



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“DISEÑO DE UN PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS
DE BOMBEO EN UNA PLANTA MINERA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Bach. Carmen Irene De la Rosa Saldaña

Bach. Silver Donal Torres Hidalgo

Asesor:

M. Cs. Ing. Luis Roberto Quispe Vásquez

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi amado esposo y gran padre, Donal, a mis hijos que desde un inicio nos incentivaron y apoyaron a seguir en esta nueva etapa a Perlita, Claudette, Jhensy y Alexis.

Irene De La Rosa.

Esta investigación se la dedico a mi esposa que es la mujer que amo, a mis amados hijos Perlita, Claudette, Jhensy y Alexis, gracias por su apoyo y comprensión, por su ayuda en mi superación diaria.

Donal Torres.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida y la salud, a mi madre por sus palabras de apoyo a los profesores que nos apoyaron incondicionalmente y guiaron hasta el final, asimismo agradecemos a nuestro asesor el ingeniero Roberto Quispe por la orientación académica brindada.

Irene De La Rosa.

Agradezco a Dios por todo o que me da día a día, a mi madre que desde el cielo me cuida y protege, a cada uno de los profesores y amigos que colaboraron conmigo en esta etapa de mi carrera.

Donal Torres.

Tabla de contenidos

	Pág.
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
LISTA DE ABREVIATURAS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema	14
1.3. Objetivos.....	14
1.4. Hipótesis	14
1.5. Operacionalización de variables	15
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	16
2.1. Tipo de investigación.....	16
2.2. Materiales, instrumentos y métodos.....	16
2.3. Procedimiento	22
CAPÍTULO III. RESULTADOS	25
3.1. Diagnóstico de la situación actual de los equipos del sistema de bombeo.....	25
3.2. Diseño del plan de gestión de mantenimiento enfocada a mejorar la disponibilidad de los equipos .	44
3.3. Análisis de las mejoras en la disponibilidad de los equipos de bombeo en una planta minera	63
3.4. Análisis económico	69
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	75
4.1. Discusión	75
4.2. Conclusiones	76
REFERENCIAS	77
ANEXOS	84
ANEXO n.º 1. Causas y fallas de los equipos.	84
ANEXO n.º 2. Reporte de fallas en SAP.	87
ANEXO n.º 3. Costos de los componentes y repuestos de los equipos de bombeo	95
ANEXO n.º 4. Fotografías	97

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	15
Tabla 2 Instrumentos de investigación.....	17
Tabla 3 Procedimiento para identificar las fallas del sello mecánico.....	23
Tabla 4 Procedimiento para levantar la información.....	24
Tabla 5 Procedimiento para el análisis de datos.....	24
Tabla 6 Reporte de caudal bombeado.....	37
Tabla 7 Resumen de los indicadores actuales.....	71
Tabla 8 Programa de lubricación.....	54
Tabla 9 Procedimiento estándar de trabajo para mantenimiento de equipos de bombeo.....	56
Tabla 10 Ficha de control de parámetros de operación y funcionamiento de los equipos de bombeo.....	59
Tabla 11 Mejora de las causas de la baja disponibilidad.....	63
Tabla 12 Reducción de tiempos de parada.....	64
Tabla 13 Resumen comparativo de los indicadores.....	69
Tabla 14 Inversión del plan de gestión de mantenimiento.....	70
Tabla 15 Flujo saliente del plan de gestión de mantenimiento.....	71
Tabla 16 Flujos entrantes de la empresa.....	72
Tabla 17 Flujo de caja del plan de gestión de mantenimiento.....	73
Tabla 18 Causas y fallas de los equipos de bombeo.....	84
Tabla 19 Reporte de fallas de las bombas.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Esquema del diagrama de Ishikawa.	19
Figura 2 Esquema del diagrama de Pareto.	20
Figura 3 Mejora de la disponibilidad de los sellos mecánicos.	22
Figura 4 Problemas con mayor impacto en la planta minera.	25
Figura 5 Diagrama de Ishikawa en los equipos de bombeo.	27
Figura 6 Desgaste en rodamientos.	28
Figura 7 Rotura por inadecuado embalaje de sellos de las bombas.	29
Figura 8 Componentes de la bomba desgastados.	29
Figura 9 Reporte de vibraciones.	30
Figura 10 Reporte de temperatura.	31
Figura 11 Fugas en la caja de relleno.	31
Figura 12 Desborde en la tolva.	32
Figura 13 Piezas del equipo de bombeo con mantenimiento inadecuado.	33
Figura 14 Daños en la tubería por alto contenido en sólidos en suspensión.	34
Figura 15 Alto amperaje en el motor de la bomba.	35
Figura 16 Pico de falla por falta de cumplimiento de mantenimiento.	35
Figura 17 Falta de cebado en la bomba.	36
Figura 18 Obstrucción en la tubería de descarga.	37
Figura 19 Presión insuficiente.	38
Figura 20 Efectos de la acidez en los componentes de la bomba.	38
Figura 21 Efectos de la acidez en los componentes de la bomba.	39
Figura 22 Diagrama de Pareto de las causas de la baja disponibilidad.	40
Figura 23 Disponibilidad actual de los equipos de bombeo.	41
Figura 24 Utilización actual de las bombas.	42
Figura 25 MTBF promedio actual.	43
Figura 26 MTTR actual promedio actual.	44
Figura 27 Plan de mantenimiento.	45
Figura 28 Reunión para conformar el comité de gestión de mantenimiento.	46
Figura 29 Políticas de mantenimiento en la planta minera en estudio.	48
Figura 30 Formato de reporte de falla.	50
Figura 31 Formato de reporte de falla llenado.	51
Figura 32 Check list de los equipos de bombeo.	52
Figura 33 Etapas del programa de lubricación.	53
Figura 34 Control de lubricación de los equipos de bombeo.	55
Figura 35 Parámetros de operación de las bombas Warman.	62
Figura 36 Disponibilidad después del plan de mantenimiento.	66

	Pág.
Figura 37 Comparativo de disponibilidad.	66
Figura 38 Utilización después de implementar el plan de mantenimiento.	67
Figura 39 Comparativo de utilización.	67
Figura 40 MTTR con el plan de mantenimiento.	68
Figura 41 MTBF después del plan de mantenimiento.	68
Figura 42 Difusión de las políticas de mantenimiento al ingresar a la planta minera.	97
Figura 43 Difusión de las políticas de mantenimiento en la sala de capacitaciones.	97

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1: Disponibilidad	21
Ecuación 2: Utilización	21
Ecuación 3: MTBF	21
Ecuación 4: MTTR	21

LISTA DE ABREVIATURAS

MTTR: Medium Time To Repair, o tiempo medio hasta haber reparado la falla.

MTBF: Mean Time Between Failures, o tiempo medio entre fallas.

OEE: Eficiencia Global del Equipo.

TPM: Mantenimiento Productivo Total.

Peak: picos de funcionamiento.

mm/s: Unidad de medición de las vibraciones.

Hrs: Horas.

°C: temperatura en grados Celsius.

m³/h: Unidad de medida del caudal de bombeo.

psi: pounds-force per square inch o libra de fuerza por pulgada cuadrada.

pH: Potencial de Hidrógeno.

RCM: mantenimiento centrado en la confiabilidad.

AMEF: análisis de confiabilidad.

RESUMEN

El objetivo de la tesis fue diseñar un plan de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una planta minera, para ello se establecieron objetivos específicos que fueron; realizar un diagnóstico actual de los equipos del sistema de bombeo, elaborar el plan de gestión de mantenimiento, realizar el análisis de las mejoras en la disponibilidad de los equipos y realizar la viabilidad económica del plan. La investigación fue aplicada, explicativa, cuantitativa y no experimental. El problema con mayor impacto en la planta es la baja disponibilidad de los equipos debido a un inadecuado plan de mantenimiento, la disponibilidad actual es 73% en promedio. El plan de gestión de mantenimiento de los equipos del sistema de bombeo 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 y la ficha de control de parámetros de operación y funcionamiento. La disponibilidad de los equipos de bombeo con el plan de mantenimiento se incrementó en 13%. Este plan tiene un VAN de 267 176 dólares, TIR es 100.53% y la relación B/C es 0.71. por lo tanto, el proyecto es viable económicamente y representa altos ahorros para la empresa minera.

Palabras clave: Gestión de mantenimiento, disponibilidad, equipos de bombeo, arenas de molienda.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Actualmente, 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).

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).

En la actualidad en 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).

Gran cantidad de plantas mineras presentan fallas en los sellos mecánicos, originando paradas de equipos, fugas de los fluidos del proceso, reducción de producción y pérdida

de tiempo, lo que se traduce en altos costos de mantenimiento ya que se tiene que reparar los equipos dañados, comprar los repuestos y gastar en la mano de obra para solucionar las fallas, ocasionando a las empresas una pérdida económica de decenas de millones de dólares anuales (Almosny, 2014).

En un análisis internacional relacionado a los equipos de bombeo, se ha determinado que los sellos mecánicos de las bombas de lodos en la planta de procesamiento mineral, fallan por tres razones, el primero por la inadecuada instalación, el segundo por los problemas que tiene el diseño básico del sello mecánico y tercero por la contaminación del líquido en la prensaestopas (Barreto, 2017).

Teniendo en cuenta el estudio realizado por De La Cruz (2013), en su tesis denominada *“Mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcan 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).

En la planta minera en estudio se presentan constantemente equipos que producen pérdidas a la empresa, específicamente en el proceso de bombeo, el cual es indispensable para el procesamiento del mineral, presentándose aquí la mayor cantidad de fallas, siendo las más frecuentes en los sellos mecánicos. Por este motivo, se debe tomar medidas enfocadas para evitar que la empresa siga perdiendo capacidad productiva mediante la implementación de un plan de gestión de mantenimiento, para evitar paradas de planta tal como sugiere Salazar (2016), ya que representan una pérdida de 50 000 dólares por hora.

Ante esta realidad, se evidencia que no se está cumpliendo con un plan de gestión de mantenimiento con el cual se pueda reducir los costos y mejorar la disponibilidad, ya que el personal no cuida los equipos de bombeo porque no cuentan con un plan de mantenimiento autónomo, además no se utilizan herramientas de reporte de causas y efectos, en materiales, máquinas y mano de obra (3M), programa de inspección periódico de los factores críticos, matrices de mantenimiento y mejora, lo que pone en riesgo la vida útil de los equipos de bombeo y la seguridad de los trabajadores.

Es necesario recalcar que los equipos del sistema bombean fluidos altamente contaminantes que pueden escapar por el inadecuado funcionamiento de los sellos mecánicos de las bombas centrífugas y al no contar con el mantenimiento adecuado aumenta el riesgo de problemas ambientales. Finalmente se evidencia la falta de capacidades del personal mediante el autodesarrollo y la formación sistemática en temas referentes a mantenimiento de los equipos de bombeo.

1.2. Formulación del problema

¿El diseño de un plan de gestión de mantenimiento influye en la mejora de la disponibilidad de los equipos de bombeo en una planta minera?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un plan de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una planta minera.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de los equipos del sistema de bombeo en una planta minera.
- Elaborar el plan de gestión de mantenimiento de los equipos del sistema de bombeo.
- Realizar el análisis de las mejoras en la disponibilidad de los equipos de bombeo en una planta minera.
- Realizar la viabilidad económica del plan de gestión de mantenimiento en una planta minera.

1.4. Hipótesis

El diseño de un plan de gestión de mantenimiento mejora la disponibilidad de los equipos de bombeo en una planta minera.

1.5. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables.

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Plan de gestión de mantenimiento (variable independiente)	Se refiere a diseñar un conjunto de tareas preventivas a un equipo con la finalidad de cumplir los objetivos de disponibilidad, fiabilidad, costo, y como objetivo principal incrementar al máximo la vida útil del equipo (Camacho, 2016).	Utilización de los equipos de bombeo	% de Utilización de los equipos de bombeo
		Finalidades del plan de mantenimiento de equipos de bombeo	% de horas operativas de los equipos de bombeo
			% de mantenimientos correctivos
Disponibilidad de los equipos de bombeo (variable dependiente)	Representa el porcentaje de tiempo durante el cual un equipo se encuentra apto para su uso y operatividad, tomando en cuenta los tiempos por paradas imprevistas o fallas (García, 2017).	Tiempo de funcionamiento de los equipos de bombeo	Cantidad de horas de mantenimiento de planificado
		Mejora de la fiabilidad de los equipos de bombeo	Tiempo medio de reparación (MTTR)
			Tiempo medio entre fallas (MTBF)

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. Materiales, instrumentos y métodos

2.2.1. Materiales

- Reporte de fallas.
- Check List.
- Formato de mantenimiento preventivo.
- Formato de mantenimiento predictivo.

2.2.2. Instrumentos

Para el desarrollo de la investigación se utilizarán los instrumentos y técnicas detallados por cada objetivo específico, tal como lo muestra la tabla 2.

Tabla 2
Instrumentos de investigación.

Objetivo específico	Indicador	Técnica	Instrumento	Fuente bibliográfica de la técnica
Realizar un diagnóstico de la situación actual de los equipos del sistema de bombeo en una planta minera.	Disponibilidad actual de los equipos de bombeo	Revisión documental	Ficha resumen de reportes antes de la implementación del plan de mantenimiento.	(Asto, 2014)
Elaborar un plan de gestión de mantenimiento enfocada a mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo.	Pilares del TPM	Revisión documental	Ficha resumen.	(Rodríguez, 2014)
Realizar el análisis de las mejoras en la disponibilidad que se obtiene con la implementación del diseño de un plan de mantenimiento.	Disponibilidad después del plan de mantenimiento	Revisión documental	Ficha resumen de reportes después de la implementación del plan de mantenimiento	(Ortíz, 2014)
Realizar el análisis económico de la propuesta de diseño de un plan de gestión de mantenimiento en una planta minera.	VAN y TIR	Revisión documental	Ficha resumen.	(Rodríguez, 2014)

2.2.3. Método

El presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, en razón, que se utilizarán conocimientos teórico-prácticos de la Ingeniería Industrial, a fin de aplicarlos en la elaboración de un informe científico donde se determinó que el análisis de fallas mediante la Metodología TPM en el proceso de bombeo afecta el cumplimiento de las metas de producción en una planta minera.

La investigación es documental y de campo, se basa en toda la información recolectada de distintas fuentes escritas y visuales para el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados, así como también entrevistas no estructuradas realizadas a los colaboradores que se encuentran inmersos en el proceso en estudio.

Diagnóstico de la situación actual

- **Diagrama de Ishikawa:** Consiste en una representación gráfica en la cual se visualiza las causas que originan un problema específico (Ishikawa, 1943).

En el diagrama utilizado se diferenciaron 5 ramas de las posibles causas que son:

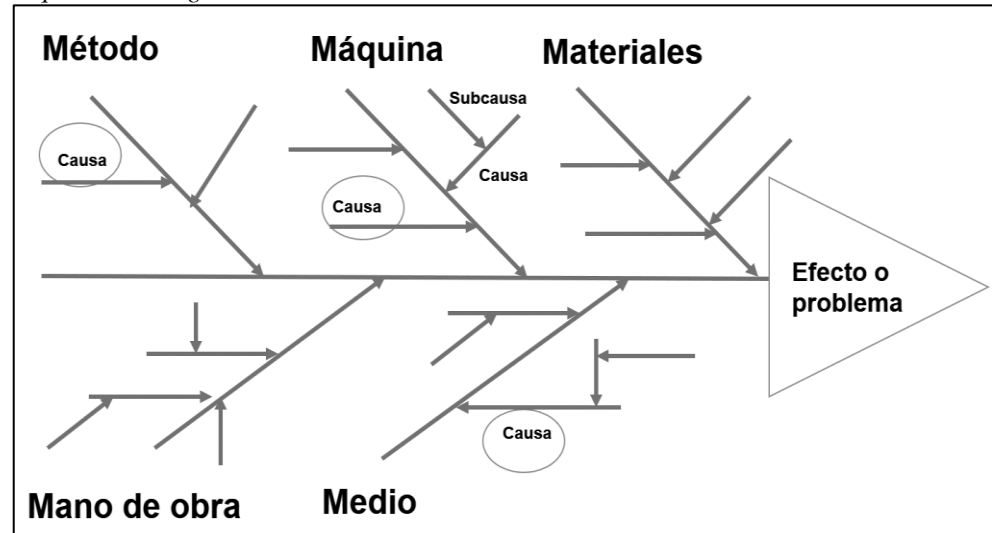
- **Máquina:** se analizó cada máquina empleada y su funcionamiento, su metodología de trabajo y su configuración.
- **Método:** Se enfocó en preguntarse si se están haciendo las cosas bien y si hay alguna forma de mejorarlas.
- **Materiales:** se analizó las materias primas y sus condiciones.
- **Mano de obra:** se identificaron los errores en la mano de obra, ya que si bien es cierto que son los procesos los que fallan, éstos se llevan a cabo por personas.

- Medio ambiente: se tomó en cuenta las condiciones ambientales para garantizar que son las más adecuadas para realizar el trabajo.

El diagrama Ishikawa modelo se visualiza en la figura 1.

Figura 1

Esquema del diagrama de Ishikawa.



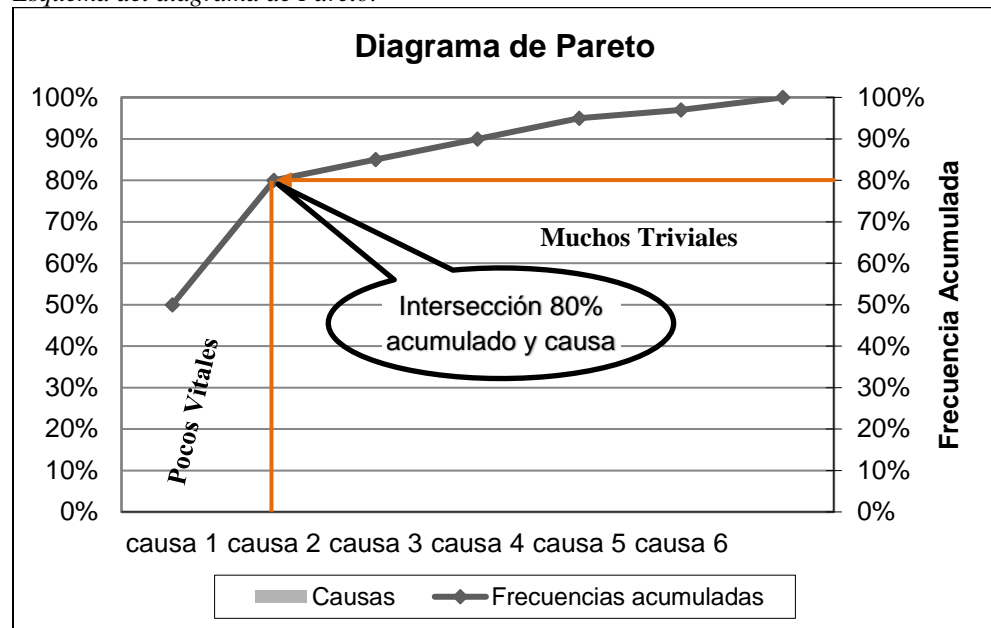
Identificadas las causas, mediante frecuencias de ocurrencia se separó las más relevantes con el principio de Pareto.

- **Diagrama de Pareto:** Es una técnica gráfica que clasifica causas en orden de mayor a menor frecuencia y permite asignar un orden de prioridades, manteniendo principios como pocos vitales, muchos triviales (Izar y Gonzáles, 2004).

Se inició listando las causas del problema principal identificado en el diagrama de Ishikawa, se las agrupó y ordenó por su ocurrencia de mayor a menor, luego se calculó la frecuencia normalizada y la frecuencia acumulada; con estos datos se elaboró un gráfico de triple entrada como el que se muestra en la figura 4; en su eje X se encuentran las causas de las fallas, en el eje Y1 se colocó la frecuencia y en el eje Y2 estuvieron las frecuencias acumuladas. Las causas que se van a solucionar son los pocos

vitales que se encuentran al lado izquierdo de la intersección entre el 80% de la frecuencia acumulada y la causa (en el caso de la figura 2 los pocos vitales son la causa 1 y 2).

Figura 2
Esquema del diagrama de Pareto.



Con el diagrama de Pareto se finalizó el diagnóstico de la situación actual. Paralelamente, se evaluó la situación actual de los indicadores operacionales del equipo de bombeo:

- **Indicadores operacionales actuales:** se midió los indicadores operacionales de los equipos utilizados de bombeo como lo son disponibilidad, utilización, MTBF y MTTR; se definió medir estos indicadores porque son los más significativos para el análisis de mantenimiento (Díaz, 2016), a continuación, se detalla el análisis por cada uno de ellos.
- Disponibilidad

La fórmula para calcular la disponibilidad de los equipos, se muestra en la ecuación 2, este indicador se mide mensualmente, la disponibilidad

esperada lo ha establecido la empresa mediante la superintendencia de mantenimiento en un 95%.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad \text{Ecuación 1}$$

- Utilización

Este indicador se calcula con la fórmula que se muestra en la ecuación 3.

La utilización esperada lo ha establecido la empresa mediante la superintendencia de mantenimiento en un 95%.

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Tiempos de operación}}{\text{Tiempo total del periodo}} \quad \text{Ecuación 2}$$

- MTBF

La fórmula para determinar este indicador se muestra en la ecuación 4, se obtuvo el MTBF mensualmente; el MTBF esperado lo ha establecido la empresa mediante la superintendencia de mantenimiento en un 95%.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de fallas}} \quad \text{Ecuación 3}$$

- MTTR

La fórmula para calcular el MTTR, se muestra en la ecuación 5, empleando datos mensuales. El MTTR esperado lo ha establecido la empresa mediante la superintendencia de mantenimiento en un 95%.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de inactividad}}{\text{Número de fallas}} \quad \text{Ecuación 4}$$

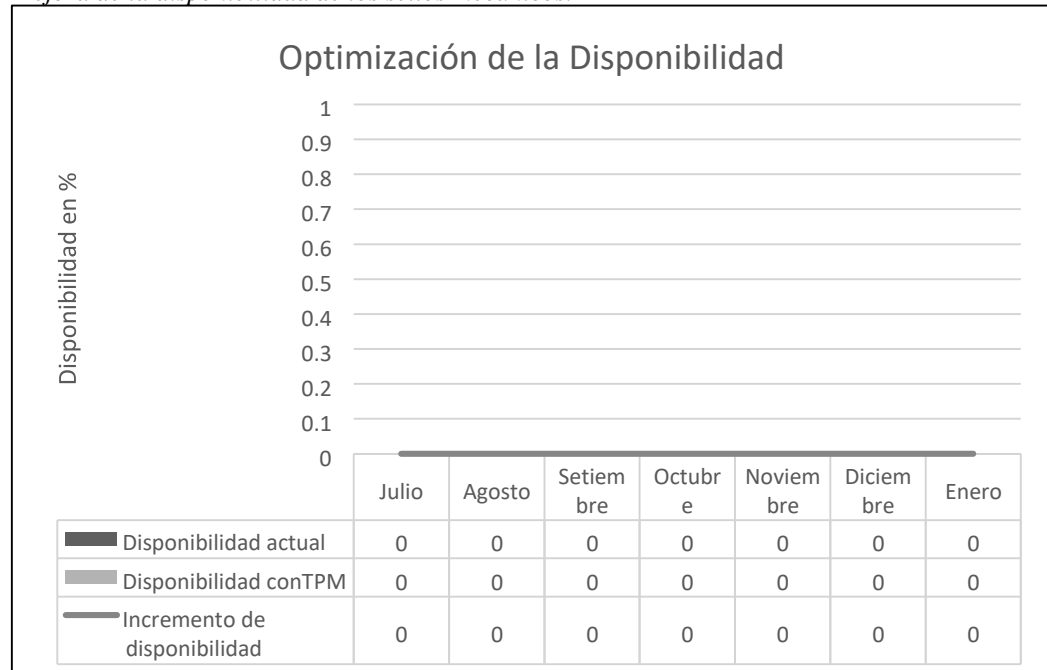
Gestión de Mantenimiento

Se utilizará para analizar la confiabilidad del equipo y las mejoras específicas que reducen las fallas. Además, se plantearán acciones de tipo preventivo que evitarán fallos y que por tanto incrementarán la disponibilidad de los sellos mecánicos.

Método cuantitativo

Analiza el impacto de la metodología funcional del TPM en la disponibilidad de los sellos mecánicos mediante los indicadores KPI. Para ello se utilizarán la figura siguiente.

Figura 3
Mejora de la disponibilidad de los sellos mecánicos.



2.3. Procedimiento

La investigación iniciará con la identificación de fallas, para ello **primero** se realizará un análisis de causa raíz mediante el diagrama de Ishikawa y Pareto, además se medirá el rendimiento actual de los sellos mecánicos mediante los indicadores KPI, MTBF y MTTR. Los pasos a seguir se detallan en la tabla 3.

Tabla 3

Procedimiento para identificar las fallas del sello mecánico.

Pasos	Detalle
Trabajo de gabinete	Se analizarán documentos referentes a la ocurrencia de fallas en sellos mecánicos, posteriormente se analizarán los reportes históricos y notificaciones de fallas en este equipo que han ocurrido en la empresa.
Trabajo de campo	Se realizará visitas a la planta minera, la primera visita será para reconocimiento de la planta y equipos utilizados en el proceso de bombeo de lodos, la segunda visita será cuando se tenga planificado el mantenimiento por fallas en sellos mecánicos y se aplicará la entrevista a los operarios de los equipos para determinar la ocurrencia actual de fallas.
Trabajo de gabinete	Las fallas identificadas serán organizadas en un diagrama de causa raíz, y se determinará el KPI del sello, posteriormente se plasmará en tablas y diagramas obtenidos con el software SAP.

Segundo, se propone metodología funcional del TPM, mediante las siguientes fases:

- Fase 0: Codificación y listado de equipos en el proceso de bombeo.
- Fase 1: Estudio detallado del funcionamiento del sistema.
- Fase 2: Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos del sello.
- Fase 3: Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos.
- Fase 4: Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo.
- Fase 5: Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.
- Fase 6: Agrupación de las medidas preventivas como Plan de Mantenimiento, lista de mejoras de la gestión de mantenimiento, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento.
- Fase 7: Puesta en marcha de las medidas de mejoras.

Tercero, se analizará el impacto en la optimización del proceso de bombeo con los datos obtenidos con la mejora, el procedimiento se detalla en la tabla 4:

Tabla 4
Procedimiento para levantar la información.

Instrumentos	Detalle
Observación	Se evaluará el rendimiento del equipo con sus indicadores KPI, MTBF y MTTR luego de implementar la metodología funcional del TPM.
Encuesta	Se realizará la encuesta a los operadores de los sellos mecánicos, para definir si el impacto de la metodología funcional del TPM en el proceso de bombeo es positivo.
Experimento	Se aplicará la simulación mediante el software SAP para determinar el incremento de la eficiencia del equipo al implementarse la metodología funcional del TPM.

Cuarto, determinar el beneficio económico, se van a determinar los costos de inversión que implica la implementación del TPM, los costos salientes anuales de esta mejora y las ganancias anuales que va a tener la empresa si se implementan, el análisis se detalla en la tabla 5:

Tabla 5
Procedimiento para el análisis de datos.

Pasos	Detalle
Análisis con software computacional	Se aplicará el software SAP para analizar el incremento del rendimiento de los sellos mecánicos.
Estadística descriptiva	Se utilizará para evaluar el MTBF y MTTR y graficarlos.

Para el recojo de datos estadísticos se realizó una entrevista al supervisor de la planta, para ello se elaboraron preguntas, se tuvo claro que el objetivo fue obtener información acerca de los problemas que afectan el sistema de bombeo. La entrevista está compuesta por 10 preguntas, 3 preguntas cerradas y 7 preguntas abiertas (Anexo 5).

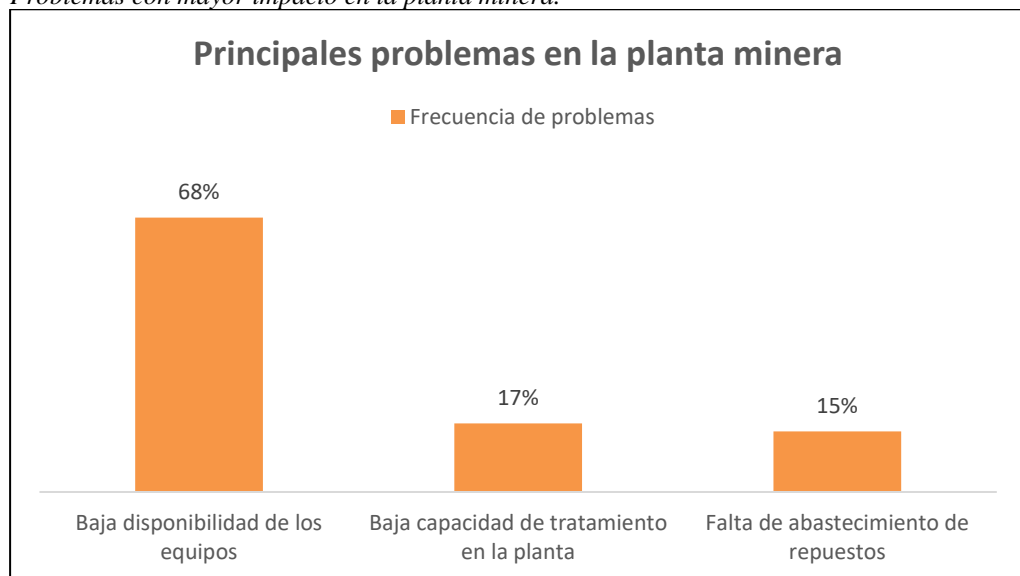
CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Diagnóstico de la situación actual de los equipos del sistema de bombeo

3.1.1. Problemas presentados en la planta minera

De acuerdo a la entrevista realizada al supervisor de mantenimiento y analizando los reportes obtenidos del 2019 (ver anexo 2), el problema que tiene mayor impacto es la baja disponibilidad de los equipos de bombeo ya que se encuentran por debajo de los targets establecidos por el área de mantenimiento, tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4
Problemas con mayor impacto en la planta minera.



En la figura 4, se presentan tres problemas que ocurren con mayor frecuencia en la planta minera durante el año 2019, el 15% de los problemas en la planta son por la falta de abastecimiento de repuestos, el 17% de problemas son por la baja capacidad de tratamiento en la planta, sin embargo, el problema con mayor impacto en la planta es la baja disponibilidad de los equipos que representa el 68%.

Por ello es necesario dar solución al problema de baja disponibilidad de los equipos, ya que ocasionan pérdidas en producción de 20 mil dólares por hora.

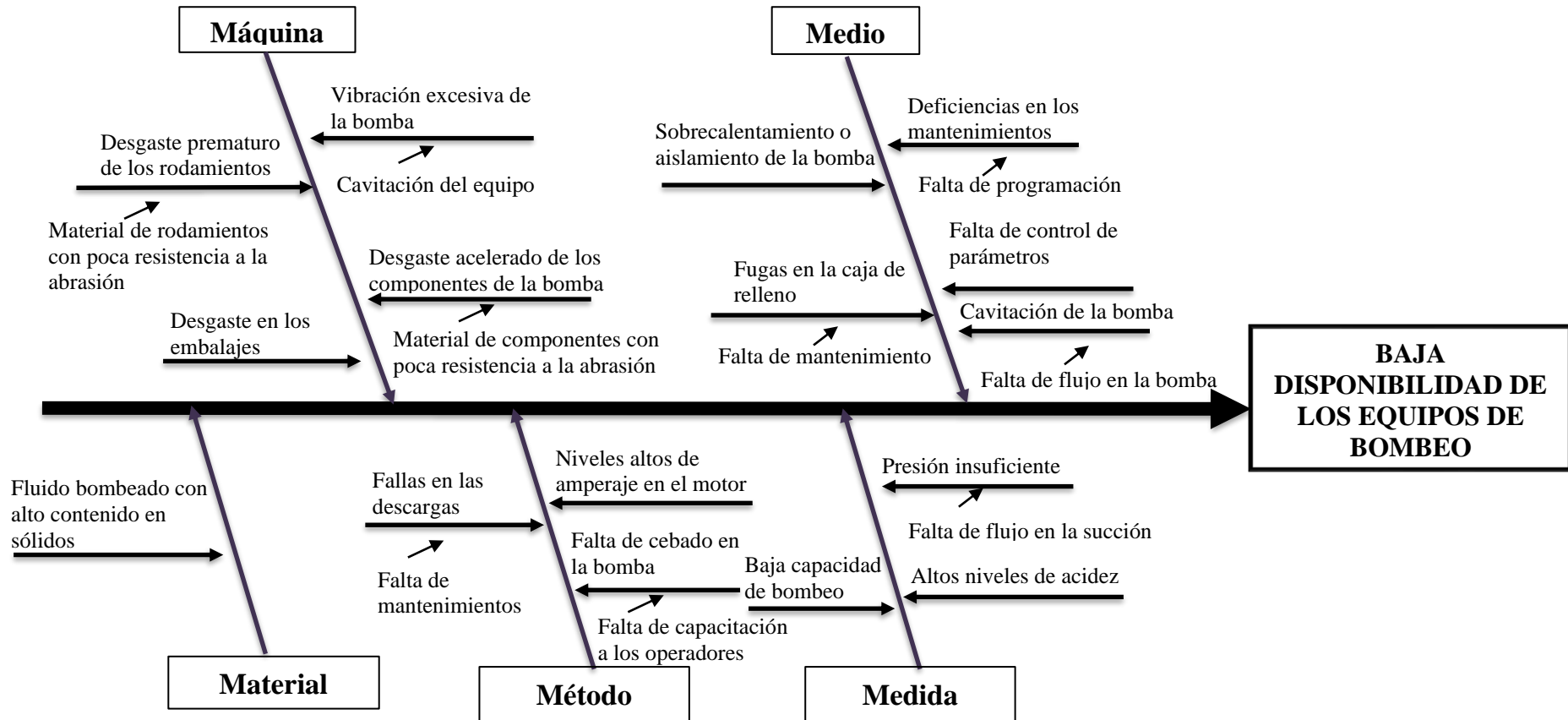
Posteriormente se hizo el análisis de las causas de la baja disponibilidad mediante el diagrama de Ishikawa.

3.1.2. Diagnóstico con Ishikawa

Para determinar causas de los problemas que están en el sistema de bombeo, se utilizó el diagrama de Ishikawa. De acuerdo a la entrevista realizada al supervisor, los reportes del año 2019 y observación directa en planta se tiene como problema principal la baja disponibilidad de los equipos de bombeo.

Figura 5

Diagrama de Ishikawa en los equipos de bombeo.



En la figura 5, se analizaron 5Ms en el diagrama de Ishikawa, en algunos casos relevantes se ha considerado sub causas, todas ellas conllevan a la baja disponibilidad de los equipos y están asociados con deficiencias en mantenimiento. Las causas se detallan a continuación:

Máquina: Se refiere a todas las herramientas con las que se cuenta para el tratamiento de mineral. Las interrogantes que se han tenido en cuenta fueron: ¿Tiene capacidad suficiente para cumplir su función? ¿Qué tan eficiente es? ¿Cómo es el manejo? ¿Existen repuestos? ¿Es conforme el mantenimiento?

- Desgaste prematuro de rodamientos: una de las causas que origina la falla es que los rodamientos de la bomba se desgastan prematuramente, es decir que deben durar 17280 hrs según el manual de la bomba, pero en este caso solo llega 6000 hrs.

Figura 6
Desgaste en rodamientos.



La figura 6, muestra rodamientos con desgaste acelerado y su cambio se ha realizado a las 9340 horas cuando debió durar 17280 horas, la razón de esta causa es que el equipo no está funcionando dentro de los parámetros establecidos por el manual.

- Desgaste en los embalajes: los repuestos y equipos que son necesarios en el sistema de bombeo, se solicitan en perfecto estado, sin embargo, son enviados con defectos en el embalaje que pueden afectar las condiciones de éstos tales como corrosión, roturas, golpes, etc.

Figura 7

Rotura por inadecuado embalaje de sellos de las bombas.



En la figura 7, se presenta rodamientos con embalaje insuficiente los cuales se encuentran en contacto con partículas suspendidas presentes en el medio ambiente, y ha perdido la lubricación que ha enviado el fabricante.

- Desgaste acelerado de los componentes de las bombas: por distintos factores de funcionamiento los componentes se desgastan rápidamente.

Figura 8

Componentes de la bomba desgastados.

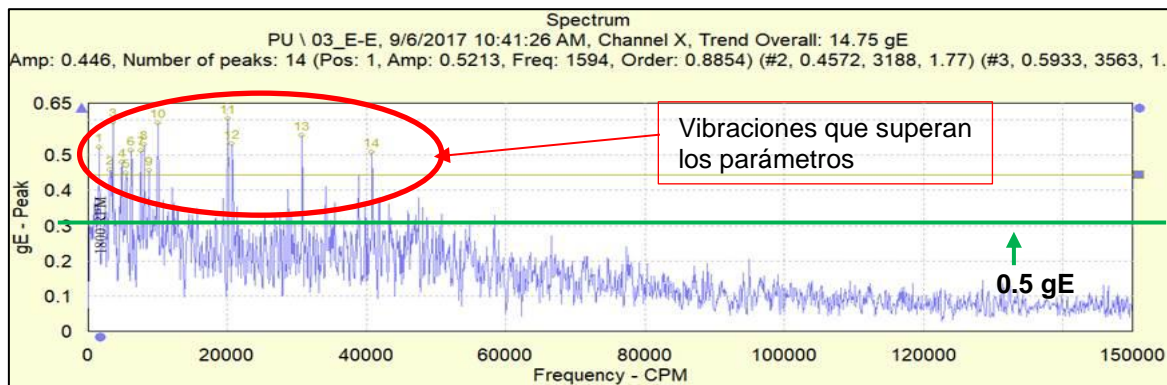


En la figura 8, se muestran los componentes internos de la bomba que tienen el desgaste acelerado, estas partes deben durar 3 000 horas, sin embargo, su cambio se está realizando a las 1400 horas.

- Vibración excesiva de la bomba: la cual desgasta a las partes de la bomba. La vibración debe ser menor a 0.5 mm/s (gE) según el manual del equipo, sin embargo, se han reportado niveles superiores a 0.8653 mm/s (gE).

Figura 9

Reporte de vibraciones.

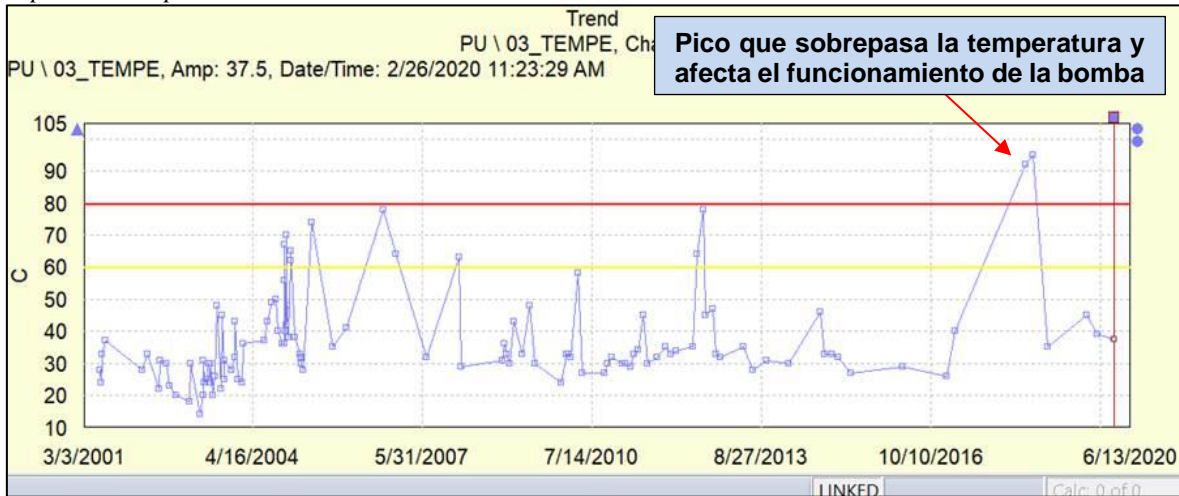


En la figura 9, se muestra el reporte de vibración de la bomba donde se evidencia que supera el límite máximo 11 veces en un día, lo cual contribuye al desgaste acelerado de los componentes de las bombas y por ende afecta su disponibilidad.

Medio: son las condiciones, el entorno con el que se trabaja. Cultura organizacional, clima organizacional, luz, calefacción, ruido, nieve, etc.

- Sobrecalentamiento de la bomba: la temperatura de bombeo debe ser máximo 20°C, sin embargo, se evidencia que en algunos casos se sobrepasa esta temperatura ocasionando fallas en el equipo de bombeo y puede llegar a 80°C ó 100°C.

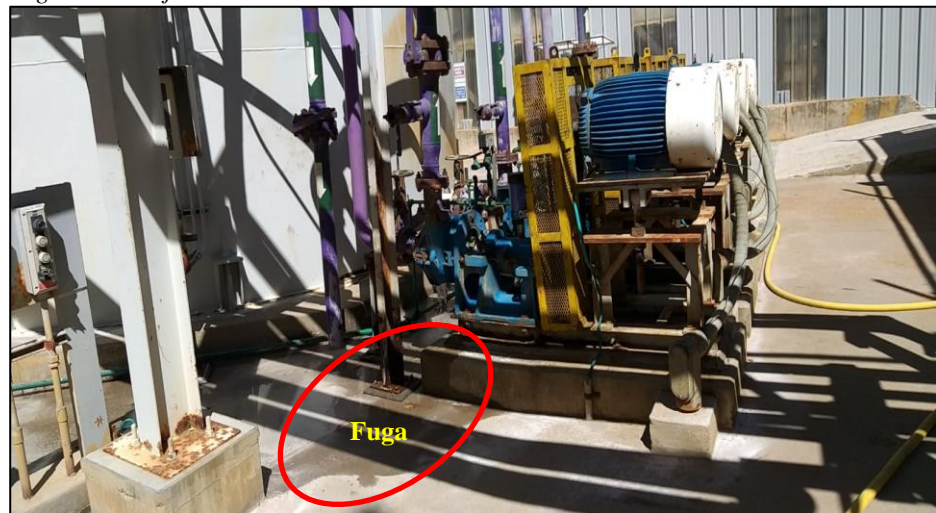
Figura 10
Reporte de temperatura.



En la figura 10, se muestra un reporte de temperatura de la bomba, se evidencian picos que sobrepasan los 80°C que es el target.

- Fugas en la caja de relleno: las fugas se generan por el agrietamiento de los equipos que a su vez puede ser por falta de mantenimiento, es decir no se realiza mediante un programa basado en el manual.

Figura 11
Fugas en la caja de relleno.



En la figura 11, se evidencia que las fugas en la caja de relleno se presentan por no contar con una programación de mantenimientos de acuerdo al

manual de funcionamiento de la bomba Grundfos vertical multietápica para alta presión.

- Desborde en la tolva: esto ocasiona cuando la bomba no está cebada, por la cantidad excesiva de aire o gas en líquido y porque el diámetro del tubo de entrada es demasiado pequeño o la longitud del tubo de entrada demasiado larga.

Figura 12

Desborde en la tolva.



En la figura 12, se muestra la tolva desbordada con residuos contaminantes altamente ácidos.

- Deficiencias en el mantenimiento: los mantenimientos no se realizan correctamente esto acarrea como consecuencia que las piezas no se cambien a tiempo y ocasionan paradas del equipo.

Figura 13

Piezas del equipo de bombeo con mantenimiento inadecuado.



En la figura 13, se muestra la parte interna de la bomba sin mantenimiento, lo cual ocasiona que su desgaste sea más rápido.

Material: se evaluó todo lo que tenga que ver con los materiales en la empresa, desde los que se usan para el tratamiento de mineral hasta los que se usan en mantenimiento. Se realizaron interrogantes asociadas a los proveedores, variabilidad de las características y especificaciones del material, conformidad del material, facilidad para trabajar, etc.

- Fluido bombeado con alto contenido en sólidos: La bomba debería bombear fluidos de 10-15% de sólidos en suspensión, sin embargo, en los reportes se evidencia que el fluido bombeado sobrepasa 25% de sólidos.

Figura 14

Daños en la tubería por alto contenido en sólidos en suspensión.

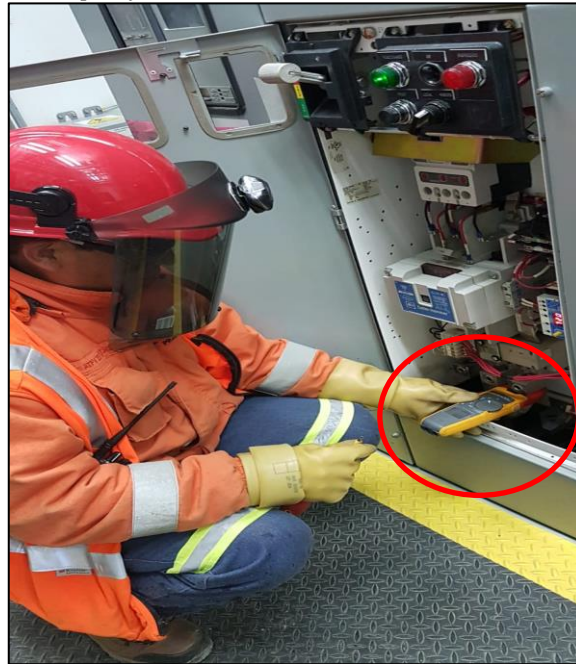


En la figura 14 se muestran los daños en la tubería de bombeo, los sedimentos se van acumulando en los tubos, esto ocasiona pérdidas en la descarga de fluido y afecta el material de la tubería.

Método: Se evaluó la forma en la que se realiza el tratamiento de mineral. Así pues, al evaluar los métodos, se analiza si la forma en que se desarrolla las actividades está significando resultados, así pues, se trata de buscar la falla en el hacer de las cosas que ocasiona el problema.

- Niveles altos de amperaje en el motor: El motor de la bomba de potencia de 100 HP debe trabajar a un amperaje de 126 Amperios como máximo según el manual del equipo, sin embargo, debido a que el diámetro del impulsor es mayor a las condiciones de operación se sobrepasa este amperaje llegando hasta los 130 amperios, ocasionando fallas en el motor.

Figura 15
Alto amperaje en el motor de la bomba.



En la figura 15, se muestra la medición del amperaje del motor de la bomba con la las pinza amperimétrica, en ella se evidencia que el amperaje es mayor a los 126 que debe trabajar.

- Falta de mantenimientos: la empresa cuenta con un programa de mantenimiento, sin embargo, de acuerdo a la percepción del supervisor de mantenimiento este no es el apropiado y además no se da cumplimiento, ocasionando paradas en los equipos de bombeo.

Figura 16
Pico de falla por falta de cumplimiento de mantenimiento.



En la figura 16, se muestra los picos de fallas que sobrepasan los parámetros establecidos en el manual del equipo.

- Falta de cebado en la bomba: La bomba o la tubería de succión no están completamente llenas de líquido ocasionando fallas prematuras en la bomba, la altura de succión demasiado alta y el aire se filtra en la bomba a través de la prensaestopas.

Figura 17
Falta de cebado en la bomba.



En la figura 17, se muestra la actividad de cebado en la bomba, también conocido como purga, en donde se abren las válvulas en la succión de la bomba y se eliminan las burbujas de aire que se forman internamente en el equipo. El cebado ayuda a reducir las fallas prematuras en el equipo.

- Fallas en la descarga de fluido: las tuberías de fluido se encuentran obstruidas o en mal estado, por ello no se cumple con el volumen de descarga establecido.

Figura 18
Obstrucción en la tubería de descarga.



Medida: se refiere a todo lo que se hace en torno a la inspección, las diferentes medidas con que se trabajan, el aseguramiento de la calidad, calibración, tamaño de muestra, error de medición, etc.

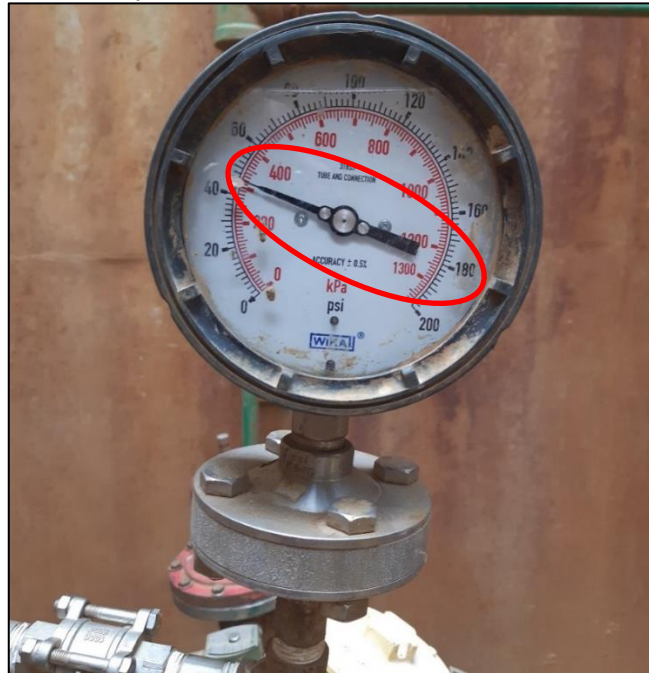
- Baja capacidad de bombeo: en el manual de la bomba se establece que debe tener una capacidad de 105 m³/hora, sin embargo, se evidencia en los reportes que sólo se bombea 48 m³/hora (ver tabla 6).

Tabla 6
Reporte de caudal bombeado.

Escenario	Caudal
Operación normal	105 m ³ /h
Operación reportada	48 m ³ /h

- Presión insuficiente: en el manual de la bomba se establece que se debe trabajar con una presión entre 120 a 150 psi, sin embargo, está funcionando a 40 psi.

Figura 19
Presión insuficiente.



En la figura 19, se muestra un manómetro con la presión por debajo de los parámetros de operación establecidos en el manual que debe ser entre 120y 150 psi.

- Altos niveles de acidez: El fluido bombeado debe tener un pH mínimo de 6, sin embargo, se muestran reportes y evidencias de pH entre 2 y 4 que afectarán a los equipos asociados a este sistema, con consecuencias de desgaste y erosión de forma acelerada en componentes de las bombas.

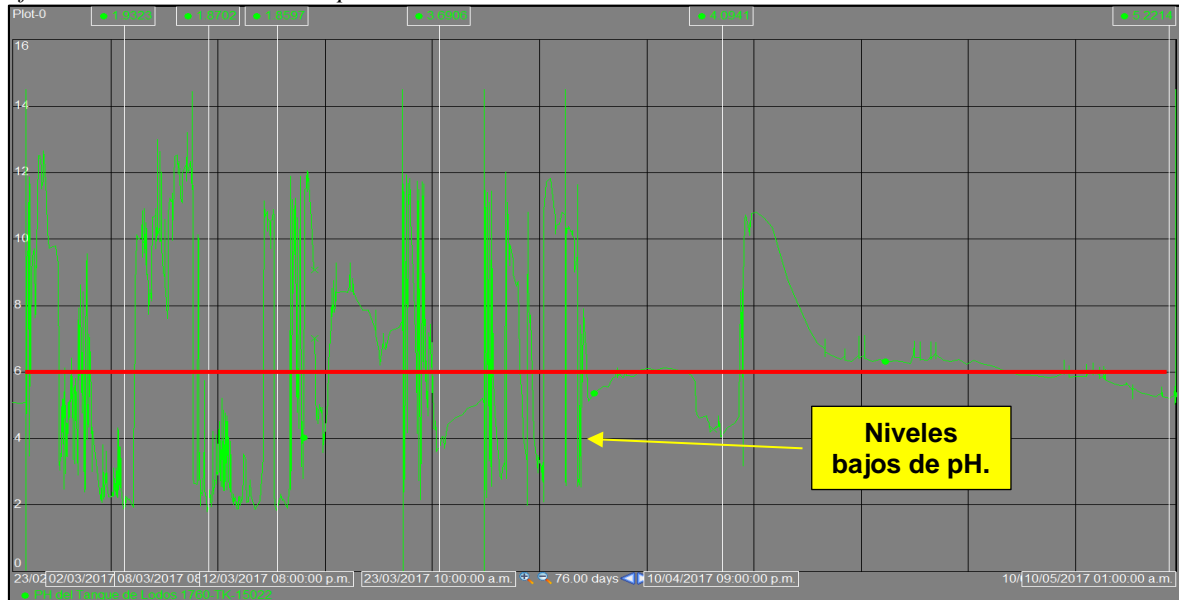
Figura 20
Efectos de la acidez en los componentes de la bomba.



En la figura 20, se evidencia los efectos de los altos niveles de acidez en los componentes metálicos internos de la bomba.

Figura 21

Efectos de la acidez en los componentes de la bomba.



En la figura 21, se muestra un reporte de los niveles de acidez del fluido bombeado, en ella se evidencia picos menores a 2 pH.

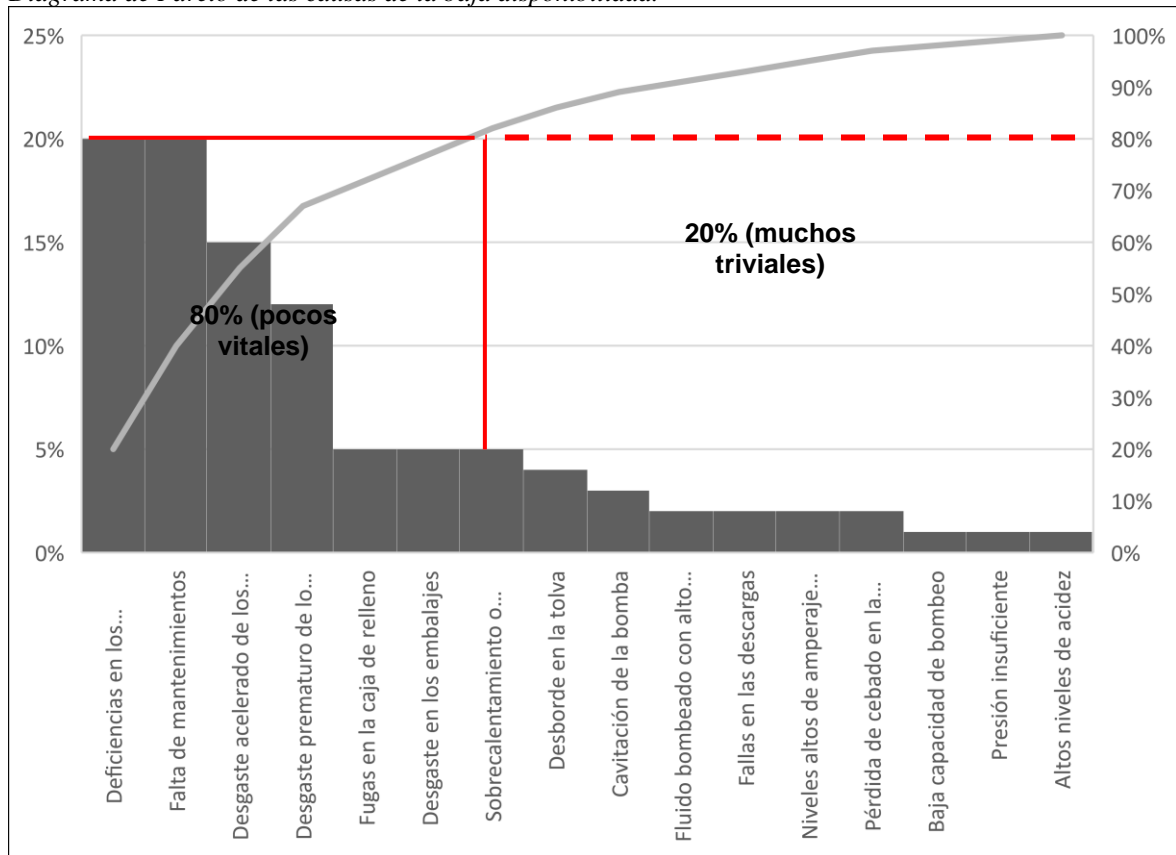
En el diagrama de Ishikawa, se presentan las causas de la problemática que es la baja disponibilidad de los equipos de bombeo, mediante el diagrama de Pareto se determinan las causas con mayor impacto en la baja disponibilidad del equipo.

3.1.3. Diagnóstico con Pareto

Se realizó el diagrama de Pareto de las 16 causas identificadas en el diagrama de Ishikawa y se determinó los pocos vitales y los muchos triviales, tal como se muestra en la figura 22.

Figura 22

Diagrama de Pareto de las causas de la baja disponibilidad.



En la figura 22 se evidencia que el 80% que representa los pocos vitales y el 20% de muchos triviales. Dentro de los pocos vitales están las causas de deficiencias en los mantenimientos (20%), falta de mantenimientos (20%), desgaste acelerado de los componentes de la bomba (15%), desgaste prematuro de los rodamientos (12%), fugas en la caja de relleno (5%), desgaste en los embalajes (5%) y sobrecalentamiento o aislamiento de la bomba (5%); y dentro de los muchos vitales se tiene al desborde en la tolva (4%), cavitación de la bomba (3%), fluido bombeado con alto contenido en sólidos (2%), fallas en las descargas (2%), niveles altos de amperaje en el motor (2%), pérdida de cebado en la bomba (2%), baja capacidad de bombeo (1%), presión insuficiente (1%) y altos niveles de acidez (1%).

3.1.4. Evaluación de la disponibilidad actual de los equipos de bombeo

La disponibilidad máxima establecida por el área de mantenimiento de la empresa es de 95%, pero se ve afectada por las fallas que ocurren constantemente y se detallan en el anexo 2.

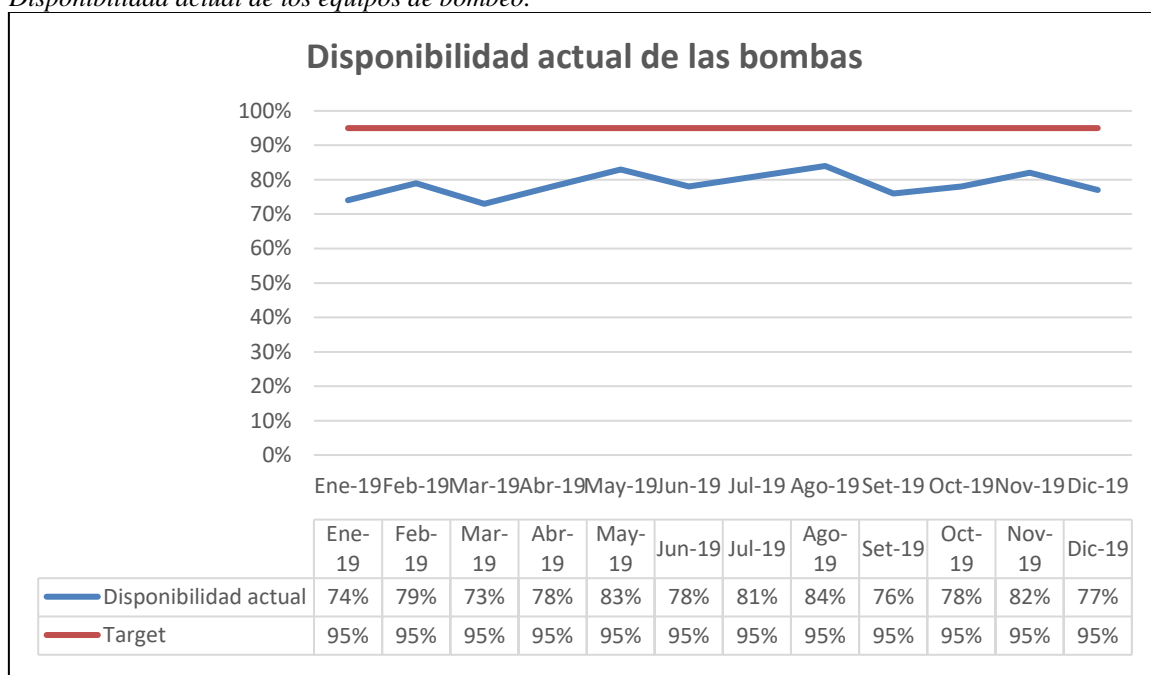
Para determinar la disponibilidad de los equipos de bombeo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad (5)$$

Utilizando los datos reportados en el programa SAP que se muestra en el anexo 2, se calculó la disponibilidad durante el 2019 y se ha comparado con el target establecido por la empresa, tal como se muestra en la figura 23.

Figura 23

Disponibilidad actual de los equipos de bombeo.



En la figura 23, se muestra la disponibilidad mensual de los equipos de bombeo durante el año 2019, en ella se evidencia que en ninguno de los meses se acerca al target del 95%, la disponibilidad mínima reportada es de 73% del mes de

marzo, la disponibilidad máxima reportada es de 84% del mes de agosto, y se tiene como promedio 79% en donde se obtiene como promedio de disponibilidad 79% estando 16% menos que lo establecido.

3.1.5. Análisis de indicadores de mantenimiento

El cálculo de los indicadores se ha realizado con los datos adjuntos en el anexo

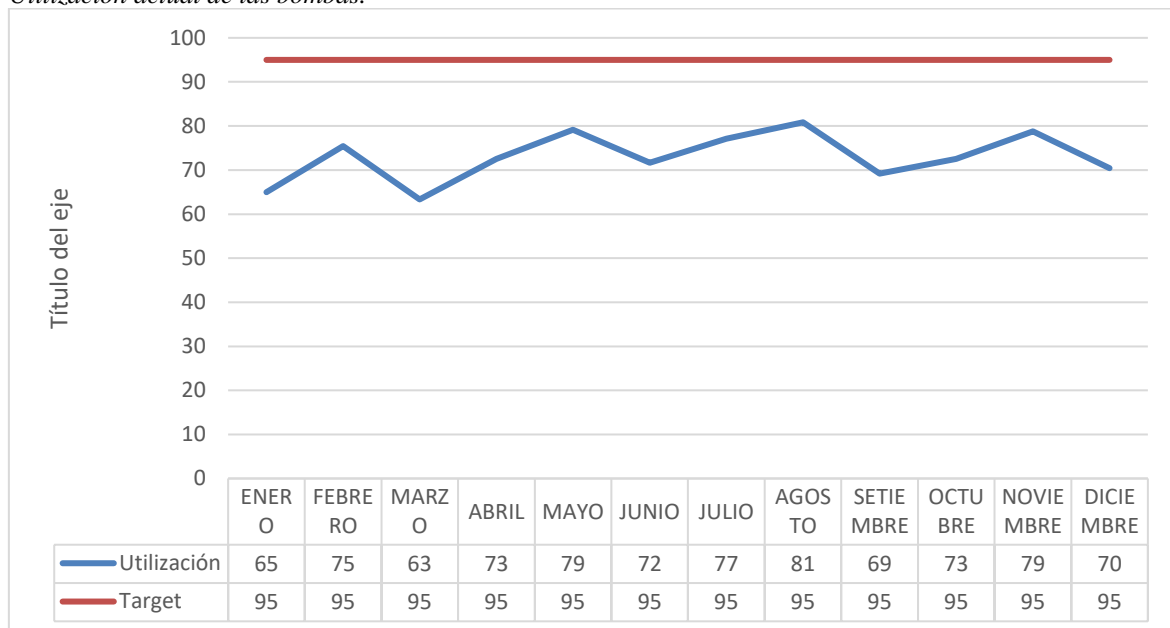
2.

- Utilización de los equipos de bombeo

La utilización mínima establecida por el área de mantenimiento de la empresa es de 95%, por ello se analizó la utilización antes de la mejora desde enero hasta diciembre del 2019, los resultados se muestran en la figura 24.

Figura 24

Utilización actual de las bombas.



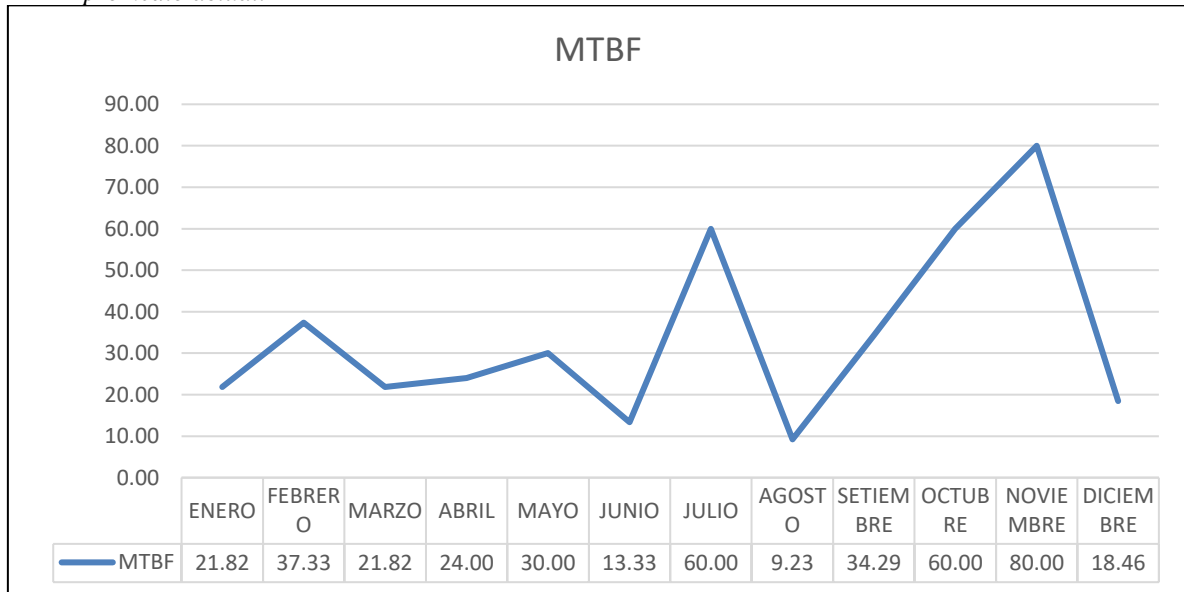
Como apreciamos en la figura 24, la utilización durante el 2019 está por debajo del estándar establecido por la empresa, se obtuvo un promedio de 73% la cual está 22% menos de lo establecido.

- MTBF de los equipos de bombeo

De acuerdo a los reportes de fallas obtenidos y la fórmula de la ecuación 3, se determinó el MTBF mensual durante el año 2019.

Figura 25

MTBF promedio actual.



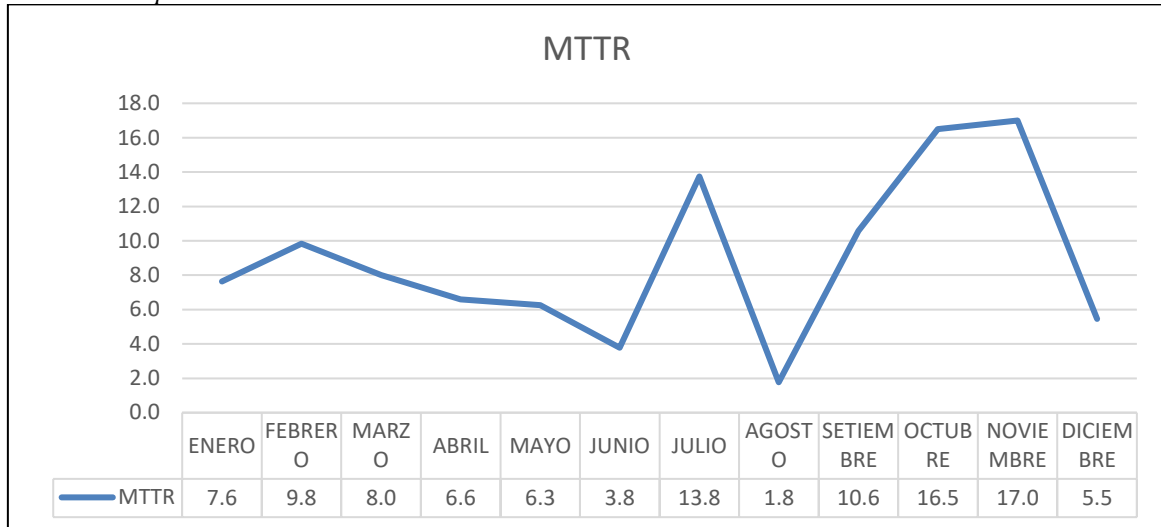
En la figura 25, se evidenció que el MTBF varía desde 9 hasta 80 horas, sin embargo, los picos de fallas altos afectan la disponibilidad de los equipos de bombeo.

- MTTR de los componentes internos

Con el reporte de fallas y el tiempo de parada de equipo para reparar esa falla se determinó en MTTR.

Figura 26

MTTR actual promedio actual.

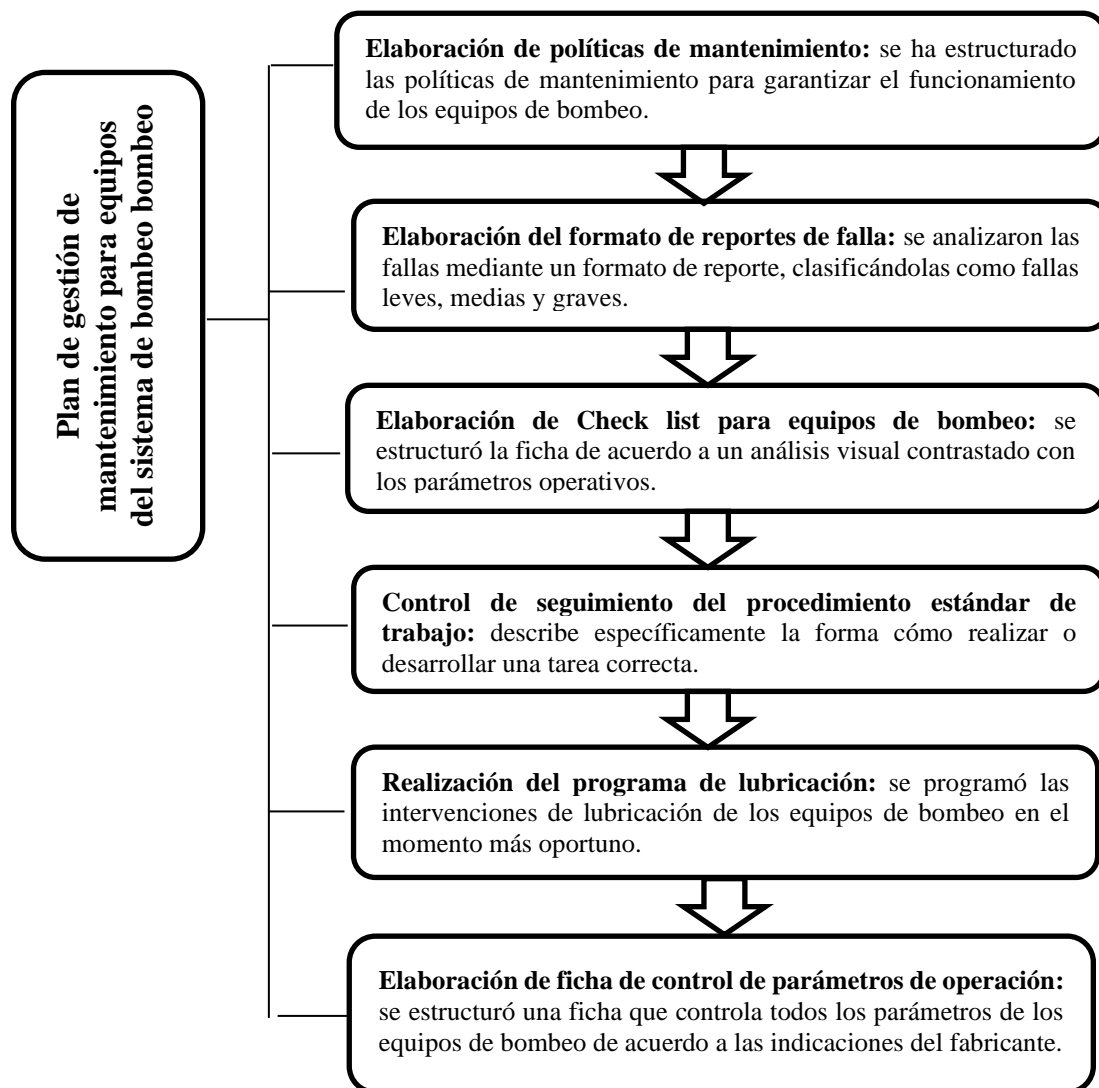


En la figura 26, se muestra el MTTR desde enero hasta diciembre, se muestra que varía mucho y no hay un estándar ya que el MTTR depende del tipo de falla que se va a reparar.

3.2. Diseño del plan de gestión de mantenimiento enfocada a mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo

Ante la problemática presentada en el ítem 3.1., en esta investigación se ha optado por crear un plan de gestión de mantenimiento de los equipos de bombeo, y con ello se pretende incrementar su disponibilidad. En la figura 27, se esquematiza los componentes de dicho plan de gestión, el cual está compuesto por la elaboración de las políticas de mantenimiento, elaboración del formato de reportes de falla, elaboración de un check list de los equipos de bombeo, elaboración del procedimiento estándar de trabajo y finalmente el programa de lubricación.

Figura 27
Plan de mantenimiento.



A continuación, se detalla cada componente del plan.

3.2.1. Elaboración de las políticas de mantenimiento

Entendida la política como un conjunto de actividades programadas y planificadas que permite conservar o restablecer un sistema productivo a un estado específico, para que pueda cumplir un mantenimiento determinado. Por ello, se han elaborado las políticas de mantenimiento para la planta minera, se

inició con la creación del comité de gestión de mantenimiento, conformado por:

- Presidente.
- Secretario.
- Vocal 1.
- Vocal 2.

En la empresa minera en estudio, el superintendente de mantenimiento ha convocado a una reunión extraordinaria para la conformación del comité de gestión de mantenimiento, tal como se muestra en la figura 28.

Figura 28

Reunión para conformar el comité de gestión de mantenimiento.



En esta reunión se conformó el siguiente comité de mantenimiento, mediante votación:

- Presidente: Supervisor de mantenimiento de la planta minera.
- Secretario: Jefe del área de mantenimiento de equipos de procesos.

- Vocal 1: Supervisor de guardia A de la planta minera
- Vocal 2: Jefe de la guardia B de la planta minera

Este comité tiene las siguientes funciones:

- Funciones del presidente del comité de gestión de mantenimiento: planear y apoyar en la instalación de la gestión de mantenimiento, desarrollar y conducir el entrenamiento, dar asistencia en el desarrollo y ejecución del entrenamiento de habilidades, mantener un inventario de habilidades, medir los avances y éxitos y proveer el enlace con los demás integrantes del comité.
- Funciones de todos los integrantes del comité de gestión de mantenimiento: proveer guías generales y liderazgo, establecer las metas, desarrollar la visión, estrategias y políticas de la gestión de mantenimiento, apoyar en la instalación de la gestión de mantenimiento a través del financiamiento y personal, monitorear el avance y el éxito de la instalación.

Este comité ha elaborado las políticas de mantenimiento de la empresa minera, teniendo en cuenta:

- La maximización de la disponibilidad de los equipos, involucrando la participación de todos los ingredientes de la planta minera logrando que todo el personal se esfuerce en el logro de cero averías y cero defectos.
- Lograr equipos de trabajo altamente calificados y tener como resultado trabajos de Calidad.
- El desarrollo personal competente y poli funcional, mediante adiestramiento y capacitación, consiguiendo la máxima identificación con los objetivos de la empresa.

- Implicar a todos los trabajadores en las mejoras, mediante los círculos de Calidad.
- Conseguir que los ambientes de trabajo sean agradables (Limpios y Ordenados), a través de Grupos de trabajo (Operación - Mantenimiento), participativos y eficientes.

Teniendo en cuenta estos requerimientos, la política que se ha estructurado fue:

Figura 29

Políticas de mantenimiento en la planta minera en estudio.

Planta minera	Código: Pol-001	Rev Nro: 0
	Fecha de aprobación:	Fecha de emisión:
<p>POLÍTICA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO A LOS EQUIPOS DE BOMBEO</p> <p>“Garantizar la ejecución del plan de gestión de mantenimiento oportunamente de los sistemas y equipos de bombeo en la planta minera, además, el personal se compromete a asegurar el funcionamiento adecuado de los equipos para lograr Cero Averías y Cero Defectos”</p>		
Elaborado por: Donal Torres Cargo: Presidente del Comité	Verificado por: Cargo:	Aprobado por: Cargo:

Estas Políticas fueron difundidas en las zonas con mayor visibilidad de la planta de áreas de molienda, para que su cumplimiento sea cabal.

3.2.2. Formato para reportar fallas

El reporte de fallas de las bombas se registra teniendo en cuenta las siguientes actividades:

- Realizar inspecciones visuales durante la operación de las bombas, ya que permite detectar problemas como fugas de solución o de lubricante, se pueden detectar fallas por medio del sonido y también identificar condiciones inseguras para el operador.
- Asegurar que la bomba esté operando dentro de las condiciones establecidas.
- Monitorear la temperatura de operación de la bomba, asegurarse que estén en los rangos normales de operación, debido que a condiciones normales esta variable es muy estable, si se presenta temperaturas fuera del rango establecido puede que se estén presentando problemas por fricción de elementos lo que indicará que hay un nivel bajo de lubricación.
- Se ha diseñado una hoja de información para llevar el control e historial de los fallos que se presenten en el funcionamiento de la bomba.

En la figura 30, se muestra la ficha de reporte de fallas, compuesta por ocho partes, la primera parte se detallan los datos generales de los equipos como marca, modelo, fecha de la falla y el encargado de reportar la falla. La segunda parte describe a detalle la falla. En la tercera parte se coloca las horas y minutos de pérdida de bombeo. En la cuarta parte se especifican los componentes que se han dañado durante la falla mediante una inspección visual. La quinta parte muestra las probables causas que originaron la falla, la sexta parte muestra acciones correctivas para reparar la falla, la séptima parte clasifica la falla en graves, medias o leves dependiendo de la parte del equipo que haya fallado, y finalmente en la octava parte se registran las evidencias mediante fotos.


Figura 30
Formato de 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 _____
1. DATOS GENERALES DEL EQUIPO / SISTEMA		
EQUIPO :	<input style="width: 150px;" type="text"/>	OT: <input style="width: 150px;" type="text"/>
MARCA :	<input style="width: 150px;" type="text"/>	CODIGO ELLIPSE: <input style="width: 150px;" type="text"/>
TAG :	<input style="width: 150px;" type="text"/>	MODELO:P/N <input style="width: 150px;" type="text"/>
	<input style="width: 150px;" type="text"/>	AREA : <input style="width: 150px;" type="text"/>
FECHA DE FALLA :	<input style="width: 50px;" type="text"/> <input style="width: 50px;" type="text"/> <input style="width: 50px;" type="text"/>	REPORTAN: <input style="width: 150px;" type="text"/>
		SUPERVISOR <input style="width: 150px;" type="text"/>
2. DESCRIPCION EN DETALLE DE LA FALLA		
3. HORAS PERDIDAS DE PRODUCCION APROX.		
<input style="width: 50px;" type="text"/> Horas <input style="width: 50px;" type="text"/> Mnts.		
4. COMPONENTES DAÑADOS		
	INSPECCION VISUAL	# PARTE
<input style="width: 50px;" type="text"/>		
<input style="width: 50px;" type="text"/>		
<input style="width: 50px;" 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: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>
<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>
<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>
7. CLASIFICACION DE FALLA:		
DISEÑO	<input style="width: 20px;" type="text"/>	NOTAS: <div style="border: 1px solid black; height: 80px; background-color: #ffff00;"></div>
MATERIALES	<input style="width: 20px;" type="text"/>	
ENSAMBLE	<input style="width: 20px;" type="text"/>	
INSTALACION	<input style="width: 20px;" type="text"/>	
OPERACIÓN FUERA DE DISEÑO	<input style="width: 20px;" type="text"/>	
ERROR DE MANTENIMIENTO	<input style="width: 20px;" type="text"/>	
ERROR DE OPERACIÓN	<input style="width: 20px;" type="text"/>	
8. REGISTRO FOTOGRAFICO		
Revisado: <input style="width: 200px;" type="text"/>		Fecha de Reporte: <input style="width: 50px;" type="text"/> <input style="width: 50px;" type="text"/> <input style="width: 50px;" type="text"/>

Este formato ha sido llenado por el comité de gestión de mantenimiento durante la ocurrencia de una falla, como prueba para su posterior implementación (ver figura 31).

Figura 31

Formato de reporte de falla llenado.

Mantenimiento de Procesos	FORMATO Reporte de Falla		Código: PMA-MD1-P02-F02 Página 1 de 1 Versión: 1 Fecha de publicación: 24-01-2020	
		N° de Reporte	0020	
1. DATOS GENERALES DEL EQUIPO / SISTEMA				
EQUIPO:	Bomba de lodos	OT:	939750707-	
MARCA:	Warman	CODIGO ELLIPSE:		
TAG:	1760-PU-15065	MODELO:P/N	100 HP	
FECHA DE FALLA:	14 04 2020	AREA:	Procesos	
		REPORTAN:	Javier Rojas	
		SUPERVISOR:	Napoleon Huaitarimachi	
2. DESCRIPCION EN DETALLE DE LA FALLA				
Falla en b caja de rodamiento de bomba de lodos.				
3. HORAS PERDIDAS DE PRODUCCION APROX.				
<input type="checkbox"/> Horas - <input type="checkbox"/> Mnts.				
4. COMPONENTES DAÑADOS				
CANT.	INSPECCION VISUAL	# PARTE		
01	Cambio de rodamientos en caja de rodamientos			
02	Cambio de Sello Mecanico			
03	Lubricación de rodamientos			
5. PROBABLE CAUSA DE FALLA:				
6. ACCION CORRECTIVA TOMADA Y PLANEADA:				
QUE	QUIEN	CUANDO		
Mantenimiento correctivo	Mecanico	inmediato		
7. CLASIFICACION DE FALLA:				
DISEÑO		GRAVE	<input checked="" type="checkbox"/>	NOTAS:
MATERIALES	<input checked="" type="checkbox"/>	Falla mayor a 3 horas		
ENSAMBLE		MEDIA	<input type="checkbox"/>	
INSTALACION		Falla entre 1/2 hr a 3 hrs		
OPERACION FUERA DE DISEÑO		LEVE	<input type="checkbox"/>	
ERROR DE MANTENIMIENTO		Falla menor a 1/2 hr		
ERROR DE OPERACION				
8. REGISTRO FOTOGRAFICO				
 Revisado: <input type="text"/>				
			Fecha de Reporte: 15 04 2020	

3.2.3. Check List para equipos de bombeo

Siguiendo con el plan de gestión de mantenimiento, se elaboró el check list diario de los equipos de bombeo, se realiza mediante la figura 32, con ello se logró vigilar el comportamiento de la bomba y detectar anomalías que puedan representar riesgos a la seguridad de la operación y de las personas.

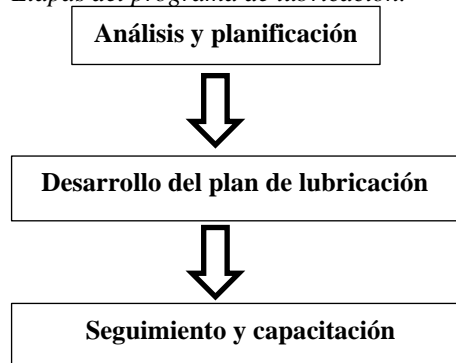
Figura 32
Check list de los equipos de bombeo.

		FORMATO																Código:												
MANTENIMIENTO PROCESOS		Check list - AWTP																Versión: 00												
																		Página: 1												
MECÁNICO:																		FECHA:												
SISTEMA		INSPECCIÓN VISUAL										PARAMETROS						LUBRICACIÓN		COMENTARIOS										
SUBPROCESO	EQUIPO	TAG	Base-Soportes	Pedestales	Piermos de anclaje de motor y/o bomba y/o armazon principal ajustados, libres de corrosión y sin daños	Tensión de fajas	Alineamiento de poleas	Punto 3	Punto 4	check	succión	descarga	Especificada	Lectura	Especificada	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4		Especificada	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Especificación	Lectura	Nivel del vaso lubricador en bomba y/o motor (sensor verde parpadeando o reengrase)	Nivel de Aceite Reductor	Fuga de Lubricante
Sist. Lodos del clarificador #2	SBPAW005	1760-PU-15061																												
	SBPAW006	1760-PU-15062																												
Sist. Lodos del clarificador #3	SBPAW007	1760-PU-15058																												
	SBPAW008	1760-PU-15059																												
Sist. Bombeo Lodos de los Clarificadores	SBPAW012	1760-PU-15076																												
	SBPAW011	1760-PU-15054																												
	SBPAW010	1760-PU-15075																												
	SBPAW009	1760-PU-15053																												

3.2.4. Programa de lubricación

Se estructuró el plan de lubricación a través de 3 etapas, que se describen en la figura 33.

Figura 33
Etapas del programa de lubricación.



La lubricación es el principal factor a tener en cuenta si se quiere tener un correcto mantenimiento preventivo, mediante una correcta lubricación obtenemos los siguientes beneficios:

- Menos paros imprevistos.
- Menos gastos en repuestos.
- Menos mano de obra en reparaciones.
- Menor consumo de lubricantes.
- Menor consumo energético.
- Más horas de producción.

Tabla 7
Programa de lubricación.

EQUIPO	TAREA	ST	TIPO DE MANTENIMIENTO	LUBRICADOR		Minutos x procedimiento	Veces por año	Horas al año	LUBRICANTE GRASA	LUBRICANTE ACEITE	CANTIDAD DE LUBRICANTE	Frecuencia Dias
				H.H.	# PER	Min		hrs.				
SIST. BOMBEO DE LODOS #1	REENGRASE DE BOMBA	OP	PD	0.5	1	30	2	1.00	MOBILITH 100		60 gms. C/P	180
	REENGRASE DE MOTOR		PD	0.5	1	30	2	1.00	MOBILITH 100		30 gms. C/P	180
SIST. BOMBEO DE LODOS #2	REENGRASE DE BOMBA	OP	PD	0.5	1	30	2	1.00	MOBILITH 100		60 gms. C/P	180
	REENGRASE DE MOTOR		PD	0.5	1	30	2	1.00	MOBILITH 100		30 gms. C/P	180
SIST. BOMBEO DE LODOS #3	REENGRASE DE BOMBA	OP	PD	0.5	1	30	2	1.00	MOBILITH 100		60 gms. C/P	180
	REENGRASE DE MOTOR		PD	0.5	1	30	2	1.00	MOBILITH 100		30 gms. C/P	180
SIST. BOMBEO DE LODOS #4	REENGRASE DE BOMBA	OP	PD	0.5	1	30	2	1.00	MOBILITH 100		60 gms. C/P	180
	REENGRASE DE MOTOR		PD	0.5	1	30	2	1.00	MOBILITH 100		30 gms. C/P	180
SIST. BOMBEO LODOS PLPCR #1	REENGRASE DE BOMBA	OP	PD	0.5	1	30	2	1.00	MOBILITH 100		60 gms. C/P	150
	REENGRASE DE MOTOR		PD	0.5	1	30	2	1.00	MOBILITH 100		40 gms. C/P	150
SIST. BOMBEO LODOS PLPCR #2	REENGRASE DE BOMBA	OP	PD	0.5	1	30	2	1.00	MOBILITH 100		60 gms. C/P	150
	REENGRASE DE MOTOR		PD	0.5	1	30	2	1.00	MOBILITH 100		40 gms. C/P	150

Asimismo, se lleva un control de lubricación de todos los equipos de bombeo, tal como lo muestra la figura 34:

3.2.5. Procedimiento estándar de trabajo para el mantenimiento de bombas

Los motivos de la elaboración de este procedimiento fueron:

- Las tareas de mantenimiento de equipos de bombeo son susceptibles de generar riesgos y con especial relevancia cuando hablamos de riesgos graves o muy graves.
- Las tareas son consideradas críticas, es decir, tareas en las que una acción u omisión puede generar un accidente.
- Las operaciones a ejecutar son de las llamadas No Rutinarias. Debido precisamente a la circunstancialidad de las tareas puede acarrear que no se sigan todos los pasos establecidos para el trabajo, bien por falta de costumbre, por olvido.

Tabla 8

Procedimiento estándar de trabajo para mantenimiento de equipos de bombeo.

TAREA	: MANTENIMIENTO GENERAL DE BOMBA WAR100DD			
Función	:			
Cargo	:			
Departamento	: MANTENIMIENTO DE BOMBA			
Pre-Requisito de Competencia:		Referencias Relacionadas:		
Nº	PASO (Qué)	EXPLICACIÓN (CÓMO)	CA	NC
1	EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	<ul style="list-style-type: none"> • Casco de Seguridad • Anteojos de Seguridad • Guantes • Botines de Seguridad • Mameluco 		
2	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar tarjetas (log out) y candado (tag out), coordinar con operador/electricista • Verificar los EPPs • Cierre de válvulas de succión y salida, colocar candados • Eliminar presión hidráulica de la línea de purga 		
3	MATERIALES Y HERRAMIENTAS	<p>Materiales (Repuestos)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01 Bocina (334938) • 01 back liner (334946) • 01 boluta liner (334953) • 01 impulsor (334961) • 01 empaque estopa (335042) • 01 porta estopas (335059) • 01 rodamiento de rodillo cónico (428961) • 01 rodamiento cilíndrico (335109) • 01 tapa portarodamiento (335109) • 02 laberintos (335141) • 01 eje (335083) 		

		<ul style="list-style-type: none"> • 01 juego de empaques (335000) • 01 anillo de pistón (335182) <p>Herramientas y Equipos</p> <p>Desarme de la bomba</p> <ul style="list-style-type: none"> • Llave 2 3/16, 1 7/16, 15/16, 3/4 • Llave Allen 3/8, • Llave francesa de 10" • Botador y Martillo • Tecla del taller 2 ton • Pata de cabra • Destornillador plano • Extractor hidráulico de rodamientos <p>Limpieza de la bomba</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lavador eléctrico (taller) • Disolvente WD-40 • Espátula 		
4	PLANIFICACIÓN Y PREPARACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar los Procedimientos de MYSRL. • Revisar los manuales de los equipos. 		
5	DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO	<p>DESMONTAJE EN TALLER</p> <ul style="list-style-type: none"> • Retirar conexión eléctrica • Desmontaje de todas las piezas <p>INSPECCIÓN, REVISIÓN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de todas las piezas desmontadas • Verificar medidas y ajustes de caja de rodamientos, eje (para rodamiento) de acuerdo a medidas estandarizadas • Verificar soldadura del impulsor <p>MONTAJE DEL EQUIPO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colocar rodamiento en el punto 4 del eje • Montar eje en el frame (cuerpo de bomba) y tapar el rodamiento con la respectiva grasa • Colocar y ajustar la tuerca del eje • Colocar el segundo rodamiento en el punto 3 del eje con la respectiva grasa y tapa. • Colocar la bocina y el o ring de bocina • Colocar el gland, caja de estopa , estopa y el espaciador del eje. • Colocar la tapa de succión o tapa interior con su respectivo o ring • Colocar el back liner • Colocar impulsor • Colocar seguro, tuerca y ajustar • Colocar la boluta liner • Probar giro libre de impulsor • Colocar la boluta con su respectivo liner • Dar el ajuste necesario a todos los pernos. <p>MONTAJE DE BOMBA EN CAMPO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Retornar a planta • Colocar tubería en bomba • Retirar candados de seguridad y lanzar equipo <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de zonas con lubricantes y herramientas • Verificar cantidad y estado de herramientas <p>TRASLADO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Traslado a taller • Devolución de herramientas al pañol <p>REPORTE DE ORDEN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Firma del operador del área de trabajo y responsable mecánico 		

		<ul style="list-style-type: none"> Ingreso datos MINS, cierre OT y firma del responsable <p>Limpieza de partes de la bomba</p> <ul style="list-style-type: none"> Se limpia el eje del impulsor con ayuda del disolvente WD-40. Usando la espátula se limpia bien la voluta. <p><u>Es esencial que todas las piezas estén completamente limpias antes del ensamble. Se recomienda el lavado de las piezas en el lavadero eléctrico del taller.</u></p> <p><u>Se debe realizar la limpieza correspondiente a cada una de las piezas que formaran parte de la bomba, limpieza de la voluta, del eje del impulsor, la caja de rodamientos, la tapa de caja de rodamientos, el gland, etc.</u></p>		
6	COMUNICACIÓN DE RESULTADOS	<ul style="list-style-type: none"> Indicar al supervisor de operaciones las irregularidades que se manifiestan en estas labores. Reportar a la supervisión las mejoras para las próximas operaciones, y así evitar tiempos perdidos y mejorar la producción, sin descuidar los controles de seguridad necesarios. Hacer recomendaciones en caso sea necesario corregir condiciones o prácticas sub estándares. 		
Preparado por:		Fecha: 22 de febrero 2020	Nombre del Trabajador:	
Verificado por:		Fecha:		

“CA” = COMPETENCIA ALCANZADA

“NC” = NO COMPETENTE

3.2.6. Ficha de control de parámetros de operación, funcionamiento y características de los equipos de bombeo

Siguiendo con el plan se ha elaborado una ficha de control de parámetros de operación y funcionamiento mostrado en la tabla 10, para garantizar el funcionamiento de los equipos.

Tabla 9

Ficha de control de parámetros de operación y funcionamiento de los equipos de bombeo.

BOMBAS CENTRIFUGAS BOMBAS DE LODOS HACIA EL PAD Hoja de Datos (SI Unidades)					Hoja 1																																																																		
Hoja de Datos Nº: DS-GMI-1760-4-15-030		Num. Etiqueta: 1760-PU-15053/15054/15075/15076																																																																					
Proyecto Nº: 160716-003	RFQ Number: _____	Motor Spec Nº: _____	Fecha: 04-Abr-08																																																																				
Nombre Proyecto: Planta AWTP Este	Num. Esp. Tec: _____	Num. Motor: _____	Por: C. Yalán																																																																				
Notas: <input type="radio"/> Indicaciones completadas por el cliente <input type="checkbox"/> Por Vendedor <input checked="" type="checkbox"/> Por Cliente o Vendedor																																																																							
<input type="radio"/> Por: Compañía Minera Yanacocha S.R.L.		<input type="radio"/> Unidades: SI																																																																					
<input type="radio"/> Ubicación Carachugo - Cajamarca		<input type="radio"/> Servicio: Lodos																																																																					
<input type="radio"/> Cantidad: 4	<input type="checkbox"/> Tamaño de Bomba: _____	<input type="checkbox"/> Tipo: _____																																																																					
<input type="checkbox"/> Fabricado: _____	<input type="checkbox"/> Modelo: _____	<input type="checkbox"/> Numero de Serie: _____																																																																					
<input type="checkbox"/> Vendedor: _____																																																																							
GENERAL																																																																							
Vendedor <input type="checkbox"/> Nombre: _____		Cliente <input type="radio"/> Nombre: Compañía Minera Yanacocha S.R.L.																																																																					
Información: <input type="checkbox"/> Telefono: _____		Información: <input type="radio"/> Telefono: _____																																																																					
<input type="checkbox"/> e-mail: _____		<input type="radio"/> e-mail: _____																																																																					
<input type="radio"/> CONDICIONES DE OPERACIÓN			<input type="checkbox"/> FUNCIONAMIENTO																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Nominal</th> <th>Cond. 1</th> <th>Cond. 2</th> <th>Cond. 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Capacidad (m³/hr)</td> <td>110</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cabeza Estática (m of fluid)</td> <td>95.50</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TDH (m of fluid)</td> <td>125.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TDH (mH₂O)</td> <td>141.25</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Poder Hidraulico (kW)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Operacion (h /day)</td> <td>24.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NPSH Disponible (m of fluid)</td> <td>4.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Nominal	Cond. 1	Cond. 2	Cond. 3	Capacidad (m ³ /hr)	110				Cabeza Estática (m of fluid)	95.50				TDH (m of fluid)	125.00				TDH (mH ₂ O)	141.25				Poder Hidraulico (kW)					Tiempo de Operacion (h /day)	24.00				NPSH Disponible (m of fluid)	4.00				<input type="checkbox"/> Curvas de Funcionamiento No. _____ <input type="checkbox"/> Velocidad (rpm) _____																												
	Nominal	Cond. 1	Cond. 2	Cond. 3																																																																			
Capacidad (m ³ /hr)	110																																																																						
Cabeza Estática (m of fluid)	95.50																																																																						
TDH (m of fluid)	125.00																																																																						
TDH (mH ₂ O)	141.25																																																																						
Poder Hidraulico (kW)																																																																							
Tiempo de Operacion (h /day)	24.00																																																																						
NPSH Disponible (m of fluid)	4.00																																																																						
Sistema de Diseño <input type="radio"/> Operación independiente <input type="radio"/> Operación Paralela <input checked="" type="radio"/> Operación en serie Con item Número: _____			Medidas de Capacidad <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Nominal</th> <th>Max</th> <th>Normal</th> <th>Min</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> NPSH Requerido (m)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Sumersión Mínima</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Diferencia Total de Altura @ Impulsor Nominal (m)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Maxima Diferencia de Altura @ Impulsor Nominal (m)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Flujo Continuo Mínimo (m³/h)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Nominal	Max	Normal	Min	<input type="checkbox"/> NPSH Requerido (m)					<input type="checkbox"/> Sumersión Mínima					<input type="checkbox"/> Diferencia Total de Altura @ Impulsor Nominal (m)					<input type="checkbox"/> Maxima Diferencia de Altura @ Impulsor Nominal (m)					<input type="checkbox"/> Flujo Continuo Mínimo (m ³ /h)																																								
	Nominal	Max	Normal	Min																																																																			
<input type="checkbox"/> NPSH Requerido (m)																																																																							
<input type="checkbox"/> Sumersión Mínima																																																																							
<input type="checkbox"/> Diferencia Total de Altura @ Impulsor Nominal (m)																																																																							
<input type="checkbox"/> Maxima Diferencia de Altura @ Impulsor Nominal (m)																																																																							
<input type="checkbox"/> Flujo Continuo Mínimo (m ³ /h)																																																																							
Servicio <input checked="" type="radio"/> Continuo <input type="radio"/> Intermitente (Encendidos/Día) _____			<input type="checkbox"/> Area de Operación Permitida: _____ a _____ (m ³ /hr) <input type="checkbox"/> Punto de Mejor Eficiencia para Impulsor Nominal (m ³ /hr) <input type="checkbox"/> Velocidad Especifica de Succión _____ (m/s) <input type="checkbox"/> Velocidad Periferica del Impulsor _____ (m/s) <input type="checkbox"/> Diam. Impulsor: Nominal _____ Max _____ Min _____ (mm)																																																																				
Metodo de Sistema de Control <input type="radio"/> Velocidad <input type="radio"/> Flujo <input checked="" type="radio"/> Nivel <input type="radio"/> Temperatura <input type="radio"/> Presion			<input type="checkbox"/> Eficiencia Nominal de la Bomba _____ (%) <input type="checkbox"/> Potencia Nominal de la Bomba _____ (kW) <input type="checkbox"/> Maxima Potencia @ Impulsor Nominal _____ (kW) Rotacion (Vista Ext. del Acopla. de la Bomba) <input type="checkbox"/> CW <input type="checkbox"/> CCW <input type="checkbox"/> Correccion por Viscosidad _____																																																																				
<input type="radio"/> LIQUIDO A SER BOMBEADO																																																																							
Fluido a ser Bombeado: Lodos																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Ratio</th> <th>Max</th> <th>Normal</th> <th>Min</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Temperatura de Bombeo (°C)</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>5</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Presion de Vapor (kPa/psia)</td> <td>1.7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Viscosidad (cp)</td> <td>3.40</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tipo</td> <td>Lodos</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Densidad de Solidos (t/m³)</td> <td>2.90</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tamaño de Sólidos D50 (micrones)</td> <td>20</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tamaño Maximo de Particula (micro)</td> <td>100-150</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Solidos (%peso)</td> <td>17.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Solidos (%volumen)</td> <td>6.6</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Densidad del Fluido (T/m³)</td> <td>1.130</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>9.5-10</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							Ratio	Max	Normal	Min	Temperatura de Bombeo (°C)	10	20	5	0	Presion de Vapor (kPa/psia)	1.7				Viscosidad (cp)	3.40				Tipo	Lodos				Densidad de Solidos (t/m ³)	2.90				Tamaño de Sólidos D50 (micrones)	20				Tamaño Maximo de Particula (micro)	100-150				Solidos (%peso)	17.00				Solidos (%volumen)	6.6				Densidad del Fluido (T/m ³)	1.130				pH	9.5-10				<input type="checkbox"/> Max. Presion de Trabajo Permissible _____ (kPa/psi) @ _____ (°C) <input type="checkbox"/> Prueba Hidrostatica de presión _____ (kPa/psi)					
	Ratio	Max	Normal	Min																																																																			
Temperatura de Bombeo (°C)	10	20	5	0																																																																			
Presion de Vapor (kPa/psia)	1.7																																																																						
Viscosidad (cp)	3.40																																																																						
Tipo	Lodos																																																																						
Densidad de Solidos (t/m ³)	2.90																																																																						
Tamaño de Sólidos D50 (micrones)	20																																																																						
Tamaño Maximo de Particula (micro)	100-150																																																																						
Solidos (%peso)	17.00																																																																						
Solidos (%volumen)	6.6																																																																						
Densidad del Fluido (T/m ³)	1.130																																																																						
pH	9.5-10																																																																						
<input type="radio"/> CONDICIONES DEL SITIO																																																																							
Ubicación <input type="radio"/> Interior <input checked="" type="radio"/> Exterior <input type="radio"/> _____																																																																							
Altitud 4042 (msnm)																																																																							
Rangos de Temperatura Ambiental Min/Max. -5 a 20 (°C)																																																																							
Clasificación en el Area Electrica: <input checked="" type="radio"/> No-clasificada (no peligrosa)																																																																							
<input type="radio"/> Clase _____ Grupo _____ Division _____																																																																							
<input type="radio"/> Grado T _____																																																																							
<input type="radio"/> OBSERVACIONES GENERALES																																																																							
EL VENDEDOR ADJUNTARA LAS CURVAS DE FUNCIONAMIENTO																																																																							
O SU COTIZACION NO SERA CONSIDERADA.																																																																							
LA BOMBA SERA SUMINISTRADA CON MOTOR Y TRANSMISION																																																																							
LA BOMBA TENDRA SELLO DE AGUA																																																																							
SE ADJUNTA HOJA DE DATOS DEL MOTOR																																																																							
DS-GMI-1760-4-15-030-M																																																																							
EL TDH INDICADO ES EL TOTAL, SE SUMINISTRARA 02 BOMBAS EN SERIE, Y 02 BOMBAS EN SERIE PARA STAND BY, DE PREFERENCIA SIMILARES																																																																							

BOMBAS CENTRIFUGAS BOMBAS DE LODOS HACIA EL PAD Hoja de Datos (SI Unidades)		Hoja 2																							
Hoja de Datos IDS-GMI-1760-4-15-030 Num. Etiqueta: 1760-PU-15053/15054/15075/15076 Proyecto Nº: 160716-003 RFQ Number: Motor Spec Nº: Fecha: 04-Abr-08 Nom. Proyecto: Planta AWTP Este Num. Esp. Tec: Num. Motor Por: C. Yalán																									
Notas: <input type="radio"/> Indicaciones completadas por el cliente <input type="checkbox"/> Por Vendedor <input checked="" type="checkbox"/> Por Cliente o Vendedor																									
<input type="checkbox"/> DATOS MECANICOS Tipo de Impulsor <input type="checkbox"/> Cerrado <input type="checkbox"/> Abierto <input type="checkbox"/> Semi-abierto <input type="checkbox"/> Otros _____ Montaje de Caja: <input type="checkbox"/> Pie <input type="checkbox"/> Linea de Centro <input type="checkbox"/> En Linea Vertical <input type="checkbox"/> Ajuste Empalmado Rodamientos: <input type="checkbox"/> Vendedor de Cojinete <input type="checkbox"/> Cojinete Tipo Radial No. _____ <input type="checkbox"/> Cojinete de empuje No. _____ <input type="checkbox"/> Protección del Cojinete <input type="checkbox"/> Ratio de Rigidez de Eje (L^3/D^4) _____ Lubricacion: <input type="radio"/> Aniego <input type="radio"/> Niebla pura <input type="radio"/> Blindado (Grasa) <input type="radio"/> Grasa <input type="radio"/> Niebla de Purga <input checked="" type="radio"/> Sellado (Grasa) <input type="radio"/> Nivel Constante de Aceite Requerido Tipo _____ <input type="checkbox"/> Ventilacion de Cubierta requerida <input type="checkbox"/> Desague con tapon magnético dentro de contenedor <input type="checkbox"/> Aceite refrigerante requerido <input type="checkbox"/> Protector de sello requerido <input type="checkbox"/> Calificación de acuerdo a la norma ISO de Viscosidad _____ <input type="checkbox"/> Otros _____ Conexiones de Boquilla: <input type="checkbox"/> Tamaño <input type="checkbox"/> Nominal <input type="checkbox"/> Revestido <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Succion</td> <td style="width: 30%; border: 1px solid black;"></td> <td style="width: 30%; border: 1px solid black;">ANSI 150#</td> </tr> <tr> <td>Descarga</td> <td style="border: 1px solid black;"></td> <td style="border: 1px solid black;">ANSI 150#</td> </tr> </table> Caso de Conex. Auxiliares: <input type="checkbox"/> Drenaje Requerido <input type="checkbox"/> Tamaño _____ (mm) <input type="checkbox"/> Roscado <input type="checkbox"/> Soldado y Bridado	Succion		ANSI 150#	Descarga		ANSI 150#	<input type="checkbox"/> IMPULSION DE CORREA V Tamaño de la Polea Impulsora _____ Tamaño de la Polea de la Bomba _____ Tamaño de Correa V _____ Eficiencia de Correa V _____ Distancia entre centros de Poleas _____ Tipo de Guarda de Correa V <input type="checkbox"/> Estándar de Vendedor <input type="checkbox"/> Soporte del motor montado <input type="checkbox"/> Sin chispa Observaciones _____ <input type="checkbox"/> ENGRANAJE DE TRANSMISION General <input type="checkbox"/> Provisto por _____ <input type="checkbox"/> Montado por _____ Caracteristicas <input type="checkbox"/> Fabricante _____ <input type="checkbox"/> Ratio _____ Tipo de Aceite : Primer Volumen Lleno (litros) : _____ <input type="checkbox"/> PINTURA Y ENVIO Bomba <input checked="" type="radio"/> Estandar del Vendedor <input type="radio"/> Placa Base <input type="radio"/> Otros _____ <input checked="" type="radio"/> Estandar del Vendedor <input type="radio"/> Otros _____ <input type="radio"/> Otros _____ Envio <input type="checkbox"/> Domestico <input type="checkbox"/> Exportar <input type="checkbox"/> Exportacion en Caja Numero de meses almacenado _____ Peso Total _____ (kg)																		
Succion		ANSI 150#																							
Descarga		ANSI 150#																							
<input type="checkbox"/> MATERIALES Codigo de Clase de Material: _____ Cubierta _____ Impulsor _____ Tapa _____ Eje _____ Extension de Columna _____ Soporte _____ Cubierta de Junta _____ Junta de Impulsor _____ Pernos Cubiertos _____ Cojinete Cubierto _____ Cubierta del Adaptador del Cojinete _____ Cubierta del extremo de los sellos del Cojinete _____ Guarda de Acoplamiento Acero al Carbono Casquillo del sello mecánico _____ Sujetadores del casquillo del sello mecánico _____ Base Metalica de Motor de Bomba _____ Acoplamiento de Motor y Bomba _____	<input type="checkbox"/> INSPECCION Y PRUEBA <input type="radio"/> Inspeccion final Requerida <input type="radio"/> Dias de Notificacion Requeridos _____ <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Pruebas</th> <th style="text-align: center;">No-Atestiguado</th> <th style="text-align: center;">Atestiguado</th> <th style="text-align: center;">Certificado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hidrostatica (Partes)</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>Funcionamiento</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>NPSHR</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>Vibracion</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>Otros _____</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/></td> </tr> </tbody> </table> Requerimiento de material Certificado <input checked="" type="radio"/> Cubierta <input type="radio"/> Tapa <input checked="" type="radio"/> Impulsor <input checked="" type="radio"/> Eje <input type="radio"/> Otros _____ Inspeccion Requerida para Conexiones Soldadas <input checked="" type="radio"/> Estandar del Vendedor <input type="radio"/> Visual <input type="radio"/> _____ Inspeccion Requerida para Bastidores <input checked="" type="radio"/> Estandar del Vendedor <input type="radio"/> Inspeccion Visual <input type="radio"/> Otros _____	Pruebas	No-Atestiguado	Atestiguado	Certificado	Hidrostatica (Partes)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Funcionamiento	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	NPSHR	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Vibracion	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Otros _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pruebas	No-Atestiguado	Atestiguado	Certificado																						
Hidrostatica (Partes)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																						
Funcionamiento	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																						
NPSHR	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																						
Vibracion	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																						
Otros _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																						

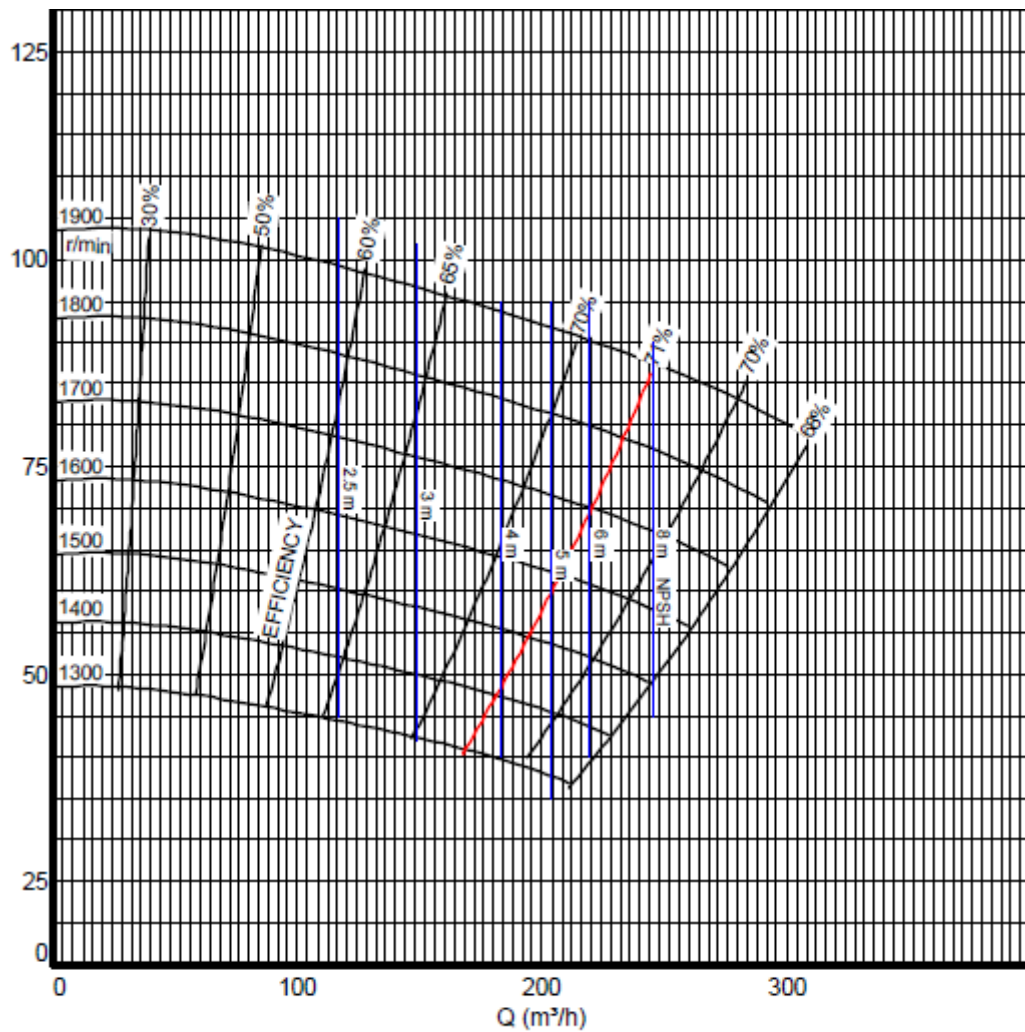
BOMBAS CENTRIFUGAS BOMBAS DE LODOS HACIA EL PAD Hoja de Datos (SI Unidades)		Hoja 3																											
Hoja de datos: IDS-GMI-1760-4-15-030 Num. Etiqueta: 1760-PU-15053/15054/15075/15076																													
Proyecto N°: 160716-003 RFQ Number: _____ Motor Spec N°: _____ Fecha: 04-Abr-08																													
Nom. Proyecto: Planta AWTP Este Num. Esp. Tec: _____ Num. Motor: _____ Por: C. Yalán																													
Notas: <input type="radio"/> Indicaciones completadas por el cliente <input type="checkbox"/> Por Vendedor <input checked="" type="checkbox"/> Por Cliente o Vendedor																													
<input type="checkbox"/> SELLO MECANICO		<input type="checkbox"/> SISTEMA DE LIMPIEZA																											
Provisto por <input checked="" type="checkbox"/> Vendedor de Bomba <input type="checkbox"/> Cliente Montado por <input type="checkbox"/> Vendedor de Bomba <input type="checkbox"/> Cliente Código de clasificación de sello _____ <input type="checkbox"/> Vendedor _____ <input type="checkbox"/> Modelo & Tamaño _____ <input type="checkbox"/> Código de Vendedor _____ Tipo de Sello <input type="checkbox"/> Cartridge: <input type="checkbox"/> API 682 <input type="checkbox"/> Componente Diseño de Sello <input type="checkbox"/> Simple <input type="checkbox"/> Dual <input type="checkbox"/> Gas Seco <input type="checkbox"/> Presurizado <input type="checkbox"/> No presurizado Sello de Camara <input type="checkbox"/> Agujero ahusado <input type="checkbox"/> Agujero cilíndrico Tam. Sello de camara <input type="checkbox"/> Tamaño mayor <input type="checkbox"/> Estandar <input type="checkbox"/> Material de Manga _____ <input type="checkbox"/> Anillo de Bombeo requerido _____ <input type="checkbox"/> Guía de entrada requerida _____ Observaciones _____		Plan de Limpieza <input type="checkbox"/> Líquido de Limpieza _____ <input type="checkbox"/> Suministro de Temperatura (Min/Max) _____ / _____ (°C) <input type="checkbox"/> Gravedad Especifica _____ <input type="checkbox"/> Calor Especifico _____ (kJ/kg °C) <input type="checkbox"/> Presión de Vapor _____ (kPa abs) @ _____ (°C) <input type="checkbox"/> Presión Requerida (Min/Max) _____ / _____ (kPa) <input type="checkbox"/> Presión de func. Máx. permitida del sist. secundario del sello _____ (kPa) <input type="checkbox"/> Temperatura Requerida (Min/Max) _____ / _____ (°C) Sello sec. para limpieza Tuberías <input type="checkbox"/> Tubería <input type="checkbox"/> Conducto Material <input type="checkbox"/> 316 SS <input type="checkbox"/> Acero al Carbono <input type="checkbox"/> Otros _____ <input type="checkbox"/> Tamaño de Tubería _____ Ensamble de Tubería <input type="checkbox"/> Roscado <input type="checkbox"/> Uniones <input type="checkbox"/> Bridado <input type="checkbox"/> Tubo con accesorios _____ <input type="checkbox"/> Casquillo Soldado Observaciones _____																											
<input type="checkbox"/> SELLO DE CASQUILLO		<input type="checkbox"/> INSTRUMENTACION DEL SISTEMA DE SELLO																											
Conexiones Requeridas <input type="checkbox"/> Enfriamiento <input type="checkbox"/> Limpieza <input type="checkbox"/> Drenaje <input type="checkbox"/> Otros _____ <input type="checkbox"/> Guía de Valvula Reguladora _____ <input type="checkbox"/> Materiales _____		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Sello Primario</th> <th style="text-align: center;">Indicador</th> <th style="text-align: center;">Interruptores</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Flujo</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Temperatura</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Presión</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Sello Secundario</td> </tr> <tr> <td>Flujo</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Presión</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Nivel</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Observaciones _____</td> </tr> </tbody> </table>	Sello Primario	Indicador	Interruptores	Flujo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Temperatura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presión	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sello Secundario			Flujo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presión	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nivel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Observaciones _____		
Sello Primario	Indicador	Interruptores																											
Flujo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																											
Temperatura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																											
Presión	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																											
Sello Secundario																													
Flujo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																											
Presión	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																											
Nivel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																											
Observaciones _____																													
<input type="checkbox"/> SELLO LIMPIADOR		<input type="checkbox"/> PLANES DE REFRIGERACIÓN O CALEFACCIÓN																											
Plan de limpieza Primaria No. _____ <input type="checkbox"/> Limpieza con Líquido Externo <input type="checkbox"/> Temperatura de Suministro (Min/Max) _____ / _____ (°C) <input type="checkbox"/> Gravedad Especifica _____ <input type="checkbox"/> Calor Especifico _____ (kJ/kg °C) <input type="checkbox"/> Presión de Vapor _____ (kPa abs) @ _____ (°F) <input type="checkbox"/> Caudal Requerido (Min/Max) _____ / _____ (m ³ /hr) <input type="checkbox"/> Presión Requerida (Min/Max) _____ / _____ (kPa) <input type="checkbox"/> Temperatura Requerida (Min/Max) _____ / _____ (°C) Limpieza de sello en Tuberías Principales <input type="checkbox"/> Tubería <input type="checkbox"/> Conducto <input type="checkbox"/> Otros _____ Material <input type="checkbox"/> 316 SS <input type="checkbox"/> Acero al carbono <input type="checkbox"/> Otros _____ <input type="checkbox"/> Tubería/Tamaño de Tubos _____ Ensamble de Tubería <input type="checkbox"/> Roscado <input type="checkbox"/> Uniones <input type="checkbox"/> Bridado <input type="checkbox"/> Tubo con accesorios _____ <input type="checkbox"/> Casquillo Soldado Observaciones _____		<input type="radio"/> Piping Plan No. _____ <input type="checkbox"/> Nombre del Fluido _____ <input type="checkbox"/> Temperatura de Salida _____ (°C) <input type="checkbox"/> Temperatura de Entrada _____ (°C) <input type="checkbox"/> Flujo Nominal _____ (m ³ /hr) <input type="checkbox"/> Presión de Suministro _____ (kPa) <input type="checkbox"/> Max D P Permissible _____ (kPa) <input type="checkbox"/> Tubería Galvanizada <input type="checkbox"/> Tubería de Acero Inoxidable <input type="checkbox"/> Vista del Indicador de Flujo <input type="checkbox"/> Valvula de cierre Observaciones _____																											

Adicionalmente a la utilización de la ficha de control de parámetros, se va a realizar el control gráfico de eficiencia de los equipos de bombeo otorgado por la marca Vulco, a través de la figura 35.

Figura 35

Parámetros de operación de las bombas Warman.

WARMAN PUMP						IMPELLER: EHRM10145				
SIZE	FRAME		TYPE			VANES	TYPE	IMPELLER MAT'L	VANE ø	LINER MAT'L
100	DD	E	HRM			4	Closed	Metal	400	Metal/Polymer
	EE	Q								
	R									
GLAND SEALED PUMP										
Frame	DD	E	EE	Q	R	Normal Max.	Metal	1930		
Rating [kW]	110	120	225	150	300	[r/min]	Polymer	1315		



3.3. Análisis de las mejoras en la disponibilidad de los equipos de bombeo en una planta minera

3.3.1. Alternativas de mejora

Para reducir las fallas o sus tiempos fue necesario evaluar la mejora para cada causa, para ello se realizó la tabla 11.

Tabla 10
Mejora de las causas de la baja disponibilidad.

Causa del problema	Alternativa de mejora
Deficiencias en los mantenimientos	Plan de mantenimiento
Falta de mantenimientos	Plan de mantenimiento
Desgaste acelerado de los componentes de la bomba	Plan de mantenimiento
Desgaste prematuro de los rodamientos	Control de parámetros y plan de mantenimiento
Fugas en la caja de relleno	Plan de mantenimiento
Desgaste en los embalajes	Plan de mantenimiento
Sobrecalentamiento o aislamiento de la bomba	Plan de mantenimiento
Desborde en la tolva	Control de parámetros
Cavitación de la bomba	Control de parámetros
Fluido bombeado con alto contenido en sólidos	Control de parámetros
Fallas en las descargas	Control de parámetros
Niveles altos de amperaje en el motor	Control de parámetros
Pérdida de cebado en la bomba	Control de parámetros
Baja capacidad de bombeo	Control de parámetros
Presión insuficiente	Control de parámetros
Altos niveles de acidez	Control de parámetros

En la tabla 11, se evidencia las causas de la baja disponibilidad y sus posibles mejoras para revertir esta problemática.

3.3.2. Mejora en la reducción de tiempo de paradas por fallas

La mejora obtenida con el plan de mantenimiento se evidencia en la reducción de los tiempos de paradas para el mantenimiento.

Tabla 11
Reducción de tiempos de parada

Prioridad	Parada	Horas antes del diseño	Horas después del diseño	Horas reducidas
2	Instalación de sensor de Presión	4	4	0
2	Instalación de sensor de Presión	4	4	0
2	Tubería en mal estado	6	0	6
1	Junta expansiva rota Bomba PU-15075	6	2	4
1	Fuga de lodos por sellos bomba PU-15075	12	0	12
1	Valvula 8" d descarga Bomba 1760-PU15075	4	0	4
1	Niple 2" picado - Línea purga PU-15054	1	0	1
2	Válvula de salida de bomba de lodos	4	2	2
1	Junta expansiva rota Bomba 1760-PU-15075	6	4	2
3	Desalineamiento de Poleas/Faja	4	2	2
2	Desalineamiento de Poleas/Faja	4	4	0
2	Soltura Mecánica de la posición del Rodamiento	12	8	4
2	Bomba en mal estado.	12	8	4
2	Desalineamiento Paralelo - Angular	4	2	2
2	Picadura de tubería	2	0	2
2	desalimiento de poleas	4	2	2
1	Deficiencia de Lubricación - fricción	1	0	1
2	revisión valvula agua de sellos PU-15054 AWTP	1	1	0
3	inst SW flujo agua sello bbas lodos awt	2	2	0
2	Soltura Mecánica de la posición del Roda	12	8	4
3	ALINEAMIENTO BBA LODOS pu-15054 AWTP	4	2	2
2	Desalineamiento Paralelo - Angular	4	2	2
1	Niple 2" del manometro picado B.PU-15053	1	0	1
1	Niple 2" sensor presión PU-15075 ROTO	1	0	1
1	Fuga de solución por junta expansiva de	2	0	2
2	fuga por carcasa de bomba	12	8	4
1	sobrecarga en breaker y contactor arranc	1	1	0
2	Sello Roto	12	8	4
3	Fuga por bomba de lodos	6	0	6
2	Equipo en falla	4	0	4
3	bomba con fuerte ruido	12	0	12

3	fuga lodos por sellos	12	0	12
3	cambio partes desgaste PU-15053 lodos al	12	8	4
3	COMPONENTES CON DESGASTE	12	0	12
3	DESGASTE EN COMPONENTES	12	0	12
3	CAMBIO PARTES DESGASTE PU-15075 lodos pa	12	8	4
3	CAMBIO PARTES DESGASTE PU-15076 lodos pa	12	8	4
1	Fuga lodos junta expansiva PU-15075	2	0	2
1	Desalineamiento de Poleas/Faja	4	2	2
1	cambiar check y valvula descarga línea	4	2	2
3	inst sw flujo valv solenoide PU-15076/54	2	0	2
3	fuga lodos por sello mecánico	12	8	4
2	Fuga de solución por sello de Bomba	12	8	4
1	fuga lodos brida salida bomba	2	0	2
TOTAL DE HORAS REDUCIDAS				156

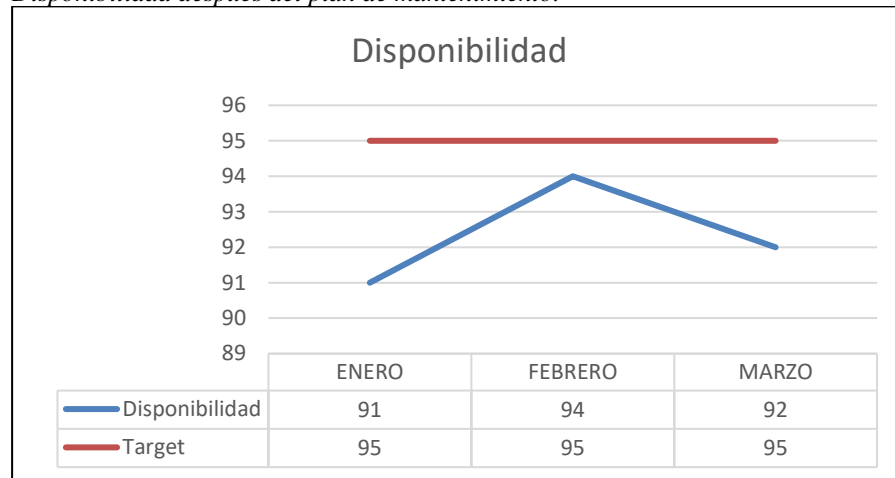
Con el plan de gestión de mantenimiento se reducirán 156 horas por fallas en los equipos del sistema de bombeo.

3.3.3. Mejora de los indicadores

Disponibilidad:

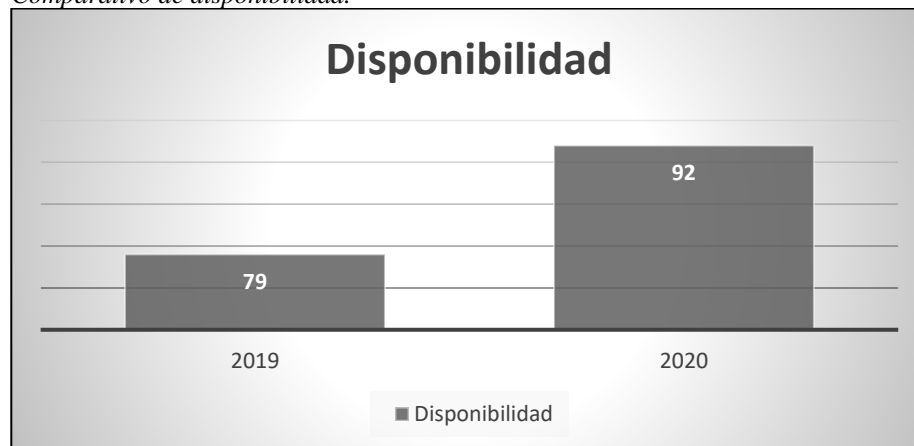
La disponibilidad después del diseño se evaluó desde enero hasta marzo del 2020, los resultados se muestran en la figura 36, evidenciando que la disponibilidad se acerca al target establecido por la empresa que es 95%, en el mes de enero se calculó 91%, febrero 94% y marzo 92%.

Figura 36
Disponibilidad después del plan de mantenimiento.



Con el resultado de la figura 36, se obtiene un promedio de 92% para el año 2020, evidenciando que los resultados se acercan al target establecido por la empresa, siendo el más cercano en febrero (94%).

Figura 37
Comparativo de disponibilidad.



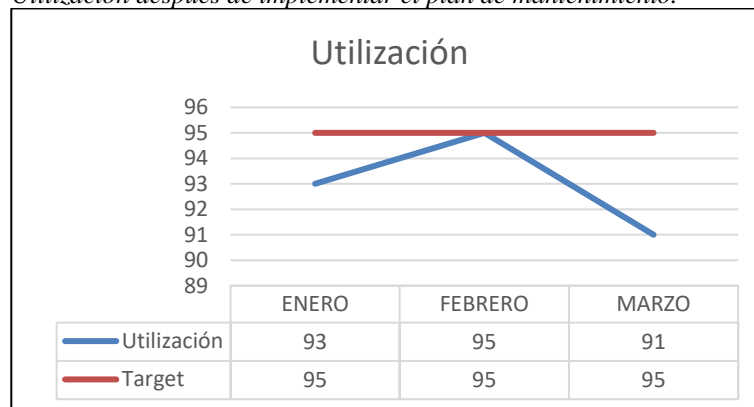
En la figura 37, se evidencia que la disponibilidad en el 2019 fue de 79%, sin embargo, en el 2020 se diseñó el plan de mantenimiento y se obtuvo una disponibilidad de 92%, es decir, este indicador se incrementó 13% debido al plan propuesto.

Utilización:

La utilización también se evaluó después del diseño desde enero hasta marzo del 2020, los resultados se muestran en la figura 38, evidenciando que la utilización se acerca y en febrero se llegó al target establecido por la empresa que es 95%, en el mes de enero se calculó 93%, febrero 95% y marzo 91%.

Figura 38

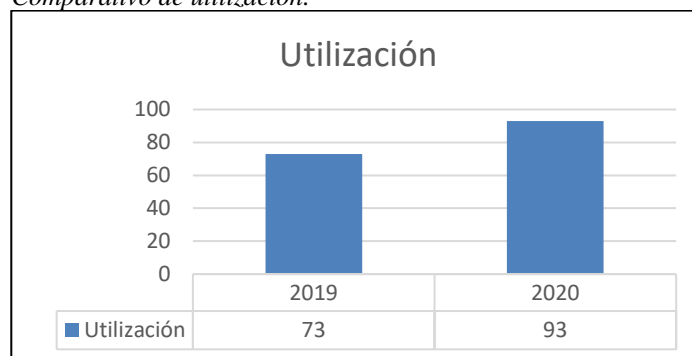
Utilización después de implementar el plan de mantenimiento.



En la figura 38, se analizaron tres meses del 2020 evidenciando que en el mes de febrero se alcanzó el target establecido por la empresa, con estos datos se elaboró la figura 39 en donde se compara la utilización antes y después del diseño.

Figura 39

Comparativo de utilización.



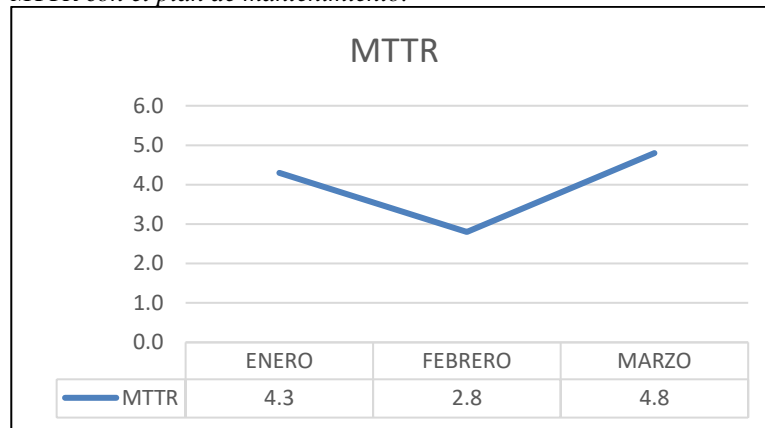
En la figura 39, se muestra la utilización en el 2019 que es 73%, sin embargo, al implementar el plan de mantenimiento se incrementó a 93%, evidenciando que la mejora es de 20%.

MTTR:

El MTTR se ha reducido en los tres meses del 2020, debido al diseño del plan de mantenimiento siendo 4.3 en enero, 2.8 en febrero y 4.8 en marzo, por lo tanto, el tiempo de reparación promedio es de 3.97 horas.

Figura 40

MTTR con el plan de mantenimiento.

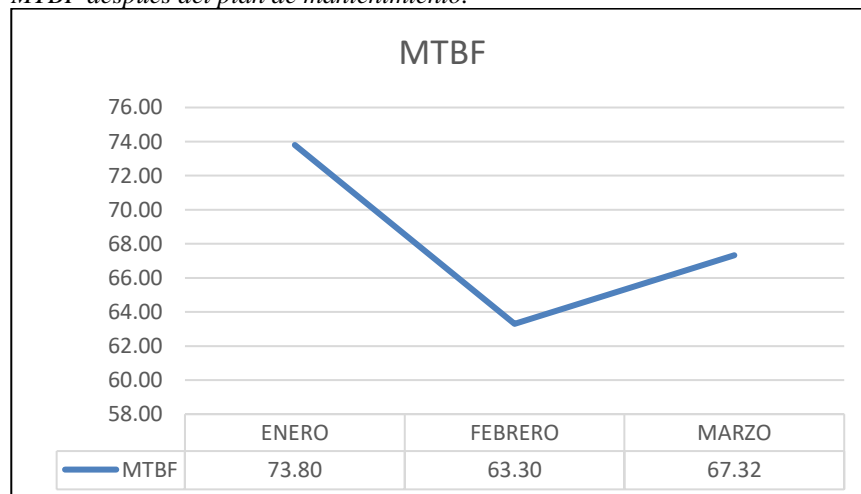


MTBF:

El MTBF se ha reducido en los tres meses del 2020, también debido al diseño del plan de mantenimiento siendo 73.8 en enero, 63.30 en febrero y 67.32 en marzo, por lo tanto, el tiempo medio entre fallas promedio es de 68.14 horas.

Figura 41

MTBF después del plan de mantenimiento.



3.3.4. Resumen de la comparación de los indicadores

Con los cálculos de los indicadores antes y después del diseño del plan de mantenimiento, se ha comparado en la tabla 13 y se evidenció la mejora obtenida.

Tabla 12
Resumen comparativo de los indicadores.

Indicador	Antes del diseño	Después del diseño	Mejora
Disponibilidad	79%	92%	13%
Utilización	73%	93%	20%
MTBF	34.19 horas	68.14 horas	34 horas
MTTR	8.94 horas	3.97 horas	4.97 horas

De la tabla 13, se determina que, con el plan de mantenimiento, la disponibilidad mejora 13%, la utilización mejora 20%, el MTBF se incrementó 34 horas, es decir que el tiempo medio entre fallas es cada vez mayor ya que ocurren menos fallas; y el MTTR se mejoró 4.97 horas, es decir las fallas se van a reparar en el menos tiempo.

3.4. Análisis económico

Para el análisis económico se ha realizado un flujo de caja con cálculo de VAN, TIR y relación beneficio/costo (B/C), estas fórmulas nos ayudaron a analizar qué tan oportuno es el plan de gestión de mantenimiento en los equipos de bombeo, para que este proyecto sea realmente rentable, el valor del VAN debe ser siempre mayor que cero. Esto indicará que en un plazo estimado (5 años) podremos recuperar la inversión que ha puesto en marcha el negocio y tendremos más beneficio que si dicha inversión se hubiese puesto a renta fija. El análisis económico está compuesto por tres indicadores, el primero es la inversión, el segundo el flujo saliente y el tercero el flujo entrante.

3.4.1. Costo de inversión

La inversión está representada por todos los costos de elaboración del plan de gestión de mantenimiento de los equipos de bombeo y se detallan en la tabla 14.

Tabla 13
Inversión del plan de gestión de mantenimiento.

EGRESOS	Descripción	Costo (dólares)	Sub total (dólares)
Elaboración de políticas del plan de mantenimiento	Reunión para la conformación del comité de mantenimiento	100.00	6 700.00
	Difusión de las políticas de gestión de mantenimiento	500.00	
	Costo de personal por elaboración de políticas (2 supervisores por un mes)	6 000.00	
Elaboración del programa de mantenimiento planificado	Asesoría por elaboración del plan de gestión de mantenimiento	2 000.00	10 200.00
	Pagos a personal (2 supervisores y 1 asistente)	8 000.00	
	Impresiones	200.00	
Programa de lubricación	Asesoría mecánica para el plan de lubricación	2 000.00	7 200.00
	Pagos a personal (1 supervisores y 1 asistente)	5 000.00	
	Impresiones	200.00	
Elaboración del procedimiento estándar de trabajo	Pago al personal (1 supervisor y 1 ayudante)	5 000.00	5 200.00
	Impresiones	200.00	
Elaboración del reporte de falla	Pago al personal (1 supervisor y 1 ayudante)	5 000.00	5 200.00
	Impresiones	200.00	
Elaboración del check list	Pago al personal (1 supervisor y 1 ayudante)	5 000.00	5 200.00
	Impresiones	200.00	
Elaboración de ficha de control de parámetros de operación y funcionamiento	Asesoría mecánica (salario del mecánico por 1 mes)	2 500.00	15 700.00
	Asesoría de la marca Vulco para determinar sus parámetros	5 000.00	
	Pago al personal (2 supervisor y 1 ayudante)	8 000.00	
	Impresiones	200.00	
Costo total: 55 400.00 dólares			

El presenta plan de gestión de mantenimiento tiene un costo de inversión de 55 400 dólares.

3.4.2. Resumen de los indicadores actuales

Se realizó el resumen de los cálculos respectivos en el anexo 2, con ello se elaboró la tabla 7, en donde se evidencia que la disponibilidad y la utilización no se acercan al target de 95%.

Tabla 14
Resumen de los indicadores actuales.

MES	MTTR	MTBF	Disponibilidad	Utilización	Target
Enero	7.6	21.82	74	65	95
Febrero	9.8	37.33	79	75	95
Marzo	8.0	21.82	73	63	95
Abril	6.6	24.00	78	73	95
Mayo	6.3	30.00	83	79	95
Junio	3.8	13.33	78	72	95
Julio	13.8	60.00	81	77	95
Agosto	1.8	9.23	84	81	95
Setiembre	10.6	34.29	76	69	95
Octubre	16.5	60.00	78	73	95
Noviembre	17.0	80.00	82	79	95
Diciembre	5.5	18.46	77	70	95
PROMEDIO	8.94	34.19	79%	73%	95%

En la tabla 7, se evidencia que la disponibilidad promedio del 2019 es 79%, estando 16% debajo del target que es 95%; y la utilización promedio del 2019 es de 73%, lo cual es 22% menos que el target que es 95%. Estos resultados han llevado a plantear mejoras que incrementen estos indicadores.

3.4.3. Flujos salientes

Los flujos salientes representan a todos los gastos constantes que se va a tener para el control y seguimiento del plan de mantenimiento de los equipos de bombeo (ver tabla 15).

Tabla 15
Flujo saliente del plan de gestión de mantenimiento.

Descripción	Detalle	Costo (dólares)	Sub total (dólares)
Capacitación en el plan de mantenimiento para operadores y mantenedores	Pago al capacitador para operadores (trimestralmente)	6 000.00	12 800.00
	Pago al capacitador para mantenedor (trimestralmente)	6 000.00	
	Aperitivos	500.00	
	Material didáctico	200.00	
	Gastos adicionales	100.00	
Actualización del mantenimiento (a partir del Segundo año)	Costos de asesoría en la actualización del mantenimiento	3 000.00	16 600.00
	Pago al personal (2 supervisores y 1 asistente por dos meses)	16 000.00	
	Gastos adicionales	300.00	

Consumibles por mantenimiento a equipos de bombeo	300.00 mensuales	3 600.00
Supervisión	Pago al supervisor mensualmente (2 500 dólares)	30 000.00
Flujo saliente total anual 63 000 dólares		

3.4.4. Flujos entrantes

Los flujos entrantes están representados por el ahorro que se va a conseguir al contar con el plan de gestión de mantenimiento, tal como se describe en la tabla 16.

Tabla 16
Flujos entrantes de la empresa.

Flujo Entrante	Costo (Dólares)	Costo Total
Ahorro que tendría la empresa por compra de fajas	7 664.67	
Ahorro por compra de rodamientos	4 215.57	111 880.24
Ahorro por costo de los tiempos de mantenimiento	100 000.00	

Con estos datos se realiza el flujo de caja para determinar el VAN, TIR y relación B/C, en la tabla 17.

3.4.5. Flujo de caja

En la tabla 17, se presenta el flujo de caja, detallando los costos de inversión y flujo saliente pero también el flujo entrante, VAN, TIR y B/C.

Tabla 17

Flujo de caja del plan de gestión de mantenimiento.

FLUJO DE CAJA	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	TOTAL
EGRESOS	0	1	2	3	4		TOTAL
Políticas del plan de mantenimiento	\$6,700.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$6,700.00
Elaboración del programa de mantenimiento planificado	\$10,200.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$10,200.00
Programa de lubricación	\$7,200.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$7,200.00
Elaboración del procedimiento estándar de trabajo	\$5,200.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$5,200.00
Elaboración del reporte de falla	\$5,200.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$5,200.00
Elaboración del check list	\$5,200.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$5,200.00
Elaboración de ficha de control de parámetros de operación y funcionamiento	\$15,700.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$15,700.00
Capacitación en el plan de mantenimiento para operadores y mantenedores	\$0.00	\$12,800.00	\$12,800.00	\$12,800.00	\$12,800.00	\$12,800.00	\$64,000.00
Actualización del mantenimiento (a partir del Segundo año)	\$0.00	\$0.00	\$16,600.00	\$16,600.00	\$16,600.00	\$16,600.00	\$66,400.00
Consumibles por mantenimiento a equipos de bombeo	\$0.00	\$3,600.00	\$3,600.00	\$3,600.00	\$3,600.00	\$3,600.00	\$18,000.00

Supervisión	\$0.00	\$30,000.00	\$30,000.00	\$30,000.00	\$30,000.00	\$30,000.00	\$150,000.00
TOTAL EGRESOS	\$55,400.00	\$46,400.00	\$63,000.00	\$63,000.00	\$63,000.00	\$63,000.00	\$353,800.00
FLUJO ENTRANTE	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	TOTAL
Ahorro que tendría la empresa por compra de fajas	\$0.00	\$7,664.67	\$7,664.67	\$7,664.67	\$7,664.67	\$7,664.67	\$38,323.35
Ahorro por compra de rodamientos	\$0.00	\$4,215.57	\$4,215.57	\$4,215.57	\$4,215.57	\$4,215.57	\$21,077.85
Ahorro por costo de los tiempos de mantenimiento	\$0.00	\$100,000.00	\$100,000.00	\$100,000.00	\$100,000.00	\$100,000.00	\$500,000.00
TOTAL BENEFICIOS	\$0.00	\$111,880.24	\$111,880.24	\$111,880.24	\$111,880.24	\$111,880.24	\$559,401.20
FLUJO ANUAL DE CAJA	-\$55,400.00	\$65,480.24	\$48,880.24	\$48,880.24	\$48,880.24	\$48,880.24	\$205,601.20
TMAR	15.00%						
TIR	100.53%						
VAN	\$267,176.00						
B/C	\$0.71						
VAN Beneficios	S/178,288.93						
VAN Egresos	S/252,150.99						

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

El presente estudio nos ha permitido constatar que es imprescindible el plan de mantenimiento para los equipos de bombeo en la realización de trabajos en plantas mineras, 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 72%, sin embargo, después de diseñar el plan de mantenimiento se incrementó a 92%. El presente plan consistió en la elaboración de políticas de mantenimiento, formato para reportar fallas, check list de equipos, procedimiento estándar de trabajo y ficha de control de parámetros; lo cual es diferente al estudio de Fonseca (2015) que implementó fichas por equipos, además lo complementó con fichas Kaizen y 5S, incrementando su disponibilidad de 72% a 93%. Asimismo, García (2015), en su investigación aplicó herramientas de diagnóstico como Ishikawa, Jack Nife, Pareto y análisis de indicadores. Sin embargo, en esta tesis no se utilizó el diagrama de JackkNife, por lo tanto, se obtiene un diagnóstico menos completo que el del antecedente. En esta tesis, no se aplicaron pilares de mantenimiento TPM, a comparación de Tuarez (2013), quien utilizó el TPM en una fábrica de gaseosas, y con ello mejoro la disponibilidad en 23% ya que aplicó los cinco pilares sugeridos.

4.2. Conclusiones

- El diagnóstico actual evidencia que el problema con mayor impacto en la planta es la baja disponibilidad de los equipos de bombeo, esto se debe a deficiencias en los mantenimientos, falta de mantenimientos, desgaste acelerado de los componentes de la bomba, desgaste prematuro de los rodamientos, fugas en la caja de relleno, desgaste en los embalajes y sobrecalentamiento o aislamiento de la bomba. La disponibilidad actual mínima reportada es de 73%, la disponibilidad máxima reportada es de 84%, y se tiene como promedio 79%, estando 16% menos que lo establecido y la utilización es 73% en promedio.
- El plan de gestión de mantenimiento de los equipos del sistema de bombeo consiste en la elaboración de las políticas de mantenimiento, el formato para reporte de fallas, el check list para equipos de bombeo, el procedimiento estándar de trabajo para el mantenimiento de bombas y la ficha de control de parámetros de operación y funcionamiento.
- La mejora en la disponibilidad de los equipos de bombeo con el plan de mantenimiento es de 13%, la utilización se incrementó en 20%. Además, con el plan de gestión de mantenimiento se reducirán 156 horas por fallas en los equipos del sistema de bombeo.
- El presente plan de gestión de mantenimiento tiene un costo de inversión de 55 400 dólares. El flujo saliente total anual es de 63 000 dólares, el flujo entrante es de 946 011.98 dólares por año. Este plan tiene un VAN de 267 176 dólares, TIR es 100.53% y la relación B/C es de 0.71. por lo tanto, el proyecto es viable económicamente y representa altos ahorros para la empresa minera.

REFERENCIAS

- Almosny, D. (2014). Fallas en sellos mecánicos. (*Artículo de revista*). Caracas, Venezuela: Nardal. Obtenido de http://www.mardal.com.ve/ve/descargas/sellosm_fallas.pdf
- Altamirano, G. (2017). Análisis del Impacto del Mantenimiento Productivo Total (TPM) en la Gestión Operativa de la Central Hidroeléctrica San Francisco. (*tesis de pregrado*). Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17608>
- 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. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV.pdf>
- Aranguren, J. (2015). Implantación exitosa de TPM en la industria colombiana. (*tesis de maestría*). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7292/JaimeAndres2015.pdf>
- Asto, U. (2014). Sistema de bombeo de circuito Cianuración - Lixiviación para obtener una operación eficiente en la compañía Buenaventura. (*tesis de pregrado*). Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3208/Asto%20Mu%C3%B1oz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Avendaño, C. (2017). Análisis y definición de los elementos de gestión del rendimiento del departamento logístico en una empresa del sector metálico. (*tesis de maestría*). Valencia, España: Universidad Politecnica de Valencia. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/91002/24519868M_TFM_15.pdf

Ávila, Rubén. Fundamento de mantenimiento: Guías económicas técnicas y administrativas.

México: Limusa, 1995.

Barreto, C. (2017). Optimización del sistema de bombeo – construcción y drenaje - Unidad Minera Antapaccay. (*Tesis de pregrado*). Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín. Obtenido de repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA.pdf

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. Obtenido de http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/9446/camacho_cd.pdf

Caruajulca, B. (2017). Balance de línea para mejorar la productividad en el área de confección de la empresa Industries Fashión E.I.R.L – Lima, 2017. (*tesis de pregrado*). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. Obtenido de http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/12397/Caruajulca_BB.pdf

De La Cruz, A. (2014). Diseño de un sistema de mantenimiento preventivo para el área de envasado de polvo detergente. (*tesis de pregrado*). Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politecnica del Litoral.

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. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/193.pdf>

Díaz, M. (2016). Análisis de datos en servicio de confiabilidad prestado a una planta de remoción de ripios. (*Tesis de pregrado*). Valparaíso, Chile: Universidad Tecnica Federico Santa Maria. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/.pdf>

- Fonseca, J. (2015). Programa de gestión de mantenimiento a través de la implementación de herramientas predictivas y de TPM como contribución a la mejora de la eficiencia energética en plantas termoeléctricas. (*artículo científico*). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php>
- Galván, D. (2013). Análisis de la Implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) mediante el Modelo de Opciones Reales. (*Tesis de maestría*). D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/.pdf>
- García, C. (2015). Modelo de Gestión de Mantenimiento para Incrementar la Calidad en el Servicio en el Departamento de Alta Tensión de STC Metro de la Ciudad de México. (*tesis de pregrado*). D.F., México: Instituto Politecnico Nacional. Obtenido de <http://148.204.210.201/tesis/1485361991578TESISGARCAES.pdf>
- González, G. (2017). Implementación de un plan de mantenimiento productivo total (TPM) para la reducción de costos de la empresa Cosmos Agencia Marítima S.A.C. (*tesis de pregrado*). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. Obtenido de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12926/Tesis%20Impleme.pdf>
- Instituto Japonés del Mantenimiento de Planta. (2015). El TPM y la Gestión del Conocimiento. (*memorias*). Japón: Planet Rams. Obtenido de <http://planetrams.iusiani.ulpgc.es/?p=1557&lang=es>
- Ishikawa, K. (1943). Diagrama de Ishikawa. Tokio, Japón. Obtenido de http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/herramientas_calidad.htm
- Izar, J., & González, J. (2004). Diagrama de Pareto. Bolivia: Editorial Universitaria Potosina. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/303871Diagrama_de_Pareto

- Jimenez, Y. (2013). Propuesta de mejora bajo la Filosofía TPM para la empresa. (*tesis de pregrado*). Corporación Universitaria Lasallista, Antioquía, Colombia. Obtenido de <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/726/1/PROPUESTAS.pdf>
- Lu, D. (1997). Control total de calidad: la modalidad japonesa. (*libro*). Colombia: Editorial Norma. Obtenido de <https://www.worldcat.org/title/que-es-el-control-total>
- Mansilla, N. (2013). Aplicación de la metodología de mantenimiento productivo total (TPM) para la estandarización de procesos y reducción de pérdidas en la fabricación de goma de mascar en una industria nacional. (*tesis de pregrado*). Universidad de Chile, Santiago, Chile. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/1.pdf>
- Martínez, R. (2015). Propuesta y validación de un modelo integrador de implantación del Mantenimiento Productivo Total (TPM). (*tesis d epregrado*). Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, España. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/61492/MATEO%20-%20.pdf>
- 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. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/619973>
- Oblitas, M. (2018). Guía de investigación de Ingeniería. (*Metodología de la investigación*). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Ortíz, G. (2014). Diseño e implementación del sistema de bombeo principal del sector a - mina calenturitas, propiedad de C.I PRODECO S.A, La Loma, Cesar. (*tesis de pregrado*). Boyacá, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1517/1/TGT-258.pdf>

- Ribeiro, H. (2016). Pilares del TPM. (*video*). Brasil. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=OjsebaRDHp0>
- Rivera, J. (2015). Modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos. (*Tesis de pregrado*). Santiago, Chile: Universidad de Chile. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/136233/Modelo-de-toma.pdf>
- Roberts, J. (2013). TPM Mantenimiento Productivo Total, su definicion e historia. (*Revista industrial*). University-Commerce, EE.UU. Obtenido de http://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista.pdf
- Rodríguez, Y. (2014). Mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcan Compañía Minera S.A.A - Unidad San Cristóbal. (*tesis de pregrado*). Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3215/Rodriguez%](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3215/Rodriguez%20)
- Salazar, H. (2016). Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de los equipos de la planta de alimentos de la empresa Minera la Zanja S.R.L. (*tesis de pregrado*). Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/7661>
- Salinas, K. (2017). Aplicación del estudio de tiempos para mejorar la atención del cliente en la empresa metalmecánica JMS, 2017. (*tesis de pregrado*). Universidad Norbert Wiener, Lima, Perú. Obtenido de <http://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream>
- Santillán, C. (2017). Programa de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Bombas Centrifugas Horizontales Warman 450 MCR en Minera Cerro Corona. (*Tesis de pregrado*). Trujillo, La Libertad, Perú: Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9291/SANTILLAN>

- Silva, D. (2017). Implementación de TPM (mantenimiento productivo total). (*tesis de pregrado*). Universidad Inca Garcilazo de la Vega, Lima, Perú. Obtenido de <http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/1331/TRABAJO>
- 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. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3654/Soto%20Baltazar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Stachú, S. (2004). Diagrama de Pareto. National Business School, Japón. Obtenido de <http://nbs.gt/index.php/es/alumnos/biblioteca/item/42-3>
- Sunción, P. (2017). Aplicación del Mantenimiento Productivo Total para incrementar la productividad en la línea de producción en la Empresa MGO S.A.C. (*tesis de pregrado*). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_dc8de592c9874b9df1c4c3f
- Toral, X., & Burgos, L. (2013). Diseño e Implementación de un Programa de Mantenimiento Productivo Total (TPM) en una Empresa Productora de Alimentos Balanceados. (*tesis de pregrado*). Guayaquil, Ecuador: Universidad Superior Politecnica del Litoral. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25.pdf>
- Tuarez, C. (2013). Diseño de un sistema de mejora continua en una embotelladora y comercializadora de bebidas gaseosas de la ciudad de Guayaquil por medio de la aplicación del TPM. (*tesis de maestría*). Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politecnica del Litoral. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec>
- Vargas, L. (2016). Implementación del pilar “mantenimiento autónomo” en el centro de proceso vibrado de la empresa Finart S.A.S. (*tesis de pregrado*). Universidad

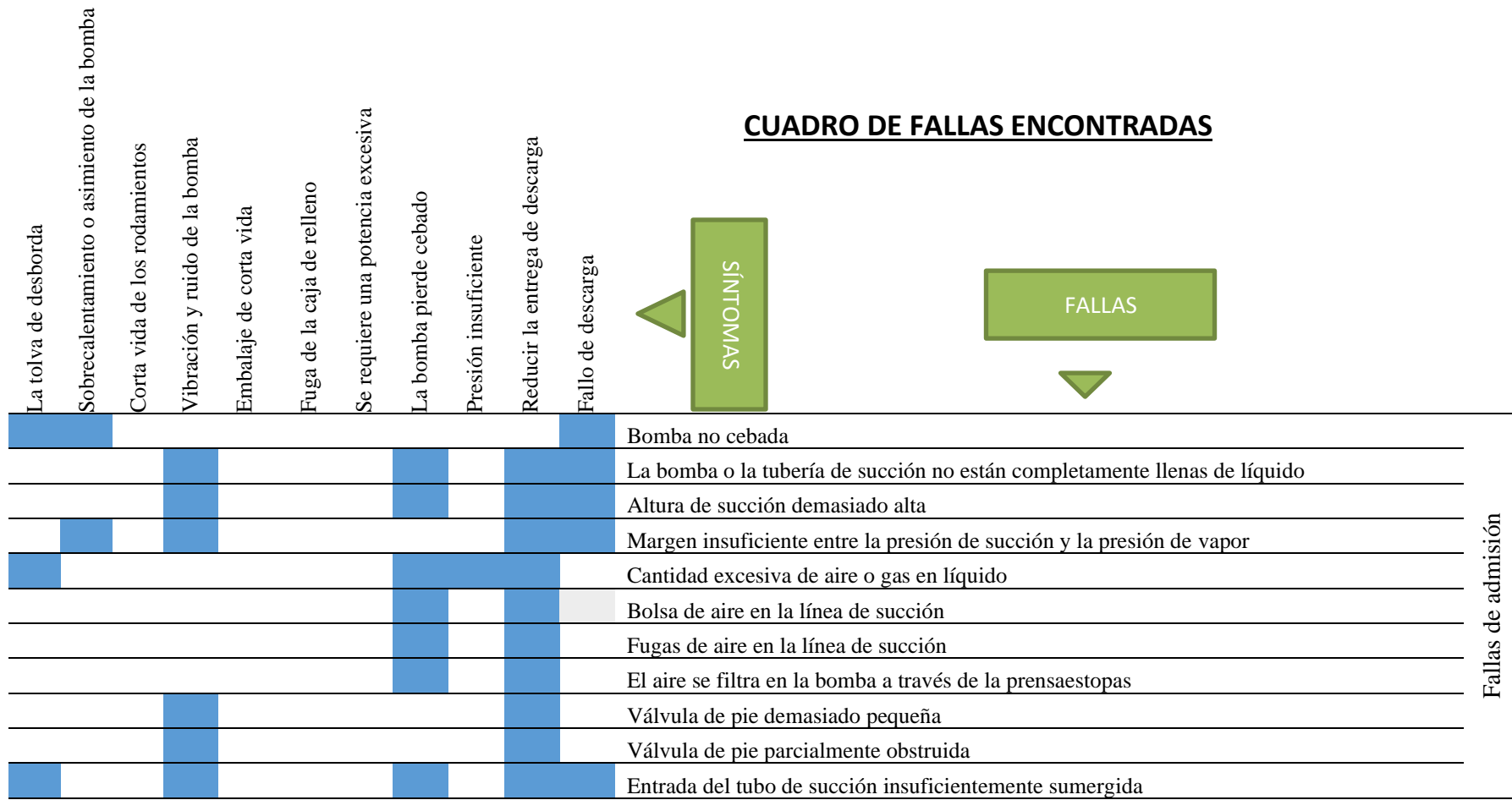
Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3162/3/VargasMonroyLis.pdf>

Vidal, E. (2016). Mantenimiento productivo total (TPM) aplicado a equipos esenciales de la refinería Iquitos. (*tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/14803>

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Causas y fallas de los equipos.

Tabla 18
Causas y fallas de los equipos de bombeo.



					Línea de succión bloqueada	Fallas del sistema
					Diámetro del tubo de entrada demasiado pequeño o longitud del tubo de entrada demasiado larga	
					Velocidad demasiado baja	
					Velocidad demasiado alta	
					Sentido de rotación incorrecto	
					Jefe total del sistema superior al diseño	
					Jefe total del sistema inferior al diseño	
					Gravedad específica del líquido diferente del diseño	
					La viscosidad del líquido difiere de la diseñada	
					Operación a muy baja capacidad	
					Aire atrapado en la bomba. La tolva de la bomba requiere deflectores	Fallas mecánicas
					Tubería o juntas mal instaladas que bloquean parcialmente la tubería	
					Malentendido	
					Bases no rígidas	
					Eje doblado	
					Pieza giratoria frotando en parte estacionaria	
					Rodamientos desgastados	
					Impulsor dañado o desgastado	
					Junta de la carcasa defectuosa, que permite fugas internas	
					Eje o casquillos de eje desgastados o ranurados en el embalaje	
					Embalaje instalado incorrectamente	
					Tipo incorrecto de empaque para condiciones de operación	
					Eje que se desplaza descentrado debido a rodamientos desgastados o desalineación	
					Impulsor fuera de balance, resultando en vibración	
					Glándula demasiado apretada, lo que resulta en que no fluye líquido para lubricar el empaque	
					Materia extraña en el impulsor	

		Suciedad o arena en el líquido de sellado, lo que lleva a la ranura del eje
		Empuje excesivo causado por una falla mecánica dentro de la bomba
		Cantidad excesiva de lubricante en la carcasa del rodamiento que causa una temperatura alta del rodamiento
		Falta de lubricación
		Instalación incorrecta de rodamientos
		La suciedad se mete en los rodamientos
		Oxidación de los rodamientos debido a la entrada de agua en la carcasa
		Expulsor desgastado o hinchado
		Limpieza excesiva en la parte inferior de la caja de relleno, forjando el embalaje en la bomba

ANEXO n.º 2. Reporte de fallas en SAP.

Tabla 19

Reporte de fallas de las bombas.

REPORTE DE FALLAS DE LAS BOMBAS													
Notifi- cation	Pri- orit- y	Notif- .date	Description	Ho- ras	Priority	Ord- er	Code group	Code grp. text	Coding code txt	MT TR	M TB F	Disponi- bilidad	Utiliz- ación
92945 003	3	02/01 /19	Fuga por bomba de lodos	8	3-Next Schedule		OP	Ops Maintenance Work Identification		8	22	74	65
93521 552	1	02/01 /19	Fuga lodos junta expansiva PU-15075	11	1-Urgent Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification					
92313 357	2	04/01 /19	Instalación de sensor de Presión	5	High	2090 7697	PM	Maint Work Identifcation	Pre-PM Inspection				
92343 621	2	04/01 /19	Instalación de sensor de Presión	6	High	2092 0367	PM	Maint Work Identifcation	Pre-PM Inspection				
92557 492	2	04/01 /19	Bomba en mal estado.	11	2- Schedule Interrupt	2101 5528	OP	Ops Maintenance Work Identification	Equipment Condition				
92557 492	2	04/01 /19	Bomba en mal estado.	12	2- Schedule Interrupt	2101 5528	OP	Ops Maintenance Work Identification	Equipment Failure				
92602 930	2	09/01 /19	Desalineamiento Paralelo – Angular	11	2- Schedule Interrupt	2103 7753	PM	Maint Work Identifcation	Equipment Condition				
92682 378	2	09/01 /19	desalimiento de poleas	15	2- Schedule Interrupt	2107 2040	PM	Maint Work Identifcation	Maintenance Inspections / Observations				
93936 770	1	09/01 /19	fuga lodos brida salida bomba	2	1-Urgent Interrupt	2160 6919	OP	Ops Maintenance Work Identification					
92900 568	1	23/01 /19	sobrecarga en breaker y contactor arranc	1	Urgent Interrupt	2116 2976	PM	Maint Work Identifcation					
93521 552	1	25/01 /19	Fuga lodos junta expansiva PU-15075	2	1-Urgent Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification					

92385 393	2	09/02 /19	Tuberia en mal estado	9	High		OP	Ops Maintenance Work Identification	Equipment Condition	10	37	79	75
92391 774	1	09/02 /19	Fuga de lodos por sellos bomba PU-15075	12	Very High	2094 5637	OP	Ops Maintenance Work Identification	Ops Equipment Failure				
92477 565	2	09/02 /19	Desalineamiento de Poleas/Faja	9	High	2098 2421	PM	Maint Work Identifcation	Equipment Condition				
93521 552	1	14/02 /19	Fuga lodos junta expansiva PU-15075	11	1-Urgent Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification					
92385 393	2	15/02 /19	Tuberia en mal estado	9	High		OP	Ops Maintenance Work Identification	Ops Equipment Failure				
92900 568	1	24/02 /19	sobrecarga en breaker y contactor arranc	9	Urgent Interrupt	2116 2976	PM	Maint Work Identifcation					
92385 393	2	02/03 /19	Tuberia en mal estado	9	High		OP	Ops Maintenance Work Identification	Ops Equipment Failure	8	22	73	63
93521 552	1	03/03 /19	Fuga lodos junta expansiva PU-15075	4	1-Urgent Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification					
92900 568	1	14/03 /19	sobrecarga en breaker y contactor arranc	8	Urgent Interrupt	2116 2976	PM	Maint Work Identifcation					
92385 393	2	15/03 /19	Tuberia en mal estado	8	High		OP	Ops Maintenance Work Identification	Equipment Condition				
92391 774	1	15/03 /19	Fuga de lodos por sellos bomba PU-15075	12	Very High	2094 5637	OP	Ops Maintenance Work Identification	Ops Equipment Failure				
92477 566	2	15/03 /19	Soltura Mecánica de la posición del Rodamiento	12	High	2098 2420	PM	Maint Work Identifcation	Pre-Op Inspection				
92388 532	1	18/03 /19	Junta expansiva rota Bomba PU-15075	8	Very High	2094 3987	OP	Ops Maintenance Work Identification	Equipment Condition				
92477 561	3	18/03 /19	Desalineamiento de Poleas/Faja	7	Medium	2098 2423	PM	Maint Work Identifcation	Equipment Condition				
92900 568	1	18/03 /19	sobrecarga en breaker y contactor arranc	6	Urgent Interrupt	2116 2976	PM	Maint Work Identifcation					
93631 805	1	18/03 /19	cambiar check y valvula descarga línea	8	Urgent Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification					
92900 568	1	25/03 /19	sobrecarga en breaker y contactor arranc	6	Urgent Interrupt	2116 2976	PM	Maint Work Identifcation					
92388 532	1	02/04 /19	Junta expansiva rota Bomba PU-15075	6	Very High	2094 3987	OP	Ops Maintenance Work Identification	Pre-Op Inspection				

92477 565	2	02/04 /19	Desalineamiento de Poleas/Faja	8	High	2098 2421	PM	Maint Work Identification	Pre-Op Inspection				
93631 805	1	02/04 /19	cambiar check y valvula descarga línea	4	Urgent Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification					
93521 552	1	11/04 /19	Fuga lodos junta expansiva PU-15075	8	1-Urgent Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification					
92388 532	1	12/04 /19	Junta expansiva rota Bomba PU-15075	8	Very High	2094 3987	OP	Ops Maintenance Work Identification	Equipment Condition				
92477 566	2	12/04 /19	Soltura Mecánica de la posición del Rodamiento	12	High	2098 2420	PM	Maint Work Identification	Ops Equipment Failure				
93631 805	1	12/04 /19	cambiar check y valvula descarga línea	4	Urgent Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification					
92388 532	1	23/04 /19	Junta expansiva rota Bomba PU-15075	6	Very High	2094 3987	OP	Ops Maintenance Work Identification	Pre-Op Inspection				
92471 879	1	23/04 /19	Junta expansiva rota Bomba 1760-PU-15075	6	Very High	2097 8495	OP	Ops Maintenance Work Identification	Ops Equipment Failure				
93668 520	3	23/04 /19	inst sw flujo valv solenoide PU-15076/54	4	3-Next Schedule	2149 0065	PM	Maint Work Identification					
92471 879	1	02/05 /19	Junta expansiva rota Bomba 1760-PU-15075	8	Very High	2097 8495	OP	Ops Maintenance Work Identification	Ops Equipment Failure				
92953 546	2	02/05 /19	Equipo en falla	4	2-Schedule Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification					
93521 552	1	02/05 /19	Fuga lodos junta expansiva PU-15075	7	1-Urgent Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification					
93668 520	3	02/05 /19	inst sw flujo valv solenoide PU-15076/54	6	3-Next Schedule	2149 0065	PM	Maint Work Identification					
93521 552	1	09/05 /19	Fuga lodos junta expansiva PU-15075	6	1-Urgent Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification		6	30	83	79
92471 879	1	17/05 /19	Junta expansiva rota Bomba 1760-PU-15075	8	Very High	2097 8495	OP	Ops Maintenance Work Identification	Ops Equipment Failure				
92953 546	2	17/05 /19	Equipo en falla	4	2-Schedule Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification					
93668 520	3	17/05 /19	inst sw flujo valv solenoide PU-15076/54	7	3-Next Schedule	2149 0065	PM	Maint Work Identification					

92602 930	2	09/06 /19	Desalineamiento Paralelo – Angular	3	2- Schedule Interrupt	2103 7753	PM	Maint Work Identifcation	Ops Equipment Failure	4	13	78	72
92602 930	2	09/06 /19	Desalineamiento Paralelo – Angular	2	2- Schedule Interrupt	2103 7753	PM	Maint Work Identifcation	Ops Equipment Failure				
92671 787	2	09/06 /19	Picadurade tuberia	5	2- Schedule Interrupt	2107 7413	OP	Ops Maintenance Work Identification	Ops Equipment Failure				
92682 378	2	09/06 /19	desalimiento de poleas	4	2- Schedule Interrupt	2107 2040	PM	Maint Work Identifcation	Equipment Condition				
92682 378	2	09/06 /19	desalimiento de poleas	4	2- Schedule Interrupt	2107 2040	PM	Maint Work Identifcation	Pre-Op Inspection				
92682 378	2	09/06 /19	desalimiento de poleas	3	2- Schedule Interrupt	2107 2040	PM	Maint Work Identifcation	Pre-Op Inspection				
92715 542	2	09/06 /19	Soltura Mecánica de la posición del Roda	7	2- Schedule Interrupt	2108 6365	PM	Maint Work Identifcation	Equipment Condition				
92715 568	3	09/06 /19	ALINEAMIENTO BBA LODOS pu-15054 AWTP	6	3-Next Schedule	2108 3344	PM	Maint Work Identifcation					
93349 757	3	09/06 /19	COMPONENTES CON DESGASTE	7	3-Next Schedule	2135 6263	PM	Maint Work Identifcation					
93349 759	3	09/06 /19	DESGASTE EN COMPONENTES	8	3-Next Schedule	2136 0778	PM	Maint Work Identifcation					
93936 770	1	09/06 /19	fuga lodos brida salida bomba	2	1-Urgent Interrupt	2160 6919	OP	Ops Maintenance Work Identification					
92477 565	2	11/06 /19	Desalineamiento de Poleas/Faja	2	High	2098 2421	PM	Maint Work Identifcation	Equipment Condition				
92953 546	2	11/06 /19	Equipo en falla	4	2- Schedule Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification					
93721 219	3	11/06 /19	fuga lodos por sello mecánico	3	3-Next Schedule	2152 7769	OP	Ops Maintenance Work Identification					

92900568	1	23/06/19	sobrecarga en breaker y contactor arranc	1	Urgent Interrupt	21162976	PM	Maint Work Identifcation					
92477561	3	28/06/19	Desalineamiento de Poleas/Faja	2	Medium	20982423	PM	Maint Work Identifcation	Ops Equipment Failure				
92953546	2	28/06/19	Equipo en falla	2	2-Schedule Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification					
93721219	3	28/06/19	fuga lodos por sello mecánico	3	3-Next Schedule	21527769	OP	Ops Maintenance Work Identification					
92391774	1	19/07/19	Fuga de lodos por sellos bomba PU-15075	19	Very High	20945637	OP	Ops Maintenance Work Identification	Ops Equipment Failure	14	60	81	77
92477566	2	19/07/19	Soltura Mecánica de la posición del Rodamiento	15	High	20982420	PM	Maint Work Identifcation	Equipment Condition				
93721219	3	19/07/19	fuga lodos por sello mecánico	15	3-Next Schedule	21527769	OP	Ops Maintenance Work Identification					
92900568	1	21/07/19	sobrecarga en breaker y contactor arranc	6	Urgent Interrupt	21162976	PM	Maint Work Identifcation					
92671787	2	07/08/19	Picadurade tubería	2	2-Schedule Interrupt	21077413	OP	Ops Maintenance Work Identification	Pre-Op Inspection				
92671787	2	07/08/19	Picadurade tubería	2	2-Schedule Interrupt	21077413	OP	Ops Maintenance Work Identification	Equipment Condition				
92712992	2	07/08/19	revisión valvula agua de sellos PU-15054 AWTP	1	2-Schedule Interrupt	21082125	OP	Ops Maintenance Work Identification	Equipment Condition				
92712992	2	07/08/19	revisión valvula agua de sellos PU-15054 AWTP	1	2-Schedule Interrupt	21082125	OP	Ops Maintenance Work Identification	Maintenance Inspections / Observations	2	9	84	81
92712992	2	07/08/19	revisión valvula agua de sellos PU-15054 AWTP	1	2-Schedule Interrupt	21082125	OP	Ops Maintenance Work Identification	Maintenance Inspections / Observations				
92713093	3	07/08/19	inst SW flujo agua sello bbas lodos awt	1	3-Next Schedule	21082284	PM	Maint Work Identifcation	Equipment Condition				
92713093	3	07/08/19	inst SW flujo agua sello bbas lodos awt	1	3-Next Schedule	21082284	PM	Maint Work Identifcation	Equipment Condition				

92713 093	3	07/08 /19	inst SW flujo agua sello bbas lodos awt	3	3-Next Schedule	2108 2284	PM	Maint Work Identifcation	Ops Equipment Failure				
92715 542	2	07/08 /19	Soltura Mecánica de la posición del Roda	2	2- Schedule Interrupt	2108 6365	PM	Maint Work Identifcation	Ops Equipment Failure				
92715 542	2	07/08 /19	Soltura Mecánica de la posición del Roda	2	2- Schedule Interrupt	2108 6365	PM	Maint Work Identifcation	Equipment Condition				
92715 568	3	07/08 /19	ALINEAMIENTO BBA LODOS pu-15054 AWTP	1	3-Next Schedule	2108 3344	PM	Maint Work Identifcation					
92715 571	2	07/08 /19	Desalineamiento Paralelo – Angular	3	2- Schedule Interrupt		PM	Maint Work Identifcation					
92715 571	2	07/08 /19	Desalineamiento Paralelo – Angular	2	2- Schedule Interrupt		PM	Maint Work Identifcation					
92745 777	1	07/08 /19	Niple 2" del manometro picado B.PU-15053	1	1-Urgent Interrupt	2109 8759	OP	Ops Maintenance Work Identification					
92859 310	3	07/08 /19	compra sellos 3-1/4 chesterton bba lodos	1	3-Next Schedule	2114 5738	PM	Maint Work Identifcation					
92859 310	3	07/08 /19	compra sellos 3-1/4 chesterton bba lodos	1	3-Next Schedule	2114 5738	PM	Maint Work Identifcation					
93168 572	3	07/08 /19	bomba con fuerte ruido	2	3-Next Schedule	2127 9791	OP	Ops Maintenance Work Identification					
93168 572	3	11/08 /19	bomba con fuerte ruido	2	3-Next Schedule	2127 9791	OP	Ops Maintenance Work Identification					
93168 572	3	13/08 /19	bomba con fuerte ruido	2	3-Next Schedule	2127 9791	OP	Ops Maintenance Work Identification					
93168 575	3	15/08 /19	fuga lodos por sellos	2	3-Next Schedule	2127 9792	OP	Ops Maintenance Work Identification					
93168 575	3	18/08 /19	fuga lodos por sellos	3	3-Next Schedule	2127 9792	OP	Ops Maintenance Work Identification					
93168 575	3	21/08 /19	fuga lodos por sellos	2	3-Next Schedule	2127 9792	OP	Ops Maintenance Work Identification					
93168 575	3	23/08 /19	fuga lodos por sellos	2	3-Next Schedule	2127 9792	OP	Ops Maintenance Work Identification					

93168 575	3	26/08 /19	fuga lodos por sellos	4	3-Next Schedule	2127 9792	OP	Ops Maintenance Work Identification					
93330 699	3	29/08 /19	cambio partes desgaste PU- 15053 lodos al	2	3-Next Schedule	2134 7609	PM	Maint Work Identifcation					
93384 692	3	07/09 /19	CAMBIO PARTES DESGASTE PU-15075 lodos pa	4	3-Next Schedule	2137 1418	PM	Maint Work Identifcation					
93384 692	3	07/09 /19	CAMBIO PARTES DESGASTE PU-15075 lodos pa	12	3-Next Schedule	2137 1418	PM	Maint Work Identifcation					
93384 697	3	07/09 /19	CAMBIO PARTES DESGASTE PU-15076 lodos pa	11	3-Next Schedule	2137 1461	PM	Maint Work Identifcation					
93384 697	3	07/09 /19	CAMBIO PARTES DESGASTE PU-15076 lodos pa	12	3-Next Schedule	2137 1461	PM	Maint Work Identifcation		11	34	76	69
93911 884	2	07/09 /19	Fuga de solución por sello de Bomba	13	2- Schedule Interrupt	2159 6342	PM	Maint Work Identifcation					
92391 774	1	23/09 /19	Fuga de lodos por sellos bomba PU-15075	14	Very High	2094 5637	OP	Ops Maintenance Work Identification	Ops Equipment Failure				
92477 561	3	23/09 /19	Desalineamiento de Poleas/Faja	8	Medium	2098 2423	PM	Maint Work Identifcation	Ops Equipment Failure				
92557 492	2	02/10 /19	Bomba en mal estado.	24	2- Schedule Interrupt	2101 5528	OP	Ops Maintenance Work Identification	Maint Improvement Opportunity				
92939 437	2	08/10 /19	Sello Roto	15	2- Schedule Interrupt	2118 3788	PM	Maint Work Identifcation		17	60	78	73
92945 003	3	08/10 /19	Fuga por bomba de lodos	13	3-Next Schedule		OP	Ops Maintenance Work Identification					
92939 437	2	12/10 /19	Sello Roto	14	2- Schedule Interrupt	2118 3788	PM	Maint Work Identifcation					
92939 437	2	02/11 /19	Sello Roto	21	2- Schedule Interrupt	2118 3788	PM	Maint Work Identifcation		17	80	82	79

92945 003	3	02/11 /19	Fuga por bomba de lodos	16	3-Next Schedule		OP	Ops Maintenance Work Identification				
92945 003	3	10/11 /19	Fuga por bomba de lodos	14	3-Next Schedule		OP	Ops Maintenance Work Identification				
92939 437	2	02/12 /19	Sello Roto	12	2- Schedule Interrupt	2118 3788	PM	Maint Work Identifcation				
92691 929	1	09/12 /19	Deficiencia de Lubricación – fricción	1	1-Urgent Interrupt		PM	Maint Work Identification	Ops Equipment Failure			
92691 929	1	09/12 /19	Deficiencia de Lubricación – fricción	4	1-Urgent Interrupt		PM	Maint Work Identification	Ops Equipment Failure			
92713 093	3	09/12 /19	inst SW flujo agua sello bbas lodos awt	2	3-Next Schedule	2108 2284	PM	Maint Work Identification	Equipment Condition			
92715 542	2	09/12 /19	Soltura Mecánica de la posición del Roda	8	2- Schedule Interrupt	2108 6365	PM	Maint Work Identification	Ops Equipment Failure			
92754 185	1	09/12 /19	Niple 2" sensor presión PU- 15075 ROTO	3	1-Urgent Interrupt	2110 3703	OP	Ops Maintenance Work Identification				
92754 958	1	09/12 /19	Fuga de solución por junta expansiva de	2	Urgent Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification		5	18	77
92715 568	3	12/12 /19	ALINEAMIENTO BBA LODOS pu-15054 AWTP	4	3-Next Schedule	2108 3344	PM	Maint Work Identification	Ops Equipment Failure			
92715 571	2	12/12 /19	Desalineamiento Paralelo – Angular	4	2- Schedule Interrupt		PM	Maint Work Identification				
92833 847	2	12/12 /19	fuga por carcaza de bomba	6	2- Schedule Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification				
92833 847	2	12/12 /19	fuga por carcaza de bomba	8	2- Schedule Interrupt		OP	Ops Maintenance Work Identification				
93349 757	3	12/12 /19	COMPONENTES CON DESGASTE	8	3-Next Schedule	2135 6263	PM	Maint Work Identifcation				
93349 759	3	12/12 /19	DESGASTE EN COMPONENTES	9	3-Next Schedule	2136 0778	PM	Maint Work Identifcation				70

ANEXO n.º 3. Costos de los componentes y repuestos de los equipos de bombeo

Material	Component Description	Quantity	Net Price	Sub Total
60148519	O-RING;PTFE	1	\$ 53.24	\$ 53.24
60148556	SEAL:LABYRINTH;ASSEMBLY/INBOARD	1	\$ 697.47	\$ 697.47
60148557	SEAL:LABYRINTH;ASSEMBLY/OUTBOARD	1	\$ 660.19	\$ 660.19
60150954	SLEEVE:SHFT;316 SS	1	\$ 732.29	\$ 732.29
60152458	SHAFT:PUMP;SLV;4140 ALLOY STEEL;AWTP EAS	1	\$ 1,975.92	\$ 1,975.92
60152680	O-RING;75.92x1.78mm;NITRILE;AS568;041	1	\$ 10.87	\$ 10.87
60152694	PUMP KIT;MAINTENANCE/REPAIR;XLTI;8X6X18i	1	\$ 144.46	\$ 144.46
60153006	KEY;MAC/CPLG;CS	1	\$ 30.87	\$ 30.87
60155447	O-RING;VITON	1	\$ 45.31	\$ 45.31
60155458	ADAPTER;FRAME ASSEMBLY;DI	1	\$ 2,614.50	\$ 2,614.50
60156644	WASHER;BRG LOCK;W13	1	\$ 1.80	\$ 1.80
60170933	O-RING;VITON	1	\$ 27.81	\$ 27.81
60170995	O-RING;VITON	1	\$ 19.32	\$ 19.32
60170999	O-RING;63.09x3.53mm;VITON;AS568;230	1	\$ 40.38	\$ 40.38
60171099	O-RING;NITRILE	1	\$ 36.57	\$ 36.57
60187106	GASKET;END COVER;VELLUMOID	1	\$ 9.32	\$ 9.32
60187204	GASKET	1	\$ 15.78	\$ 15.78
60187218	GASKET;CSG;0.062in;NON ASB	1	\$ 60.49	\$ 60.49
60206420	BOLT;MC;DOWEL	2	\$ 8.45	\$ 16.90
60221920	BEARING;BALL;DEEP GROOVE;STRT;65X140X33m	1	\$ 40.67	\$ 40.67
60237094	NUT;BRG LOCK;N13	1	\$ 8.61	\$ 8.61
60251938	BEARING;BALL	1	\$ 686.60	\$ 686.60
60385401	LUBRICATOR;POWER END	1	\$ 4,231.45	\$ 4,231.45
Total Price				\$ 12,160.80

Material	Component Description	Quantity	Net Price	Sub Total
60187154	GASKET;CSG;0.062in;NON ASB	1	\$ 87.48	\$ 87.48
60189429	SEAL:MECH;CART;2-1/2in	1	\$ 1,253.08	\$ 1,253.08
60190887	SEAL:MECH;2-1/2in;SINGLE SPRING	1	\$ 1,039.44	\$ 1,039.44
60250746	SEAL KIT;SI-SI FACE;NITRILE O-RING	1	\$ 1,098.69	\$ 1,098.69
60255786	SEAL KIT:CPLG;1050T10	1	\$ 22.80	\$ 22.80
60280896	IMPELLER:PUMP;CTF;6;316 SS;W/ TEFLON O-R	1	0	\$ -
60281939	IMPELLER:PUMP;CTF;5;316 SS;W/ TEFLON O-R	1	0	\$ -
60315772	GRIDMEMBER:CPLG;1050T	1	\$ 74.63	\$ 74.63
60324169	COUPLING;SHFT;STEELFLEX;HALF;1050T10	1	\$ 168.00	\$ 168.00
60325480	COVER;CI	1	0	\$ -
60325481	COVER;CI	1	0	\$ -
60325709	HUB:CPLG;STEELFLEX;FLEX;1050T10	1	0	\$ -
60372997	SEAL KIT;SI-SI FACE;NITRILE O-RING	1	\$ 1,102.43	\$ 1,102.43
61123361	PARTS KIT:SEAL REPLACEMENT;MECHANICAL;DI	1	\$ 838.98	\$ 838.98
Total Price				\$ 5,685.53

ANEXO n.º 4. Fotografías

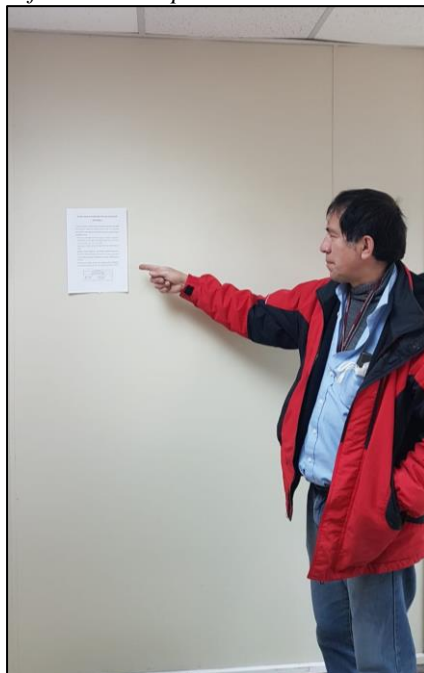
Figura 42

Difusión de las políticas de mantenimiento al ingresar a la planta minera.



Figura 43

Difusión de las políticas de mantenimiento en la sala de capacitaciones.



ANEXO n.º 5. Guía de entrevista

1. ¿Cómo califica el mantenimiento que se realiza a los equipos del sistema de bombeo?

Muy bueno bueno regular malo muy malo

2. ¿Cree que el desempeño actual de la cadena de suministros afecta negativamente la utilidad de la empresa? ¿Por qué?

SI NO

.....
.....

3. ¿La empresa está dispuesta a realizar cambios de mejora en el mantenimiento?

SI NO

4. ¿Cuáles son los problemas más frecuentes en los equipos del sistema de bombeo?

.....
.....
.....

5. ¿Cuáles son las causas principales de las fallas en los equipos del sistema de bombeo?

.....
.....

6. ¿Cuáles son los KPIs de mantenimiento utilizados por la empresa?

.....
.....

7. ¿Cuál es el comportamiento de la disponibilidad de los equipos del sistema de bombeo?

.....
.....

8. ¿Cuáles son los parámetros operaciones con los que deben trabajar los equipos del sistema de bombeo?

.....
.....

9. ¿Cuál es el target de disponibilidad establecido por la empresa?

.....
.....

10. ¿Qué mejoras aplicaría para incrementar la disponibilidad de los equipos de bombeo?

.....
.....