

UNIVERSIDAD ANTONIO RUIZ DE MONTOYA

Facultad de Ingeniería y Gestión



MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD DE LA BOMBA LEÓN H-V3 OPERANDO EN POZA DE LODOS EN LA MINERA BARRICK, MEDIANTE EL MÉTODO SREDIM, TRUJILLO – 2020

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial

Presenta los bachilleres:

CESAR HUGO, HUAMANI FONSECA

ADAN WILBER, AMBROCIO PURACA

Presidente: Fernando Gonzalo Villarán de la Puente

Asesor: Oscar Alberto Gallegos Llerena

Lector: José Javier Zavala Fernández

Lima-Perú

Octubre del 2021

DEDICATORIA

A mi familia por todo el apoyo que nos brindaron en toda esta formación académica





AGRADECIMIENTO

A la universidad por ser la base para mi verdadera vocación



RESUMEN

Esta investigación pretende mejorar la disponibilidad de la bomba de lodos León H-V3 en la minera Barrick, que hasta el momento antes de la investigación, generaba costos muy altos de reparación, llegando a ser S/50,622.50 por mes. El diseño de la investigación es de carácter explicativo y experimental. El método empleado para desarrollar la investigación es el método SREDIM, que consiste en una serie de pasos a seguir para encontrar el problema principal y establecer propuestas de mejora.

Se adecuó el método SREDIM para mejorar la disponibilidad de la bomba León H-V3, reconociendo su principal falla y sus principales consecuencias. Primero, se realizó una entrevista como herramienta para examinar la situación actual y las posibles propuestas de mejora, luego, se propuso una idea de mejora a la principal falla de la bomba que es el desgaste excesivo y baja disponibilidad, que consistió en la implementación de una barcaza que sostenga a la bomba a 10cm de la superficie disminuyendo su grado de corrosión. La propuesta de mejora constó en la implementación de una barcaza en la poza de lodos así que, una vez, se observó el aumento de la disponibilidad de la Bomba León H-V3, de 84.43% a 95.75%. El VAN generado por esta propuesta corresponde a S/27,699.28.

Palabras clave: SREDIM, bomba de lodos, disponibilidad, sector minero

ABSTRACT

This investigation aims to improve the availability of the León H-V3 slurry pump at Barrick mining company, which until now before the investigation generated very high repair costs, reaching S / 50,622.50 per month. The research design is explanatory and experimental. The method used to develop the investigation is the SREDIM method, which consists of a series of steps to follow to find the main problem and establish proposals for improvement.

The SREDIM method was adapted to improve the availability of the León H-V3 pump, recognizing its main failure and its main consequences. First, an interview was conducted as a tool to examine the current situation and possible improvement proposals, then an idea of improvement was proposed to the main failure of the pump, which is excessive wear and low availability, which consisted in the implementation of a barge that holds the pump 10cm from the surface reducing its degree of corrosion. Once the improvement proposal was applied, an increase in the availability of the León H-V3 Pump was observed, from 84.43% to 95.75%. The NPV generated by this proposal corresponds to S/ 27,699.28.

Keywords: SREDIM, slurry pump, availability, mining sector

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO	15
1.1. Tema	15
1.2. Planteamiento del problema.....	15
1.3. Preguntas de investigación.....	16
1.3.1. Pregunta general	16
1.3.2. Preguntas específicas	17
1.4. Objetivos.....	17
1.4.1. Objetivo general.....	17
1.4.2. Objetivos específicos	17
1.5. Justificación del proyecto	18
1.5.1. Justificación teórica	18
1.5.2. Justificación práctica.....	18
1.5.3. Justificación social.....	18
1.6. Hipótesis	19
1.7. Alcance y limitaciones.....	19
CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA	20
2.1. Estado de arte.....	20
2.1.1. Internacional	20
2.1.2. Nacional	20
2.1.3. Regional.....	23
2.2. Marco teórico.....	24
2.2.1. Sistema de bombeo en mina	24
2.2.2. Disponibilidad de máquinas.....	34
2.2.3. Método SREDIM.....	35
2.2.4. Rentabilidad económica.....	40
2.3. Marco conceptual.....	41

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	42
3.1. Tipo y diseño de la investigación	42
3.2. Variables	43
3.3. Técnicas e instrumentos.....	44
3.4. Procedimiento	46
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	47
4.1. Contexto.....	47
4.1.1. Sistema de lixiviación.....	48
4.1.2. Manejo de la solución	50
4.2. Seleccionar.....	52
4.2.1. Consideraciones humanas.....	52
4.2.2. Consideraciones económicas	53
4.2.3. Consideraciones técnicas	54
4.2.4. Selección.....	56
4.3. Registrar.....	57
4.3.1. Aspectos técnicos.....	59
4.3.2. Medición de fallas.....	61
4.4. Examinar	64
4.5. Diseñar	68
4.5.1. Medidas adicionales.....	71
4.6. Instalar	71
4.7. Mantener	73
CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE RESULTADOS	75
5.1. Comparación visual de los resultados.....	75
5.2. Análisis de disponibilidad.....	77
5.3. Evaluación económica	79
5.4. Validación de hipótesis	82
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES.....	86
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inspección de la bomba León H-V3	34
Tabla 2. Operacionalización de las variables.....	44
Tabla 3. Costos por compra y reparación de la bomba León H-V3	54
Tabla 4. Comparación de costos anuales por reparación o cambio de equipos.....	54
Tabla 5. Tiempo de paro de la Bomba León H-V3	55
Tabla 6. Disponibilidad de Bombas del sistema de Lixiviación.....	56
Tabla 7. Participación en los costos de reparación	57
Tabla 8. Nivel de disponibilidad.....	57
Tabla 9. Datos técnicos de la bomba León H-V3	60
Tabla 10. Medición de flujo y presión hidráulicos	62
Tabla 11. Observación de parámetros eléctricos	63
Tabla 12. Estado de la Barcaza	73
Tabla 13. Monitoreos de la Barcaza instalada	73
Tabla 14. Monitoreo de la bomba León.....	77
Tabla 15. Tiempo de paro de la Bomba León H-V3 después de la instalación de la barcaza	78
Tabla 16. Costos de funcionamiento mensuales de la bomba León antes y después de la instalación de la barcaza	80
Tabla 17. Inversión por Barcaza	81
Tabla 18. Ingresos por día de trabajo de la bomba León antes y después de la instalación de la barcaza.....	81

Tabla 19. Utilidad de la bomba de lodos antes y después de la instalación de la barcaza	81
Tabla 20. Flujos económicos de la instalación de la barcaza (S/)	82
Tabla 21. Disponibilidad de la bomba León H-V3, pre test y post test.....	83
Tabla 22. Prueba de normalidad con Shapiro Wilk.....	84
Tabla 23. Estadísticos de prueba de Wilcoxon.....	84



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proyecto minero Misquichilca.....	47
Figura 2. Proceso generalizado de la extracción de oro	48
Figura 3. Flujograma del proceso de lixiviación	51
Figura 4. Representación de las zonas del proceso de Lixiviación	58
Figura 5. Flujo de las soluciones en el proceso de lixiviación	58
Figura 6. Tablero de control	59
Figura 7. Rango de operación de la bomba León H-V3	59
Figura 8. Bomba León H-V3	61
Figura 9. Barcaza de soporte para la bomba León H-V3.....	69
Figura 10. Partes de la barcaza construida.....	70
Figura 11. Retiro de la bomba	72
Figura 12. Montaje de la bomba	72
Figura 13. Posición inicial de la bomba.....	75
Figura 14. Posición de la bomba después de la implementación de la barcaza.....	76
Figura 15. Comparación de disponibilidad de la bomba León H-V3.....	79



INTRODUCCIÓN

En el sector minero, uno de los sectores más importantes de la economía peruana, existen diversos factores que no se han podido para el correcto funcionamiento sus actividades. Algunas de estas actividades generan en mayor o menor medida afectaciones al medio ambiente sino se tratan de manera correcta. En la minería existen diferentes formas de procesar el mineral para conseguir el producto final, dentro de estos existe el método por pilas de lixiviación que consiste en acumular el mineral extraído de la mina, ya chancado y reducido a pequeñas piedritas para colocarlos en pilas sobre un cerro que tiene un sistema de riego, por donde estas pilas reciben soluciones químicas que conducen el oro por gravedad hacia niveles más debajo de las pilas para ser empozados en una poza rica, para que después sea conducido a plantas de procesamiento donde se extrae solo el oro de la solución. En la minera Barrick, existe un proceso dentro de la zona de lixiviación que no cumple adecuadamente su rol, debido a la baja disponibilidad de una de sus máquinas. Este proceso es el retorno de las soluciones pobres a las pilas de lixiviación, dentro de este proceso se encuentra una poza de lodos que acumula la solución de cianuro que arroja la planta de recuperación de oro, con el propósito de ser reutilizado en las pilas de lixiviación. La máquina que tiene baja disponibilidad es la Bomba León H-V3, cuyo papel es bombear la solución acumulada en la poza hacia las pilas de lixiviación, sin embargo, debido a fallas que se pretenden investigar, esta bomba se corroe demasiado rápido, llegando a tener baja disponibilidad de trabajo y poco tiempo de vida. Esta situación coloca a esta sección en una situación de vulnerabilidad ya que, debido a los cambios continuos de la bomba, el personal debe estar más frecuentemente cerca de la poza que contiene sustancias químicas peligrosas para la salud. Es por ello, que se realiza esta investigación dividida en los siguientes capítulos.

En el primer capítulo se presenta la formulación del problema, mediante un planteamiento e interrogantes que se quieren responder finalizada la investigación, además de los objetivos planteados metodológicamente para el propósito de esta

investigación. Se presenta en este capítulo la justificación del tema de esta investigación, así como los alcances que vendría a tener.

En el capítulo dos se presenta el marco de referencia, el cual concibe a todos los autores que citamos en el desarrollo de la investigación, así como sus aportaciones a esta. Se presentan los términos bajo los cuales se realiza esta investigación y el sustento teórico para realizar cada paso en busca del logro de los objetivos.

En el capítulo tres se presenta la metodología que viene a ser el proceso por el cual se pasó durante el desarrollo de la investigación, las herramientas que se utilizaron y las variables que se trabajaron como dependiente e independiente.

En el capítulo cuatro se presenta todo el desarrollo de la investigación, los resultados de la recolección de información como parte del diagnóstico de las bombas de lodos, y a partir de ello, el diseño de la mejora para que aumente su disponibilidad.

Adicionalmente en el capítulo cinco se analizan los logros de la tecnología diseñada una vez implementada, incluyendo un análisis económico para hallar la factibilidad de la mejora. Con esto se termina el desarrollo de la investigación y se presentan las conclusiones y recomendaciones finales correspondientes a la mejora y adicionales.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Tema

Las empresas mineras, por la complejidad de su sistema de producción, presentan diversas unidades de trabajo que se complementan. El proyecto minero en que se realiza esta investigación cuenta con un sistema de manejo de soluciones particular que consiste en redistribuir la solución utilizada en las pilas de lixiviación todo lo posible, de manera que, se utiliza la menor cantidad de agua posible en el proceso de obtención del oro.

El mineral crudo que se recoge de la mina, después de pasar por el chancado primario y secundario se lleva al proceso de lixiviación donde se aplica una solución diluida de cianuro, en pH básico, a las pilas de mineral y luego se obtiene oro de la solución enriquecida procesado en la instalación de recuperación de oro. Luego de la recuperación del oro, la solución pobre será reciclada nuevamente a las pilas, con ayuda de una bomba. La sección que se trata en esta investigación, es la encargada de devolver la solución pobre a las pilas de lixiviación, donde se encargan de adecuar la solución, incluyendo cianuro y otros químicos hasta que se vuelva la solución requerida para recuperar el oro del mineral. La presente investigación pretende mejorar la disponibilidad de estas bombas ya que presentan una vida útil muy baja y constantes reemplazos.

1.2. Planteamiento del problema

Dentro del sistema de lixiviación de la mina Barrick, se utiliza una solución que contiene cianuro de sodio, un producto anti - escamante y soda cáustica o cal según se requiera, para mantener el pH de la solución por encima de 9.0. Esta solución se almacena en un tanque hasta que sea requerida en la pirámide escalonada de mineral chancado (PAD) para que pueda trabajar como adherente y recoja el oro que se encuentra en el

mineral chancado. Luego de que esta solución recoge el oro (solución rica), este es bombeado a la planta de precipitación con Zinc (Merril-Crowe), donde se extrae el oro puro y la solución vuelve a ser solución pobre. Después de eso esta solución pasa a la poza de lodos, donde es guardada y tratada con la misma cantidad de cianuro y demás compuestos químicos para que alcance un pH por encima de 9.0 y vuelva a servir en el PAD, para llegar a la pirámide se hace uso de una bomba de lodos (LEÓN H-V3).

Es en este punto donde se observa un problema recurrente, la bomba LEON H-V3 se corroe con facilidad, debido a la solución rica en agentes químicos que debe bombear (Anexo 4). Esta bomba requiere de mantenimientos y constantes revisiones para que pueda trabajar de manera continua. El valor por reposición de esta bomba es de 35 mil dólares, el valor que incluye la compra, el traslado y la colocación de la bomba en la poza de lodos. Se ha observado que la bomba empieza a tener errores desde el primer mes en que se coloca y de manera incidental empieza a no funcionar, hasta que al cuarto o quinto mes deja de funcionar completamente.

Es por ello que en esta investigación se pretende reconocer las causas específicas de la falla de esta Bomba, para encontrarle solución y mejorar la disponibilidad de esta, apoyando así con el proceso de la mina.

Expuesto lo anterior se llegan a las siguientes preguntas de investigación, las cuales se responderán con el desarrollo de la misma.

1.3. Preguntas de investigación

1.3.1. Pregunta general

¿Cómo mejorar la disponibilidad de la bomba león H-V3 operando en poza de lodos en la minera Barrick utilizando el método SREDIM?

1.3.2. Preguntas específicas

- ¿Por qué escoger la bomba de lodos como máquina a mejorar del proceso de lixiviación?
- ¿Cómo es el funcionamiento de la bomba León H-V3 y su actual nivel de disponibilidad?
- ¿Qué medidas tomar para mejorar la disponibilidad de la bomba León H-V3?
- ¿Qué resultados se obtienen de la implementación de la mejora para aumentar la disponibilidad de la bomba León H-V3?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Mejorar la disponibilidad de la bomba león H-V3 operando en la poza de lodos en la minera Barrick utilizando el método SREDIM

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la importancia de la bomba León H-V3 en el proceso de lixiviación.
- Describir el funcionamiento de la bomba León H-V3 y su nivel de disponibilidad antes de la mejora.
- Proponer mejoras con base en el método SREDIM para aumentar la disponibilidad de la bomba León H-V3.
- Evaluar los resultados de la mejora con base en el método SREDIM para aumentar la disponibilidad de la bomba León H-V3.

1.5. Justificación del proyecto

1.5.1. Justificación teórica

Para todo el proceso de investigación se utilizan la herramienta de ingeniería SREDIM. Con el análisis de las causas de la poca disponibilidad de la bomba de lodos, se utilizarán las herramientas propias de ingeniería industrial como el diagrama de Ishikawa, diagrama de procesos, diagrama de flujos, etc., por lo cual se aportará con información técnica de este tipo de bombas que puede ser utilizado para otras mineras con el mismo problema. La dificultad de la bomba de lodos ha iniciado desde su implementación en la minería, ya que las condiciones de la solución que procesa tiene componentes más corrosivos que otras soluciones, contienen densidad de químicos que desgastan el metal del que está hecha la bomba y ocasiona que no funcionen después de poco tiempo, es por eso que esta investigación será un aporte a la base teórica de adecuación de las bombas de lodos a procesos mineros y que se desenvuelvan de manera continua en el proceso y no se esté gastando más tiempo y recursos en repararlas o cambiarlas.

1.5.2. Justificación práctica

Con la investigación acerca de las fallas en el sistema de bombeo que produce desgastes prematuros en las bombas de lodos, se hace un aporte significativo a la empresa minera Barrick, ya que actualmente se hacen gastos de más de 40 mil dólares anuales para reemplazar o reparar estas bombas de drenaje. La investigación hace un aporte significativo al mejoramiento de estas actividades y a las utilidades de la empresa Barrick.

1.5.3. Justificación social

La bomba de lodos pertenece a este sistema de lixiviación que reutiliza las soluciones con cianuro, para su proceso de obtención de oro, lo que ya es un aporte significativo al medio ambiente, ya que este sistema de reutilización de soluciones colabora al no desperdicio de agua para el tratamiento del mineral y la extracción del oro. Por otro lado, la minera representa uno de los impulsores de la economía peruana y con

esta investigación se está compartiendo mejoras a los procesos que se realizan en ella, por lo que, tiene gran aporte significativo social.

1.6. Hipótesis

Con un adecuado análisis y diseño de mejora mediante el método SREDIM se logrará aumentar la disponibilidad de la bomba León H-V3 operando en la poza de lodos de la minera Barrick.

1.7. Alcance y limitaciones

El alcance de la investigación es la realización del diseño técnico de una barcaza que incremente la disponibilidad de la bomba León H-V3 que opera en la poza de lodos de la minera Barrick.

La limitación que se prevén es el horario disponible para el análisis, observación y visitas al lugar de donde se ubican las bombas, ya que se pretende no interrumpir con las actividades del centro de trabajo. Además de esta, no existen otras limitaciones, ya que se cuenta con el permiso de la empresa para la realización y la publicación de la investigación

CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA

2.1. Estado de arte

2.1.1. Internacional

Una investigación se realizó con el objetivo de diseñar e implementar un sistema de bombeo en una mina, para lo cual se toma como metodología el análisis de los parámetros básicos de hidrología, hidrogeología, precipitación, caudales, condiciones de mina y secuencia de operación de la misma. También realizó un cálculo de cargas dinámicas, cálculo de volúmenes de agua, para reconocer el requerimiento de bombeo y escoger así el equipo que obedezca a estas exigencias. Como conclusión se logra una mejora en la capacidad de evacuación de los sumideros temporales hacia el sumidero principal. El análisis económico arroja una estabilidad del proyecto a mediano plazo (Ortíz Ramirez, 2014).

Se realiza una propuesta de mejora para una bomba de drenaje en mina. El objetivo de la investigación es mejorar el sistema de bombeo de aguas de relaves que debe llegar a diferentes zonas de la mina. Para ello se hace un diagnóstico de las bombas actuales en cuanto a componentes y funcionamiento, hallando las fallas de cada uno. Utilizando un análisis Pareto se hallan las piezas críticas y se trabaja con ellas, para cambiarlas o mejorarlas. Los resultados fueron efectivos ya que los índices de confiabilidad y disponibilidad aumentaron de 60.7 a 87.4 %, de 83.8 a 95.5 % respectivamente y la mantenibilidad también (Fernández Tapia, 2017).

2.1.2. Nacional

En la investigación de Rafael (2019) se plantea un mejoramiento del sistema de bombeo para la evacuación de aguas subterráneas en la minera Kolpa S.A. El problema

hallado fue en la sección de rampas de acceso, la rampa número dos tenía un problema de inundación, para lo cual, utilizando una metodología de evaluación sistemática y revisión de reportes mensuales de consumo de energía, se logró proponer la colocación de dos bombas de turbinas multietápicas verticales que tienen cada una, 10 turbinas en serie.

Condezo y Benavides (2019) hacen una investigación con el mismo objetivo de mejorar el sistema de bombeo de aguas subterráneas en este caso de la Unidad de producción Uchucchacua -Cia de Minas Buenaventura, para ello se accede a la información sobre consumo de energía, caudal, mantenimiento, horas de operación, vida útil y marca de las bombas, para evaluar la situación actual del sistema de bombeo. Para la propuesta se toma un sistema de tres bombas instaladas en serie con motor eléctrico de 350 HP.

Se hizo una investigación que trató el tema de diseño e implementación del sistema de drenaje de la mina Antapaccay, se plantea una solución a la problemática de la presencia de agua de ríos subterráneos y precipitaciones, y para lo que plantea instalar un sistema de drenaje que consta de cuatro líneas de bombeo (tuberías HDPE Ø16", 14" y 10"); con un caudal de 400 l/s con bombas sumergibles superficiales. Esta propuesta funciona correctamente bombeando con las características dadas de 400 l/s operando las 24 horas diarias, pero no es suficiente para el caudal del río subterráneo estimado de 500 l/s. el autor propone como recomendaciones adicionales dos opciones, primero podría habilitarse una línea de bombeo adicional a los que ya se tiene, como otra opción sería que las bombas estacionarias tengan mayor capacidad de flujo (Cansaya, 2017)

Una investigación se realiza con el objetivo de optimizar el sistema de bombeo de la veta Ánimas de la minera Bateas en Huancayo. Para ello, el autor accede a información sobre los registros de ingresos de agua hacia las actividades de la mina, hallan que para la veta Ánimas ingresan 120 l/s, teniendo en cuenta que la mina plantea profundizar la veta hasta el nivel 17 en los próximos años, por una elevación base de 4250 msnm aproximadamente, esta profundización traería la posibilidad de incrementar los ingresos por 20% o 70% o hasta 200 l/s. El autor analizó los costos del sistema de bombeo anterior, lo que resulta en que los costos se incrementan con el descenso de la

productividad, una razón más para renovar el sistema de bombeo. La propuesta del autor conduce al incremento de la productividad (Medrano Ventocillo, 2019).

Se realizó un análisis numérico de flujo subterráneo de una mina subterránea, con el objetivo de comprender mejor sobre soluciones numéricas que representen el comportamiento de flujo subterráneo a través de un estudio. El autor incorpora elementos discretos 1D en su estudio y un modelo 3D para elementos finitos realizado con el programa FEFLOW, los elementos discretos permiten representar de forma más realista el medio hidrogeológico y de la misma forma evaluar las consecuencias de los comportamientos de flujo subterráneo (Ninanya de la Cruz, 2015)

Tacilla y Cueva realizaron una tesis basándose en los problemas encontrados en los pozos profundos del sector minero. El problema parte de que, por condiciones climáticas, es decir lluvias fuertes y el tipo de tierra, las bombas que forman parte del equipo de bombeo, que se encontraban en estos pozos se inundaban y se perforaban, provocando la paralización de las tareas debido a la gran acumulación de agua filtrada del subsuelo. Por ello esta investigación tiene el objetivo de aplicar controles para estos equipos que se sumergen, detectando así con anticipación las fallas que se presentan en estos equipos y poder actuar a medida que van evolucionando los inconvenientes, complementariamente a estos controles se quiere mejorar las condiciones de trabajo de perforadoras y camiones. La metodología de recolección de información fue la salida a campo, la observación directa, con ayuda de los instrumentos de check list, formatos, entrevistas y bibliografía revisada. Lo obtenido fue la configuración del PLC para lograr los enlaces entre equipos y centro de control. Las conclusiones halladas fueron que un sistema de control para bombas sumergibles en minería a cielo abierto mejorará en gran medida las condiciones de trabajo en el área de operaciones mina (Tacilla Sánchez & Cueva Correa, 2019)

En una investigación se hace la evaluación de bombas de pulpa. La población para este análisis son los productos del fabricante GIW, empresa perteneciente al grupo KSB AG. La metodología que sigue para esta evaluación son los lineamientos del estándar ANSI/HI 12.1-12.6-2005 American National Standard for Rotodynamic Slurry Pumps. Con esta evaluación el autor pretendía generar una guía de selección de bombas de pulpa con comportamiento newtoniano. Se apoyó en el cálculo con el uso del software

de selección de bombas de pulpa desarrollado por GIW. Para ello debió tomar requerimientos reales, en este caso tomo una mina peruana para determinar desde el punto de vista técnico y económico que bomba de pulpa metálica del modelo LSA es la más adecuada ese tipo de requerimientos y en ese tipo de operación (Niño Martínez, 2019)

En la investigación de Barreto (2017) se quiso optimizar el bombeo del agua acumulada en el fondo del tajo Antapaccay, debido a que las características de la acumulación del agua no permitían el avance de la obra en mina, el método para lograr este objetivo fue el estudio de un nuevo sistema de bombeo, construcción y drenaje. Para ello el autor expuso la necesidad de preparar tuberías en una ubicación más estable de mina, que no perjudiquen la operación y una excavación de pozas realizada por un equipo auxiliar, también sugiere, el revestimiento de las pozas con geomalla, geotextil y geomembrana, y para la elección de bombas Gorman Rupp, Flygt MT, Zulser y Goulds Pumps, se realizó el cálculo de potencias mediante un estudio del % de utilización y en base a rendimientos. El autor tuvo en cuenta los antecedentes del sistema de bombeo antiguo de aguas de fondo de mina Antapaccay, para luego hacer el estudio para el diseño y construcción del nuevo sistema de bombeo, con mejores eficiencias y rendimientos.

En la investigación de Rodríguez realiza una propuesta sobre el mejoramiento del sistema de bombeo de aguas subterráneas en mina, con el motivo de mejorar la continuidad de trabajo de las bombas en mina, ya que hasta ese momento se veía interrumpida por fallas en el funcionamiento. Para ello evalúa el sistema de bombeo anterior en condiciones hidráulicas y operativas, revisa los reportes mensuales de consumo de energía, caudal y mantenimiento. Teniendo en cuenta estos resultados se propone a realizar el diseño de la propuesta. Lo que resulta en una propuesta de tres bombas instaladas en seri con potencia eléctrica de 350 HP cada una (Rodríguez Ayala, 2014)

2.1.3. Regional

Ojeda (2012) en su investigación hace un diseño para la automatización industrial de aguas acidas, con el propósito de cumplir con la legislación debida, de devolver el agua a la naturaleza tan igual como se ha obtenido, para ello se plantea instalar un sistema de bombas que vayan desde la zona de concentración de aguas acidas sur hasta

una zona donde se puedan neutralizar y devolver al medio ambiente, esta zona quedaría al norte, lo que hace necesario el sistema de bombeo. En la metodología recurren a una revisión del requerimiento, la ingeniería del proyecto se hizo mediante los softwares AFT FATHOM y Step 7-Micro/win. Concluyendo que el sistema propuesto da buenos resultados para el bombeo de aguas acidas.

Suárez en su investigación tiene el objetivo de analizar la ampliación de un sistema de bombeo de dos etapas en una mina subterránea para determinar la viabilidad y factibilidad. Para lo cual determina en primera estancia los parámetros del diseño existente, las condiciones hidrogeológicas de la mina, determinando así la necesidad de una bomba de 500 HP con capacidad de carga dinámica de 75 m para lo cual seleccionó la Goulds Pump 3316 en el tamaño 6 x 8 -17, n = 1750 rpm. Como conclusión de su investigación se da que el CAPEX del sistema es de US\$ 13, 571,442, un VNA de la mina de US\$ 65, 562, 057 y un TIR del 18.10% (Suárez Enciso, 2019)

Una investigación se realiza con la finalidad de realizar un análisis económico de la propuesta para la implementación de un sistema de bombeo en dos etapas, para ello la autora realiza un análisis del sistema de bombeo actual encontrando condiciones hidrológicas de la mina, y con ayuda de esto realizar una simulación técnica de los requerimientos de la mina. Los resultados fueron los requerimientos específicos, una bomba de 5000hp que pueda hacer una carga dinámica de 75 metros, la autora prefirió la Goulds Pump 3316, n=1750 rpm. Las conclusiones de la evaluación de factibilidad fueron positivas ya que el proyecto requiere un CAPEX de 13 millones y le otorga a la mina un VNA de 65 millones y un TIR de 18.10% (Sumaria Montes, 2019)

2.2. Marco teórico

2.2.1. Sistema de bombeo en mina

Un sistema de bombeo se basa en un conjunto de elementos los cuales permiten el transporte por medio de las tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de tal modo que se cumplan las descripciones de caudal y precisión requeridas en los distintos sistemas y procesos (Blanco, Velarse, & Fernández, 1994).

Se caracterizan por ser necesarios en la industria minera, particularmente en las que se realizan de manera subterránea y de tajo abierto, ya que cuando se hace una excavación para sacar el mineral, en lo profundo empieza a filtrarse agua hacia la superficie, lo que dificulta el avance de la excavación, para ello sirven estas bombas, que retiran el agua de la zona de excavación hacia otra zona. Para saber qué tipo de bomba se requiere en cada proyecto, se hace la evaluación de ingenieros proyectistas y vendedores, mediante las ecuaciones de conservación de la masa, energía y cantidad de movimiento para la actividad. Con el análisis de equilibrio hidráulico, se evita caer en el error de seleccionar una bomba que bombea con gran capacidad para una sección que solo requiere de una máquina menos potente, generando pérdidas económicas o seleccionar una máquina que tenga poca capacidad y que no llegue a la meta requerida en la sección y mina evaluada (Ortiz- Vidal, Cabanillas, & Fierro- Chipana, 2010)

Elementos típicos:

En un sistema típico, muy aparte de las tuberías que son las que conectan los puntos de origen y destino, son necesarios otros elementos. Algunos de ellos brindan la energía necesaria para el transporte: bombas, sitios de almacenamiento y depositos. Los demás son elementos de regulación y monitoreo: válvulas y equipos de medida (Blanco, Velarse, & Fernández, 1994).

a. Bombas de Lodo

“Una bomba de Lodo es un tipo especial de bomba que es capaz de manejar Lodo. A diferencia de las bombas de agua, las bombas para lodo están sujetas a desgaste y son más robustas y resistentes” (Dragflow, s.f.).

Tipos de Bombas para Lodo

De acuerdo a la empresa Dragflow (s.f.), que fabrica bombas para suplir el mercado europeo, existen distintos tipos de bombas para lodo, entre los más comunes tenemos a las bombas centrífugas y las bombas de desplazamiento positivo.

Las bombas centrífugas para lodo pueden suministrar gran capacidad con cabeza limitada y se usan principalmente en el bombeo del lodo o suspensiones a través de tuberías con concentraciones inferiores 70% de sólidos por peso. Las bombas centrífugas pueden ser verticales, horizontales o sumergibles.

Las bombas de suspensión de desplazamiento positivo que puede suministrar altas cabeza con capacidad limitada se emplean en bombeo de lodos a través de tuberías con una concentración muy alta de sólidos.

Bombas sumergibles para Lodo

Una bomba centrífuga sumergible para lodo es una bomba de flujo continuo que funciona sumergida, esta bomba tiene la capacidad de manejar lodos abrasivos. Tiene una entrada en la succión de la bomba que incrementa la velocidad de la suspensión por medio de las paletas de un impulsor rotatorio, generando una fuerza centrífuga que envía el lodo mediante la carcasa hacia la descarga. La carcasa o voluta es un elemento en forma de cuerno que convierte velocidad en presión (Dragflow, s.f.).

El rendimiento de esta bomba se define por el diseño de su carcasa y del impulsor. La eficiencia está relacionada con la cantidad y el diseño de las paletas del impulsor. Al manejar lodos, la eficiencia está comprometida por los espacios libres y la necesidad de construir componentes que resistan a la abrasión, tomando en cuenta los materiales, grosor, etc. (Dragflow, s.f.).

Una bomba para lodo sumergible puede ser accionada mediante electricidad o de forma hidráulica. Si se trata de una bomba eléctrica, su eje del motor se fija al impulsor. Si se trata de una bomba hidráulica, el motor se acoplará al eje principal de la bomba (Dragflow, s.f.).

Componentes de la Bomba para Lodo

El sitio web de la empresa Dragflow (s.f.) define los componentes de la Bomba para Lodo:

- Motor: Puede ser eléctrico o hidráulico. El enfriamiento de la bomba sumergible eléctrica es muy importante. Si la bomba de lodos funciona semisumergida o si va a trabajar en seco durante bastante tiempo, se debe incluir una camisa de enfriamiento. En las Bombas de Lodo Sumergibles Eléctricas de Servicio Pesado se recomienda tener un motor con aislamiento Clase H. También se puede incluir sensores de alta temperatura y humedad.
- Impulsor: El impulsor es el componente giratorio de la bomba de lodo. Transporta la fuerza centrífuga hacia la suspensión. Mayormente, está hecho de hierro fundido esferoidal de alto cromo que es muy resistente a la abrasión. El impulsor puede estar abierto, semi abierto, cerrado.
- Carcasa: El diseño de la carcasa es por lo general de semioruga o concéntrica. Mayormente está hecha de hierro fundido, pero dependiendo de la aplicación puede tener recubrimiento protector anticorrosivo, o esta ser fabricada en aleaciones especiales para aplicaciones abrasivas.
- Conjunto de eje y rodamiento: El eje se usa para transferir el movimiento de rotación desde el motor hasta el impulsor. El eje tiene rodamientos de rodillos muy resistentes, estos evitan su desplazamiento en otras direcciones y reducen la vibración.
- Manga del eje: Tiene como función la protección del eje.
- Placas de desgaste superior e inferior: Estas placas están ubicadas encima y abajo del impulsor. Están sujetas a desgaste.
- Colador: El filtro evita que entren partículas grandes que podrían quedarse atoradas dentro de la zona del impulsor, esto ocasionaría daños en la bomba.
- Agitador: Esto permite que la bomba recoja sedimentos, poniendo los sólidos en suspensión. La manera en que funciona, debida al diseño de las paletas, fuerza un flujo continuo de alta presión de líquido hacia los sedimentos, este flujo sigue la forma de un cono. El agitador también evita que los sólidos bloqueen los huecos del colador.

b. Instalación de bomba León H-V3

La instalación de este tipo de bomba es compleja y es necesario mencionarlo en esta parte, ya que se hará referencia a este proceso en desarrollo de la investigación. Es

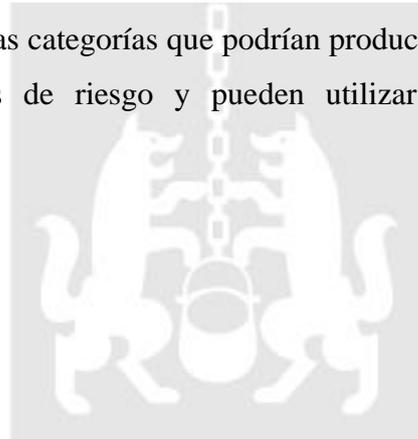
importante reconocer el riesgo que representa y el proceso laborioso que se debe hacer para culminar un mantenimiento mecánico (Tomocorp & Akipump, 2017)

Riesgos de la instalación

- Riesgo eléctrico

Estos son ejemplos de otras categorías que podrían producirse. Están dentro de los niveles ordinarios de riesgo y pueden utilizar símbolos complementarios:

- Riesgo de quemaduras.
- Riesgo de corte.
- Riesgo de arco eléctrico.



Examinar entrega

Antes de ensamblar la bomba, necesita seguir los siguientes procedimientos de verificación de entrega:

- Verificar que no le falten piezas o estén dañadas en el momento de entrega.
- Si hubiera el caso de encontrar piezas faltantes o dañadas debe anotar en el recibo de envío.
- Presentar una queja a la empresa de transporte por el daño o piezas faltantes.

Además tiene que realizar la verificación de cada pieza en el estado que le llega, luego debe seguir estos procedimientos:

- Extraer cada pieza sacándolo de su empaquetadura.
- Desechar todas las empaquetaduras.
- Verificar si falta alguna pieza o estén dañadas.
- Si fuera el caso de encontrar algún desperfecto, ponerse en contacto con nuestra área de ventas.

Seguridad

- Normas de seguridad generales
 - Mantener el área de trabajo limpio.
 - Evitar estar en contacto con gases y vapores en el área de trabajo.
 - Tener cuidado con sufrir una descarga eléctrica y los peligros del arco eléctrico.
 - Prevenir los riesgos que se dan en el área de trabajo tales como ahogarse, accidentes eléctricos y quemaduras.
- Equipo de seguridad
 - Casco duro
 - Gafas de seguridad (preferiblemente con protectores laterales)
 - Zapatos protectores
 - Guantes protectores
 - Máscara anti gas
 - Protección auditiva
 - Kit de primeros auxilios
 - Dispositivos de seguridad
- Conexiones eléctricas

Las conexiones eléctricas de las bombas son realizadas por electricistas capacitados cumpliendo todas las normas de seguridad eléctricas.

- Líquidos peligrosos

La electrobomba sumergible es diseñada para ser utilizado en líquidos que puede ser perjudiciales para la salud de la persona.

Las normas que debe seguir cuando trabaje con una electrobomba sumergible son:

- Asegurarse que el personal que esté trabajando con líquidos peligrosos, se encuentren vacunados contra enfermedades que estén expuestos.
- Mantener una limpieza personal estricta.

Instalación

- **Instalación previa**

Comprobar que el cable y su entrada no se hayan dañado durante el transporte previamente antes de instalar la bomba.

Asegurar que la bomba no pueda rodar o caerse, así no podrá ocasionar algún accidente.

Debe conectar a tierra todos los equipos eléctricos. Esto se aplica a los equipos de la bomba, al elemento conductor y a cualquier equipo de monitoreo. Pruebe el conductor de la conexión a tierra para verificar que esté conectado correctamente.

Compruebe si existe riesgo de explosión, antes de soldar o utilizar herramientas eléctricas de mano.

Extraiga residuos del sistema de tuberías de entrada antes de instalar la bomba.

- **Instalación**

La bomba está diseñada para funcionar totalmente sumergida en el líquido bombeado. La bomba es portátil y cuenta con conexión para manguera o tubería, según el modelo adquirido.

A continuación, se mostrará los procedimientos de instalación con el uso del plano de la bomba:

- Extender el cable de forma que no se dañe ni pueda ser succionado por la bomba.
 - Conectar la tubería de descarga. La línea de descarga puede discurrir verticalmente, pero no puede tener codos pronunciados.
 - Bajar la bomba al pozo de bombeo, el cable no debe utilizarse para este propósito. Para bajar o subir la bomba, debería sujetar una cuerda o elemento similar al asa o a las argollas (cáncamos).
 - La bomba puede suspenderse de la cadena de elevación para que quede situada inmediatamente sobre el fondo del pozo. Asegúrese de que la bomba no puede rotar durante el arranque o el funcionamiento.
 - Conecte el cable del motor, el motor de arranque y el equipo del impulsor
- Conexiones eléctricas
 - Un electricista calificado debe supervisar todos los trabajos eléctricos y debe tener conocimiento de las normas de seguridad.
 - Asegurar de que no haya contacto eléctrico entre la bomba y el panel de control antes de que la bomba esté operativa, de la misma manera debe ser para los circuitos de control.
 - Una fuga de agua dentro de la bomba, puede causar daños en las piezas eléctricas. Es importante que el extremo del cable del motor se encuentre sobre el nivel del líquido.
 - Verificar que todas las piezas conductoras no usadas estén aisladas.
 - Evitar el riesgo de una descarga eléctrica debido a una mala conexión en la bomba esto puede causar daños o defectos en la bomba.
 - Antes de realizar una conexión eléctrica pública, solicitar un permiso a la autoridad correspondiente.
 - Se debe seguir las especificaciones que se encuentra en la placa de la bomba, para realizar la tensión y frecuencia en la red.
 - Debe usarse los valores nominales indicados en la placa de la bomba de los fusibles, interruptor de cortocircuito y los disyuntores, además

instalar la protección contra sobrecarga. En un arranque directo de la corriente de la bomba, esta corriente puede ser seis veces superior al valor nominal.

- Se debe regular la potencia de fusibles y los cables de acuerdo a las normas eléctricas.
- Se recomienda que la bomba disponga de un equipo de supervisión.
- El uso de los cables debe estar buen estado.
- No debe presentar el revestimiento ningún desperfecto en el orificio de entrada del cable.
- Debe coincidir el manguito de junta y las arandelas del orificio de entrada del cable al diámetro exterior del cable.
- Se puede usar un cable utilizado, solo debe pelarlo al extremo y colocarlo dentro del sello de entrada de cable. Solamente si el revestimiento del cable está dañado, cambiar el cable.
- Pasar los cables del motor y debe empalmarlo utilizando el tipo de resina fundida o manguitos retráctiles para evitar entornos explosivos. Seguir las indicaciones del fabricante.

- Puesta a tierra

Existe riesgo eléctrico por eso necesita tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- Se debe conectar todo equipo eléctrico a tierra. Esto se aplica en la bomba, el motor y el equipo de supervisión. También debe verificar que el conector a tierra esté conectado y esté funcionando dentro de los parámetros normales.
- Si hubiera el caso que el cable del motor se desconecte por error, el conductor de tierra sería lo último en desconectarse del terminal. Además debe verificar que el conductor de conexión a tierra sea de mayor longitud que el de los conductores de fase.
- Si pasara el caso anterior, se le recomienda conectar un dispositivo de protección de error de puesta a tierra para no dañar a las personas que están

en contacto con la bomba o el líquido bombeado. Esto podría producir quemaduras y descarga eléctrica si no hay un control.

- Conectar el cable del motor a la bomba

Una mala instalación de las piezas eléctricas puede causar daños en la bomba. Por ese motivo se debe mantener el cable del motor sobre el nivel del líquido.

La entrada de cables hermética al gas debe estar fundida a la pared o al techo del eje, se debe aplicar las siguientes condiciones:

- El cable de tierra fundido sin hermeticidad al gas debe ser introducido por un tubo protector subterráneo hasta llegar a la caja de control eléctrico.
- El cable del motor es conducido directamente al pozo de bombeo (sin contacto de tierra) hasta que llegue a un lugar fuera de riesgo de explosión.

- Rotación del impulsor

Antes de hacer la prueba de rotación verifique que el voltaje y amperaje sea los que indique la placa de la bomba.

- Conectar los cables de tensión.
- Sostenga bien la bomba con una eslinga a los cáncamos y esto está sujetado al teche eléctrico.
- Encienda el motor de la bomba a probar poniéndolo en marcha, (la sacudida inicial será fuerte).
- Verifique que el impulsor gire en dirección correcta.
- Apague el motor de la electrobomba

En la puesta en marcha la bomba se moverá en sentido contrario a la rotación del impulsor. Consulte la dirección de rotación de arranque correcta en la cubierta del estator de la bomba.

Si el impulsor gira en la dirección incorrecta, haga lo siguiente:

- Si el motor tiene una conexión trifásica, intercambie dos conductores de fase.
- Para las bombas trifásicas con arrancadores externos o sin guarda motor integrado, las fases deben alternarse en el terminal de salida del arrancador.

c. Inspección de la bomba León H-V3

Cuando se requiere inspeccionar esta bomba se realiza los procedimientos presentados en la tabla 1. Un ejemplo de este proceso se observa en el anexo 7.

Tabla 1. Inspección de la bomba León H-V3

Elementos	Procedimiento
Cubierta de la bomba e impulsor	Verificar si hay alguna pieza deteriorada, luego cambiar la pieza gastada.
Entrada de cable	Tiene que verificar los ajustes de los cables, también inspeccionar las entradas de cable que estén ajustados.
Cables principales	Si los cables de descarga están dañados se debe cambiar, además tiene que verificar que los cables no estén doblados ni aplastados.
Equipo de arranque	Inspeccionar el estado del equipo, si fuera necesario pedir la ayuda de un técnico electricista.
Tubos, válvulas	Inspeccionar si hay piezas que necesiten cambiar por daños, sustitúyalo por una pieza nueva.
Aceite	Verificar el proceso de la mezcla de agua y aceite, para ello se necesita colocar un tubo en el orificio del aceite, seguido debe tapanlo el extremo superior y solo por el extremo inferior echar aceite. Luego de haber echado el aceite, verificar la mezcla, si esta emulsionada o el agua están asentadas se tiene que cambiar el aceite.
Cámara de inspección	Verificar que el tornillo este ajustado y que la junta tórica no se haya deteriorado, también que la entrada de cable no haya fuga. Si hubiera residuo de aceite, inspeccionar que el sello mecánico no esté dañado.
Aislamiento del motor	Mediante el megómetro verificar el aislamiento del motor debe cumplir con los parámetros requeridos.

Fuente: elaboración propia con base en la información proporcionada por la empresa

2.2.2. Disponibilidad de máquinas

La disponibilidad es el porcentaje de tiempo que una máquina está disponible para operaciones (Fuenmayor, 2018), en específico para máquinas que por lo general laboran de manera continua.

Matemáticamente, la disponibilidad de una máquina se mide con la siguiente fórmula, que involucra los tiempos disponibles en producción y tiempos de paro por mantenimiento (Fuenmayor, 2018).

$$D_t = \frac{TDPP}{TDPP + TMR}$$

Donde:

Dt: Disponibilidad

TDPP: tiempo disponible para la producción

TMR: tiempo medio de reparación

Muchas veces el tiempo medio de reparación, depende de la accesibilidad para brindarle mantenimiento a la máquina, así como de, el conocimiento de quien brinda la reparación y en especial del plan de mantenimiento que la organización le haya dado a la máquina (Mesa, Ortiz, & Pinzón, 2006).

2.2.3. Método SREDIM

SREDIM es un método utilizado para el análisis de tareas. Su acrónimo proviene de las palabras Seleccionar, Registrar, Examinar, Desarrollar, Instalar/Implementar y Mantener. El sistema de análisis de este método puede ser empleado para analizar cualquier proceso que pueden ser ineficiente o que puede mejorarse (Zenko, Rosi, Mulej, Mlakar, & Mulej, 2012).

- Seleccionar el trabajo que debe mejorarse: Como no pueden mejorarse al mismo tiempo todos los aspectos de trabajo de una empresa, la primera cuestión que debe resolverse con qué criterio debe seleccionarse el trabajo que se quiere mejorar (García, 2005). Esta selección, García (2005) señala que debe hacerse:

Desde el punto de vista humano. Los primeros trabajos cuyo método debe mejorarse son los de mayor riesgo de accidentes: por ejemplo, aquellos en los que

se manipulen sustancias tóxicas, en donde haya prensas, máquinas de corte e instalaciones eléctricas.

Macedo (2019) indica que debe tomarse en cuenta:

- (a) Actividades sucias o de poca higiene que resultan desagradables para el trabajador.
- (b) Actividades fatigosas tales como cargar objetos de gran peso, realizar las labores diarias en zonas con temperatura alta, observar exceso en el flujo de materiales, entre otros.
- (c) Actividades predisuestas a riesgos de accidentes e incidentes laborales.

Desde el punto de vista económico. En segundo lugar, se debe dar preferencia a los trabajos cuyo valor represente un elevado porcentaje en el precio del producto terminado, ya que las mejoras que se introduzcan, por pequeñas que sean, serán más beneficiosas que grandes mejoras aplicadas a otros trabajos de valor inferior.

Macedo (2019) señala que se debe considerar los factores que afectan la magnitud de la tarea:

- (a) La repetitividad de las actividades.
- (b) El costo horario de los trabajadores y las maquinarias.
- (c) El contenido del trabajo, es decir, los operarios y las maquinarias.
- (d) La duración prevista para la continuidad de las actividades.

Desde el punto de vista funcional del trabajo. Por último, Se deben seleccionar los trabajos que constituyen “cuellos de botella” y retrasan el resto de la producción, y los trabajos clave cuya ejecución dependan de otros.

- Registrar los detalles de trabajo: Para que un trabajo mejore, se debe saber exactamente en qué consiste. Excepto en el caso de trabajos muy simples y cortos, ya que pocas veces se conoce todos los aspectos de un trabajo: por ejemplo, se debe registrar por observación directa, es decir, no se puede confiar en nuestra buena memoria. En este registro, los detalles deben ser redactados de forma clara y concisa (Brown, 1994).

No se debe perder de vista que el registro de todos los hechos y detalles del trabajo se hacen con fines de análisis y no sólo para obtener una historia o cuadro de cómo se están haciendo las cosas. Por ende, el registro que se haga de estar estructurado en forma tal que facilite el análisis; además, como los trabajos que se pueden seleccionar es una industria son procesos u operaciones, existen formas especiales diseñadas según el tipo de trabajo.

Para registrar el proceso de fabricación se emplea los diagramas de proceso de operaciones, de proceso de flujo de recorrido y de hilos. Para el registro de las relaciones hombre-máquina en las estaciones de trabajo se emplean las formas llamadas diagramas hombre-máquina y de proceso de grupo; por su parte, para registrar las operaciones que ejecutan los trabajadores se usa el diagrama de proceso bimanual (mano izquierda-mano derecha) (García, 2005).

Macedo (2019) menciona algunas técnicas de registro para este método:

- (a) Diagrama de procesos: DOP, DAP, Diagrama de recorrido, Diagrama de bloques, Diagrama PERT, etc.
- (b) Diagrama de operaciones: Diagrama bimanual, SIMO, Diagrama hombre-máquina.

- Examinar los detalles del trabajo: Una vez que se haya registrado todos los detalles de que trata el trabajo, el siguiente paso será analizarlo para ver qué acciones se pueden realizar (Gupta, Sharma, & Meshram, 2015).

Para poder analizar un trabajo en forma completa, el estudio de métodos utiliza una serie de preguntas que se hacen sobre cada detalle con el fin de justificar su existencia, lugar, orden, persona y forma en que se ejecuta (Nieto, 2013).

Las preguntas a que nos referimos y la forma de usarla es la siguiente:
¿Por qué existe cada detalle? ¿Para qué sirve cada uno de ellos?

La respuesta a estas dos preguntas nos justifica el propósito de cada detalle; esto es, nos explica la razón de su existencia. Si estas preguntas no pueden contestarse razonablemente, no es necesario seguir analizando el detalle, ya que es ilógico pensar que si no se justifica su existencia pueden justificarse las circunstancias bajo las cuales se ejecutan.

García (2005) recomienda para el desarrollo de esta etapa:

- (a) Investigar las causas y no los efectos.
 - (b) Registrar los hechos y no las opiniones subjetivas.
 - (c) Considerar las razones y no las excusas.
- Desarrollar un nuevo método para hacer el trabajo: Para desarrollar un nuevo método, necesitamos considerar las respuestas que se hayan recopilado, las que nos pueden guiar a tomar las siguientes acciones (Brown, 1994):

Eliminar. Si las primeras preguntas *por qué* y *para qué* no se pudo contestar de manera razonable, quiere decir que el detalle bajo el análisis no se justifica y por ende se debe eliminar.

Cambiar. Las respuestas a las preguntas *cuándo, dónde y quién* pueden indicar la necesidad de cambiar las circunstancias de lugar, tiempo y persona en que se ejecuta el trabajo. Es decir, buscar un entorno más conveniente, un orden más adecuado o una persona más capacitada.

Cambiar y reorganizar. Si surge la necesidad de cambiar algunas de las circunstancias bajo las cuales se ejecuta el trabajo, mayormente será necesario modificar ciertos detalles y reorganizarlos para obtener una secuencia más lógica.

Simplificar. Todos aquellos detalles que no hayan podido ser eliminados, posiblemente puedan ser ejecutados de una manera más sencilla y rápida. La respuesta a la cuarta pregunta nos llevara a simplificar la forma de ejecución.

Para poder lograr la mejor manera de ejecutar los detalles se ha elaborado una serie de reglas de aplicación práctica, las cuales son llamadas principios de economía de movimientos, los cuales deben ser observados en la ejecución en los trabajos, cuyo fin sea usar de la mejor manera los movimientos del cuerpo humano, obtener una mejor distribución del área de trabajo y llevar a cabo un mejor diseño de las herramientas (García, 2005).

- Implementar a los operadores el nuevo método de trabajo: Antes de implementar una mejora, es necesario tener la seguridad de que la solución es práctica de acuerdo con las condiciones de trabajo en que va a operar. Para no olvidar nada se debe hacer una revisión final de la idea, la cual debe incluir como partes fundamentales todos los aspectos de seguridad y económicos, así como otros factores tales como calidad del producto, cantidad de producto fabricado, etc. (Nieto, 2013).

Si una vez analizados estos aspectos se considera que la proporción es buena y funcionara en la práctica, es necesario determinar si afectara a otros. En caso afirmativo, hay que tener mucho cuidado de vigilar todos los aspectos, ya que mayormente son de gran importancia y trascendencia que los otros.

García (2005) sostiene que es importante:

- Informar a los trabajadores antes de la implementación de cambios que inevitablemente los afectarán.
- Dirigir un trato digno y deferente hacia los trabajadores.
- Impulsar a los trabajadores para que brinden sugerencias y opiniones.
- Destacar la participación del trabajador que se lo merezca.
- Actuar con honestidad con respecto a la utilización de sugerencias ajenas.
- Brindar explicaciones y motivos del por qué se rechaza algunas sugerencias.
- Hacer sentir a los trabajadores que forman parte del esfuerzo colectivo en búsqueda de mejorar las condiciones laborales de la planta.
- Mantener en nuevo método de trabajo: Después de tener en cuenta todos los pasos anteriores, se pone en práctica el nuevo método de trabajo (García, 2005).

2.2.4. Rentabilidad económica

La rentabilidad económica se puede hallar de la relación entre ingresos y costos obtenidos de cierto activo (Gitman, 1997), en este caso puede decirse que la viabilidad económica a medirse será la relación entre los costos para mejorar la disponibilidad de las bombas y los ingresos que se obtendrían del ahorro de costos por mantenimiento o sustitución de bombas. Se puede representar con la siguiente ecuación

$$Rentabilidad = \frac{Utilidad\ o\ ganancia}{inversion} * 100$$

Por otro lado, cuando se trata de un proyecto de largo plazo lo más recomendable es usar la ecuación del valor actual neto (Gitman, 1997):

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Determina si es rentable el negocio o proyecto, si el VAN es menor a cero se concluirá que no es rentable, si es mayor o igual a cero es rentable (Santa, 2017).

2.3. Marco conceptual

Flujo de agua: es la cantidad de agua que circula a través de una sección (Valdivieso, s.f.) en este caso a través de la bomba y los conductos desde la mina hasta la poza.

Presión de agua: es la fuerza que ejerce el agua sobre una superficie determinada (Universidad Internacional de Riego, 2017), en este caso sobre las bombas de lodos León H-V3.

Tiempo de vida de una maquinaria: es el periodo durante el cual se espera utilizar un activo (Carhuavilca, 2011), en este caso las bombas de lodos León H-V3.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

Según el nivel de la investigación, esta se considera **explicativa**, ya que se busca analizar las causas de un fenómeno dado (Behar Rivero, 2008). En este caso, se buscó reconocer como explica la mejora técnica en la poza de lodos de la empresa minera Barrick al nivel de disponibilidad de la bomba que opera en esa poza. Es decir, el aumento de la disponibilidad de las bombas se pretende explicar mediante la mejora en su funcionamiento.

El diseño de la investigación es **experimental** dado que se midió el impacto de un fenómeno o evento manipulado (Fernández, Hernández, & Baptista, 2014). En este caso, se analizaron los resultados una vez aplicada la mejora técnica en la poza de lodos en favor de mejorar la disponibilidad de la bomba basado en el método SREDIM. Dentro de las investigaciones experimentales, esta se considera pre experimental, ya que se tiene cierto grado de manipulación de una de las variables, por lo mismo que no se puede considerar una investigación experimental pura.

Debido al propósito por la cual se realiza la investigación se considera **aplicada**, ya que buscó y se implementó una solución para una situación real (Behar Rivero, 2008). En este caso, partió de un problema medible, visible y cotidiano de un proceso específico de la mina Barrick y se realizó el diseño a partir de esa situación real, logrando también resultados tangibles.

Por el origen de los datos con los que se desarrolla la investigación, se considera **de campo**, ya que se recogen del mismo lugar de los hechos (Behar Rivero, 2008). Es decir, se recolectó información directamente de las pozas de lodos de la minera Barrick, con la autorización de la empresa.

Según el tipo de datos manejados la investigación es mixta, ya que se anotarán datos de naturaleza **descriptiva** y de manera **cuantitativa**. La investigación sigue un progreso lineal, ya que se comienza con la formulación del problema, la hipótesis, la extracción de datos y las conclusiones, por lo que se considera de un enfoque cuantitativo (Fernández, Hernández, & Baptista, 2014). Además que se hace una prueba de hipótesis para evaluar los resultados encontrados después de la implementación de las mejoras.

Se considera **longitudinal**, ya que se recoge información de la variable disponibilidad en un **pre test** y un **post test**, tomando **15 datos medidos por semana**, entre los meses de setiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2020 para el pretest y los meses de enero, febrero y marzo del 2021 para el post test.

3.2. Variables

Variable independiente: Es la mejora que mediante el Método SREDIM optimizará el desarrollo de tareas y actividades relacionadas a la bomba de lodos.

Variable dependiente: es aquel periodo en que las bombas de lodos cumplen con su función de manera continua y óptima.

Tabla 2. Operacionalización de las variables

Tipo de variable	Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores
Independiente	Mejora con base en el Método SREDIM	SREDIM es un método utilizado para el análisis de tareas de cualquier proceso que es ineficiente y puede mejorarse	Seleccionar	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de accidentes laborales • Costo por compra y reparación de máquinas • Tiempo de paro de la máquina
			Registrar	<ul style="list-style-type: none"> • Número de fallas técnicas de la bomba
			Examinar	<ul style="list-style-type: none"> • Propósito de la tarea • Funcionamiento técnico • Personal y sus capacidades • Medios usados
			Diseñar	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño técnico
			Instalar	Instalación en la poza
			Mantener	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo de la instalación
Dependiente	Disponibilidad de la bomba de lodos	La razón del tiempo disponible para la labor entre el tiempo total incluyendo mantenimientos	TDPP: Tiempo disponible para la producción TMR: tiempo medio de reparación	$D_t = \frac{TDPP}{TDPP + TMR}$

Fuente: Elaboración propia

3.3. Técnicas e instrumentos

Para el análisis de las bombas se usará la metodología SREDIM

a. Seleccionar:

para reafirmar que las bombas de lodos son las que deben evaluarse del proceso de lixiviación, se revisan consideraciones humanas, económicas y técnicas

- Análisis de riesgos para el personal encargado de realizar las tareas y revisiones a las pozas
- Análisis de costos por mantenimiento, repuestos y servicios de reparación
- Análisis de disponibilidad de equipos

b. Registrar los aspectos técnicos, funcionamiento y características

- Información técnica de la Bomba León H-V3, recogida mediante solicitud de documentación a la misma empresa minera
- Descripción de fallas e historial, obtenidas mediante documentación solicitada a la empresa. Fallas con respecto al caudal, presión y electricidad.

c. Examinar: Los resultados que se obtuvieron de los registros

- Analizar las causas de la baja disponibilidad de la bomba
- Confirmar la importancia de la bomba León H-V3 en el proceso.

Mediante una entrevista a José Chafloque Operador Multifuncional de PLS01

d. Diseñar la alternativa de solución

Se realiza el diseño de la barcaza, analizando su función dentro de la poza, especificando características físicas y técnicas.

e. Implementar la barcaza

Se presenta el procedimiento que se siguió para la implementación de la Barcaza en la poza, paso por paso.

f. Mantener

Se presenta un plan de revisión de la barcaza y se presentan los resultados de los tres primeros meses de revisión después de su implementación.

3.4. Procedimiento

El procedimiento de la investigación, se basa en el método SREDIM que busca problemas, los analiza y les encuentra una solución, todo esto como un proceso sistemático de pasos a seguir por ello, se realiza el siguiente procedimiento.

- Primero para desarrollar el primer objetivo específico de esta investigación se determina la importancia de la bomba León H-V3 en el proceso de lixiviación, para ello, se tomarán consideraciones humanas, económicas y técnicas para describir la relevancia de esta bomba en el proceso. Para identificar su importancia, se realiza una valoración de las pérdidas que ha ocasionado su baja disponibilidad en comparación con otras máquinas del proceso de lixiviación.
- Luego se describe el funcionamiento de la bomba León H-V3 y su nivel de disponibilidad antes de la barcaza. Se analiza las fallas más frecuentes de la bomba, el tiempo que cada una de ellas le resta al funcionamiento de la bomba. Se revisa la bomba con respecto al flujo, a la presión, el amperaje que tiene durante su funcionamiento y la posición sobre la que se encuentra respecto a la poza, para determinar la falla que provoca la mayor corrosión de la bomba, la razón por la cual, se detiene o se malogra por completo.
- Una vez encontradas las causas de la baja disponibilidad de bomba León H-V3, se trabaja el diseño en base a los hallazgos. Se realiza la descripción física, técnica y funcional de la barcaza
- Se evalúa la barcaza en el aspecto económico, realizando un análisis de los costos que involucran y los beneficios que le traería al proceso como a la minera. Asimismo, un cálculo del VAN, con diferentes supuestos planteados.
- Para reconocer que existen mejoras en la disponibilidad de las bombas se realiza una prueba de hipótesis con el estadístico Wilcoxon de comparación de medias. Comparando las medias de 15 medidas obtenidas por semana de la disponibilidad de la bomba León en un pre test y post tes

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la investigación se realiza mediante los pasos de método SREDIM, por ello se presenta en los siguientes puntos de la investigación en el avance del proceso.

4.1. Contexto

El proyecto minero donde se realiza esta investigación es el proyecto Misquichilca en el norte del Perú, iniciado en 1998 que abarca las zonas de Quebrada Pacchac y Cerro Ancoshpunta en los distritos de Independencia y Jangas, en la provincia de Huaraz, departamento de Ancash



Figura 1. Proyecto minero Misquichilca

Fuente: elaboración propia

El proyecto minero tiene diferentes zonas de trabajo, diversos departamentos que se encargan de una labor en específico, pero a grandes rasgos se pueden identificar 5 zonas del proceso de producción, las cuales se representan en la Figura 2.

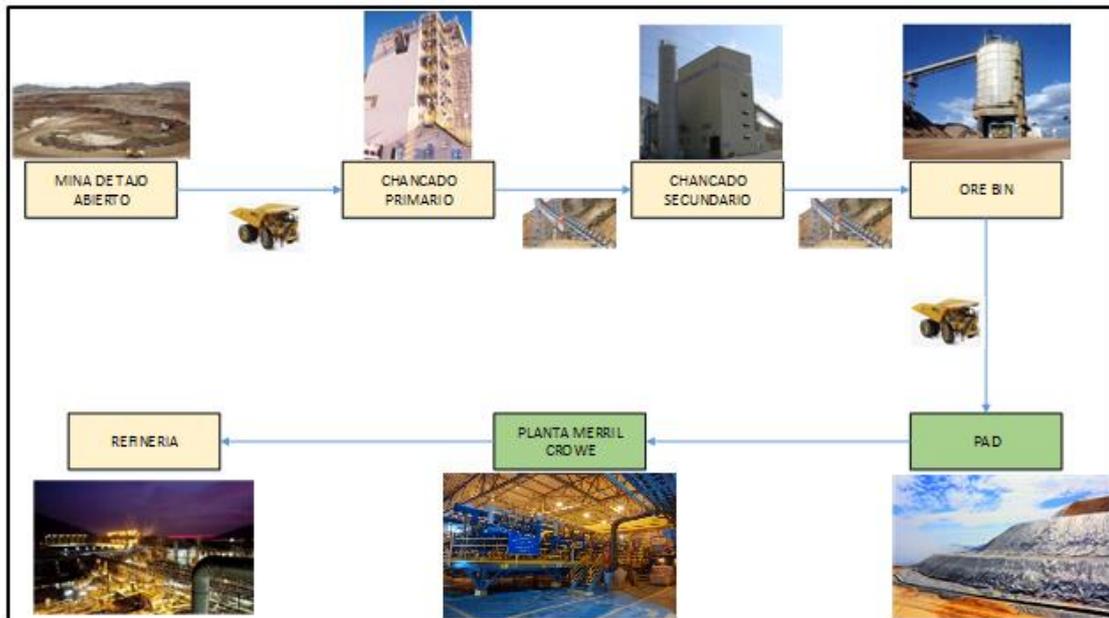


Figura 2. Proceso generalizado de la extracción de oro

Fuente: elaboración propia

Se resaltan el PAD y la planta de Merrill Crowe, porque entre estos se encuentra la zona de trabajo que se analiza en esta investigación.

El PAD es la sigla en inglés de la Pirámide Escalonada de Mineral Chancado, que es una zona donde se acomoda el mineral para que pase por el proceso de lixiviación, diferentes máquinas y equipos intervienen en el PAD.

La planta Merrill Crowe es la planta donde se conduce y se procesa la solución rica en oro que fue obtenida en el PAD, para conseguir el oro y que pueda pasar a la refinería donde se realiza el producto final.

4.1.1. Sistema de lixiviación

Este sistema consta de pilas de lixiviación, un manejo de soluciones, una planta de recuperación de oro y una instalación de tratamiento de la solución pobre, en esta última se encuentra la bomba que se analiza en esta investigación.

Se usa una solución diluida de cianuro con pH básico sobre las pilas de mineral para lograr la captación de la solución enriquecida y bombearla a la instalación de recuperación del oro (planta Merrill Crowe), luego, la solución pobre es reciclada nuevamente a las pilas, pero antes se adapta a las necesidades requeridas.

La lixiviación del oro se hace en una instalación de pilas de lixiviación que está ubicada en la cuenca del Pacchac, al sur del tajo abierto y adyacente a la zona de almacenamiento de desmonte ocupando alrededor de 166 ha. Para la construcción de las pilas de lixiviación se utilizó una tecnología conocida como sistema de relleno de valle. En el valle de Pacchac se construyó una presa de contención que sirve de doble propósito, de estabilizar la base de la pila y de asegurar el almacenamiento de la solución del proceso y de aguas pluviales. La presa se cimentó sobre suelos competentes o roca fresca, luego de haberse removido del lugar la capa superficial de suelo vegetal, turba y suelos blandos u orgánicos.

A medida que se apila el mineral en las pilas de lixiviación, se usa una solución diluida de cianuro para extraer el oro del mineral, cuando aún no contiene al oro dentro de la solución se le denomina solución pobre. La solución pobre es almacenada en un tanque con una capacidad de 3,000 m³. Se añade cianuro de sodio, controlándose el pH, mientras es bombeada desde este tanque hacia el mineral almacenado en las pilas de lixiviación. También se le agrega un producto anti - escamante y soda cáustica o cal según se requiera, para mantener el pH de la solución por encima de 9.0. Esta solución es aplicada al mineral mediante una red de emisores, por goteo o aspersores en cantidades de 10 L/s/m².

La solución percolará a través de la pila y disolverá el oro contenido en el mineral, de esta manera esta solución viene a ser denominada solución enriquecida o rica, será entonces captada por las tuberías perforadas de drenaje de 100 mm de diámetro, ubicadas en la capa de arena entre el primer recrecimiento del mineral y el revestimiento sintético.

La solución rica en oro drena desde las pilas de lixiviación mediante gravedad hacia la zona de almacenamiento ubicada en la parte inferior de la plataforma de lixiviación. La solución enriquecida será entonces bombeada desde las pozas al interior de la zona de almacenamiento de la solución, hacia la instalación de recuperación de oro.

4.1.2. Manejo de la solución

La solución rica que contiene material aurífero se bombea desde el área de almacenamiento hacia la instalación de recuperación de oro a través de tuberías de HDPE colocadas al interior del sistema de contención secundaria. La instalación de contención secundaria consistirá de una zanja con una base de suelo compactado, recubierta con un revestimiento HDPE de 1.5 mm. La zanja descarga a la zona de contención del sistema de lixiviación.

Mientras que el oro se extrae utilizando un proceso de precipitación Merrill-Crowe. La solución restante que no contiene oro se almacena en la poza de lodos, llega hasta ahí mediante la bomba 6B. Esta solución se reajusta según sea necesario agregando cianuro y productos anti-escamantes antes de ser mandado hacia las pilas de lixiviación mediante la bomba León V-H3. Esta poza y bomba mencionadas al final, son el objeto de estudio de esta investigación.

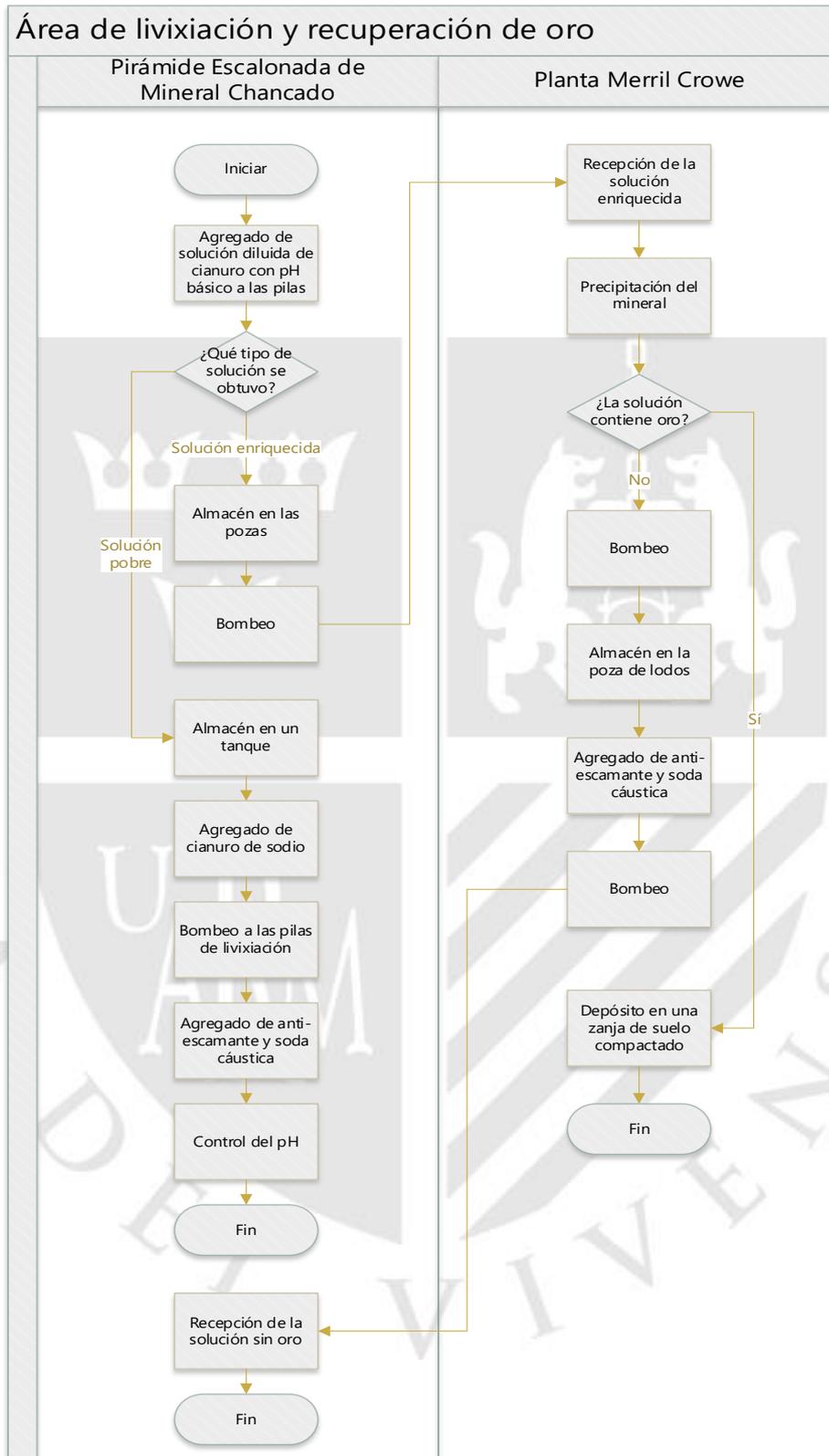


Figura 3. Flujograma del proceso de lixiviación

Fuente: elaboración propia con base en la información del proyecto Misquichilca

4.2. Seleccionar

Habiendo presentado la zona de la mina donde se realizó esta investigación, se pasa a seleccionar el problema que provoca la corrosión excesiva de la bomba León H-V3. Primero se presentan una serie de consideraciones y luego se presenta el criterio de elección del problema principal que posteriormente se arreglará con las mejoras técnicas.

4.2.1. Consideraciones humanas

Dentro de la poza de lodos y para el funcionamiento del sistema de bombeo hacia la pila de lixiviación con la bomba León H-V3, participan 8 personas.

Dos personas se encargan de recoger muestras de la solución, para medir la cantidad de cianuro que contiene, así como la cal y el nivel de pH que tiene. Estas personas recogen las muestras de solución directamente de la poza y se encargan de llevarlas al laboratorio donde se miden sus características químicas. En su labor estas dos personas, se encuentran expuestas directamente con la solución de la poza, sin embargo, es por cortos periodos de tiempo, por lo general se demoran de 20 a 30 minutos en recoger las muestras necesarias en la poza.

Existe un área de seguridad patrimonial que se encarga de vigilar a todo el personal que trabaja en estas áreas, debido a que la poza muy aparte de cianuro, también es rico en soluciones, posee un alto índice de oro. Este equipo de trabajo de 2 personas tiene menos contacto con la solución de la poza.

Para el funcionamiento de la bomba, trabajan dos personas, el encendido lo realiza una de ellas y la otra persona se encuentra mirando el flujo que sale de la tubería hacia el PAD después del encendido, estas personas son los mismos operarios que se encargan de revisar si la bomba está trabajando bien.

Dos personas se encargan de revisar el funcionamiento adecuado de la bomba, pasan a retirar la bomba de la poza con ayuda de una grúa que es manejada obviamente por un operario especializado, revisan que no esté obstruida o demasiado corroída y la

vuelven a colocar. Estos operadores, requieren de la presencia de un vigía y un inspector, a veces se requiere hasta tres operadores para mover la bomba y poder observarla correctamente. El vigía sirve de cuidador, ya que, en el proceso de revisar la bomba o cambiarla, se corre el riesgo de que un operario caiga a la poza, ya que la grúa solo acerca la bomba a la orilla de la poza, no la saca por completo porque está conectada a las tuberías de egreso. El inspector se encarga de supervisar que el proceso se lleve con regularidad, evitando pérdidas de material o cualquier otro inconveniente.

Los accidentes o incidentes laborales que pueden suceder en el proceso de revisión de la bomba son:

- Trepiezo de nivel
- Caída a poza, resbalones,
- Hipotermia
- Electrocutación eléctrica
- Ingesta de la solución
- Caída de rayos por tormenta eléctrica
- Falta de comunicación
- Robo o daño a la propiedad

4.2.2. Consideraciones económicas

El porqué de la revisión de la bomba León en esta investigación es la constante reparación o cambio que se debe hacer para que trabaje de manera correcta. En la siguiente tabla se presentan los gastos por reparación y por adquisición de una nueva bomba que se tuvieron en el año 2020. Estas cifras muestran el grado en que se debe cambiar de bomba, en el anexo 2 se presenta las cotizaciones de la compra de una nueva bomba y el servicio de reparación.

Tabla 3. Costos por compra y reparación de la bomba León H-V3

Fecha	Ítem	Costo (\$)
7/01/2020	Compra de una bomba	35,000
9/02/2020	Servicio de reparación	5,000
6/04/2020	Servicio de reparación	5,000
10/05/2020	Compra de una bomba	35,000
11/06/2020	Servicio de reparación	5,000
23/08/2020	Servicio de reparación	5,000
15/10/2020	Compra de una bomba	35,000
6/11/2020	Servicio de reparación	5,000
21/12/2020	Servicio de reparación	5,000

Fuente: elaboración propia en base a información recopilada de la empresa

Como es de saberse existen otras bombas en las demás pozas del sistema de lixiviación, sin embargo, estas no presentan problemas regularmente, los costos para las bombas de las demás pozas son menores, ya que se cambian una vez al año y las reparaciones se realizan cada dos o tres meses. Esta comparación se observa en la siguiente tabla

Tabla 4. Comparación de costos anuales por reparación o cambio de equipos

Equipo	Costo (\$)
Bomba 5 ^a	88,560.00
Bomba 5B	67,850.00
Bomba 5C	99,470.00
Bomba León H-V3	135,000.00
Bomba 6 ^a	87,506.00

Fuente: elaboración propia en base a información recopilada de la empresa

4.2.3. Consideraciones técnicas

Se presenta en la siguiente tabla el tiempo en el que la bomba estuvo inactiva, por los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2020.

Tabla 5. Tiempo de paro de la Bomba León H-V3

Fecha	Descripción	Tiempo de paro (Horas)
11/08/2020	Instalación de nueva bomba	6
18/08/2020	Revisión, limpieza	3.5
25/08/2020	Mantenimiento mecánico	6.5
1/09/2020	Revisión, limpieza	3
8/09/2020	Revisión, limpieza	4.5
15/09/2020	Revisión, limpieza	2.8
23/09/2020	Mantenimiento mecánico	5.5
3/10/2020	Revisión, limpieza	2.5
7/10/2020	Desinstalación	3.6
10/10/2020	Reparación	38
13/10/2020	Instalación	5
27/10/2020	Revisión, limpieza	2.5
4/11/2020	Revisión, limpieza	4.5
6/11/2020	Mantenimiento mecánico	7.4
11/11/2020	Revisión, limpieza	2.8
11/08/2020	Instalación de nueva bomba	6

Fuente: elaboración propia en base a información recopilada de la empresa

El mantenimiento mecánico (Anexo 5), así como la revisión y limpieza ponen en pausa el bombeo de la solución ácida.

Las constantes fallas, han provocado que la Bomba León H-V3 tenga una baja disponibilidad de trabajo, es decir, el tiempo que permanece activa, bombeando la solución hacia el PAD es menor al que se espera, otra falla resalta en esta sección con respecto a la disponibilidad y es que, solo existe una bomba León en la poza de lodos, si esta se malogra o requiere mantenimiento, el proceso se detiene.

Con el tiempo que llevó detenida la bomba se puede hallar la disponibilidad de la misma, con la siguiente fórmula:

$$D_t = \frac{TDPP}{TDPP + TMR}$$

Donde:

Dt: Disponibilidad

TDPP: tiempo disponible para la producción

TMR: tiempo medio de reparación

$$D_t = \frac{531.9}{531.9 + 98.1}$$

$$D_t = 0.8443$$

Entonces la disponibilidad de esta bomba fue de 84.43%, tomando como muestra los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre del 2020. Se tiene en cuenta para este cálculo que las horas al día que debe trabajar la bomba son 6 horas y que trabaja todos los días.

En comparación con otras bombas y máquinas del sistema de lixiviación la bomba León tiene la disponibilidad más baja y se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 6. Disponibilidad de Bombas del sistema de Lixiviación

Equipo	Disponibilidad
Bomba 5A	87.50%
Bomba 5B	92.61%
Bomba 5C	94.19%
Bomba León H-V3	84.43%
Bomba 6A	98.33%

Fuente: elaboración propia en base a información recopilada de la empresa

4.2.4. Selección

Para seleccionar el punto crítico del sistema de Lixiviación entre componentes pares o similares, en este caso, las bombas colocadas en las diferentes pozas, se tiene en cuenta su participación en los costos por reparación generados en el 2020 y su nivel disponibilidad.

Tabla 7. Participación en los costos de reparación

Equipo	Costo (\$)	Participación
Bomba 5A	58,560.00	15.48%
Bomba 5B	67,850.00	17.93%
Bomba 5C	59,470.00	15.72%
Bomba León H-V3	135,000.00	35.68%
Bomba 6A	57,506.00	15.20%
	378,386.00	100.00%

Fuente: elaboración propia en base a información recopilada de la empresa

Tabla 8. Nivel de disponibilidad

Equipo	Disponibilidad
Bomba 5A	87.50%
Bomba 5B	92.61%
Bomba 5C	94.19%
Bomba León H-V3	84.43%
Bomba 6A	98.33%

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta lo revisado en las consideraciones humanas, económicas y técnicas, la bomba León H-V3 de la poza de lodos es la que debe revisarse y mejorarse del proceso de Lixiviación, ya que dificulta el proceso y genera más costos.

4.3. Registrar

La bomba León H-V3 se encuentra en la poza de lodos donde llega una solución proveniente de la planta Merrill-Crowe mediante la bomba 6B. Esta solución se reajusta según sea necesario, agregando cianuro y productos anti-escamantes y se vuelve a mandar a pilas de lixiviación o PAD mediante la bomba León V-H3, tal como se representa en la siguiente figura.

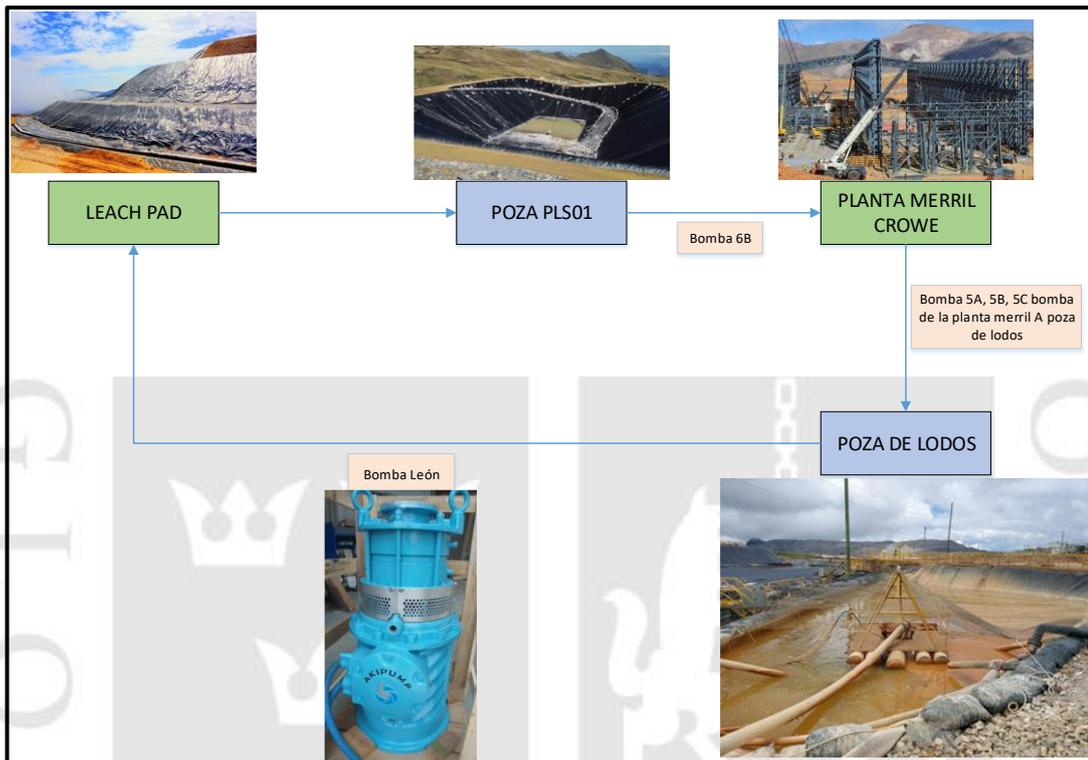


Figura 4. Representación de las zonas del proceso de Lixiviación

Fuente: elaboración propia

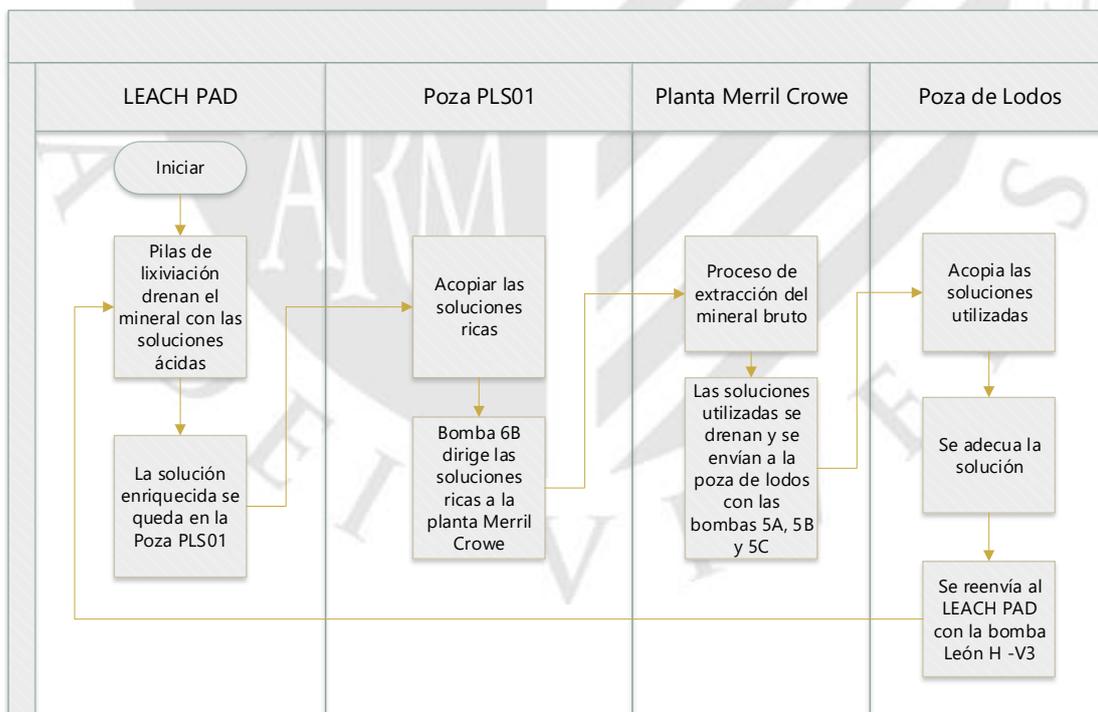


Figura 5. Flujo de las soluciones en el proceso de lixiviación

Asimismo, la figura 5 muestra el flujo que hay con respecto a las soluciones utilizadas en el proceso de obtención del mineral, señalando el papel que desempeña la bomba León en el proceso.

4.3.1. Aspectos técnicos

La poza de lodos alberga la solución de cianuro y otros químicos, tiene una dimensión de 20x15 metros y una profundidad de 2 metros, albergando 500 metros cúbicos de solución aproximadamente, el cianuro que contiene esta solución es mayor de 1100 m³/gr. Cerca de la poza se encuentra un tablero de control eléctrico (Figura 6) que tiene la función de encender y apagar la Bomba.



Figura 6. Tablero de control

En cuanto a la bomba se clasifica como una bomba sumergible eléctrica de achique, con un motor trifásico tipo jaula de ardilla, clase de aislamiento F,

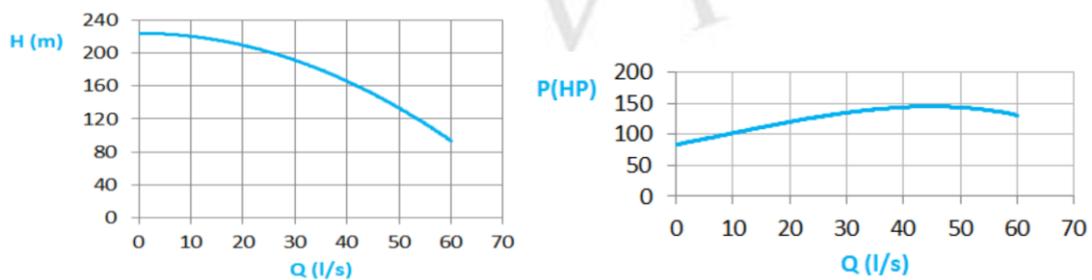


Figura 7. Rango de operación de la bomba León H-V3

El rango de operación de la bomba es de 100 a 210 H(m) con un caudal de 48 litros/segundo y la potencia de la bomba es de 110 a 142

Los datos de fábrica se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9. Datos técnicos de la bomba León H-V3

Datos técnicos	León "H"
Marca	AKIPUMP
Procedencia	PERÚ
Modelo	LEON H - V3
Dimensiones (Altura / Ancho)	1250/935 mm
Condiciones de Operación:	
Densidad máxima del fluido	1,100 kg / m ³
Temperatura máxima del líquido	40°C
Rango de pH recomendado	5 a 8
Potencia máxima absorbida	110 KW
Características de la Bomba:	
Piezas Fundidas	Fundición Nodular
Colador	Acero Inoxidable AISI 304
Eje de motor	Acero Inoxidable AISI 431
Impulsor	Fundición Alto contenido de Cromo
Difusor	Fundición Alto contenido de Cromo
Tornillos y Tuercas	Acero Inoxidable AISI 304
Sellado	Sello mecánico doble Sic / Sic
Conexión de descarga	6"
Paso de sólidos	8 mm
Cable – SubCab de conexión	20 metros
Potencia / Velocidad / Volt. /Amp.	150 HP - 3560 rpm - 440 V
Motor	Trifásico – tipo jaula de ardilla
Clase de aislamiento	F
Protección	IP 68

Fuente: la empresa

La bomba león tiene un diámetro de 1250mm de alto y 935 mm de ancho, pesa 1050 kg



Figura 8. Bomba León H-V3

En el anexo 6 se muestra el mapa eléctrico de esta bomba y su funcionamiento dentro del bombeo de la solución con cianuro desde la poza hasta el PAD

4.3.2. Medición de fallas

En esta sección se hace revisión de los indicadores de fallas técnicas de la bomba León H-V3.

Se realiza una revisión del flujo de la solución, la presión, corriente eléctrica y la posición física de la bomba de acuerdo a la entrevista con el personal competente.

Tabla 10. Medición de flujo y presión hidráulicos

Fecha	Caudal	Presión		H velocidad	Pérdidas	Hman	ADT	Observación
	Q	Descarga		Hv	Totales	(m)	(m)	
	L/S	PSI	m H2O	m H2O	m H2O	m H2O	m H2O	
1	25.1	284.9	200.5	0.1	0	1.24	201.8	Dentro de los parámetros
2	30.6	269.9	189.9	0.14	0	1.24	191.3	Dentro de los parámetros
3	36.4	249.9	175.9	0.2	0	1.24	177.3	Dentro de los parámetros
4	43.5	219.9	154.8	0.29	0	1.24	156.3	Dentro de los parámetros
5	47.1	199.9	140.7	0.34	0	1.24	142.3	Dentro de los parámetros
6	53.1	169.9	119.6	0.43	0	1.24	121.3	Dentro de los parámetros
7	57.3	151.9	106.9	0.5	0	1.24	108.7	Dentro de los parámetros
8	59.9	130.0	92.1	0.55	0	1.24	93.2	Dentro de los parámetros
9	30.0	207.0	189.2	0.23	0	1.24	112.3	Dentro de los parámetros
10	57.0	166.0	102.3	0.29	0	1.24	161.5	Dentro de los parámetros
11	29.0	225.0	157.5	0.45	0	1.24	149.4	Dentro de los parámetros
12	49.0	206.0	129.4	0.36	0	1.24	194.3	Dentro de los parámetros
13	49.0	240.0	183.2	0.15	0	1.24	116.4	Dentro de los parámetros
14	32.0	227.0	101.2	0.23	0	1.24	145.4	Dentro de los parámetros
15	52.0	260.0	104.2	0.18	0	1.24	97.8	Dentro de los parámetros
16	48.0	132.0	183.2	0.17	0	1.24	180.7	Dentro de los parámetros
17	58.0	231.0	103.3	0.32	0	1.24	104.7	Dentro de los parámetros
18	44.0	164.0	187.2	0.22	0	1.24	168.6	Dentro de los parámetros
19	28.0	183.0	163.4	0.36	0	1.24	144.4	Dentro de los parámetros
20	35.0	245.0	102.4	0.38	0	1.24	187.6	Dentro de los parámetros
21	38.0	251.0	105.2	0.15	0	1.24	157.5	Dentro de los parámetros
22	49.0	238.0	200.3	0.25	0	1.24	158.6	Dentro de los parámetros
23	27.0	244.0	110.3	0.25	0	1.24	158.6	Dentro de los parámetros
24	43.0	202.0	156.3	0.26	0	1.24	179.5	Dentro de los parámetros
25	33.0	214.0	178.1	0.13	0	1.24	158.3	Dentro de los parámetros
26	30.0	147.0	110.2	0.15	0	1.24	113.3	Dentro de los parámetros
27	48.0	152.0	132.1	0.13	0	1.24	186.4	Dentro de los parámetros
28	26.0	132.0	103.3	0.33	0	1.24	191.5	Dentro de los parámetros
29	55.0	217.0	157.3	0.34	0	1.24	127.6	Dentro de los parámetros
30	37.0	245.0	94.1	0.12	0	1.24	141.8	Dentro de los parámetros

Fuente: elaboración propia en base a observación directa

Tabla 11. Observación de parámetros eléctricos

Fecha	Voltaje Promedio V	Amperaje Promedio A	Cos ϕ F.P.	Frecuencia HZ	Potencia HP	Observación
1	440	137.1	0.89	60	125.1	Dentro de los parámetros
2	440	144.6	0.89	60	132.1	Dentro de los parámetros
3	440	149.6	0.89	60	136.7	Dentro de los parámetros
4	440	150.6	0.9	60	138	Dentro de los parámetros
5	440	149.6	0.89	60	136.8	Dentro de los parámetros
6	440	145.7	0.89	60	133.3	Dentro de los parámetros
7	440	143.3	0.89	60	131.1	Dentro de los parámetros
8	440	142.4	0.89	60	130	Dentro de los parámetros
9	440	148.3	0.89	60	132.1	Dentro de los parámetros
10	440	142.1	0.89	60	137.6	Dentro de los parámetros
11	440	141.5	0.89	60	134.2	Dentro de los parámetros
12	440	141.3	0.89	60	128.1	Dentro de los parámetros
13	440	143.4	0.89	60	125.8	Dentro de los parámetros
14	440	146.4	0.9	60	127.1	Dentro de los parámetros
15	440	149.3	0.89	60	128.2	Dentro de los parámetros
16	440	149.4	0.89	60	131.3	Dentro de los parámetros
17	440	141.4	0.89	60	134.4	Dentro de los parámetros
18	440	149.1	0.89	60	130.5	Dentro de los parámetros
19	440	141.5	0.9	60	130.2	Dentro de los parámetros
20	440	148.3	0.89	60	126.2	Dentro de los parámetros
21	440	146.4	0.89	60	138.3	Dentro de los parámetros
22	440	150.4	0.89	60	129.5	Dentro de los parámetros
23	440	142.3	0.89	60	130.8	Dentro de los parámetros
24	440	140.3	0.89	60	125.8	Dentro de los parámetros
25	440	139.1	0.89	60	135.8	Dentro de los parámetros
26	440	149.5	0.89	60	129.1	Dentro de los parámetros
27	440	150.3	0.89	60	136.1	Dentro de los parámetros
28	440	149.4	0.89	60	133.1	Dentro de los parámetros
29	440	149.4	0.89	60	136.1	Dentro de los parámetros
30	440	149.3	0.89	60	131.1	Dentro de los parámetros

Fuente: elaboración propia en base a observación directa

La observación hecha de los parámetros hidráulicos y eléctricos, arroja la conclusión de que el desgaste de la bomba no es por una falla eléctrica o por la cantidad de flujo o presión que corre por su transformador. Entonces se pasa a revisar la posición de la bomba como indicador del exceso de corrosión.

Al ser un parámetro diferente, que no se puede medir o revisar solo con los indicadores del panel de control eléctrico o hidráulico, se procede a realizar parte del

diseño que consiste en implementar una Barcaza que soporte a la bomba y la mantenga a una profundidad determinada, esto se realiza en la sección de diseño.

4.4. Examinar

En esta sección se tiene como objetivo evaluar críticamente lo registrado y la técnica será la entrevista al personal más capacitado de la planta.

Con esta entrevista se puede tener mejor idea de las causas de la corrosión excesiva de la bomba. Y una mejor idea del diseño de la barcaza.

Se realizó la entrevista a José Chafloque, personal de la poza PLS01, cuyo cargo es Operador Multifuncional de PLS01.

Para saber el propósito de la tarea:

- ¿En qué etapa del proyecto minero se encuentra nuestro departamento/sección?

En el retorno de las soluciones pobres al PAD o pilas de Lixiviación

- ¿Cómo funciona o que papel desempeña?

Esta bomba se encarga de bombear la solución hacia el PAD, se encuentra ubicada actualmente al fondo de la poza, en la parte más profunda y está conectada a tuberías por la cual redistribuye la solución hasta el PAD a 38 metros de distancia.

- ¿De qué se compone la bomba de lodos león H-V3?

Se compone de un motor eléctrico, una carcasa, un ducto de descarga, un eje, una caja de rodamientos y una parte de succión

- ¿Por qué es importante la bomba león H-V3?

Desde 5 años atrás, se busca implementar la bomba más adecuada que trabaje en la poza de lodos, utilizando una variedad de bombas de diferentes marcas, la bomba León H-V3 es la que más ha durado en funcionamiento. Es importante porque si no existiera una bomba en esta poza, la solución no volvería

al proceso de lixiviación y se estaría echando al desperdicio perjudicando al ambiente en mayor grado, por el derrame de la solución de cianuro.

Para conocer el funcionamiento técnico y las fallas:

- ¿Cuáles son los inconvenientes que presenta la bomba de lodos león H-V3?
Baja durabilidad en el proceso, su desgaste total se da en cuatro meses aproximadamente, después de esos cuatro meses la bomba debe ser cambiada por una nueva
- ¿De qué forma falla, que parte de las bombas están más propensas a fallar?
Cuando carga una densidad más de 1100 Kg/m³, el impulsor de la bomba empieza a calentarse, realizar un sobreesfuerzo y la corriente se eleva ocasionando un sobreesfuerzo y falla
- ¿Con que frecuencia se deben realizar cambios, mejoras o mantenimiento de las bombas?
Cada cuatro meses se debe cambiar de bomba
- ¿Cuánto demoran estos inconvenientes? ¿Cómo afectan al proceso?
Se estima que cada 4 meses la bomba presenta problemas, esto afecta que la poza de lodos se llene y pueda provocar un rebalse de la poza. Para instalar una nueva bomba se demora 5 horas y para conseguirla se demora 24 horas, ya que se piden y las traen desde Lima.
- ¿Qué se requiere para que las actividades sigan de manera continua?
Observando la problemática, que la bomba se desgasta rápidamente en esta zona y no las bombas de otras pozas, quizá el problema se arregle adecuando esta bomba al estado en que operan las otras. Es decir, la poza de lodos, tiene menos atención de parte de la mina, ya que, esta poza tiene menos implementos, menos componentes que las demás pozas, puede que se deba al tamaño, quizá alguno de los elementos que tienen otras pozas y esta no, sea el causante de la corrosión excesiva de la bomba León H-V3.
- ¿Cómo se abastece la mina cuando hace falta un repuesto de esta bomba?
El área de ingeniería tiene el trabajo de realizar la compra de la bomba, contratar el servicio de reparación y transporte, toda esa coordinación demora

como 2 meses calendario, de ahí transportar de Lima del taller TOMOCORP hacia la mina.

- ¿Qué podría hacerse para mejorar la disponibilidad de la bomba?

Hacer que la bomba tenga más vida útil, podría ser una opción. Por otro lado, sería tener una bomba en stand by, repuestos a la mano, capacitación de reparación de bombas león.

- ¿Los monitoreos establecidos cumplen la función de prevenir las fallas?

Si ayudan a prevenir fallas, permite predecir el tiempo de vida del equipo

Sobre el personal y sus capacidades

- ¿Quiénes están autorizados para realizar los cambios de bomba?

Para autorizar el cambio de la bomba es el supervisor de mantenimiento con coordinación con la superintendencia del área y el supervisor de procesos, para definir en qué día se puede realizar el cambio de la bomba, según el tiempo de los técnicos operadores, factores climáticos y otros más.

- ¿Qué personal pueden trabajar en la poza?

Personal de minera Barrick Misquichilca y empresa contratista Bahía Ramos.

- ¿Se requiere un permiso adicional para ingresar a la poza?

Si, se requiere un permiso de ingreso al personal nuevo, bloqueo y señalización de equipos, tormenta eléctrica, espejos de agua, estos cursos tienen que tener un fotocheck firmado por prevención de riesgos, también haber recibido curso de manejo de cianuro 1, 2 y 3.

- ¿El personal de mantenimiento es certificado?

Si, todo personal de mantenimiento tiene más de 5 años de experiencia y certificados según su área laboral, para estas certificaciones la empresa minera les brinda apoyo.

- ¿Cuánto personal se requiere para atender las fallas de la bomba?

Mínimo se requiere 2 técnicos eléctricos para la revisión de la falla y análisis, para realizar un cambio de bomba se requiere 1 supervisor, 1 operador de grúa, 1 personal vigía, 2 técnicos mecánicos 2 técnicos electricistas 1 operador de campo.

- ¿Existe comunicación constante entre áreas?

Si, todo el proceso de PLS01, planta procesos, aguas y mantenimiento, tenemos una frecuencia de radio

- ¿El personal conoce bien sus funciones?

Si todo el personal laborando, provienen de empresas que tiene experiencia por más de 5 años, también al momento de su ingreso el personal tiene como 7 días en pasar inducción, permisos, guía de todas las áreas de trabajo por el supervisor de campo, una vez realizado todo esto, el personal ya esté habilitado

Respecto a los medios

- ¿Con qué recursos cuenta la empresa para atender los inconvenientes de la bomba?

La empresa tiene contratos con los vendedores, si mantenimiento compra la bomba león en el Perú hay una empresa Termocorp representante de la marca AKIPUMP, esta empresa tiene su taller, entonces ellos se encargan de la venta y reparación de las bombas, el mismo fabricante, por un tema de garantía y certificación

- ¿Considera que la logística es buena?

La logística aún tiene problemas de papeles y demora en el tiempo de reparación, sería conveniente que la empresa Termocorp abra una sede taller en el norte en la ciudad de Trujillo, esto ayudaría a reducir el tiempo de reparación y compra de los equipos y repuestos.

- ¿A qué se debe acudir para arreglar, darle mantenimiento a la bomba? ¿Cómo se realiza este proceso?

Este proceso es, desmontar la bomba, inspeccionar los componentes mecánicos y revisar las posibles fallas de la bomba, cambiar las partes dañadas y montar la bomba, de ahí pasa a un protocolo de pruebas y laboratorio por la empresa Termocorp.

- ¿La bomba de lodos genera la rentabilidad esperada? ¿su aporte es positivo al proceso?

La bomba León si genera rentabilidad, ya que es una bomba para ese tipo de trabajo, de todo esto se puede mejorar el diseño de la bomba para más adelante, mejorar la dureza del impulsor, etc.

Sobre la barcaza a implementarse

- ¿Qué aspectos o componentes se deben mejorar sobre la bomba y su papel en la poza de lodos?

Por mis años de experiencia he notado que la falla en este sistema de la bomba León, puede ser la profundidad a la que se sumerge la bomba dentro de la poza. De por sí, estas aguas son ácidas y pueden corroer cualquier material, pero colocando una bomba a la profundidad de la poza puede deteriorarla más rápido, debido a que el componente químico se encuentra en mayor concentración en la base de la poza, además de otros componentes particulados que se llegan de la planta Merrill Crowe que se quedan en la base de la poza.

- ¿Qué observaciones puede dar acerca de la bomba?

La bomba León H-V3 ha tenido el mejor desempeño en comparación a otras bombas utilizadas en esta poza, si hay que hacerse una mejora es con respecto a la situación física de la poza o de la conexión, ya que la bomba si cumple con su función.

4.5. Diseñar

Con ayuda de la **entrevista, observación** y la evaluación hecha a la bomba, se identifican algunos puntos críticos:

- La bomba sumergible León cumple el papel de bombear aguas ácidas que pueden corroer fácilmente su estructura
- La poza de lodos contiene mayor nivel de acidez en la zona más profunda.
- El precedente de bombas en otras pozas, indica que la bomba sumergible nunca debe estar en la base de la poza.
- La profundidad a la que debe estar sumergida la bomba debe ser la menos posible, ya que existe menos acidez en la zona superficial de las pozas ácidas

- La profundidad debe ser suficiente como para utilizar la capacidad completa de bombeo, sumergiendo la totalidad de la boca de entrada

Por ende, se planeó una forma de ubicar la bomba a una diferente profundidad con respecto a la poza. Es así que se consideró conveniente construir una barcaza que soporte la bomba y la mantenga suspendida a determinada profundidad.

La implementación consiste en construir una Barcaza que pueda soportar el peso de la bomba y que pueda mantenerla a 10 cm de profundidad (que es la distancia mínimamente necesaria para que la boca o entrada de la bomba este completamente sumergida), esta Barcaza fue diseñada de acuerdo a los parámetros de otras barcasas utilizadas en otras pozas del proceso de lixiviación.



Figura 9. Barcaza de soporte para la bomba León H-V3

Esta barcaza es hechiza, no certificada, tiene una tubería de HDP de 6 pulgadas conectada a la bomba.

Tiene una brida de 2 impactos, la barcaza mide 2x2.5 m, de altura 2 m, tiene 8 barriles hechizos colocados de manera proporcional, tiene un tecle de 5 toneladas y una eslinga de 4 toneladas para maniobrar la altura de la bomba León H-V3.

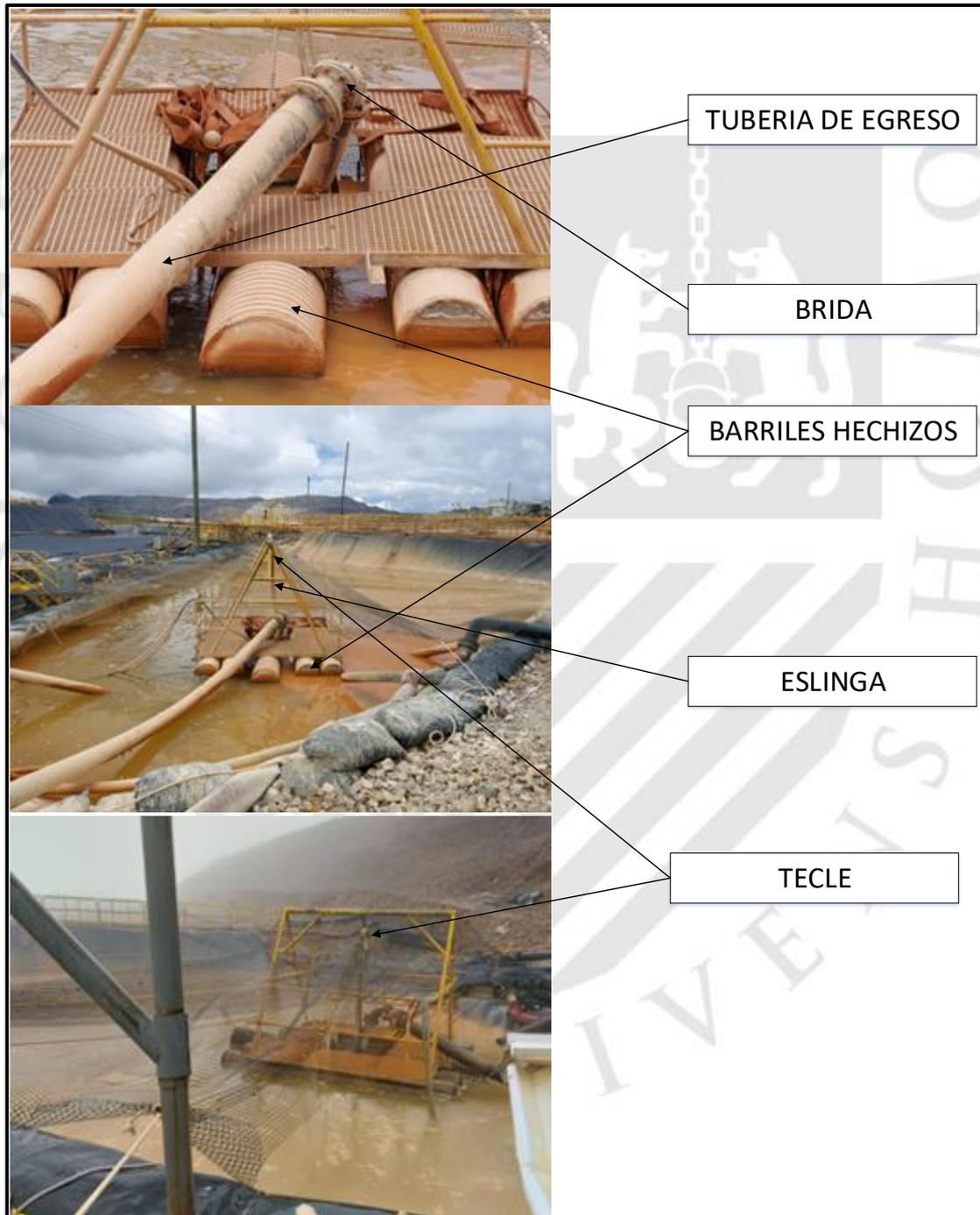


Figura 10. Partes de la barcaza construida

4.5.1. Medidas adicionales

Entre otras medidas adicionales se presentan las encontradas gracias a la entrevista con el personal, las cuales son:

Capacitación a personal

El operador del equipo tiene que tener conocimiento como funciona ese equipo, como se usará y detallar literalmente el método a utilizar.

Disponibilidad en almacén

Mantener en inventario una bomba León H-V3 que sirva de apoyo para cuando la que esté en uso se malogre o deba ser llevada a reparación

4.6. Instalar

Cumpliendo con la característica experimental del presente estudio, el procedimiento continúa con la instalación de la Barcaza.

Para la instalación de la Barcaza, primero se retiró la bomba de la poza con ayuda de la grúa (Figura 11), se colocó la Barcaza en la poza y se empezó a montar la bomba (Figura 12).

Para determinar el estado de la Barcaza, se realizaron pruebas por catorce días, brindando un resultado positivo para ser soporte de la Bomba (Tabla 12).

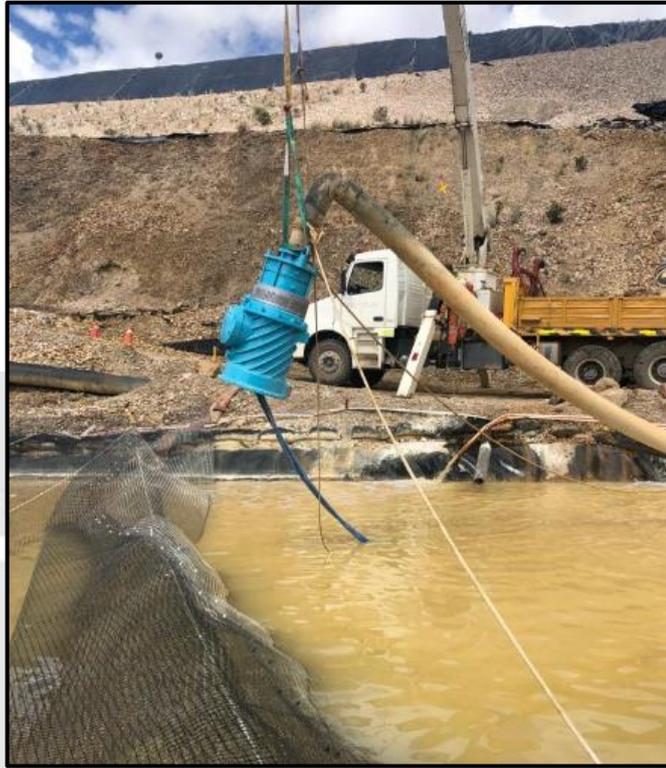


Figura 11. Retiro de la bomba

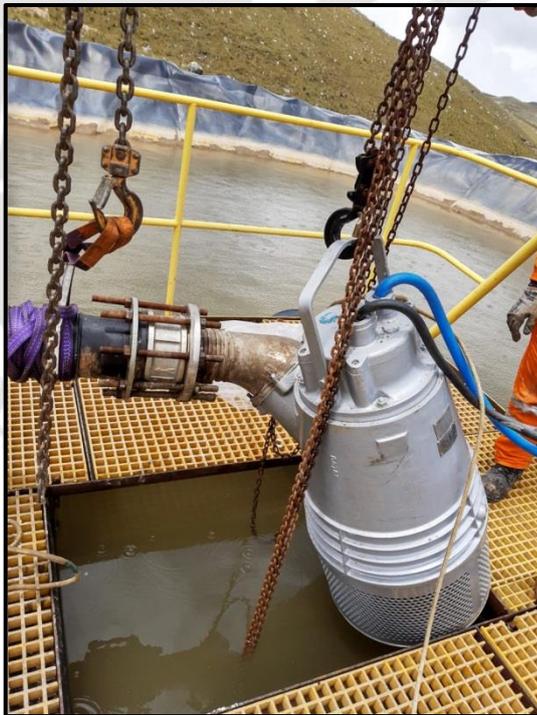


Figura 12. Montaje de la bomba

Tabla 12. Estado de la Barcaza

Fecha	23/12/2020		24/12/2020		25/12/2020		26/12/2020		27/12/2020		28/12/2020		29/12/2020	
	SÍ	NO												
Tubería de egreso														
Presencia de óxido		X		X		X		X		X		X		X
Suciedad		X		X		X		X	X		X			X
Brida														
Presencia de óxido		X		X		X		X		X		X		X
Suciedad		X		X		X		X		X		X		X
Barriles hechizos														
Presencia de óxido		X		X		X		X		X		X		X
Suciedad		X		X		X		X		X	X		X	
Eslinga														
Presencia de óxido		X		X		X		X		X		X		X
Suciedad		X		X		X		X		X		X		X
Teclé														
Presencia de óxido		X		X		X		X		X		X		X
Suciedad		X		X		X		X		X		X		X

Fecha	30/12/2020		31/12/2020		1/01/2021		2/01/2021		3/01/2021		4/01/2021		5/01/2021	
	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO
Tubería de egreso														
Presencia de óxido		X		X		X		X		X		X		X
Suciedad		X		X		X		X		X	X		X	
Brida														
Presencia de óxido		X		X		X		X		X		X		X
Suciedad		X		X		X		X		X		X		X
Barriles hechizos														
Presencia de óxido		X		X		X		X		X		X		X
Suciedad		X		X		X		X		X	X		X	
Eslinga														
Presencia de óxido		X		X		X		X		X		X		X
Suciedad		X	X			X		X		X		X		X
Teclé														
Presencia de óxido		X		X		X		X		X		X		X
Suciedad		X		X	X			X		X		X		X

Fuente: Elaboración propia con base en la observación

4.7. Mantener

Para mantener la implementación de la Barcaza se realizó un monitoreo por tres meses, de los cuales se obtuvieron buenos resultados, algunos de estos se muestran en la siguiente tabla y el resto en el anexo 3.

Tabla 13. Monitoreos de la Barcaza instalada

Fecha	Monitoreo				Observaciones
	Profundidad de la bomba (cm)	Estabilidad de la bomba (° de inclinación)	Desgaste de los Barriles		
20/11/2020	10.2	90	No		Ninguna
21/11/2020	10.1	90.2	No		Ninguna
22/11/2020	10.05	90.5	No		Ninguna
23/11/2020	10.03	90.6	No		Ninguna
24/11/2020	10.06	90.4	No		Ninguna
25/11/2020	10.1	90	No		Ninguna
26/11/2020	10.13	90.5	No		Ninguna
27/11/2020	10.2	90.1	No		Ninguna

Fuente: elaboración propia con base en la observación

Después de estos tres meses de prueba, se insta a que los monitoreos de la Barcaza se realicen cada semana y, si no se observan cifras diferentes después de un año, se realicen de manera mensual.

Se recomienda, muy aparte de revisiones periódicas, algunas acciones que mantengan limpio, sin incidentes el sistema de la Barcaza, como:

- Cuando el área de operaciones compre una bomba o equipo para instalar y mejorar el proceso, tiene que coordinar con el área de procesos, para seleccionar el correcto equipo.
- Instalar iluminación al área de poza de lodos,
- Instalar un cerco perimétrico para la poza de lodos, así evitar accidentes de caída a la poza, resbalones, etc.
- Compra de un manómetro de 0 a 500 PSI
- Cambiar un tramo corto en la tubería de HDP a tubería acero al carbono para instalar un flujómetro de 10 pulgadas.
- Se requiere entrenamiento al personal de operaciones, por parte del área de mantenimiento como operar la bomba.
- Se requiere un plan de toma de datos cada 3 meses para la bomba león, corriente e inspección visual, mientras que los otros los equipos solicitados lleguen a mina para su instalación

CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Una vez formulada e implementada la barcaza en la poza de lodos, se procede a describir y evaluar los resultados:

5.1. Comparación visual de los resultados

En la situación anterior, la bomba León H-V3 se encontraba al fondo de la poza (Figura 13), después de la implementación de la barcaza la bomba se encuentra sumergida a 10 cm de la superficie de la poza (Figura 14)



Figura 13. Posición inicial de la bomba



Figura 14. Posición de la bomba después de la implementación de la barcaza

Esto ayuda como se indicó, a que la bomba no se desgaste rápidamente, ya que, la densidad de la solución de cianuro en la parte más profunda de la poza es más densa y contiene otras partículas sólidas. Al poner la bomba a 10 cm de la superficie, hace que absorba esos componentes sólidos en pocas proporciones y esto hace que se desgaste más lento, comprobado por el monitoreo que se le hizo a la bomba con ayuda de revisiones visibles.

Se realizó un monitoreo de la situación física de la bomba por tres meses y se constató lo siguiente

Tabla 14. Monitoreo de la bomba León

Fecha	Antes	Fecha	Después
11/08/2020	Instalación de nueva bomba	29/11/2020	Instalación
18/08/2020	Revisión, limpieza	6/12/2020	Sin observación
25/08/2020	Mantenimiento mecánico	13/12/2020	Revisión, limpieza
1/09/2020	Revisión, limpieza	20/12/2020	Sin observación
8/09/2020	Revisión, limpieza	27/12/2020	Revisión, limpieza
15/09/2020	Revisión, limpieza	3/01/2021	Sin observación
23/09/2020	Mantenimiento mecánico	10/01/2021	Sin observación
3/10/2020	Revisión, limpieza	17/01/2021	Sin observación
7/10/2020	Desinstalación	24/01/2021	Revisión, limpieza
10/10/2020	Reparación	31/01/2021	Sin observación
13/10/2020	Instalación	7/02/2021	Sin observación
27/10/2020	Revisión, limpieza	14/02/2021	Revisión, limpieza
4/11/2020	Revisión, limpieza	21/02/2021	Mantenimiento y limpieza
6/11/2020	Mantenimiento mecánico	28/02/2021	Sin observación
11/11/2020	Revisión, limpieza	7/03/2021	Mantenimiento mecánico

Fuente: elaboración propia en base a la observación

La Tabla 14 muestra las observaciones que se tuvieron cuando se monitoreó la bomba con y sin la barcaza.

El periodo comprendido de la situación anterior es el periodo el cual duró la última bomba León H-V3 colocada el 11 de agosto del 2020, como se observa la bomba sin la Barcaza, debía ser mantenida en menor o mayor grado cada semana, la diferencia entre días que se requería hacer una revisión era corta, ya que se observaban desbalances o fallas.

Con la implementación de la barcaza la bomba presentó diferentes observaciones, ya que, haciendo la revisión cada semana de la bomba, se notaba la disminución del requerimiento de limpieza o reparación mecánica.

5.2. Análisis de disponibilidad

La disponibilidad de la bomba León H-V3 era de 83.68% con la implementación de la barcaza asciende a 94.96%, en la siguiente tabla se presentan los tiempos de paro que tuvo la bomba después de la implementación de la barcaza en la poza de lodos

Tabla 15. Tiempo de paro de la Bomba León H-V3 después de la instalación de la barcaza

Fecha	Descripción	Tiempo de paro (Horas)
29/11/2020	Instalación	7.5
6/12/2020	Sin observación	0
13/12/2020	Revisión, limpieza	6.5
20/12/2020	Sin observación	0
27/12/2020	Revisión, limpieza	1.5
3/01/2021	Sin observación	0
10/01/2021	Sin observación	0
17/01/2021	Sin observación	0
24/01/2021	Revisión, limpieza	2.5
31/01/2021	Sin observación	0
7/02/2021	Sin observación	0
14/02/2021	Revisión, limpieza	2.5
21/02/2021	Mantenimiento y limpieza	6.5
28/02/2021	Sin observación	0
7/03/2021	Mantenimiento mecánico	5.5

Fuente: elaboración propia en base a la observación

Con estas cifras se puede hallar del mismo modo la disponibilidad

$$D_t = \frac{TDPP}{TDPP + TMR}$$

Donde:

Dt: Disponibilidad

TDPP: tiempo disponible para la producción

TMR: tiempo medio de reparación

$$D_t = \frac{611.5}{611.5 + 18.5}$$

$$D_t = 0.9575$$

Entonces la disponibilidad de esta bomba después de la instalación de la barcaza fue de 95.75%, tomando como muestra los meses de la implementación noviembre, diciembre, enero y febrero del 2021. Se tiene en cuenta para este cálculo que las horas al día que debe estar operativa la bomba son 6 horas y que trabaja todos los días.

Entonces si se compara la disponibilidad de la bomba, esta se incrementa con la instalación de la barcaza.

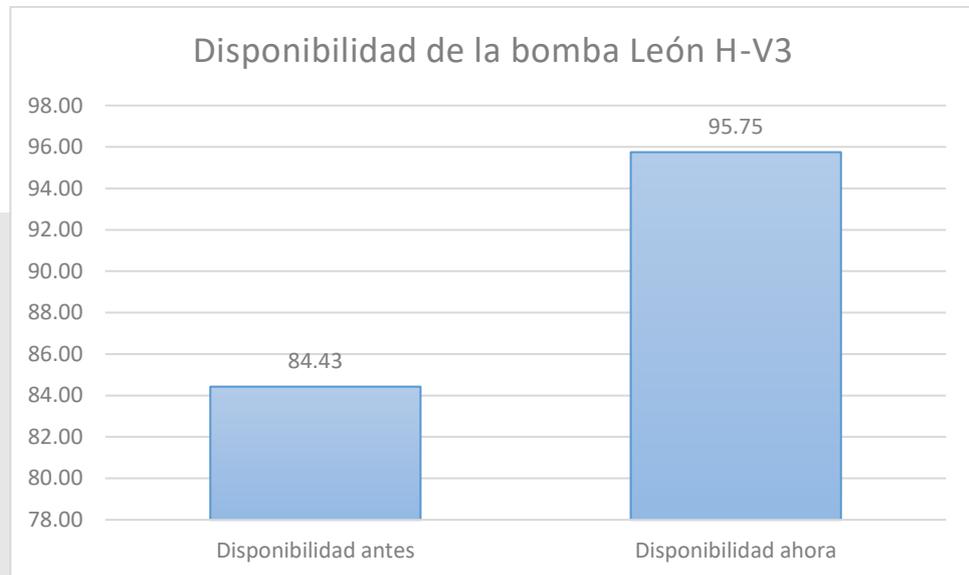


Figura 15. Comparación de disponibilidad de la bomba León H-V3

La bomba desde que se instaló una barcaza ha mejorado su rendimiento y la eficiencia del equipo, ya no presenta desgastes de los componentes y tampoco presenta sobre corriente, pero se tiene que seguir manteniendo la inspección.

5.3. Evaluación económica

Se realiza una evaluación económica, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Se instala la barcaza para mejorar la succión de la bomba, esto ayuda en gran manera, a que no se atore que impide realizar la succión normal, también tiene un teclé de subir y bajar para la bomba esto regula la altura de la bomba con el piso de la poza de lodos.
- Se instala una válvula check complementaria, esto permite que el flujo enviado a la tubería de subida no retorne a la bomba, que puede generar un giro inverso dañando a la bomba León.

- Cuando se requiere realizar una inspección a la bomba, se jala la barcaza a la orilla de la poza de lodos para que el operador o técnico ingrese a la barcaza y pueda verificar todos los datos en campo. Ya no es necesario llamar al camión grúa para realizar la limpieza de la bomba león
- Si la bomba presenta ruido o sobre corriente el operador puede ingresar a la barcaza subir con el tecla la bomba león hacia arriba y con la manguera a presión de agua limpiar toda esa área de succión.
- El trabajo se reduce disminuyendo horas hombre trabajado, esta limpieza se realizaba con 2 o más operarios, 1 operador grúa, 1 vigía y 1 supervisor, ahora, solo se requiere 1 personal en la barcaza y un personal de vigía.

Tabla 16. Costos de funcionamiento mensuales de la bomba León antes y después de la instalación de la barcaza

Costos	Antes (S/)	Ahora (S/)
Pago al personal por las horas de limpieza y mantenimiento	4,262.50	397.22
Costo mensual por adquisición de bomba	29,575.00	16,900.00
Costos por componentes cambiados	16,785.00	12,652.00
Total	50,622.50	29,949.22

Fuente: elaboración propia en base a información recolectada

Los costos hallados en la Tabla 16 son calculados en base a los siguientes supuestos

- La disponibilidad de la bomba antes es de 0.8368 y ahora es 0.9496
- Las horas gastadas por el personal para la limpieza de tres meses antes era de 93 horas, ahora 26 horas
- El sueldo de los trabajadores es S/5,500.00
- Cantidad de trabajadores que realizan el mantenimiento antes eran 6, ahora son 2
- Costo de la bomba en soles es 118,300
- Tiempo de vida de la bomba antes era 4 meses, ahora 7 meses
- La cantidad de solución bombeada debido a las características de la solución es de 48 litros por segundo.

Tabla 17. Inversión por Barcaza

Inversión	Ahora (S/)
Costo de inversión de la Barcaza	154,500.00

Fuente: elaboración propia en base a información recolectada

Se halla una forma de ingresos por la cantidad de solución que bombea la bomba la mes y que sirve para el proceso de obtención del oro, tomando en cuenta el valor del oro con una pureza muy baja.

Tabla 18. Ingresos por día de trabajo de la bomba León antes y después de la instalación de la barcaza

Ingresos	Antes (S/)	Ahora (S/)
Ingresos por cantidad de oro procesado con ayuda del bombeo de solución	1985.16	2252.67

Fuente: elaboración propia en base a información recolectada

Se halla estos ingresos diarios teniendo en cuenta los siguientes supuestos

- La cantidad de solución bombeada debido a las características de la solución es de 48 litros por segundo
- Se requiere 15,000 litros de solución pobre para procesar 0.5 gramos de oro
- El valor del oro menos puro en el mercado es de 68.64 soles el gramo
- La bomba León H-V3 podía bombear 867,637.89 litros al día antes y ahora procesa 984,558.14 litros al día, debido al aumento de su disponibilidad.

Entonces se hace una comparativa de los ingresos y costos, encontrando un valor de utilidad de la bomba León H-V3 antes y después de la instalación de la barcaza

Tabla 19. Utilidad de la bomba de lodos antes y después de la instalación de la barcaza

Ingresos (S/)	Egresos (S/)	Utilidad (S/)
238,218.66	202,490.00	35,728.66
473,060.49	364,144.56	108,915.94

Fuente: elaboración propia en base a información recolectada

También se puede hallar un VAN teniendo en cuenta los flujos mensuales de ingresos y egresos

Tabla 20. Flujos económicos de la instalación de la barcaza (S/)

Meses	1	2	3	4	5
Ingresos	67,580.07	67,580.07	67,580.07	67,580.07	67,580.07
Egresos	29,949.22	29,949.22	29,949.22	29,949.22	29,949.22
Inversión	154,500.00	37,630.85	37,630.85	37,630.85	37,630.85
Tasa de descuento anual	0.1378				
Tasa de descuento mensual	0.0108				
VAN	27,699.28				

Fuente: elaboración propia en base a información recolectada

Se puede concluir de este análisis que la Barcaza trae beneficios monetarios a la minera ya que valorizando los costos que deben pagarse antes y después de la instalación de la barcaza, así como valorizando su participación en el proceso minero la Bomba genera un VAN de S/27,699.28.

5.4. Validación de hipótesis

Para la validación se toman en cuenta los datos de disponibilidad levantados en la observación en el pre test y post test. En la siguiente tabla, se presentan las 15 semanas antes y después de instalada la barcaza.

Tabla 21. Disponibilidad de la bomba León H-V3, pre test y post test

	Observación	Fecha	Descripción	Tiempo de paro (Horas)	Horas trabajadas	Disponibilidad
PRE TEST	Semana 1	11/08/2020	Instalación de nueva bomba	6	36	85.71
	Semana 2	18/08/2020	Revisión, limpieza	3.5	38.5	91.67
	Semana 3	25/08/2020	Mantenimiento mecánico	6.5	35.5	84.52
	Semana 4	1/09/2020	Revisión, limpieza	3	39	92.86
	Semana 5	8/09/2020	Revisión, limpieza	4.5	37.5	89.29
	Semana 6	15/09/2020	Revisión, limpieza	2.8	39.2	93.33
	Semana 7	23/09/2020	Mantenimiento mecánico	5.5	36.5	86.90
	Semana 8	3/10/2020	Revisión, limpieza	2.5	39.5	94.05
	Semana 9	7/10/2020	Desinstalación	3.6	38.4	91.43
	Semana 10	10/10/2020	Reparación	38	4	9.52
	Semana 11	13/10/2020	Instalación	5	37	88.10
	Semana 12	27/10/2020	Revisión, limpieza	2.5	39.5	94.05
	Semana 13	4/11/2020	Revisión, limpieza	4.5	37.5	89.29
	Semana 14	6/11/2020	Mantenimiento mecánico	7.4	34.6	82.38
	Semana 15	11/11/2020	Revisión, limpieza	2.8	39.2	93.33
POST TEST	Semana 1	29/11/2020	Instalación	7.5	34.5	82.14
	Semana 2	6/12/2020	Sin observación	0	42	100.00
	Semana 3	13/12/2020	Revisión, limpieza	6.5	35.5	84.52
	Semana 4	20/12/2020	Sin observación	0	42	100.00
	Semana 5	27/12/2020	Revisión, limpieza	1.5	40.5	96.43
	Semana 6	3/01/2021	Sin observación	0	42	100.00
	Semana 7	10/01/2021	Sin observación	0	42	100.00
	Semana 8	17/01/2021	Sin observación	0	42	100.00
	Semana 9	24/01/2021	Revisión, limpieza	2.5	39.5	94.05
	Semana 10	31/01/2021	Sin observación	0	42	100.00
	Semana 11	7/02/2021	Sin observación	0	42	100.00
	Semana 12	14/02/2021	Revisión, limpieza	2.5	39.5	94.05
	Semana 13	21/02/2021	Mantenimiento y limpieza	6.5	35.5	84.52
	Semana 14	28/02/2021	Sin observación	0	42	100.00
	Semana 15	7/03/2021	Mantenimiento mecánico	5.5	36.5	86.90

Fuente: elaboración propia en base a información recolectada

Primero se determina la naturaleza de la distribución de los datos para el pre test y post test, con una prueba de normalidad de Shapiro Wilk para muestras menores a 30.

Tabla 22. Prueba de normalidad con Shapiro Wilk

	Shapiro Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Disponibilidad antes	0.440	15	0.000
Disponibilidad después	0.748	15	0.001

Fuente: elaboración propia

De la tabla 22 se puede deducir que los datos del pre test y post test no tienen una distribución normal, ya que, el coeficiente de significancia de la prueba en ambos casos es menor a 0.05. Por lo tanto, la prueba de comparación de medias se realiza con una prueba Wilcoxon de muestras relacionadas.

Para la prueba de hipótesis se plantean los siguientes enunciados, y se contrasta con la prueba Wilcoxon para muestras relacionadas.

Ho: La instalación de una barcaza en la poza de lodos no incrementa la disponibilidad de la bomba León H-V3

Ha: La instalación de una barcaza en la poza de lodos si incrementa la disponibilidad de la bomba León H-V3

Tabla 23. Estadísticos de prueba de Wilcoxon

	Disponibilidad después - Disponibilidad antes
Z	-2.482
Sig. Asintótica (bilateral)	0.013

Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, siendo el valor de significancia de la prueba wilcoxon $p=0.013$ menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, aceptando la alterna. Por lo que, se puede concluir que la instalación de la barcaza si incrementa la disponibilidad de la bomba León H-V3

CONCLUSIONES

- PRIMERA. La bomba de León H-V3 trabajando óptimamente en el proceso de lixiviación es importante por tres motivos: (1) Participa en la redistribución de las soluciones pobres que fueron utilizadas en las pilas de lixiviación, acción que permite la disminución del gasto de agua y la prevención del derrame innecesario de soluciones con cianuro al ambiente. (2) Reduce el peligro de exposición asociado a una bomba que presenta fallas continuas, situación que debe confrontar los trabajadores que realizan mantenimiento y revisión. (3) Ahorro de costos de reparación de hasta S/50,622.50 por mes al no haber fallas constantes.
- SEGUNDA. La bomba León H-V3 tiene la función de bombear la solución hacia el PAD, localizándose actualmente al fondo de la poza, en la parte más profunda, y conectada a tuberías por la cual redistribuye la solución hasta el PAD a 38 metros de distancia. La actual bomba León H-V3 presenta un nivel de disponibilidad de 84.43%.
- TERCERA. Las etapas de Selección, Registro y Examinación del método SREDIM permitieron formular la construcción de una Barcaza que pueda soportar el peso de la bomba manteniéndola a 10 cm de profundidad. Esta Barcaza fue diseñada de acuerdo a los parámetros de otras barcazas utilizadas en otras pozas del proceso de lixiviación en la etapa de Diseño del método. Se calculó S/154,500.00 como inversión necesaria para esta barcaza.
- CUARTA. Las etapas de Instalación y Mantenimiento del Método SREDIM permitió la realización de la mejora. La construcción de la Barcaza incrementó la tasa de disponibilidad de la bomba León H-V3 a 95.75% y redujo los costos hasta S/29,949.22 por mes. La implementación de la Barcaza como proyecto de mejora genera un VAN de S/27,699.28.

RECOMENDACIONES

A la minera se le recomienda el uso de la Barcaza construida para la bomba León ya que colabora con el propósito de la tarea de la bomba, así mismo, se recomienda el uso de la misma por un periodo no mayor a 10 años, lo recomendable, es prestar más atención al área PLS01, ya que hasta el momento no se ha implementado los mismos mecanismos que utilizan para las pozas de lixiviación.

A las futuras investigaciones se recomienda el uso del método SREDIM u otros métodos que en su proceso incluyan una comparación de los efectos o consecuencias que generan los diversos procesos sobre el producto final. Es decir, que se haga metódicamente el hallazgo de la máquina o proceso que esté perjudicando más al trabajo en sí, de modo que se pueda realizar una mejora enfocada en lo que realmente hará un cambio positivo a la producción

BIBLIOGRAFÍA

- Barreto, C. (2017). *Optimización del sistema de bombeo- construcción y drenaje- unidad minera Antapacay*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.
- Behar Rivero, D. (2008). *Metodología de la investigación*. Shalom.
- Cansaya, F. (2017). *Diseño e implementación del sistema de drenaje para mejorar el sistema de acarreo de mineral en la mina Antapaccay 2016*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3884/Cansaya_Vara_Fleming_Euler.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Condezo Acosta, H. A., & Benavides Chagua, S. F. (2019). *Mejoramiento del sistema de bombeo y drenaje de Aguas subterráneas Unidad de Producción Uchucchacua-Cia de Minas Buenaventura S.A.A*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco.
- Fernández Tapia, C. E. (2017). *Propuesta de mejoras en bomba de drenaje para la minería, orientada a mejorar índices de mantenimiento*. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.
- Fernández, C., Hernández, R., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES.
- Gitman, L. (1997). *Fundamentos de administración financiera*. México: OUP Harla México S.A.
- Medrano Ventocillo, D. A. (2019). *Optimización en el sistema de bombeo y drenaje*. Universidad Continental, Huancayo.

- Mesa, D., Ortiz, Y., & Pinzón, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et Technica Año XII*, 157.
- Ministerio de Energía y Minas. (24 de junio de 2019). *gob.pe*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias/29754-minem-casi-el-10-del-pbi-y-el-61-de-las-exportaciones-del-2018-fueron-producto-de-la-mineria>
- Ninanya de la Cruz, H. D. (2015). *Análisis numérico de flujo subterráneo: caso mina subterránea de Vazante- Brasil*. Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Niño Martínez, C. (2019). *Dimensionamiento y selección de un sistema de bombeo de relaves aplicado al requerimiento de una operación minera*. Universidad de Piura, Piura.
- Ojeda Chinchayán, C. M. (2012). *Diseño de un sistema de automatización industrial para el sistema de bombeo de aguas ácidas*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Ortíz Ramirez, G. E. (2014). *Diseño e implementación del sistema de bombeo principal del sector A - Mina Calenturitas, propiedad de C.I. Prodeco S.A., La Loma, Cesar*. Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia, Sogamoso.
- Ortiz- Vidal, L. E., Cabanillas, D. E., & Fierro- Chipana, R. A. (2010). Equilibrio hidráulico en sistemas de bombeo minero: estudio de caso. *Revista Chilena de ingeniería*, 335-342. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v18n3/art07.pdf>
- Rafael Barzola, J. E. (2019). *Implementación de un sistema de bombeo integral para la evacuación de aguas subterráneas en Minera Kolpa S.A*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.

- Rodriguez Ayala, Y. M. (2014). *Mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcan Compañía Minera S.A.A - Unidad San Cristobal*. Universidad Nacional de Centro del Perú, Huancayo.
- Santa, E. (24 de Enero de 2017). *Fundamentos financieros: el valor actual neto (VAN)*. Obtenido de conexionesan: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/fundamentos-financieros-el-valor-actual-neto-van/>
- Skousen, J., Simmons, J., McDonald, & Ziemkiewicz. (2002). Acid-base accounting to predict post-mining drainage quality on surface mines. *J Environ Qual*. doi:10.2134/jeq2002.2034
- Suárez Enciso, C. (2019). *Análisis técnico económico para la ampliación de un sistema de bombeo de dos etapas en el interior de una mina subterránea*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Sumaria Montes, R. G. (2019). *Análisis técnico económico para la ampliación de un sistema de bombeo de dos etapas en el interior de una mina*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Tacilla Sánchez, E. F., & Cueva Correa, R. J. (2019). *Aplicación de un sistema scada RSVIEW32 para la automatización de bombas sumergibles en una mina a cielo abierto, Cajamarca 2019*. Universidad privada del norte, Cajamarca.