

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería de Minas

“GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA
INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LA
ESTACIÓN DE BOMBAS GEHO PARA AGUAS
RESIDUALES EN UNA EMPRESA MINERA DE
CAJAMARCA 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Jesus Leonardo Arteaga Malca

York Edilberto Soto Huaripata

Asesor:

Mg. Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

A Dios por guiar nuestros pasos, a nuestros padres por enseñarnos a seguir nuestros sueños, por su sabiduría, sus consejos y por habernos dado la oportunidad de ser personas de bien y por último a todas aquellas personas que estuvieron involucradas para que esto se haga realidad.

Leonardo; York

AGRADECIMIENTO

Agradecer primero a mis padres por los estupendos padres y familiares que nos regaló, los cuales estuvieron presentes en cada etapa de nuestra vida y siempre enseñándonos el camino y los valores correctos para continuar; mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial a nuestro asesor el Ingeniero Oscar Vásquez Mendoza por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de este período, con el que nos encontramos en deuda por todo el conocimiento transmitido y el ánimo infundido

Leonardo; York

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	16
CAPÍTULO III: RESULTADOS	20
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	45
REFERENCIAS	47
ANEXOS	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Disponibilidad de la Estación de Bombas GEHO Situación Actual.....	20
Tabla 2. Tabla de Decisiones en la unidad de líquido propelente.....	29
Tabla 3. Tabla de decisión Unidad Power End.....	31
Tabla 4. Tabla de Decisión mantenimiento Unidad de Lubricación Power End.....	32
Tabla 5. Tabla de mantenimiento unidad Alojamiento de Diafragma.....	33
Tabla 6. Tabla de mantenimiento unidad Dampener.....	34
Tabla 7. Mantenimiento de Manifold y Tuberías de Transporte Alta Presión.....	35
Tabla 8. Resumen de estrategias a implementar.....	36
Tabla 9. Disponibilidad de la Estación de Bombas GEHO Luego de la Implementación de la gestión de mantenimiento.....	39
Tabla 10. CAPEX Costos de Capital.....	40
Tabla 11. Datos para Cálculo de Inversión.....	41
Tabla 12. Estructura de Costos	42
Tabla 13. Costo Evitado Mantenimiento Implementando la gestión de mantenimiento....	43
Tabla 14. Valor Actual Neto.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disponibilidad de la Estación de Bombas GEHO.....	21
Figura 2. Especificaciones técnicas de la bomba GEHO.....	23

RESUMEN

La presente tesis titula Gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de la estación de bombas GEHO para aguas residuales en una empresa minera de Cajamarca 2020. El cual tiene como objetivo. Realizar la propuesta de gestión de mantenimiento, para incrementar la disponibilidad de la estación de bombas GEHO en una empresa minera de Cajamarca. La investigación fue aplicada, explicativa, cuantitativa y no experimental. El problema con mayor impacto en la estación de bombas es la baja disponibilidad debido a una inadecuada gestión de mantenimiento, la disponibilidad actual es 88.9%. La gestión de mantenimiento en la estación de bombas consiste en la elaboración de las políticas de mantenimiento, formato para reporte de fallas, check list, el procedimiento estándar de trabajo para el mantenimiento de bombas. La disponibilidad de los equipos de bombeo con la gestión de mantenimiento se incrementó a un 95.6%. En cuanto a la viabilidad económica dio como resultado un ROI de \$3.28: \$1 por la adquisición de proyectos capitalizables, además se obtiene un VAN de \$49,689,355 en el flujo de caja siendo calculado a 5 años. con lo que se concluye que el proyecto es económicamente viable y rentable para la empresa minera.

Palabras clave: Gestión de mantenimiento, disponibilidad, estación de bombas.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

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).

Los cumplimientos de las actividades de mantenimiento definen la disponibilidad de la planta y de los equipos de procesamiento de minerales; en este sentido, la filosofía de mantenimiento productivo total (TPM) tiene como finalidad incrementar notablemente la productividad reduciendo las pérdidas e implementando una cultura de mejora continua (Ávila, 1995). El TPM influye en la disponibilidad y confiabilidad

del equipo que son indicadores operativos y que además sumado al indicador de calidad se obtiene el indicador universal de eficiencia global del equipo (OEE), éste a su vez, nos permite cuantificar la eficiencia de los procesos los que al incrementarse mejora la productividad (Ángeles, 2017).

El estudio realizado por De La Cruz (2013), en su tesis denominada “Mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcán Compañía Minera” argumenta en su investigación que el diseño del sistema de bombeo se basa primordialmente en la selección del tipo de bomba, motor, así como la medición de tuberías de acuerdo a la demanda. Los pilares del TPM determinó que el equipo de bombeo debe conformarse por dos bancos (uno stand by del otro) de 3 bombas WARMAN AH 6/4 con motores de 125 HP, instalados en serie; estas bombas deben resistir el trabajo con materiales abrasivos.

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).

Zavala (2018), en su tesis denominada “Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para el Chancador Primario Fuller, operación Manto Verde” argumenta en su investigación, que el desarrollo de las tareas de mantenimiento mediante la metodología RCM se enfoca en aplicar tareas de mantenimiento según sean las causas de la indisponibilidad en el sistema, de esta manera se realizan sólo actividades necesarias para que el activo siga cumpliendo las funciones, por otro lado esta metodología es también puede implementada en chancadoras primarias de la localidad de Atacama.

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.

Díaz; Cruz (2019) en su investigación denominada “Propuesta de guía metodológica para la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en transformadores de potencia” se ve reflejada la reducción de actividades de mantenimiento preventivo a un 80%, debido al incremento de actividades de mantenimiento predictivo, por otro lado, incrementa la disponibilidad para sostener una operación más continua en la distribución hacia la red eléctrica.

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.

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.

Reynoso (2015) En su tesis denominada “Aplicación de metodología de RCM para el incremento de disponibilidad de chancadora HP-500 en la Compañía Minera VolcanChungar” concluye que con el uso de la metodología del RCM optimiza el incremento de disponibilidad mecánica de la chancadora HP-500 de 88.13 % a 95.38 %, incrementando el tiempo en horas disponibles de chancadora. Para ello es trascendente realizar un buen planeamiento, así como mantenimiento oportuno.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida se incrementará la disponibilidad de la estación de bombas GEHO mediante la implementación de la gestión de mantenimiento en una empresa minera de Cajamarca 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar la propuesta de gestión de mantenimiento, para incrementar la disponibilidad de la estación de bombas GEHO en una empresa minera de Cajamarca.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Realizar un diagnóstico de la situación actual de la estación de bombas GEHO.
- ✓ Elaborar el plan de gestión de mantenimiento para la bomba GEHO.
- ✓ Analizar la viabilidad económica para la implementación de la gestión de mantenimiento.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Se incrementa la disponibilidad de la estación de bombas GEHO mediante la implementación de la gestión de mantenimiento en una empresa minera de Cajamarca 2020

1.4.2. Hipótesis específicas

- ✓ Se determinará la situación actual de la estación de bombas GEHO mediante un diagnóstico situación.
- ✓ Se incrementará la disponibilidad de Bombas GEHO mediante la implementación de la gestión de mantenimiento
- ✓ Se determinará la viabilidad económica con la implementación de la gestión de mantenimiento

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.

2.2.2. Muestra

La muestra para la investigación es la bomba GEHO

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas

Observación: Esta técnica se usó para identificar realizar análisis situacional de la estación de bombas GEHO.

Análisis documental: Se recopiló información concerniente al tema de investigación.

2.3.2. Instrumentos

Reporte de fallas

Check List.

Formato de mantenimiento preventivo, correctivo

2.4. Procedimiento

El procedimiento para el desarrollo de la investigación se realizó mediante 3 etapas: las cuales se detallan a continuación. etapa de pre campo, etapa de campo y etapa de post campo.

2.4.1. Etapa de pre campo

Inicialmente 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 gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de la estación de bombas GEHO.

2.4.2. Etapa de Campo

Consignación de información de los manuales de mantenimiento.

Levantamiento de información de los equipos de la estación de bombas GEHO comprende la colección de datos de falla y otros.

% 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, instalación o dispositivo puede ser reparado, desde que el equipo falló, hasta que el equipo es nuevamente puesto en servicio.

2.4.3. Etapa de pos campo

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 la estación de bombas, en donde se pudo identificar de forma más detallada la mejora de la disponibilidad con la aplicación de la gestión de mantenimiento.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. diagnóstico situacional de la estación de bombas GEHO.

En la siguiente 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 de la Estación de Bombas GEHO Situación Actual

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

Fuente: Elaboración propia

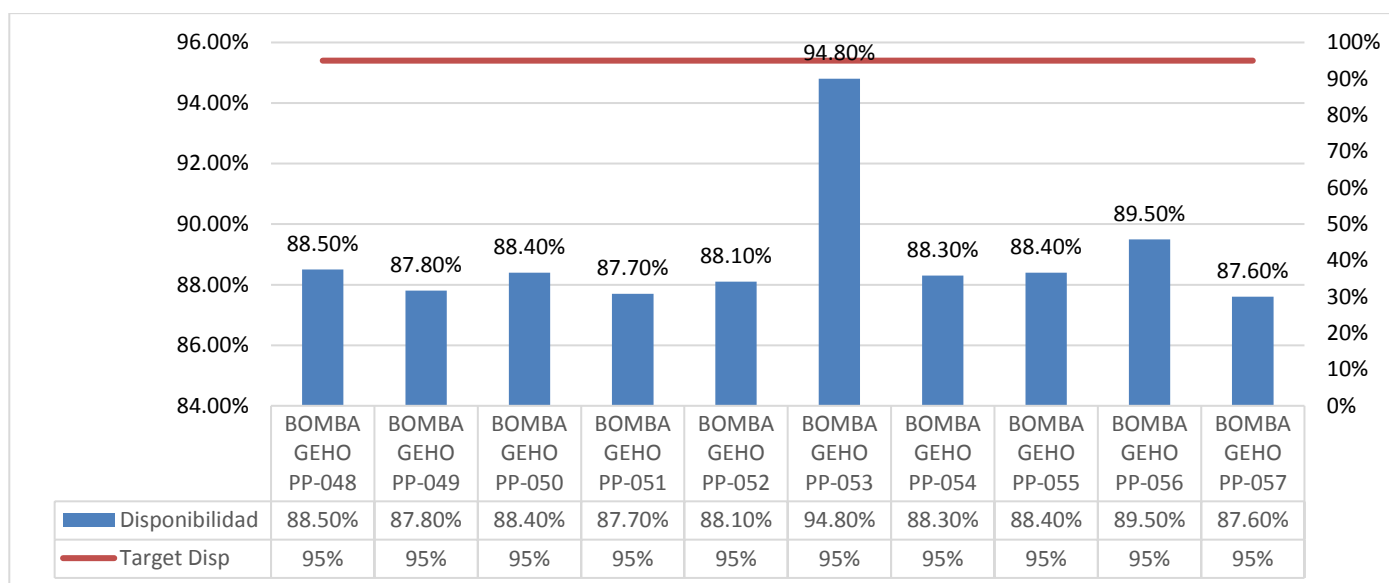


Figura 1. Disponibilidad de la Estación de Bombas GEHO

Fuente: Elaboración propia

3.2. Implementación de la gestión de mantenimiento para la bomba GEHO

3.2.1. Especificaciones técnicas de la Bomba GEHO

La bomba tiene las siguientes especificaciones técnicas: 655.25 m³/h al 100% de velocidad (diseño), 524.2 m³/h al 80% de velocidad (nominal).

La presión de descarga de diseño es de 11000 KPa y presión nominal de 10000 KPa a usar en la segunda fase, en la primera fase la presión de descarga será de 8100 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° . 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.

Se tiene los siguientes enclavamientos de protección del equipo:

- 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°
- Detención si la temperatura de lubricación del gearbox sobrepasa los 100°C .
- Detención si la temperatura de rodamiento del gearbox sobrepasa los 120°C .

Se muestra la Datasheet B con las especificaciones técnicas de la bomba en la figura.

Project No. C-560
Equipment Specification 255-TS-P-028
Tailings Distribution Pumps
Rev 02

DATA SHEET B		Rev
Equipment Name: Tailings Distribution Pumps	Equip. No: 255-PP-048 to 052, 054 to 058	2
Manufacturer	Weir Minerals Netherlands bv	
Model Number & Size	Single Acting Crankshaft Driven Piston Diaphragm Pump. Type: TZPM2000	
PUMP DATA		
Capacity	m ³ /h Motor rpm	655.25 1800
Pump Efficiency,	%	93.7
Pump Brake Power,	kW	Phase1: 1568 kW (phase 2: 2137kW)
NPSH Required,	bara	4.0
OPERATING DATA		
Number of Diaphragms and Orientation		3
Piston Strokes Per Minute, Design		50.7 rpm
Piston Strokes Per Minute, Nominal		40.5 rpm
Piston Strokes Per Minute, Maximum		50.7 rpm
Mechanical Efficiency at Design		94.0 % (@ phase 1: 81 bar) 93.7% (@ phase 2: 110 bar)
Expected Volumetric Efficiency		93% (for phase 1 & phase 2)
Flow and Pressure as Expected		10-100 % flow control up to 110 bar
Actual Volumetric Efficiency,		≥ 93 % for complete operating range
Internal Relief Set Pressure	kPa	9,300 (@ phase 1) 12,600 (@ phase 2)

Figura 2. Especificaciones técnicas de la bomba GEHO

Fuente: Installation, Operating and Maintenance Manual

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°C o la presión de lubricación cae por debajo de 20 KPa, se detiene la bomba. Si la temperatura del reductor pasa los 100°C o la temperatura de los rodamientos sobrepasan los 120°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.
- Protege los diafragmas de una tensión excesiva.

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 propelente 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.

La presión de succión en cada bomba durante el presente año es de 530 KPa – 730 KPa, y muy ocasionalmente valores por debajo de 400 KPa, la bomba requiere un NPSH mínimo de 400 KPa (sensor 255PIT0055). Se cuenta con un tanque air vessel a 500 KPa, el cual minimiza las variaciones de presión en la línea de aspiración. Como resultado, el caudal en la línea de aspiración es siempre constante. De presentarse presiones de succión por debajo de 400 KPa no se asegura una operación confiable y existe desgaste prematuro por cavitación.

La presión de descarga en las bombas durante el año 2020 está entre 4900 KPa - 6300 KPa, sin embargo, antes de modificar la línea de descarga las presiones fluctuaban entre 2500 KPa – 4500 KPa, y durante los tres primeros meses después de la modificación se tuvieron presiones de hasta 7000 KPa. La presión de descarga máxima en cada bomba para la primera fase es de 8910 KPa, de superar este valor se detendrá la bomba. Cuenta adicionalmente con un sistema de protección a 9300 KPa activada por una válvula de alivio.

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 m³/h a 5800 m³/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 Aker Solutions indica que la capacidad nominal de bombeo del sistema es de 4194 m³/h (80% de velocidad) y la capacidad de diseño es de 5243 m³/h (100% de velocidad), información del proyecto de Aker Solutions. La información del fabricante indica no haber restricción de operar la bomba al 100%.

La presión de succión en ambas líneas durante el presente año es de 380 KPa – 550 KPa, y ocasionalmente se encuentran valores de 320 KPa, los lodos deben ingresar al sistema de bombeo con una presión superior a 200 KPa en cada línea (tren 1 para bombas 048, 049, 050, 051 y 052 sensor 255PIT2419; tren 2 para bombas 054, 055, 056, 057 y 058 sensor 255PIT2421), cabe mencionar que la diferencia entre la presión de succión del tren y de la presión de succión en cada bomba es de 200 KPa, valores menores a lo recomendado de manera ocasional. La rápida y alta fluctuación en la línea de presión de

succión indica inestabilidad y una de las causas es la presencia de reflujo. De ingresar presiones menores se generarán problemas como cavitación el cual genera desgaste prematuro de componentes e inclusive fractura de componentes rotativos. Cada bomba tiene 6 puntos de drenaje (1 por cada diafragma y 1 en cada válvula anti retorno) y deben ser drenados una vez por turno.

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 actuarán 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 Geho, 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 el 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°) 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° y la bomba también debe tener un desfase mecánico de 0° . De tener desfase virtual mayores a 0° se incrementarán las vibraciones en el sistema.

Tabla 2.

Tabla de Decisiones en la unidad de líquido propelente

Tarea a realizar	Frecuencia 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 propelent	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 hrs	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 hrs	Inspección	

Inspección / cambio a condición del COUPLING	12 Meses	Mecánico	Asegurar el trabajo dentro del PM 8000 hrs.		
Verificación del funcionamiento del FLOW SENSOR	Diario	Operaciones	Notificar a mantenimiento las observaciones		
Verificar la presión recomendada de suministro de aire comprimido al bloque de válvulas	Diario	Operaciones		Inspección	
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	Diario	Operaciones	Este sistema evitará la acumulación de aire en el sistema		

(Presión de succión por encima de 400 kPa)					
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	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.

Tabla de decisión Unidad Power End

Tarea a realizar	Frecuencia inicial	A realizar por	Comentarios/Observaciones	Tipo de tarea	uso de
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			

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.

Tabla de Decisión mantenimiento Unidad de Lubricación Power End

Tarea a realizar	Frecuencia inicial	A realizar por	Comentarios/Observaciones	uso de
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		
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		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 5.

Tabla de mantenimiento unidad Alojamiento de Diafragma

Tarea a realizar	Frecuencia inicial	A realizar por	Comentarios/Observaciones	uso de
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 INCIATOR. 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 INCIATOR. 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	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 6.

Tabla de mantenimiento unidad Dampener

Tarea a realizar	Frecuencia inicial	A realizar por	Comentarios/Observaciones	uso de
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
--	--------	----------	--	------------

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 7.

Mantenimiento de Manifold y Tuberías de Transporte Alta Presión

Tarea a realizar	Frecuencia inicial	A realizar por	Comentarios/Observaciones
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
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

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8.

Resumen de estrategias a implementar

Actividad	Responsable	Frecuencia	Estrategia a implementar o incluir
Inspección / cambio de válvula 2/2	Mecánico - Eléctrico	6 meses	Incluir en PM 4000 hras
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 hras
Cambio del Wiper Ring	Mecánico	12 meses	Incluir en PM 8000 hras
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 hras
Cambio de válvula non return	Mecánico	6 meses	Incluir en PM 4000 hras
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 Hras	Mecánico	12 meses	Incluir en PM 8000 hras
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 hras
Verificar puntos de lubricación en power end, rodamientos, Cross head, cigüeñal	Mecánico	6 meses	Incluir en PM 4000 hras
Ultra sonido y líquidos penetrantes a componentes de cigüeñal	Predictivo	12 meses	Incluir en PM 8000 hras
Cambio mandatorio del Hexagon Bolt (865.005.417)	Mecánico	12 meses	Incluir en PM 8000 hras

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 hras
Inspeccionar fugas de sistema de lubricación	Operador	Diario	Incluir en check list operativo
Cambio de Heat Element	Electricidad	12 meses	Incluir en PM 8000 hras
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 Pulsation Dampener Body	Mecánico	12 meses	Incluir en PM 8000 hras
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 hras
Monitoreo de espesores de manifold	Predictivo	6 meses	Incluir en PM 4000 hras

Monitoreo de espesores de spools y tuberías	Predictivo	6 meses	Incluir en PM 4000 hras
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 bombas y cimentaciones de soporte de tuberías	Predictivo	6 meses	Incluir en PM 4000 hras
Verificar el torque o de pernos de cimentación a especificación	Mecánico	6 meses	Incluir en PM 4000 hras
Proteger los pernos de cimentación con inhibidores de corrosión	Mecánico	6 meses	Incluir en PM 4000 hras

Fuente: Elaboración Propia.

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 desarrolladas por las áreas de mantenimiento predictivo, mantenimiento mecánico y mantenimiento eléctrico.

Así mismo se identifican actividades de verificación diaria o por turnos 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.

2.2.3. resultados del análisis de disponibilidad en la estación de bombas luego de la implementación de gestión de mantenimiento.

Se realizó el análisis de la disponibilidad en el nuevo contexto de implementación de la gestión 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 la Estación de Bombas GEHO Luego de la Implementación de la gestión 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				Promedio 95.6%

Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Análisis de viabilidad económica de la implementación de gestión de mantenimiento.

Para determinar el impacto financiero que sucede cuando implementamos la gestión de mantenimiento en la estación de bombas GEHO de la empresa minera en este caso la empresa se ve la necesidad de realizar la inversión por un valor global de \$ 4'619,000 en la compra e implementación de activos capitalizables.

Tabla 10.

CAPEX Costos de Capital

CAPEX	Costo de Inversión
Fabricación o compra de módulo para pruebas de válvulas 2/2	\$20,000.00
Implementar un sistema de purga automático del sistema de líquido propelente	\$150,000.00
Rediseño de las Non Return Valve	\$60,000.00
Implementar sistema de monitoreo ultrasónico automatizado	\$670,000.00
Implementar strainer de en línea de succión común de todas las bombas Geho	\$2,224,000.00
Implementar el control automático de llenado y vaciado de nitrógeno en función de la presión de la línea de descarga CPDS	\$955,000.00
Rediseño de las cimentaciones a las condiciones actuales de trabajo	\$600,000.00
Total	\$4,679,000.00

Fuente: Elaboración Propia.

ROI Retorno de la Inversión

$$ROI = \frac{\text{Beneficio} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}}$$

Tabla 11.

Datos para Cálculo de Inversión

Descripción	Unidad
Costo Unitario Operaciones + Mantenimiento \$/t molida	\$7.65
Costo Planta Operaciones + Mantenimiento \$/t Cu fino	\$1,631.19
Costo Mina Operaciones + Mantenimiento \$/t Cu fino	\$991.27
Costo Comercial \$/t Cu fino	\$375.30
Costo Soporte \$/t Cu fino	\$516.36
Costo Financiero \$/t Cu fino	\$633.40
Grade Cu %	20.26%
Price Cu \$/Ton	\$5,835.00
Horas de operación de circuito Molino SAG	24.00
6.1% Disponibilidad en hras objetivo a incrementar	5270.4

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 12.

Cálculo ROI Retorno de la Inversión

Descripción	Unidad
Mineral Molido por SAG Ton/día	115200.00
Concentrado de Cu Ton /día	2666.67
Cu Ton/día	540.27
Oportunidad de ventas Cu \$	\$3,152,456.00
Costo Operaciones Planta + Mantenimiento	-881,280.00
Costo Operaciones Mina + Mantenimiento Mina	-535,552.21
Costo Comercial	-202,764.14
Costo Soporte	-278,973.69
Costo Financiero	-342,204.91
Utilidad Bruta x Día	\$911,681.05
Utilidad Generada x hora Operación de 1 Bomba Geho (10% de Línea Productiva)	\$3,798.67

Descripción	Unidad
Beneficio x incremento de disponibilidad	\$20,020,515.76
Inversión del Proyecto	\$4,679,000.00
ROI	3.28

Fuente: Elaboración Propia.

Calculando el retorno de la inversión de los equipos capitalizables se establece que el margen de retorno de inversión es de \$ 3.28 por dólar invertido; siendo este satisfactorio para el desarrollo del proyecto de capitalización de activos.

Tabla 12.

Estructura de Costos

Estructura de Costos
Costo Operaciones Planta + Mantenimiento \$/t Cu fino
Payroll
Reactivos (cal, reactivos, etc)
Repuestos
Servicios mantenimiento, operaciones
Energía
Costo Operaciones Mina + Mantenimiento \$/t Cu fino
Payroll
Repuestos
Voladura
Servicios mantenimiento, operaciones
Ferreteros
Costo Comercial \$/t Cu fino
Traslado mineral
Almacenamiento
Alquileres
Transporte de mineral al extranjero
Costo Soporte \$/t Cu fino
Protección Empresarial
Tecnología de la Información
Servicios Generales
Unidad Médica
Transporte de Personal
Comunidades
Costo Financiero \$/t Cu fino
Pago Interés
Pago Impuestos
Devolución de capital
Gastos administrativos

Fuente: Elaboración Propia.

Se consideran los componentes de cambio y servicios contratados que suman un monto de \$14'487,200 estos costos pueden ser evitados si se realiza la inversión en los proyectos de capital y la implementación de las actividades recomendadas de gestión de mantenimiento las cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 13

Costo Evitado Mantenimiento Implementando la gestión de mantenimiento

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio
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 toneladas	8	\$ 60000	\$ 480,000
Servicios de mantenimiento GEHO especiales	8	\$ 150000	\$ 1,200,000
		Total	\$ 14,487,200

Fuente: Elaboración Propia.

Es evidente un incremento del 6.1% en la disponibilidad de las bombas geho genera la necesidad de incrementar el recurso de mano de obra para mantenimiento de predictivo solicitándose 2 ingenieros de confiabilidad esto con la finalidad de no alterar el monitoreo de equipos.

Así mismo se desarrolla el flujo de caja considerando la inversión inicial, los costos de contratación de personal y los costos evitados de mantenimiento utilizando una tasa de actualización de 10%, como podemos darnos cuenta, que el VAN nos determina una ganancia de \$49,689,355 durante los cinco años del proyecto, con lo que se puede concluir que

el proyecto es económicamente viable ya que obtuvimos un valor positivo superando la rentabilidad del 10% esperada.

Tabla 14.

Valor Actual Neto

	FLUJO DE CAJA NETO					
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Proyectos de inversión	-\$4,679,000.00					
Ahorros de mantenimiento		\$14,487,200	\$14,487,200	\$14,487,200	\$14,487,200	\$14,487,200
Personal adicional	-\$114,706	-\$114,706	-\$114,706	-\$114,706	-\$114,706	-\$114,706
	-\$4,793,706	\$14,372,494	\$14,372,494	\$14,372,494	\$14,372,494	\$14,372,494
Tasa 10%						
VAN	\$49,689,355					

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Fonseca (2015) que implementó fichas por equipos, además lo complementó con fichas Kaizen y 5S, incrementando su disponibilidad de 72% a 93%. El presente estudio nos ha permitido constatar que es fundamental la gestión de mantenimiento para la estación de bombas y en general para los equipos de bombeo inicialmente la empresa en estudio no contaba con un plan de mantenimiento, lo cual representaba altas pérdidas económicas para la empresa, siendo la disponibilidad inicial de 88.9%, sin embargo, después de implementar la gestión de mantenimiento se incrementó a 95.6%. El presente plan consistió en la elaboración de políticas de mantenimiento, formato para reportar fallas, check list de equipos, procedimiento estándar de trabajo.

4.2 Conclusiones

El diagnóstico situacional de la estación de bombas GEHO, 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 concluyendo como una baja disponibilidad la cual fue de un 88.9%.

Se concluye que se incrementó la disponibilidad en 95.6% en la estación de bombas GEHO, con la implementación de la gestión de mantenimiento, lo que se requirió la contratación de 2 ingenieros de confiabilidad para el área de mantenimiento la contratación de personal se debe además a asuntos referidos a la seguridad ocupacional, pudiéndose gestionar dentro del contrato de marco actual.

El análisis de la viabilidad económica dio como resultado un ROI de \$3.28: \$1 por la adquisición de proyectos capitalizables, además se obtiene un VAN de \$49,689,355 en el flujo de caja siendo calculado a 5 años. con lo que se concluye que el proyecto es económicamente viable ya que obtuvimos un valor positivo superando la rentabilidad del 10% esperada

REFERENCIAS

- Ángeles, J. (2017). *Aplicación del TPM para mejorar la productividad en la empresa frío aéreo asociación civil Callao 2017*. (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.
- Ávila, Rubén. *Fundamento de mantenimiento: Guías económicas técnicas y administrativas*. México: Limusa, 1995.
- 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* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Camacho, D. (2016). *Evaluación del sistema de bombeo de soluciones cianuradas del pad LQ8 para la planta de columnas de carbón en Minera Yanacocha*. (tesis de pregrado). Cajamarca, Perú: Universidad César Vallejo.
- Díaz, A. & Cruz, J. (2019). *Propuesta de guía metodológica para la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en transformadores de potencia* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua.
- De La Cruz, J. (2013). *Diseño de un sistema de Bombeo para Transporte de Relave desde Planta Concentradora Hasta Zona de Disposición en Sociedad Minera Austria Duvaz S.A.C.* (tesis de pregrado). Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del 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.

- Montes, J. (2018). *Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de Integra S.A. usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.
- Muñoz, C. (2016). *Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto.* (tesis de pregrado). Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
- Soto, J. (2016). *Mantenimiento basado en la confiabilidad para el mejoramiento de la disponibilidad mecánica de los volquetes FAW en GYM S.A.* (tesis de pregrado). Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del 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* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

ANEXOS

Anexo 1. Check List para el Operador

Motor Principal		Lun.	Mar.	Mié.	Jue.	Vie.	Sáb.	Dom
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temp							
Check:	Fuga de aceite							
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temp							
Acople flexible								
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temp							
Reductor								
Check:	Fuga de aceite							
Check:	Nivel de aceite							
Sistema de refrigeración								
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temp							
Check:	Fuga de aceite							
Acople engranaje								
Ruido extraño, vibraciones, temp								
Fuga de aceite								
Pump Power End:								
Check:	Ruido extraño, vibraciones, temperatura							
Check:	Flujo, lubricación y presión de aceite							
Check:	Contaminación de filtro							
Check:	Fuga de aceite							
Check:	Nivel de aceite							
Propelling Liquid Unit:								
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 fluxómetro								
Check:	Nivel de aceite en tanque líquido Propelente.								
Valve Unit:									
Check:	Verificar fugas en sellos de tapas								
Check:	Verificar estado de cancamos de izaje en tapa de válvula								
Check:	Verificar estado de concetores hidráulicos en tapa & valve housing								
Air Vessel section:									
Check:	Verificar estados de pernos de anclaje								
Check:	Inspección de fugas en bridas								
Slurry section:									
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								
Dampener Unit									
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								

Anexo 2. Formato reporte de falla

Mantenimiento de Procesos	FORMATO Reporte de Falla	Código: PMA-M01-P02-F02 Página 1 de 1 Versión: 1 Fecha de publicación: 24 - 01 - 2020												
		N° de Reporte <input style="width: 100px;" type="text"/>												
1. DATOS GENERALES DEL EQUIPO / SISTEMA														
EQUIPO :	<input style="width: 200px;" type="text"/>	OT: <input style="width: 200px;" type="text"/>												
MARCA :	<input style="width: 200px;" type="text"/>	CODIGO ELLIPSE: <input style="width: 200px;" type="text"/>												
TAG :	<input style="width: 200px;" type="text"/>	MODELO/P/N: <input style="width: 200px;" type="text"/>												
FECHA DE FALLA :	<input style="width: 50px;" type="text"/> <input style="width: 50px;" type="text"/> <input style="width: 50px;" type="text"/>	AREA : <input style="width: 200px;" type="text"/>												
		REPORTAN: <input style="width: 200px;" type="text"/>												
		SUPERVISOR: <input style="width: 200px;" type="text"/>												
2. DESCRIPCION EN DETALLE DE LA FALLA														
3. HORAS PERDIDAS DE PRODUCCION APROX.														
<input style="width: 30px;" type="text"/> Horas	<input style="width: 30px;" type="text"/> Mts.													
4. COMPONENTES DAÑADOS														
CANT.	INSPECCION VISUAL	# PARTE												
<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 200px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>												
<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 200px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>												
<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 200px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>												
5. PROBABLE CAUSA DE FALLA:														
6. ACCION CORRECTIVA TOMADA Y PLANEADA:														
QUE	QUIEN	CUANDO												
<input style="width: 200px;" type="text"/>	<input style="width: 200px;" type="text"/>	<input style="width: 200px;" type="text"/>												
<input style="width: 200px;" type="text"/>	<input style="width: 200px;" type="text"/>	<input style="width: 200px;" type="text"/>												
7. CLASIFICACION DE FALLA:														
DISEÑO	<input type="checkbox"/>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">GRAVE</td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><div style="width: 20px; height: 10px; background-color: red; display: inline-block;"></div></td> </tr> <tr> <td>Falla mayor a 3 horas</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>MEDIA</td> <td style="text-align: center;"><div style="width: 20px; height: 10px; background-color: yellow; display: inline-block;"></div></td> </tr> <tr> <td>Falla entre 1/2 hr a 3 hrs</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>LEVE</td> <td style="text-align: center;"><div style="width: 20px; height: 10px; background-color: lightgreen; display: inline-block;"></div></td> </tr> <tr> <td>Falla menor a 1/2 hr</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	GRAVE	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: red; display: inline-block;"></div>	Falla mayor a 3 horas	<input type="checkbox"/>	MEDIA	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: yellow; display: inline-block;"></div>	Falla entre 1/2 hr a 3 hrs	<input type="checkbox"/>	LEVE	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: lightgreen; display: inline-block;"></div>	Falla menor a 1/2 hr	<input type="checkbox"/>
GRAVE	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: red; display: inline-block;"></div>													
Falla mayor a 3 horas	<input type="checkbox"/>													
MEDIA	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: yellow; display: inline-block;"></div>													
Falla entre 1/2 hr a 3 hrs	<input type="checkbox"/>													
LEVE	<div style="width: 20px; height: 10px; background-color: lightgreen; display: inline-block;"></div>													
Falla menor a 1/2 hr	<input type="checkbox"/>													
MATERIALES	<input type="checkbox"/>													
ENSAMBLE	<input type="checkbox"/>													
INSTALACION	<input type="checkbox"/>													
OPERACION FUERA DE DISEÑO	<input type="checkbox"/>													
ERROR DE MANTENIMIENTO	<input type="checkbox"/>													
ERROR DE OPERACION	<input type="checkbox"/>													
8. REGISTRO FOTOGRAFICO		NOTAS: <div style="background-color: yellow; width: 100%; height: 80px;"></div>												

Anexo 3. Galería fotográfica

