

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

**PROPUESTA PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA**  
**CONFIABILIDAD A EQUIPO CRITICO EN SISTEMA DE NORMALIZACION**  
**DE AGUAS ETAPA I EN CODELCO DIVISION ANDINA.**

Trabajo de titulación para optar al Título de  
Ingeniero en Mantenimiento con licenciatura en ingeniería.

Alumnos:  
Nicolás Calderón Riveros.

Profesor guía:  
Carlos Baldi González.



## ÍNDICE

|                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| PROPUESTA PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD A EQUIPO CRITICO EN SISTEMA DE NORMALIZACION DE AGUAS ETAPA I EN CODELCO DIVISION ANDINA. .... | 8  |
| GLOSARIO.....                                                                                                                                             | 13 |
| INTRODUCCION .....                                                                                                                                        | 1  |
| OBJETIVO GENERAL .....                                                                                                                                    | 2  |
| OBJETIVOS ESPECIFICOS.....                                                                                                                                | 2  |
| CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES .....                                                                                                                  | 3  |
| 1.1. ANTECEDENTES GENERALES Y Descripción de la empresa.....                                                                                              | 4  |
| 1.2. Problemática actual.....                                                                                                                             | 8  |
| 1.3. Análisis de criticidad en activos de sistema NAE etapa 1.....                                                                                        | 9  |
| 1.4. análisis de indicadores de mantenimiento .....                                                                                                       | 14 |
| 1.5. Selección de equipo crítico.....                                                                                                                     | 22 |
| Capitulo ii: creación de PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD A EQUIPO CRITICO.....                                                         | 25 |
| 2. creación de PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD A EQUIPO CRITICO.....                                                                   | 26 |
| <b>2.1. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)</b>                                                                                              | 26 |
| 2.2. identificacion de fallas EN BOMBA VERTICAL FLOWSERVE (23).<br>28                                                                                     |    |
| 2.3. aplicación de jack knife. ....                                                                                                                       | 29 |
| 2.4. Analisis de modo y efecto de falla basado en criticidad.....                                                                                         | 32 |
| 2.5. aplicación de FMECA a equipo critico .....                                                                                                           | 35 |
| 2.6. HOJA DE DECISION PARA TAREAS PROPUESTAS.....                                                                                                         | 37 |
| 2.7. TAREAS PROPUESTAS MEDIANTE FMECA.....                                                                                                                | 41 |
| 2.8. repuestos criticos. ....                                                                                                                             | 43 |
| CAPITULO III: EVALUACION de COSTOS ASOCIADOS A PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO Y ACTUAL.....                                                              | 47 |
| 3. CAPITULO II: EVALUACION de COSTOS ASOCIADOS A PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO Y ACTUAL.....                                                            | 48 |
| 3.1 PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL.....                                                                                                                     | 48 |
| 3.2. Plan de mantenimiento propuesto.....                                                                                                                 | 53 |

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3. EVALUACION de costos del plan de mantenimiento actual y<br>propuesto mediante CALCULO DE VAC..... | 57 |
| 4. Conclusiones y RECOMENDACIONES .....                                                                | 61 |
| 5. BIBLIOGRAFIA .....                                                                                  | 63 |
| ANEXOS.....                                                                                            | 66 |
| Anexo A (matriz de criticidad CTR).....                                                                | 67 |
| Anexo b (Base de datos bombas Py_System) .....                                                         | 68 |
| Anexo C (Tablas de confiabilidad EB-02).....                                                           | 69 |
| Anexo D (HOJA DE DECISION FMECA BOMBA FLOWSERVE) .....                                                 | 70 |
| Anexo E (PROCEDIMIENTO CAMBIO DE SELLO MECANICO EB02-<br>EB01) .....                                   | 71 |
| Anexo F (PROCEDIMIENTO CAMBIO DE BOMBA VERTICAL EB02)<br>.....                                         | 72 |
| Anexo G (DIAGRAMA JACK KNIFE ACTUALIZADO) .....                                                        | 73 |

## INDICE DE TABLAS

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1-1. Tabla frecuencia de fallos. ....                           | 11 |
| Tabla 1-2. Tabla impacto operacional.....                             | 11 |
| Tabla 1-3. Tabla impacto por flexibilidad operacional. ....           | 12 |
| Tabla 1-4. Tabla impacto en costes de mantenimiento .....             | 12 |
| Tabla 1-5. Tabla impacto en seguridad, higiene y ambiente.....        | 13 |
| Tabla 1-6. Matriz de criticidad. ....                                 | 14 |
| Tabla 1-7. Indicadores de mantenimiento EB-02.....                    | 19 |
| Tabla 1-8. Indicadores confiabilidad bomba 21.....                    | 19 |
| Tabla 1-9. Indicadores confiabilidad bomba 22.....                    | 20 |
| Tabla 1-10. Indicadores confiabilidad bomba 23.....                   | 20 |
| Tabla 1-11. Indicadores confiabilidad bomba 24.....                   | 21 |
| Tabla 1-12. Componentes sistema motriz. ....                          | 23 |
| Tabla 1-13. Componentes sistema motriz. ....                          | 24 |
| Tabla 2-1. Numero de fallas y horas hombres utilizadas en equipo. ... | 29 |
| Tabla 2-2. Modos de falla, frecuencia, MTTR y TFS.....                | 30 |
| Tabla 2-3. Criterios de evaluación de severidad. ....                 | 33 |

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 2-4. Criterios de evaluación de ocurrencia.....               | 34 |
| Tabla 2-5. Criterios de evaluación de detección de falla. ....      | 34 |
| Tabla 2-6. Modos, efecto y causa de fallas y acciones actuales..... | 37 |
| Tabla 2-7. Tareas propuestas para cada modo de fallo. ....          | 42 |
| Tabla 2-8. Demanda de repuestos críticos. ....                      | 46 |
| Tabla 3-1. Evaluación plan de mantenimiento actual. ....            | 49 |
| Tabla 3-2. Evaluación plan de mantenimiento propuesto. ....         | 54 |
| Tabla 3-3. VAC plan propuesto y plan actual. ....                   | 59 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1-1: Codelco División Andina. ....                    | 5  |
| Figura 1-2. Diagrama de proceso Sistema NAE ....             | 6  |
| Figura 1-3. Mapa de procesos carretera hídrica. ....         | 8  |
| Figura 1-4: Tiempos de operación. ....                       | 17 |
| Figura 1-5. Configuración sistema fraccionario.....          | 17 |
| Figura 1.6: Formula confiabilidad sistema fraccionario. .... | 18 |
| Figura 1-7. Subconjuntos bomba VTP Flowserve. ....           | 23 |
| Figura 2-1. Ejemplo de FMECA. ....                           | 35 |
| Figura 2-2. Esquema de decisión para tareas propuestas. .... | 38 |
| Figura 2-3. Vida promedio y probabilidad de falla. ....      | 39 |
| Figura 2-4. Tipos de probabilidad de fallos. ....            | 40 |
| Figura 2-5. Niveles de stock.....                            | 43 |

## INDICE DE GRAFICOS

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1-1. Confiabilidad equipos EB-02. ....             | 21 |
| Gráfico 2-1. Diagrama de Jack Knife.....                   | 31 |
| Gráfico 2-2. Clasificación de tareas. ....                 | 42 |
| Gráfico 3-1. Costos H-H plan de mantenimiento actual. .... | 50 |
| Gráfico 3-2. H-H anual por modo de falla. ....             | 51 |
| Gráfico 3-3. Costos anuales por cambio de componente. .... | 52 |

Gráfico 3-4. Costos totales plan de mantención actual. ....53

Gráfico 3-5. Costos totales por horas hombres utilizadas. ....55

Gráfico 3-6. Costos totales de repuestos. ....56

Gráfico 3-7. Costos totales plan de mantención propuesto. ....57

**GLOSARIO**

- FMECA/ANFEC: Failure mode and effects and criticality analysis o en español  
Análisis de modos de falla, efectos y criticidad.
- RCM: Reliability centred maintennce (Mantenimiento centrado en la  
confiabilidad).
- NPR: Numero de prioridad de cada riesgo.
- MTTR: Tiempo medio para reparar.
- MTBF: Tiempo medio entre fallas.
- NAE I: Sistema de normalización de aguas etapa 1.
- DAND: División andina.



## **INTRODUCCION**

Los activos o maquinas industriales dentro de un sistema u empresa son importantes a la hora de lograr una producción eficiente y eficaz. Por ello, el mantener estos activos en óptimas condiciones, bajo estándares de calidad ayuda por completo, al cumplimiento de las metas operacionales, mas ahora cuando la industria ha ido en búsqueda de metodologías de operación en donde se buscan maximizar las ganancias, manteniendo o disminuyendo los costos operacionales. Es por ello, donde cada activo será tratado de forma distinta, de acorde a su criticidad y su impacto en la operación y costos asociados.

El claro ejemplo, es lo que se está experimentando en la carretera hídrica de Codelco DAND, donde anualmente en la estación de bombeo N°2, se están desembolsando cerca de USD\$300.000 y con un total de 48 días de indisponibilidad anual por todos los equipos de la estación.

Es por ello, que la superintendencia de mantención de la gerencia de recursos hídricos en DAND, está buscando nuevas alternativas y/o metodologías de mantención y operación en el sistema de normalización de aguas etapa 1, con el fin de reducir los costos y el impacto operacional asociados a los fallos en los equipos.

Cuya propuesta es realizar planes de mantenimiento centrados en la confiabilidad a equipos críticos dentro del NAE 1. Esta metodología permite, establecer listado de equipos críticos, en base a esto y a las fallas experimentadas, crear planes de acciones, con el fin de mejorar y hacer más eficientes los procesos de mantención y operación de los activos involucrados.

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad dentro del sistema de normalización de aguas etapa 1, mediante identificación de equipos críticos y aplicación de FMECA, con el fin de aumentar la confiabilidad del sistema y reducir costos anuales de mantención.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Identificar equipo critico dentro de sistema NAE 1, mediante análisis de criticidad y contexto operacional, realizando levantamiento de información de la gerencia de recursos hídricos.
- Realizar jerarquización de los modos de falla presentes en el activo a través de un FMECA, con el fin de crear de actividades de mantenimiento centrados en la confiabilidad.
- Evaluar costos asociados al plan de mantenimiento propuesto y actual, demostrando la factibilidad económica de la implementación del proyecto.

## **CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES**

## **1. ANTECEDENTES GENERALES**

Codelco, cuyo nombre completo es Corporación Nacional del Cobre de Chile, es una empresa estatal chilena dedicada a la explotación, producción y comercialización del cobre, uno de los principales recursos naturales de Chile. Fundada en 1976, Codelco es la mayor productora de cobre del mundo y gestiona varias minas en Chile, país que es el principal productor mundial de este metal.

### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.**

Codelco opera diversas minas, entre las que se incluyen Chuquicamata, El teniente, Radomiro Tomic, Gabriela Mistral y Andina, entre otras. Además de la extracción de cobre, la empresa también se involucra en proyectos de exploración, investigación y desarrollo tecnológico relacionados con la minería del cobre.

#### **1.1.1. Misión**

La misión principal de Codelco es maximizar el valor económico de la explotación del cobre, asegurando al mismo tiempo un desarrollo sostenible y responsable, tanto desde el punto de vista ambiental como social. La empresa juega un papel crucial en la economía chilena, ya que el cobre es una de las principales fuentes de ingresos del país.

#### **1.1.2. CODELCO División Andina.**

Codelco división andina es una de las divisiones de la cuprífera estatal, ubicada a más de 3 mil metros sobre el nivel del mar en la región de Valparaíso, en la localidad de los andes. Se encuentra en operaciones desde 1970 a través de la mina subterránea y rajo abierto (Rio blanco y Sur Sur) y cuenta con las reservas de minerales más importante de la corporación. En el último año (Periodo 2021) la división andina produjo 177,216 toneladas de cobre fino y 39,000 kilos de plata. Ver figura 1-1.



Figura 1-1: Codelco División Andina.

Fuente: página web Codelco.

### 1.1.3. Gerencia de recursos hídricos.

La gerencia de recursos hídricos esta encargada del suministro de agua fresca, transporte de agua de relaves, y tratamiento de aguas mineralizadas.

Es por ello por lo que la gerencia cuenta actualmente con 3 espesadores de relave, los cuales se encargan de realizar la separación del agua de proceso y el lodo, a través de un proceso de decantación.

Planta de tratamiento de agua mineralizada, compuestas por sistema de agitadores, sistema de cal, sistema de floculante y el sistema de bombeo general de la planta (encargada de regular el PH y turbiedad del agua para su liberación a ríos)

Tranque de depósito de relave (para el depósito y acumulación de agua de relave) (tranque Ovejería), compuesto por sistema de ciclones (separación de partículas sólidas o arena del agua de relave) y un sistema de drenaje el cual se encarga de bombear el agua filtrada por el muro de contención del tranque.

Tranque Piuquenes, el cual se encuentra inoperativo para depósito de agua, pero disponible para bombeo de agua subterránea a través de un sistema de pozos profundos

Y finalmente el tranque de acumulación de agua fresca (Tranque los leones) que, en conjunto con el sistema de normalización de aguas, son los encargados del suministro de agua fresca para la planta de chacado y área húmeda (molienda y flotación).

#### 1.1.3.1. Sistema de normalización de aguas NAE 1.

El sistema de normalización de aguas etapa 1, tiene como objetivo la obtención, acumulación y transporte de “agua fresca”, a través de lagunas ubicadas en los sectores de turquesa, barroso, ventanas y los milos, y las estaciones de bombeo que obtienen agua a través de napas subterráneas.

El transporte de estas aguas se hace mediante gravedad hacia el estanque de agua fresca (TK SAG), ubicado en el kilómetro 29 del camino industrial de Codelco andina; las lagunas contemplan un 70% aprox. De capacidad de suministro de agua fresca hacia TK SAG. Además, de suministrar agua mediante lagunas, el NAE 1 consta de la carretera hídrica compuesta por 5 estaciones de bombeo (Los leones, Piuquenes, EB-01, EB-02 y EB-03) las cuales transportan agua fresca desde el sector los leones, hasta el TK SAG y en conjunto aportan el 30% aprox. De suministro de agua fresca hacia la planta. Ver figura 1-2.

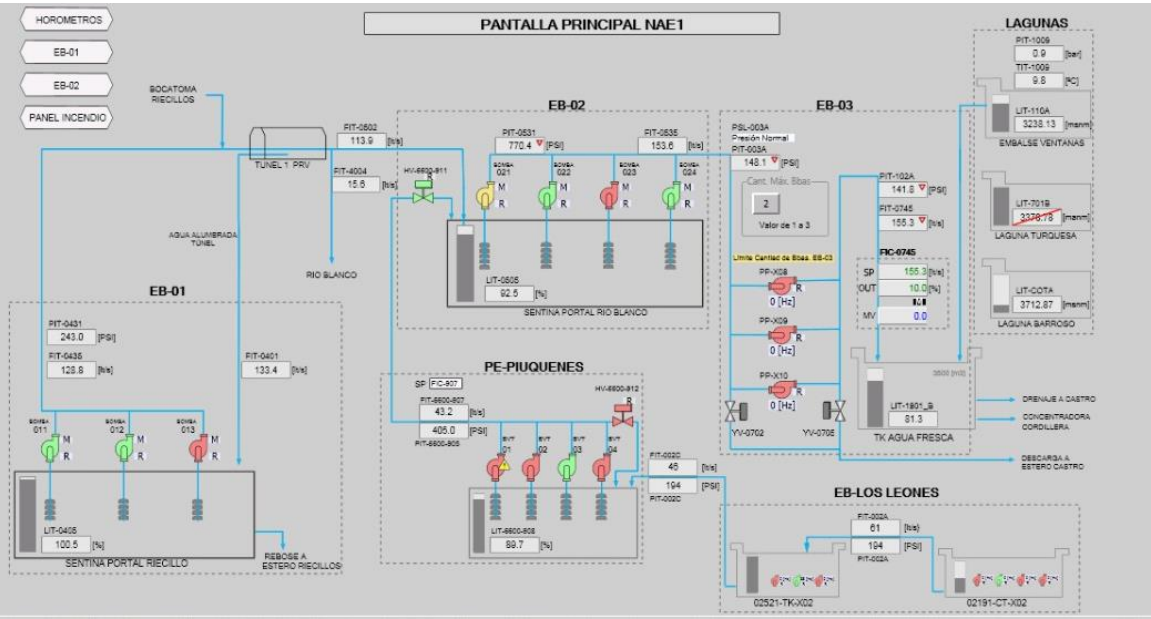


Figura 1-2. Diagrama de proceso Sistema NAE

Fuente: Py\_System DAND.

En resumen, el sistema NAE etapa 1 está compuesto por dos pilares operacionales fundamentales para el suministro de agua, el cual corresponden al suministro por lagunas y la carretera hídrica. Cada uno importante para cubrir con la demanda hídrica durante todo el año.

1.1.3.2. Suministro por lagunas:

Actualmente en la división se consta de 4 lagunas (Barroso, ventanas, turquesa y milos), las cuales realizan un aporte de 600 L/s al sistema NAE 1 durante la temporada de invierno (mayo-septiembre). Periodo donde las lagunas se congelan en gran parte y sus reservas disminuyen considerablemente y es donde la carretera hídrica se le exige el mayor rendimiento para cumplir con el suministro de 850 L/s aproximadamente, hacia el TK SAG. En cambio, en la temporada de deshielo (octubre-abril) las lagunas aumentan su aporte hacia el sistema NAE 1, llegando a aportar hasta 800 L/s aproximadamente.

#### 1.1.3.3. Suministro por carretera hídrica.

- Estación de bombeo Los Leones: El proceso parte desde la estación de bombeo los leones, la cual recibe agua desde el tranque de relave los leones e impulsa agua hacia la estación de bombeo Piuquenes a un caudal de 150 l/s y consta de 3 bombas horizontales de la marca Ruhrpumpen para llevar a cabo el trabajo.
- Estación de bombeo Piuquenes: Llegando a la estación de bombeo piuquenes el agua proveniente de la estación de bombeo los leones y de los pozos ubicados en el sector piuquenes; el agua es bombeada a la estación de bombeo N°2 a un caudal de similar a la estación de bombeo los leones (150 l/s), consta de 4 bombas verticales multietapa de la marca Flowserve.
- Estación de bombeo N°1: Por otro lado, la estación de bombeo N°1 al igual que la estación de bombeo Piuquenes es encargada de suministrar agua fresca a un caudal que varía desde 135 a 165 (l/s), para ello, la estación cuenta de 3 bombas verticales multietapa de la marca flowserve.
- Estación de bombeo N° 2 Y 3: Una vez que el agua llega a la estación de bombeo N°2, mediante 4 bombas verticales multietapa de la marca flowserve instaladas de forma paralela, bombea agua hacia la estación de bombeo N°3 a un caudal de 315 (l/s), la cual esta última se encarga del rebombeo finalmente a la planta concentradora, mediante 3 bombas horizontales de la marca KSB.

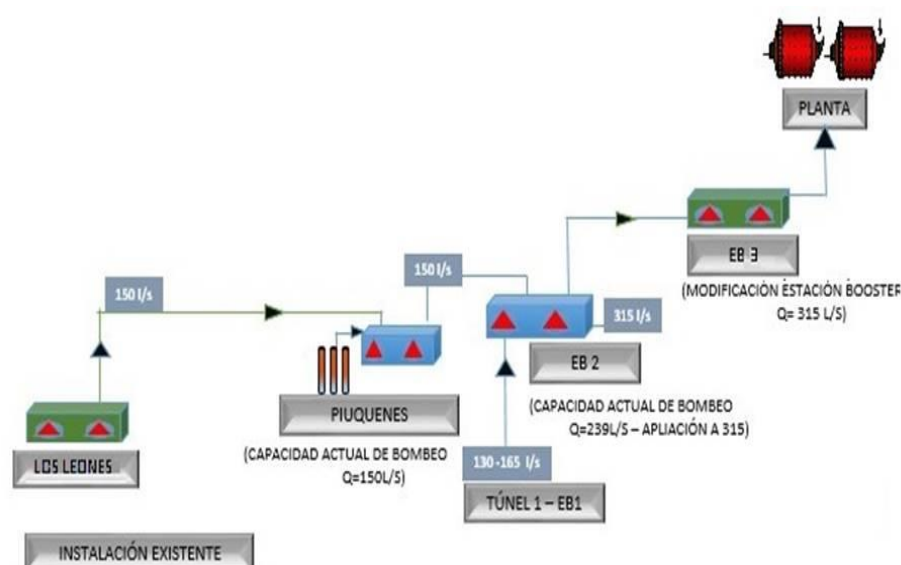


Figura 1-3. Mapa de procesos carretera hídrica.

Fuente: Proyecto NAE I DAND.

Todo este circuito está separado cerca de 20 km desde inicio a fin y con una diferencia de altura de aproximadamente 1000 metros, por ende, es de suma importancia velar por la disponibilidad operacional de cada uno de los equipos y fiabilidad para cumplir con metas operacionales. Ver Figura 1-3.

## 1.2. PROBLEMÁTICA ACTUAL.

Actualmente, la gerencia de recursos hídricos de la división andina de Codelco se ha visto enfrentado a un gran problema, que consiste en suministrar agua fresca a un flujo constante y estable a la planta concentradora de la división. Requisito que se ha visto afectado por la escasez hídrica que ha experimentado la zona y la baja confiabilidad y altos costos operacionales que presentan los equipos de la carretera hídrica de Codelco.

La escasez hídrica ha afectado principalmente a las reservas de agua presentes en todas las lagunas las cuales Codelco tiene derechos de extraer agua, donde, en temporada de invierno debido al congelamiento de las lagunas afecta al volumen de agua que aportan las lagunas al Sistema NAE I, y en temporada de verano, donde la cantidad de nieve que cae durante el invierno no es capaz de suplir el consumo generado durante el periodo de invierno.

Año a año las reservas de agua de las lagunas han ido disminuyendo constantemente. Se puede evidenciar debido a que el promedio de agua caída en los últimos 10 años ha sido del 270 mm anuales, en cambio en el último año (2021) solo cayeron 30 mm. Aquí es donde la carretera hídrica va tomando importancia para un suministro de agua.

Por ello, es que la baja confiabilidad que han experimentado los equipos de la estación de bombeo número N°2 está tomando importancia, y se está buscando evaluar alternativas de mejoras dentro de la carretera hídrica con el fin de mantener o disminuir los costos de mantenimiento de los activos presentes en la EB-02, pero en mayor importancia aumentar la confiabilidad de los equipos y disminuir tiempos y costos de mantención. Donde se espera una capacidad de bombeo máxima de 280 L/s constante en la carretera hídrica.

Para evidenciar un poco esto, el último periodo 2020-2021 se desembolsaron aproximadamente \$300.000.000 de pesos en reparaciones de equipos, cuyo tiempo medio entre fallas es de 40 días aproximadamente y los tiempos de reactivación rondan los 8 días en promedio.

Finalmente, la propuesta de mejora para la confiabilidad y también para disminuir los costos de mantenimiento, es crear un RCM a los equipos críticos de la carretera hídrica, para velar por el funcionamiento eficiente de estos activos, disminuyendo costos de mantención, acortando tiempos de reparación y lograr mayor fiabilidad en los equipos

### **1.3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN ACTIVOS DE SISTEMA NAE ETAPA 1**

Las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que permiten identificar y jerarquizar por su importancia los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos). En otras palabras, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan. (Woodhouse, 1994) [1].

[1] Análisis de criticidad, Woodhouse, 1994.

Los criterios para jerarquizar procesos, sistemas y activos dependerán de las necesidades, oportunidades y políticas de la organización. La cual seleccionara los criterios más idóneos para un análisis congruente. Algunos de estos criterios más utilizados son:

- Flexibilidad operacional
- Impacto en la capacidad de producción
- Impacto en la calidad del producto
- Impacto en seguridad, higiene y ambiental
- Parámetros de operación
- Recursos requeridos para mantenimiento
- Stock de repuesto

#### 1.3.1. Modelo de criticidad semicuantitativo “CTR” (Criticidad total por riesgo)

Inicialmente se debe seleccionar un modelo el cual permita seleccionar la estación de bombeo más crítica en toda la carretera hídrica, para ello se estableció el modelo CTR, el cual nos permite cuantificar las frecuencias de fallos y sus consecuencias en cada evento ocurrido.

La expresión matemática utilizada para realizar esta evaluación es la siguiente:

$$CTR = FF \times C$$

Donde:

CTR: Criticidad total de riesgo.

FF: Frecuencia de fallos. Rango de fallos en un tiempo determinado [Fallos/Año]. Ver tabla 1-1.

C: Consecuencias de los eventos de fallos.

Las consecuencias, se determinarán mediante la siguiente expresión:

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

Siendo:

IO = Factor de impacto en la producción. Ver tabla 1-2.

FO = Factor de flexibilidad operacional. Ver tabla 1-3.

CM = Factor de costes de mantenimiento. Ver tabla 1-4.

SHA = Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente. Ver tabla 1-5.

A continuación, se mostrará una ilustración la cual explica como evaluar cuantitativamente los distintos criterios:

| FRECUENCIA DE FALLO (FF) |           |                              |
|--------------------------|-----------|------------------------------|
| 4                        | Frecuente | mayor a 2 eventos por año    |
| 3                        | Promedio  | 1 y 2 eventos por año        |
| 2                        | Bueno     | 0,5 y 1 evento por año       |
| 1                        | Excelente | menos de 0,5 eventos por año |

Tabla 1-1. Tabla frecuencia de fallos.

Fuente: Elaboración propia.

| IMPACTO OPERACIONAL (IO) |                                           |
|--------------------------|-------------------------------------------|
| 10                       | Perdidas de producción superior al 75%    |
| 7                        | Perdidas de producción entre 50% y 74%    |
| 5                        | Perdidas de producción entre el 25% y 49% |
| 3                        | Perdidas de producción entre 10% y 24%    |
| 1                        | Perdidas de producción menor al 10%       |

Tabla 1-2. Tabla impacto operacional.

Fuente: Elaboración propia.

| IMPACTO POR FLEXIBILIDAD OPERACIONAL (FO) |                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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                                                       |

Tabla 1-3. Tabla impacto por flexibilidad operacional.

Fuente: Elaboración propia.

| IMPACTO EN COSTES DE MANTENIMIENTO (CM) |                                                                             |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 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 |

Tabla 1-4. Tabla impacto en costes de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia.

| IMPACTO EN SEGURIDAD, HIGIENE Y AMBIENTE (SHA) |                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8                                              | Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden 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                                                                                             |

Tabla 1-5. Tabla impacto en seguridad, higiene y ambiente.

Fuente: Elaboración propia.

1.3.2. Resultados de análisis de criticidad

Para determinar los equipos críticos, medianamente crítico y no críticos dentro de la gerencia se utilizó la siguiente matriz de criticidad, con el fin de clasificar de manera cuantitativa y cualitativa cada activo. Donde se multiplica la frecuencia de fallas y las consecuencias:

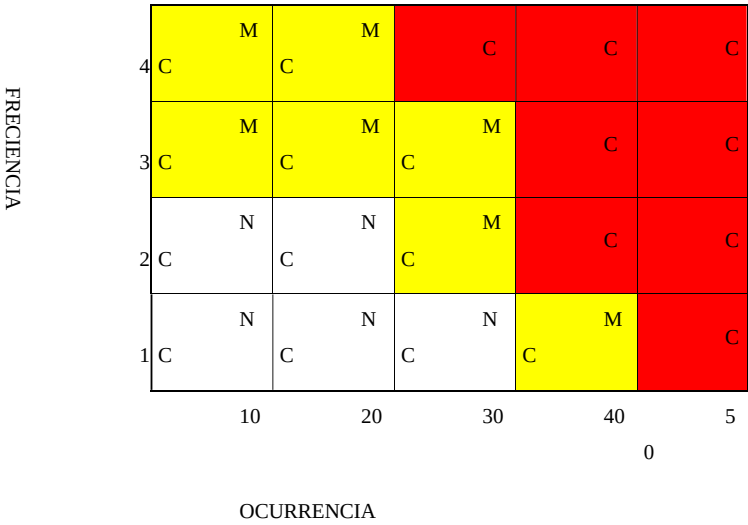


Tabla 1-6. Matriz de criticidad.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez aplicados los conceptos señalados en la tabla anterior (tabla 1-6), se establece la criticad total por riesgo (CTR) de cada conjunto motor-bomba presente en la GRH y que nivel de criticidad presenta cada uno dentro de sus sistemas.

Finalmente, se obtiene que los activos más críticos dentro del Sistema NAE 1 y la GRH, corresponden a las bombas 21,22 y 23, ubicados en la estación de bombeo N°2. (Ver anexo A).

Donde los criterios para evaluar fueron los siguientes; la frecuencia de fallos de los activos mencionados superan los 2 eventos por años ( promedio de 10 eventos por año); el impacto operacional supera el 24% de perdida suministro de agua y puede ser aún más dependiendo de la eficiencia de los otros equipos; en cuanto al impacto por flexibilidad operación se evaluó con la puntuación máxima debido a la falta de repuestos que conllevan a tiempos de mantención elevados; el costo de mantención de estos activos, sumando conjunto motor y bomba ascienden sobre los USD\$20.000; por último, el impacto en seguridad, higiene y ambiente se evaluó con la máxima puntuación ya que, con los parámetros operacionales que maneja el equipo, los procesos de mantención y los eventos ocurridos en periodos anteriores, evidencia un alto impacto a la vida y salud del personal.

1.4.ANÁLISIS DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO

Parte de la problemática actual dentro del sistema NAE etapa 1, es la baja confiabilidad que presentan ciertos equipos para cumplir con los requerimientos de operación actuales, para ello, será importante y clave, evidenciar el comportamiento de los indicadores usados actualmente en mantenimiento en los equipos más críticos, tales como. Bomba 21, bomba 22 y bomba 23 presentes en la estación de bombeo N°2, tal cual se estableció anteriormente en el análisis de criticidad.

Para esto se realizarán análisis de los indicadores de confiabilidad y mantenibilidad asociados a los equipos mencionados anteriormente, donde también se determinará el MTBF (Tiempo medio entre falla) y MTTR (Tiempo medio de reparación).

La finalidad de los indicadores de mantenimiento es cuantificar el comportamiento de los procesos asociados a este ítem, abarcando desde la vida útil de los activos, la calidad de las tareas de mantenimiento que se ejecutan en los activos y la eficiencia y comportamiento de la operación de estos,

#### 1.4.1. Confiabilidad y mantenibilidad.

La confiabilidad se define como la probabilidad en la que un elemento se desempeñe de forma óptima o satisfactoria en un tiempo (t) determinado, antes que ocurra una falla, teniendo en cuenta condiciones de operación establecidas previamente.

En cuanto, a la mantenibilidad, actúa de la forma inversa al a confiabilidad y se define como la probabilidad de realizar una intervención de mantenimiento en un tiempo (tr).

Para complementar la definición de mantenibilidad y confiabilidad es necesario conocer en que consiste la tasa de fallos, la cual se define como la probabilidad de experimentar una falla entre el tiempo “t” y “t+dt”.

Según Weibull, ecuación en la cual se basarán los cálculos de mantenibilidad, confiabilidad y tasa de fallos. Establece que la ecuación para determinar:

➤ Confiabilidad, es la siguiente:

$$R(t) = e^{-((\frac{t-\gamma}{\alpha})^\beta)}$$

Donde:

**t:** Tiempo transcurrido entre la falla

$\gamma$ : Tiempo en el cual se genera la distribución, o tiempo de ocurrencia de la falla.

$\alpha$ : Parámetro de escala de la distribución.

$\beta$ : Establece el parámetro de forma y la etapa de vida útil del activo.

➤ Mantenibilidad:

$$F(t) = 1 - e^{-((\frac{t-\gamma}{\alpha})^\beta)}$$

➤ Tasa de fallos:

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) x \left(\frac{t+\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}$$

Un valor  $\beta < 1$ , indica que la tasa de fallos decrece con el tiempo.

Cuando  $\beta = 1$ , la tasa de fallos es constante en el tiempo.

Un valor  $\beta > 1$ , indica que la tasa de fallos crece con el tiempo.

#### 1.4.1.1. Disponibilidad.

La disponibilidad se define como el tiempo estimado en que un activo o equipo estará en condiciones de funcionamiento, esto permite que el indicador pueda ser manejable y expresado de distintas formas, pero a modo de aplicación del trabajo actual se formulara de la siguiente forma:

$$\text{Disponibilidad (A)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde:

MTBF: tiempo promedio desde el fin de una falla anterior hasta el inicio de una nueva falla, se debe tener en cuenta la cantidad de fallas para determinar el promedio. Ver figura 1-4.

MTTR: corresponde a los tiempos desde el inicio de una falla hasta el fin de esta misma, la cual se debe determinar el promedio teniendo en cuenta la cantidad de fallas ocurridas.

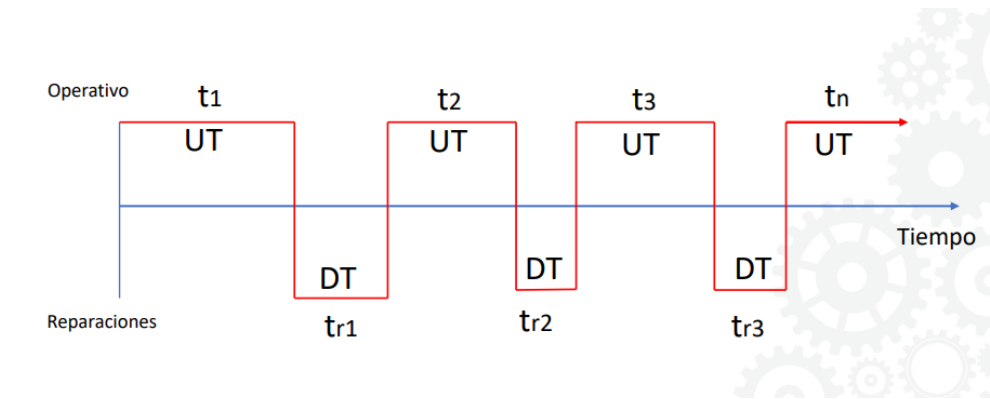


Figura 1-4: Tiempos de operación.

Fuente: Apuntes confiabilidad I.

Donde:

UP: Up time: corresponde al tiempo disponible de operación del equipo.

DT: Down time: es el tiempo fuera de servicio, concedido a fallas técnicas.

1.4.1.2. Confiabilidad en sistema fraccionario.

Como se mencionó en el ítem 1.3.3. la estación de bombeo N°2 se encuentra operando bajo una configuración fraccionaria, en donde, el caudal disponible por las 4 bombas presentes puede ser mayor, menor o igual al caudal requerido. ver figura 1-5.

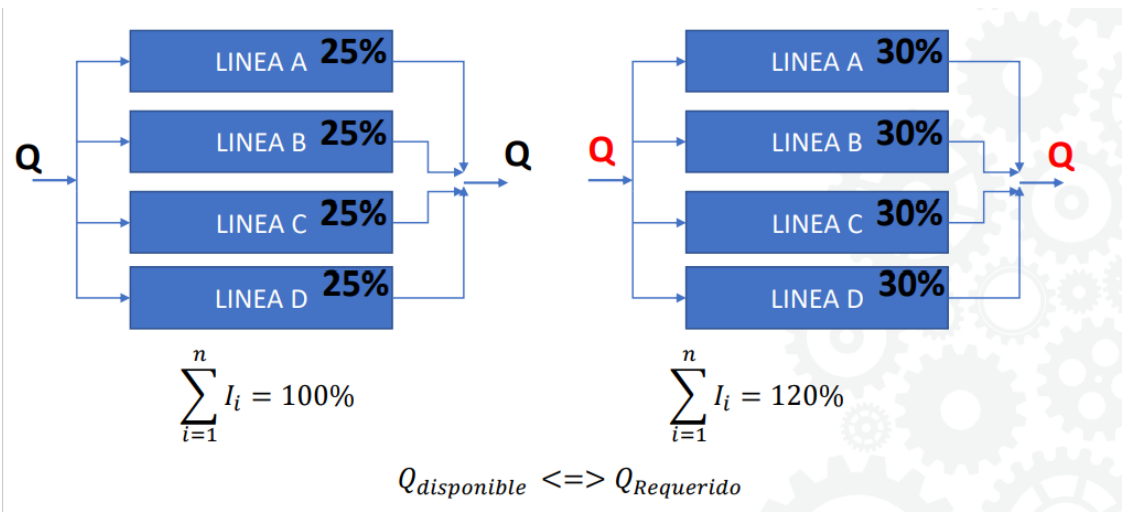


Figura 1-5. Configuración sistema fraccionario.

Fuente: Apuntes confiabilidad I.

La fórmula para calcular la confiabilidad en un sistema fraccionario, y la cual se aplicará para el cálculo de esta, en la estación de bombeo N°2, es la siguiente figura (figura 1-6):

$$R_s(t) = \sum_{i=1}^n R_i(t) * I_i + \left(1 - \sum_{i=1}^n I_i\right) * \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

Figura 1-6: Formula confiabilidad sistema fraccionario.

Fuente: Apuntes confiabilidad I.

Donde:

$R_i(t)$ : probabilidad de ocurrencia. Se calcula asociando la disponibilidad e indisponibilidad de cada activo, formulando cada escenario posible de ocurrencia.

$I_i$ : Disponibilidad de los equipos. Se asocia a la capacidad de carga que pueden ofrecer los equipos operativos dentro del sistema.

$R_s(t)$ : Confiabilidad del sistema.

Al ser una evaluación a un sistema y no a activos físicos, además de utilizar las disponibilidades de cada equipo para el cálculo, la confiabilidad de sistema ( **$R_s$** ) puede expresarse también, como la disponibilidad del sistema ( **$A_s$** ), ya que consiste en una estimación de probabilidades o conjugación de escenarios dentro de un sistema.

#### 1.4.2. Comportamiento actual de los indicadores.

A modo de complementar el trabajo actual, se evidenciará los indicadores anteriormente mencionados, pero esta vez aplicados a la estación de bombeo N°2. Ver tabla 1-7.

Los datos para la realización de los cálculos fueron extraídos a través de PI System (plataforma de visualización de parámetros operacionales), especialmente los horómetros instalados en cada variador de frecuencia de las bombas mencionadas, donde

se utilizaron los horómetros con TAG de “FUNCIONAMIENTO”, “DETENIDO”, “FALLA”, “FUERA DE OPERACIÓN”. (Ver anexo B).

| EB02          |                                                       |                |                |                |                       |                  |                  |                      |              |
|---------------|-------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|------------------|------------------|----------------------|--------------|
| PERIODO       | HORAS ANUALES<br>/ HORAS<br>EFECTIVAS DE<br>OPERACIÓN | KPI MTTO       |                |                |                       |                  |                  | Fallas<br>por<br>Año | A<br>sistema |
|               |                                                       | MTBF<br>(Días) | MTTR<br>(Días) | DISPONIBILIDAD |                       | INDISPONIBILIDAD |                  |                      |              |
|               | 8760 / 8712                                           |                |                |                | TIEMPO =<br>A(T) DIAS | %                | TIEMPO =<br>DIAS |                      |              |
| 2020-<br>2021 | BOMBA 21                                              | 42,2           | 9,3            | 82%            | 297,6                 | 18%              | 65,8             | 9                    | 90,91%       |
|               | BOMBA 22                                              | 34,9           | 6,7            | 84%            | 304,2                 | 16%              | 59,1             | 10                   |              |
|               | BOMBA 23                                              | 37,4           | 7,4            | 83%            | 302,8                 | 17%              | 60,5             | 10                   |              |
|               | BOMBA 24                                              | 119,2          | 2,0            | 98%            | 357,0                 | 2%               | 6,0              | 3                    |              |

Tabla 1-7. Indicadores de mantenimiento EB-02.

Fuente: Elaboración propia.

La bomba 21 presenta un MTBF de 42,2 [días] y un MTTR de 9,3 [días], con una disponibilidad del 82%, que equivalen a 298 días de disponibilidad operativa e indisponibilidad del 18% (66 días fuera de servicio). En cuanto a la cantidad de fallas asociados al equipo, se presentan un total de 9 fallas dentro del periodo 2020-2021. Ver tabla 1-8.

| BOMBA 21      |             |                |             |
|---------------|-------------|----------------|-------------|
| CONFIABILIDAD |             | MANTENIBILIDAD |             |
| beta=         | 1,15598442  | beta=          | 0,78980239  |
| alfa =        | 1066,83442  | alfa =         | 194,990643  |
| INTERCEP =    | -8,06004478 | INTERCEP =     | -4,16458977 |
| MTBF          | 1013,78499  | MTTR           | 222,992084  |

Tabla 1-8. Indicadores confiabilidad bomba 21.

Fuente: Elaboración propia.

La bomba 22 se encuentra con una disponibilidad del 84%, equivalente a 304 días y una indisponibilidad de 59 días (16%). Con un MTBF de 35 días y MTTR de 7 días. Además, el equipo presento un total de 10 fallas anuales. Ver tabla 1-9.

| BOMBA 22      |            |                |             |
|---------------|------------|----------------|-------------|
| CONFIABILIDAD |            | MANTENIBILIDAD |             |
| beta=         | 1,37993763 | beta=          | 0,7732864   |
| alfa =        | 916,076914 | alfa =         | 139,209561  |
| INTERCEP =    | -9,4113131 | INTERCEP =     | -3,81692653 |
| MTBF          | 836,877323 | MTTR           | 161,756384  |

Tabla 1-9. Indicadores confiabilidad bomba 22.

Fuente: Elaboración propia.

Bomba 23 registro en el último periodo (2020-2021), una disponibilidad del 83% (303 días) y una indisponibilidad del 17% (equivalente a 61 días); además, vale destacar que el MTBF del equipo es de 37 días y el MTTR de 8 días. Ver tabla 1-10.

| BOMBA 23      |             |                |             |
|---------------|-------------|----------------|-------------|
| CONFIABILIDAD |             | MANTENIBILIDAD |             |
| beta=         | 2,06374984  | beta=          | 0,7905716   |
| alfa =        | 1013,96597  | alfa =         | 156,117005  |
| INTERCEP =    | -14,2845017 | INTERCEP =     | -3,99286548 |
| MTBF          | 898,198244  | MTTR           | 178,408258  |

Tabla 1-10. Indicadores confiabilidad bomba 23.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, la bomba 24 presento una disponibilidad del 98% (equivalente a 357 días) y una indisponibilidad del 2% (correspondientes a 6 días). El MTBF y MTTR del equipo se encuentras con mejores números en comparación a sus bombas hermanas dentro de la estación de bombeo, con 119 días y 2 días, respectivamente. Ver tabla 1-11.

| BOMBA 24      |             |                |             |
|---------------|-------------|----------------|-------------|
| CONFIABILIDAD |             | MANTENIBILIDAD |             |
| beta=         | 1,03764681  | beta=          | 1,16202623  |
| alfa =        | 2903,26604  | alfa =         | 50,5673017  |
| INTERCEP =    | -8,27377193 | INTERCEP =     | -4,55898351 |
| MTBF          | 2860,29573  | MTTR           | 47,9814605  |

Tabla 1-11. Indicadores confiabilidad bomba 24.

Fuente: Elaboración propia.

las bombas 21,22 y 23 presentan una confiabilidad demasiado baja en comparación con bomba 24, y también analizar que se encuentran con una tasa de falla creciente ( $\beta > 1$ ). Para concluir, el equipo que presenta una confiabilidad más baja es la bomba 23, seguido de la bomba 21, bomba 22 y finalmente la bomba 24.

Además, para realizar este análisis hay que tener en consideración los MTBF de cada activo, con el fin de evaluar la confiabilidad puntual del activo. Donde la bomba 21 presenta un MTFB más abajo, y un MTTR más alto en comparación a las otras bombas. (Ver anexo C) Ver gráfico 1-1.

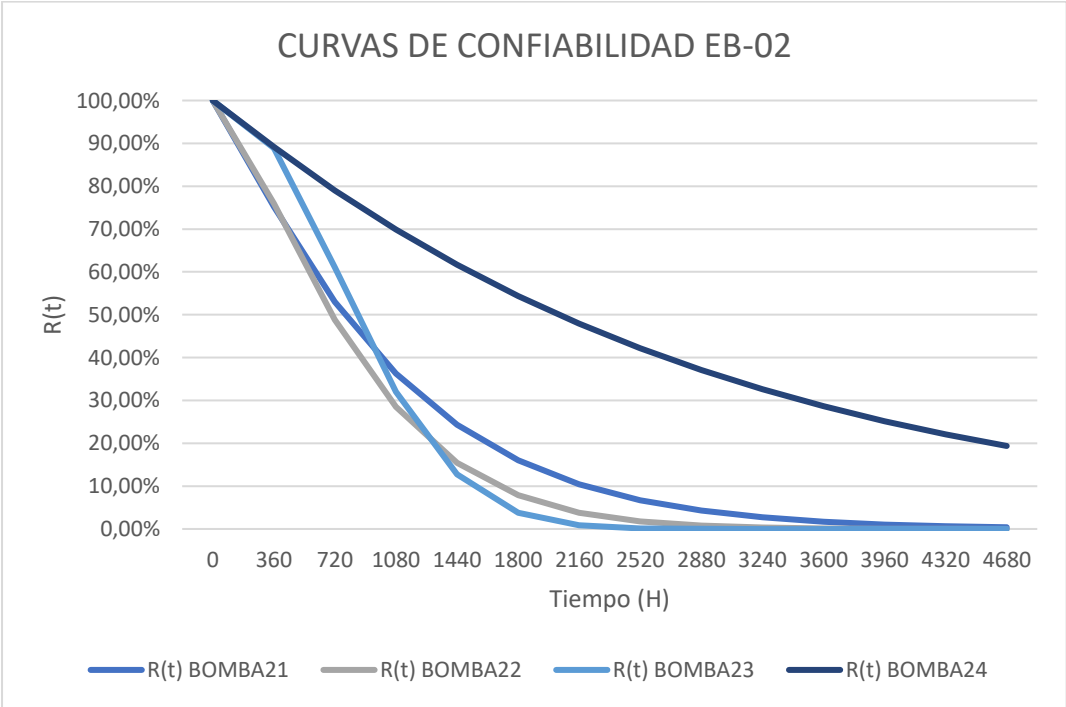


Gráfico 1-1. Confiabilidad equipos EB-02.

Fuente: Elaboración propia.

### **1.5. SELECCIÓN DE EQUIPO CRÍTICO**

Teniendo en consideración el análisis de criticidad realizado a los equipos presentes en la gerencia de recursos hídricos, donde se determinó que la bomba 21-22 y 23 poseen el mismo nivel y numero de criticidad, diferenciándose en un aspecto muy relevante en la industria minera como lo es la seguridad, higiene y medio ambiente, donde la bomba 22 y 23 tuvieron una puntuación mayor debido al impacto de las fallas experimentadas en dichos activos. (Ver anexo A).

Con el fin de realizar una diferenciación y selección única de equipo critico se realizó el análisis a los indicadores de los equipos seleccionados como críticos. Donde se evidencio que la bomba 23 presenta una menor disponibilidad y confiabilidad con respecto a la bomba 22. Ver gráfico 1-1.

Se establece que el equipo critico es la bomba 23 de la estación de bombeo N°2. No obstante, al tratarse de equipos de las mismas características, diseño y contexto operacional, el RCM puede ser aplicado de igual manera para las bombas 21, 22 y 24 dentro de la misma estación.

#### **1.5.1. Descripción de equipo crítico.**

El conjunto motor bomba este compuesto por, un motor de 800 HP que mediante un acople rígido se uno a la bomba flowserve VTP de 8 etapas. Capas de bombear 90 l/s a una presión de 850 PSI. La velocidad de giro de la bomba es de 2980 CP, la cual es controlada a través de un variador de frecuencia dentro de la sala eléctrica y mediante control remoto en sala de control.

Se definirá como volumen de control a los componentes que serán evaluados dentro de los límites establecidos, el cual componente el equipo y permite las funciones principales de este. Ver figura 1-7.

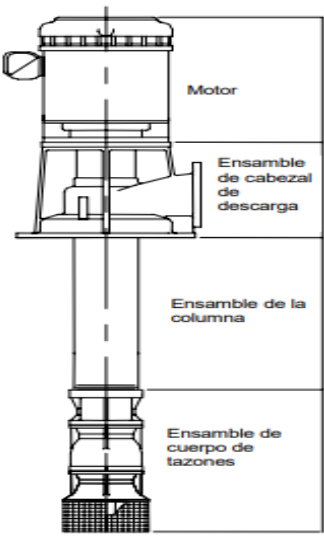


Figura 1-7. Subconjuntos bomba VTP Flowserve.

Fuente: Manual bombas VTP Flowserve.

Se define volumen de control a los componentes que serán evaluados dentro de los límites establecidos, el cual componente el equipo y permite las funciones principales de este. El volumen de control será subdividido en 2 ítem. Debido a la simpleza de su diseño e ingeniería. Ver tabla 1-12. Ver tabla 1-13.

| CONJUNTO MOTOR-BOMBA VTP |                        |
|--------------------------|------------------------|
| SISTEMAS MOTOR-BOMBA     | COMPONENTES / PARTES   |
| SISTEMA MOTRIZ           | BOBINADO               |
|                          | RODAMIENTOS            |
|                          | VENTILADOR             |
|                          | VARIADOR DE FRECUENCIA |
|                          | EJE MOTOR              |

Tabla 1-12. Componentes sistema motriz.

Fuente: Elaboración propia.

| CONJUNTO MOTOR-BOMBA VTP |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| SISTEMAS<br>MOTOR-BOMBA  | COMPONENTES /<br>PARTES |
| SISTEMA DE<br>IMPULSION  | SELLO<br>MECANICO       |
|                          | CHAVETA DE<br>SUJECION  |
|                          | BUJES<br>CENTRADORES    |
|                          | IMPULSOR                |
|                          | TAZONES                 |
|                          | EJE DE BOMBA            |

Tabla 1-13. Componentes sistema motriz.

Fuente: Elaboración propia.

Conectada bajo un sistema fraccionario con otras 3 bombas de las mismas características, componen la estación de bombeo, la cual desarrollan el bombeo a un caudal de 250 l/s desde la sentina de succión, hasta los tanques acumuladores ubicados aguas arribas.

**CAPITULO II: CREACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN  
LA CONFIABILIDAD A EQUIPO CRITICO.**

## **2. CREACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD A EQUIPO CRITICO.**

El mantenimiento centrado en la confiabilidad corresponde al proceso utilizado que determina las actividades, requerimientos y parámetros de mantenimiento a un activo o sistema, para la continuidad operativa de este mismo bajo un contexto operacional establecido.

### **2.1.MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)**

Para desarrollar un RCM de manera exitosa es necesario responder siete preguntas a lo largo del proceso del trabajo, las cuales son:

- ¿Cuáles son las funciones y parámetros de funcionamiento asociados al presente contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer sus funciones principales y secundarias?
- ¿Cuáles son las causas de cada falla funcional?
- ¿Cómo se manifiesta o de qué manera ocurre cada falla?
- ¿Cuál es la importancia de cada falla?
- ¿Cómo se puede predecir y/o prevenir la ocurrencia de cada falla?
- ¿Qué se debe hacer en caso de no encontrar una tarea proactivo-adeuada para la falla?

Para entender de mejor manera cada pregunta, en los siguientes párrafos se explicarán en que consiste cada pregunta mencionada anteriormente.

Las funciones y parámetros de funcionamiento corresponden a lo que los usuarios quieren que haga el activo o sistema y, además, asegurar que sea capaz de realizar aquella operación establecida por el usuario. Es por ello que el primer paso para realizar un RCM es definir las funciones primarias (corresponde al porqué de la adquisición del activo y por lo general se define en base a parámetros cuantitativos) y funciones secundarias (indican el complemento o valor agregado a la función principal) del activo.

Una vez establecidos los conceptos de función principal y secundaria del equipo, es necesario definir en que consiste las fallas funcionales. Que ocurren cuando el activo no puede cumplir una función establecidas bajo parámetros definidos por el usuario. Y por otro lado están las fallas parciales, las cuales corresponden a la funcionalidad del activo, pero en condiciones de operación deficientes establecidas por el usuario. La

importancia de identificar las fallas dentro de un equipo es netamente para dar con el origen de estas, ya sea operacional, no operacional, medioambiental u ocultas, denominadas consecuencias de falla corresponden al ítem más importante dentro un RCM, porque en base a ello se seleccionará que tipo de tarea utilizar a modo de evitar o eliminar la falla. Estas tareas pueden ser proactivas, de reacondicionamiento o sustitución cíclica, a condición y también implementar acciones “a falta de”, que dedican a la búsqueda sistemática de fallas, rediseño del equipo y evitar el mantenimiento no programado.

#### 2.1.1. Proceso de aplicación de un RCM.

Para comenzar a analizar los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos presentes en la empresa u organización, necesitamos saber la importancia del activo a evaluar, el impacto en la producción que genera, en la seguridad y medio ambiente, en costos, analizar los KPI asociados. Realizar un levantamiento de información tanto del proceso como del activo.

El primer paso para realizar un RCM de manera exitosa corresponde al planeamiento y preparación, centrado principalmente, en los siguientes elementos del proceso de planificación:

- Establecer los activos físicos que más se beneficiaran con la aplicación del RCM, y de qué manera se beneficiaran.
- Recursos requeridos para aplicar RCM en activo seleccionado.
- Si los beneficios justifican la inversión, establecer detalladamente, quien realizara cada análisis, quien intervendrá, cuando y donde se hará, y organizar y velar a que el personal involucrado reciba los entrenamientos y capacitaciones apropiadas.
- Establecer planteamiento del contexto operacional comprensible y concreto del activo físico.

El segundo paso, consiste en establecer un grupo de análisis nutrido, ya que, como se mencionó inicialmente, el RCM debe responder siete preguntas claves a lo largo del proceso, y para ello, una sola persona no es capaz de tener una visión más amplia del proceso de producción, mantención, abastecimiento, gestión de activos, y de inversión o inyección de recursos económicos.

Finalmente, si el RCM es aplicado de correcta y según lo sugerido, debiesen darse tres resultados tangibles:

- Planes de mantenimiento a ser realizado por departamento de mantención.

- Procedimientos de operación, revisados, evaluados y comprendidos por y para los operadores.
- Listado de cambios y mejoras en el diseño del activo físico, planes de emergencia para operación en parámetros anormales.

Los resultados anteriores deben ser vistos como medios para un fin mayor, que, a través de auditorías, permitirán cuantificar los beneficios de la implementación de un RCM. Estas auditorías velarán por estudiar y evidenciar el impacto en el ámbito de:

- Seguridad e integridad ambiental.
- Eficiencia operacional (producción, calidad del producto o servicio, y servicio al cliente).
- Optimización de costo-eficacia del mantenimiento.
- Aumentar vida útil en componentes críticos o costosos.
- Generar base de datos nutrida.
- Aumentar motivación del personal y mejorar el trabajo en equipo.

## **2.2. IDENTIFICACION DE FALLAS EN BOMBA VERTICAL FLOWSERVE (23).**

La creación del FMECA es un proceso en donde se debe interactuar con todas las disciplinas involucradas o que intervengan en el equipo, en este caso, cada modo de falla fue consultado a las áreas Mecánica, Eléctrica e instrumentista, Redes y control y por el área predictiva, la cual se encargó de la creación del análisis.

El proceso consistió en tomar datos en un periodo de 1 año donde se realizó seguimiento a los equipos del NAE 1, en especial a la bomba 23 en la estación de bombeo N°2, donde se intervino con mayor frecuencia respecto a las otras estaciones.

### **2.2.1.1. Listado de fallas**

Con el fin de desarrollar un FMECA nutrido y asertivo al conjunto motor-bomba vertical multietapa, se desarrolló un listado de fallas históricas ocurridas en dicho equipo detallando, la frecuencia de ocurrencia de cada modo de fallo, tiempo medio para reparación de cada una de estas. Y las cantidades de horas hombre utilizadas en el desarrollo de las distintas tareas ejecutadas en el equipo. Ver tabla 2-1.

| COMPONENTE                      | MODO DE FALLA                           | FF<br>(Fallos/año) | TTR (Horas) | N°<br>PERSONAS | AREA   | F.U. | HH<br>(Anual) |
|---------------------------------|-----------------------------------------|--------------------|-------------|----------------|--------|------|---------------|
| 1.1. EJE BOMBA                  | CORTE DE EJE                            | 4,00               | 240         | 6              | MEC    | 0,7  | 4032,0        |
|                                 |                                         |                    |             | 1              | MONCON | 0,1  | 96,0          |
|                                 |                                         |                    |             | 3              | E&I    | 0,2  | 576,0         |
| 1.2. BUJES<br>CENTRADORES       | DESGASTE DE BUJES<br>CENTRADORES        | 8,00               | 72          | 5              | MEC    | 0,7  | 2016,0        |
|                                 |                                         |                    |             | 1              | MONCON | 0,1  | 57,6          |
|                                 |                                         |                    |             | 2              | E&I    | 0,2  | 230,4         |
| 1.3. SELLO MECANICO             | RUPTURA DE SELLO MECANICO               | 11,00              | 6           | 3              | MEC    | 0,5  | 99,0          |
|                                 |                                         |                    |             | 1              | MONCON | 0,3  | 19,8          |
|                                 |                                         |                    |             | 2              | MEC    | 0,2  | 26,4          |
| 1.4. IMPULSORES                 | DESGASTE DE IMPULSORES                  | 1,00               | 336         | 4              | MEC    | 0,7  | 940,8         |
|                                 |                                         |                    |             | 1              | MONCON | 0,1  | 33,6          |
|                                 |                                         |                    |             | 3              | E&I    | 0,2  | 201,6         |
| 1.5. TAZONES                    | FRACTURA DE TAZONES                     | 0,50               | 720         | 4              | MEC    | 0,7  | 1008,0        |
|                                 |                                         |                    |             | 0              | MONCON | 0,1  | 0,0           |
|                                 |                                         |                    |             | 3              | E&I    | 0,2  | 216,0         |
| 1.6. CHAVETA EJE<br>BOMBA       | CORTE DE CHAVETA                        | 1,00               | 36          | 3              | MEC    | 0,7  | 75,6          |
|                                 |                                         |                    |             | 0              | MONCON | 0,1  | 0,0           |
|                                 |                                         |                    |             | 2              | E&I    | 0,2  | 14,4          |
| 1.7. BOBINADO<br>MOTOR          | PERDIDA DE AISLACION DE<br>BOBINADO     | 1,00               | 720         | 4              | MEC    | 0,1  | 288,0         |
|                                 |                                         |                    |             | 1              | MONCON | 0,1  | 72,0          |
|                                 |                                         |                    |             | 4              | E&I    | 0,8  | 2304,0        |
| 1.8. RODAMIENTOS<br>MOTOR       | DAÑO EN RODAMIENTOS                     | 1,00               | 240         | 2              | MEC    | 0,6  | 288,0         |
|                                 |                                         |                    |             | 1              | MONCON | 0,2  | 48,0          |
|                                 |                                         |                    |             | 3              | E&I    | 0,2  | 144,0         |
| 1.9. VENTILADOR<br>MOTOR        | DAÑO EN VENTILADOR                      | 0,70               | 168         | 2              | MEC    | 0,2  | 47,0          |
|                                 |                                         |                    |             | 0              | MONCON | 0,1  | 0,0           |
|                                 |                                         |                    |             | 3              | E&I    | 0,7  | 247,0         |
| 1.10. VARIADOR DE<br>FRECUENCIA | VARIADOR DE FRECUENCIA EN<br>MAL ESTADO | 0,10               | 96          | 0              | MEC    | 0,1  | 0,0           |
|                                 |                                         |                    |             | 2              | REDES  | 0,3  | 5,8           |
|                                 |                                         |                    |             | 3              | E&I    | 0,6  | 17,3          |
| 1.11 STUFFING BOX               | DESGASTE DE BUJES DE<br>STUFFING BOX    | 4,00               | 36          | 3              | MEC    | 0,7  | 302,4         |
|                                 |                                         |                    |             | 1              | MONCON | 0,2  | 28,8          |
|                                 |                                         |                    |             | 2              | E&I    | 0,1  | 28,8          |
| TOTAL =                         |                                         | 32                 | 2670        | 75             |        |      | 13464         |

Tabla 2-1. Numero de fallas y horas hombres utilizadas en equipo.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.APLICACIÓN DE JACK KNIFE.

Es un método que consiste en analizar la indisponibilidad o downtime de un equipo o sistema a través de un diagrama de dispersión, además posee información sobre las

frecuencias de falla. Este grafico es dividido en 4 cuadrantes en los cuales se agrupan las distintas fallas y son clasificadas como crónico-agudo, crónico, agudo y bajo control.

Se establecerá el diagrama Jack Knife a partir de la siguiente tabla (Ver tabla 2-2), la cual contiene tiempos y frecuencias de falla, números de fallas y tiempo de falla total por equipo.

| MODO DE FALLAS                       | Tiempo fuera de servicio (minutos) | cantidad de fallas | MTTR   | Limite de cantidad de falla | Limite MTTR |
|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------|--------|-----------------------------|-------------|
| RUPTURA DE SELLO MECANICO            | 66,00                              | 11,0               | 6,00   | 3,2                         | 246,364     |
| DESGASTE DE BUJES CENTRADORES        | 648,00                             | 9,0                | 72,00  | 3,2                         | 246,364     |
| CORTE DE EJE                         | 960,00                             | 4,0                | 240,00 | 3,2                         | 246,364     |
| DESGASTE DE BUJES DE STUFFING BOX    | 144,00                             | 4,0                | 36,00  | 3,2                         | 246,364     |
| FRACTURA DE TAZONES                  | 360,00                             | 0,5                | 720,00 | 3,2                         | 246,364     |
| CORTE DE CHAVETA                     | 36,00                              | 1,0                | 36     | 3,2                         | 246,364     |
| PERDIDA DE AISLACION DE BOBINADO     | 760,00                             | 1,0                | 760    | 3,2                         | 246,364     |
| DAÑO EN RODAMIENTOS                  | 168,00                             | 0,7                | 240    | 3,2                         | 246,364     |
| DESGASTE DE IMPULSORES               | 168,00                             | 0,5                | 336    | 3,2                         | 246,364     |
| VARIADOR DE FRECUENCIA EN MAL ESTADO | 9,60                               | 0,1                | 96     | 3,2                         | 246,364     |
| DAÑO EN VENTILADOR                   | 117,60                             | 0,7                | 168    | 3,2                         | 246,364     |

Tabla 2-2. Modos de falla, frecuencia, MTTR y TFS.

Fuente: Elaboración propia.

Donde, el eje de las ordenadas corresponderá al MTTR y el eje de las abscisas al número de fallas.

Eje y:

$$Limite\ MTTR = \frac{\sum Tiempo\ de\ falla\ total}{\sum N^{\circ}\ de\ fallas}$$

Eje x:

$$Limite\ N^{\circ}\ de\ detenciones = \frac{\sum N^{\circ}\ de\ fallas}{\sum N^{\circ}\ de\ equipos}$$

Cada cuadrante tiene la siguiente denominación, y es explicado como:

- Cuadrante Crónico-Agudo: Es aquel en donde se agrupan los equipos que poseen alto número de fallas y un elevado MTTR. (Baja confiabilidad y mantenibilidad).

- Cuadrante Crónico: Es aquel en donde se agrupan los equipos que poseen un alto número de detenciones y un bajo MTTR. (Baja confiabilidad).
- Cuadrante Agudo: Es aquel en donde se agrupan los equipos que poseen un bajo número de fallas y un elevado MTTR. (Baja mantenibilidad).
- Cuadrante Leve o bajo control: Es aquel en donde se agrupan los equipos que poseen un bajo número de fallas y un bajo MTTR.

El diagrama de dispersión Jack Knife se grafica en escala logarítmica para mejor visualización de los resultados. Además, se grafican las curvas de iso.

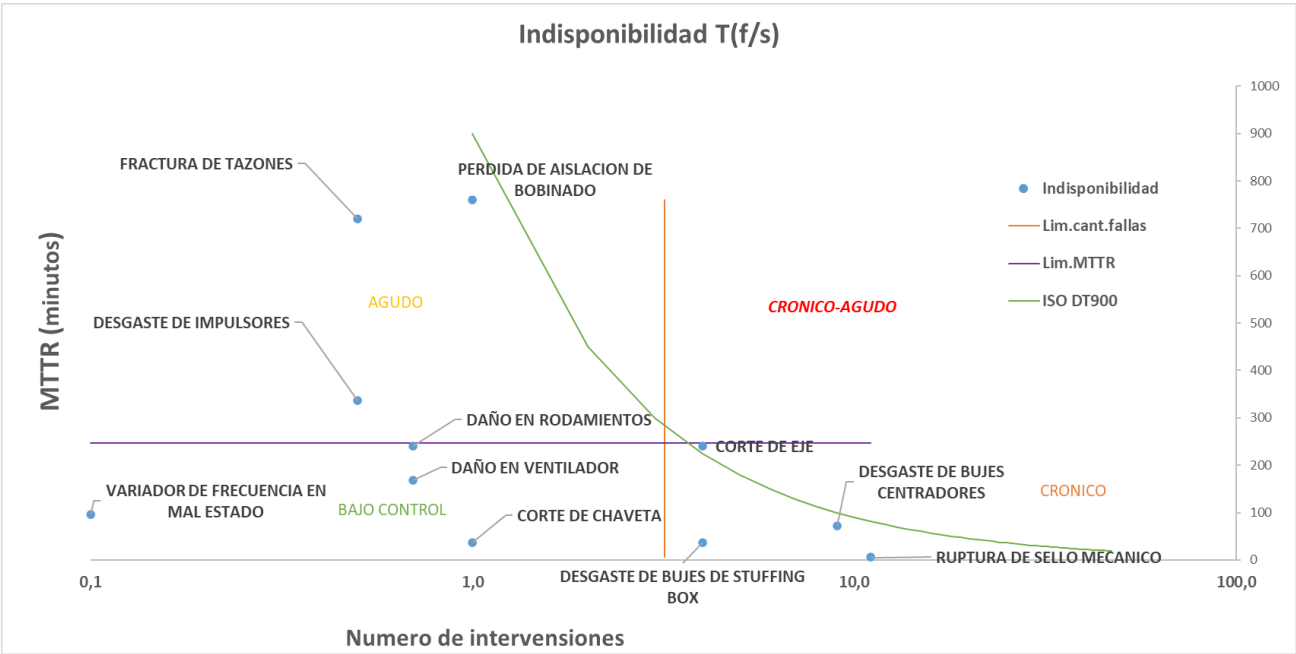


Gráfico 2-1. Diagrama de Jack Knife.

Fuente: Elaboración propia.

Se logra observar que el modo de falla asociado al corte de eje esta por sobre la curva ISO DT900, por lo que se explica que el equipo lleva mas de 900 horas acumuladas fuera de servicio. Ver gráfico 2-1.

Se comprende que los modos de fallas asociados al corte de eje, desgaste de bujes centradores, desgaste de bujes Stuffing Box y ruptura de sello mecánico se encuentran en el cuadrante crónico, lo cual se asocian estos modos de falla, netamente a baja confiabilidad.

Por otro lado, los modos de fallos asociados a fractura de tazones, pérdida de aislación en bobinado y desgaste de impulsores se encuentre en el cuadrante de “Agudos”, lo que significa que estos modos de fallos se deben a baja mantenibilidad.

Y para finalizar, el resto de modos de fallos se encuentran en un cuadrante no crítico, por ende, no es importante darle atención en este momento.

## **2.4. ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA BASADO EN CRITICIDAD.**

El FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis, por sus siglas en inglés) es una metodología utilizada en ingeniería y gestión de mantenimiento, específicamente en el área de confiabilidad, para identificar, analizar y priorizar los modos de fallo, los efectos de dichos fallos y la criticidad de los componentes en un proceso o sistema determinado.

Para ello, es necesario identificar el o los equipos críticos dentro de un sistema para determinar las fallas presentes o potenciales en este equipo. Elaborar un listado de fallas, realizar un levantamiento del impacto operacional y monetario de estas.

La creación de este análisis debe estar compuesta por un equipo multidisciplinario, el cual ayudara a descubrir el origen las fallas y las medidas de acción necesarias para mitigar o minimizar el impacto de estas.

### **1. ETAPAS DEL FMECA.**

Se identifican y enumeran todos los componentes o elementos que forman parte del o los sistemas que se van a utilizar en el análisis.

#### **2.4.1.1. Identificación de modos de fallo:**

Una vez que se identifica cada componente, se determinan los modos de fallo posibles. El cual, un modo de fallo es una forma en la que un componente puede dejar de funcionar o no cumplir su función correctamente. Permitiendo deficiencias en la operatividad del sistema.

2.4.1.2.Análisis de efectos de fallo:

Se analizarán los efectos que cada modo de fallo puede tener en el sistema o proceso teniendo en cuenta su impacto en la operación, seguridad, calidad, medio ambiente, costos, entre otros.

2.4.1.3.Evaluación de la criticidad:

Se establece un valor de criticidad a cada modo de fallo denominado “Numero prioridad de riesgo” según su probabilidad de ocurrencia, severidad de los efectos y nivel de detección de la falla antes de que cause daños significativos al sistema o componente. Esta cuantificación de criticidad es expresada a través de la siguiente ecuación:

$$NPR = O \times S \times D$$

Donde:

O = Ocurrencia. Ver tabla 2-4.

S = Severidad. Ver tabla 2-3.

D = Detección. Ver tabla 2-5.

A continuación, se mostrará las tablas utilizadas para determinar y cuantificar las variables de severidad, detección y ocurrencia de la falla.

| SEVERIDAD                               |        |
|-----------------------------------------|--------|
| Criterio: Costo resultante del TPR x IP | Escala |
| Mas de 100.000 USD                      | 10     |
| Entre 40.000 UDS y 99.000 USD           | 9      |
| Entre 20.000 USD y 39.999 USD           | 8      |
| Entre 10.000 USD y 19.999 USD           | 7      |
| Entre 5000 USD y 9.999 USD              | 6      |
| Entre 2.500 USD y 4.999 USD             | 5      |
| Entre 1.000 USD y 2.499 USD             | 4      |
| Entre 400 USD y 999 USD                 | 3      |
| Entre 200 USD y 399 USD                 | 2      |
| Entre 0 USD y 199 USD                   | 1      |

Tabla 2-3. Criterios de evaluación de severidad.

Fuente: Aplicación de la técnica AMFEC

| OCURRENCIA                                                 |        |
|------------------------------------------------------------|--------|
| Criterio: Frecuencia de fallas representadas en una escala | Escala |
| Diario                                                     | 10     |
| 2 x Semana                                                 | 9      |
| Semanal                                                    | 8      |
| Quincenal                                                  | 7      |
| Mensual                                                    | 6      |
| Bimensual                                                  | 5      |
| Trimensual                                                 | 4      |
| Semestral                                                  | 3      |
| Anual                                                      | 2      |
| Menos de 1 Anual                                           | 1      |

Tabla 2-4. Criterios de evaluación de ocurrencia.

Fuente: Aplicación de la técnica AMFEC.

| DETECCIÓN          |                                                                                               |        |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Detección          | Criterio: Probabilidad de la prueba conducida detecte anomalía antes que la falla se presente | Escala |
| Casi Imposible     | Prueba detecta < 60 % de fallas                                                               | 10     |
| Muy Remota         | Prueba debe detectar 60 % de fallas                                                           | 9      |
| Remota             | Prueba debe detectar 65 % de fallas                                                           | 8      |
| Muy Baja           | Prueba debe detectar 70 % de fallas                                                           | 7      |
| Baja               | Prueba debe detectar 75 % de fallas                                                           | 6      |
| Moderada           | Prueba debe detectar 80 % de fallas                                                           | 5      |
| Altamente Moderada | Prueba debe detectar 85 % de fallas                                                           | 4      |
| Alta               | Prueba debe detectar 88 % de fallas                                                           | 3      |
| Muy Alta           | Prueba debe detectar 93 % de fallas                                                           | 2      |
| Casi Seguro        | Prueba debe detectar 98 % de fallas                                                           | 1      |

Tabla 2-5. Criterios de evaluación de detección de falla.

Fuente: Aplicación de la técnica AMFEC.

2.4.1.4.Priorización de acciones:

Los modos de fallo se clasifican según su nivel de criticidad, lo que permite identificar las áreas de mayor riesgo y priorizar las acciones de mantenimiento o mejora necesarias para mitigar o prevenir esos fallos.

| POTENTIAL<br>FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS<br>Front Door L.H.                                                   |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                             |                                |                                                                                  |                                                                                |                               |                                                                                                           |                                                                                 |                                      |                    |                                                                            |                                                             |                                                                                                                                      | FMEA Number                            |      | 1450            |      |           |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------|-----------------|------|-----------|--|
| FMEA Type                                                                                                           |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                             |                                |                                                                                  |                                                                                |                               |                                                                                                           | Page                                                                            |                                      | 1                  |                                                                            | of                                                          |                                                                                                                                      | 1                                      |      |                 |      |           |  |
| Item                                                                                                                |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                             |                                | 1.1.1 - Front Door L.H.                                                          |                                                                                |                               |                                                                                                           | Process Responsibility                                                          |                                      |                    |                                                                            | Body Engineering                                            |                                                                                                                                      |                                        |      |                 |      |           |  |
| Model Year(s)/Vehicle(s)                                                                                            |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                             |                                | 20XX/Lion 4dr/Wagon                                                              |                                                                                |                               |                                                                                                           | Key Date                                                                        |                                      |                    |                                                                            | 3/10/2015                                                   |                                                                                                                                      |                                        |      |                 |      |           |  |
| Core Team                                                                                                           |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                             |                                | A. Tate Body Engrg, J. Smith - OC, R. James - Production, J. Jones - Maintenance |                                                                                |                               |                                                                                                           |                                                                                 |                                      |                    |                                                                            |                                                             |                                                                                                                                      | FMEA Date (Orig.)                      |      | 3/10/2015 (Rev) |      | 3/21/2015 |  |
| Name / Function                                                                                                     |                                                  | Potential Failure Mode                                                                                                                                                                                                                      | Potential Effect(s) of Failure | SEV                                                                              | Classification                                                                 | Potential Cause(s) of Failure | OCCI                                                                                                      | Current Process Controls (Prevention)                                           | Current Process Controls (Detection) | DET                | RPN                                                                        | Recommended Action(s)                                       | Responsibility & Planned Completion Date                                                                                             | Action Results                         |      |                 |      |           |  |
| Requirements                                                                                                        |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                             |                                |                                                                                  |                                                                                |                               |                                                                                                           |                                                                                 |                                      |                    |                                                                            |                                                             |                                                                                                                                      | Actions Taken & Actual Completion Date | SEVr | OCCr            | DETr | RPNr      |  |
| 1.1.1 - Front Door L.H.                                                                                             |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                             |                                |                                                                                  |                                                                                |                               |                                                                                                           |                                                                                 |                                      |                    |                                                                            |                                                             |                                                                                                                                      |                                        |      |                 |      |           |  |
| Op. 70 Manual application of wax inside door/ cover inner door, lower surfaces with wax to specification thickness. | Insufficient wax coverage over specified surface | Allows integrity breach of inner door panel. Corroded interior lower door panels. Deteriorated life of door leading to:<br>- Unsatisfactory appearance due to rust through paint over time<br>- Impaired function of interior door hardware | 7                              |                                                                                  | Manually inserted spray head not inserted far enough                           | 8                             |                                                                                                           | Visual check each hour - 1/shift for film thickness (depth meter) and coverage. | 5                                    | 280                | Add positive depth stop to sprayer.                                        | Mfg Engrg - 3/10/2003                                       | Stop added, sprayer checked on line.                                                                                                 | 7                                      | 2    | 5               | 70   |           |  |
|                                                                                                                     |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                             |                                |                                                                                  |                                                                                |                               |                                                                                                           |                                                                                 |                                      | Automate spraying. | Mfg Engrg - 3/10/2003                                                      | Rejected due to complexity of different doors on same line. |                                                                                                                                      |                                        |      |                 |      |           |  |
|                                                                                                                     |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                             |                                |                                                                                  | Spray head clogged- Viscosity too high- Temperature too low- Pressure too low. | 5                             | Test spray pattern at start-up and after idle periods, and preventive maintenance program to clean heads. | Visual check each hour - 1/shift for film thickness (depth meter) and coverage. | 5                                    | 175                | Use Design of Experiments (DOE) on viscosity vs. temperature vs. pressure. | Mfg Engrg - 3/10/2003                                       | Temp and press limits were determined and limit controls have been installed - control charts show process is in control Cpk = 1.85. | 1                                      | 5    | 35              |      |           |  |
|                                                                                                                     |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                             |                                |                                                                                  | Spray head deformed due to impact                                              | 2                             | Preventive maintenance program to maintain heads.                                                         | Visual check each hour - 1/shift for film thickness (depth meter) and coverage. | 5                                    | 70                 |                                                                            |                                                             |                                                                                                                                      | 2                                      | 5    | 70              |      |           |  |

Figura 2-1. Ejemplo de FMECA.

Fuente: Aplicación de la técnica AMFEC.

El FMECA es una herramienta poderosa que proporciona una visión detallada de los posibles modos de fallo y sus efectos, lo que ayuda a las organizaciones a tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento preventivo, la mejora del diseño, la selección de componentes y otras estrategias para garantizar la confiabilidad y eficiencia del sistema o proceso (Ver figura 2-1). También se utiliza para establecer planes de mantenimiento centrados en la confiabilidad, como en el caso que mencionaste anteriormente, donde se busca optimizar los procesos de mantenimiento y operación de los activos involucrados en la carretera hídrica de Codelco DAND.

2.5.APLICACIÓN DE FMECA A EQUIPO CRITICO

A continuación, se presentará el FMECA realizado, detallando sus modos, efectos y causas de falla, evaluando la criticidad a través del NPR. Ver tabla 2-6.

| FMECA: EQUIPO                                                                                  |                                                                           |            |                                                                        | NOMBRE DEL EQUIPO:<br>BOMBA VERTICAL FLOWSERVE |                                                                                                                      | NUMERO: 21 AL 24 MODELO:<br>FLOWSERVE                                                                                                                        |                     |                      |                                         |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------------------|-----|
| PROVEEDOR AFECTADO: CODELCO<br>DIV. ANDINA                                                     |                                                                           |            | DESCRIPCIÓN                                                            |                                                |                                                                                                                      | SITUACION ACTUAL                                                                                                                                             |                     |                      |                                         |     |
| DESCRIPCION<br>DEL EQUIPO                                                                      | FUNCION<br>DEL EQUIPO                                                     | ITEM<br>MF |                                                                        |                                                |                                                                                                                      | MODO DE<br>FALLA                                                                                                                                             | EFEECTO DE<br>FALLA | CAUSA DE LA<br>FALLA | ACCIONES<br>ACTUALES / TTR<br>/ FF / IP | O   |
| BOMBA<br>VERTICAL, EL<br>CUAL SU<br>PRODUCTO A<br>TRANSPORTAR<br>ES AGUA                       | CONVERTIR<br>ENERGIA<br>ELECTRICA<br>EN ENERGIA<br>MECANICA<br>HIDRAULICA | 1.1        | CORTE DE EJE                                                           | interrupción<br>de bombeo                      | Fatiga de eje                                                                                                        | cambio de eje<br>/<br>TTR = 240<br>H    / ff = 4<br>(Fallas/ año) / IP<br>= 18   ( USD/H)<br>RIESGO = 17280<br>USD/AÑO                                       | 4                   | 7                    | 7                                       | 196 |
|                                                                                                |                                                                           | 1.2        | DESGASTE DE<br>BUJES<br>CENTRADORES                                    | Soltura<br>mecánica                            | Material de<br>buje de baja<br>calidad, ajuste<br>de buje no<br>corresponde.                                         | cambio de buje<br>/<br>TTR = 72 H /<br>FF = 8<br>(Fallas/años) /<br>IP = 6 ( USD/H)<br>RIESGO = 3456<br>USD/AÑO                                              | 5                   | 5                    | 4                                       | 100 |
|                                                                                                |                                                                           | 1.3        | RUPTURA DE<br>SELLO<br>MECANICO /<br>SELECCIÓN<br>ERRONEA DE<br>SELLO. | filtración de<br>fluido                        | Mal montaje<br>de sello                                                                                              | Cambio y/o<br>reparación de<br>sello / TTR = 6 H<br>/<br>FF = 11<br>(Fallas/año) / IP<br>= 600   ( USD/H)<br>RIESGO = 39600<br>USD/AÑO                       | 6                   | 8                    | 5                                       | 240 |
|                                                                                                |                                                                           | 1.4        | DESGASTE DE<br>IMPULSORES                                              | perdida de<br>eficiencia                       | cavitación en<br>bomba /<br>regulación<br>errónea de<br>GATT                                                         | reparación y/o<br>cambio de<br>impulsores /<br>TTR = 336 H / FF<br>= 1 (Falla/año) /<br>IP = 30 (USD/H)<br>RIESGO = 10080<br>USD/AÑO                         | 2                   | 7                    | 7                                       | 98  |
|                                                                                                |                                                                           | 1.5        | FRACTURA DE<br>TAZONES                                                 | interrupción<br>de bombeo                      | Fatiga de<br>material y/o<br>cavitación                                                                              | cambio de<br>tazones / TTR =<br>720 H / FF = 0,5<br>(Fallas/año) /<br>IP = 40   ( USD/H)<br>RIESGO = 14400<br>USD/AÑO                                        | 1                   | 7                    | 9                                       | 63  |
|                                                                                                |                                                                           | 1.6        | CORTE DE<br>CHAVETA                                                    | interrupción<br>de bombeo                      | Sobreesfuerzos<br>de corte, fatiga<br>de material,<br>mal ajuste<br>dimensional,<br>error en<br>diseño de<br>chaveta | cambio de<br>chaveta y<br>rectificado de<br>canal chavetero<br>/<br>TTR = 36 H /<br>FF = 1<br>(Fallas/año) /<br>IP = 5   ( USD/H)<br>RIESGO = 180<br>USD/AÑO | 2                   | 1                    | 10                                      | 20  |
|                                                                                                |                                                                           | 1.7        | DESGASTE DE<br>BUJES EN<br>STUFFING BOX                                | Soltura<br>mecánica                            | Desbalanceo<br>de eje, ajuste<br>excesivo entre<br>buje y eje,<br>material muy<br>blando.                            | Cambio de<br>stuffing box o<br>cambio de buje<br>/<br>TTR = 36 H /<br>FF = 4<br>(Fallas/año) / IP<br>= 23 (USD/H)<br>RIESGO = 3312<br>USD/AÑO                | 4                   | 5                    | 5                                       | 100 |
| MOTOR<br>ELECTRICO<br>VERTICAL, EL<br>CUAL<br>ACCIONA LA<br>BOMBA PARA<br>TRNASPORTAR<br>AGUA. | CONVERTIR<br>ENERGIA<br>ELECTRICA<br>EN ENERGIA<br>MECANICA<br>HIDRAULICA | 1.8        | PERDIDA DE<br>AISLACION DE<br>BOBINADO                                 | perdida de<br>eficiencia                       | Temperatura<br>sobre la<br>nominal,<br>humedad<br>ambiental,<br>cumplimiento<br>de vida útil                         | rebobinado/<br>cambio motor /<br>TTR = 720 H / FF<br>= 1 (Fallas/año)<br>/<br>IP = 15   ( USD/H)<br>RIESGO = 10800<br>USD/AÑO                                | 2                   | 7                    | 6                                       | 84  |
|                                                                                                |                                                                           |            |                                                                        |                                                |                                                                                                                      |                                                                                                                                                              |                     |                      |                                         |     |

|  |  |      |                                      |                                                                            |                                                                                                                |                                                                                                                                           |   |   |   |    |
|--|--|------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|----|
|  |  | 1.9  | DAÑO EN RODAMIENTOS                  | Aumento de valores vibratorios, temperatura.                               | Desbalanceo, mal montaje, lubricación deficiente, selección errónea de rodamientos, cumplimiento de vida útil. | Monitoreo sintomático, cambio y/o lubricación de rodamientos / TTR = 240 H / FF = 1 (Fallas/año) / IP = 20 ( USD/H) RIESGO = 4800 USD/AÑO | 2 | 5 | 5 | 50 |
|  |  | 1.10 | DAÑO EN VENTILADOR                   | Aumento de temperatura en motor eléctrico                                  | Humedad ambiental y mantenciones deficientes                                                                   | Mantención correctiva / TTR = 168 H / FF = 0,7 (Fallas/año) / IP = 10 ( USD/H) RIESGO = 1176 USD/AÑO                                      | 1 | 4 | 5 | 20 |
|  |  | 1.11 | VARIADOR DE FRECUENCIA EN MAL ESTADO | Aumento de valores vibratorios, daño en componentes mecánicos y eléctricos | mantención y operación deficiente.                                                                             | Mantención de instrumentación y control / TTR = 96 H / FF = 0,1 (Fallas/año) / IP = 500 ( USD/H) RIESGO = 4800 USD/AÑO                    | 1 | 5 | 5 | 25 |

Tabla 2-6. Modos, efecto y causa de fallas y acciones actuales.

Fuente: Elaboración propia.

2.6.HOJA DE DECISION PARA TAREAS PROPUESTAS.

La hoja de decisión es una etapa del FMECA que consiste en responder una serie de preguntas en base al modo de falla en cuestión, en donde cada nivel de preguntas está relacionadas a la detección y mitigación de la falla, respondiendo si o no. Mediante estas preguntas se podrá determinar de forma asertiva la tarea que se desarrollará para combatir el modo de falla. Ver figura 2-2. (Ver anexo C).

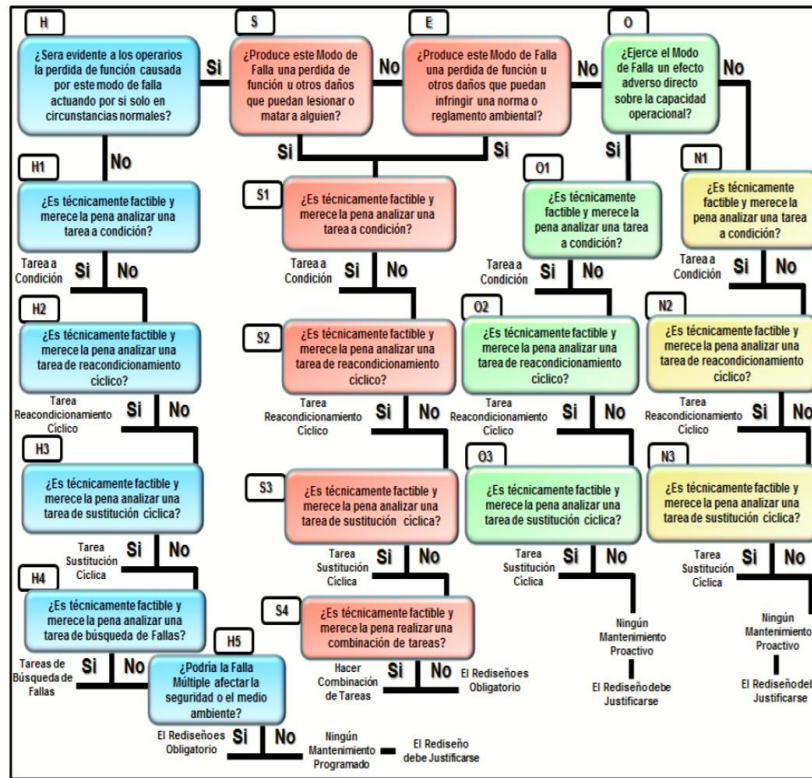


Figura 2-2. Esquema de decisión para tareas propuestas.

Fuente: Apuntes Ing. En confiabilidad I.

### 2.6.1. TAREAS A CONDICION POR FALLAS POTENCIALES.

Para estas fallas es necesario la realización de las tareas a condición, las cuales permitirán ir evaluando la condición de la maquina entre el punto P y F, donde se medirán de forma cualitativa y en el mayor de los casos, cuantitativamente, la condición del equipo y programar la detención del equipo para sustitución y/o reparación.

No obstante, es necesario determinar un delta de tiempo entre que se notifica la condición de detección del equipo por mantenimiento y la ocurrencia de la falla, con esto se evita prolongar los tiempos de inoperatividad del equipo, además de evitar fallas catastróficas o mayores daños al equipo. Este delta de tiempo puede definirse como la diferencia entre el intervalo P-F y la frecuencia de inspección o monitoreo al componente/equipo.

### 2.6.2. TAREAS DE REACONDICIONAMIENTO CICLICO.

Para la realización de estas tareas, en primera instancia debe haber una edad de vida útil definida o estimada. En base a esto, se define un periodo donde se reacondiciona el componente, es decir, donde se reconstruye o se hace una reparación mayor

independiente de la condición del componente en ese momento, quedando en condiciones óptimas y/o aceptables de funcionamiento. Cabe destacar, que, al ser un reacondicionamiento, el componente difícilmente volverá a su capacidad y resistencia original, pero si prolongara su vida útil. Ver figura 2-3.

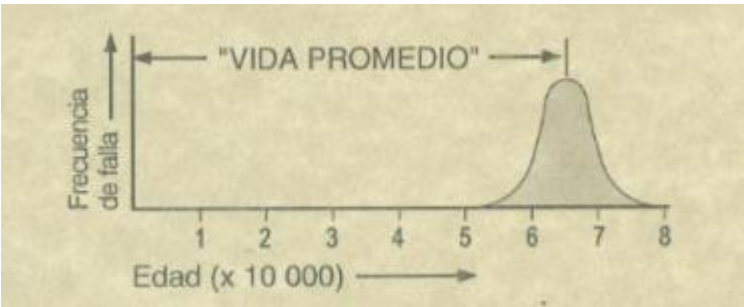


Figura 2-3. Vida promedio y probabilidad de falla.

Fuente: curso de formación RCM.

Determinar la frecuencia o intervalo de reacondicionamiento depende netamente de la posibilidad de identificar el momento o edad en que comienza el desgaste definitivo, permitiendo ejecutar las tareas de reacondicionamiento a edades ligeramente inferiores a la vida útil. Se observa en el caso de patrón A y B, ambos presentan un periodo o edad en donde la probabilidad en que ocurra la falla se hace mayor, con una zona de desgaste definida, en estos casos es posible determinar con mayor exactitud la vida útil del componente y el periodo de reacondicionamiento; por otro, en el patrón C se observa una tasa constante de crecimiento en la probabilidad de ocurrencia, generando un periodo de vida útil aleatorio y menos exacto. Ver figura 2-4.

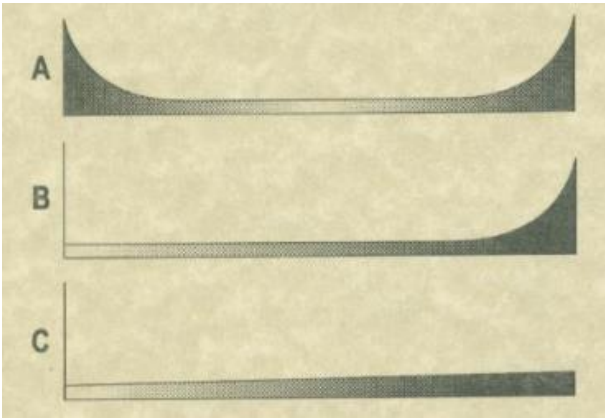


Figura 2-4. Tipos de probabilidad de fallos.

Fuente: curso de formación RCM.

Para evitar la problemática del patrón C y ser más asertivo se debe determinar y analizar al menos 4 intervalos de reacondicionamiento diferentes para lograr tener una frecuencia precisa, y dependerá también el contar con antecedentes confiables del equipo. Es imposible establecer periodos de intervención asertivos, si el equipo en cuestión no ha estado en operatividad nunca o corresponde a un equipo nuevo. Ahí es, cuando se debe generar un estudio desde su puesta en marcha para determinar la vida útil de los componentes y equipo.

### 2.6.3. Tareas de sustitución cíclica.

Las tareas de sustitución cíclica consisten en reemplazar un componente del equipo o descartar, antes o en el límite de edad determinada, independiente de la condición en ese momento. Hay que tener en cuenta que, al realizar la sustitución por un componente nuevo, se restaurará la resistencia original.

La frecuencia de una tarea de sustitución cíclica está sujeta al instante en que el componente comienza a incrementar su probabilidad de falla. Aquí es donde el RCM implementa y define dos límites de vida, denominados “límite de vida segura” y “límite de vida económica.

El término de límite de vida económica establece el límite de vida de un componente por razones económicas y también por la expectativa operacional, donde se fundamenta con la relación edad-confiabilidad del elemento.

### 2.6.4. Combinación de tareas.

La combinación de tarea es muy poco frecuente, pero se lleva a cabo cuando no es suficiente la implementación de una tarea para reducir el riesgo asociado a esta, ya sea económico, seguridad, confiabilidad o medio ambiente. Por ello, es necesario realizar más de una tarea en conjunto, para reducir a niveles tolerables dicho riesgo. Donde se puede establecer una tarea a condición y de sustitución cíclica a un elemento. Cada una de estas desarrolladas a una frecuencia propia.

2.7. TAREAS PROPUESTAS MEDIANTE FMECA

| ITEM                                 | TIPO DE TAREA                        | TAREA PROPUESTA                                                              | FRECUENCIA (HORAS) | A REALIZARSE POR:                        | N° DE PERSONAS | H-H |
|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------|----------------|-----|
| CORTE DE EJE                         | TAREA A CONDICION                    | MEDICION DE VIBRACIONES                                                      | 168                | ESPECIALISTA MONCON                      | 1              | 1   |
|                                      |                                      | TINTAS PENETRANTES                                                           | 6000               | MAESTRANZA OSORIO                        | 2              | 3   |
|                                      |                                      | MEDICION DE DESBALANCEO O PANDEO                                             | 6000               | MAESTRANZA OSORIO                        | 2              | 3   |
|                                      |                                      | CAMBIO DE EJE                                                                | 6000               | MAESTRANZA OSORIO                        | 4              | 8   |
| DESGASTE DE BUJES CENTRADORES        | TAREA SUSTITUCION CICLICA            | CAMBIO DE BUJES CENTRADORES (CUANDO JUEGO ENTRE BUJE Y EJE SEA MAYOR A 3 MM) | 6000               | MAESTRANZA OSORIO                        | 2              | 4   |
| RUPTURA DE SELLO MECANICO            | COMBINACION DE TAREAS                | INSPECCIONES VISUALES                                                        | 168                | ESPECIALISTA MONCON O MECANICOS DE TURNO | 1              | 1   |
|                                      |                                      | PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO                                                    | 4000               | ESPECIALISTA MONCON / MECANICOS DE TURNO | 2              | 3   |
|                                      |                                      | CAMBIO DE SELLOS                                                             | 4000               | ESPECIALISTA MONCON / MECANICOS DE TURNO | 3              | 4   |
| DESGASTE DE IMPULSORES               | TAREA DE SUSTITUCION CICLICA         | CAMBIO DE IMPULSORES DE FORMA PREVENTIVA                                     | 8000               | MAESTRANZA OSORIO                        | 4              | 8   |
| FRACTURA DE TAZONES                  | COMBINACION DE TAREAS                | MEDICION DE VIBRACIONES                                                      | 168                | ESPECIALISTA MONCON                      | 1              | 1   |
|                                      |                                      | INSPECCIONES VISUALES                                                        | 4000               | MECANICOS DE TURNO                       | 3              | 6   |
|                                      |                                      | CAMBIO DE TAZONES                                                            | 12000              | MAESTRANZA OSORIO                        | 4              | 8   |
| CORTE DE CHAVETA                     | TAREA DE SUSTITUCION CICLICA         | CAMBIO DE CHAVETAS                                                           | 12000              | MECANICOS DE TURNO                       | 2              | 3   |
| DESGASTE DE STUFFING BOX             | TAREA DE SUSTITUCION CICLICA         | CAMBIO DE STUFFING BOX                                                       | 8000               | MECANICOS DE TURNO                       | 3              | 4   |
| PERDIDA DE AISLACION DE BOBINADO     | TAREA DE CONDICION                   | MEDICION DE AISLACION EN DEBANADO                                            | 4000               | ELECTRICOS DE TURNO                      | 3              | 4   |
|                                      |                                      | TERMOGRAFIA A MOTOR                                                          | 168                | ESPECIALISTA MONCON                      | 1              | 1   |
| DAÑO EN RODAMIENTOS                  | TAREA DE CONDICION                   | MEDICION DE VIBRACIONES (VERIFICAR COMPONENTES BPFO,BPFI DE ROD.)            | 168                | ESPECIALISTA MONCON                      | 1              | 1   |
| DAÑO EN VENTILADOR                   | TAREA DE REACONDICIONAMIENTO CICLICO | REVISION PREVENTIVA DE VENTILADOR                                            | 4000               | ELECTRICOS DE TURNO                      | 3              | 4   |
| VARIADOR DE FRECUENCIA EN MAL ESTADO | TAREA DE REACONDICIONAMIENTO CICLICO | PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO                                                    | 4000               | ELECTRICOS DE TURNO                      | 3              | 4   |

Tabla 2-7. Tareas propuestas para cada modo de fallo.

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia en la tabla (Tabla 2-7) anterior el listado de 19 tareas propuestas para cada modo de falla, las cuales fueron puestas en marcha blanca desde marzo del 2022 hasta marzo del 2023. Periodo el cual se desarrollaron análisis en base a la frecuencia optima de realización de cada tarea, la cual se obtuvo de acuerdo a monitoreos sintomáticos/predictivos y pruebas de vida útil máxima en componentes. Además, se determinó la cantidad de personas involucradas mediante pruebas y ensayos de tiempos óptimos de mantención, donde se realizaron las tareas propuestas, con distintas cantidades de personas involucradas, generando un balance entre eficiencia/ eficacia. Ver gráfico 2-2.

No obstante, se crearon 2 procedimiento para abordar y corregir deficiencias en el montaje y pruebas de funcionamiento en sellos mecánicos de alta presión, y otro procedimiento para el montaje y desmontaje correcto de la bomba flowserve completa, donde se abordan temas de izaje, torque de pernos, nivelación de bomba y protección de ejes y sellos mecánicos. (ver anexo E) (Ver anexo F)).

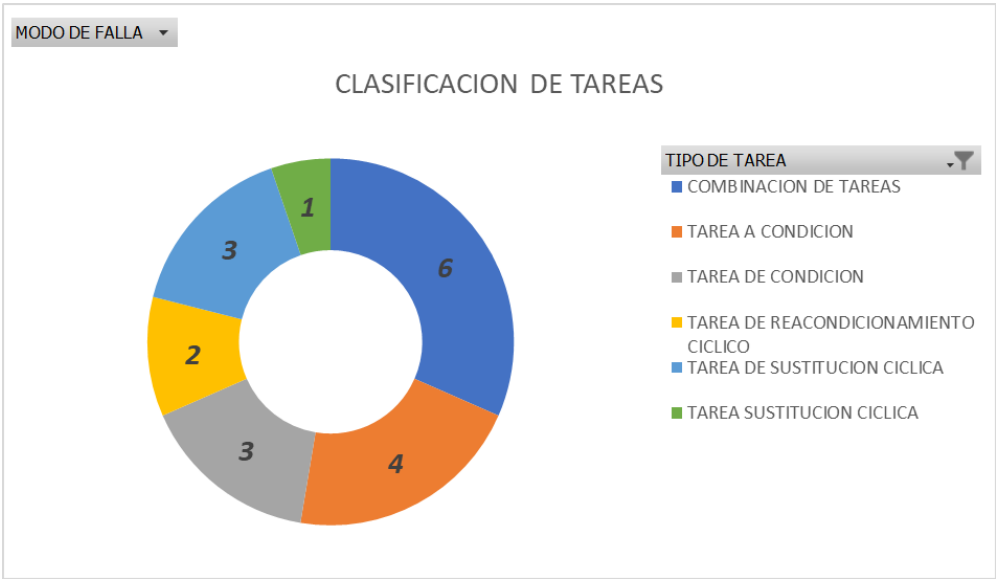


Gráfico 2-2. Clasificación de tareas.

Fuente: Creación propia.

2.8. REPUESTOS CRITICOS.

El objetivo principal de mantener un stock de repuestos es asegurar la disponibilidad de las piezas necesarias para mantener la operatividad de los equipos y sistemas, minimizando los tiempos de inactividad y maximizando la eficiencia y la productividad. Al tener los repuestos adecuados a mano, una empresa puede realizar reparaciones rápidas y efectivas, evitando retrasos en la producción, pérdidas económicas y posibles inconvenientes para los clientes.

El nivel de stock de repuestos se determina considerando diversos factores, como la frecuencia de fallas o averías, los tiempos de entrega de los proveedores, la criticidad de los equipos o sistemas, y la disponibilidad de recursos financieros y de espacio para almacenamiento. La gestión adecuada del stock implica encontrar un equilibrio entre mantener suficientes repuestos para cubrir las necesidades operativas y evitar la sobrecarga de inventario, lo que puede resultar en costos adicionales.

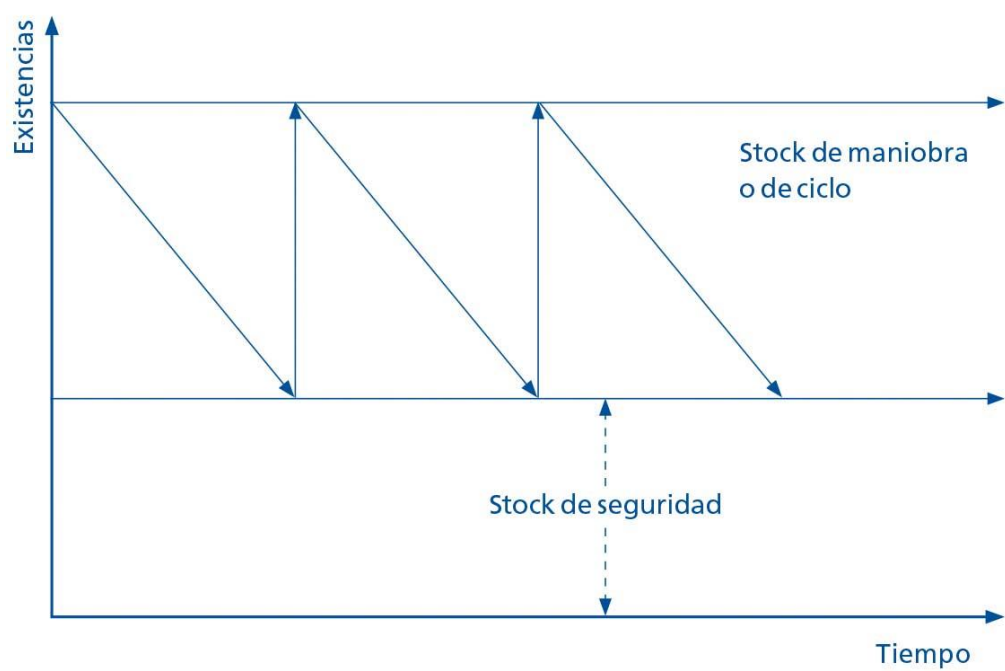


Figura 2-5. Niveles de stock.

Fuente: Artículo “stock de seguridad”.

2.8.1. Determinación de punto de reorden

El punto de reorden es un concepto utilizado en la gestión de inventarios para determinar el momento en el cual se debe realizar un pedido de reposición de un determinado producto o material. Representa el nivel de existencias en el cual se debe activar la solicitud de compra o producción de nuevos elementos para evitar una posible escasez o agotamiento de stock. Ver figura 2-5.

El punto de reorden se calcula considerando diferentes factores, tales como la demanda esperada, el tiempo de entrega del proveedor y el nivel de seguridad o reserva deseado. El objetivo es establecer un umbral o nivel crítico de inventario que indique cuándo es necesario realizar un nuevo pedido para mantener suficiente stock y evitar interrupciones en la cadena de suministro o en la operación del negocio.

El cálculo del punto de reorden o ROP se basa en la siguiente fórmula básica:

Donde:

$$ROP = (Stock\ de\ seguridad) + (Tiempo\ de\ entrega * Demanda\ diaria)$$

- Demanda diaria: Es la cantidad promedio de productos o materiales que se consumen o venden por día.
- Tiempo de entrega: Es el período estimado que transcurre desde el momento en que se realiza un pedido hasta que los productos o materiales llegan y están disponibles para su uso.
- Stock de seguridad: Es un margen adicional de inventario que se mantiene para cubrir incertidumbres en la demanda, variaciones en el tiempo de entrega o imprevistos.

El punto de reorden se establece como el nivel de inventario en el cual se debe realizar el pedido de reposición. Cuando el inventario alcanza o desciende por debajo de este punto, se activa la orden de compra o producción para reabastecer el stock y mantenerlo en niveles adecuados.

La determinación del punto de reorden implica un análisis y seguimiento constante de la demanda, el tiempo de entrega y la variabilidad de estos factores. Se busca equilibrar la necesidad de mantener suficiente inventario para satisfacer la demanda con el objetivo de minimizar los costos asociados al almacenamiento excesivo o a la escasez de stock. puede ser una herramienta efectiva para optimizar la gestión de inventarios y garantizar una disponibilidad adecuada de productos o materiales en el momento oportuno. Al establecer un punto de reorden adecuado y monitorear regularmente los niveles de

inventario, las empresas pueden evitar pérdidas por falta de stock y maximizar la eficiencia operativa.

Además, y como se muestra en la siguiente tabla; en base a un mantenimiento preventivo, predictivo, planificado y estudiado; presentan una gran mejoría en cuanto a la demanda anual de repuestos que el nuevo plan de mantenimiento propone, generando mayor impacto en la reducción de compras de bujes centradores de goma, ejes rectos y sellos mecánicos. Componentes los cuales concentran la mayor cantidad de fallas asociadas.

La reducción de compras se debe a mejora en la calidad de los repuestos y a los procedimientos e instructivos realizados para el montaje, mantención y/o buen funcionamiento de los, que corresponden a instructivos realizados para el montaje y mantención de los equipos. (Ver anexo E) (Ver anexo F).

Debido a la demanda actual de repuestos se establece un stock de seguridad y un punto de reorden para cada repuesto critico establecido en la tabla. Con el fin de realizar las actividades de manera óptima y eficiente, evitando demoras por disponibilidad de repuesto. Ver tabla 2-8.

| ITEM                      | Qmin (Q) | Qanual (Q) | Punto de reorden (Q) | T espera (meses) | Demanda actual (Anual) |
|---------------------------|----------|------------|----------------------|------------------|------------------------|
| KIT TINTAS PENETRANTES    | 1        | 2          | 1                    | 1,00             | 2                      |
| EJE RECTO                 | 1        | 2          | 2                    | 3,00             | 2                      |
| BUJES CENTRADORES DE GOMA | 4        | 8          | 5                    | 2,00             | 8                      |
| SELLO MECANICO            | 1        | 3          | 2                    | 2,00             | 3                      |
| IMPULSORES                | 0        | 2          | 1                    | 5,00             | 1                      |
| BOBINADO. MOTOR ELECTRICO | 1        | 2          | 2                    | 6,00             | 1                      |
| VDF                       | 1        | 0,3        | 2                    | 36,00            | 1                      |
| STUFFING BOX              | 1        | 2          | 1                    | 1,00             | 2                      |
| CHAVETA                   | 1        | 1          | 1                    | 1,00             | 1                      |
| TAZONES                   | 1        | 3          | 2                    | 5,00             | 3                      |
| ROD. MOTOR                | 1        | 1          | 1                    | 1,00             | 4                      |
| BOMBA COMPLETA            | 1        | 2          | 4                    | 18,00            | 1                      |
| MOTOR NUEVO               | 1        | 1          | 2,0                  | 12,00            | 1                      |

Tabla 2-8. Demanda de repuestos críticos.

Fuente: Elaboración propia.

**CAPITULO III: EVALUACION DE COSTOS ASOCIADOS A PLAN DE  
MANTENIMIENTO PROPUESTO Y ACTUAL.**

### **3. CAPITULO II: EVALUACION DE COSTOS ASOCIADOS A PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO Y ACTUAL**

Como se define en el capítulo anterior, cada plan de mantención evaluado está basados en estrategias de mantenimiento totalmente distintas; mientras que el plan de mantenimiento actual está basado en un mantenimiento correctivo en su totalidad, donde por lo general, los costos asociados son elevados, debido a que se apremia la operación antes que la fiabilidad de los equipos.

En cuanto al plan de mantenimiento propuesto, fue diseñado bajo la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad, donde se mezclan técnicas preventivas, predictivas, reactivas y correctivas dependiendo de la criticidad de cada modo de falla, y busca como fin, equilibrar y optimizar los costos asociados a perdidas de producción, mano de obra y repuestos.

Es por ello, que este capítulo se evidenciará los costos asociados a cada plan de mantención y se realizará la evaluación económica necesaria para demostrar la mejor propuesta de mantención.

#### **3.1 PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL**

El plan de mantenimiento actual está basado en la filosofía de mantenimiento correctivo/reactivo. Estableciendo tareas de mantenimiento cuando ocurre la falla o cuando un componente deja de prestar su función primaria. Por este motivo, el activo presento una disponibilidad del 83%, siendo la más baja de todas las bombas presentes en la estación de bombeo N°2. En cuanto a la estación completa, presenta una disponibilidad de 92% anual.

Gracias a esta metodología la gerencia se ha visto en la obligación de desembolsar grandes sumas de dinero en repuestos, mantención y horas- hombre. Por este motivo, como se mostrará en la siguiente tabla, y en base a lo visto en los capítulos anteriores, se realizó un levantamiento de las mantenciones realizadas durante el periodo marzo 2021-marzo 2022, detallando frecuencia de fallas de cada componente, cantidad de repuestos utilizados, cantidad de personas involucradas y costos por mantención, repuestos y horas-hombre. Ver tabla 3-1.

| COMPONENTE                   | MODULO DE FALLA                      | FF (Fallos/año) | TTR (Horas) | N° PERSONA | AREA   | H-H (Anual) | Costo H-H | Costo de repuesto (USD/CLP) |
|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-------------|------------|--------|-------------|-----------|-----------------------------|
| 1.1. EJE BOMBA               | CORTE DE EJE                         | 4,00            | 240         | 6          | MEC    | 4032,0      | \$ 17.273 | \$ 28.000                   |
| 1.1. EJE BOMBA               | CORTE DE EJE                         | 4,00            | 240         | 1          | MONCON | 96,0        | \$ 834    |                             |
| 1.1. EJE BOMBA               | CORTE DE EJE                         | 4,00            | 240         | 3          | E&I    | 576,0       | \$ 2.609  |                             |
| 1.2. BUJES CENTRADORES       | DESGASTE DE BUJES CENTRADORES        | 8,00            | 72          | 5          | MEC    | 2016,0      | \$ 8.636  | \$ 40.000                   |
| 1.2. BUJES CENTRADORES       | DESGASTE DE BUJES CENTRADORES        | 8,00            | 72          | 1          | MONCON | 57,6        | \$ 501    |                             |
| 1.2. BUJES CENTRADORES       | DESGASTE DE BUJES CENTRADORES        | 8,00            | 72          | 2          | E&I    | 230,4       | \$ 1.043  |                             |
| 1.3. SELLO MECANICO          | RUPTURA DE SELLO MECANICO            | 11,00           | 6           | 3          | MEC    | 99,0        | \$ 424    | \$ 38.500                   |
| 1.3. SELLO MECANICO          | RUPTURA DE SELLO MECANICO            | 11,00           | 6           |            | MONCON | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.3. SELLO MECANICO          | RUPTURA DE SELLO MECANICO            | 11,00           | 6           |            | E&I    | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.4. IMPULSORES              | DESGASTE DE IMPULSORES               | 1,00            | 336         | 4          | MEC    | 940,8       | \$ 4.030  | \$ 18.000                   |
| 1.4. IMPULSORES              | DESGASTE DE IMPULSORES               | 1,00            | 336         | 1          | MONCON | 33,6        | \$ 292    |                             |
| 1.4. IMPULSORES              | DESGASTE DE IMPULSORES               | 1,00            | 336         | 3          | E&I    | 201,6       | \$ 913    |                             |
| 1.5. TAZONES                 | FRACTURA DE TAZONES                  | 0,50            | 720         | 4          | MEC    | 1008,0      | \$ 4.318  | \$ 5.400                    |
| 1.5. TAZONES                 | FRACTURA DE TAZONES                  | 0,50            | 720         | 0          | MONCON | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.5. TAZONES                 | FRACTURA DE TAZONES                  | 0,50            | 720         | 3          | E&I    | 216,0       | \$ 978    |                             |
| 1.6. CHAVETA EJE BOMBA       | CORTE DE CHAVETA                     | 1,00            | 36          | 3          | MEC    | 75,6        | \$ 324    | \$ 500                      |
| 1.6. CHAVETA EJE BOMBA       | CORTE DE CHAVETA                     | 1,00            | 36          | 0          | MONCON | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.6. CHAVETA EJE BOMBA       | CORTE DE CHAVETA                     | 1,00            | 36          | 2          | E&I    | 14,4        | \$ 65     |                             |
| 1.7. BOBINADO MOTOR          | PERDIDA DE AISLACION DE BOBINADO     | 1,00            | 720         | 4          | MEC    | 288,0       | \$ 1.234  | \$ 9.000                    |
| 1.7. BOBINADO MOTOR          | PERDIDA DE AISLACION DE BOBINADO     | 1,00            | 720         | 1          | MONCON | 72,0        | \$ 626    |                             |
| 1.7. BOBINADO MOTOR          | PERDIDA DE AISLACION DE BOBINADO     | 1,00            | 720         | 4          | E&I    | 2304,0      | \$ 10.434 |                             |
| 1.8. RODAMIENTOS MOTOR       | DAÑO EN RODAMIENTOS                  | 1,00            | 240         | 2          | MEC    | 288,0       | \$ 1.234  | \$ 3.000                    |
| 1.8. RODAMIENTOS MOTOR       | DAÑO EN RODAMIENTOS                  | 1,00            | 240         | 1          | MONCON | 48,0        | \$ 417    |                             |
| 1.8. RODAMIENTOS MOTOR       | DAÑO EN RODAMIENTOS                  | 1,00            | 240         | 3          | E&I    | 144,0       | \$ 652    |                             |
| 1.9. VENTILADOR MOTOR        | DAÑO EN VENTILADOR                   | 0,70            | 168         | 2          | MEC    | 47,0        | \$ 202    | \$ 700                      |
| 1.9. VENTILADOR MOTOR        | DAÑO EN VENTILADOR                   | 0,70            | 168         | 0          | MONCON | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.9. VENTILADOR MOTOR        | DAÑO EN VENTILADOR                   | 0,70            | 168         | 3          | E&I    | 247,0       | \$ 1.118  |                             |
| 1.10. VARIADOR DE FRECUENCIA | VARIADOR DE FRECUENCIA EN MAL ESTADO | 0,10            | 96          | 0          | MEC    | 0,0         | \$ 0      | \$ 20.000                   |
| 1.10. VARIADOR DE FRECUENCIA | VARIADOR DE FRECUENCIA EN MAL ESTADO | 0,10            | 96          | 2          | REDES  | 5,8         | \$ 57     |                             |
| 1.10. VARIADOR DE FRECUENCIA | VARIADOR DE FRECUENCIA EN MAL ESTADO | 0,10            | 96          | 3          | E&I    | 17,3        | \$ 78     |                             |
| 1.11 STUFFING BOX            | DESGASTE DE BUJES DE STUFFING BOX    | 4,00            | 36          | 3          | MEC    | 302,4       | \$ 1.295  | \$ 16.000                   |
| 1.11 STUFFING BOX            | DESGASTE DE BUJES DE STUFFING BOX    | 4,00            | 36          | 1          | MONCON | 28,8        | \$ 250    |                             |
| 1.11 STUFFING BOX            | DESGASTE DE BUJES DE STUFFING BOX    | 4,00            | 36          | 2          | E&I    | 28,8        | \$ 130    |                             |
| TOTAL =                      |                                      | 97              | 8010        | 72         |        | 13418       | \$ 59.970 | \$ 179.100                  |

Tabla 3-1. Evaluación plan de mantenimiento actual.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la tabla se observa un total anual de US\$ 239.070 en cuanto a costos de repuestos y mano de obra utilizada para desarrollar las tareas de mantenimiento. Siendo los costos de repuesto, el mayor de estos, con US\$ 179.100 anuales, equivalente al precio de adquirir una bomba original nueva (US\$120.000) y una bomba alternativa nueva (US\$ 40.000).

En cuanto al costo hora-hombre, se desembolso USD\$59.970, lo cual equivale a la compra de una bomba alternativa o un motor nuevo (USD\$60.000), es por ello que se realizó esta propuesta, con el fin de disminuir estos costos y aumentar la fiabilidad de los equipos/componentes.

3.1.1. Costos hora-hombre para cada modo de fallas.

Como se observa en el grafico siguiente (grafico 3-1), cerca del 70% de los costos asociados a horas-hombres empleadas se deben a cortes de ejes, perdida de aislación en bobinado y desgaste de bujes centradores. Siendo el mayor de estos, el corte de eje de bomba.

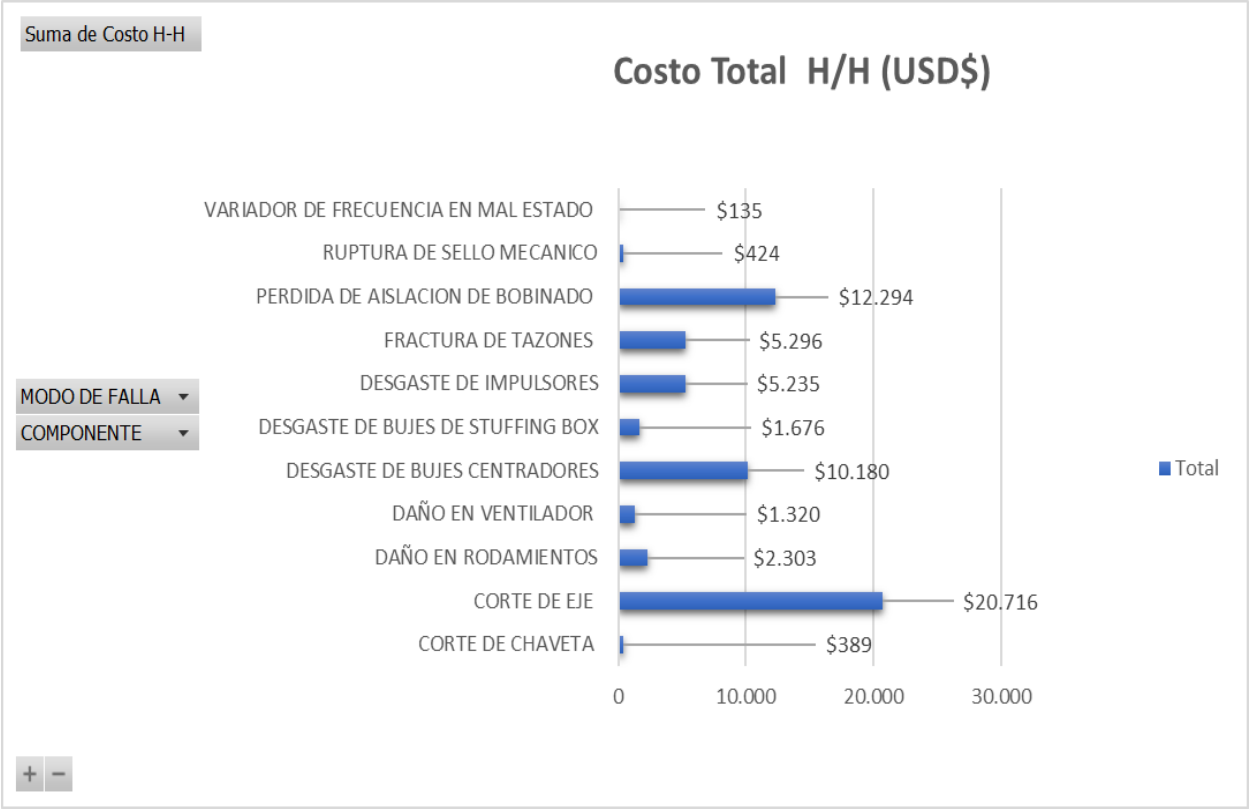


Gráfico 3-1. Costos H-H plan de mantenimiento actual.

Fuente: Elaboración propia.

No obstante, estos costos no están asociados solamente a una gran frecuencia de fallos y cambios de componentes, Sino más bien una combinación de las frecuencias de fallas y los tiempos de reparación, que demandan una gran cantidad de horas hombres para su intervención. Ya que tomando en cuenta los 3 modos de fallas mencionados suman 13 fallas de 32 totales ocurridas en el activo durante el periodo evaluado. Además, la mayor concentración de horas hombre utilizadas corresponden a las áreas mecánicas, con 9.097 horas (68%) y al área eléctrica e instrumentista con 3979 horas (30%).

Esta diferencia y concentración de horas se debe netamente a que estas áreas están involucradas en las etapas de montaje, desmontaje, conexión de motor, desconexión de motor y puesta en marcha, correspondiente a más del 90% del desarrollo de cada tarea. Ver gráfico 3.2.

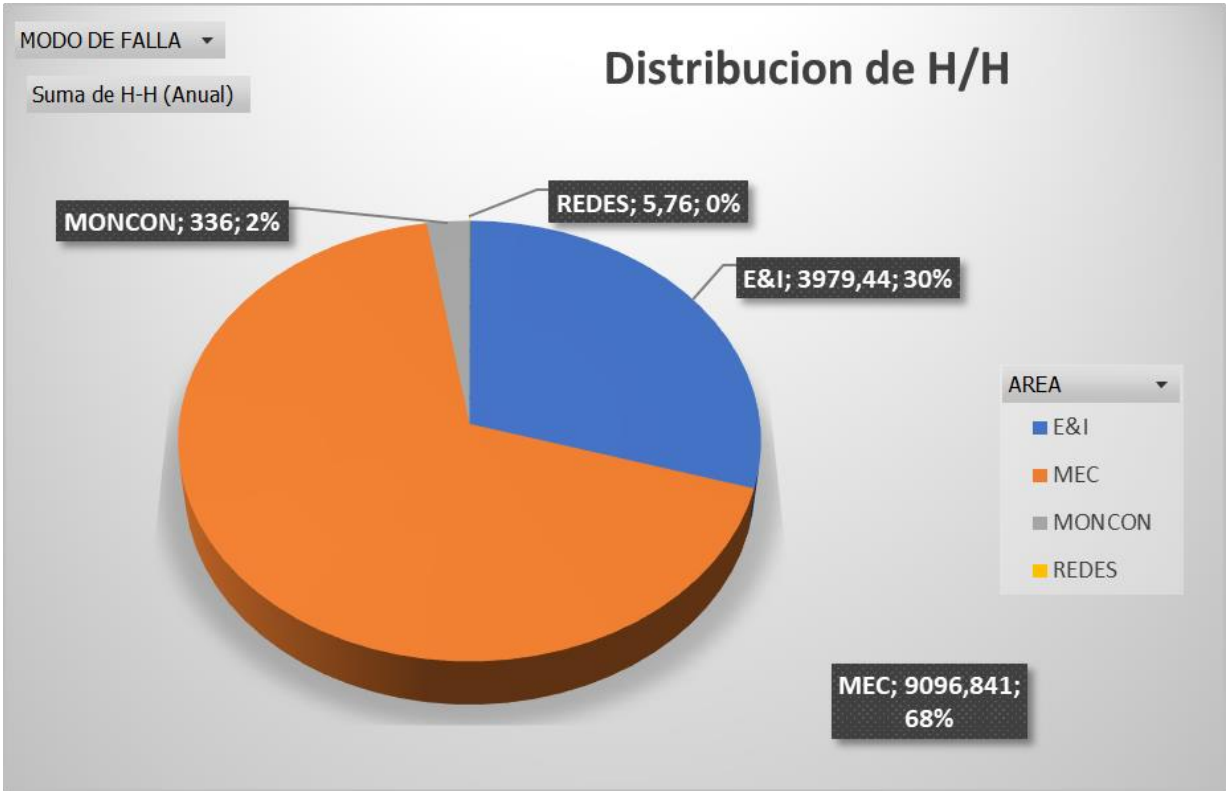


Gráfico 3-2. H-H anual por modo de falla.  
Fuente: Elaboración propia.

Se observa en el grafico 3.3 que analizando el total de horas hombres sumando cada área de trabajo (mecánicos, moncon y eléctricos), utilizadas en el corte de eje, perdida de aislación en bobinado y desgaste de bujes centradores, hacen una suma de 9672 horas hombres de trabajo. Se toman en consideración estos 3 modos de fallas debido a la criticidad que tienen de acuerdo a la gran demanda de horas hombres necesarios para la realización de estas actividades de mantención.

3.1.2. Costos asociados a componentes en plan de mantenimiento actual.

El principal problema del plan de mantenimiento actual es la gran cantidad de cambio de componentes producto de mantenciones deficientes en el equipo, una de ellas, son las frecuencias de mantención establecidas y la gran cantidad de fallas presentes cada componente del activo.

Debido a esto, se realizó un análisis de costos por cambio de componentes en el periodo de tiempo evaluado (marzo 2021- marzo 2022), observando así, que un mayor porcentaje de los costos están asociados a 3 de los modos de fallos más críticos: corte de eje (cambio de eje 4 veces al año) \$28.000, desgaste de bujes centradores (cambio de bujes centradores 8 veces al año) \$40.000 y ruptura de sello mecánico (cambio de sello mecánico 11 veces al año) \$38.500.



Gráfico 3-3. Costos anuales por cambio de componente.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Costos totales plan de mantenimiento actual

En relación a los datos obtenidos en el análisis actual, se determina que el plan de mantenimiento actual está generando un gasto total anual de USD\$ 239.070, de los cuales USD\$179.100 corresponden a gastos en cambio de componentes (75%), y USD\$59.970 a gastos en mano de obra (25%), utilizada para la intervención en las actividades desarrolladas para cada modo de falla. Ver gráfico 3-4.

Cabe destacar, que, dentro de todos los componentes en cuestión del activo, el desgaste en bujes centradores, corte de ejes y ruptura de sellos mecánicos, son producto de este costo tan elevado de mantención que afecta al activo, correspondiente al 60% de los costos totales.

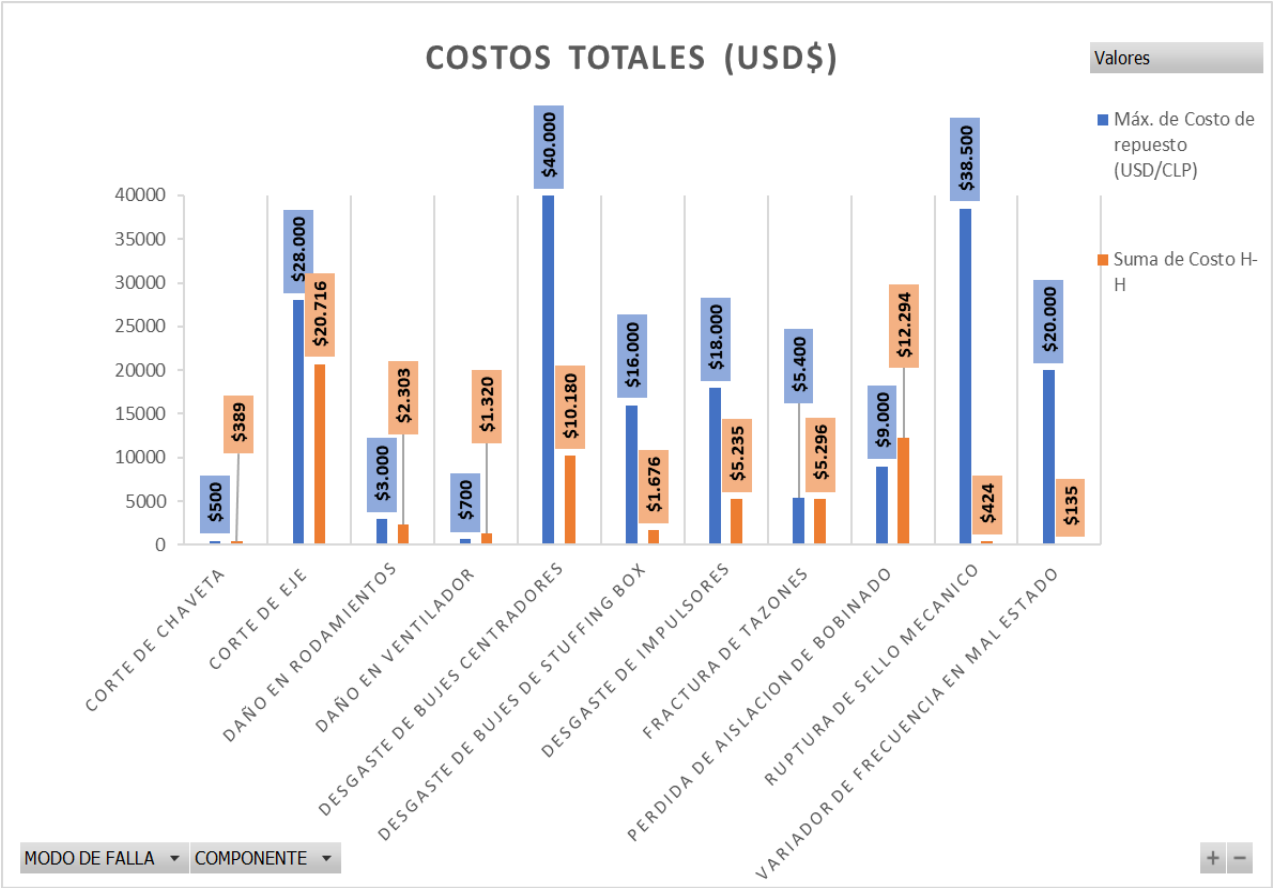


Gráfico 3-4. Costos totales plan de mantención actual.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.

Como se observa en la siguiente tabla (Ver tabla 3-2), la cantidad de actividades aumentan considerablemente, con respecto al plan de mantenimiento actual, no obstante, estas actividades en su mayoría constan de inspecciones predictivas y preventivas, las cuales permitirán evaluar la condición de la maquina y la evolución de alguna falla potencial.

El plan de mantenimiento propuesto consta de 18 actividades que se realizaran a lo largo de un año, en las distintas frecuencias preestablecidas en base a estudios y pruebas realizadas en el mismo equipo. Estas frecuencias fueron ajustadas a tal tiempo, que evita en su mayoría, que se presenten fallas funcionales en el activo, no obstante, el plan de mantenimiento solo será efectivo si se cumplen con los periodos de mantención y/o realización de actividades establecidas por el FMECA realizado, además, de mantener las condiciones de operación óptimas para el funcionamiento correcto del equipo.

En los costos obtenidos y analizados en el plan propuesto y en el actual, se contabilizaron los costos asociados a mantenimientos realizados dentro de la división por la empresa Schwager y costos asociados a compras y cambios de repuestos.

Cabe mencionar, que las mantenciones mayores, tales como, cambio de tazones, cambio de impulsores, mantenciones mayores a bomba, rebobinado de motor, cambio de rodamiento motores, y mantenciones mayores realizadas al motor, son realizadas por las empresas Maestranza Osorio y hnos. (mantención y reparación a bombas) y Borybord (mantención y reparación a motores eléctricos). Debido a que estos costos los administra la gerencia de servicios, fue nulo acceder a estos, por ende, no se tomaron en cuenta los costos por servicio de ambas empresas en los planes de mantenimiento analizados.

| COMPONENTE                   | ACTIVIDAD                                   | Frecuencia | TTR (Horas) | N° PERSONAS | AREA   | F.U. | H-H (Anual) | Costo H-H | Costo de repuesto (USD/CLP) |
|------------------------------|---------------------------------------------|------------|-------------|-------------|--------|------|-------------|-----------|-----------------------------|
| 1.1. EJE BOMBA               | MONITOREO SINTOMATICO A MOTOR-BOMBA         | 26,1       | 1           | 1           | MEC    | 0,2  | 5,2         | \$ 22     | \$ -                        |
| 1.1. EJE BOMBA               | MONITOREO SINTOMATICO A MOTOR-BOMBA         | 26,1       | 1           | 1           | MONCON | 0,8  | 20,9        | \$ 181    | \$ -                        |
| 1.1. EJE BOMBA               | MONITOREO SINTOMATICO A MOTOR-BOMBA         | 26,1       | 1           | 0           | E&I    | 0    | 0,0         | \$ -      | \$ -                        |
| 1.1. EJE BOMBA               | TINTAS PENETRANTES                          | 1,5        | 6           | 2           | MEC    | 0,4  | 7,0         | \$ 30     | \$ 219                      |
| 1.1. EJE BOMBA               | TINTAS PENETRANTES                          | 1,5        | 6           | 1           | MONCON | 0,4  | 3,5         | \$ 30     |                             |
| 1.1. EJE BOMBA               | TINTAS PENETRANTES                          | 1,5        | 6           | 2           | E&I    | 0,2  | 3,5         | \$ 16     |                             |
| 1.1. EJE BOMBA               | MEDICION DE PANDEO                          | 1,5        | 4           | 2           | MEC    | 0,8  | 9,3         | \$ 40     | \$ -                        |
| 1.1. EJE BOMBA               | MEDICION DE PANDEO                          | 1,5        | 4           | 1           | MONCON | 0,2  | 1,2         | \$ 10     | \$ -                        |
| 1.1. EJE BOMBA               | MEDICION DE PANDEO                          | 1,5        | 4           | 0           | E&I    | 0,2  | 0,0         | \$ -      | \$ -                        |
| 1.1. EJE BOMBA               | CAMBIO DE EJE                               | 1,5        | 140         | 4           | MEC    | 1    | 817,6       | \$ 3.503  | \$ 17.520                   |
| 1.1. EJE BOMBA               | CAMBIO DE EJE                               | 1,5        | 140         | 0           | MONCON | 0    | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.1. EJE BOMBA               | CAMBIO DE EJE                               | 1,5        | 140         | 0           | E&I    | 0    | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.2. BUJES CENTRADORES       | CAMBIO DE BUJES CENTRADORES                 | 1,5        | 140         | 4           | MEC    | 1    | 817,6       | \$ 3.503  | \$ 7.300                    |
| 1.2. BUJES CENTRADORES       | CAMBIO DE BUJES CENTRADORES                 | 1,5        | 140         | 0           | MONCON | 0    | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.2. BUJES CENTRADORES       | CAMBIO DE BUJES CENTRADORES                 | 1,5        | 140         | 0           | E&I    | 0    | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.2. BUJES CENTRADORES       | INSPECCION VISUAL DE BUJES CENTRADORES      | 1,5        | 20          | 3           | MEC    | 0,5  | 43,8        | \$ 188    | \$ -                        |
| 1.2. BUJES CENTRADORES       | INSPECCION VISUAL DE BUJES CENTRADORES      | 1,5        | 20          | 1           | MONCON | 0,3  | 8,8         | \$ 76     | \$ -                        |
| 1.2. BUJES CENTRADORES       | INSPECCION VISUAL DE BUJES CENTRADORES      | 1,5        | 20          | 2           | E&I    | 0,2  | 11,7        | \$ 53     | \$ -                        |
| 1.3. SELLO MECANICO          | INSPECCION VISUAL DE SELLO MECANICO         | 26,1       | 1           | 1           | MEC    | 0,5  | 13,0        | \$ 56     | \$ -                        |
| 1.3. SELLO MECANICO          | INSPECCION VISUAL DE SELLO MECANICO         | 26,1       | 1           | 1           | MONCON | 0,5  | 13,0        | \$ 113    | \$ -                        |
| 1.3. SELLO MECANICO          | INSPECCION VISUAL DE SELLO MECANICO         | 26,1       | 1           | 0           | E&I    | 0    | 0,0         | \$ -      | \$ -                        |
| 1.3. SELLO MECANICO          | CAMBIO DE SELLO MECANICO                    | 2,9        | 8           | 3           | MEC    | 0,5  | 35,0        | \$ 150    | \$ 17.520                   |
| 1.3. SELLO MECANICO          | CAMBIO DE SELLO MECANICO                    | 2,9        | 8           | 1           | MONCON | 0,3  | 7,0         | \$ 61     |                             |
| 1.3. SELLO MECANICO          | CAMBIO DE SELLO MECANICO                    | 2,9        | 8           | 2           | E&I    | 0,2  | 9,3         | \$ 42     |                             |
| 1.4. IMPULSORES              | CAMBIO PREVENTIVO DE IMPULSORES             | 1,5        | 140         | 4           | MEC    | 1    | 817,6       | \$ 3.503  | \$ 43.800                   |
| 1.4. IMPULSORES              | CAMBIO PREVENTIVO DE IMPULSORES             | 1,5        | 140         | 0           | MONCON | 0    | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.4. IMPULSORES              | CAMBIO PREVENTIVO DE IMPULSORES             | 1,5        | 140         | 0           | E&I    | 0    | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.6. CHAVETA EJE BOMBA       | INSPECCION DE CHAVETAS                      | 1,5        | 1           | 2           | MEC    | 1    | 2,9         | \$ 13     | \$ -                        |
| 1.6. CHAVETA EJE BOMBA       | INSPECCION DE CHAVETAS                      | 1,5        | 1           | 0           | REDES  | 0    | 0,0         | \$ -      | \$ -                        |
| 1.6. CHAVETA EJE BOMBA       | INSPECCION DE CHAVETAS                      | 1,5        | 1           | 2           | E&I    | 0    | 0,0         | \$ -      | \$ -                        |
| 1.6. CHAVETA EJE BOMBA       | CAMBIO DE CHAVETAS                          | 1,5        | 4           | 2           | MEC    | 0,7  | 8,2         | \$ 35     | \$ 730                      |
| 1.6. CHAVETA EJE BOMBA       | CAMBIO DE CHAVETAS                          | 1,5        | 4           | 0           | MONCON | 0,2  | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.6. CHAVETA EJE BOMBA       | CAMBIO DE CHAVETAS                          | 1,5        | 4           | 2           | E&I    | 0,1  | 1,2         | \$ 5      |                             |
| 1.5. TAZONES                 | CAMBIO DE TAZONES                           | 0,5        | 140         | 3           | MEC    | 1    | 204,4       | \$ 876    | \$ 20.440                   |
| 1.5. TAZONES                 | CAMBIO DE TAZONES                           | 0,5        | 140         | 0           | MONCON | 0    | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.5. TAZONES                 | CAMBIO DE TAZONES                           | 0,5        | 140         | 2           | E&I    | 0    | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.7. BOBINADO MOTOR          | MEDIR AISLACION EN BOBINADO DE MOTOR        | 1,5        | 4           | 0           | MEC    | 0    | 0,0         | \$ -      | \$ 14.600                   |
| 1.7. BOBINADO MOTOR          | MEDIR AISLACION EN BOBINADO DE MOTOR        | 1,5        | 4           | 0           | MONCON | 0    | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.7. BOBINADO MOTOR          | MEDIR AISLACION EN BOBINADO DE MOTOR        | 1,5        | 4           | 3           | E&I    | 1    | 17,5        | \$ 79     |                             |
| 1.8. RODAMIENTOS MOTOR       | INSPECCION TERMOGRAFICA A MOTOR ELECTRICO   | 12,9       | 1           | 1           | MEC    | 0,2  | 2,6         | \$ 11     | \$ -                        |
| 1.8. RODAMIENTOS MOTOR       | INSPECCION TERMOGRAFICA A MOTOR ELECTRICO   | 12,9       | 1           | 1           | MONCON | 0,4  | 5,1         | \$ 45     | \$ -                        |
| 1.8. RODAMIENTOS MOTOR       | INSPECCION TERMOGRAFICA A MOTOR ELECTRICO   | 12,9       | 1           | 1           | E&I    | 0,4  | 5,1         | \$ 23     | \$ -                        |
| 1.9. VENTILADOR MOTOR        | INSPECCION PREVENTIVA A VENTILADOR          | 2,2        | 4           | 0           | MEC    | 0    | 0,0         | \$ -      | \$ -                        |
| 1.9. VENTILADOR MOTOR        | INSPECCION PREVENTIVA A VENTILADOR          | 2,2        | 4           | 0           | MONCON | 0    | 0,0         | \$ -      | \$ -                        |
| 1.9. VENTILADOR MOTOR        | INSPECCION PREVENTIVA A VENTILADOR          | 2,2        | 4           | 3           | E&I    | 1    | 25,9        | \$ 117    | \$ -                        |
| 1.10. VARIADOR DE FRECUENCIA | PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO A BOMBA-MOTOR-VDF | 2,9        | 3           | 2           | MEC    | 0,3  | 5,3         | \$ 23     | \$ -                        |
| 1.10. VARIADOR DE FRECUENCIA | PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO A BOMBA-MOTOR-VDF | 2,9        | 3           | 1           | MONCON | 0,5  | 4,4         | \$ 38     | \$ -                        |
| 1.10. VARIADOR DE FRECUENCIA | PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO A BOMBA-MOTOR-VDF | 2,9        | 3           | 2           | E&I    | 0,2  | 3,5         | \$ 16     | \$ -                        |
| 1.8. RODAMIENTOS MOTOR       | CAMBIO DE RODAMIENTO                        | 0,5        | 210         | 3           | MEC    | 1    | 306,6       | \$ 1.313  | \$ 1.460                    |
| 1.8. RODAMIENTOS MOTOR       | CAMBIO DE RODAMIENTO                        | 0,5        | 210         | 0           | MONCON | 0    | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.8. RODAMIENTOS MOTOR       | CAMBIO DE RODAMIENTO                        | 0,5        | 210         | 0           | E&I    | 0    | 0,0         | \$ -      |                             |
| 1.11 STUFFING BOX            | CAMBIO DE STUFFING BOX                      | 1,5        | 8           | 3           | MEC    | 0,7  | 24,5        | \$ 105    | \$ 14.600                   |
| 1.11 STUFFING BOX            | CAMBIO DE STUFFING BOX                      | 1,5        | 8           | 1           | MONCON | 0,2  | 2,3         | \$ 20     |                             |
| 1.11 STUFFING BOX            | CAMBIO DE STUFFING BOX                      | 1,5        | 8           | 2           | E&I    | 0,1  | 2,3         | \$ 11     |                             |
| TOTAL =                      |                                             | 263        | 1395        | 44          |        |      | 2657        | \$ 11.630 | \$ 87.089                   |

Tabla 3-2. Evaluación plan de mantenimiento propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. Costos por hora-hombre utilizadas en actividades propuestas.

Se puede observar en el siguiente grafico (Grafico 3-5) las actividades que mayor demanda de horas hombres experimentan son los cambios preventivos de eje, impulsores y bujes centradores; cada uno con una demanda anual de 817,6 horas para estos 3 casos, esto debido únicamente a los extensos trabajos y actividades involucradas para la realización de las tareas, ya que, es necesario realizar un desmontaje completo de la bomba y sus componentes.

En tanto, los costos anuales teniendo en cuenta todas las actividades propuestas suman un total de USD\$3267 anuales, considerando costos de las áreas, mecánicas, moncon, eléctricas e instrumentistas y redes. Donde en la tabla 3.2 se pueden apreciar las distribuciones y carga laboral de cada área, para las distintas actividades planteadas en el plan de mantención propuestos.

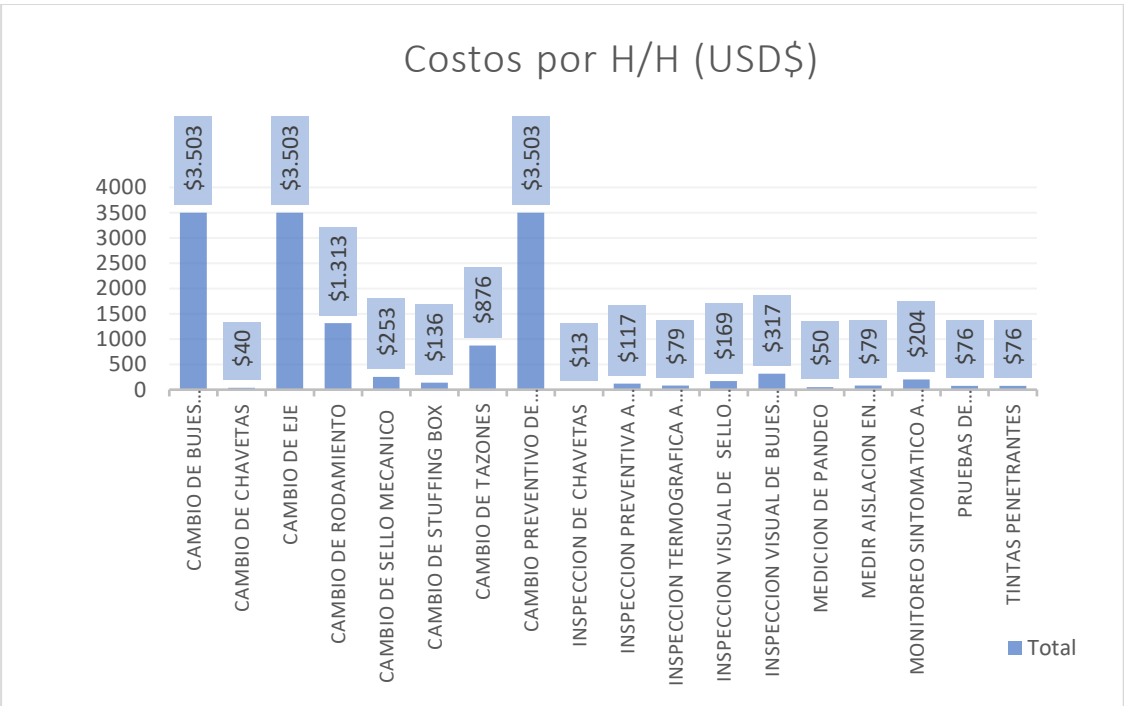


Gráfico 3-5. Costos totales por horas hombres utilizadas.  
Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Costos asociados a cambio preventivo de componentes.

El plan de mantención propuesto se basó en 3 pilares fundamentales, tareas preventivas, cambio de repuestos originales y cambios de componentes según condición (mantenimiento preventivo). Debido a esto, se han definido frecuencias de mantención sin

margen de error, con esto es posible proyectar gastos, definir programas de mantención y frecuencias de inspecciones optimas.

Como se observa en el siguiente grafico (Ver gráfico 3-6), en cuanto a costos totales de repuestos, se genera un total de USD\$ 138189 anuales, distribuidos en 18 actividades propuestas y desarrolladas a lo largo del año. Donde los componentes que más gastos generaron fueron los impulsores con USD\$ 43800, eje de bomba (USD\$ 17739), tazones (USD\$ 20440) y sello mecánico con USD\$ 17520.



Gráfico 3-6. Costos totales de repuestos.  
Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Costos totales plan de mantenimiento propuesto.

El mayor de los costos asociados al plan de mantención propuesto se asocia a las actividades desarrolladas a los impulsores, seguido por las tareas desarrolladas en el eje de la bomba. Estos dos ítems, corresponden cerca del 50% de un total de USD\$ 152496 asociados al plan de mantenimiento plan de mantención actual. Ver gráfico 3-7.

Debido a que estas tareas están enfocadas a cambios preventivos y predictivos, algunas frecuencias de cambio variarán, por lo que algunos costos se verán afectados. No obstante, se ajustaron las frecuencias de mantención a tal punto de evitar en lo posible la ocurrencia de esto.

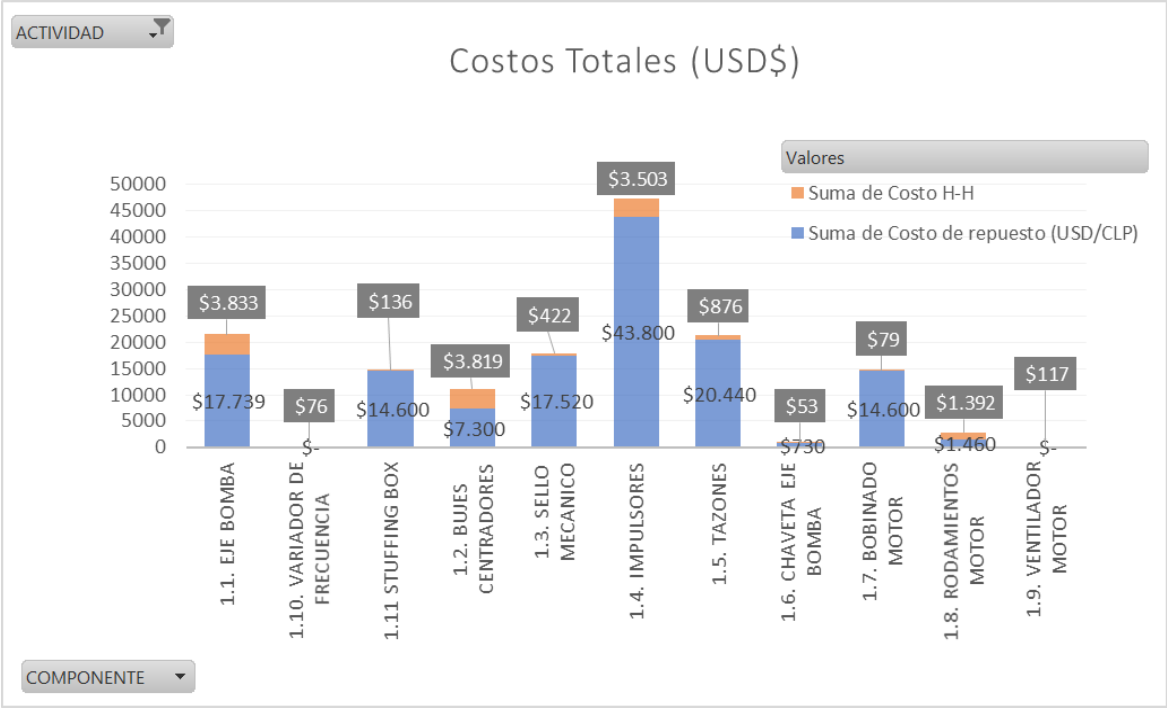


Gráfico 3-7. Costos totales plan de mantención propuesto.  
Fuente: Elaboración propia.

De igual forma este plan de mantención cuenta con una inversión inicial de USD\$120.000, debido a la adquisición de una bomba original nueva. Con el fin de garantizar la confiabilidad del equipo, con uno nuevo, en óptimas condiciones y que este dentro de los estándares de diseño.

3.3. EVALUACION DE COSTOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL Y PROPUESTO MEDIANTE CALCULO DE VAC.

Dado que ambos proyectos son evaluados durante un mismo periodo, además, en el caso del plan de mantención propuesto constara de una inversión inicial, debido a la compra de una bomba nueva equivalente a USD\$120.000. Hay que mencionar que la vida útil promedio de una bomba oscila entre los 8-10 años, definido por el proveedor, por ende, dada las condiciones de operación la propuesta será evaluada en un periodo de 8 años, tomando el limite inferior de la vida útil.

### 2.8.1. VALOR ACTUAL DE COSTOS (VAC)

Con el fin de poder evaluar ambas opciones (plan de mantención actual y propuesto), teniendo en cuenta que se evaluarán teniendo en cuenta un mismo periodo, y la inversión inicial que se realizara en el plan propuesto, se decidirá realizar un análisis de valor actual de costos (VAC).

El VAC permite evaluar y comparar dos alternativas de igual vida útil, tengan o no inversión inicial. Y es expresado a través de la siguiente formula:

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

Donde:

$I_0$  = Inversión inicial.

$Ct$  = Costos incurridos durante el periodo  $t$ .

$r$  = Tasa de descuento.

$n$  = periodo de evaluación.

En el caso de  $r$ , se deberá determinar de acuerdo con la siguiente formula:

$$r = \frac{i}{(1-i)}$$

Donde:

$r$  = Tasa de interés actual.

$r$  = Tasa de descuento.

### 2.8.2. Cálculo de VAC en plan de mantención propuesto y actual

Para ambos casos el periodo de evaluación es el mismo, correspondiendo a 8 años de servicio, mientras que la tasa

- Caso 1 (Plan de mantenimiento actual): el costo total del caso 1 es de USD\$ 239.070. No posee inversión inicial, ya que corresponde al plan de mantención que se viene realizando.
- Caso 2 (Plan de mantenimiento propuesto): La inversión inicial de este caso asciende a USD\$ 120.000, mientras que los costos fijos corresponden a USD\$ 152.496.

| PLAN ACTUAL               |             | PLAN PROPUESTO            |            |
|---------------------------|-------------|---------------------------|------------|
| Inversion inicial         | \$ -        | Inversion inicial         | \$ 120.000 |
| Tasa de interes           | 11,25%      | Tasa de interes           | 11,25%     |
| Costo total del periodo   | \$ 239.070  | Costo total del periodo   | \$ 152.496 |
| Numero de periodos (Años) | 8           | Numero de periodos (Años) | 8          |
| r (Tasa de descuento)     | 10,11%      | r (Tasa de descuento)     | 10,11%     |
| USD\$                     | \$1.270.221 | USD\$                     | \$930.238  |

Tabla 3-3. VAC plan propuesto y plan actual.

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo de VAC realizado a ambos casos, determino que valor actual de los costos asociados al plan de mantenimiento actual es de USD\$ 1.270.221, mientras que el VAC del plan propuesto equivale a USD\$ 930.238, en el mismo periodo de 8 años. Ver tabla 3-3.

Hay que destacar que, aunque el plan de mantención propuesto conlleva una inversión de USD\$ 120.000 cada 8 años, es mas rentable que el plan actual, debido a la eficiencia de recursos tanto en personal como en repuestos. Lo cual permitirá atender, los modos de fallas, en el instante en que aun no son dañinos para el funcionamiento general del equipo y/o para otros componentes del sistema.



#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La finalidad de este trabajo era generar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad como alternativa para disminuir y contrarrestar los grandes costos asociados que superaban los USD\$300.000 por mantenciones realizadas a todos los equipos de la estación de bombeo N°2; estación más crítica dentro del sistema NAE 1 debido, a su ubicación, importancia, impacto y costos asociados con respecto a las demás estaciones.

Para comenzar con la construcción de este plan de mantención se debió realizar un análisis de criticidad dentro de todos los equipos (bombas) en el área cordillera y más específicamente, en el sistema NAE 1. Este arrojó a la bomba 21-22-23 de la estación de bombeo N°2, como los equipos más críticos dentro del sistema NAE 1, con un CTR de 120 cada equipo. Con el fin de encontrar un equipo crítico dentro de estos 3 mencionados, se analizaron las curvas de confiabilidad e indicadores de mantención, tales como, MTTR Y MTBF, obteniendo así en la bomba 23, un MTTR de 178 horas y un MTBF de 898 horas, además de una curva de confiabilidad más baja con respecto a los demás equipos.

Por consiguiente, se desarrolló un FMECA en base a las 32 fallas experimentadas en la bomba 23 de la estación de bombeo N°2, durante el periodo marzo 2021 a marzo 2022, donde solamente se realizaban tareas de mantenimiento correctivas, reactivas y monitoreos sintomáticos para evaluar la vida restante del equipo y/o componentes antes de la falla. Esta metodología de mantención conllevó a generar costos de mantención por una suma total de USD\$ 239.070, en toda la estación de bombeo. Donde, la gran concentración de fallas se produce en el eje de la bomba, sello mecánico y bujes centradores. Estando estas 3 fallas relacionadas a la baja confiabilidad del equipo, y son las responsables del 84% del total de fallas experimentadas en este equipo.

Al desarrollar el FMECA y su posterior hoja de decisión para las distintas fallas, se generó un plan de mantención principalmente basado en tareas preventivas y predictivas, sumando así 18 tareas desarrolladas en el periodo de un año. Principalmente, tareas de protección contra el deterioro y fallas asociadas a el eje de la bomba, impulsores y tazones. Con el fin de resguardar los componentes más delicados. Complementar que las frecuencias de mantención fueron determinadas, por monitoreo sintomático, principalmente análisis de vibraciones al equipo, donde los síntomas se fueron asociando a desgaste y fallas en ciertos componentes, que luego al realizar el desarme del equipo, fueron validadas por la empresa encargada de la mantención mayor del equipo.

Al realizar esta evaluación del plan de mantención propuesto, solo se generaron 3 fallas durante el periodo marzo 2022-marzo 2023, y fueron debidos a la operación que tuvieron estos equipos, donde se experimentaron 2 rupturas ´prematuras de sello mecánico, debido a la calidad del agua presente a la sentina, y desgaste de bujes centradores, producto de este problema de confiabilidad operacional.

Por ende se necesito actualizar el grafico Jack knife creado con anterioridad, y actualizarlo a marzo del 2023, donde se determinó y concluye que las frecuencias falla y MTTR de estos modos de falla disminuyeron levemente, aun falta mejorar y lograr estándares en cuanto a la confiabilidad operacional del equipo. Dado que las fallas se produjeron por malas estrategias de operación y falta de experiencia de los operadores. (Ver anexo G).

En base a lo anterior, se logro estimar la cantidad de repuestos necesarios anualmente, para lograr atacar los distintos modos de falla de la manera más eficiente posible.

Para finalizar, y determinar la viabilidad del proyecto se realizó el análisis general de costos de cada plan de mantención, donde se utilizó la técnica del valor actual de costos o VAC, por sus iniciales, el cual arrojó que, en un periodo de 8 años, en lo que fue calculado cada proyecto, el plan de mantención propuesto, genera un ahorro total de USD\$ 339.983 con respecto al plan de mantención actual. Además del ahorro generado, el plan propone mejorar la disponibilidad del equipo, y la confiabilidad de este, en los procesos de mantención y reparación. Siendo una opción real y viable para el activo crítico.

## 5. **BIBLIOGRAFIA**

### Autor Personal

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (Reliability-centred Maintenance) Edición en español, 2004. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados.

### Dos autores

VASQUEZ M., Raimy & CIUDAD C., Ricardo. Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos. Edición por INGEMAN , 2022.

### Dos autores

PARRA M., Carlos & CRESPO M., Adolfo. Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos. España, 2012.

Society of automotive Engineers, Evaluation Criteria for Reliability-centered. Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA). Norma SAE J1739. AGOSTO 2002





**ANEXOS**

ANEXO A (MATRIZ DE CRITICIDAD CTR)

| Fecha Reporte: 13-09-2022<br>Elaborado por: Especialista<br>MONCON Nicolas Calderon<br>R. | ANALISIS DE CRITICIDAD BOMBAS PRINCIPALES - OPERACIONES - GRHCyR ÁREA CORDILLERA |                                                                           |     |    |    |    |    |    |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----|----|----|----|----|----|-----|
|                                                                                           | EQUIPO                                                                           | CRITICIDAD<br>NC = No critico<br>MC = Medianamente critico<br>C = Critico | CTR | FF | C  | IO | FO | CM | SHA |
| SISTEMA DE BOMBEO ESPESADORES DE RELAVES                                                  | BOMBA N°1                                                                        | MC                                                                        | 40  | 4  | 10 | 3  | 2  | 1  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA N°2                                                                        | MC                                                                        | 40  | 4  | 10 | 3  | 2  | 1  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA N°3                                                                        | MC                                                                        | 10  | 1  | 10 | 3  | 2  | 1  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA VTP N°1                                                                    | MC                                                                        | 21  | 3  | 7  | 1  | 4  | 1  | 2   |
|                                                                                           | BOMBA VTP N°2                                                                    | MC                                                                        | 21  | 3  | 7  | 1  | 4  | 1  | 2   |
|                                                                                           | BOMBA VTP N°3                                                                    | MC                                                                        | 21  | 3  | 7  | 1  | 4  | 1  | 2   |
|                                                                                           | BOMBA N°4 Dilución                                                               | MC                                                                        | 42  | 3  | 14 | 5  | 2  | 1  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA N°5                                                                        |                                                                           | 0   |    |    |    |    |    |     |
|                                                                                           | BOMBA N°6                                                                        |                                                                           | 0   |    |    |    |    |    |     |
|                                                                                           | BOMBA N°7                                                                        |                                                                           | 0   |    |    |    |    |    |     |
|                                                                                           | BOMBA N°8                                                                        | MC                                                                        | 27  | 3  | 9  | 3  | 2  | 1  | 2   |
|                                                                                           | BOMBA N°9                                                                        | MC                                                                        | 27  | 3  | 9  | 3  | 2  | 1  | 2   |
|                                                                                           | BOMBA N°10                                                                       | MC                                                                        | 27  | 3  | 9  | 3  | 2  | 1  | 2   |
|                                                                                           | BOMBA N°11                                                                       | MC                                                                        | 27  | 3  | 9  | 3  | 2  | 1  | 2   |
|                                                                                           | BOMBA N°12                                                                       | MC                                                                        | 27  | 3  | 9  | 3  | 2  | 1  | 2   |
|                                                                                           | BOMBA N°15                                                                       | NC                                                                        | 9   | 1  | 9  | 3  | 2  | 1  | 2   |
|                                                                                           | BOMBA N°16                                                                       | NC                                                                        | 9   | 1  | 9  | 3  | 2  | 1  | 2   |
|                                                                                           | BOMBA N°17                                                                       | NC                                                                        | 9   | 1  | 9  | 3  | 2  | 1  | 2   |
| SISTEMA DE BOMBEO NAE 1                                                                   | BOMBA N°11 EB01                                                                  | MC                                                                        | 80  | 4  | 20 | 3  | 4  | 2  | 6   |
|                                                                                           | BOMBA N°12 EB01                                                                  | MC                                                                        | 80  | 4  | 20 | 3  | 4  | 2  | 6   |
|                                                                                           | BOMBA N°13 EB01                                                                  | MC                                                                        | 80  | 4  | 20 | 3  | 4  | 2  | 6   |
|                                                                                           | BOMBA N°21 EB02                                                                  | C                                                                         | 120 | 4  | 30 | 5  | 4  | 2  | 8   |
|                                                                                           | BOMBA N°22 EB02                                                                  | C                                                                         | 120 | 4  | 30 | 5  | 4  | 2  | 8   |
|                                                                                           | BOMBA N°23 EB02                                                                  | C                                                                         | 120 | 4  | 30 | 5  | 4  | 2  | 8   |
|                                                                                           | BOMBA N°24 EB02                                                                  | NC                                                                        | 19  | 1  | 19 | 5  | 2  | 1  | 8   |
|                                                                                           | BOMBA N°8 EB03                                                                   | NC                                                                        | 8   | 1  | 8  | 1  | 4  | 1  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA N°9 EB03                                                                   | NC                                                                        | 8   | 1  | 8  | 1  | 4  | 1  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA N°10 EB03                                                                  | NC                                                                        | 16  | 2  | 8  | 1  | 4  | 1  | 3   |
| SISTEMA DE BOMBEO PLANTA ELEVADORA PIUQUENES                                              | VENTILADOR EB01                                                                  | NC                                                                        | 6   | 1  | 6  | 1  | 4  | 1  | 1   |
|                                                                                           | VENTILADOR EB02                                                                  | NC                                                                        | 6   | 1  | 6  | 1  | 4  | 1  | 1   |
|                                                                                           | BOMBA N°1                                                                        | MC                                                                        | 33  | 3  | 11 | 3  | 2  | 2  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA N°2                                                                        | MC                                                                        | 33  | 3  | 11 | 3  | 2  | 2  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA N°3                                                                        | MC                                                                        | 68  | 4  | 17 | 3  | 4  | 2  | 3   |
| SISTEMA DE BOMBEO LOS LEONES                                                              | BOMBA N°4                                                                        | MC                                                                        | 68  | 4  | 17 | 3  | 4  | 2  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA N°4                                                                        | NC                                                                        | 32  | 2  | 16 | 3  | 4  | 1  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA N°5                                                                        | NC                                                                        | 32  | 2  | 16 | 3  | 4  | 1  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA N°6                                                                        | NC                                                                        | 32  | 2  | 16 | 3  | 4  | 1  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA PPX07-A                                                                    | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
|                                                                                           | BOMBA PPX07-B                                                                    | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
|                                                                                           | BOMBA PPX07-C                                                                    | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
| SISTEMA DE BOMBEO POZOS PIUQUENES                                                         | BOMBA PPX07-D                                                                    | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
|                                                                                           | POZO N°1 Piuquenes                                                               | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
|                                                                                           | POZO N°2 Piuquenes                                                               | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
|                                                                                           | POZO N°2 A Piuquenes                                                             | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
|                                                                                           | POZO N°3 Piuquenes                                                               | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
|                                                                                           | POZO N°4 Piuquenes                                                               | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
|                                                                                           | POZO N°6 Piuquenes                                                               | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
| BOMBAS PROYECTO VENTANAS 2                                                                | BOMBA N°1                                                                        | NC                                                                        | 6   | 1  | 6  | 1  | 4  | 1  | 1   |
|                                                                                           | BOMBA N°2                                                                        | NC                                                                        | 6   | 1  | 6  | 1  | 4  | 1  | 1   |
| SISTEMA DE BOMBEO POZOS VALLE                                                             | POZO N°1                                                                         | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
|                                                                                           | POZO N°2                                                                         | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
|                                                                                           | POZO N°3                                                                         | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
|                                                                                           | POZO N°4                                                                         | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
|                                                                                           | POZO N°5                                                                         | NC                                                                        | 4   | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1   |
| SISTEMA DE BOMBEO PLANTA HDS                                                              | BOMBA N°1 Impulsion Planta HDS                                                   | NC                                                                        | 10  | 1  | 10 | 3  | 2  | 1  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA N°2 Impulsion Planta HDS                                                   | MC                                                                        | 30  | 3  | 10 | 3  | 2  | 1  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA N°3 Impulsion Planta HDS                                                   | NC                                                                        | 10  | 1  | 10 | 3  | 2  | 1  | 3   |
|                                                                                           | BOMBA N°4 Impulsion Planta HDS                                                   | MC                                                                        | 30  | 3  | 10 | 3  | 2  | 1  | 3   |

ANEXO B (BASE DE DATOS BOMBAS PY SYSTEM)

| AREA      | PI | TAG                      | DESCRIPCION        | AÑO  | MES | DIAS | (TAG' = "FUNCIONANDO") | (TAG' = "DETENIDO") | (TAG' = "FALLA") | (TAG' = "I/O Timeout") |
|-----------|----|--------------------------|--------------------|------|-----|------|------------------------|---------------------|------------------|------------------------|
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2020 | 1   | 31   | 405,79                 | 337,66              | 0,29             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2020 | 1   | 31   | 602,01                 | 141,59              | 0,14             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2020 | 1   | 31   | 388,93                 | 327,74              | 27,08            | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2020 | 1   | 31   | 77,00                  | 369,75              | 297,00           | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2020 | 2   | 29   | 113,26                 | 526,11              | 56,55            | 0,07                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2020 | 2   | 29   | 477,38                 | 169,78              | 48,77            | 0,07                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2020 | 2   | 29   | 268,54                 | 158,48              | 268,90           | 0,07                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2020 | 2   | 29   | 334,56                 | 193,33              | 168,04           | 0,07                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2020 | 3   | 31   | 326,39                 | 381,98              | 35,56            | 0,08                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2020 | 3   | 31   | 104,15                 | 601,23              | 38,55            | 0,08                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2020 | 3   | 31   | 213,06                 | 69,40               | 461,47           | 0,08                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2020 | 3   | 31   | 647,18                 | 65,80               | 30,94            | 0,08                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2020 | 4   | 30   | 375,54                 | 252,28              | 91,47            | 0,71                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2020 | 4   | 30   | 447,62                 | 186,10              | 85,57            | 0,71                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2020 | 4   | 30   | 0,00                   | 0,00                | 719,29           | 0,71                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2020 | 4   | 30   | 536,46                 | 99,21               | 83,62            | 0,71                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2020 | 5   | 31   | 506,53                 | 168,77              | 68,70            | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2020 | 5   | 31   | 415,11                 | 280,63              | 48,26            | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2020 | 5   | 31   | 387,63                 | 248,85              | 107,52           | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2020 | 5   | 31   | 571,81                 | 116,34              | 55,85            | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2020 | 6   | 30   | 559,59                 | 122,03              | 38,38            | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2020 | 6   | 30   | 567,80                 | 151,96              | 0,24             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2020 | 6   | 30   | 557,51                 | 157,74              | 4,75             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2020 | 6   | 30   | 618,29                 | 96,52               | 5,20             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2020 | 7   | 31   | 304,60                 | 43,52               | 395,88           | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2020 | 7   | 31   | 535,45                 | 163,40              | 45,14            | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2020 | 7   | 31   | 641,00                 | 102,92              | 0,07             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2020 | 7   | 31   | 740,29                 | 3,71                | 0,00             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2020 | 8   | 31   | 632,96                 | 84,49               | 25,76            | 0,54                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2020 | 8   | 31   | 344,13                 | 398,36              | 0,73             | 0,54                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2020 | 8   | 31   | 421,22                 | 321,70              | 0,29             | 0,54                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2020 | 8   | 31   | 689,48                 | 53,45               | 0,29             | 0,54                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2020 | 9   | 30   | 483,56                 | 155,08              | 80,17            | 0,19                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2020 | 9   | 30   | 335,60                 | 374,42              | 8,79             | 0,19                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2020 | 9   | 30   | 410,07                 | 308,29              | 0,46             | 0,19                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2020 | 9   | 30   | 651,32                 | 66,94               | 0,55             | 0,19                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2020 | 10  | 31   | 345,56                 | 316,38              | 81,98            | 0,08                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2020 | 10  | 31   | 321,44                 | 411,21              | 11,28            | 0,08                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2020 | 10  | 31   | 675,66                 | 53,55               | 14,71            | 0,08                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2020 | 11  | 30   | 551,41                 | 164,83              | 2,84             | 0,41                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2020 | 11  | 30   | 380,69                 | 237,35              | 101,04           | 0,41                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2020 | 11  | 30   | 490,17                 | 204,00              | 24,91            | 0,41                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2020 | 11  | 30   | 668,73                 | 44,12               | 6,22             | 0,41                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2020 | 12  | 31   | 8,45                   | 159,28              | 542,43           | 33,84                  |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2020 | 12  | 31   | 656,13                 | 21,24               | 32,79            | 33,84                  |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2020 | 12  | 31   | 665,64                 | 14,40               | 30,11            | 33,84                  |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2020 | 12  | 31   | 667,65                 | 12,46               | 30,05            | 33,84                  |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2021 | 1   | 31   | 0,57                   | 0,25                | 743,18           | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2021 | 1   | 31   | 741,87                 | 1,05                | 1,08             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2021 | 1   | 31   | 620,80                 | 113,93              | 9,27             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2021 | 1   | 31   | 742,68                 | 0,47                | 0,85             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2021 | 2   | 28   | 0,00                   | 0,00                | 672,00           | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2021 | 2   | 28   | 661,98                 | 3,76                | 6,26             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2021 | 2   | 28   | 658,82                 | 12,51               | 0,67             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2021 | 2   | 28   | 664,52                 | 1,64                | 5,84             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2021 | 3   | 31   | 41,64                  | 1,75                | 700,61           | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2021 | 3   | 31   | 719,52                 | 11,40               | 13,08            | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2021 | 3   | 31   | 706,97                 | 30,06               | 6,97             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2021 | 3   | 31   | 733,81                 | 4,02                | 6,17             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2021 | 4   | 30   | 658,16                 | 10,26               | 1,15             | 46,81                  |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2021 | 4   | 30   | 14,25                  | 524,24              | 131,08           | 46,81                  |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2021 | 4   | 30   | 597,57                 | 69,98               | 2,02             | 46,81                  |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2021 | 4   | 30   | 635,94                 | 14,78               | 18,85            | 46,81                  |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2021 | 5   | 31   | 742,98                 | 0,39                | 0,63             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2021 | 5   | 31   | 204,44                 | 538,94              | 0,63             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2021 | 5   | 31   | 577,01                 | 140,45              | 26,54            | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2021 | 5   | 31   | 706,47                 | 32,96               | 4,57             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2021 | 6   | 30   | 707,75                 | 11,35               | 0,90             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2021 | 6   | 30   | 82,18                  | 185,90              | 451,91           | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2021 | 6   | 30   | 641,85                 | 73,64               | 4,51             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2021 | 6   | 30   | 717,11                 | 0,75                | 2,14             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2021 | 7   | 31   | 402,35                 | 275,19              | 65,94            | 0,52                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2021 | 7   | 31   | 729,98                 | 7,02                | 6,49             | 0,52                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2021 | 7   | 31   | 538,04                 | 200,74              | 4,71             | 0,52                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2021 | 7   | 31   | 547,40                 | 193,53              | 2,56             | 0,52                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2021 | 8   | 31   | 385,24                 | 353,68              | 0,79             | 4,30                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2021 | 8   | 31   | 739,12                 | 0,08                | 0,51             | 4,30                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2021 | 8   | 31   | 82,82                  | 610,68              | 46,20            | 4,30                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2021 | 8   | 31   | 590,02                 | 149,10              | 0,58             | 4,30                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2021 | 9   | 30   | 714,15                 | 3,50                | 1,35             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2021 | 9   | 30   | 451,25                 | 186,13              | 81,62            | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2021 | 9   | 30   | 218,82                 | 300,43              | 199,76           | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2021 | 9   | 30   | 678,97                 | 38,76               | 1,27             | 0,00                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2021 | 10  | 31   | 662,33                 | 66,32               | 15,10            | 0,25                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2021 | 10  | 31   | 113,09                 | 20,25               | 610,41           | 0,25                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2021 | 10  | 31   | 524,64                 | 60,49               | 158,62           | 0,25                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2021 | 10  | 31   | 711,39                 | 16,31               | 16,05            | 0,25                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2021 | 11  | 30   | 423,64                 | 163,42              | 132,66           | 0,28                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2021 | 11  | 30   | 126,00                 | 13,10               | 580,62           | 0,28                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2021 | 11  | 30   | 604,30                 | 98,47               | 16,95            | 0,28                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2021 | 11  | 30   | 612,50                 | 92,77               | 14,45            | 0,28                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba021_VDF | CO Estado Bomba 21 | 2021 | 12  | 31   | 0,00                   | 0,00                | 734,94           | 9,06                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba022_VDF | CC Estado Bomba 22 | 2021 | 12  | 31   | 109,41                 | 10,52               | 615,01           | 9,06                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba023_VDF | CO Estado Bomba 23 | 2021 | 12  | 31   | 732,93                 | 1,66                | 0,35             | 9,06                   |
| NAE1_EB02 | PI | PLANNAE1-EB02:Bba024_VDF | CC Estado Bomba 24 | 2021 | 12  | 31   | 734,07                 | 0,45                | 0,42             | 9,06                   |

**ANEXO C (TABLAS DE CONFIABILIDAD EB-02)**

| CONFIABILIDAD |              |              |              |              |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| EQUIPO        | BOMBA 21     | BOMBA 22     | BOMBA 23     | BOMBA 24     |
| t =           | 1000 horas   | 1000 horas   | 1000 horas   | 1000 horas   |
| R (t) =       | 39,54%       | 32,35%       | 37,84%       | 71,83%       |
| Rango         | 360 HORAS    | 360 HORAS    | 360 HORAS    | 360 HORAS    |
| TIEMPO (H)    | R(t) BOMBA21 | R(t) BOMBA22 | R(t) BOMBA23 | R(t) BOMBA24 |
| 0             | 100,00%      | 100,00%      | 100,00%      | 100,00%      |
| 360           | 75,21%       | 75,91%       | 88,87%       | 89,17%       |
| 720           | 53,01%       | 48,81%       | 61,06%       | 79,03%       |
| 1080          | 36,27%       | 28,51%       | 32,01%       | 69,88%       |
| 1440          | 24,31%       | 15,46%       | 12,71%       | 61,69%       |
| 1800          | 16,03%       | 7,89%        | 3,81%        | 54,39%       |
| 2160          | 10,43%       | 3,81%        | 0,85%        | 47,91%       |
| 2520          | 6,71%        | 1,76%        | 0,14%        | 42,17%       |
| 2880          | 4,28%        | 0,78%        | 0,02%        | 37,10%       |
| 3240          | 2,70%        | 0,33%        | 0,00%        | 32,61%       |
| 3600          | 1,69%        | 0,13%        | 0,00%        | 28,65%       |
| 3960          | 1,05%        | 0,05%        | 0,00%        | 25,16%       |
| 4320          | 0,65%        | 0,02%        | 0,00%        | 22,08%       |
| 4680          | 0,40%        | 0,01%        | 0,00%        | 19,37%       |

ANEXO D (HOJA DE DECISION FMECA BOMBA FLOWSERVE)

| MODO DE FALLA                        | REFERENCIA DE HOJA DE INFORMACIÓN |    |      | EVALUACION DE CONSECUENCIA (DIAGRAMA DE DECISION) |    |   |   | H1 | H2 | H3 | ACCIÓN A FALTA DE |    |    | TAREA PROPUESTA                                                                                                                          |
|--------------------------------------|-----------------------------------|----|------|---------------------------------------------------|----|---|---|----|----|----|-------------------|----|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      |                                   |    |      |                                                   |    |   |   | S1 | S2 | S3 |                   |    |    |                                                                                                                                          |
|                                      |                                   |    |      |                                                   |    |   |   | O1 | O2 | O3 |                   |    |    |                                                                                                                                          |
|                                      | F                                 | FF | MF   | H                                                 | S  | E | O | N1 | N2 | N3 | H4                | H5 | S4 |                                                                                                                                          |
| CORTE DE EJE                         |                                   |    | 1.1  | SI                                                | SI |   |   | SI |    |    |                   |    |    | TAREA A CONDICIÓN: REALIZACIÓIN DE TAREAS DE MEDICION DE VIBRACIONES/ TINTAS PENETRANTES/MEDICION DE DESBALANCEO O PANDEO/ CAMBIO DE EJE |
| DESGASTE DE BUJES CENTRADORES        |                                   |    | 1.2  | NO                                                |    |   |   | NO | NO | SI |                   |    |    | TAREA SUSTITUCIÓN CÍCLICA: CAMBIO DE BUJES CENTRADORE, CUANDO JUEGO ENTRE BUJE Y EJE SEA MAYOR A 3 MM                                    |
| RUPTURA DE SELLO MECANICO            |                                   |    | 1.3  | SI                                                | SI |   |   | NO | NO | NO |                   |    | SI | COMBINACION DE TAREAS: INSPECCIONES VISUALES/ PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO/ CAMBIO DE SELLOS                                                |
| DESGASTE DE IMPULSORES               |                                   |    | 1.4  | NO                                                |    |   |   | NO | NO | SI |                   |    |    | TAREA DE SUSTITUCION CICLICA: CAMBIO DE IMPULSORES DE FORMA PREVENTIVA                                                                   |
| FRACTURA DE TAZONES                  |                                   |    | 1.5  | SI                                                |    |   |   | NO | NO | NO |                   |    | SI | COMBINACION DE TAREAS: INSPECCIONES VISUALES/INSPECCIONES PREDICTIVA/ CAMBIO DE TAZONES                                                  |
| CORTE DE CHAVETA                     |                                   |    | 1.6  | SI                                                | SI |   |   | NO | NO | SI |                   |    |    | TAREA DE SUSTITUCION CICLICA: CAMBIO DE CHAVETAS                                                                                         |
| DESGASTE DE STUFFING BOX             |                                   |    | 1.7  | NO                                                |    |   |   | NO | NO | SI |                   |    |    | TAREA DE SUSTITUCION CICLICA: CAMBIO DE STUFFING BOX                                                                                     |
| PERDIDA DE AISLACION DE BOBINADO     |                                   |    | 1.8  | NO                                                |    |   |   | SI |    |    |                   |    |    | TAREA DE CONDICION: MEDICION DE AISLACION EN DEBANADO / TERMOGRAFIA A MOTOR                                                              |
| DAÑO EN RODAMIENTOS                  |                                   |    | 1.9  | NO                                                |    |   |   | SI |    |    |                   |    |    | TAREA DE CONDICION: MEDICION DE VIBRACIONES, VERIFICAR COMPONENTES BPFO, BPFI DE ROD.                                                    |
| DAÑO EN VENTILADOR                   |                                   |    | 1.10 | NO                                                |    |   |   | NO | SI |    |                   |    |    | TAREA DE REACONDICIONAMIENTO CICLICO: REVISION PREVENTIVA DE VENTILADOR                                                                  |
| VARIADOR DE FRECUENCIA EN MAL ESTADO |                                   |    | 1.11 | NO                                                |    |   |   | NO | SI |    |                   |    |    | TAREA DE REACONDICIONAMEINTO CICLICO: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO                                                                          |

ANEXO E (PROCEDIMIENTO CAMBIO DE SELLO MECANICO EB02-EB01)

| Área                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  | Codificación                                                                                       | Objetivo del estándar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Responsable                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | F. Aprobación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | F. Revisión | Versión |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|
| Mantenimiento Cordillera                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  | CL-GOP-CO0501-PRO-096 (ANEXO)                                                                      | CONFIABILIDAD EN CAMBIO DE SELLOS MECANICOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Giovanni Carrillo V. (JEFE MANTENCION)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0           |         |
| <div>Documentación</div> <div>* ART, Check List de herramientas manuales, Check list de puente grua, Solicitud de bloqueo, Procedimiento de herramientas manuales, Procedimiento de bombas verticales.</div> <div>Equipos de apoyo</div> <div>* Radio</div> <div>* Camioneta 4x4</div> <div>* Puente grua</div> <div>Herramientas</div> <div>* Llaves punta corona 12 a 28 mm</div> <div>* Llave de impacto</div> <div>* Llave allen 1.5 a 14 mm</div> <div>* Llave stillson de 24"</div> <div>* Sarnesita</div> <div>* Masa de acero y de goma</div> <div>* Flexómetro y pie de metro</div> <div>Insumos</div> <div>* WD40</div> <div>* Perneta</div> <div>* Niples</div> <div>* Mangueras de lubricación</div> <div>* Rollo de Teflon 1/2"</div> <div>* Grasa (dependiendo del sello)</div> <div>* Sello mecánico compatible</div> <div>Especialidad ejecutor</div> <div>* MECANICO ESPECIALISTA</div> <div>* ESPECIALISTA MONCON</div> <div>* MECANICO ( EN SUPERVISION DE ESPECIALISTA, CAPATAZ O SUPERVISOR)</div> |  | <div>1</div> <div>Actividades previas</div>                                                        | <div>1. Evaluar condiciones del entorno (condición climática, estado de alerta, etc.), confeccionar check list, art, charla diaria,</div> <div>2.- Contar con las autorizaciones de ingreso al área, de acuerdo al procedimiento de caminos secundarios.</div> <div>3. Realizar solicitud de bloqueo y verificar bloqueo de equipo.</div> <div>4. Bloqueo de válvula de descarga.</div> <div>5. Realizar bloqueo personal en caja fija o caja móvil establecida.</div> <div>6.</div> <div>7.</div> <div>8.</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <div>1. Usar guantes de seguridad</div> <div>2. Usar gafas de seguridad</div> <div>3. Usar calzado de seguridad</div> <div>4. Usar traje de papel</div> <div>5. Precaución de golpeado contra herramientas manuales.</div> <div>6.</div> <div>7.</div> <div>8. Conducción a la defensiva</div> <div>9. Atento a ladera de cerro</div> <div>10. Atento a la comunicaciones radiales</div> | <div></div> <div>VISTA SUPERIOR SELLO MECANICO.</div> <div></div> <div>VISTA INFERIOR SELLO MECANICO.</div> <div></div> <div>MONTAJE DE SELLO MECANICO EN EJE BOMBA.</div> <div></div> <div>NIPLES DE INYECCION Y DRENAJE, GRASERA DE LUBRICACION DEL SELLO MECANICO.</div> <div></div> |             |         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  | <div>2</div> <div>Ejecución paso a paso desmontaje de sello mecánico e inspección asociadas.</div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  | <div>3</div> <div>Ejecución paso a paso Montaje de sello mecánico.</div>                           | <div>1. Limpiar superficie de stuffing box previamente a montaje de sello mecánico.</div> <div>2. Envolver sección rosca de eje de bomba con teflón, para evitar daños en montaje de sello mecánico.</div> <div>3. Verificar modelo de sello mecánico, si es compatible para condiciones de operación. estado de elementos sellante (sin picaduras) y de resorte de compresión. (Manipular sello mecánico con extremo cuidado, sin golpear, tirarlo, agitarlo y utilizando guantes).</div> <div>4. Verificar que el sello posea los 3 oring visibles (oring interno superior e inferior, oring de ajuste con stuffing).</div> <div>5. Verificar diámetro interno del sello y diámetro de eje bomba; diámetro interno de sello debe ser 0,3 mm mayor al diámetro del eje.</div> <div>6. Introducir sello mecánico en eje, teniendo precaución con la sección rosca del eje y los elementos sellantes; Verificar que los oring no se dañen y se encuentren posicionados correctamente.</div> <div>7. Acoplar sello mecánico a stuffing box mediante pernos base, torquar pernos de forma uniforme, evitando generar fugas entre base de sello y stuffing durante la operación.</div> <div>8. Introducir chaveta en canal chavetero y posteriormente machón en eje de bomba; precaución de no golpear sello al montar machón.</div> <div>9. Enroscar tuerca de ajuste con hilo de eje (hilo inverso); precaución de no dañar hilo.</div> <div>10. Acoplar y torquar mediante pernos Allen, espaciador a machón de motor.</div> <div>11. Desplazar tuerca de ajuste, dejando un GAP de 5 mm entre espaciador y tuerca de ajuste.</div> <div>12. Soltar pernos de ajuste del collar de sujeción; Acoplar machón-tuerca de ajuste y espaciador, verificando el gap de 5 mm previamente a apertar.</div> <div>13. Una vez realizado el acople de los machones, apretar pernos de ajuste en cuello de sujeción contra eje bomba.</div> <div>14. Retirar espaciadores desde el cuello de sujeción, dejándolo libre.</div> <div>15. Instalar Mangueras de lubricación, manguera de inyección se deberá instalar en el agujero (F) y manguera de drenaje en agujero (V), estas siglas estarán ubicados en los agujeros al costado del sello mecánico. Además, la manguera de inyección deberá ser conectada a la línea de agua sello ubicada en la descarga de la bomba, mientras que la manguera de drenaje será direccionada a la descarga hacia la sentina.</div> <div>16. Realizar pruebas operativas de la bomba, comenzando en 10 Hz y aumentando de 5-10 min, 5 hz, hasta llegar a los 50 Hz; Durante la puesta en marcha tener precaución con la temperatura del sello (no sobrepasar 30°C), además, evaluar condiciones vibratorias.</div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |         |

ANEXO F (PROCEDIMIENTO CAMBIO DE BOMBA VERTICAL EB02)

| Schwager<br>Service                                                                                                  |                                                                                     | CAMBIO DE BOMBAS VERTICALES SSITEMA DE BOMBEO NAE 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                 |             |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Área                                                                                                                 | Codificación                                                                        | Objetivo del estándar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Responsable                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | F. Aprobación   | F. Revisión | Versión                                                                             |  |
| Mantenimiento Mecánico                                                                                               | 4400238214-MEC-013                                                                  | Minimizar los riesgos de ingresos de elementos extraños tanto al interior de estaciones de bombeo 1 y 2, como a la vez el ingreso de estos elementos al interior de las conducciones de relaves.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Jefe de Mantenimiento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Septiembre 2022 | 22-09-2022  | 1.0                                                                                 |  |
| Documentos adicionales                                                                                               |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                 |             |                                                                                     |  |
| • ART.<br>• Check list                                                                                               | <div>1</div> Actividades previas                                                    | 1. Solicitar permiso de ingreso al operador de la sala Coss 5660.<br>2. Solicitar Permiso de bloqueo donde quedarán registradas las intervenciones que se realicen.<br>3. Realizar bloqueo eléctrico de motor eléctrico de equipo a intervenir; realizar bloqueo de válvula general de salida de equipo a intervenir (operaciones DAND)<br>4. Posterior a bloquear deben hacer las pruebas efectivas con operador Sala Coss.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  El personal se dirige a punto de acceso donde instalarán un punto de anclaje retráctil a través de eslinga y grilletes,<br> Verificar que se encuentra bien posicionado, instalar arnés de seguridad previamente antes revisado y declarado en Check List. |                 |             |                                                                                     |  |
| Equipos de Apoyo                                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                 |             |                                                                                     |  |
| • Radio de comunicación.                                                                                             | <div>2</div> Desmontaje de motor eléctrico                                          | 1. Se debe verificar en conjunto con personal eléctrico que motor se encuentre desconectado eléctricamente en fuerza y control.<br>2. Se deberá posicionar escalera tipo avión para poder realizar eslingado de motor eléctrico el cual tiene un peso neto de 3045 kg, se deberá disponer de un espacio para su almacenamiento dentro de la estación de bombeo. Previo al retiro se deberá realizara retiro de pernos basales y retiro de acoplamiento machon eje motor bomba                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  Si fuese necesario cortar algún perno por encontrarse agripado, se utilizará un esmeril angular, acorde con el procedimiento de Trabajo en Caliente<br> Inspeccionar visualmente la rastra, pernería, soportes,                                            |                 |             |                                                                                     |  |
| Herramientas                                                                                                         |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                 |             |                                                                                     |  |
| Vigas H<br>Placa soporte<br>Elevadores 10"<br>Elementos de izaje<br>Maleta con herramientas mecánicas para desacople | <div>3</div> Desmontaje de bomba                                                    | 1. Realizar retiro de pernería de línea de salida y desacople de unión dresser y camisa de acople a su vez retiro de sello mecánico, posteriormente se debe realizar levante de bomba peso neto 1500 kg, levantar girar para retiro de pucho de acoplamiento línea de salida.<br>2. Luego se deberá levanta bomba hasta termino de primer tramo del barril 1,2 mt y se posicionara VIGAS H y sobre viga H, la placa,luego posicionamiento de elevador de 10" de diámetro, donde se hará descansar bomba sin liberar en ningún momento la carga se baja bomba hasta que esta quede suspendida sobre placa base y elevador<br>3. Una vez en la posición se debe proceder a retiro de pernería de cabezal y su retiro<br>4. Luego se tomara bomba desde elevadora y se procederá a retiro de barriles y tren de impulsión mediante maniobra de izaje con puente grúa |  El personal antes de descender por escala debe engancharse al retráctil directamente a la argolla del pecho y utilizando los 3 puntos de apoyo, "no debe llevar ningún material o herramientas en las manos".                                                                                                                               |                 |             |                                                                                     |  |
| Repuestos                                                                                                            |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                 |             |                                                                                     |  |
| Bomba VTP                                                                                                            | <div>4</div> Montaje de bomba                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                 |             |                                                                                     |  |
| Especialidad ejecutor                                                                                                |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                 |             |                                                                                     |  |
| • Líder (parcial).<br>• Mecánicos                                                                                    |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                 |             |                                                                                     |  |

| Schwager<br>Service                                                   |                                                                                       | CAMBIO DE BOMBAS VERTICALES SSITEMA DE BOMBEO NAE 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                 |             |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Área                                                                  | Codificación                                                                          | Objetivo del estándar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Responsable                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | F. Aprobación   | F. Revisión | Versión                                                                               |  |
| Mantenimiento Mecánico                                                | 4400238214-MEC-013                                                                    | Minimizar los riesgos de ingresos de elementos extraños tanto al interior de estaciones de bombeo 1 y 2, como a la vez el ingreso de estos elementos al interior de las conducciones de relaves.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Jefe de Mantenimiento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Septiembre 2022 | 22-09-2022  | 1.0                                                                                   |  |
| Documentos adicionales                                                |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                 |             |                                                                                       |  |
| • ART.<br>• Check list                                                | <div>5</div> Montaje de bomba                                                         | 1. Luego se tomara bomba nueva desde elevadora y se procederá a posicionamiento de barriles y tren de impulsión mediante maniobra de izaje con puente grúa en sentina, esta quedara suspendida en vigas H, placa base y elevador 10"<br>2. Luego se realizara izaje y acoplamiento de cabezal, se colocara pernería en acople de barril y cabezal, esto mediante y en todo momento apoyado y suspendido con izaje de puente grúa.<br>3. Luego se levantara bomba completa mediante maniobra de izaje y se procerà a retiro de placa de sujeción y elevador<br>4. Se realizara posicionamiento de bomba en sentina<br>5. Acoplamiento de pucho de conexión línea de descarga , luego se dejara en posición original para acoplar línea de alimentación y unión dresser. |  El personal se dirige a punto de acceso donde instalarán un punto de anclaje retráctil a través de eslinga y grilletes,<br> Verificar que se encuentra bien posicionado, instalar arnés de seguridad previamente antes revisado y declarado en Check List. |                 |             |                                                                                       |  |
| Equipos de Apoyo                                                      |                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                 |             |                                                                                       |  |
| • Radio de comunicación.                                              | <div>6</div> Montaje de motor y acoplamiento motor bomba                              | 1. Se deberá posicionar escalera tipo avión para poder realizar eslingado de motor eléctrico el cual tiene un peso neto de 3045 kg, se deberá posicionar sobre cabezal de bomba y proceder a instalar pernos basales<br>2. Instalación stuffing box, kit de sello ya sea prensa estopa o sello mecánico, dejando marcado los 5mm de levante cuando se acople machón<br>3. Acoplar machón parte superior, contra tuerca debe quedar con un gatt de 5 mm de levante, una vez realizado el torque de machón y dando el gatt correspondiente se procederá a darle aprete final a sello mecánico, aprete de collarin de sello a eje bomba y por ultimo retiro de espaciador del sello                                                                                       |  Inspeccionar visualmente la rastra, pernería, soportes, tirantes, estructura en general, evaluando la condición de esta para realizar un informe de la condición estructural de la rastra que será entrega a personal DAND para que determinen los pasos a seguir.                                                                              |                 |             |                                                                                       |  |
| Herramientas                                                          |                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                 |             |                                                                                       |  |
| Alineador<br>Llave de torque<br>Grasera manual<br>Bomba de trasvasije | <div>7</div> Puesta en marcha                                                         | 1. Cuando motor se encuentra eléctricamente en condiciones de poder energizar y poner en servicio, se deberá coordinar con sala coss y eléctricos para la puesta en marcha de formas manual local, se deberá aplicar lubricación externa en sello durante pruebas, la puesta en marcha debe ser en 5hz cada 5 minutos hasta llegar a 50hz<br>2. Realizar mediciones de temperatura de equipo y medición de vibraciones en motor y bomba<br>3. Evaluar operación de sello mecánico<br>4. Si equipo no presenta anomalías se deberá entregar a operador en forma remota para que disponga de su operación según.                                                                                                                                                         |  El personal antes de descender por escala debe engancharse al retráctil directamente a la argolla del pecho y utilizando los 3 puntos de apoyo, "no debe llevar ningún material o herramientas en las manos".                                                                                                                                   |                 |             |                                                                                       |  |
| Repuestos                                                             |                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                 |             |                                                                                       |  |
| Sello mecánico<br>Kit de estopa                                       |                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                 |             |                                                                                       |  |
| Especialidad ejecutor                                                 |                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                 |             |                                                                                       |  |
| • Líder (parcial).<br>• Mecánicos                                     |                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                 |             |                                                                                       |  |

ANEXO G (DIAGRAMA JACK KNIFE ACTUALIZADO)

