



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO  
PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS  
EQUIPOS DE BOMBEO EN UNA EMPRESA MINERA  
CAJAMARCA 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Christian Alberto Balarezo Verastegui

Asesor:

Mg. Oscar Arturo Vásquez Mendoza

Cajamarca - Perú

2022

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico a mis Padres, Carlos Alberto y Julia Elena, por su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la oportunidad de salir adelante, a mis padres por brindarme su apoyo constante. A los docentes de la carrera de ingeniería de minas por las enseñanzas brindadas.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>38</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>40</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>42</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Disponibilidad actual de los equipos de bombeo .....	21
Tabla 2. Lista de Decisiones en la unidad de líquido propelente .....	27
Tabla 3. Lista de decisión Unidad Power End .....	29
Tabla 4. Lista de Decisión mantenimiento Unidad de Lubricación Power End .....	30
Tabla 5. Lista de mantenimiento unidad Alojamiento de Diafragma .....	31
Tabla 6. Lista de mantenimiento unidad Dampener .....	32
Tabla 7. Mantenimiento de Manifold y Tuberías de Transporte Alta Presión .....	32
Tabla 8. Resumen de estrategias a implementar .....	33
Tabla 9. Disponibilidad de los equipos de bombeo luego de la propuesta de Implementación de un plan de mantenimiento .....	36
Tabla 10. Costos para la implementación de la propuesta de mantenimiento .....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disponibilidad actual de los equipos de bombeo ..... 22

## RESUMEN

La presente tesis lleva como título. Propuesta de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera Cajamarca 2022. La cual su objetivo principal fue. Proponer un plan de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera Cajamarca 2021. Según su propósito la investigación es aplicada de enfoque cuantitativo, no experimental. El problema con mayor impacto fue la baja disponibilidad de los equipos de bombeo en la empresa minera por lo que se propuso un plan de mantenimiento y sus respectivos controles logrando una disponibilidad promedio de un 95.6% con un aumento del 6.1% con respecto a la disponibilidad inicial que fue de 88.9%.

La propuesta del plan de mantenimiento se hizo de acuerdo a las necesidades de la empresa mejorando la disponibilidad de los equipos de bombeo, el cual cuenta con un sistema de información que permite llevar un registro detallado de los trabajos que se van a realizar. Finalmente se concluye que el costo para la implementación de la propuesta del plan de mantenimiento es de \$14'487,200. Cabe recalcar estos costos pueden ser evitados si se realiza la inversión en los proyectos de capital y la implementación de las actividades recomendadas en la propuesta del plan de mantenimiento

**Palabras clave:** mantenimiento, disponibilidad, minería, equipos de bombeo.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Benavides (2018), Menciona que en estos últimos años el sector minero ha contribuido significativamente en el desarrollo del país, siendo Perú el segundo productor de plata en América Latina, con una producción acumulada de 8,679 toneladas métricas finas para el periodo 2016–2017. Asimismo, la producción argentífera fue de 1 012 toneladas métricas finas en el primer trimestre del 2018.

La industria minera en el Perú presenta un crecimiento acelerado, pero este crecimiento no muchas veces va a la par con las actividades de apoyo que conforman la gestión de mantenimiento, dentro de ello se encuentra los equipos del sistema de bombeo, que a su vez está conformado por un conjunto de equipos, así como la mano de obra calificada, conjuntamente ellos permiten lograr la producción y calidad, que requiere el proceso del sistema. Y es aquí donde debemos dar más énfasis, puesto que el mantenimiento de equipos en minera, equivale a un porcentaje del presupuesto de la empresa y por ende debe ser manejado con una buena gestión y un plan estructurado que evite paradas, accidentes, impacto ecológico, etc.

En nuestra actualidad, a nivel mundial, la gestión de mantenimiento es importante para garantizar la continuidad de las actividades operativas, evitando paradas en los procesos por fallas de máquinas y equipos. Por ello, implementar un mantenimiento eficaz constituye uno de los elementos más importantes para alcanzar la competitividad y operatividad empresarial (Camacho, 2016).

Todo proceso minero es indispensable la presencia de variedad de equipos de bombeo, las cuales tienen bombas centrífugas y bombas de pulpa, estas son parte importante de

la planta metalúrgica debido a que tienen la función de mover un cierto volumen de líquido de un lugar a otro. Por ello, muchas empresas elaboran distintos sistemas de detección de fallas que difieren en precios, modelos y métodos para mejorar la disponibilidad de los equipos. (Camacho, 2016).

Además, Soto (2016), en su estudio denominado “optimización del sistema de bombeo y manejo de las aguas residuales producto de la explotación minera”, explicó que el trabajo de los equipos con altos índices de criticidad mayores a 250, fueron 7 criterios: ocurrencia de falla, impacto operacional, costo de reparación, impacto en la seguridad, impacto ambiental, impacto en las comunidades y línea de producción. Con la jerarquización de los equipos se puede ver qué criterio afecta en mayor cantidad por lo que se podría decir que con el TPM, buscó minimizar pérdidas de productividad y también en mantener los sellos mecánicos disponibles, sin la presencia de paradas no programadas y lograr cero averías, cero tiempos muertos y cero defectos (Muñoz, 2016).

Godínez (2015) en su investigación “Diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en RCM para los equipos de bombeo de off site” demuestra que con la implementación del RCM en la refinería costarricense RECOPE, logró elevar la disponibilidad desde 67.26% hasta 92.72% desarrollando fichas técnicas para los equipos críticos, además de un plan de mantenimiento preventivo con detalle en las inspecciones a ser desarrolladas por el personal de mantenimiento. Como resultado de la investigación realizada aplicando el RCM Montes (2018) realiza una lista de requerimientos e instructivos siendo implementados en los correspondientes mantenimientos preventivos de la flota de vehículos, logrando así mejorar la

disponibilidad y la confiabilidad de los equipos en su investigación titulada “Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de integra s.a. usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)” además resalta la posibilidad de reducir las actividades de mantenimiento preventivo desde un 40% a 70%. El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una técnica de gran utilidad que puede ser utilizado para la creación de planes de mantenimiento en las plantas industriales, sector energético y todo tipo de maquinaria que genere un trabajo. El RCM ha sido utilizado para crear estrategias de gestión de activos fijos ya que provee de información necesaria para tomar acciones en pro de conservar la funcionalidad de los activos, que en este caso fue aplicado a los transformadores de potencia.

Torres (2017), en su trabajo de tesis denominado, “Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para Mejorar la Disponibilidad de la Chancadora 60 x 113 de la Minera Chinalco”, nos muestra que durante el periodo de la fecha de julio de 2015 a junio del 2016 hubo un descenso de disponibilidad mecánica de 88.91%, ya que en periodo se observó que la disponibilidad de la chancadora primaria no ha superado lo requerido por la minería que es de 90%, lo cual es perjudicial para la compañía generando pérdidas económicas. Aplicando ya el método hubo una serie de análisis comenzado por el AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla) posteriormente el Análisis de Criticidad que es fundamental para la clasificación de componentes, para evaluar el porcentaje de criticidad que presenta. En el periodo de julio de 2016 a junio de 2017 hubo un impacto significativo de los resultados obtenidos, consiguiendo un aumento de 3.17% en la disponibilidad mecánica.

Albán (2017), En su trabajo de tesis titulada, “Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo Centrado en las Confiabilidad de las Maquinarias en la Empresa Construcciones Reyes para Incrementar la Productividad”, describe la situación de la empresa que presta servicio a la industria pesquera, petrolera y minera, la cual presenta fallas y avería en su proceso de actividades de producción, que con lleva a un mal manejo general de mantenimiento. El método que se empleo es la matriz de criticidad, que posteriormente se elaboró hojas de trabajo. El enfoque principal es buscar los estados de falla posible en los equipos (tornos) y minimizarlos con este método. Después de la Implementación del Plan de Mantenimiento Preventivo se obtuvo un incremento de la producción de 50 %, y que por cada S/. 1.00 invertido en el plan de mantenimiento, obtendría S/. 0.76 de ganancia.

Vilca (2018) En su tesis denominada “Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para la mejora de la disponibilidad de los equipos del sistema de carga y transporte en una empresa minera, lima 2018” proyecta una reducción significativa en el índice de gastos incurridos en mantenimiento que bordea el 24.82% realizando la implementación del plan de mantenimiento; de igual manera esto repercute en la disponibilidad incrementándola desde 89.2% en el año 2016 a 92% para el año 2018.

En el estudio de Castillo (2017) referida a la implementación de un plan de RCM determina que su aplicación mejorará la tasa de fallos de 0.00142 a 0.0006, es decir de un MTBF de 29 a 69 días representando un 57.95%. Esto representa evitar la pérdida de 3602 barriles de petróleo en su estudio denominado “Propuesta de mantenimiento

centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema power oil de la estación Atacapi del B57-li de Petroamazonas EP”. La implementación de la metodología de RCM logró llevar a los trenes de fuerza de 12,000 horas de vida útil a 16000 horas de vida. Así mismo los costos promedio de reparación se redujeron en un 23.1% luego de iniciado el proyecto es lo que propone Robles (2018) En su tesis denominada “Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para incrementar la vida útil del tren de fuerza de camiones de acarreo marca Caterpillar modelo 793D en Sociedad Minera Cerro Verde”. La Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco) con la aplicación estructurada de la metodología RCM logó beneficios como el aumento de su producción en 14% logrando un impacto entre \$ 600 mil y un millón \$ anuales, reducción de costos de mantenimiento identificados entre 170 a 310 K \$/año, también se eliminó una de las 2 paradas de mantenimiento semanales de 4 horas es lo que nos sustenta Yengle (2016) en su trabajo de investigación.

Mantenimiento:

Dounce (2007), nos plantea una filosofía moderna de mantenimiento, con un enfoque a la calidad y servicio de un sistema que debe brindar: “Mantenimiento es la actividad humana que garantiza la existencia de un servicio dentro de una calidad esperada”

García (2003), define la actividad de mantenimiento como un “conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento”

#### Tipos de Mantenimiento:

Mantenimiento Correctivo. García Garrido (2016) menciona “que es un conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos”. Estas tareas presentan dos modalidades, las reparaciones detectadas en el mantenimiento preventivo, que se puede programar de acuerdo a la disponibilidad del área de la producción, y la otra reparación como consecuencia de un fallo imprevisto o paradas de emergencia la cual genera una interrupción en el proceso.

Mantenimiento Preventivo. García Garrido (2016), menciona “Tiene como misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento oportuno”. Este tipo de mantenimiento es programable y su meta es evitar una falla, algunas acciones son: ajuste limpieza, lubricación, calibración, etc.

#### Mantenimiento Predictivo:

Doucen (2017) manifiesta que es un “Sistema permanente de diagnóstico que permite detectar con anticipación la posible pérdida de calidad de servicio que esté entregando equipos”. Este tipo de mantenimiento se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros, para ello utilizan instrumentos como equipos de análisis vibracional, termógrafos, etc.

Importancia del mantenimiento preventivo: (John Moubrey, 2015); considera que el mantenimiento preventivo constituye una acción, o serie de acciones necesarias, para alargar la vida útil del equipo e instalaciones y prevenir la suspensión de las actividades

laborales por imprevistos. Tiene como propósito planificar periodos de paralización de trabajo en momentos específicos, para inspeccionar y realizar las acciones de mantenimiento de equipos, con lo que se evitan reparaciones de emergencia. Un mantenimiento planificado mejora la productividad hasta en 25%, reduce 30% los costos de mantenimiento y alarga la vida útil de la maquinaria y equipo hasta en un 50%.

Elementos del mantenimiento preventivo: (John Moubray, 2015); comenta que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado periodo de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas. Se relaciona con la reducción en la frecuencia de las fallas en un intervalo de tiempo, y es una medida de la probabilidad para una operación libre de fallas, durante un intervalo de tiempo dado; así, es una medida del éxito para una operación libre de fallas.

$$R(t) = \exp(-t/MTBF) = \text{EXP}(-It)$$

Donde I es la constante de falla y MTBF es el Tiempo Medio Entre Fallas.

El MTBF mide el tiempo entre las fallas del sistema y es más fácil de entender que un número de probabilidad. Para los modos de falla distribuidos exponencialmente, el MTBF es un índice básico de confiabilidad.

Para un tiempo de corrida dado con el fin de lograr una alta confiabilidad, se requiere un gran MTBF. Además, la confiabilidad puede ser el producto de diferentes componentes de confiabilidad tales como.

$$R = R_{\text{servicio}} * R_{\text{alimentación de la planta}} * R_{\text{procesamiento}} * R_{\text{empaquete}} * R_{\text{envío}}.$$

Para el usuario de un producto, la confiabilidad es medida como una larga operación sin fallas.

Tiempo medio de reparación (MTTR): según Márquez, 2008; considera que Mid Time To Repair: Es el tiempo medio de reparación. Nos permite conocer la importancia de las averías que se producen, considerando el tiempo medio hasta su solución.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de la reparación correctiva}}{\text{Número de reparaciones correctivas}}$$

Disponibilidad: Según Escudero (2016) menciona: la disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función principal para la cual fue destinada. Es la probabilidad que un activo realice la función asignada cuando se requiere de ella. La disponibilidad depende de cuán frecuente se producen los fallos en determinado tiempo y condiciones y de cuánto tiempo se requiere para corregir el fallo. De modo que la mantenibilidad queda definida como la probabilidad de que un activo (o conjunto de activos) en fallo, sea restaurado a su estado operativo, dentro de un tiempo determinado, cuando la acción de corrección se efectúa acorde a los procedimientos establecidos por la empresa. (p.32).

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

Donde:

A: Disponibilidad

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTR: Tiempo medio de reparación.

## **1.2. Formulación del problema**

¿En qué medida la propuesta de un plan de mantenimiento permite mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera Cajamarca 2021?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Proponer un plan de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera Cajamarca 2021

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- ✓ Realizar un diagnóstico de la situación actual de los equipos de bombeo.
- ✓ Elaborar la propuesta plan de mantenimiento para los equipos de bombeo
- ✓ Analizar la disponibilidad de los equipos de bombeo luego de propuesta del plan de mantenimiento
- ✓ Determinar el costo para la implementación de la propuesta del plan de mantenimiento.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

La propuesta de un plan de mantenimiento mejora la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera Cajamarca 2021.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

**Según su propósito:** La investigación fue aplicada, ya que se pone en práctica la teoría ya conocida en cuanto al proceso de bombeo y a la gestión de mantenimiento, además se utiliza estrategias con las que se determina el análisis de fallas.

**Según su profundidad:** La investigación fue explicativa, porque se estudió las relaciones de influencia entre la gestión de mantenimiento y la disponibilidad de los equipos de bombeo.

**Según la naturaleza de datos:** La investigación fue cuantitativa, porque la disponibilidad de los equipos de bombeo es evaluada mediante procedimientos de medición.

**Según su manipulación de la variable:** La investigación fue no experimental, ya que no se interviene en el comportamiento de las variables, es decir que estas no se van a manipular.

### 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

#### 2.2.1. Población

La población de la presente investigación está conformada por las estaciones de bombeo existentes en la empresa minera Cajamarca 2021.

#### 2.2.2. Muestra

La muestra para la investigación son los 10 equipos de bombeo (bombas GEHO)

### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

#### **2.3.1. Técnicas**

**La observación:** la observación directa como técnica para la recolección de datos, esta consiste básicamente en observar el objeto de estudio dentro de una situación particular todo esto se hace sin necesidad de intervenir o alterar el ambiente en el que se desenvuelve el objeto.

**Análisis documental:** Se obtiene datos de fuente primaria, El instrumento que se acostumbra utilizar es la ficha de registro de datos.

#### **2.3.2. Instrumentos**

Reporte de fallas

Check List.

Formato de mantenimiento preventivo, correctivo

#### **2.3.3 Análisis de datos**

Los datos que se analizaron son. Control de horas por reparación o falla, disponibilidad mecánica de los equipos los cuales fueron analizados con el Microsoft Excel mediante tablas y gráficos.

## 2.4. Procedimiento

El procedimiento para el desarrollo de la presente investigación se realizó mediante 3 etapas: las cuales se describen de la siguiente manera. etapa de pre campo, etapa de campo y etapa de post campo

### 2.4.1. Etapa de pre campo

En esta etapa se realiza la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados con referencia al tema en estudio el cual se da en diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales de las distintas universidades, lo cual nos permita tener referencia con respecto al tema de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de los equipos de bombeo una empresa minera.

### 2.4.2 Etapa de Campo

En esta etapa de campo se logrará recolectar información con respecto:

Manuales de mantenimiento de los equipos en estudio

Recolección de información de tiempos de fallas y tiempos de reparación de los equipos de bombeo los cuales servirán calcular la disponibilidad inicial o actual.

Para calcular el porcentaje de disponibilidad utilizaremos la siguiente formula.

% disponibilidad del equipo

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde.

MTBF: tiempo promedio que es capaz de operar un o equipo, instalación dispositiva a una capacidad requerida sin interrupciones dentro de un periodo de tiempo.

MTTR: Es el tiempo promedio en el que un equipo, puede ser reparado, desde que el equipo falló, hasta que el equipo es nuevamente puesto en servicio.

### **2.4.3. Etapa de pos campo**

En esta etapa se procesaron y tabularon de forma digital los datos obtenidos en campo con ayuda del programa programas Microsoft Word y Microsoft Excel, así mismo se elaboraron cuadros y gráficos de los resultados obtenidos, en el cual se puede identificar de forma más detallada la mejora de la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera Cajamarca 2021.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

#### 3.1. Diagnóstico de la situación actual de los equipos de bombeo.

La tabla se presentan las disponibilidades de cada una de las bombas GEHO para aguas residuales en una empresa minera, obteniendo un promedio anual de 88.90%, considerando que el valor se encuentra por debajo del target requerido por la alta dirección es cual es 95.0%; motivo por lo cual no es aceptable y se requiere tomar acción ante las fallas ocurridas.

Tabla 1.

*Disponibilidad actual de los equipos de bombeo*

Descripción del equipo	Tiempo de inactividad	Horas Operadas	# de Fallos	MTTR	MTBF	Disponibilidad
BOMBA 48	997	7643	111	8.98	68.86	88.50%
BOMBA 49	1050	7590	139	7.55	54.6	87.80%
BOMBA 50	1002	7638	140	7.16	54.56	88.40%
BOMBA 51	1065	7575	122	8.73	62.09	87.70%
BOMBA 52	1029	7611	133	7.74	57.23	88.10%
BOMBA 53	452	8188	100	4.52	81.88	94.80%
BOMBA 54	1012	7628	105	9.64	72.65	88.30%
BOMBA 55	999	7641	110	9.08	69.46	88.40%
BOMBA 56	908	7732	105	8.65	73.64	89.50%
BOMBA 57	1073	7567	129	8.32	58.66	87.60%
Valor Promedio (10 Bombas) 958.7						
Horas Base de Operación (360 días) 8640					Promedio	<b>88.90 %</b>

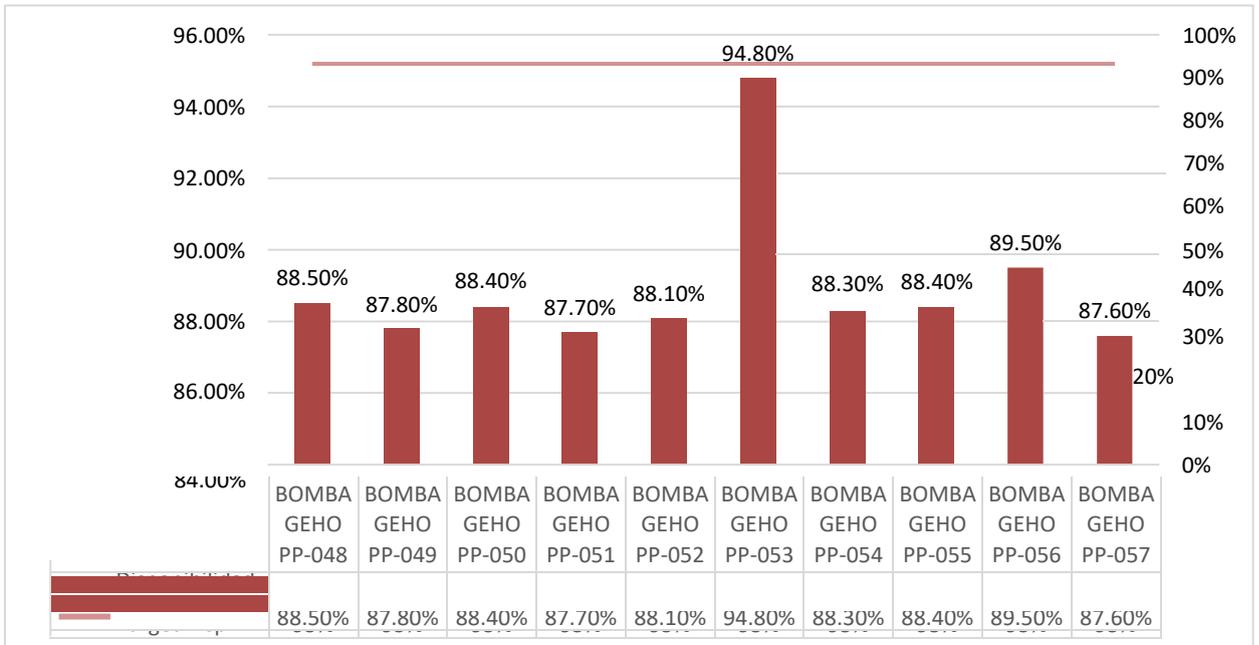


Figura 1. Disponibilidad actual de los equipos de bombeo

### 3.2. Elaborar la propuesta plan de mantenimiento para los equipos de bombeo

#### 3.2.1. Características técnicas de las Bombas GEHO

La bomba tiene las siguientes especificaciones técnicas: 655.25 m<sup>3</sup>/h al 100% de velocidad (diseño), 524.2 m<sup>3</sup>/h al 80% de velocidad (nominal).

La presión de descarga es de 11000 KPa y presión nominal de 10000 KPa. La bomba de diafragma y pistón GEHO es una bomba alternativa de desplazamiento positivo diseñada para manipular líquidos contaminados con sólidos, como fangos, lodos y barros, especialmente cuando intervienen materiales abrasivos o agresivos.

Los pistones desplazan el líquido propulsado para que accione el diafragma conectado el cual, a su vez, bombea los lodos. El flujo total de la bomba es la combinación del flujo de los tres alojamientos de los diafragmas. Los 3 pistones se encuentran uno detrás

de otro, y el cigüeñal tiene un ángulo de  $120^\circ$ . Un diafragma de caucho separa la pulpa del líquido propulsado limpio. El relave bombeado no entra en contacto con piezas móviles como el pistón, su vástago o la camisa del cilindro.

Para la protección del equipo se tienen los siguientes parámetros.

Detención si la presión de descarga de la bomba sobrepasa los 8910 KPa.

Detención si la presión de aire de instrumentación esta debajo de 400 KPa.

Detención si la temperatura de sistema de lubricación sobrepasa los  $80^\circ$

Detención si la temperatura de lubricación del gearbox sobrepasa los  $100^\circ\text{C}$ .

Detención si la temperatura de rodamiento del gearbox sobrepasa los  $120^\circ\text{C}$

Sistema de transmisión.

La transmisión se realiza a través de un reductor de la marca Flender el cual es lubricado por aceite forzado a través de un enfriamiento por aire externo. Si la temperatura del aceite de lubricación sobrepasa los  $80^\circ\text{C}$  o la presión de lubricación cae por debajo de 20 KPa, se detiene la bomba. Si la temperatura del reductor pasa los  $100^\circ\text{C}$  o la temperatura de los rodamientos sobrepasan los  $120^\circ\text{C}$ , se detendrá la bomba.

Líquido propelente.

La bomba Geho de modelo y tamaño TZPM 2000, es una bomba de desplazamiento positivo, cuenta con 3 diafragmas, el diafragma de caucho separa el lodo bombeado del líquido propulsado limpio. Existe una conexión de líquido propelente entre los tres componentes.

Cuenta con un sistema de control automático, proporciona controles de:

Controla y limita la carrera de los diafragmas de la bomba.

Regula el volumen del líquido propulsado dentro de los límites.

Regula el volumen del líquido propulsado dentro de los límites.

Si la posición normal de carrera del diafragma cambia (como consecuencia del aumento o la disminución del líquido propulsado), el marcador de posición de la varilla de control alcanza la sonda de control trasera o delantera, y según ejecuta el llenado o el vaciado con la cantidad necesaria de líquido propulsado entre el pistón y el diafragma. Si, con la bomba en marcha, el sistema de carga o de salida no puede corregir la cantidad de líquido propulsado, en un tiempo de 3 minutos, el sistema de control automático detendrá la bomba. De mantener durante más tiempo sin corregir el volumen de líquido propulsado adecuado fallara prematuramente el diafragma. también cuenta con un testeo de confirmación de sensores de posición de diagrama cada 60 minutos y de no confirmar posiciones, el sistema de control automático detendrá la bomba.

Dampener.

El amortiguador de pulsaciones de descarga (acumulador de nitrógeno) minimiza las variaciones de presión en la línea de descarga. Como resultado, el caudal en la línea de descarga es siempre constante. Se tiene seteado para un rango de operación de presión de descarga de 4000 KPa a 6000 KPa una presión de 3200 KPa, El fabricante sugiere una presión específica para rangos cortos de presión de descarga (para rangos de presión amplios pierde eficiencia en su función). Después del cambio de la línea de descarga de presión hacia la presa de relaves en junio 18, se siente mayor vibración en las bombas. De tener presiones de descarga fuera del rango seteado se perder eficiencia en el amortiguamiento de las pulsaciones, generando fallas prematuras en los componentes.

### 3.2.2. Enfoque en el sistema de bombeo

Los espesadores descargan lodos a un ritmo entre 4800 m<sup>3</sup>/h a 5800 m<sup>3</sup>/h hacia el sistema de bombeo, esta variación se debe a la granulometría del mineral P80, condiciones del mineral, contexto operacional del área de Molienda y mantener parámetros estables de torque y agua clara en los espesadores, etc. La velocidad actual de las bombas usualmente está entre 85% - 90%. La información del proyecto de indica que la capacidad nominal de bombeo del sistema es de 4194 m<sup>3</sup>/h (80% de velocidad) y la capacidad de diseño es de 5243 m<sup>3</sup>/h (100% de velocidad). La información del fabricante indica no haber restricción de operar la bomba al 100%.

La granulometría enviada al sistema de bombeo en promedio es de 9 mm a 12 mm, habiendo alcanzado en ocasiones tamaños de 18 a 20 mm y muy ocasional mineral de 25 mm, una las ocasiones donde se envía alta granulometría se da cuando se realizan lavado del molino SAG, otro caso es cuando se realiza la parada mayor de Molienda la llegada de alta granulometría es más prolongado pudiendo durar algunos días en esta condición.

Una práctica actual para no disminuir el flujo enviado de espesadores es incrementar una bomba y de no poder se incrementa la velocidad de la bomba y por ende disminuir la presión de succión inclusive por debajo de los 400 KPa. Procesar el flujo enviado con lodos con alta granulometría genera desgaste prematuro de las válvulas de succión y descarga, inclusive puede generar agarrotamientos de válvulas, también genera incremento de vibración y ruido en todo el sistema. El fabricante estima una duración de las válvulas de 2000 horas de cumplirse el contexto operacional de diseño, actualmente las válvulas de succión y descarga tienen una duración entre 300 y 400 horas en

promedio. Según las condiciones de diseño el fabricante permite para este equipo un tamaño máximo de partícula de 6 mm.

Cada bomba al ser de pistón - diafragma genera pulsaciones y se integra a un sistema, como resultado los pulsos de presión actuaran sobre el sistema de tuberías pudiendo ocasionar vibración en la estructura (soportes, cimentación), una vibración significativa en la tubería puede ocasionar daños en la misma, especialmente en los soportes también se ve reflejado en la ruptura de la cimentación incrementándose considerablemente el ruido en la estación de bombeo. Para minimizar la vibración de las pulsaciones producidas en las distintas bombas, se cuenta con una lógica de sincronización entre todas las bombas en operación. Para lograr esto se mide el desfase angular de cada bomba con respecto a una posición de referencia, el cual es generada por la lógica de control y es llamada Virtual master. Esta posición de referencia está en función al set point de velocidad de las 10 bombas, el cual proviene de la salida del lazo de control de presión de succión de las bombas, y es igual para todas las bombas. En función a este set point de velocidad, el VirtualMaster generado por la lógica gira con cierta velocidad y todas las bombas deben seguir. La lógica compara en ángulo del VirtualMaster con el ángulo real de cada bomba, si una bomba se encuentra por detrás del VirtualMaster, la lógica acelera dicha bomba para alcanzar al VirtualMaster, de la misma forma, si una bomba se encuentra por delante del VirtualMaster, la lógica desacelera dicha bomba para igualarse con el VirtualMaster. La aceleración o desaceleración de cada bomba, para mantenerse alineada con el VirtualMaster, es controlada por un lazo PID. El objetivo del desfase angular es cero. De trabajar una bomba con Angulo de desfase muy por encima del objetivo ( $0^\circ$ ) generara incremento de vibración, a mediano y largo plazo esta vibración generara falla prematura de diversos componentes especialmente tuberías y

manifolds. Según estudio del fabricante el desfase virtual debe ser  $0^\circ$  y la bomba también debe tener un desfase mecánico de  $0^\circ$ . De tener desfase virtual mayores a  $0^\circ$  se incrementarán las vibraciones en el sistema.

Tabla 2.

*Lista de Decisiones en la unidad de líquido propelente*

Tarea a realizar	Frecuencia a inicial	A realizar por	Comentarios/Observaciones	Tipo de tarea	uso de
Revisar señales de llenado y descarga normales en el HMI (Revisar tendencias en el tablero de la bomba).	Diario	Operaciones	El operador debe estar entrenado para ingresar a las diferentes pantallas de HMI.	Inspección	Check List
Revisar el exterior de las válvulas hidráulicas 2/2 en busca de fuga de aceite o de aire.	Diario	Operaciones	La fuga de fluidos es indicador de rotura de diafragma de válvula.	Inspección	Check List
Revisar el exterior de las electro válvulas 3/2 en busca	Diario	Operaciones	La fuga de aire o el accionamiento inapropiado provoca un continuo llenado o drenado de líquido propelente	Inspección	Check List
Inspección y/o cambio a condición NON RETURN VALVE (853.010.259)	6 Meses	Mecánico	El componente falla por aireación y cavitación		
Inspección correcto funcionamiento del DIFF. PRESS INDICATOR.	Diario	Operaciones	Indicar si requiere cambio.		
Cambio de FILTER ELEMENT.	12 Meses	Mecánico	Asegurar su cambio cada PM 8000 horas	Inspección	
Verificación del funcionamiento del FLOW SENSOR	6 Meses	Instrumentista			
Inspección funcionamiento ELECTRIC MOTOR, GEAR PUMP COUPLING.C	Diario	Operaciones	Notificar a mantenimiento las observaciones.		
Pruebas eléctricas al ELECTRIC MOTOR	12 Meses	Electricidad	Asegurar megado del motor cada PM 8000 horas	Inspección	
Inspección / cambio a condición del COUPLING	12 Meses	Mecánico	Asegurar el trabajo dentro del PM 8000 horas.		
Verificación del funcionamiento del FLOW SENSOR	Diario	Operaciones	Notificar a mantenimiento las observaciones		
Verificar la presión recomendada de suministro	Diario	Operaciones		Inspección	

**Propuesta de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera Cajamarca 2021**

de aire comprimido al bloque de válvulas					
Verificar la presión HYDR. ACCUMULATOR <1800 kPa	Diario	Operaciones		Inspección	
Inspección de fugas del sistema de líquido propelente	Diario	Operaciones		Inspección	
Verificar que las cañerías no se encuentren obstruidas, dañadas o presenten corrosión	Diario	Operaciones		Inspección	
Inspección y/o cambio a condición del bloque de válvulas 2/2	6 meses	Mecánico	La frecuencia se puede variar conforme se avance el plan. Se debe tener un banco de pruebas		
Inspección y/o cambio a condición del bloque de electro válvulas 3/2	6 meses	Instrumentista	La frecuencia se puede variar conforme se avance el plan. Se debe tener un banco de pruebas		
Cambio del Wiper RING	12 Meses	Mecánico	Asegurar el cambio del componente dentro del PM 8000 H		
Realizar el purgado del aire por las 6 válvulas de venteo cada 12 horas	Diario	Operaciones	Asegurar el cambio del componente dentro del PM 8000 H		
Inspección y mantenimiento de la válvula de drenaje	12 Meses	Mecánico	Asegurar el cambio del componente dentro del PM 8000 H		
Inspección y mantenimiento de la válvula de no retorno	12 Meses	Mecánico	Asegurar el cambio del componente dentro del PM 8000 H		
Realizar pruebas de llenado y vaciado completo del circuito de líquido propelente para detectar posibles fugas x componentes internos, accesorios	3 meses	Mecánico	Evaluar el comportamiento del sistema de líquido propelente		
Revisar parámetros operativos de las bombas (Presión de succión por encima de 400 kPa)	Diario	Operaciones	Este sistema evitará la acumulación de aire en el sistema		
Inspección y/o cambio a condición del bloque de válvulas 2/2	6 meses	Mecánico	La frecuencia se puede variar conforme se avance el plan. Se debe tener un banco de pruebas		
Inspección y/o cambio a condición del bloque de electro válvulas 3/2	6 meses	Instrumentista	La frecuencia se puede variar conforme se avance el plan. Se debe tener un banco de pruebas		
Inspección estado de varilla MONITORING ROD	3 meses	Mecánico			

Inspección estado del diafragma con videoscopia / Tapones magnéticos	3 meses	Mecánico			
Revisar y limpiar las limaduras acumuladas en el MONITORIG ROD	3 meses	Mecánico	acumulación de material	Inspección	
Contrastar señales de los IGNITOR sensores de posición del MONITORIG ROD	3 meses	Instrumentista	falsa señal de llenado o vaciado de líquido propelente	Inspección	

Tabla 3.

*Lista de decisión Unidad Power End*

<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia inicial</b>	<b>A realizar por</b>	<b>Comentarios/Observaciones</b>	<b>Tipo de tarea</b>	<b>uso de</b>
Monitoreo de temperatura y vibración a: SPHERICAL ROLLER BEARING (942.900.119), CYL ROLLER BEARING (942.900.083), CYL ROLLER BEARING (942.900.096)	Diario	Mecánico			
Verificar la saturación del filtro de aceite del POWER END	Diario	Operador	Notificar la condición encontrada a mecánico	Inspección	Check List
Medición de vibraciones y ultrasonido pasivo	Mensual	Mecánico			
Inspección, verificación de medidas y/o cambio de CROSSHEAD (839.100.063)	12 Meses	Mecánico			
Verificación de puntos de lubricación de CROSSHEAD GUIDE (090.587.001)	6 Meses	Mecánico			
Inspección, verificación de medidas y/o cambio de CONNECTING ROD (068.587.004)	12 Meses	Mecánico			
Verificación de puntos de lubricación	6 Meses	Mecánico			
Inspección, verificación de medidas y/o cambio de CRANKSHAFT (072.587.000)	12 Meses	Mecánico			
Ultrasonido, UT, PT al CRANKSHAFT (072.587.000)	12 Meses	Mecánico			

Verificación de puntos de lubricación	6 Meses	Mecánico			
Inspección, verificación de medidas y/o cambio de CROSSHEAD GUIDE (090.587.001)	12 Meses	Mecánico			
Verificación de linealidad de CROSSHEAD ROD (839.100.063)	12 Meses	Mecánico			
Mandatorio cambio del HEXAGON BOLT(862.005.417)	12 Meses	Mecánico			

Tabla 4.

*Lista de Decisión mantenimiento Unidad de Lubricación Power End*

<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia inicial</b>	<b>A realizar por</b>	<b>Comentarios/Observaciones</b>	<b>uso de</b>
Verificar el FLOW SENSOR 971.600.008, este siempre se debe mantener en el rango verde en el dial electrónico	Diario	Operador	La acción debe ser registrada	check list
Verificar el FLOW SENSOR 971.600.008, este siempre se debe mantener en el rango verde en el dial electrónico	Diario	Operador	La acción debe ser registrada	check list
Verificar el indicador de saturación del filtro de descarga, este debe permanecer en color verde.	Diario	Operador	La acción debe ser registrada	check list
Verificar el nivel de aceite el indicador de aceite del Power End.	Diario	Operador	La acción debe ser registrada	check list
Verificar el indicador de presión diferencial.	Diario	Operador	La acción debe ser registrada	check list
Verificar el indicador de presión diferencial.	Diario	Operador	La acción debe ser registrada	check list
Cambio de filtro de aceite	Anual	Mecánico		
Verificar la presión el en Pressure Gauge 921.510.400	Diario	Operador		
Cambio de Filter Element (921.700.872) , si la presión de vacío está entre -0.7 y - 1 bar, se debe cambiar inmediatamente el filtro	Diario	Operador		
Análisis de aceite	6 meses	Operador		
Cambio de aceite	12 meses	Lubricador		
Verificar la posición de la válvula	Diario	Operador		

Propuesta de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera Cajamarca 2021

Inspeccionar la válvula y los conectores	Diario	Operador		
Verificar el FLOW SENSOR 971.600.008, este siempre se debe mantener en el rango verde en el dial electrónico	Diario	Operador	La acción debe ser registrada	check list
Verificar la temperatura del aceite.	Diario	Operador		
Inspección y/o cambio HEAT ELEMENT 971.900.047	12 meses	Electricista		

Tabla 5.

*Lista de mantenimiento unidad Alojamiento de Diafragma*

<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia inicial</b>	<b>A realizar por</b>	<b>Comentarios/Observaciones</b>	<b>uso de</b>
Verificación de la presión de descarga	Diaria	Operaciones	Dar notificación de los hallazgos	Check list
Durante el purgado de aire, verificar contaminación de aceite con pulpa	Diaria	Operaciones	Dar notificación de los hallazgos	Check list
Drenado de aire 1 vez por turno	2 x Día	Operaciones		Check list
Inspección de líneas hidráulicas	Diaria	Operaciones	Dar notificación de los hallazgos	Check list
Visualizar por las mangueras transparentes el drenado de aceite y aire para validar el estado de la NEEDLE VALVE	Diaria	Operaciones	Dar notificación de los hallazgos	Check list
Verificar la posición del MONITORIG ROD en función al INICIATOR. Utilizando del HMI	Diaria	Operaciones	Dar notificación de los hallazgos	Check list
verificar si se activa el ciclo de testeo sistema hidráulico establecido.	Diaria	Operaciones	Dar notificación de los hallazgos	
Realizar limpieza periódica de MONITORING ROD	3 meses	Mecánico		
Realizar videoscopia buscando integridad del MONITORING ROD	3 meses	Mecánico		
Verificar la posición del MONITORIG ROD en función al INICIATOR. Utilizando del HMI	Diaria	Operaciones	Dar notificación de los hallazgos	
verificar si se activa el ciclo de testeo sistema hidráulico establecido.	Diaria	Operaciones	Dar notificación de los hallazgos	
Verificar el flujo de bombeo con respecto a su velocidad	Diaria	Operaciones	Dar notificación de los hallazgos	

Tabla 6.

*Lista de mantenimiento unidad Dampener*

<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia inicial</b>	<b>A realizar por</b>	<b>Comentarios/Observaciones</b>	<b>uso de</b>
Verificación de la presión de la línea de descarga	Diario	Operador	Notificar la condición encontrada a mecánico	Check list
Verificación de la presión de nitrógeno del DAMPENER	Diario	Operador	Notificar la condición encontrada a mecánico	Check list
Verificación de la presión de nitrógeno del DAMPENER	Diario	Operador	Notificar la condición encontrada a mecánico	Check list
Verificar fugas de Nitrógeno por las líneas de llenado	Diario	Operador	Notificar la condición encontrada a mecánico	Check list
Verificación de la presión de la línea de descarga	Diario	Operador		Check list
Verificación de la presión de nitrógeno del DAMPENER	Diario	Operador	Notificar la condición encontrada a mecánico	Check list
Evaluación del PULSATION DAMPENER BODY	12 Meses	Mecánico	Controlar desgaste	
Verificación de la presión de la línea de descarga	Diario	Operador	Notificar la condición encontrada a mecánico	Check list
Verificación de la presión de nitrógeno del DAMPENER	Diario	Operador	Notificar la condición encontrada a mecánico	Check list

Tabla 7.

*Mantenimiento de Manifold y Tuberías de Transporte Alta Presión*

<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia inicial</b>	<b>A realizar por</b>	<b>Comentarios/Observaciones</b>
Verificación de la presión de la línea de descarga	Diario	Operador	Notificar la condición encontrada a mecánico
Verificación de la presión de nitrógeno del DAMPENER	Diario	Operador	Notificar la condición encontrada a mecánico
Verificar fugas de Nitrógeno por las líneas de llenado	Diario	Operador	Notificar la condición encontrada a mecánico
Verificación de la presión de la línea de descarga	Diario	Operador	Notificar la condición encontrada a mecánico
Evaluación del PULSATION DAMPENER BODY	12 Meses	Mecánico	Notificar la condición encontrada a mecánico

Propuesta de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera Cajamarca 2021

Monitoreo de espesores	6 Meses	Mecánico	Notificar la condición encontrada a mecánico
Monitoreo de espesores	6 Meses	Mecánico	Notificar la condición encontrada a mecánico
Verificación de la presión de la línea de descarga	Diario	Operador	Notificar la condición encontrada a mecánico
Verificación de la presión de nitrógeno del DAMPENER	Diario	Operador	Notificar la condición encontrada a mecánico

Tabla 8.

*Resumen de estrategias a implementar*

<b>Actividad</b>	<b>Responsable</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Estrategia a implementar o incluir</b>
Inspección / cambio de válvula 2/2	Mecánico - Eléctrico	6 meses	Incluir en PM 4000 horas
Fabricación o compra de módulo para pruebas de válvulas 2/2	Ingeniería	6 meses	Gestionar proyecto inversión
Inspección / cambio de válvula 3/2	Instrumentista	6 meses	Incluir en PM 4000 horas
Cambio del Wiper Ring	Mecánico	12 meses	Incluir en PM 8000 horas
Realizar purgado de aire por válvulas de venteo	Operador	1 x turno	Incluir en check list operativo
Cambio de válvula de drenaje	Mecánico	12 meses	Incluir en PM 8000 horas
Cambio de válvula non return	Mecánico	6 meses	Incluir en PM 4000 horas
Realizar pruebas de llenado y vaciado completo del circuito de líquido propelente	Mecánico	3 meses	Crear nueva estrategia
Revisar parámetros operativos de las bombas (Presión de succión por encima de 400 kPa)	Operador	Diario	Incluir en check list operativo
Implementar un sistema de purga automático del sistema de líquido propelente	Ingeniería - Vendor	6 meses	Gestionar proyecto inversión
Rediseño de las Non Return Valve	Vendor	6 meses	Gestionar proyecto inversión
Inspección estado de varilla Monitoring Rod	Mecánico	3 meses	Crear nueva estrategia
Inspección del estado del diafragma por videoscopia	Predictivo	3 meses	Crear nueva estrategia
Contrastar señales de los Rod Ignitors	Instrumentista	3 meses	Crear nueva estrategia
Instalación de tapones magnéticos en los circuitos hidráulicos	Predictivo	3 meses	Crear nueva estrategia
Cambio de válvula Relief en pm 8000 Horas	Mecánico	12 meses	Incluir en PM 8000 horas
Monitoreo de Temperatura de rodamientos y vibración	Predictivo	Diario	Incluir en check list operativo
Verificar la saturación de filtro de aceite	Operador	Diario	Incluir en check list operativo
Medición valores de ultrasonido pasivo	Predictivo	6 meses	Incluir en PM 4000 horas

Propuesta de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera Cajamarca 2021

Verificar puntos de lubricación en power end, rodamientos, Cross head, cigüeñal	Mecánico	6 meses	Incluir en PM 4000 horas
Ultra sonido y líquidos penetrantes a componentes de cigüeñal	Predictivo	12 meses	Incluir en PM 8000 horas
Cambio mandatorio del Hexagon Bolt (865.005.417)	Mecánico	12 meses	Incluir en PM 8000 horas
Verificar el rango activo del Flow Sensor	Operador	Diario	Incluir en check list operativo
Verificar el indicador de saturación del filtro de líquido propelente	Operador	Diario	Incluir en check list operativo
Verifica el nivel de aceite	Operador	Diario	Incluir en check list operativo
Análisis de aceite del líquido propelente	Predictivo	6 meses	Incluir en PM 4000 horas
Inspeccionar fugas de sistema de lubricación	Operador	Diario	Incluir en check list operativo
Cambio de Heat Element	Electricidad	12 meses	Incluir en PM 8000 horas
Verificación de presión de descarga y presión de nitrógeno del dampener	Operador	Diario	Incluir en check list operativo
Verificar si hay presencia de pulpa por la líneas de purgado de líquido propelente	Operador	Diario	Incluir en check list operativo
Verificar la posición del MONITORIG ROD en función al INICIATOR HDMI se activa o no ciclo de testeo automático	Operador	Diario	Incluir en check list operativo
Realizar videoscopia buscando al integridad del monitoring rod	Predictivo	3 meses	Crear nueva estrategia
Inspeccionar componentes con ultrasonido pasivo	Operador	Diario	Incluir en check list operativo
Implementar sistema de monitoreo ultrasónico automatizado	Ingeniería - Vendor	-	Gestionar proyecto inversión
Implementar strainer de en línea de succión común de todas las bombas Geho	Ingeniería - Vendor	-	Gestionar proyecto inversión
Inspeccionar de válvula cónica, verificación de desgaste	Mecánico	1 Mes	Crear nueva estrategia
Probar nuevos diseños de válvulas cónico con nuevos materiales o un su defecto probar válvulas con el mismo rendimiento pero más económicas	Mecánico	-	Gestionar proyecto inversión
Verificar presión de llenado de nitrógeno adecuado para la presión de descarga de la bomba	Operador	Diario	Incluir en check list operativo
Evaluación de desgaste del Pulsación Dampener Body	Mecánico	12 meses	Incluir en PM 8000 horas
Implementar el control automático de llenado y vaciado de nitrógeno en función de la presión de la línea de descarga CPDS	Ingeniería	-	Gestionar proyecto inversión
presión de la línea de descarga CPDS			
Cambio de la Alobe Valve de llenado de nitrógeno al dampener	Mecánico	12 meses	Incluir en PM 8000 horas

Monitoreo de espesores de manifold	Predictivo	6 meses	Incluir en PM 4000 horas
Monitoreo de espesores de spools y tuberías	Predictivo	6 meses	Incluir en PM 4000 horas
Rediseño de las cimentaciones a las condiciones actuales de trabajo	Ingeniería	-	Gestionar proyecto inversión
Ultra sonido a pernos estructurales de la cimentación de todo el conjunto de las bombasy cimentaciones de soporte de tuberías	Predictivo	6 meses	Incluir en PM 4000 horas
Verificar el torque o de pernos de cimentación a especificación	Mecánico	6 meses	Incluir en PM 4000 horas
Proteger los pernos de cimentación con inhibidores de corrosión	Mecánico	6 meses	Incluir en PM 4000 horas

Se resume las acciones a tomar en la tabla 8, luego del desarrollo de la implementación de la gestión de mantenimiento para la estación de bombas GEHO, en ella se puede identificar actividades que se deben de incluir dentro de las actuales estrategias de mantenimiento preventivo de 4000 y 8000 horas tanto para las actividades desarrolladas por los departamentos mecánicos y eléctricos.

También se identifica actividades nuevas, por las cuales se deben crear nuevas estrategias de mantenimiento siendo enfocadas a su realización cada 3 meses y deberán ser desarrollas por las áreas de mantenimiento predictivo, mantenimiento mecánico y mantenimiento eléctrico.

Así mismo se identifican actividades de verificación diaria o por tunos de trabajo orientadas hacia el departamento de operaciones, estas deben ser implementadas en un check list o lista de verificación operativa y debe ser controlada por la supervisión para reportar las desviaciones entradas y para la posterior generación de avisos de mantenimiento.

### 3.3. disponibilidad de los equipos de bombeo luego de propuesta del plan de mantenimiento.

Se realizó el análisis de la disponibilidad en el nuevo contexto de la propuesta de implementación de un plan de mantenimiento en el cual se calculan los nuevos indicadores siendo excluidas todas aquellas detenciones relacionadas con las mejoras que serán implementadas, obteniendo un promedio de 95.6%, cumpliendo el objetivo esperado.

Tabla 9.

*Disponibilidad de los equipos de bombeo luego de la propuesta de Implementación de un plan de mantenimiento.*

Descripción del equipo	Tiempo de inactividad	Horas Operadas	# de Fallos	MTTR	MTBF	Disponibilidad
BOMBA GEHO 48	350	8290	30	11.67	276.33	95.90%
BOMBA GEHO 49	403	8237	58	6.95	142.02	95.30%
BOMBA GEHO 50	355	8285	59	6.02	140.42	95.90%
BOMBA GEHO 51	418	8222	41	10.20	200.54	95.20%
BOMBA GEHO 52	382	8258	52	7.35	158.81	95.60%
BOMBA GEHO 53	452	8188	19	23.79	430.95	94.80%
BOMBA GEHO 54	365	8275	24	15.21	344.79	95.80%
BOMBA GEHO 55	352	8288	29	12.14	285.79	95.90%
BOMBA GEHO 56	261	8379	24	10.88	349.13	97.00%
BOMBA GEHO 57	426	8214	48	8.88	171.13	95.10%
Valor Promedio (10 Bombas GEHO)		376.4				
Horas Base de Operación (360 días)		8640			<b>Promedio</b>	<b>95.6%</b>

### 3.4. Determinar el costo para la implementación de la propuesta del plan de mantenimiento.

Se elabora la tabla 10 en la cual se consideran los componentes de cambio y servicios contratados que se realizaron en el periodo 2021 con los cuales se podrá implementar en su totalidad la propuesta de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo estos suman un monto de \$14'487,200. Cabe recalcar estos costos pueden ser evitados si se realiza la inversión en los proyectos de capital y la implementación de las actividades recomendadas en la propuesta del plan de mantenimiento.

Tabla 10

*Costos para la implementación de la propuesta de mantenimiento*

<b>COSTOS PARA LA IMPLEMENTACION DE LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO</b>
Cambio de válvulas cónicas \$5600	717	5600	\$ 4,015,200
Cambio de rodamientos de cigüeñal y componentes x daño	8	220000	\$ 1,760,000
Cambio de un cigüeñal spare	1	950000	\$ 950,000
Cambio de spools	5	15000	\$ 75,000
Cambio de manifold de descarga	9	134000	\$ 1,206,000
Reparaciones de cimentación de motores	9	35000	\$ 315,000
Cambio de diafragma	2	7000	\$ 14,000
Cambio de valve housing	15	52000	\$ 780,000
Cambio de carcasas de diafragma	24	72000	\$ 1,728,000
Cambio de air vessel	7	68000	\$ 476,000
Cambio de válvulas de servicio severo	12	124000	\$ 1,488,000
Servicio de grúa 350 tons	8	60000	\$ 480,000
Servicios de mantenimiento GEHO especiales	8	150000	\$ 1,200,000
		<b>Total</b>	<b>\$ 14,487,200</b>

Por otro lado, se ve que el incremento del 6.1% en la disponibilidad de los equipos de bombeo el cual genera la necesidad de incrementar la mano de obra para mantenimiento de predictivo en el cual se propone la contratación de 2 ingenieros de mantenimiento esto con la finalidad de no alterar el monitoreo de equipos de las demás áreas.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

De los resultados obtenidos se acepta la hipótesis general que establece que “Al implementar la propuesta del plan de mantenimiento, se logrará mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera Cajamarca 2021”.

El desarrollo del análisis de modos y efectos de falla (AMFE) logró cuantificar las posibles razones causales de las fallas funcionales de los equipos. Con estos resultados se logra replantear diferentes actividades proactivas para cada caso de falla encontrada”. Paredes (2018), se concuerda, en que las actividades plateadas tanto de mantenimiento preventivo y predictivo en nuestro modelo reducirán la mayor cantidad de fallas funcionales e incrementará la disponibilidad de los equipos de bombeo.

Asimismo, se concuerda con lo mencionado por Cáceres (2016) donde nos indica que el desempeño de los equipos de bombeo se mejora haciendo reducir la cantidad y la severidad de las fallas que ocasionan o desencadenan consecuencias operacionales, en dado caso, se han incrementado las horas hombre dedicadas a trabajos de mantenimiento para garantizar la reducción de trabajos correctivos

El resultado del trabajo planificado de mantenimiento, busca evitar la paralización de la cadena productiva en una operación minera y asegurar la mayor disponibilidad de los equipos de bombeo; y para saber si se está haciendo esta gestión, es necesario medir y obtener valores que nos indiquen si los resultados están dentro lo de los parámetros esperados para la gestión. En este punto validamos nuestra gestión ya que encontramos alto porcentaje de trabajos correctivos vs los trabajos planeados y allí se muestra correlación con la disponibilidad de los equipos de bombeo. Juárez (2020).

## 4.2 Conclusiones

De acuerdo al diagnóstico situacional de los equipos de bombeo el cual mide los indicadores de disponibilidad de los equipos, con un análisis de los principales eventos que interfieren en las detenciones en el funcionamiento de los equipos se concluye que se tiene una disponibilidad baja la cual fue de un 88.9%.

La propuesta del plan de mantenimiento se hizo de acuerdo a las necesidades de la empresa mejorando la disponibilidad de los equipos de bombeo, el cual cuenta con un sistema de información que permite llevar un registro detallado de los trabajos que se van a realizar.

De igual forma se concluye que se incrementó la disponibilidad en 95.6% en los equipos de bombeo, con la implementación de la propuesta de mantenimiento por lo cual se propone la contratación de 2 ingenieros de mantenimiento con la finalidad de no alterar el monitoreo de equipos de las demás áreas.

Finalmente se concluye que el costo para la implementación de la propuesta del plan de mantenimiento es de \$14'487,200. Cabe recalcar estos costos pueden ser evitados si se realiza la inversión en los proyectos de capital y la implementación de las actividades recomendadas en la propuesta del plan de mantenimiento

## REFERENCIAS

- Barreda Beltrán Salvador, “*Plan de mantenimiento en la confiabilidad (R.C.M) en la edar de nules Vilavella,*” España, 2015.
- Castillo, Á. (2017). *Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema power oil de la estación Atacapi del B57- LIDE Petroamazonas EP. Riobamba.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Da Costa Burga, M. (2011). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción.* Lima.
- Díaz, A. & Cruz, J. (2019). *Propuesta de guía metodológica para la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en transformadores de potencia.* Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua.
- García, E. (2016). *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo en función de la criticidad de los equipos del proceso productivo para mejorar la disponibilidad de la empresa UESFALIA ALIMENTOS S.A., Perú.*
- Godínez, J. (2015). *Diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en RCM para los equipos de bombeo off site (Tesis de pregrado).* Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Jaramillo, F. (2013). *Propuesta del mantenimiento preventivo por medio del SIM al parque vehicular del Municipio de Querétaro. Querétaro, México:Universidad de Querétaro.*
- Chan, N. E. (2013). *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento preventivo para una pequeña empresa del rubro de minería para reducción de costos del servicio de alquiler.* Lima Perú.

- Melissa, R. (2013). *Propuesta para la mejora de la disponibilidad de los camiones de una empresa de transporte de carga pesada, mediante el diseño de un sistema de gestión de mantenimiento*. Huancayo, Perú
- Pesántez, H. E. (2007). *Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo y preventivo en función a la criticidad de los equipos del proceso productivo de una empresa empacadora de camarón*. Guayaquil-Ecuador.
- Reynoso, G. (2015). *Aplicación de metodología de RCM para el incremento de disponibilidad de chancadora HP-500 en la Compañía Minera Volcan-Chungar*. Universidad Nacional del Centro, Huancayo, Perú.
- Valdivieso, T. (2010). *Diseño de un plan de Mantenimiento Preventivo para la empresa Extruplas S.A.* Cuenca
- Vilca, P. (2018). *Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para la mejora de la disponibilidad de los equipos del sistema de carga y transporte en una empresa minera, Lima 2018*. Universidad Privada del Norte, Lima, Perú.
- Yengle, E. (2016). *Propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM para incrementar la rentabilidad en la operación Cerro Corona de la Empresa San Martín Contratistas Generales S.A.* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú
- Zavala, C. (2018). *Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para el chancador primario Fuller, operación Manto Verde*. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

## ANEXOS

### Anexo 1. Check List Propuesto

	Jue.	Vie.	Sáb.	Dom.	Lun.	Mar.	Mié.	Jue.	Vie.	Sáb.	Dom.	Lun.	Mar.	Mié.	
<b>Motor Principal</b>															
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temp														
Check:	Fuga de aceite														
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temp														
<b>Acople flexible</b>															
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temp														
<b>Reductor</b>															
Check:	Fuga de aceite														
Check:	Nivel de aceite														
<b>Sistema de refrigeración</b>															
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temp														
Check:	Fuga de aceite														
<b>Acople engranaje</b>															
Ruido extraño, vibraciones, temp															
Fuga de aceite															
<b>Pump Power End:</b>															
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temperatura														
Check:	Flujo, lubricación y presión de aceite														
Check:	Contaminación de filtro														
Check:	Fuga de aceite														
Check:	Nivel de aceite														
<b>Propelling Liquid Unit:</b>															
Check:	Venteo de diafragmas														
Check:	Verificación de estado de cañerías (llenado & drenado)														
Check:	Verificación de agua en líquido propelente														
Check:	Presión de aire entre 5 y 7 bar.														
Check:	Verificación de operación del M3.														
Check:	Contaminación de filtro de aceite														
Check:	Verificación de fugas en válvulas 2/2														
Check:	Verificación de operatividad de válvulas 3/2														
Check:	Inspección del acumulador del líquido propelente														
Check:	Inspección de la presión del líquido propelente														
Check:	Inspección del flujometro														
Check:	Nivel de aceite en tanque líquido Propelente.														
<b>Valve Unit:</b>															
Check:	Verificar fugas en sellos de tapas														
Check:	Verificar estado de cancamos de izaje en tapa de válvula														
Check:	Verificar estado de concetores hidraulicos en tapa & valve housing														
<b>Air Vessel section:</b>															
Check:	Verificar estados de pernos de anclaje														
Check:	Inspección de fugas en bridas														
<b>Slurry section:</b>															
Check:	Verificar sonidos en válvulas														
Check:	Inspección de fugas en cuerpos de diafragmas y válvulas														
Check:	Inspección de fugas en bridas, manifolds succión & descarga														
Check:	Caudal en correcta relación con la velocidad de la bomba														
<b>Dampener Unit</b>															
Check:	A Dampeners pre-charge pressure (3200kPa) or (2400KPa)														
Check:	B Dampeners pre-charge pressure (3200kPa) or (2400KPa)														
Check:	C Dampeners pre-charge pressure (3200kPa) or (2400KPa)														
Check:	Estado de cancamos en tapa de dampeners														
Check:	Estado de tuberías de líneas de nitrógeno														
Check:	Fuga de nitrógeno en líneas de llenado														
<b>Control Panel:</b>															
Check:	Estado de pantalla del panel														
Check:	Velocidad de la bomba ( % )														
Check:	Horas de mantenimiento														
Check:	Horas todas de funcionamiento														
Check:	Presión de descarga (bar)														
Check:	Presión de Succión (bar)														
Check:	Presión del líquido propelente (bar)														
Check:	Tendencia del filling & outlet de válvulas (control panel).														
Check:	Lista de alarmas														
<b>Observaciones</b>															

Anexo 2. Galería fotográfica.



