENTACION DE LAS SOLUCIONES.

3.1.1 PLANIFICACION DEL MANTENIMIENTO

A partir de la identificación de las causas raíces para el caso de investigación en conjunto con el equipo se procederá a plantear y proponer una planificación sobre las tareas de mantenimiento que se deberán realizar sobre el equipo con el fin de prevenir la recurrencia de fallas y controlar sus efectos para el correcto funcionamiento.

Al presente, la empresa operante no cuenta con un plan de mantenimiento lo que provocará que los riesgos de las fallas se multipliquen a lo largo del tiempo.

La forma de operar que tienen actualmente al momento de percibir una falla en el sistema es mediante empresas contratistas externas las cuales realizan solo operaciones de mantenimiento correctivas, es por esto que se requiere implementar un cambio sobre la ejecución de los mantenimientos de la empresa generando un enfoque en disminuir las mantenciones correctivas y así aumentar la disponibilidad de los equipos.

El principal objetivo de las tareas de mantenimiento será mantener la vida útil de los activos, para esto es necesario la implementación de distintos planes de mantenimiento, buscando que la mayoría de estos sean de tipo preventivos.

Para el proyecto presentado se recomendará un plan de mantenimiento preventivo para las fallas más críticas del proceso, realizando un diseño para los procedimientos y tareas que se deberán llevar a cabo. Para poder lograr esto, se trabajará con pautas de trabajos y formatos Check List.

La creación de estas planillas será realizada bajo el análisis de criticidad realizado anteriormente, que arrojo como resultado que los modos de falla más críticos serian la fuga de producto por ello mecánico, falla en los rodamientos, sobretensión y desalineación.

Se dictarán tareas de mantenimiento las cuales, al ser una actividad tan completa, los

trabajadores se exponen a ciertos riesgos al momento de realizar dichas labores, es por esto que se debe primar por la seguridad y la prevención, ante todo, para así lograr un entorno de trabajo seguro.

3.1.2 PROGRAMA DE MANTENIMENTO

A continuación, se describirán todas las acciones y/o actividades sobre el mantenimiento del equipo para que este opere en sus mejores condiciones.

Para la realización de la planificación, se deberá de responder a un cuestionario donde se presentarán diversas preguntas, las cuales otorgarán la información necesaria para la persona encargada a realizar la labor.

Planificación de mantención		
Preguntas.		Bomba centrifuga flotante.
1	¿Qué trabajo se requiere realizar?	1.1 Mantención a bomba centrifuga flotante.
		1.2 Inspección de fugas por producto del sello mecánico.
		1.3 Inspección de los rodamientos de la bomba.
		1.4 Inspección del panel de control.
		1.5 Inspección de las vibraciones de la bomba.
2	¿Por qué se debe realizar?	2.1 Mantención preventiva.
		2.2 Evitar las mantenciones correctivas.
3	¿Cuáles son las recomendaciones del fabricante o especialista para esta actividad? ¿Se consideran en el alcance del trabajo?	3.1 Mantenimiento de rutina.
		3.2 Inspecciones de rutina.
		3.3 Inspecciones mensuales.
		3.4 Inspecciones de temperatura.
		3.5 Cambio de aceite.
		3.6 Medición de presión.
		3.7 Limpieza y engrase de rodamientos.
		3.8 Inspección de las conexiones.
4	¿Cómo se debe realizar el trabajo?	4.1 Des energizar el equipo a través del tablero eléctrico.
		4.2 Cierre de válvulas que permitan el flujo de aguas hacia la bomba.
		4.3 Notificar que se realizara una intervención de mantención.
		4.4 Trasladar herramientas e instrumentos a utilizar al lugar de trabajo.

Figura 3-1: Formato de pauta de trabajo para planificación de las tareas de mantenimiento.

Fuente: elaboración propia.

3.2 MEDIDAS BASICAS DE SEGURIDAD

El gran riesgo que supone realizar trabajos de mantenimiento hace que sea primordial establecer unos principios básicos de prevención, aplicables para cualquier operación. Es por esto que se presentara un protocolo a seguir que consta de los siguientes pasos:

- Planificar los trabajos de mantenimiento teniendo en cuenta sus posibles riegos, los cuales deben se ser previamente evaluados por la empresa.
- Llevar a cabo un plan de mantenimiento establecido y tener siempre información a mano sobre las condiciones de seguridad en el diseño de la maquinaria, herramientas y equipo.
- Concretar el número de personas que intervendrán en el trabajo, además de definir el tiempo y los medios necesarios para la operación.
- Sera indispensable las herramientas y equipos de trabajo apropiados para la intervención.
- Crear un vínculo de comunicación entre los trabajadores de mantenimiento y los operadores del equipo en cuestión.
- Mantener la seguridad en el área de trabajo por medio de señalizaciones y/o demarcaciones. Además, se debe conservar la zona intervenida de manera limpia, ordenada y segura.
- Advertir sobre el bloqueo de equipos a través de etiquetas o medios similares.
- Comprobar que el trabajo se haya completado exitosamente para finalizar con un informe que describa el trabajo efectuado, en el que figuren las dificultades encontradas y recomendaciones de mejora.

Además de los puntos mencionados anteriormente, al personal involucrado en la realización se las tareas se le exigirán los siguientes requerimientos:

- Todo aquel individuo que participe en las intervenciones de las tareas de mantenimiento deberá recibir una capacitación en relación a la seguridad y a los peligros que se puedan presentar realizando dichas labores.
- Personal debe llevar ropa adecuada para el trabajo, prohibiendo la ropa suelta, accesorios.
- Personal que posea el pelo largo deberá llevarlo de forma recogida.
- El personal que se encuentre trabajando debe estar totalmente informado de los aspectos de seguridad del equipo y de los posibles peligros en el área.

3.3 FORMATO PAUTA DE TRABAJO

Entendidos los conocimientos de peligro existentes y sus puntos de seguridad a la hora de intervenir el equipo, se procederá a establecer la pauta de trabajo en donde se especificarán la serie de pasos a seguir para la realización de las tareas.

La pauta es muy importante debido a que nos entrega las tareas a realizar, quien las realiza y su respectivo registro del trabajador con su nombre, firma y fecha de la intervención.

A continuación, en la tabla 2-1 se mostrará el formato propuesto que tendrá la pauta utilizada para el equipo de la bomba centrifuga, la cual fue enfocada en los modos de falla más críticos que arrojo la jerarquización realizada anteriormente:

	Pauta de trabajo Bomba Centrifuga					
	Lista de actividades	Proceso productivo planta Las Tórtolas				
	Tarea a realizar	Realiza	Nombre	Firma	Fecha	H H
	Preparación					
1	Identificación de los riesgos y charla de seguridad.	Contratista				
2	Elección de herramientas a utilizar.	Mecánico				
3	Orden y limpieza del lugar a intervenir.	Mecánico				
	Mantención					
4	Llenado de documentación	Mecánico				
5	Des energizar motor eléctrico.	Operador, Mecánico				
6	Prueba de energía cero.	Operador, Mecánico				
	Rotura del sello mecánico.					
7	Desmontar sello mecánico en mal estado.	Mecánico				
8	Montar nuevo sello mecánico.	Mecánico				

Tabla 3-1: Formato de pauta de trabajo para bomba centrifuga.

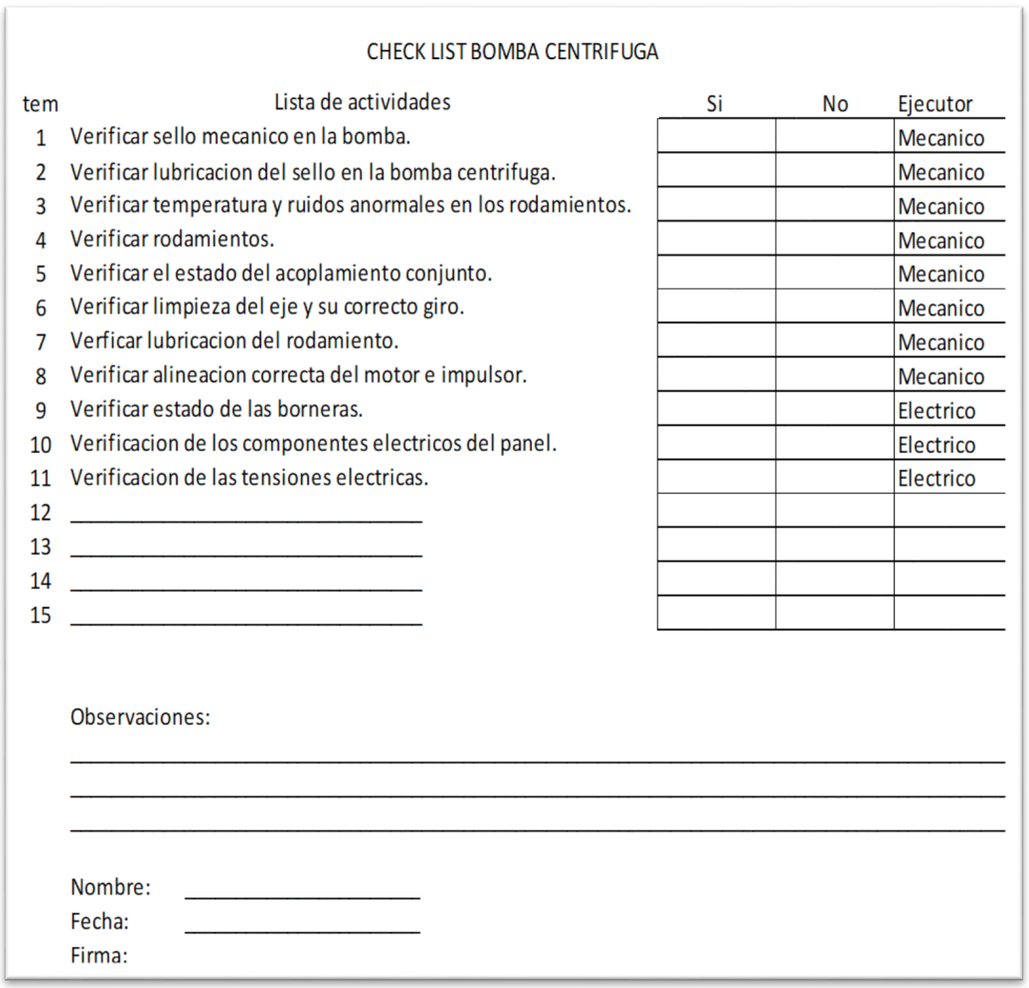
Fuente: Elaboración propia

3.4 FORMATO DE CHECK LIST

Dentro del plan de mantenimiento preventivo que se propone, se asignara un formato de Check List para el equipo de la bomba centrifuga, dicho formato está compuesto por un listado de verificaciones a corroborar en el equipo, con el fin de comprobar si las tareas fueron realizadas correctamente y así evitar fallas en un futuro cercano.

De igual manera, en la parte final del formato presentado se designa un apartado especial para las observaciones particulares del equipo, donde el encargado de la realización de las mantenciones puede agregar información sobre el estado del equipo, identificar posibles fallas a futuro o incluso agregar recomendaciones sobre alguna tarea a realizar sobre el equipo o de igual manera proponer actualizaciones en las pautas de trabajo establecidas anteriormente.

A continuación, la figura 3-2 presentara el formato de check list para el equipo de la bomba centrifuga, la cual contiene una lista de chequeo sobre las actividades a realizar. Estas deberán ser contestadas con Si o No, además de registrar el nombre de quien las realizo y su respectiva fecha y firma.



CHECK LIST BOMBA CENTRIFUGA

tem	Lista de actividades	Si	No	Ejecutor
1	Verificar sello mecanico en la bomba.			Mecanico
2	Verificar lubricacion del sello en la bomba centrifuga.			Mecanico
3	Verificar temperatura y ruidos anormales en los rodamientos.			Mecanico
4	Verificar rodamientos.			Mecanico
5	Verificar el estado del acoplamiento conjunto.			Mecanico
6	Verificar limpieza del eje y su correcto giro.			Mecanico
7	Verficar lubricacion del rodamiento.			Mecanico
8	Verificar alineacion correcta del motor e impulsor.			Mecanico
9	Verificar estado de las borneras.			Electrico
10	Verificacion de los componentes electricos del panel.			Electrico
11	Verificacion de las tensiones electricas.			Electrico
12	_____			
13	_____			
14	_____			
15	_____			

Observaciones:

_____

_____

_____

Nombre: _____

Fecha: _____

Firma:

Figura 3-2: check list bomba centrifuga

Fuente: Elaboración propia.

3.5 ETAPA VII: EVALUACION DE LA EFECTIVIDAD DE LAS SOLUCIONES.

3.5.1 COSTOS ASOCIADOS A LAS SOLUCIONES

En este apartado se examinarán los costos asociados a la realización de las tareas de mantenimiento sobre la nueva propuesta del plan, que tendrá como objetico principal proporcionar la mayor información de rentabilidad del proyecto, estableciendo así un análisis de manera clara y detallada para lograr una resolución factible para la ejecución de la propuesta.

Dicho análisis será realizado a través del indicador denominado Valor Actual de Costos (VAC), el cual se calcula de la siguiente formula:

En donde:

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

VAC: Valor Actual de Costos.
Io: Inversión inicial.
Ct: Costos incurridos durante el periodo t.
n: Horizonte de evaluación.
r: Tasa social de descuento.
T: Tiempo de evaluación del costo.

En cuanto a los costos asociados, este indicador permitirá distinguir entre las opciones sugeridas. Todo esto es posible ya que en su desarrollo se opera principalmente con los egresos que se presentan en el proyecto, obteniendo como resultado el menor gasto de recursos posible y determinando la opción más factible.

Se debe tener en cuenta los costos involucrados en el proceso, los cuales los podemos distinguir ente los siguientes:

1. Costos de inversión: se establecen como todo gasto o egreso que se produce para la adquisición de ciertos activos realizadas en la fase cero del proyecto. Este tipo de inversión se identifica por ser una ganancia indirecta en el futuro, un ejemplo de esto puede ser la compra de herramientas, las cuales serán de gran utilidad para un uso futuro del mantenimiento.

2. Costos operacionales: principalmente son costos que se generan al momento del desarrollo de la actividad, tales como los gastos en servicios, mano de obra y bienes, estableciéndose como costos periódicos y distinguiéndolos de la siguiente manera:
    - Costos variables: este tipo de costos pueden aumentar o disminuir dependiendo de la fase que se encuentre el proyecto.
    - Costos fijos: son valores constantes durante un tiempo determinado dentro del desarrollo de operación.

3. Costos de mantenimiento: aquellos asociados a la mantención de los activos, ya sea en infraestructura, materiales o repuestos.
4. Tasa de descuento: corresponde al retorno mínimo exigido por él inversionista que permitirá obtener la prima de recompensa hacia la inversión del proyecto. Para este caso en cuestión, la empresa encargada Relix Water estableció que el valor de tasa de descuento seria de un 12%.

Para este caso se elaborará el análisis de las bombas centrifugas afectadas, dicha evaluación se desarrollará en los periodos de los tres años anteriores (2019,2020,2021) para así ser comparados con los costros de los tres años siguientes (2022,2023,2024) en el cual se implementarán las nuevas propuestas de mejora.

3.5.2 VAC PERIODO AÑOS ANTERORES (2019,2020,2021).

Para los siguientes cálculos se utilizará la moneda unidad de fomento (UF), la cual representa el ajuste diario del peso chileno de acuerdo a la inflación de la economía, medida según el Índice de Precios al Consumidor (IPC).

Para el desarrollo de la investigación, la Unidad de Fomento adquiere el valor de $ 33.715,33 CPL correspondiente al día 23 de agosto del año 2022.

Seguidamente, se mostrarán los costos asociados al mantenimiento de las bombas centrifugas intervenidas (costos ilustrados en UF) respecto a los años 2019, 2020 y 2021.

Actividad	Costo de Mantención año 2019											
	Bomba N°1	Bomba N°2	Bomba N°3	Bomba N°4	Bomba N°5	Bomba N°6	Bomba N°7	Bomba N°8	Bomba N°9	Bomba N°10	Bomba N°11	Bomba N°12
Suministro de repuestos Y reparaciones	192,56	97,91	207,56	116,53	158,08	90,68	200,98	250,58	105,09	25,09	190,65	201,35
Horas hombres (HH) Trabajadas	56,89	38,06	67,05	47,85	171,02	152,56	99,56	87,68	47,09	15,52	98,52	95,52
Equipos y herramientas	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78
Traslados	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34
Consumo eléctrico	13,89	13,89	317,73	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89
Costo total	**306,46**	**192,98**	**635,46**	**221,39**	**386,11**	**300,25**	**357,55**	**395,27**	**209,19**	**97,62**	**346,18**	**353,88**
Costo total anual	**3802,34**											

Tabla 3-2: Costo total de mantención de los equipos año 2019.

Fuente: elaboración propia

Actividad	Costo de Mantención año 2020											
	Bomba N°1	Bomba N°2	Bomba N°3	Bomba N°4	Bomba N°5	Bomba N°6	Bomba N°7	Bomba N°8	Bomba N°9	Bomba N°10	Bomba N°11	Bomba N°12
Suministro de repuestos y reparaciones	100,56	96,91	157,56	126,53	139,56	80,68	175,98	200,58	107,53	56,09	135,65	101,35
Horas hombres (HH) Trabajadas	36,89	38,06	67,58	59,45	54,56	145,68	69,56	69,88	50,09	25,52	108,52	35,52
Equipos y herramientas	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78
Traslados	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34
Consumo eléctrico	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89
Costo total	**194,46**	**191,98**	**282,15**	**242,99**	**251,13**	**283,37**	**302,55**	**327,47**	**214,63**	**138,62**	**301,18**	**193,88**
Costo total anual	**2924,41**											

Tabla3-3: Costo total de mantención de los equipos año 2020.

Fuente: elaboración propia

Actividad	Costo de Mantención año 2021											
	Bomba N°1	Bomba N°2	Bomba N°3	Bomba N°4	Bomba N°5	Bomba N°6	Bomba N°7	Bomba N°8	Bomba N°9	Bomba N°10	Bomba N°11	Bomba N°12
Suministro de repuestos Y reparaciones	152,56	98,91	250,56	196,53	158,08	190,68	250,98	250,98	105,09	75,09	230,65	296,35
Horas hombres (HH) Trabajadas	76,89	48,89	56,05	57,69	41,02	102,56	125,56	379,45	287,61	148,12	108,52	105,52
Equipos y herramientas	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78	19,78
Traslados	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34	23,34
Consumo eléctrico	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89
Costo total	**286,46**	**204,81**	**363,62**	**311,23**	**256,11**	**350,25**	**433,55**	**687,44**	**449,71**	**280,22**	**396,18**	**458,88**
Costo total anual	**4478,46**											

Tabla 3-4: Costo total de mantención de los equipos año 2020.

Fuente: elaboración propia

Posteriormente ilustrados los costos de mantención de los equipos, se procederá con el calculo del Valor Actual de Costos en UF, que corresponderá a los tres a los mencionados anteriormente.

$$VAC = 0 + \frac{3802{,}34}{(1+0{,}1)} + \frac{2924{,}41}{(1+0{,}1)^2} + \frac{4478{,}46}{(1+0{,}1)^3}$$

Obteniendo como resultado: $VAC = 8518{,}11\ UF$

3.5.3 VAC CORRESPONDIENTE BASADO EN LA PROPUESTA DE MANTENIMINENTO PARA LOS AÑOS 2022,2023 Y 2024.

En este apartado se realizará la evaluación de la nueva propuesta de mantenimiento para los años 2022, 2023 y 2024 mediante el mantenimiento preventivo mencionado anteriormente, que buscará conseguir una buena disponibilidad y eficiencia de los equipos con el fin de detectar futuros fallos en los distintos componentes del equipo, permitiendo así que el equipo no sufra una falla que genere la detención total del activo.

Para las pautas de trabajo propuestas al mantenimiento preventivo aplicado se deberá realizar una inversión inicial de 468 UF por la compra de:

1. Curso de capacitación sobre el mantenimiento de bombas (80 UF)

El principal objetivo de la capacitación es aprender los conceptos del diseño, mantenimiento y operación de las bombas centrifugas. A través de una metodología de instrucciones teórico-practicas se busca que todos los participantes mejoren sus habilidades para logar la optimización en el funcionamiento del proceso productivo, así mismo identificando las barreras y estrategias para maximizar su desempeño.

2. Pirómetro laser EXTECH 42570 (2 unidades): 34 UF

Pirómetro laser	Termómetro infrarrojo EXTECH 42570	Termómetro por infrarrojos y de contacto Fluke 561	Fluke 59 MAX Termómetro infrarrojo
Rango de tempertura	-50 + 2200 °C	-40 °C a 550 °C	-30 °C a 350 °C
Enfoque láser	Doble láser	Láser de un solo punto	Láser de un solo punto
Duración de la bateria	12 horas	9 Horas	12 Horas
Potencia láser	Longitud de onda de 630 a 670 nm	Longitud de onda de 600 a 625 nm	Longitud de onda de 500 a 520 nm
Peso	420 g	510 g	220 g
Tamaño	205 x 62 x 155 mm	215 x 62 x 150 mm	156 x 80 x 50 mm
Exactitud al aire libre	Alta exactitud de medición	Alta exactitud en la medición	Media exactitud en la medición
Valor UF	17	12	7

Tabla 3-5: cuadro comparativo selección de pirómetro.
Fuente: elaboración propia

El equipo de trabajo optó por el instrumento de medición EXTECH 42570, el cual es un termómetro infrarrojo láser ideal para detectar rápidamente las temperaturas. Además, posee características como un amplio rango de temperaturas a medir, amplia duración de su batería permitiendo realizar mediciones en variedad de superficies.

3. Estetoscopio industrial PCE-S 41(1 unidad): 30 UF

Estetoscopio industrial	Estetoscopio electrónico TKST 11	Estetoscopio PCE-S 42	Estetoscopio PCE-S 41
Rango de frecuencia	31 Hz – 15 kHz	30 Hz – 15 kHz	100 Hz – 10 kHz
Temperatura de funcionamiento	– 10 a +45 °C	– 10 a +40°C	– 10 a +55°C
Volumen de salida	Ajustable en 15 niveles	Ajustable en 32 niveles	Ajustable sin niveles
Señal de batería baja	Sí	Sí	Sí
Auriculares	32 ohmios	32 ohmios	32 ohmios
Apagado automático	Sí, después de 5 minutos	No	No
Batería	2 baterías AA	4 baterías AAA	1 batería de 9 V
Duración de la batería	Mínimo de 30 horas	Mínimo de 30 horas	Mínimo de 30 horas
Dimensiones del receptor	230 x 70 x 38 mm	220 x 35 x 35 mm	206 x 50 x 32 mm
Longitud de la sonda	70 y 300 mm	70 y 280 mm	71 y 290 mm
Peso	351 g	250 g	240 g
Valor UF	33	28	30

Tabla 3-6: cuadro comparativo selección de estetoscopio industrial.

Fuente: elaboración propia

La elección del estetoscopio es una herramienta óptima para la supervisión de ruidos y vibraciones, dando al responsable del mantenimiento la posibilidad de reconocer las fuentes de error antes que surja una falla en las bombas o instalaciones del proceso, ayudando con la prevención y conservación del activo.

4. Analizador de vibraciones (2 Unidades): 170 UF

Analizador de vibraciones	PCE Instruments VT3800	Medidor De Vibración FLUKE 805 FC	Analizador de vibraciones FLUKE 810
Rango de medición de aceleración	0,01 a 399,9 m/s²	0,01 a 399,9 m/s²	0,01 a 399,9 m/s²
Rango de medición de desplazamiento	0,001 a 399,9 mm/s	0,001 a 399,9 mm/s	0,001 a 399,9 mm/s
Rango de medición de velocidad	0,01 a 3,9 mm	0,01 a 3,9 mm	0,01 a 3,9 mm
Frecuencia de resonancia del sensor	24 kHz	20 kHz	2.5 Hz a 50 kHz
Autonomía	14 a 20 h	10 a 15 h	20 a 25 h
Batería	3,7 V	1.5 V AA	14.8 V
Dimenciones	15 x 7,5 x 3,5 cm	24,1 x 7,1 x 5,8 cm	18,5 x 7 x 2,6 cm
Peso	1.56 kg	1.5 kg	1.9 kg
Valor UF	45	85	372

Tabla 3-7: cuadro comparativo selección de analizador de vibraciones.

Fuente: elaboración propia

El dispositivo de supervisión de Fluke 805FC es uno de los más confiables dentro del mercado en el área de las vibraciones, otorgando un modo mas preciso, fiable y frecuente para la comprobación del estado de los rodamientos y vibraciones generales.

5. Amperímetro Fluke 771 (2 Unidades): 68 UF

Amperímetro	HT INSTRUMENTS HT9025	UNI-T UT276A	FLUKE 771
Rango de medida	1000A	1000 A	1000 A
Tensión CA/CC	1000VCA / 1500VCC	1000 VCA / 1200 VCC	750 VCA/1000 VCC
Alimentación	Batería de ION Litio	1,5 V batería	2 Batería AA 1,5 V
Medidas	280x100x50 mm	285mm x 85mm x 56mm	59mm x 38mm x 212mm
Peso en gramos	505 g	1160g	260 g
Valor UF	17	15	34

Tabla 3-8: cuadro comparativo selección de amperímetro.

Fuente: elaboración propia

La pinza amperimétrica Fluke 771 está diseñada para su uso en entornos donde no resulta conveniente cerrar procesos ni poner el sistema en modo 'seguro' para interrumpir el circuito, colocar el multímetro en serie con el circuito y realizar las medidas.

6. Cámara termográfica (1 Unidad): 85UF

Camara Termográfica	M20W	Hti HT-A10	M11
Resolución termográfica	256x 192	192X144	192X144
Rango de temperatura	-20° C a 550° C	-20° C a 450° C	-20° C a 550° C
Operación de batería	6 Horas	5 Horas	6 Horas
Cámara óptica	8 MP	8 MP	6 MP
Frecuencia de imagen	25 Hz	20 Hz	25 Hz
Campo de visión	37,2 grados x 27,8 grados	35,2 grados x 26,8 grados	25 grados x 19 grados
Peso	359 g	370 g	375 g
Valor	85	27	36

Tabla 3-9: cuadro comparativo selección de cámara termográfica.

Fuente: elaboración propia.

La cámara termográfica portátil M20W está especialmente diseñada para áreas que requieren las inspecciones pertinentes y en el lugar físico. por otro lado, también ayuda a la identificación de fallas potenciales y cuantifica el impacto con mediciones de temperaturas precisas, proporcionando documentación detallada para complementar las inspecciones de manera eficiente.

3.5.4 VAC CORRESPONDIENTE BASADO EN LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PARA LOS AÑOS 2022,2023 Y 2024.

Seguidamente, se mostrarán los costos asociados al mantenimiento de las bombas centrifugas evaluadas (costos ilustrados en UF) respecto a los años 2022, 2023 y 2024.

Resumen Costos Total Anuales			
Activos	Año 2022	Año 2023	Año 2024
Bomba N°1	224,67	174,5	217,42
Bomba N°2	265,4	211,75	204,92
Bomba N°3	269,4	231,35	210,92
Bomba N°4	277,1	305,66	300,6
Bomba N°5	256,7	213,87	240,52
Bomba N°6	221,28	204,10	218,25
Bomba N°7	263,91	253,75	233,79
Bomba N°8	270,98	237,41	218,82
Bomba N°9	285,98	274,75	265,47
Bomba N°10	234,08	227,75	217,92
Bomba N°11	234,98	203,45	220,5
Bomba N°12	277,89	208,69	201,95
TOTAL	**3082,37**	**2747,03**	**2751,08**
INVERSIÓN INICIAL	468		

Tabla 3-10: resumen de costos anuales año 2022-2023-2024.

Fuente: Elaboración propia.

Ilustrados los costos de mantenimiento por equipo a través de la tabla anterior, se procederá a calcular el valor actual de costos en UF proyectado para los años 2022, 2023 y 2024.

$$VAC = 468 + \frac{3082,27}{(1+0,1)} + \frac{2747,03}{(1+0,1)^2} + \frac{2751,08}{(1+0,1)^3}$$

Obteniendo como resultado: $VAC = 7607,35\ UF$

Luego de conocer los costos de mantenimiento calculados anteriormente, se ilustrará a través de una tabla la diferencia entre el modelo de mantención anterior y el propuesto.

Valor Actual de Costos y su diferencia.		
2019-2020-2021	2021-2022-2023	Beneficio
8518,11 UF	**7607,35 UF**	**910,76 UF**

Tabla 3-5: Calculo de beneficio implementación del plan.

Fuente: elaboración propia

El resultado de los cálculos nos establece de que es factible modificar el actual mantenimiento de las bombas, remplazándolo así por el plan de mantenimiento predictivo propuesto. Este cambio lograra ahorrar en el periodo de tres años la cantidad de 910,76 UF, generando un ahorro promedio de 303,58 UF anualmente.

CONCLUSIÓN

A través de la elaboración de este trabajo de título, se realizó una evaluación sobre las bombas centrifugas operantes en el proceso productivo de la empresa Relix Water, la cual es la encargada de bombear las aguar industriales hacia la empresa minera Anglo American, ubicada en la estación de bombeo Las Tórtolas.

El análisis se ha llevado a cabo debido a que la empresa no presenta un plan de mantenimiento de manera preventiva sobre el proceso, sino que solo de forma correctiva. Es por esta razón que se buscó establecer mejoras dentro de la empresa, con el propósito de reducir tiempos de reparación, evitando multas y perdidas monetarias.

Para logar esto fue necesario proponer ciertos objetivos específicos, los cuales estarán relacionados directamente con cada uno de los capítulos establecidos, siendo el primero de ellos el encargado de dar a conocer los antecedentes generales de la empresa, determinando así todo el proceso productivo de esta misma, presentando las causas de falla más reiterativas e identificando el equipo critico a evaluar a través del diagrama de dispersión logarítmica Jack Knife.

En consecuencia, se explican detalladamente las fallas de elementos en las bombas centrifugas a través de los datos recopilados por parte de la empresa, lo que permite jerarquizar las fallas por medio de una matriz de criticidad y así dar prioridad a los modos de fallas más severos dentro del sistema. Dado esto, se procede a evaluar las causas raíces físicas, humanas y latentes con el propósito de dar un enfoque hacia donde deben estar guiadas las mejoras al mantenimiento.

Posteriormente, se hace referencia a la búsqueda e identificación de las soluciones por parte del equipo, determinando las tareas de mantenimiento correspondientes para la propuesta de mejora. Todo esto se logra a través de una planificación de mantención entregada para el equipo critico el cual presenta una pauta de trabajo con sus respectivas tareas a realizar y un formato de check list para la verificación de que estas hayan sido efectuadas correctamente.

La propuesta de mejora presenta una factibilidad económica favorable, la cual ha sido evaluada por medio de la aplicación del indicador económico VAC. Se logrará ahorrar en el periodo de tres años la cantidad de 910,76 UF, obteniendo un ahorro promedio de 303,58 UF anualmente.

Finalizando, se puede hacer énfasis a la satisfacción y al cumplimiento del desarrollo de cada parte descrita en este trabajo. Todo lo instruido se realizó en conjunto de tal manera que la propuesta fuera capaz de ser realizada, siendo esta misma argumentada tanto teórica y numéricamente en base a los datos entregados por parte de empresa Rilex Water.

Se recomienda visualizar la planificación del mantenimiento para la bomba centrifuga flotante, los cuales se encontrarán adjuntos en los siguientes anexos, y además no olvidar saltarse las medidas de seguridad propuestas para lograr un correcto funcionamiento de las actividades de mantenimiento.

Bibliografía

- https://repositorio.usm.cl/handle/11673/53943
- https://repositorio.usm.cl/handle/11673/43824
- https://www.angloamerican.com/careers/job-opportunities/apply/jobdetail?jobid=b115a4f1-2380-4262-b5d4-341e65255f40
- https://www.incolur.cl/angloamerican-los-bronces/
- https://www.pgic.cl/productos/division-comercial/bombas-superficie/centrifugas-verticales-multietapa/
- https://www.hidroreparaciones.cl/bombas/ksb-movitec-v-2-12-bomba-centrifuga-multietapa-vertical.html
- https://es.wikipedia.org/wiki/Tranque_Las_T%C3%B3rtolas
- https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=gXkZ_parfkE
- -https://blog.wearedrew.co/acr-en-que-consiste-el-analisis-de-causa-raiz#:~:text=El%20ACR%20o%20an%C3%A1lisis%20de,trav%C3%A9s%20de%20identificar%20sus%20causas.
- https://ausencorylsones.wordpress.com/2016/11/16/jacknife-vs-pareto-cual-es-mejor-y-por-que/#:~:text=Es%20un%20m%C3%A9todo%20para%20analizar,sistemas%20usando%20diagramas%20de%20dispersi%C3%B3n.
- https://www.youtube.com/watch?v=r1b600It4Ms

Anexos

Planificacion de mantencion		
Preguntas.		Bomba centrifuga flotante.
1	¿Qué trabajo se requiere realizar?	1.1 Mantencion a bomba centrifuga flotante.
		1.2 Inspeccionde fugas por producto del sello mecanico.
		1.3 Inspeccion de los rodamientos de la bomba.
		1.4 Inspeccion del panel de control.
		1.5 Inspeccion de las vibraciones de la bomba.
2	¿Por qué se debe realizar?	2.1 Mantencion preventiva.
		2.2 Evitar las mantenciones correctivas.
3	¿Cuáles son las recomendaciones del fabricante o especialista para esta actividad ?¿ Se consideran en el alcance del trabajo?	3.1 Mantenimineto de rutina.
		3.2 Inspecciones de rutina.
		3.3 Inspecciones mensuales.
		3.4 Inspecciones de temperatura.
		3.5 Cambio de aceite.
		3.6 Medicion de presion.
		3.7 Limpieza y engrase de rodamientos.
		3.8 Inspeccion de las conexiones.
4	¿Cómo se debe realizar el trabajo?	4.1 Des energizar el equipo a traves del tablero electrico.
		4.2 Cierre de valvulas que permitan el flujo de aguas hacia la bomba.
		4.3 Notificar que se realizara una intervencion de mantencion.
		4.4 Transladar herramientas e instumentos a utilizar al lugar de trabajo.

Inspecciones de fuga de producto por sello mecanico

4.5 Inspeccion de manera visual, si presenta filtraciones de agua proceder a revision del sello.
4.6 Retirar tuerca o birlos que fijan la tapa al acople.
4.7 Aflojar tornillo central que fija el impulsor.
4.8 Retirar impulsor y su cuña con la ayuda de un extractor.
4.9 Extraer la parte de grafito del sello mecanico.
4.10 Retirar tornillos de fijacion del acople.
4.11 Retirar acople y extraer el sello mecanico ceramico se su interior.
4.12 Limpiar el asiento del acople donde se aloja la zona ceramica del sello.
4.13 Colocacion del sello ceramico asegurandose que su cara este limpia , seca y sin rayones. Se debe instalar con la ayuda de un lubricante que no contenga solventes.
4.14 Colocar el acople al motor e instalar el sello de grafito, verificando que este este limpio y con la ayda de un lubricante.
4.15 Introducior la cuña y su colocar su impulsor apretando con su debido torque el tornillo central.
4.16 Instalar un oring nuevo en el cople y coloar la tapa con sus respectivos tornillos de fijacion.

Inspeccion de los rodamientos de la bomba

4.17 Inspeccion de manera visual, intervenir si presenta ruidos excesivos o cada xxx horas
4.18 Retirar tuerca o birlos que fijan la tapa al acople.
4.19 Aflojar tornillo central para el retiro del impulsor en conjunto con los sellos mecanicos.
4.20 Retire el anillo de bloqueo/el pasador de guía del rodamiento detrás del impulsor.
4.21 Tocar suavemente sobre el eje con un martillo de goma o madera y retirar los rodamientos junto con el eje.
4.22 Inspeccionar si los rodaminetos estan en buenas condiciones, de no ser asi y presentar desgaste , sustituirlos por rodamientos nuevos de la siguiente manera:
4.23 Para cambiar los rodamientos, primero, limpie el eje. Despues lubrique y toque suavemente la parte de atrás de la ranura del rodamiento.
4.24 Antes de instalar los nuevos rodamientos, limpie la ranura y lubrique bien.
4.25 Instale los nuevos rodamientos en el extremo pequeño, al igual que lo quitó.
4.26 Limpie la carcasa del rodamiento y engrase adecuadamente.
4.27 Proceda con la colocacion del eje del impulsor.
4.28 Introduzca el impulsort y sus sellos mecanicos.
4.29 Coloar el acople con sus respectivos tornilos de fijacion.