

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

**“GESTION MANTENIMIENTO PARA
INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS
EQUIPOS DE BOMBEO EN UNA EMPRESA
MINERA EN CAJAMARCA 2022”**

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Luis Angel Mandujano Loly
Harold Augusto Vela Culqui

Asesor:

Ing. Óscar Arturo Vásquez Mendoza
<https://orcid.org/0000-0003-4920-2204>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Miguel Ricardo Portilla Castañeda	45209190
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Rafael Napoleon Ocas Boñon	41837947
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Daniel Alejandro Alva Huaman	43006890
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Este tema de investigación es dedicado principalmente a mi madre Rosa y abuela Santa que supieron formarme con buenos valores, por su sacrificio y su bendición diario lograron la construcción de mi vida profesional. Mis tios y hermanos, por sus consejos de motivación y su apoyo a seguir estudiando.

Luis Mandujano

Esta tesis va dedicada a mi familia; papá, mamá, hermanos y sobrinos, ya que ellos son el motor de mi día a día y el sentido para que siga creciendo profesionalmente.

Harold Vela

AGRADECIMIENTO

A mi madre Rosa y abuela Santa, quienes fueron responsables de mi vida profesional y los mayores promotores de este proceso.

A mi tía Lidia, mis hermanos y familia, por que fueron participe de este periodo que hoy en día se ve reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.

A mi asesor Ing. Oscar Vasquez, el cual me brindó todas las herramientas para realizar el actual proyecto.

A Dios por haberme dado la vida y permitirme tener una maravillosa familia.

Luis Mandujano

A mis padres, quiénes fueron las personas principales que me apoyaron día a día poder seguir a paso firme en el proceso de estudio que el día de hoy se culmina.

A Dios por permitirme salud y bienestar para llegar hasta donde estoy al día de hoy

A mi asesor el Ing. Oscar Vasquez, quien con su conocimiento me ha otorgado el apoyo suficiente para llegar a culminar este proyecto.

Harold Vela

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Objetivos	15
1.3.1. Objetivo Principal	15
1.3.2. Objetivos Específicos	15
1.4. Hipótesis	15
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	16
CAPÍTULO III: RESULTADO	21
3.2.3. CHECK LIST PARA EQUIPOS DE BOMBEO.	30
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	36
REFERENCIAS	39
ANEXOS	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reporte de caudal bombeado.....	23
Tabla 2. Formato de reporte de fallas.....	28
Tabla 3. Programa de lubricación.....	30
Tabla 4. Inversión del plan de gestión de mantenimiento.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Problemas con mayor impacto en la empresa minera.....	21
Figura 2. Disponibilidad actual de los equipos de bombeo.....	24
Figura 3. Utilización actual de las bombas.....	25
Figura 4. MTBF promedio actual.....	25
Figura 5. MTTR actual promedio actual.....	26
Figura 6. Plan de gestión de mantenimiento.....	27
Figura 7. Etapas del proceso de lubricación.....	29
Figura 8. Disponibilidad después del plan de mantenimiento.....	31
Figura 9. Disponibilidad comparada.....	32
Figura 10. Utilización luego de la gestión de mantenimiento.....	33
Figura 11. MTTR con el plan de gestión mantenimiento.....	33
Figura 12. MTBF con el plan de gestión mantenimiento.....	34

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulada Gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera en Cajamarca 2022. La cual tiene como objetivo. Elaborar la propuesta de gestión de mantenimiento, para incrementar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera en Cajamarca 2022. La investigación fue aplicada, explicativa, cuantitativa. Se tubo como problema la baja disponibilidad de los equipos de bombeo por lo cual se realizo el diagnostico situación de los equipos de bombeo en el cual se determino una disponibilidad promedio de 79% de disponibilidad estando 16% menos que lo establecido que seria target del 95%, de igual forma se propuso el plan de gestión de mantenimiento en el cual se propone 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, asimismo se determino las mejoras en la disponibilidad de los equipos de bombeo en el cual se evidencia que la disponibilidad inicial fue de 79%, sin embargo luego de la gestión de mantenimiento y se obtuvo una disponibilidad de 92%, es decir, este indicador se incrementó 13% debido al plan de gestión de mantenimiento propuesto, finalmente se determino el costo de inversión del plan de gestión de mantenimiento en una empresa minera el cual asciende a un costo total: 55 400.00 dólares

PALABRAS CLAVES: mantenimiento, disponibilidad, equipos, bombeo, minera.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La minería es un sector clave para el Perú, debido a su gran aporte a la economía, el país cuenta con una de las riquezas naturales más abundantes de Latinoamérica, más aún por la ubicación de la Cordillera de los Andes a lo largo del territorio, dotando al país con altos niveles de producción minera, situándolo como uno de los mayores productores de cobre, plata, zinc, estaño, plomo y oro (Ministerio de Energía y Minas, 2021). La industria minera aporta al Producto Bruto Interno (PBI) 10% del total nacional, además realiza el 60% de las exportaciones, representa el 16% de las inversiones privadas y aporta con el 19% de los impuestos generales (Gestión, 2020)

Tueros & Ymbertis (2020) en su trabajo “Aplicación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de máquinas en el área de extraído de la Empresa Vicco S.A” tiene por finalidad la utilización de un plan de mantenimiento preventivo que eleve el número de máquinas utilizables en el área de estresado. La metodología es de tipo cuantitativo y aplicado; la población comprende los datos numéricos del trabajo realizado en mantenimiento y las cifras de disponibilidad de las máquinas. La técnica empleada fue el análisis y las fichas de registro de información. Se obtuvo como resultado, que la disponibilidad mejora debido al plan basado en el mantenimiento de tipo preventivo, esto queda demostrado a partir de la estadística diferencial que muestra la disponibilidad anterior de 67% y subsiguiente a la utilización del plan 93%. El autor concluye que, es viable para la empresa poner en marcha el plan de mantenimiento, ya que mejora la cantidad de máquinas disponibles de la empresa. Es factible realizar inspecciones

periódicas para aumentar la manta inhibida de las máquinas esto queda demostrado con las cifras del área de extraído el cual fue antes de las seis inspecciones 1.54 y luego pasó a 1.15.

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 Diseño de un plan de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una planta minera De La Rosa Saldaña, C.; Torres Hidalgo, S. Pág. 13 programadas y lograr cero averías, cero tiempos muertos y cero defectos (Muñoz, 2016).

Bases teoricas

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).

Mantenimiento De acuerdo con Martins et al. (2020), poco a poco se ha ido considerando las tareas de mantenimiento cuyo fin principal era evitar incertidumbre en la disponibilidad de equipos y las instalaciones; se enfatiza la mejora de la fiabilidad en los costes y la seguridad (p. 1552). El mantenimiento es precisado como una acción de pertinencia de la Ingeniería, la cual emplea una diversidad de recursos estadísticos para la evaluación, mejora, diseño, planificación y mantenimiento con el objetivo de reducir costos (Cárdenas Molina & Olguín Valenzuela, 2020, pág. 10). Para Bazan (2020), se trata más que todo de un soporte que cubre un grupo de actividades que deben ejecutarse en una organización para tener un costo global de las tareas de mantenimiento y que estos costos sean mínimos en el ciclo de vida de cada equipos (p. 6). El mantenimiento comprende aquellas actividades para mantener un equipo en condiciones óptimas para su operatividad, garantizando el cumplimiento de la eficiencia deseada del equipo y la calidad del producto (Selcuk, 2019). Olarte (2010), citado por García Sierra, Cárcel Carrasco & Mendoza Valencia (2019), refiere al mantenimiento como una agrupación de actividades orientadas

a garantizar la funcionalidad de los equipos y maquinarias que son parte importante dentro de una organización, para que se maximice el rendimiento de tales equipos (p. 58).

De acuerdo con López (2017), los objetivos del mantenimiento son maximizar la disponibilidad, garantizar la confiabilidad y eficiencia, prevenir el deterioro y cumplir con todos los servicios necesarios para extender la vida útil de los equipos y las máquinas reparadas. Para lograr una correcta aplicación del mantenimiento, deberá tenerse en cuenta los factores de rendimiento del mantenimiento, los costos y riesgos deberán estar en balance con la finalidad de obtener soluciones de buena calidad (Vilarinho, Lopes, & Oliveira, 2017).

Mantenimiento preventivo (MP) El mantenimiento preventivo es un programa pre concebido, en base a un conglomerado de actividades ya establecidas en un cronograma, el cual establece las tareas de mantenimiento establecidos para cada máquina (Arango, Rosero, & Montoya, 2020). De acuerdo con Nava (2008), citado en Cedeño (2019), el MP son actividades planificadas para efectuar ajustes, reparaciones, o modificaciones en componentes de un equipo previamente a que se presente un incidente por falla o daño mayor. Las actividades de mantenimiento se caracterizan por realizarse de manera anticipada, es decir antes de que surja una falla, para ello, el MP resulta ser una solución muy efectiva para ser aplicada (Fujishima, Mori, Nishimura, Takayama, & Kato, 2017). Según Aguado (2015), las actividades de mantenimiento que comprometen a máquinas y herramientas, tienen repercusión sobre todos los trabajadores, es decir que no solamente comprende al personal de mantenimiento. Se debe saber la duración de las acciones de mantenimiento, el comportamiento del proceso actual y hacer una estimación de su comportamiento futuro, para determinar los intervalos entre las tareas de mantenimiento

(Rushel, Portela, & Rocha, 2017). De acuerdo con Pérez (2021), encontraremos cuatro fases dentro del plan de mantenimiento preventivo: la planificación, programación, ejecución, control.

Disponibilidad De acuerdo con la Asociación Española de Normalización (2018) se puede definir la disponibilidad como la capacidad de contar con un recurso de manera oportuna, dando por hecho que se cuenta con los medios externos. Para Alavedra et al. (2016), "la disponibilidad de una máquina o sistema, nos da a conocer el período de funcionamiento de esa máquina o sistema respecto a la duración total durante el período en el que se desea que funcione" (p. 3). Para Pérez (2021), la disponibilidad es "la probabilidad de que una máquina sea capaz de trabajar cada vez que se le requiera" (p. 39)

Se habla de una disponibilidad inherente cuando se refiere a la forma cuantitativa de la disponibilidad, esta es hallada mediante la fórmula que involucra al MTBF (Mean Time Between Failures) y al MTTR (Mean Time To Repair) que se miden cuantitativamente con horas, de esta manera se obtendría una disponibilidad hallada en porcentaje fácil de interpretar (Gaya Lazo, 2018, p. 471). Se denomina una disponibilidad operacional al "porcentaje de tiempo que el equipo quedó a disponibilidad del área de operación para desempeñar su función en un periodo de análisis" (Fuenmayor, 2018, pág. 20). La disponibilidad operacional se calcula mediante la división de MTBM (Mean Time Between Maintenance) entre la suma de MTBM y M (Maintenance) con la finalidad de establecer el nivel de desempeño de los equipos y el rendimiento de la gestión de mantenimiento (Fuenmayor, 2018).

El MTBF, el MTTR y el MTBM son indicadores de la gestión del mantenimiento. De acuerdo a Zegarra (2016), estos indicadores se definen: El MTBF o

“Tiempo Medio Entre Fallas” hace referencia al tiempo promedio en el que la máquina continúa su labor sin mostrar algún tipo de falla ya sea causada por una mala práctica de los operarios, malas reparaciones anteriores, colocación de repuestos defectuosos o fallos de fábrica. El MTTR o “Tiempo Medio Para Reparar” muestra el tiempo promedio en el que demoran las actividades dedicadas a la reparación e intervención a los activos. Finalmente, el MTBM o “Tiempo Promedio entre Mantenimientos” significa la duración promedio de los periodos de funcionamiento entre una actividad de mantenimiento y otra similar

Mantenibilidad Chávez, Jiménez & Cucuri (2020) definen la mantenibilidad como “la probabilidad de que el sistema sea reparado a condiciones normales de operación dentro de un tiempo dado” (p. 252). Benítez, Díaz, Marrero, Romero, Villar, García & Tamayo (2019) sostienen que la mantenibilidad es “un elemento integrante de la confiabilidad operacional e indicador de la gestión de mantenimiento” (p. 115)

Confiabilidad En el desarrollo del mantenimiento, se conceptualiza como la probabilidad de no falla del equipo o alguno de sus componentes en un tiempo determinado (Zegarra, 2016). La confiabilidad de una máquina o sistema, será proporcional a la aplicación efectiva del plan de mantenimiento y la elaboración adecuada para cumplir correctamente las especificaciones del sistema productivo (Zambrano, Prieto, & Castillo, 2015). De acuerdo con Laks & Verhagen (2018).

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 empresa minera en Cajamarca 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Principal

Elaborar la gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera en Cajamarca 2022.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Elaborar un diagnóstico situacional de los equipos de bombeo en una empresa minera en Cajamarca 2022.
- Raelizar el plan de gestión de mantenimiento de los equipos de bombeo.
- Analizar las mejoras en la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minara de Cajamarca 2022.
- Determinar el costo de inversión para la implementación del plan de gestión de mantenimiento en una empresa minera en Cajamarca 2022.

1.4. Hipótesis

El diseño de un plan de gestión de mantenimiento mejora la disponibilidad de los equipos de bombeo de una empresa minera en Cajamarca 2022.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Tipo de investigación: De acuerdo con Baena (2017), la investigación **aplicada** tiene el propósito de aportar nuevas hechas, concentrando sus esfuerzos para llevar a la práctica todo lo teórico a modo de resolver los problemas planteados (p. 18). Es aplicada, ya que se emplearon conocimientos que se han ido adquiriendo sobre una problemática encontrada en una unidad de trabajo que se desenvuelve en el sector minero.

Nivel: Según Sánchez, Reyes & Mejía (2018), los alcances de una investigación se denominan al nivel de logro que el investigador plantea “alcanzar”. Los estudios pueden tener un alcance exploratorio, descriptivo, explicativo o correlacional (p. 16). Se considera en primer lugar un estudio **descriptivo**, ya que, para analizar y conocer la situación anterior a la propuesta de mejora y después de ella, se detallan las variables a través de sus indicadores, de acuerdo al momento en que suceden. Se considera también una investigación **explicativa** porque el objetivo principal es reconocer si hay relación significativa entre las variables estudiadas a partir de un análisis de comparación de los promedios antes y después del plan.

Enfoque: Según Sánchez, Reyes & Mejía (2018), un estudio con enfoque cuantitativo recolecta y analiza información a través la medición numérica con el objetivo de probar la hipótesis (p. 59). En tanto, esta investigación tuvo un enfoque **cuantitativo** ya que, es parte de un planteamiento de hipótesis que serán contrastadas con la evaluación de los resultados de la investigación, en este caso, se recopila datos de las variables de forma cuantitativa mediante indicadores planteados. Las variables, plan de mantenimiento y confiabilidad son

evaluadas con estadística descriptiva e inferencial, de modo que se puedan validar o rechazar la hipótesis general y específicas planteadas al inicio.

Diseño de investigación: El diseño de un estudio se denomina a un modelo que cumpliría el investigador con el fin de determinar un mayor control de las variables (Sánchez, Reyes, & Mejía, 2018). Las investigaciones de diseño pre experimental son un "tipo de diseño de investigación experimental que presenta un control mínimo de variables y fuentes de validez" (Sánchez, Reyes, & Mejía, 2018, pág. 55). Entonces, esta investigación tuvo un diseño preexperimental, ya que, existió una situación real sobre la que se trabajó, la situación real fue la disponibilidad de las bombas en la gestión de mantenimiento que se utilizaba. En este caso, se presenta un diseño de preprueba y posprueba sobre un mismo grupo, es decir, se toma un grupo que se diagnostica antes de aplicar un estímulo; luego, se lleva a cabo la implementación del plan y posteriormente se evalúa los resultados a través de la prueba.

Participantes.

La población considerada en la tesis está conformada por 10 estaciones de bombeo con las que cuenta la empresa minera. La muestra está conformada por 7 bombas Warman.

Técnicas.

Las técnicas empleadas en el trabajo de investigación fueron: observación en campo, recolección de información, análisis de datos y procesamiento de información. En la observación de campo, se evidenció a los equipos de bombeo en paradas no programadas, tiempos de reparación para la aplicación de la gestión de mantenimiento para lograr incrementar la disponibilidad de los equipos de bombeo.

Instrumentos.

Reporte diario de fallas

Solicitud de trabajo

Formato de mantenimiento

Chec list

Procedimiento

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

Etapa pre campo

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

Etapa de campo

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

Manuales de mantenimiento de los equipos en estudio

Recolección de información de tiempos de fallas y tiempos de reparación de las máquinas perforadoras los cuales servirán calcular la disponibilidad inicial o actual.

Para calcular el porcentaje de disponibilidad utilizaremos la siguiente fórmula.

% disponibilidad del equipo.

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

Donde.

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

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

Etapa de pos campo.

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

Método de análisis de datos. La recolección de información total, que fue del tipo de datos de esta investigación, fue procesada con los programas Microsoft Excel (versión 2016) y Microsoft Word (versión 2016)

Debido a que esta investigación es del tipo cuantificable los resultados que se obtuvieron a través de tablas y diagramas estadísticos se trabajó con los programas Microsoft Excel (versión 2016).

Para finalizar las interpretaciones y conclusiones de los resultados de la investigación fueron descritos a través del programa Microsoft Word (versión 2016).

Aspectos éticos. Teniendo en cuenta que toda información utilizada en el presente trabajo de investigación observada desde un punto de vista ético tiene que ser cierto, los investigadores a cargo de este trabajo se comprometieron a respetar la veracidad de todo lo plasmado en este documento, los datos obtenidos durante el desarrollo del presente trabajo son reales, el investigador respeta toda autoría de conceptos o citas utilizados en esta investigación y que han sido adecuados en función a la necesidad de la investigación.

CAPÍTULO III: RESULTADO

3.1. Diagnóstico situacional de los equipos de bombeo.

3.1.1. Principales problemas de los equipos de bombeo

De acuerdo al diagnóstico situacional 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, como se muestra en la figura 1.

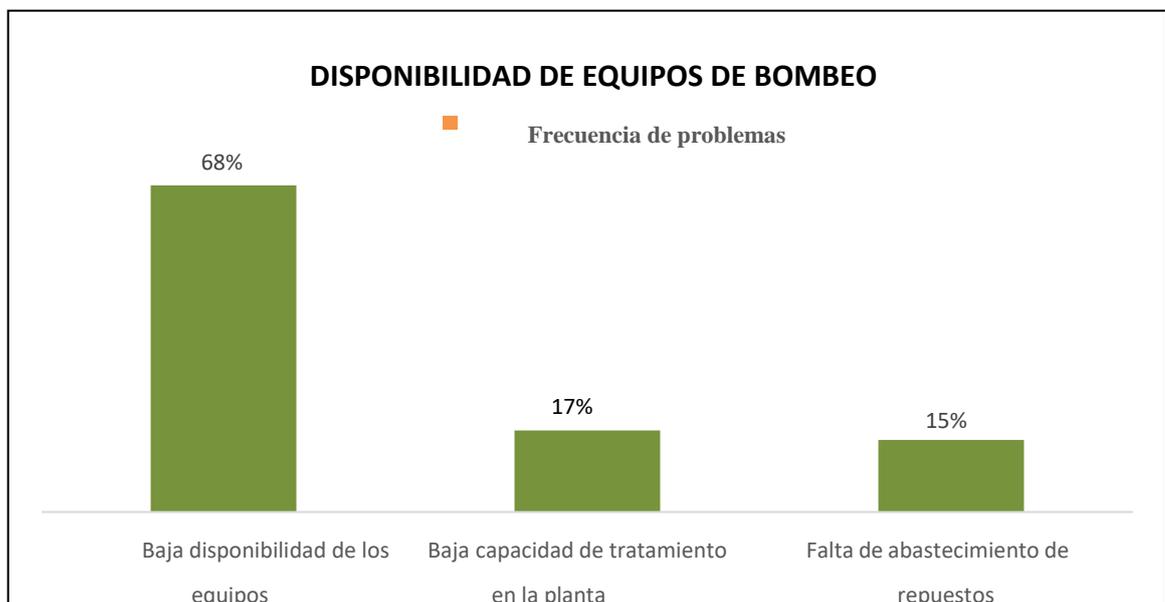


Figura 1. Problemas con mayor impacto en la empresa minera.

En la figura 1, se presentan tres problemas que ocurren con mayor frecuencia en la empresa minera durante el año 2021, el 15% de los problemas en la empresa minera 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 de bombeo que representa el 68%.

A continuación se describen algunas de las fallas que presentan los equipos de bombeo en la empresa minera.

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

- ✓ 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.
- ✓ 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.
- ✓ 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 reportes que sólo se bombea 48 m³/hora (ver tabla 1).

Tabla 1.

Reporte de caudal bombeado.

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

3.1.2. 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.

Para determinar la disponibilidad de los equipos de bombeo se utilizó la fórmula.

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

Utilizando los datos reportados se calculó la disponibilidad durante el 2022 y se ha comparado con el target establecido por la empresa, tal como se muestra en la siguiente figura.

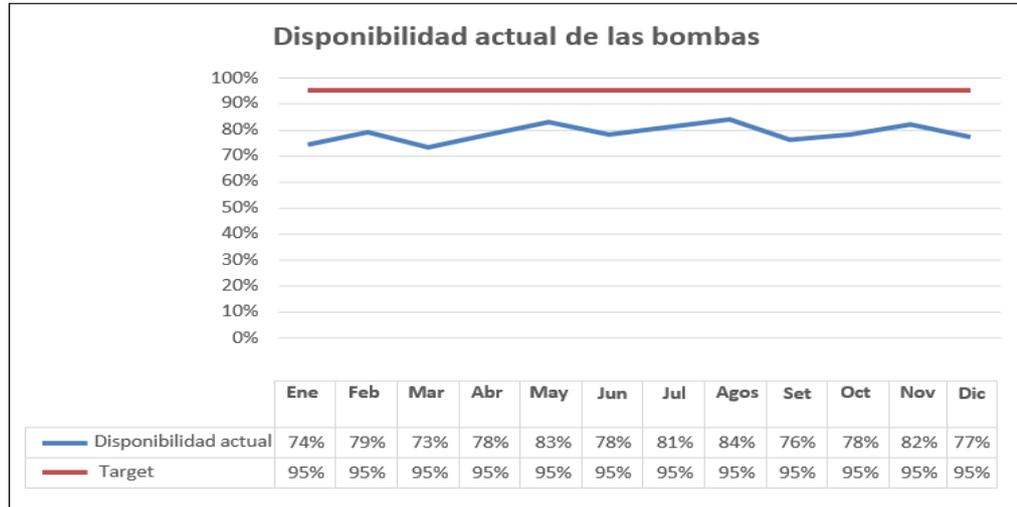


Figura 2. Disponibilidad actual de los equipos de bombeo.

La figura 2, se muestra la disponibilidad mensual de los equipos de bombeo durante el año 2021, 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 79% de disponibilidad estando 16% menos que lo establecido.

3.1.3. Utilización de los equipos de bombeo

La utilización mínima establecida por el área de mantenimiento de la empresa minera es de 95%, por ello se analizó la utilización antes de la mejora desde enero hasta diciembre del 2021, los resultados se muestran en la siguiente figura.

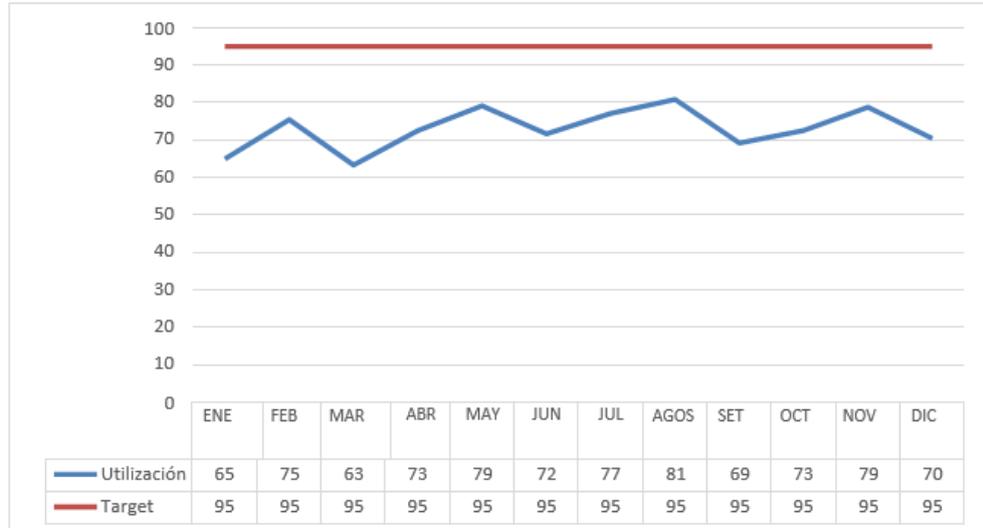


Figura 3. Utilización actual de las bombas

Como apreciamos en la figura 3, la utilización durante el 2021 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 2022.

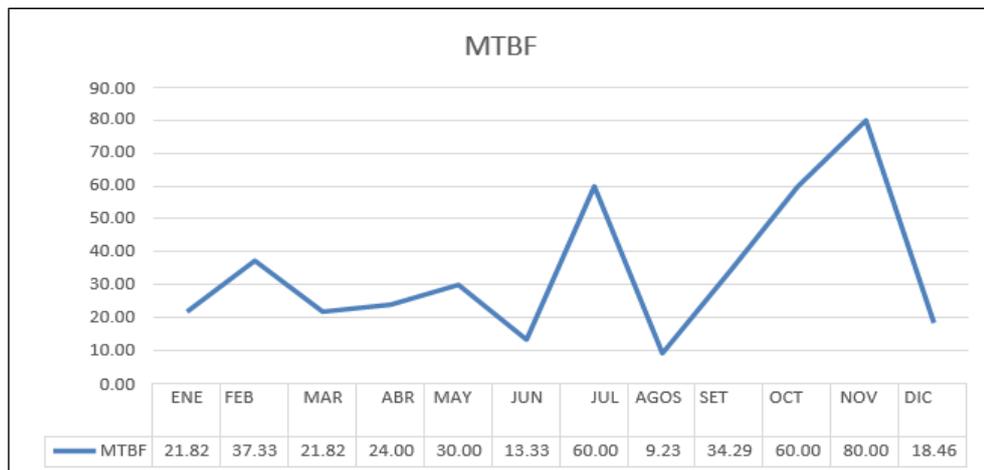


Figura 4. MTBF promedio actual.

La figura 4, se evidenció que el MTBF varía desde 9 hasta 80 horas, sin embargo, los picos de fallas altos afectan la disponibilidad de los equipos debomdeo.

MTTR de los componentes internos. Con el reporte de fallas y el tiempo de parada de equipo para reparar esa fallase determinó en MTTR.

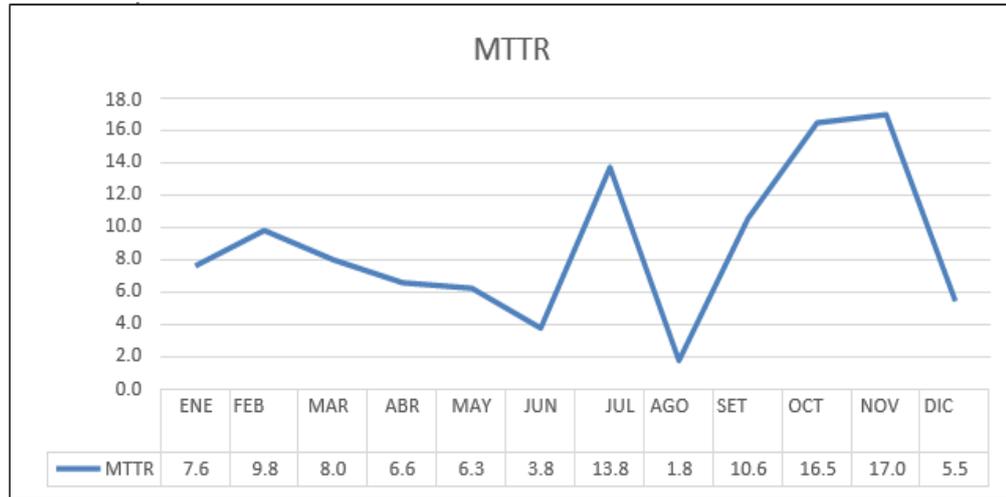


Figura 5. MTTR actual promedio actual.

En la figura 5, 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. Plan de gestión de mantenimiento de los equipos de bombeo.

La problemática presentada en esta investigación se ha optado realizar un plan de gestión de mantenimiento de los equipos de bombeo, y con ello se pretende incrementar su disponibilidad. Se propone 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.

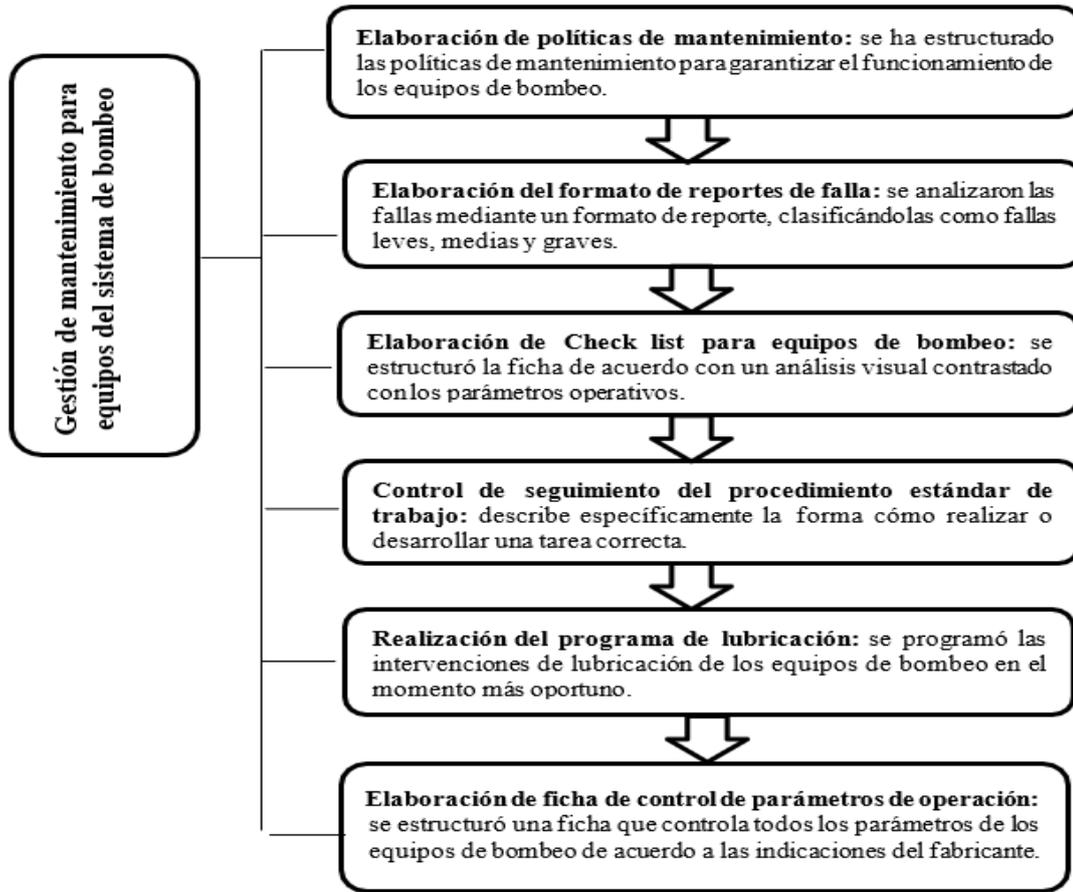


Figura 6. Plan de gestión de mantenimiento.

3.2.1. Formato para reporte de 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.
- ✓ 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.

- ✓ Asegurar que la bomba esté operando dentro de las condiciones establecidas.

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.

Tabla 2.

Formato de reporte de fallas.

Mantenimiento de Procesos	FORMATO Reporte de Falla	Código: PMA-M01-P02-F02 Página 1 de 1 Versión: 1 Fecha de publicación: 24-01-2022																																																																																		
1. DATOS GENERALES DEL EQUIPO / SISTEMA EQUIPO: <input style="width: 100%;" type="text"/> MARCA: <input style="width: 100%;" type="text"/> TAG: <input style="width: 100%;" type="text"/> FECHA DE FALLA: <input style="width: 20px;" type="text"/> / <input style="width: 20px;" type="text"/> / <input style="width: 20px;" type="text"/>		N° de Reporte <input style="width: 100%;" type="text"/> OT: <input style="width: 100%;" type="text"/> CODIGO ELLPSE: <input style="width: 100%;" type="text"/> MODELO/PIN: <input style="width: 100%;" type="text"/> AREA: <input style="width: 100%;" type="text"/> REPORTAN: <input style="width: 100%;" type="text"/> SUPERVISOR: <input style="width: 100%;" type="text"/>																																																																																		
2. DESCRIPCION EN DETALLE DE LA FALLA <input style="width: 100%; height: 40px;" type="text"/>																																																																																				
3. HORAS PERDIDAS DE PRODUCCION APROX. <input style="width: 20px;" type="text"/> Horas <input style="width: 20px;" type="text"/> Min.																																																																																				
4. COMPONENTES DAÑADOS <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">CANT.</th> <th style="width: 60%;">INSPECCION VISUAL</th> <th style="width: 30%;"># PARTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>			CANT.	INSPECCION VISUAL	# PARTE																																																																															
CANT.	INSPECCION VISUAL	# PARTE																																																																																		
5. PROBABLE CAUSA DE FALLA: <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>																																																																																				
6. ACCION CORRECTIVA TOMADA Y PLANEADA: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">QUE</th> <th style="width: 25%;">QUIEN</th> <th style="width: 25%;">CUANDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>			QUE	QUIEN	CUANDO																																																																															
QUE	QUIEN	CUANDO																																																																																		
7. CLASIFICACION DE FALLA: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <tr> <td style="width: 30%;">DISEÑO</td> <td style="width: 10%;"></td> <td rowspan="5" style="vertical-align: top;"> NOTAS: <input style="width: 100%; height: 40px;" type="text"/> </td> </tr> <tr> <td>MATERIALES</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ENSAMBLE</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>INSTALACION</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>OPERACION FUERA DE DISEÑO</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ERROR DE MANTENIMIENTO</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ERROR DE OPERACION</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		DISEÑO						NOTAS: <input style="width: 100%; height: 40px;" type="text"/>	MATERIALES						ENSAMBLE						INSTALACION						OPERACION FUERA DE DISEÑO						ERROR DE MANTENIMIENTO							ERROR DE OPERACION							<table style="width: 100%; font-size: x-small;"> <tr> <td style="width: 30%;">GRAVE</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Fallo mayor a 3 horas</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MEDIA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fallo entre 1/2 hr a 3 hrs</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>LEVE</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fallo menor a 1/2 hr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		GRAVE						Fallo mayor a 3 horas						MEDIA						Fallo entre 1/2 hr a 3 hrs						LEVE						Fallo menor a 1/2 hr					
DISEÑO						NOTAS: <input style="width: 100%; height: 40px;" type="text"/>																																																																														
MATERIALES																																																																																				
ENSAMBLE																																																																																				
INSTALACION																																																																																				
OPERACION FUERA DE DISEÑO																																																																																				
ERROR DE MANTENIMIENTO																																																																																				
ERROR DE OPERACION																																																																																				
GRAVE																																																																																				
Fallo mayor a 3 horas																																																																																				
MEDIA																																																																																				
Fallo entre 1/2 hr a 3 hrs																																																																																				
LEVE																																																																																				
Fallo menor a 1/2 hr																																																																																				
8. REGISTRO FOTOGRAFICO Revisado: <input style="width: 100%;" type="text"/>																																																																																				
		Fecha de Reporte: <input style="width: 20px;" type="text"/> / <input style="width: 20px;" type="text"/> / <input style="width: 20px;" type="text"/>																																																																																		

3.2.2. Programa de libricación.

Se determinaron 3 etapas para realizar el sistema de lubricación.



Figura 7. Etapas del proceso 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 3.

Programa de lubricación.

EQUIPO	TAREA	ST	TIPO DE MANTENIMIENTO	LUBRICADOR		Minutos x procedimiento	Veces por año	Horas al año	LUBRICANTE GRASA	CANTIDAD DE LUBRICANTE	Frecuencia días
				H.H.	# PER						
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

3.2.3. Check List para equipos de bombeo.

De acuerdo con el plan de gestión de mantenimiento, se elaboró el check list diario de los equipos de bombeo 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.

3.2.4. Procedimiento estándar de trabajo para el mantenimiento de bombas

La elaboración de este procedimiento fueron por los siguientes motivos. (Anexo 1)

- ✓ Las tareas son consideradas críticas, es decir, tareas en las que una acción u omisión puede generar un accidente.
- ✓ 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 operaciones a ejecutar son de las llamadas No Rutinarias.

3.3. Mejoras en la disponibilidad de los equipos de bombeo en una empresa minera.

3.3.1. Disponibilidad:

La disponibilidad después del diseño se evaluó desde enero hasta marzo del 2022, los resultados se muestran en la siguiente figura, 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%.

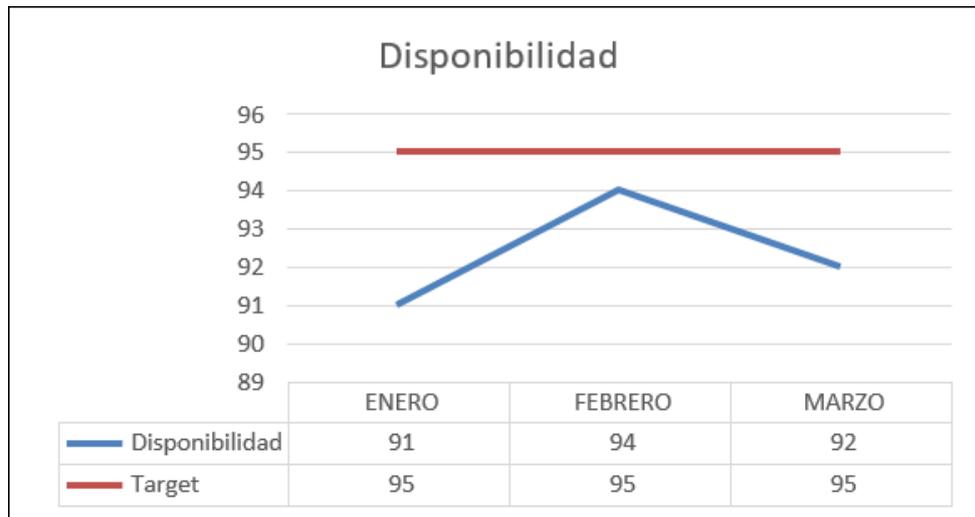


Figura 8. Disponibilidad después del plan de mantenimiento

Se obtiene un promedio de 92% para el año 2022, evidenciando que los resultados se acercan al target establecido por la empresa, siendo el más cercano en febrero (94%).



Figura 9. Disponibilidad comparada

En la figura se evidencia que la disponibilidad inicial fue de 79%, sin embargo luego de la gestión de mantenimiento y se obtuvo una disponibilidad de 92%, es decir, este indicador se incrementó 13% debido al plan de gestión de mantenimiento propuesto.

3.3.2. Utilización

La utilización también se evaluó después del diseño desde enero hasta marzo, 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%.

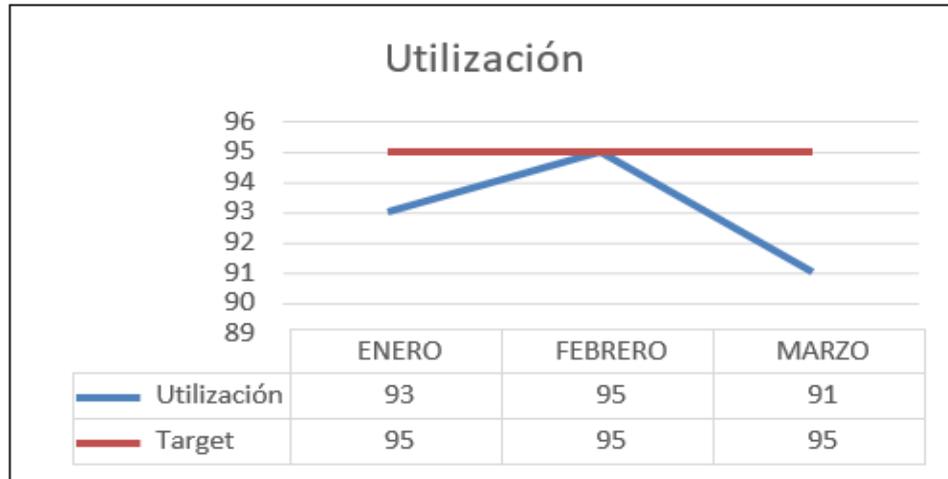


Figura 10. Utilización luego de la gestión de mantenimiento.

3.3.3.MTTR

El MTTR se ha reducido en los tres meses, 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.

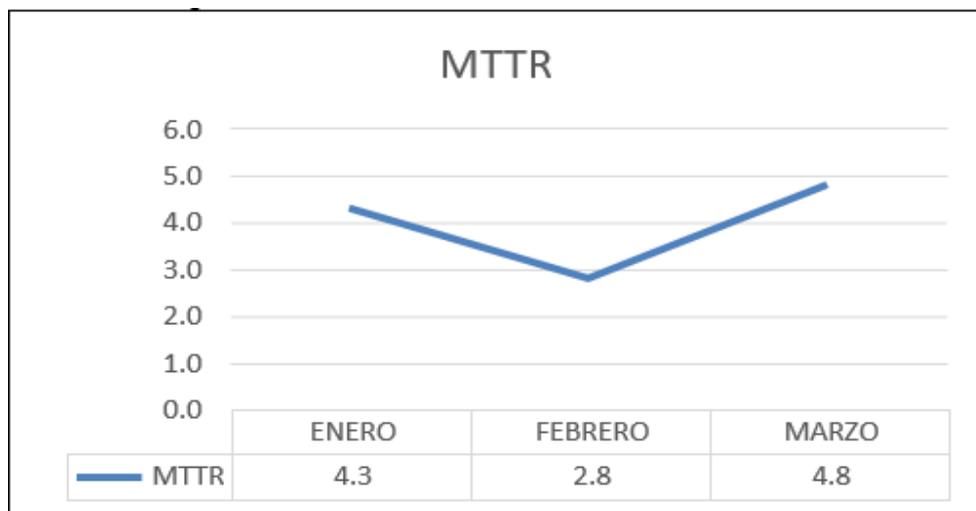


Figura 11. MTTR con el plan de gestión mantenimiento

3.3.4. MTBF

Se ha reducido en los tres meses debido al diseño del plan de gestión 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.

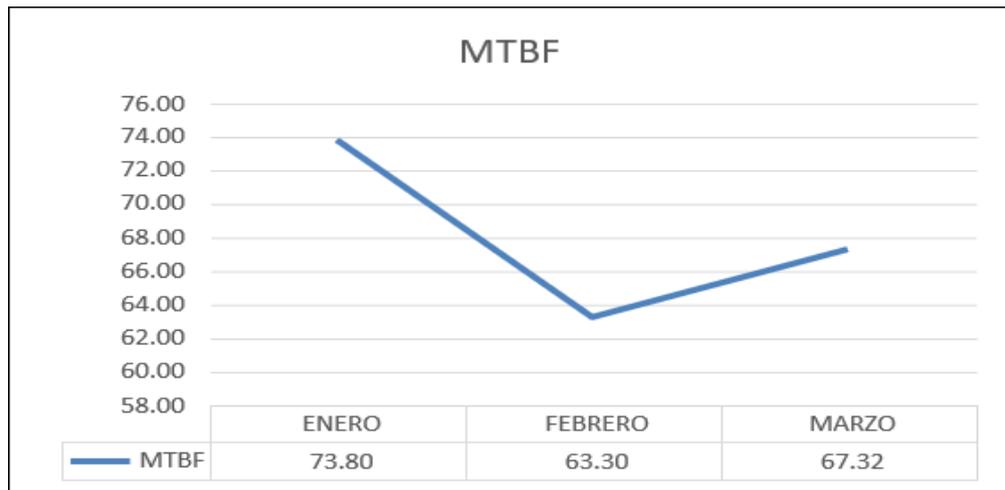


Figura 12. MTBF con el plan de gestión mantenimiento

3.4. Costo de inversión del plan de gestión de mantenimiento en una empresa minera.

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 siguiente tabla.

Tabla 4.

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 <u>mantenimiento</u>	100.00	6 700.00
	Difusión de las políticas de gestión de <u>mantenimiento</u>	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 <u>mantenimiento</u>	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 <u>sus parámetros</u>	5 000.00	
	Pago al personal (2 supervisor y 1 ayudante)	8 000.00	
	Impresiones	200.00	
Costo total: 55 400.00 dólares			

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Fonseca (2015) que implementó fichas por equipos, además lo complementó con fichas Kaizen y 5S, incrementando su disponibilidad de 72% a 93%. El presente estudio nos ha permitido constatar que es fundamental la gestión de mantenimiento para la estación de bombas y en general para los equipos de bombeo inicialmente la empresa en estudio no contaba con un plan de mantenimiento, lo cual representaba altas pérdidas económicas para la empresa, siendo la disponibilidad inicial de 88.9%, sin embargo, después de implementar la gestión de mantenimiento se incrementó a 95.6%. En el presente trabajo se realizó el diagnóstico situación de los equipos de bombeo en el cual se determinó una disponibilidad promedio de 79% de disponibilidad estando 16% menos que lo establecido que sería target del 95%, de igual forma se propuso el plan de gestión de mantenimiento en el cual se propone 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, asimismo se determinó las mejoras en la disponibilidad de los equipos de bombeo en el cual se evidencia que la disponibilidad inicial fue de 79%, sin embargo luego de la gestión de mantenimiento y se obtuvo una disponibilidad de 92%, es decir, este indicador se incrementó 13% debido al plan de gestión de mantenimiento propuesto, finalmente se determinó el costo de inversión del plan de gestión de mantenimiento en una empresa minera el cual asciende a un costo total: 55 400.00 dólares. Asimismo Tueros & Ymbertis (2020) en su trabajo "Aplicación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de máquinas en el área de extraído de la Empresa Vicco S.A" tiene por

finalidad la utilización de un plan de mantenimiento preventivo que eleve el número de máquinas utilizables en el área de estresado. La metodología es de tipo cuantitativo y aplicado; la población comprende los datos numéricos del trabajo realizado en mantenimiento y las cifras de disponibilidad de las máquinas. La técnica empleada fue el análisis y las fichas de registro de información. Se obtuvo como resultado, que la disponibilidad mejora debido al plan basado en el mantenimiento de tipo preventivo, esto queda demostrado a partir de la estadística diferencial que muestra la disponibilidad anterior de 67% y subsiguiente a la utilización del plan 93%. El autor concluye que, es viable para la empresa poner en marcha el plan de mantenimiento, ya que mejora la cantidad de máquinas disponibles de la empresa. Es factible realizar inspecciones periódicas para aumentar la manta inhibida de las máquinas esto queda demostrado con las cifras del área de extraído el cual fue antes de las seis inspecciones 1.54 y luego pasó a 1.15.

4.2. Conclusiones

De acuerdo al diagnóstico actual evidencia que el problema con mayor impacto 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. La disponibilidad actual promedio es de 79%, estando 16% menos de lo establecido que es de 95%.

El plan de gestión de mantenimiento propuesto para los equipos bombeo consisten 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.

De igual forma la disponibilidad inicial fue de 79%, sin embargo luego de la gestión de mantenimiento y se obtuvo una disponibilidad de 92%, es decir, este indicador se incrementó 13% debido al plan de gestión de mantenimiento propuesto.

Finalmente el presente plan de gestión de mantenimiento tiene un costo de inversión de 55 400 dólares.

REFERENCIAS

- 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.
- Castillo, Á. (2017). *Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema power oil de la estación Atacapi del B57- LIDE Petroamazonas EP. Riobamba* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Camacho, D. (2016). *Evaluación del sistema de bombeo de soluciones cianuradas del pad LQ8 para la planta de columnas de carbón en Minera Yanacocha*. (tesis de pregrado). Cajamarca, Perú: Universidad César Vallejo.
- Cohen, N., & Gómez, G. ,2019. *Metodología de la investigación ¿para qué?* La producción de los datos y los diseños. Editorial Teseo.
- 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.

Díaz, M. (2016). *Análisis de datos en servicio de confiabilidad prestado a una planta de remoción de ripios*. (Tesis de pregrado). Valparaíso, Chile: Universidad Técnica.

Escobar, (2017) *Metodología De Montaje Y Desmontaje De Equipos De Bombeo Para Extracción Continua Desde Acuíferos, Huancayo*: Universidad Nacional Del Centro Del Perú.

Fuenmayor, E. ,2018. *Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de un Sistema de Bombeo*. Revista Digital Latinoamericana Lubricación y Mantenimiento Industrial N°5, 17-50.

Matos, J. ,2016. *Gestión del Mantenimiento Preventivo para incrementar la Confiabilidad de los equipos de bombeo Putzmeister de una empresa Concretera, Villa El Salvador, 2016*. Universida César Vallejo, Lima.

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.

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.

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.

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.

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.

Vidal, E. (2016). *Mantenimiento productivo total (TPM) aplicado a equipos esenciales de la refinería Iquitos*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

ANEXOS

Anexo 1. Procedimiento de trabajo para mantenimiento de equipos de bombeo.

TAREA : MANTENIMIENTO GENERAL DE BOMBA				
Función :				
Cargo :				
Departamento : MANTENIMIENTO DE BOMBA				
Pre-Requisito de Competencia:			Referencias Relacionadas:	
N.º	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 porta rodamiento (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 • Teclé 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	<p align="center">DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO</p>	<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 		
6	<p align="center">COMUNICACIÓN DE RESULTADOS</p>	<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. 		

“CA” = COMPETENCIA ALCANZADA “NC” = NO COMPETENTE

Anexo 2. Galería fotográfica.



