

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO**  
**INDUSTRIAL**

---

**“Análisis técnico económico para la adquisición de un equipo de izaje y su incidencia en la reducción de costos en el mantenimiento de las bombas verticales Goulds VIC –T, de la plataforma de bombeo PLS2, en minera Shahuindo SAC”**

---

**Línea de Investigación:**  
Gestión Empresarial

**Autores:**

Br. Portilla Ordoñez, Pablo Cesar  
Br. Huaman Delgado, Eber Paul

**Jurado Evaluador:**

**Presidente:** Dra. Landeras Pilco, María Isabel  
**Secretario:** Dra. Urraca Vergara, Elena Matilde  
**Vocal:** Ms. Rodríguez Salvatierra, Daniel

**Asesor:**

MsC. Ing. León Culquichicón, Jorge Iván  
Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8687-0186>

**TRUJILLO-PERU**

**2022**

**Fecha de sustentación: 2022/22/12**



**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
INDUSTRIAL**

---

**“Análisis técnico económico para la adquisición de un equipo de izaje y su incidencia en la reducción de costos en el mantenimiento de las bombas verticales Goulds Vic –T, de la plataforma de bombeo PLS2, en minera Shahuindo SAC”**

---

**Línea de Investigación:**  
Gestión Empresarial

**Autores:**

Br. Portilla Ordoñez, Pablo Cesar  
Br. Huaman Delgado, Eber Paul

**Jurado Evaluador:**

**Presidente:** Dra. Landeras Pilco María Isabel

**Secretario:** Dra. Urraca Vergara Elena Matilde

**Vocal:** Ms. Rodríguez Salvatierra, Daniel

**ASESOR**

MsC. Ing. León Culquichicón, Jorge Iván  
Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8687-0186>

**TRUJILLO – PERÚ 2022**

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**“Análisis técnico económico para la adquisición de un equipo de izaje y su incidencia en la reducción de costos en el mantenimiento de las bombas verticales Goulds Vic –T, de la plataforma de bombeo PLS2, en minera Shahuindo SAC”**

**APROBADO EN CONTENIDO Y ESTILO POR:**

---

**Dra. Ing. MARÍA ISABEL LANDERAS PILCO**  
**PRESIDENTE**  
**CIP: 44282**

---

**Dra. ELENA MATILDE URRACA VERGARA**  
**SECRETARIO**  
**CIP 59953**

---

**Ms DANIEL RODRIGUEZ SALVATIERRA**  
**VOCAL**  
**CIP 24470**

---

**MsC. ING. JORGE IVÁN LEÓN CULQUICHICÓN**  
**ASESOR**  
**CIP: 52831**

## DEDICATORIA 1

Dedico inicialmente esta tesis a **Dios todopoderoso** por permitirme lograr culminar este proceso de formación, por darme fuerza y salud para llevar a cabo mis metas y objetivos.

Dedicada también a mis padres, esposa e hijos quienes con su infinito cariño, comprensión y empuje, fueron en este proceso de formación mi fortaleza para cumplir este sueño.

Los amo con todo mi ser, esperando ser también su ejemplo a seguir.

**Eber Paul Huaman Delgado**

## DEDICATORIA 2

Deseo dedicar esta tesis a **Dios todopoderoso**, mi esposa, padres y hermano; quienes me ayudan siempre a ser mejor persona y encarar mis proyectos afrontando conmigo las adversidades que en el proceso se fueron presentando.

Siendo ellos mi soporte e inspiración para seguir adelante, los amo con todo mi ser.

**Pablo Cesar Portilla Ordoñez**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a **Dios** por habernos llevado de su mano a lo largo de este proceso de formación universitaria, por ser nuestra principal fortaleza en los momentos de debilidad y brindarnos oportunidades de bellas experiencias, alegrías y diversas adversidades que representan oportunidades de aprendizaje en este camino de la vida.

A nuestros padres, familiares en general y amigos quienes en el proceso también fueron parte de esta formación, orientándonos a ser cada vez mejores personas y lograr nuestras metas y objetivos.

A cada uno de los docentes de esta gran casa de estudios quienes durante estos años de formación expusieron sus conocimientos y experiencia para formar quienes en adelante seremos ingenieros de formación y mejores seres humanos con proyección de ayuda en los distintos procesos que enfrentemos.

A nuestro asesor, MsC. Ing. Jorge Iván León Culquichicón, por su paciencia, dedicado tiempo y alta exigencia en cada etapa de este proceso y poder culminar con la elaboración de esta tesis.

## RESUMEN

La presente tesis de estudio titulada “Análisis técnico económico para la adquisición de un equipo de izaje y su incidencia en la reducción de costos en el mantenimiento de las bombas verticales Goulds Vic –T, de la plataforma de bombeo PLS2, en minera Shahuindo SAC”, presenta las oportunidades de mejora que se pueden implementar para las tareas de mantenimiento de las bombas verticales Goulds Vic-T en minera Shahuindo, donde al estudio realizado que actualmente estas actividades de mantenimiento se realizan con equipos de izaje móvil con grúa telescópica de 50 Tn; representando un alto costo en las tareas que se realizan, mismas que se pueden reducir si se optara por adquirir un equipo de trabajo de mayor disponibilidad y de instalación permanente.

Considerando los criterios de Costo de proyecto, términos contractuales, tecnología, diseño, tiempo de entrega y medio ambiente, además de la parte económica el presente estudio nos brinda alternativas para proponer mejoras en la forma de realizar el trabajo asegurando la calidad y seguridad del mismo donde la parte económica representa un ahorro del 15.04% de ahorro siendo el equipo más viable de implementación, siendo este una grúa pórtico donde además el tiempo de recuperación de la inversión sería en 3 años.

## **ABSTRACT**

The present study thesis entitled, "Technical- economic analysis for the acquisition of a lifting equipment and its impact on the reduction of costs in the maintenance of the Goulds Vic-T vertical pumps, of the PLS2 pumping platform, in Shahuindo SAC mining Company", presents the improvement opportunities that can be implemented for the maintenance tasks of the Goulds Vic-T vertical pumps in Shahuindo mining, where the study carried out that currently these maintenance activities are carried out with mobile lifting equipment with a 50 Tn telescopic crane; representing a high cost in the tasks that are carried out, which can be reduced if you choose to acquire a work team with greater availability and permanent installation.

Considering the criteria of Project cost, contractual terms, technology, design, delivery time and environment, in addition to the economic part, this study offers us alternatives to propose improvements in the way of carrying out the work, ensuring its quality and safety. Where the economic part represents a saving of 15.04% of saving, being the most viable equipment for implementation, this being a gantry crane where, in addition, the recovery time of the investment would be in 3 years.

## **PRESENTACIÓN**

Estimados miembros del jurado, De acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Grados y Títulos de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Industrial de la Universidad Privada Antenor Orrego, pongo a su disposición la presente tesis titulada: “Análisis técnico económico para la adquisición de un equipo de izaje y su incidencia en la reducción de costos en el mantenimiento de las bombas verticales Goulds Vic –T, de la plataforma de bombeo PLS2, en minera Shahuindo SAC” a fin de optar el Título de Ingeniero Industrial.

Trujillo, agosto 2022

Br. Portilla Ordoñez, Pablo Cesar.

Br. Huaman Delgado, Eber Paul.

## INDICE DE CONTENIDO

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
1.1. Realidad Problemática .....	14
1.2. Descripción del problema .....	18
1.3 Enunciado del problema .....	31
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
1.4.1 Objetivo general .....	32
1.4.2 Objetivo Específicos .....	32
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	32
• Justificación teórica .....	32
• Justificación metodológica .....	33
• Justificación económica .....	33
<b>II. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	<b>33</b>
2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO .....	33
2.2 MARCO TEORICO.....	39
2.2.1 Historial de equipo .....	39
2.2.2 Disponibilidad .....	40
2.2.3 Tiempo para la reparación (MTTR) .....	40
2.2.4 Valor presente neto (VPN) o valor actual neto (VAN).....	41
2.2.5 Tasa interna de retorno (TIR) .....	41
2.2.6 Método de periodo de recuperación de la inversión (PRI o Payback)	
42	
2.2.7 Relación costo beneficio (C/B) .....	44
2.2.8 Costo de oportunidad (COK).....	44
2.3 MARCO CONCEPTUAL .....	45
2.4 HIPOTESIS.....	47
2.5 VARIABLES.....	48
2.5.1 Variable independiente .....	48
2.5.2 Variable dependiente .....	48
<b>III METODOLOGÍA</b> .....	<b>50</b>
3.1 TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....	50
Tipo de investigación: .....	50
Investigación aplicada.....	50
Nivel de Investigación: .....	50
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	50
3.2.1 Población.....	50
3.2.2 Muestra .....	50

3.3	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN .....	50
3.4	PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS.....	51
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
4.1.	OBJETIVO ESPECIFICO 01: .....	52
4.2.	OBJETIVO ESPECIFICO 02: .....	59
4.3.	OBJETIVO ESPECIFICO 03: .....	66
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>69</b>
5.1.	OBJETIVO ESPECIFICO 01: .....	69
5.2.	OBJETIVO ESPECIFICO 02: .....	69
5.3.	OBJETIVO ESPECIFICO 03: .....	70
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>73</b>
	Referencias bibliográficas .....	74
	Referencias de tesis .....	74
	Referencias electrónicas .....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 HISTORIAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE BOMBA 135-PU-001A (2018 AL 2021) .....	23
TABLA 2 HISTORIAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE BOMBA 135-PU-001B (2018 AL 2021) .....	23
TABLA 3 HISTORIAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE BOMBA 135-PU-001C (2018 AL 2021).....	24
TABLA 4 HISTORIAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE BOMBA 135-PU-001D (2018 AL 2021) .....	24
TABLA 5 HISTORIAL DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE BOMBA 135-PU-001A (2018 AL 2021) .....	25
TABLA 6 HISTORIAL DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE BOMBA 135-PU-001B (2018 AL 2021) .....	25
TABLA 7 HISTORIAL DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE BOMBA 135-PU-001C (2018 AL 2021) .....	26
TABLA 8 HISTORIAL DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE BOMBA 135-PU-001D (2018 AL 2021) .....	26
TABLA 9 CUADRO RESUMEN EN HORAS DE HISTORIAL DE MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS, CORRECTIVOS Y OTRAS CAUSAS (2018 AL 2021) .....	27
TABLA 10 CALCULO DE DISPONIBILIDAD Y MTTR (4 AÑOS) DE SISTEMA DE BOMBEO PLS2 .....	27
TABLA 11 CALCULO DE COSTO DE MANTENIMIENTO EMPLEANDO UN CAMIÓN GRÚA 22TN .....	28
TABLA 12 CALCULO DE COSTO DE MANTENIMIENTO EMPLEANDO UNA GRÚA TELESCÓPICA 50 TN ....	29
TABLA 13 RESUMEN DE COSTOS INCURRIDOS POR MANTENIMIENTO OVERHAUL - 4 AÑOS EMPLEANDO SISTEMA DE IZAJE .....	30
TABLA 14 FLUJO OPTIMO EN M3/ HR - CADA BOMBA .....	30
TABLA 15 COSTO POR SISTEMA DETENIDO POR PARADA DE PLANTA .....	31
TABLA 16 MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE .....	49
TABLA 17 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN .....	51
TABLA 18 SISTEMA DE BOMBEO DE PLATAFORMA PLS2 .....	53
TABLA 19 COSTO DE SISTEMA DETENIDO POR MANTENIMIENTOS .....	53
TABLA 20 COSTO POR SISTEMA CON DISPONIBILIDAD DEL 98% PROYECTADO A 10 AÑOS .....	54
TABLA 21 PROYECCIÓN DE AHORROS MEJORANDO DISPONIBILIDAD .....	54
TABLA 22 MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE LA BOMBA 135-PU-006A .....	55
TABLA 23 MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE LA BOMBA 135-PU-006B .....	55
TABLA 24 MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE LA BOMBA 135- PU-006C.....	56
TABLA 25 MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE LA BOMBA 135-PU-006D .....	56
TABLA 26 HISTORIAL DE MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS - CORRECTIVOS Y OTRAS CAUSAS .....	57
TABLA 27 COSTO POR TIEMPO PROMEDIO DE REPARACIÓN .....	57
TABLA 28 COSTO POR ACUMULADO DE HORAS DE MANTENIMIENTO .....	58
TABLA 29 COSTO POR MANTENIMIENTOS EN PROYECCIÓN A 10 AÑOS.....	58
TABLA 30 COSTO POR MANTENIMIENTO A 10 AÑOS CONSIDERANDO 15% DE AHORRO .....	58
TABLA 31 ANÁLISIS POR PARETO .....	59
TABLA 32 ANALISIS POR DIAGRAMA DE PARETO .....	60
TABLA 33 CRITERIOS DE PUNTAJE PARA EVALUACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN .....	61
TABLA 34 CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA PROPUESTA ECONÓMICA .....	61
TABLA 35 CRITERIO DE EVALUACIÓN PARA DISEÑO.....	61
TABLA 36 CRITERIO DE EVALUACIÓN PARA TIEMPO DE ENTREGA .....	62
TABLA 37 CRITERIOS DE EVALUACIÓN MEDIO AMBIENTE .....	62
TABLA 38 PROPUESTA TÉCNICA - ECONÓMICA POR IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE IZAJE .....	63
TABLA 39 PROYECCIÓN DE COSTO POR MANTENIMIENTO CON ALQUILER DE GRÚA TELESCÓPICA 50 TN.....	64
TABLA 40 PORCENTAJE DE AHORRO PROYECTADO A 10 AÑOS DE MANTENIMIENTO .....	65
TABLA 41 RENTABILIDAD COSTO BENEFICIO .....	66
TABLA 42 TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE INVERSIÓN.....	67
TABLA 43 COSTO DE MANTENIMIENTO CONSIDERANDO EL TIPO DE GRÚA.....	68
TABLA 44 PROPUESTA PARA REDUCCIÓN DE COSTO POR MANTENIMIENTO CONSIDERANDO LAS ALTERNATIVAS .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 ESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN DE ORO EN EL PERU 2021.....	17
FIGURA 2 UBICACIÓN MINERA SHAHUINDO .....	18
FIGURA 3 PLANTA ADR (36000 TMD) .....	19
FIGURA 4 PLATAFORMA DE BOMBEO PLS2.....	19
FIGURA 5 SISTEMA DE RIEGO DE PADS (PARA EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN) .....	20
FIGURA 6 IZAJE DE BOMBA VERTICAL CON CAMIÓN GRÚA 22 TN.....	21
FIGURA 7 IZAJE DE BOMBA VERTICAL CON CAMIÓN GRÚA TELESCÓPICA .....	22

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

El oro se encuentra en todas partes del planeta, en concentraciones no elevadas. Durante la época de la colonización española en América, el oro se extraía de los ríos. Se encontraba en el interior de algunas piedras, las cuales, con la fuerza de las aguas, se rompían y el oro se depositaba en partículas minúsculas en el fondo del río. En el océano se encuentra gran cantidad de oro disuelto en sus aguas, pero hasta el momento, no existe ningún método económicamente rentable para extraerlo (Todo-Oro, 2018).

En el mundo los 10 más grandes productores de oro son:

Grasberg: Es la mayor mina de oro de la Tierra y se encuentra en Papúa, Indonesia. Es una gran mina a cielo abierto, una subterránea y cuatro concentradores. Funciona desde 1990. Produjo en 2016 1.061 millones de onzas de oro. Tiene unas reservas de alrededor de 25.8 millones de onzas de oro. Es propiedad de Freeport-McMoRan y el Gobierno de Indonesia tiene un 9% de participación, aunque existen desavenencias entre ellos, relativas al proceso de exportación. Su extensión es de 20.023 kilómetros cuadrados (Todo-Oro, 2018).

Goldstrike: Se encuentra en el llamado Carlín Trend en Nevada, EUA. Es considerado el yacimiento de oro más productivo de toda América. Consta de una mina a cielo abierto (Betze-Post) y dos minas subterráneas (Meilke y Rodeo) En 2016 produjo 1.096 millones de onzas de oro. Cuenta con reservas estimadas de 8.08 millones de onzas de oro. Es propiedad de Barrick Gold, la mayor minera de oro del mundo; según la cual a la mina de Goldstrike le quedan 5 años (2023) en la extracción subterránea, 9 años para la

extracción a cielo abierto (2027) y 14 años (2032) para las operaciones de procesado (Todo-Oro, 2018).

Cortez: Está ubicada también en el Carlín Trend del Estado de Nevada, EUA y es propiedad de Barrick Gold. Esta mina solo tiene lazos productivos con Goldstrike. En 2016 produjo 1.059 millones de onzas de oro con tendencia al incremento en los años posteriores. El principal yacimiento de la mina es el Pipeline descubierto en 1991 (Todo-Oro, 2018).

Pueblo viejo: Esta mina se encuentra en la República Dominicana y pertenece a una joint-venture entre la minera Barrick Gold y la Goldcorp, ambas canadienses. Produjo en 2016 1.167 millones de onzas de oro. Sus reservas se estiman en unos 13.48 millones de onzas de oro (Todo-Oro, 2018).

Muruntau: Pertenece al Gobierno de Uzbekistán y es considerada según estimaciones desde Mining.com la mina que más extrajo durante el año 2016 con 2.15 millones de onzas de oro y reservas también estimadas de 170 millones de onzas de oro. Su mina a cielo abierto es la mayor del mundo en cuanto a extensión y la quinta en cuanto a profundidad (Todo-Oro, 2018).

Kalgoorlie o mina de Super Pit: Es una mina a cielo abierto que se conoce como el hueco de Australia. Hoy es la segunda mina australiana que más oro produjo en 2017, con un total de 738.000 onzas, superada solamente por Boddington. Es propiedad de Kalgoorlie Consolidated Gold Mines Pty Ltd. Pertenece un 50% a Newmont Mining y el otro 50% a Barrick Gold. La mayor parte del oro extraído se encuentra dentro de las vetas de la roca (Todo-Oro, 2018).

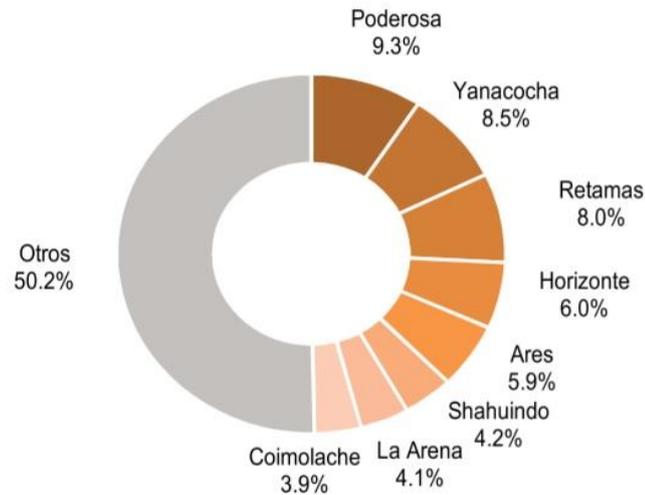
Boddington: Ubicada en Australia es una de sus minas de oro más grandes. Es propiedad de la minera Newmont Mining y en el año 2017 produjo 787.000 onzas de oro. Su producción comercial comenzó en el año 2009 (Todo-Oro, 2018).

Lihir: Esta mina se encuentra en la caldera Luise, un cráter volcánico extinto en la isla de Aniolam, Papua, Nueva Guinea. Es uno de los mayores depósitos de oro del mundo y es propiedad de Newcrest. La mina produce 805.000 onzas de oro al año y desde que comenzó su explotación en el año 1997 ha producido más de 9 millones de onzas de oro (Todo-Oro, 2018).

Olimpiada: Se encuentra en Siberia. Rusia. Es una de las minas de oro a cielo abierto más grandes del mundo. Tiene una profundidad de 550 metros. Sus reservas se estiman en 30.01 millones de onzas de oro (Todo-Oro, 2018).

Yanacocha: Es la mina de oro más grande de América del Sur y se encuentra en Cajamarca, Lima, Perú. Es un gran complejo minero compuesto por cinco minas a cielo abierto, cuatro plataformas de lixiviación y tres plantas de recuperación de oro. Produce 918.000 onzas de oro al año (Todo-Oro, 2018).

En el Perú, La Libertad y Cajamarca son las regiones productoras de oro, al concentrar el 50% de la producción aurífera nacional que ascendió a 151 toneladas al cierre del año 2017. La Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) indico que La Libertad reportó una producción anual de 43 toneladas del metal precioso, seguida por la región Cajamarca con 33 toneladas (Gestión, 2018).

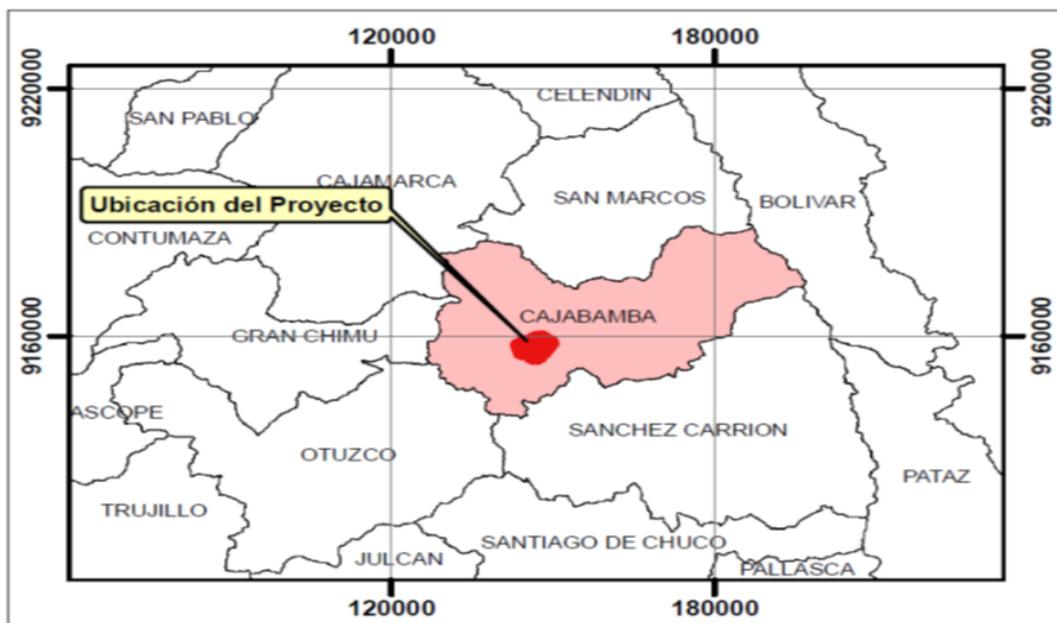


**Figura 1** Estructura de la producción de oro en el Perú 2021

**Fuente:** Rumbo minero 2021

SHAHUINDO, es un proyecto de tajo abierto, de producción de oro, a través de lixiviación en pilas. El yacimiento Shahuindo, es un yacimiento de oro epitermal de sulfuración intermedia encajado en sedimentos centrado alrededor de un pliegue de gran amplitud con intrusión de stock félsico.

Como se muestra en la Figura N° 1 la Unidad Minera SHAHUINDO está localizada en el lado occidental del valle del Rio Condebamba a aproximadamente 80 kilómetros al sureste del departamento de Cajamarca y a 15 kilómetros al oeste de la provincia Cajabamba. La topografía es variada y consiste de colinas ondulantes y quebradas abruptas. La altitud promedio a través del proyecto fluctúa entre 2,400 y 3,200 metros sobre el nivel del mar.



**Figura 2** Ubicación Minera Shahuindo

**Fuente:** Minera Shahuindo.

### 1.2. Descripción del problema

La Unidad Minera **SHAHUINDO SAC**, posee una infraestructura operativa el área de **PROCESOS**, conformada por:

- **Planta chancado & Aglomeración** con una capacidad operativa de 36000 TMD.
- **Planta ADR** (Adsorción, Desorción y Reactivación) con una capacidad operativa de 36 000 TMD y poza PLS1. (Pregnant Leaching Solution)



**Figura 3** Planta ADR (36000 TMD)

**Fuente:** Minera Shahuindo SAC.

- Plataforma de bombeo y poza PLS2. (Pregnant Leaching Solution)



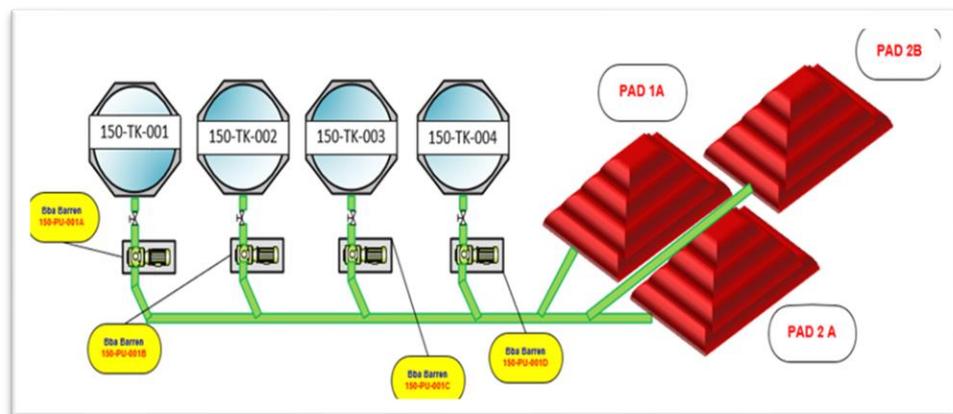
**Figura 4** Plataforma de bombeo PLS2

**Fuente:** Minera Shahuindo SAC.

Actualmente, el procesamiento de sistema se da inicio con el carguío y acarreo del mineral desde el Tajo hasta los PADs, siendo transportado en camiones de 40 a 45 TN. El material es depositado en los PADs, donde por medio de maquinaria pesada es dispuesto el mineral de tal forma que se generan pisos tipo

andenes, a ello se le adiciona cal para mantener un PH que permita controlar la generación de gas cianhídrico.

La planta ADR envía una solución cianurada, denominada solución barren; que consiste en una mezcla de agua de proceso con solución cianurada de alta concentración. La solución al ser regada mediante sistemas de tendido de mangueras en toda la superficie del PAD y taludes percola en cada piso del PAD, llevando consigo el mineral hasta un base inferior impermeable. Esta solución rica descarga sobre unas pozas de colección, para luego ser bombeada hacia la planta de tratamiento y con ello lograr la obtención de las onzas de oro.



**Figura 5** Sistema de riego de PADs (para el proceso de lixiviación)  
**Fuente:** Elaboración propia.

Para lograr este fin, se emplea un sistema de bombeo conformado por 4 bombas en paralelo, que envían un flujo de solución rica total de 1800 m<sup>3</sup>/hr, hacia planta ADR. El sistema de bombeo se conforma por 4 bombas de 1200 Hp, de la marca GOULDS, modelo VIC-T 12X18X20BHC, tipo multietapa, con un flujo nominal de 679.30 M<sup>3</sup>/HR y TDH (total Dynamic head) de 336.01 m.

El trabajo actual de mantenimiento se realiza empleando un sistema de izaje mediante camión grúa, sin embargo, debido a

las condiciones climáticas y acceso a la plataforma de bombeo, muchas veces, hace imposible acceder. Ahora bien, se ha identificado que incluso con el camión grúa de 22 TN, es riesgoso realizar el trabajo, debido a la configuración del equipo, que requiere articular su extensión para maniobrar.



**Figura 6** Izaje de bomba vertical con camión grúa 22 Tn  
**Fuente:** Elaboración propia.

Por lo tanto, se evaluó realizar el alquiler de una grúa telescópica, para tener mejor control de la maniobra de realizar el mantenimiento de las bombas.



**Figura 7** Izaje de bomba vertical con camión grúa telescópica  
**Fuente:** Elaboración propia.

Este escenario brinda una oportunidad de mejora, mediante una evaluación técnica económica, se pueda lograr optimizar el proceso para realizar la tarea, con el mejor tiempo para la reparación (MTTR) y brindando la mejor disponibilidad al área operativa.

Para el presente proyecto de tesis, se realizó:

- La recolección de información de la tarea de mantenimiento de las bombas de verticales.
- Recolección de información de historial de mantenimiento del sistema de bombeo de PLS2.
- Cálculo de MTTR y disponibilidad actual del sistema de bombeo de PLS2.
- Cálculo del costo actual del mantenimiento por bomba (Overhaul de bomba) en los 2 escenarios hasta el momento realizados, en el sistema de bombeo de PLS2.

**Tabla 1** Historial de mantenimiento preventivo de bomba 135-PU-001A (2018 AL 2021)

EQUIPO						
135-PU-001A						
N°	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	AÑO	PM	UNIDAD	SUB TOTAL	
1	Cambio de aceite de motor eléctrico (6000 hrs)	2018	PM1	Hrs	2	
2	Cambio de sello mecánico (4380 hrs)	2018	PM2	Hrs	5	
3	Cambio de aceite de motor eléctrico (6000 hrs)	2019	PM1	Hrs	2	
4	Cambio de sello mecánico (4380 hrs)	2019	PM2	Hrs	5	
5	Overhaul - Sello mecánico, tasones, sellos, orings, etc. (17500 hrs)	2019	PM3	Hrs	48	
6	Cambio de aceite de motor eléctrico (6000 hrs)	2020	PM1	Hrs	2	
7	Cambio de sello mecánico (4380 hrs)	2020	PM2	Hrs	5	
8	Cambio de aceite de motor eléctrico (6000 hrs)	2021	PM1	Hrs	2	
9	Cambio de sello mecánico (4380 hrs)	2021	PM2	Hrs	5	
10	Overhaul - Sello mecánico, tasones, sellos, orings, etc. (17500 hrs)	2021	PM3	Hrs	48	
<b>TOTAL</b>					<b>124</b>	Hrs

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 2** Historial de mantenimiento preventivo de bomba 135-PU-001B (2018 al 2021)

EQUIPO						
135-PU-001B						
N°	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	AÑO	PM	UNIDAD	SUB TOTAL	
1	Cambio de aceite de motor eléctrico (6000 hrs)	2018	PM1	Hrs	2	
2	Cambio de sello mecánico (4380 hrs)	2018	PM2	Hrs	5	
3	Cambio de aceite de motor eléctrico (6000 hrs)	2019	PM1	Hrs	2	
4	Cambio de sello mecánico (4380 hrs)	2019	PM2	Hrs	5	
5	Overhaul - Sello mecánico, tasones, sellos, orings, etc. (17500 hrs)	2019	PM3	Hrs	48	
6	Cambio de aceite de motor eléctrico (6000 hrs)	2020	PM1	Hrs	2	
7	Cambio de sello mecánico (4380 hrs)	2020	PM2	Hrs	5	
8	Cambio de aceite de motor eléctrico (6000 hrs)	2021	PM1	Hrs	2	
9	Cambio de sello mecánico (4380 hrs)	2021	PM2	Hrs	5	
10	Overhaul - Sello mecánico, tasones, sellos, orings, etc. (17500 hrs)	2021	PM3	Hrs	48	
<b>TOTAL</b>					<b>124</b>	Hrs

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3** Historial de mantenimiento preventivo de bomba 135-PU-001C (2018 al 2021)

EQUIPO					
135-PU-001C					
N°	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	AÑO	PM	UNIDAD	SUB TOTAL
1	Cambio de aceite de motor electrico (6000 hrs)	2018	PM1	Hrs	2
2	Cambio de sello mecanico (4380 hrs)	2018	PM2	Hrs	5
3	Cambio de aceite de motor electrico (6000 hrs)	2019	PM1	Hrs	2
4	Cambio de sello mecanico (4380 hrs)	2019	PM2	Hrs	5
5	Overhaul - Sello mecanico, tasones, sellos, orings, etc. (17500 hrs)	2019	PM3	Hrs	48
6	Cambio de aceite de motor electrico (6000 hrs)	2020	PM1	Hrs	2
7	Cambio de sello mecanico (4380 hrs)	2020	PM2	Hrs	5
8	Cambio de aceite de motor electrico (6000 hrs)	2021	PM1	Hrs	2
9	Cambio de sello mecanico (4380 hrs)	2021	PM2	Hrs	5
10	Overhaul - Sello mecanico, tasones, sellos, orings, etc. (17500 hrs)	2021	PM3	Hrs	48
<b>TOTAL</b>					<b>124</b> Hrs

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 4** Historial de mantenimiento preventivo de bomba 135-PU-001D (2018 al 2021)

EQUIPO					
135-PU-001D					
N°	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	AÑO	PM	UNIDAD	SUB TOTAL
1	Cambio de aceite de motor electrico (6000 hrs)	2018	PM1	Hrs	2
2	Cambio de sello mecanico (4380 hrs)	2018	PM2	Hrs	5
3	Cambio de aceite de motor electrico (6000 hrs)	2019	PM1	Hrs	2
4	Cambio de sello mecanico (4380 hrs)	2019	PM2	Hrs	5
5	Overhaul - Sello mecanico, tasones, sellos, orings, etc. (17500 hrs)	2019	PM3	Hrs	48
6	Cambio de aceite de motor electrico (6000 hrs)	2020	PM1	Hrs	2
7	Cambio de sello mecanico (4380 hrs)	2020	PM2	Hrs	5
8	Cambio de aceite de motor electrico (6000 hrs)	2021	PM1	Hrs	2
9	Cambio de sello mecanico (4380 hrs)	2021	PM2	Hrs	5
10	Overhaul - Sello mecanico, tasones, sellos, orings, etc. (17500 hrs)	2021	PM3	Hrs	48
<b>TOTAL</b>					<b>124</b> Hrs

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 5** Historial de mantenimiento correctivo de bomba 135-PU-001A (2018 al 2021)

EQUIPO		135-PU-001A			
N°	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	AÑO	CM/Otras causas	UNIDAD	SUB TOTAL
1	Falla de sello mecánico	2018	CM	Hrs	5
2	Corte de energía por descarga eléctrica	2018	Otras causas	Hrs	1.5
3	Falla de switch de flujo de descarga	2018	CM	Hrs	2
4	Corte de energía por descarga eléctrica	2018	Otras causas	Hrs	1.2
5	Corte de energía por descarga eléctrica	2019	Otras causas	Hrs	1
7	Falla de junta de expansión de 18" de descarga	2019	CM	Hrs	3.5
8	Corte de energía por descarga eléctrica	2019	Otras causas	Hrs	5
9	Corte de energía por descarga eléctrica	2020	Otras causas	Hrs	12
10	Limpieza y contrastación de flujometro de descarga	2020	CM	Hrs	10
11	Falla de valvula doble check de descarga	2020	CM	Hrs	2.5
12	Falla de valvula mariposa de descarga	2020	CM	Hrs	3.5
13	Corte de energía por descarga eléctrica	2020	Otras causas	Hrs	0.5
14	Falla de sello mecánico	2021	CM	Hrs	5
15	Corte de energía por descarga eléctrica	2021	Otras causas	Hrs	1.3
17	Falla de junta de expansión de 12" de succión	2021	CM	Hrs	3.5
18	Corte de energía por descarga eléctrica	2021	Otras causas	Hrs	1.5
<b>TOTAL</b>					59 Hrs

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 6** Historial de mantenimiento correctivo de bomba 135-PU-001B (2018 al 2021)

EQUIPO		135-PU-001B			
N°	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	AÑO	CM/Otras causas	UNIDAD	SUB TOTAL
1	Falla de sello mecánico	2018	CM	Hrs	5
2	Corte de energía por descarga eléctrica	2018	Otras causas	Hrs	1.5
3	Falla de switch de flujo de descarga	2018	CM	Hrs	2
4	Corte de energía por descarga eléctrica	2018	Otras causas	Hrs	1.2
5	Corte de energía por descarga eléctrica	2019	Otras causas	Hrs	1
7	Falla de junta de expansión de 18" de descarga	2019	CM	Hrs	3.5
8	Corte de energía por descarga eléctrica	2019	Otras causas	Hrs	5
9	Corte de energía por descarga eléctrica	2020	Otras causas	Hrs	12
10	Limpieza y contrastación de flujometro de descarga	2020	CM	Hrs	10
11	Falla de valvula doble check de descarga	2020	CM	Hrs	2.5
12	Falla de valvula mariposa de descarga	2020	CM	Hrs	3.5
13	Corte de energía por descarga eléctrica	2020	Otras causas	Hrs	0.5
14	Falla de sello mecánico	2021	CM	Hrs	5
15	Corte de energía por descarga eléctrica	2021	Otras causas	Hrs	1.3
17	Falla de junta de expansión de 12" de succión	2021	CM	Hrs	3.5
18	Corte de energía por descarga eléctrica	2021	Otras causas	Hrs	1.5
<b>TOTAL</b>					59 Hrs

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 7** Historial de mantenimiento correctivo de bomba 135-PU-001C (2018 al 2021)

EQUIPO 135-PU-001C					
N°	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	AÑO	CM/Otras causas	UNIDAD	SUB TOTAL
1	Falla de sello mecánico	2018	CM	Hrs	5
2	Corte de energía por descarga eléctrica	2018	Otras causas	Hrs	1.5
3	Falla de switch de flujo de descarga	2018	CM	Hrs	2
4	Corte de energía por descarga eléctrica	2018	Otras causas	Hrs	1.2
5	Corte de energía por descarga eléctrica	2019	Otras causas	Hrs	1
7	Falla de junta de expansión de 18" de descarga	2019	CM	Hrs	3.5
8	Corte de energía por descarga eléctrica	2019	Otras causas	Hrs	5
9	Corte de energía por descarga eléctrica	2020	Otras causas	Hrs	12
10	Limpieza y contrastación de flujometro de descarga	2020	CM	Hrs	10
11	Falla de valvula doble check de descarga	2020	CM	Hrs	2.5
12	Falla de valvula mariposa de descarga	2020	CM	Hrs	3.5
13	Corte de energía por descarga eléctrica	2020	Otras causas	Hrs	0.5
14	Falla de sello mecánico	2021	CM	Hrs	5
15	Corte de energía por descarga eléctrica	2021	Otras causas	Hrs	1.3
17	Falla de junta de expansión de 12" de succión	2021	CM	Hrs	3.5
18	Corte de energía por descarga eléctrica	2021	Otras causas	Hrs	1.5
<b>TOTAL</b>					59 Hrs

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 8** Historial de mantenimiento correctivo de bomba 135-PU-001D (2018 al 2021)

EQUIPO 135-PU-001D					
N°	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	AÑO	CM/Otras causas	UNIDAD	SUB TOTAL
1	Falla de sello mecánico	2018	CM	Hrs	5
2	Corte de energía por descarga eléctrica	2018	Otras causas	Hrs	1.5
3	Falla de switch de flujo de descarga	2018	CM	Hrs	2
4	Corte de energía por descarga eléctrica	2018	Otras causas	Hrs	1.2
5	Corte de energía por descarga eléctrica	2019	Otras causas	Hrs	1
7	Falla de junta de expansión de 18" de descarga	2019	CM	Hrs	3.5
8	Corte de energía por descarga eléctrica	2019	Otras causas	Hrs	5
9	Corte de energía por descarga eléctrica	2020	Otras causas	Hrs	12
10	Limpieza y contrastación de flujometro de descarga	2020	CM	Hrs	10
11	Falla de valvula doble check de descarga	2020	CM	Hrs	2.5
12	Falla de valvula mariposa de descarga	2020	CM	Hrs	3.5
13	Corte de energía por descarga eléctrica	2020	Otras causas	Hrs	0.5
14	Falla de sello mecánico	2021	CM	Hrs	5
15	Corte de energía por descarga eléctrica	2021	Otras causas	Hrs	1.3
17	Falla de junta de expansión de 12" de succión	2021	CM	Hrs	3.5
18	Corte de energía por descarga eléctrica	2021	Otras causas	Hrs	1.5
<b>TOTAL</b>					59 Hrs

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 9** Cuadro resumen en horas de historial de mantenimientos preventivos, correctivos y otras causas (2018 al 2021)

	MITO. PREVENTIVO (PM)				MITO. CORRECTIVO (CM)				OTRAS CAUSAS				SUB TOTAL	
	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021		
135-PU-001A	7	55	7	55	7	3.5	16	8.5	2.7	6	12.5	2.8	159	Horas
135-PU-001B	7	55	7	55	7	3.5	16	8.5	2.7	6	12.5	2.8	159	Horas
135-PU-001C	7	55	7	55	7	3.5	16	8.5	2.7	6	12.5	2.8	159	Horas
135-PU-001D	7	55	7	55	7	3.5	16	8.5	2.7	6	12.5	2.8	159	Horas
	<b>TOTAL</b>												<b>636</b>	Horas
MTRR	10	10	10	10	8	4	12	8	8	8	8	8	104	Reparaciones

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 10** Calculo de disponibilidad y MTTR (4 años) de sistema de bombeo PLS2

**SISTEMA DE BOMBEO DE PLATAFORMA PLS2**

AÑOS DE SERVICIO	4 Años
MESES POR AÑO	12 Meses
DIAS POR MES	30 Días
HORAS POR DÍA	24 Hrs
TIEMPO OPERATIVO NETO	34560 Hrs
TIEMPO TOTAL POR PM/CM/OTRAS CAUSAS	636 Hrs
TIEMPO TOTAL FUNCIONAMIENTO	33924 Hrs
<b>DISPONIBILIDAD</b>	<b>0.98159722</b>

**MTTR**

TIEMPO TOTAL DE MANTENIMIENTO	636 Hrs
NUMERO DE REPARACIONES	104 Mttos
<b>TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACIÓN</b>	<b>6.12 Hrs/Mtto</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

De la información obtenida en base al historial del sistema del bombeo PLS2, se ha obtenido una disponibilidad del 98.15%, que dentro de los parámetros del mantenimiento de clase mundial (90%), es muy bueno. Así mismo, el tiempo para la reparación, tiene un promedio de 6.12 Hrs/Mantenimiento, como lo muestra la tabla n°10.

**Tabla 11** Calculo de costo de mantenimiento empleando un camión grúa 22Tn

Analisis de costo		LUGAR	PLATAFORMA DE BOMBEO (PLS2)
"Servicio de mantenimiento mayor de bomba de turbina GOULDS VIC-T "		EQUIPO	CAMIÓN GRUA DE BRAZO ARTICULADO
		MES	Abr-21
		REALIZADO POR	PABLO CESAR PORTILLA ORDOÑEZ

**Evaluación de costo de mantenimiento:**

HORAS - HOMBRE		Personas	Unidad	Cantidad	P.Unitario	Sub-total	COMENTARIOS
1	Supervisión Mecánica	1	Hrs	40	\$30.00	\$1,200.00	Responsable del desmontaje de bomba y motor electrico.
2	Supervisión E&I	1	Hrs	20	\$30.00	\$600.00	Responsable del desconexionado y conexionado del motor electrico 1200 HP.
3	Supervisión Contratista	1	Hrs	40	\$50.00	\$2,000.00	Responsable del soporte técnico en campo de desmontaje y montaje de todo el conjunto como equipo, asi mismo, como la puesta en servicio del equipo.
4	Mecánico	3	Hrs	40	\$12.00	\$1,440.00	Responsable del desmontaje de bomba y motor electrico.
5	Electricista	2	Hrs	20	\$15.00	\$600.00	Responsable del desconexionado y conexionado del motor electrico 1200 HP.
6	Monitoreo de condición	1	Hrs	10	\$25.00	\$250.00	Responsable del monitoreo vibracional y termografía, durante el arranque.
7	Contratista	4	Hrs	40	\$27.50	\$1,100.00	Responsable del alineamiento y ajustes del sello mecánico
<b>Total Horas-Hombre</b>						<b>\$7,190.00</b>	

MATERIALES		Unidad	Cantidad	P.Unitario	Sub-total	COMENTARIOS
1	Spare parts	Global	1	\$15,000.00	\$15,000.00	Componentes: Sello mecanico, tasones, sellos, orings, etc
2	Consumibles	Global	1	\$5,000.00	\$5,000.00	Lubricantes, cintas, traspos, fittings, accesorios
<b>Total de materiales</b>					<b>\$20,000.00</b>	

FACILIDADES		Equipos	Unidad	Cantidad	P.Unitario	Sub-total	COMENTARIOS
1	Andamios	1	Global	1	\$1,500.00	\$1,500.00	3 cuerpos de andamios
2	Camioneta 4x4	1	Día	2	\$65.00	\$130.00	Mtto. Electrico
3	Camioneta 4x4	1	Día	4	\$65.00	\$260.00	Mtto. Mecanico
4	Camioneta 4x4	1	Día	1	\$65.00	\$65.00	Monitoreo de condición
5	Camioneta 4x4	1	Día	4	\$65.00	\$260.00	Contratista
6	Camión grúa con brazo articulado	1	Día	2	\$750.00	\$1,500.00	Contratista
<b>Total de facilidades</b>						<b>\$2,215.00</b>	

COMBUSTIBLE		Dias	Unidad	Cantidad	P.Unitario/galon	Sub-total	COMENTARIOS
1	Camioneta 4x4 (Mecánicos)	4	Galones	3	\$4.36	\$52.32	100 Km/gl - Diario
2	Camioneta 4x4 (Electricistas)	2	Galones	3	\$4.36	\$26.16	100 Km/gl - Diario
3	Camioneta 4x4 (MBC)	1	Galones	3	\$4.36	\$13.08	100 Km/gl - Diario
4	Camioneta 4x4 (Contratista)	4	Galones	3	\$4.36	\$52.32	100 Km/gl - Diario
5	Camión grúa con brazo articulado (Contratista)	2	Galones	15	\$4.36	\$130.80	100 Km/gl - Diario
<b>Total Profit</b>						<b>\$274.68</b>	

COSTO TOTAL POR MANTENIMIENTO		
		<b>\$29,679.68</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 12** Calculo de costo de mantenimiento empleando una grúa telescópica 50 Tn

<b>Analisis de costo</b> "Servicio de mantenimiento mayor de bomba de turbina GOULDS VIC-T "		LUGAR	PLATAFORMA DE BOMBEO (PLS2)
		EQUIPO	GRUA TELESCOPICA DE 50 TN
		MES	Dic-21
		REALIZADO POR	PABLO CESAR PORTILLA ORDOÑEZ

**Evaluación de costo de mantenimiento:**

<b>HORAS - HOMBRE</b>		Personas	Unidad	Cantidad	P.Unitario	Sub-total	COMENTARIOS
1	Supervisión Mecánica	1	Hrs	40	\$30.00	\$1,200.00	Responsable del desmontaje de bomba y motor eléctrico.
2	Supervisión E&I	1	Hrs	20	\$30.00	\$600.00	Responsable del desconexión y conexión del motor eléctrico 1200 HP.
3	Supervisión Contratista	1	Hrs	40	\$50.00	\$2,000.00	Responsable del soporte técnico en campo de desmontaje y montaje de todo el conjunto como equipo, así mismo, como la puesta en servicio del equipo.
4	Mecánico	3	Hrs	40	\$12.00	\$1,440.00	Responsable del desmontaje de bomba y motor eléctrico.
5	Electricista	2	Hrs	20	\$15.00	\$600.00	Responsable del desconexión y conexión del motor eléctrico 1200 HP.
6	Monitoreo de condición	1	Hrs	10	\$25.00	\$250.00	Responsable del monitoreo vibracional y termografía, durante el arranque.
7	Contratista	4	Hrs	40	\$27.50	\$1,100.00	Responsable del alineamiento y ajustes del sello mecánico
<b>Total Horas-Hombre</b>						<b>\$7,190.00</b>	

<b>MATERIALES</b>		Unidad	Cantidad	P.Unitario	Sub-total	COMENTARIOS
1	Spare parts	Global	1	\$15,000.00	\$15,000.00	Componentes: Sello mecánico, tasones, sellos, orings, etc
2	Consumibles	Global	1	\$5,000.00	\$5,000.00	
<b>Total de materiales</b>					<b>\$20,000.00</b>	

<b>FACILIDADES</b>		Equipos	Unidad	Cantidad	P.Unitario	Sub-total	COMENTARIOS
1	Andamios	1	Global	1	\$1,500.00	\$1,500.00	3 cuerpos de andamios
2	Camioneta 4x4	1	Día	2	\$65.00	\$130.00	Mtto. Electrico
3	Camioneta 4x4	1	Día	4	\$65.00	\$260.00	Mtto. Mecanico
4	Camioneta 4x4	1	Día	1	\$65.00	\$65.00	Monitoreo de condición
5	Camioneta 4x4	1	Día	4	\$65.00	\$260.00	Contratista
6	Grúa telescópica 50 TN	1	Día	2	\$8,000.00	\$16,000.00	Contratista (Incluye supervisor, operador y rigger)
<b>Total de facilidades</b>						<b>\$16,715.00</b>	

<b>COMBUSTIBLE</b>		Dias	Unidad	Cantidad	P.Unitario/galon	Sub-total	COMENTARIOS
1	Camioneta 4x4 (Mecánicos)	4	Galones	3	\$4.36	\$52.32	100 Km/gl - Diario
2	Camioneta 4x4 (Electricistas)	2	Galones	3	\$4.36	\$26.16	100 Km/gl - Diario
3	Camioneta 4x4 (MBC)	1	Galones	3	\$4.36	\$13.08	100 Km/gl - Diario
4	Camioneta 4x4 (Contratista)	4	Galones	3	\$4.36	\$52.32	100 Km/gl - Diario
5	Grúa telescópica 50 TN	2	Galones	60	\$4.36	\$523.20	100 Km/gl - Diario
<b>Total Profit</b>						<b>\$667.08</b>	

<b>COSTO TOTAL POR MANTENIMIENTO</b>		
		<b>\$44,572.08</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 13** Resumen de costos incurridos por mantenimiento overhaul - 4 años empleando sistema de izaje

N°	TAG	TAREA	AÑO	SISTEMA DE IZAJE	COSTO
1	135-PU-001A	Mantenimiento Overhaul	2019	CAMIÓN GRUA DE BRAZO ARTICULADO 22 TN	\$29,679.68
2	135-PU-001B	Mantenimiento Overhaul	2019	CAMIÓN GRUA DE BRAZO ARTICULADO 22 TN	\$29,679.68
3	135-PU-001C	Mantenimiento Overhaul	2019	CAMIÓN GRUA DE BRAZO ARTICULADO 22 TN	\$29,679.68
4	135-PU-001D	Mantenimiento Overhaul	2019	CAMIÓN GRUA DE BRAZO ARTICULADO 22 TN	\$29,679.68
5	135-PU-001A	Mantenimiento Overhaul	2021	GRUA TELESCOPICA DE 50 TN	\$44,572.08
6	135-PU-001B	Mantenimiento Overhaul	2021	GRUA TELESCOPICA DE 50 TN	\$44,572.08
7	135-PU-001C	Mantenimiento Overhaul	2021	GRUA TELESCOPICA DE 50 TN	\$44,572.08
8	135-PU-001D	Mantenimiento Overhaul	2021	GRUA TELESCOPICA DE 50 TN	\$44,572.08
<b>TOTAL MANTENIMIENTO POR OVERHAUL</b>					<b>\$297,007.04</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

Sin embargo, al observar sus costos de ejecución del mantenimiento del sistema de bombeo, nos encontramos con un monto de **USD \$ 297 007.04 dólares**, sin considerar, el costo que implica tener la planta detenida, durante los mantenimientos, que asciende a **USD \$ 1 052 160.00 dólares**, en los 4 años.

**Tabla 14** Flujo optimo en M3/ Hr - cada bomba

		Caudal de Bomba Goulds VIC - T ( m3/hrs )		
		Nuevo	Optimo	Al termino de 2do año de Mtto.
1	TAG 135-PU-001A	550	500*	425
2	TAG 135-PU-001B	550	500*	425
3	TAG 135-PU-001C	550	500*	425
4	TAG 135-PU-001D	550	500*	425

\*Se considera el flujo optimo para el calculo.

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 15** Costo por sistema detenido por parada de planta

<b>COSTO POR SISTEMA DE DETENIDO POR PARADA DE PLANTA</b>		
Total de flujo perdido en 1 hora (4 bombas)		2,000.0 m3/hr
Duración Mtto. Overhaul promedio		48.0 Hrs
Total de perdida de flujo en 48 Hrs		96,000.0 m3
Costo de un m3	\$	1.37 Dólares/m3
Costo total por sistema detenido por mantenimiento	\$	131,520.00 Dólares/Parada de planta
Paradas cada 2 años		4.00
Numero de paradas de plantas en 4 años de operación		2.00
Costo total de paradas de planta en 4 años de operación	\$	<b>1,052,160.00</b> Dólares/En 4 años de operación

**Fuente:** Elaboración Propia

Se concluye que, por el mantenimiento del sistema de bombeo, la empresa invertido **USD \$ 1 349 167.04 dólares**, en los primeros 4 años. El sistema de bombeo de PLS2, tiene un ciclo de vida proyectado para 14 años, restándole 4 años de operación, la inversión total hasta el final del horizonte de producción de la empresa asciende, en el escenario de usar una grúa telescópica de 50 TN para atender el servicio de mantenimiento, a **USD \$ 3 744 702.00 dólares**, solo en este sistema, que es el más crítico de la operación del área de **PROCESOS**.

### 1.3 Enunciado del problema

¿En qué medida el análisis técnico económico para la adquisición de un equipo de izaje, tendrá incidencia en la reducción de costos en el mantenimiento de las bombas verticales GOULDS VIC- ¿T, de la plataforma de bombeo PLS2, en minera Shahuindo SAC?

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo general**

Reducir el costo del mantenimiento de las bombas verticales GOULDS VIC-T, de la plataforma de bombeo PLS2, en minera Shahuindo SAC, mediante la adquisición de un equipo de izaje.

### **1.4.2 Objetivo Específicos**

- Realizar un diagnóstico de la situación actual del MTTR (Tiempo para la reparación) y disponibilidad del sistema de bombeo, para identificar el costo de mantenimiento al cual asciende la ejecución de la actividad del sistema de bombeo GOULDS VIC-T, de la plataforma de bombeo de PLS2, en Minera Shahuindo SAC
- Elaborar la propuesta técnica económica, para reducir en un 15% el costo de mantenimiento del sistema de bombeo GOULDS VIC-T, de la plataforma de bombeo de PLS2, en Minera Shahuindo SAC
- Validar mediante indicadores de evaluación de proyectos de inversión, la propuesta técnica económica para reducir el costo de mantenimiento de las bombas verticales GOULDS VIC-T, de la plataforma de bombeo PLS2, en minera Shahuindo SAC.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

- **Justificación teórica**

El presente estudio se justifica en cuanto a la optimización de costos de los procesos de Operaciones y Mantenimiento,

reduciendo la inversión por concepto de mantenimiento de activos.

- **Justificación metodológica**

La presente investigación servirá como antecedente para aquellos estudiantes que deseen realizar investigaciones sobre evaluaciones económicas para optimizar los costos de mantenimiento, mediante el uso de herramientas de evaluación de proyectos de inversión.

- **Justificación económica**

Una vez realizado la propuesta técnica económica, permitirá a la empresa evaluar sus costos asociados a esta tarea y decidir mediante una inversión, la optimización con respecto a:

- Reducción de costos del mantenimiento de las bombas verticales GOULDS VIC-T, de la plataforma de bombeo PLS2, en minera Shahuindo SAC.

## II. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

**Chávez, J. & Bueno, L. (2021)**, en su tesis “*Estudio técnico económico para reemplazar una maquina HEPRO y su contribución en la rentabilidad de la empresa Dámper Trujillo SAC 2020*”. (Tesis de grado) UPAO, Trujillo, Perú.

Sostiene que la oportunidad y/o beneficio económico, para la empresa está relacionada, con el cambio de equipos por su ciclo de vida y costo de mantenibilidad. Para la realización de la presente tesis se realizaron evaluaciones financieras del estado actual de la empresa, de forma horizontal y vertical. A partir de los resultados obtenidos se ha evidenciado que, en 1 año, para

mantener en operación los activos, genera un incremento del 78% del costo de mantenimiento. Por ello, su propuesta estuvo enfocada a reemplazar activos que generan grandes costos, por estar al término de su ciclo de vida. En la propuesta técnica económica realizan un enfoque a los costos operativos y de mantenibilidad (combustible, repuestos, consumibles, horas hombre). Al término de su análisis, realizaron una simulación en términos de indicadores como son el VANE (Valor actual neto económico) y VANF (Valor actual neto financiero). En función de estos indicadores se llegó a la conclusión que el proyecto de inversión es económicamente viable, al resultar menor que la tasa mínima de rentabilidad económica del proyecto.

**Análisis de relación:** En la siguiente propuesta económica, se emplearon indicadores tales como el VANE y VANF, que permitieron evaluar el proyecto con respecto a la rentabilidad económica del proyecto, siendo este menor y dando viabilidad a la propuesta.

**Chávez, W. & Namoc, J. (2021)**, en su tesis *“Análisis técnico económico para la adquisición de una maquina BOBCAT y su incidencia en rentabilidad patrimonial de la empresa JJN CIEM EIRL, TRUJILLO, 2020”*. (Tesis de Grado). UPAO, Trujillo, Perú.

Sostiene que los principales problemas identificados en la empresa son, la baja rentabilidad por la ejecución de sus operaciones con maquinaria rentada, esto implica, asumir costos de operación, mantenimiento, repuestos, seguros, con un % de ganancia por cada ítem, que lleva la empresa prestadora del servicio. Para ello, se evidencio mediante un análisis de financiero y económico, una rentabilidad negativa para los años 2019 y 2020. El desarrollo de la propuesta se trabajó en base a cotizaciones obtenidas de los proveedores locales en la ciudad

de Trujillo, bajo criterios técnicos y presupuesto. A manera, de encontrar la mejor propuesta se establecieron criterios de evaluación y se realizó una simulación económica financiera de la propuesta y su impacto en la rentabilidad de la empresa, empleando indicadores como: TIRE (Tasa interna de retorno económico), CPPC (Coste promedio ponderado de capital), con los cuales se concluyó que la inversión es rentable, para la empresa. Así mismo, esta información se validó mediante el COK (Costo de oportunidad de capital), donde se obtuvo un valor de 30.64% menor a la tasa de rentabilidad financiera, que ascendía a 8 veces su valor.

**Análisis de relación:** En el presente trabajo se emplean indicadores de evaluación económica, como: TIRE, que nos permite evaluar las distintas propuestas, para tomar una decisión de inversión. Así mismo, el COK (Costo de oportunidad), que permite identificar los beneficios que se dejan de obtener al no tomar las otras alternativas de inversión.

**Mallqui, E. (2019)**, en su tesis "*Optimización de costos en extracción de mineral, implementando Chimenea Raise Boring como Ore Pass del nivel 1915 al nivel 1467 de la Mina Papagayo – Poderosa*" (Tesis de Grado) Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

El problema que mantiene actualmente la minera Papagayo es la baja en la producción de 600 a 300 TMD y esto se debe a los niveles superiores al NV 1467(nivel más bajo de la mina) sufriendo una disminución, por otra parte, se viene recuperando los pilares de la veta Jimena, lo que se deja de producir se lo incrementaron a la mina Consuelo de 100 a 250 TMD, esto permite cumplir con la producción diaria que exige la planta Maraón de 750 TM/Día. En el nivel 1915 se está explotando la

veta Rósangela y Rosaura, las cuales mantienen problemas en la extracción considerando que los costos son elevados porque lo realizan con locomotoras eléctricas de 10 TM y con 10 carros G 60 por convoy. La propuesta de mejora es diseñar una chimenea Raise boring como ore pass que permitirá optimizar los costos de extracción (\$/TM) y a la vez permitirá que la producción de la mina incremente. Por otra parte, proporciona seguridad y reduce costos.

Los resultados recabados tenemos: el costo de extracción desde el nivel 1915 al nivel 1467 es de 17.1 US\$/TM de mineral, el costo en transporte en volquete desde túnel aurora hasta planta Marañón 2.8 \$/TM de mineral, lo cual hace un total de 19.9 US\$/TM antes de ejecutar el proyecto. Al implementar el proyecto los costos de extracción serian desde el nivel 1915 al nivel 1467 de 7.4 \$/TM y el costo en transporte en volquete desde túnel aurora hasta planta Marañón 2.8 \$/TM lo cual hace un total de total de 10.2 \$/TM, el margen de reducción de costos es de 6.9 \$/TM. La inversión total requerida es de US\$ 351,329.99 y los indicadores económicos obtenidos fueron VAN: 848,902.33, TIR:91%, B/C: 1.2 y PRI: 1 año y 1 mes, lo cual permite determinar que el proyecto es rentable.

Después de obtener el diagnóstico y resultados de lo aplicado se obtiene como conclusión lo siguiente: el proyecto es rentable con un VAN de US\$ 848902.33 y una TIR de 91% la misma que es superior al COK de capital propio que es igual a 12%, B/C es igual a 1.2 y el PRI es igual a 1 año y 1 mes. Asimismo, se redujo de 9.7 US\$/TM el costo de transporte con locomotora y la productividad promedio se incrementó de 59.28 TM/H a 91.26 TM/H.

**Análisis Relación:** Existe relación con el presente estudio, la implementación de la chimenea Raise boring como ore pass

permitirá optimizar los costos de extracción (\$/TM) y a la vez permitirá que la producción de la mina incremente. Los indicadores económicos permiten determinar que el proyecto es rentable.

**Contador, J. (2021)**, en su tesis, "*Estudio de pre factibilidad técnico económico para la creación de empresa de recarga y mantención de extintores*. (Tesis de Grado). Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile".

Sostiene que existe una oportunidad de negocio en la creación de una empresa, dedicada al rubro de seguridad, en la línea de mantención y recarga de extintores, en la región metropolitana de Santiago de Chile, Chile. La elaboración del estudio de pre factibilidad inicia con un diagnóstico situacional y selección de la metodología de evaluación, donde se parametrizaron criterios de discernimiento para evaluar entre distintas alternativas, tales como: objetivos generales y específico, alcance, dimensionamiento del proyecto, desarrollo de la propuesta, impacto económico, indicadores que den validez a la obtenido como resultado económico. Como parte del desarrollo, se realizaron trabajos preliminares, como una evaluación del comportamiento del mercado y su sectorización, para saber que se podía esperar a priori sobre la propuesta que se realizaría. Para valorizar la propuesta se seleccionaron, los indicadores de: VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna Retorno), PRI (Periodo de recuperación de la inversión), COK (Costo de oportunidad), bajo estos indicadores económicos, se concluyó que la propuesta arroja una recuperación de la inversión en solo el primer año, de la inversión.

**Análisis de relación:** En la presente propuesta de pre factibilidad, se emplean indicadores tales como, el VAN, TIR, PRI

y COK, que contribuirán al desarrollo de la presente tesis, como herramientas, para validar propuestas técnicas económicas.

**Amaya, C. (2017)**, en su tesis “*Estudio de la viabilidad técnico económica para la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en Cotecmar sede Mamonal.* (Tesis de Grado). Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia”.

Sostiene que las diferentes empresas del sector de Barranquilla no cuentan con servicio de alcantarillado público y cada empresa debe gestionar la prestación del servicio. Cotecmar para cubrir esa necesidad construye un canal recolectando las aguas servidas de las diferentes edificaciones lo cual es desechado en la bahía de Cartagena.

La empresa desarrolló un plan de calidad de la gestión de los vertimientos incluyendo la adquisición de un equipo de monitoreo que permita medir manualmente de forma periódico y en tiempo real los parámetros de la calidad del agua (pH, Oxígeno Disuelto, Temperatura, conductividad, DBO5). Por otra parte, para optimizar el sistema de tratamiento de aguas residuales, instalaron aireadores y dispositivos de inyección de enzimas con la finalidad de acelerar el proceso de degeneración de la materia orgánica en cada pozo séptico.

La propuesta de mejora es implementar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en la Planta de Mamonal de COTECMAR con la finalidad de cumplir con las normas legales vigentes en el vertimiento de aguas a cuerpos marinos, para ello se requiere elaborar un estudio Técnico-Económico para determinar la factibilidad del proyecto.

Los resultados de la mejora son: tecnología de PTAR-SBR tiene un costo de implementación de \$ 515.659.130 siendo la

alternativa más rentable para Cotecmar y el método de Mínimo costo asciende a \$ 664.531.700, cabe precisar que la diferencia económica de \$ 148.872.470 entre ambas tecnologías.

Después de obtener el diagnóstico y resultados de lo aplicado se obtiene como conclusión lo siguiente: La tecnología más adecuada para la empresa es la Tecnología de Lodos Activados SBR, permitirá mejorar la remoción de la carga contaminante actual y cumplir con las normas de vertimientos vigentes de esa manera realizar la descarga en la bahía de Cartagena de las aguas tratadas cumpliendo al 100%. Asimismo, brinda confiabilidad en los resultados por ser tecnología avanzada y actualizada.

**Análisis de relación:** Para el presente trabajo se empleó el método de costo mínimo, empleado para discernir entre la mejor opción, para la toma de decisión. Sin embargo, esta metodología es mejor aplicada a problemas de distribución y/o transporte.

## **2.2 MARCO TEORICO**

### **2.2.1 Historial de equipo**

El historial hace referencia al ciclo de vida que ha tenido el activo o equipo, sea en uso o desuso. Este listado de eventos o hechos, deben reflejar el nacimiento del equipo, parámetros de operación, mantenimiento, repuestos empleados, horas-hombre empleado, horas de uso, etc. Cuanta más información se tenga sobre el activo, mejores serán las decisiones con respecto a la estrategia a tomar, para mantenerlo en actividad o sacarlo de la línea de producción.

La definición de cómo administrar la información que debe contener este historial, queda a juicio del equipo administrador

de activos, para cada escenario empresarial e industrial, existe información más relevante que otra.

PRESELECCION DE ITEMS PARA EL HISTORIAL			
TABLAS SELECCIONADAS:	ITEM	BB	BOMBA
	CLASE	B	
	COMPONENTE	MEL	MOTOR ELECTRICO
	ACTIVIDAD	D	REPARACION DE DEFECTO
	ACCION	RP	REEMPLAZADO
Periodo de selección para análisis del historial:		01/01/95 a 31/07/99	
Consulta	NOMBRE OPERACIONAL DEL EQUIPO		
*	BOMBA DE AGUA DE SERVICIO 1		
	BOMBA DE AGUA DE SERVICIO 2		
	BOMBA DE AGUA DE SERVICIO 3		
*	BOMBA DE DRENAJE 1		
	BOMBA DE DRENAJE 2		
	BOMBA DE INCENDIO 1		
*	BOMBA DE INCENDIO 2		
	BOMBA DE INCENDIO 3		
*	BOMBA DE VACIO 1		
	etc ...		

Fuente: Predictiva 21 (2022)

### 2.2.2 Disponibilidad

Es la capacidad de un sistema en entrar en operación en cualquier momento o estar en funcionamiento sin paros por mantenimientos.

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ totales - Horas\ de\ para\ por\ mantenimiento}{Horas\ totales}$$

### 2.2.3 Tiempo para la reparación (MTTR)

Es el tiempo necesario para que un equipo pueda entrar en operación, por reparación de una avería. En el histórico de un activo o equipo, se realiza el promedio de tiempos de reparación, como indicador, para conocer un desarrollo de mejora en las

prácticas de mantenimiento y/o barreras que permitan establecer un tiempo óptimo de tiempo para la reparación.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}}$$

#### 2.2.4 Valor presente neto (VPN) o valor actual neto (VAN)

Es una forma de evaluar los desembolsos y pagos de un proyecto de inversión, con el objetivo de saber cuánto se va generar como ganancia y pérdida de la misma. Esta expresión numérica nos permite tomar una decisión en función del flujo del dinero en un periodo determinado.

$$\text{Valor presente neto} = \sum \frac{\text{Flujo de efectivo neto en un periodo}}{(1 + \text{Tasa descuento})^n}$$

Nota: n, representa el número de periodos.

Las características más importantes, de este indicador son:

- Permite emplear el valor del dinero, en el momento correcto.
- Es un indicar que permite, tomar decisión sobre un proyecto de inversión.
- Muestra una proyección de la inversión progresiva sobre un proyecto.
- La proyección está en función de la tasa de interés que se utilice para realizar el cálculo.

#### 2.2.5 Tasa interna de retorno (TIR)

Este indicador nos permite conocer si es oportuno invertir en un proyecto o negocio, en base los ingresos y egresos generados en un proceso de inversión. Es un medio cualitativo, el cual, a través de un porcentaje o tasa de rentabilidad, nos permite evaluar un proyecto, con otros de menor riesgo.

$$VAN = \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1 + TIR)^n} - i = 0$$

Donde:

$Q_n$  = es el flujo de caja en el periodo n.

n= es el número de periodos.

i = es el valor de la inversión inicial.

Las características más importantes, de este indicador son:

- Permite examinar proyectos de inversión en función de su rentabilidad.
- La proyección está en función de los flujos netos de efectivo.
- Es un indicador que permite contrastar la rentabilidad de un negocio, con respecto a otros indicadores como la tasa de capital, la tasa de oportunidad, la tasa de descuento y la aceptación mínima de rendimiento.

### **2.2.6 Método de periodo de recuperación de la inversión (PRI o Payback)**

Básicamente este indicador nos permite calcular el tiempo en el cual recuperaremos nuestra inversión en valor actual. Nos muestra en el tiempo, cuando se resolvería el retorno o amortización de la inversión inicial.

Cuando en la cartera de proyectos de inversión tenemos 2 o más proyectos, se emplea este indicador para conocer cuando nuestro capital retornará más rápido. En una sociedad de inversionistas, el capital aportado siempre estará en riesgo mientras no se recupere, por lo tanto, el inversionista desea saber siempre, a que riesgos se está exponiendo y por cuanto tiempo será esto, así mismo, este riesgo debe ser compensado

por, otros factores que permitan al inversionista tomar decisión sobre una inversión.

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d}$$

Donde:

a: Año inmediato anterior en que se recupera la inversión.

b: Inversión inicial.

c: Flujo de efectivo acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión.

d: Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión.

Las características más importantes de este indicador son:

- Es muy sencillo realizar el cálculo matemático, para su obtener su resultado, básicamente, es un cálculo aritmético.
- Es un indicador visual rápido para tomar un juicio preliminar, como saber si es una inversión a corto plazo o no, por lo general los inversionistas tienen una exposición al riesgo de 2 años.
- Es empleado como un filtro rápido para los inversionistas entre distintos proyectos, limitado por un periodo de recuperación máximo.
- Deja de lado el valor del dinero en el tiempo: "Un dólar hoy, no es lo mismo un dólar mañana".
- Deja de lado la evaluación de los flujos de dinero que se generan después del retorno de inversión.

### 2.2.7 Relación costo beneficio (C/B)

Este indicador es el cociente de todos los ingresos obtenidos a partir de un proyecto de inversión o como producto de ventas totales, entre el total de costos asumidos, por la realización del proyecto o fabricación. Es importante definir las variables que engloban los costos totales, dado que al no incluir algunas de estas, el costo beneficio, resulte no ser del todo real. Es una relación que se puede aplicar a cualquier ámbito de negocios.

$$C/B = \frac{\text{Ingresos totales netos}}{\text{Costos totales}}$$

Las características más importantes de este indicador son:

- La definición de rentable o no rentable, es dada por la unidad. Donde sí es mayor que 1, es rentable, sin embargo, para valores iguales o menores que 1, no es rentable.
- Es importante que no se asuma como un indicador único, dado que depende el escenario de inversión actual.

### 2.2.8 Costo de oportunidad (COK)

Es el indicador que nos permite visualizar la cantidad monetaria que dejamos de ganar por tomar otra opción, como alternativa respecto a otras propuestas de inversión, si bien este costo no es contable administrativamente, se puede emplear para dimensionar mejor las alternativas de proyectos de inversión.

$ROI = (\text{Precio actual de la inversión} - \text{Costo de la Inversión}) / \text{Costo de la inversión}.$

Nota: Una forma de realizar el cálculo es comparando el ROI de 2 o más proyectos de inversión.

Las características más importantes de este indicador son:

- Cuando los inversionistas mantienen el dinero a salvo, guardado en cuentas bancarias, están dejando de percibir mayor rentabilidad por su dinero, a ese valor monetario se le denomina costo de oportunidad del capital.
- Este indicador es una arista importante, dentro de los indicadores para evaluar proyectos de inversión. En combinación con el TIR, VAN y C/B permiten tomar una decisión acertada.

### 2.3 MARCO CONCEPTUAL

- **PADS de lixiviación:** Sistemas de impermeabilización mediante geo sintéticos con funciones de barrera hidráulica, drenaje y conducción de lixiviados para proyectos mineros. **(TDM, 2022)**
- **Lixiviación en pilas:** es el proceso de extraer una sustancia de un material sólido, después de haber estado en contacto con un líquido. La sustancia que se extrae del sólido lo hace al llegar a la solución, una en la que es soluble **(emew, 2021)**
- **ADR:** Absorción, desorción, recuperación. **(GEOESTADÍSTICA, 2022)**
- **PLS:** Poza de solución rica (Pregnant Leaching Solution). **(Salazar, 2019)**
- **PME:** Poza de mayores eventos. **(ANA, 2021)**
- **TAG:** Se denomina al código industrial de ubicación a un activo dentro un proceso industrial. Este código se emplea para registrar su historial y/o partida de nacimiento. **(Villajulca, 2020)**
- **Gestión de mantenimiento:** Está definido como las tareas y/o actividades que permitan a un activo, cualquiera de su clave, mantener su disponibilidad a lo largo de su ciclo de vida. La gestión de mantenimiento, es la administración de los recursos que permitan llevar a cabo las tareas y/o actividades. **(Salazar b. , 2019)**

- **Mantenimiento correctivo:** que corrige los defectos o averías observados. **(Salazar B. , 2019)**
- **Mantenimiento preventivo:** como el destinado a garantizar la fiabilidad de equipos en funcionamiento antes de que pueda producirse un accidente o avería por deterioro. **(Salazar B. , 2019)**
- **VAN (Valor actual neto):** Es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. **(Jiménez, 2020)**
- **TIR (Retorno de inversión):** Es la rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. **(Sevilla, 2020)**
- **C/B Costo beneficio:** El análisis de coste beneficio es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión. Pretende determinar la conveniencia del proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costes y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto. **(Rodríguez, 2021)**
- **COK (Costo de Oportunidad y Beneficio):** Es el costo de oportunidad del capital o tasa de rendimiento mínima de la inversión. **(Pedrosa, 2020)**
- **PRI (Periodo de Retorno de Inversión):** Es el tiempo que necesita un inversor para recuperar todo el dinero que necesitó para llevar a cabo sus proyectos. **(EUROINNOVA, 2021)**
- **PAY BACK (Plazo de Recuperación):** Es el periodo de tiempo requerido para recuperar el capital inicial de una inversión. **(EUROINNOVA, 2021)**

- **Izaje:** Operación que permite el levantamiento y suspensión de cargas de gran tamaño y peso mediante equipos (grúas, tecles). **(ARLIM, 2019)**
- **Camión grúa:** Es un equipo de trabajo el cual se compone de un vehículo portante, sobre ruedas o sobre orugas, dotado de sistemas de propulsión y dirección propios, en cuyo chasis se acopla un aparato de elevación tipo pluma. **(ARLIM, 2019)**
- **Grúa telescópica:** Es una máquina que está configurada para levantar objetos de carga pesada, su estructura está colocada sobre camiones pesados. Siendo, por lo tanto, un tipo de grúa móvil. **(ARLIM, 2019)**
- **Grúa pórtico:** Es un tipo especial de grúa que eleva la carga mediante un polipasto instalado sobre una viga puente, que a su vez es rígidamente sostenida mediante dos o más patas. Estas patas generalmente pueden desplazarse sobre unos rieles horizontales al nivel del suelo. **(ARLIM, 2019)**
- **Grúa tipo pescante:** Es una estructura fija diseñada para el izaje de cargas pesadas dentro de un área de trabajo. **(ARLIM, 2019)**

## 2.4 HIPOTESIS

El análisis técnico económico para la adquisición de un equipo de izaje, incidirá en la reducción de costos del mantenimiento de las bombas verticales GOULDS VIC-T, de la plataforma de bombeo PLS2, en minera Shahuindo SAC.

## **2.5 VARIABLES**

### **2.5.1 Variable independiente**

El análisis técnico económico para la adquisición de un equipo de izaje.

### **2.5.2 Variable dependiente**

La reducción del costo de mantenimiento de las bombas verticales GOULDS VIC-T.

**Tabla 16** Matriz de Operacionalización de variable

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Escala
La reducción del costo de mantenimiento de las bombas verticales GOULDS VIC-T.	Es la capacidad de un sistema en entrar en operación en cualquier momento o estar en funcionamiento sin paros por mantenimientos.	Es el ratio entre, la diferencia de las horas totales de la operación y las horas del mantenimiento, sobre las horas totales.	Disponibilidad	Disponibilidad = $\frac{HT-HPM}{HT}$ Donde: HR: Horas totales. HPM: Horas de para por mantenimiento.	Razón
	Es el tiempo necesario para que un equipo pueda entrar en operación, por reparación de una avería	Es el ratio entre el tiempo del mantenimiento y el número de mantenimientos.	MTTR	MTTR = $\frac{TPM}{N}$ Donde: TPM: Tiempo total de mantenimiento. N: Número de reparaciones.	
	Es la inversión en la cual se incurre para mantener el equipo operando, bajo sus parametros de fabrica iniciales. En este costo se incluye el costo de tener el equipo detenido por reparación.	Es la suma de costo de parada de planta y el costo de realizar el mantenimiento	Costo de mantenimiento real (CMR)	CMR = $CPP + CM$ Donde: CPP: Costo de parada de planta CM: Costo de mantenimiento	
El análisis técnico económico para la adquisición de un equipo de izaje.	Es una forma de evaluar los desembolsos y pagos de un proyecto de inversión, con el objetivo de saber cuánto se va generar como ganancia y pérdida de la misma.		Valor presente Neto (VPN)	Valor presente neto = $\sum \frac{\text{Flujo de efectivo neto en un periodo}}{(1 + \text{Tasa descuento})^n}$ Nota: n, representa el número de periodos.	Razón
	Este indicador nos permite conocer si es oportuno invertir en un proyecto o negocio, en base los ingresos y egresos generados en un proceso de inversión.		Tasa Interna de retorno (TIR)	$VAN = \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1 + TIR)^n} - i = 0$ Donde: Qn = es el flujo de caja en el periodo n. n= es el número de periodos. i = es el valor de la inversión inicial.	
	Básicamente este indicador nos permite calcular el tiempo en el cual recuperaremos nuestra inversión en valor actual. Nos muestra en el tiempo, cuando se resolvería el retorno o amortización de la inversión inicial.	Se refieren a los indicadores de proyectos de inversión para la resolución de ejecutar un proyecto.	Método de periodo de recuperación de la inversión (PRI o Payback)	Donde: a: Año inmediato anterior en que se recupera la inversión. b: Inversión inicial. c: Flujo de efectivo acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión. d: Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión.	
	Este indicador es el cociente de todos los ingresos obtenidos a partir de un proyecto de inversión o como producto de ventas totales, entre el total de costos asumidos, por la realización del proyecto o fabricación.		Relación costo beneficio (C/B)	$C/B = \frac{\text{Ingresos totales netos}}{\text{Costos totales}}$	
	Es el indicador que nos permite visualizar la cantidad monetaria que dejamos de ganar por tomar otra opción, como alternativa respecto a otras propuestas de inversión, si bien este costo no es contable administrativamente, se puede emplear para dimensionar mejor las alternativas de proyectos de inversión.		Costo de oportunidad (COK)	ROI = (Precio actual de la inversión - Costo de la Inversión) / Costo de la inversión.	

Fuente: Elaboración propia

### **III METODOLOGÍA**

#### **3.1 TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

**Tipo de investigación:**

Investigación aplicada

**Nivel de Investigación:**

Descriptiva.

#### **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **3.2.1 Población**

Operación del sistema de bombeo de lixiviación se compone de 4 bombas del tipo multietapa verticales.

- 135 – PU – 001 A
- 135 – PU – 001 B
- 135 – PU – 001 C
- 135 – PU – 001 D

##### **3.2.2 Muestra**

La muestra se compone de las 4 bombas que conforman el sistema de la plataforma de bombeo PLS2, de minera SHAHUINDO SAC.

#### **3.3 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN**

Para la realización de este proyecto de tesis se han empleado las siguientes herramientas.

**Tabla 17** Técnicas e instrumentos de investigación

<b>TECNICA</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>	<b>APLICADO EN</b>
Observación de campo	Plantilla de Excel	Mantenimiento de sistema de bombeo PLS2.
Análisis de documentos	*Histogramas de eventos (fallas) *Costos de mantenimiento.	Mantenimiento de sistema de bombeo PLS2.

**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.4 PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS**

Para el procesamiento de información se emplearon las siguientes herramientas.

- Hojas de Excel.
- Indicadores económicos de proyectos de inversión.

## IV. RESULTADOS

**4.1. OBJETIVO ESPECIFICO 01:** Realizar un diagnóstico de la situación actual del MTTR (Tiempo para la reparación) y disponibilidad del sistema de bombeo, para identificar el costo de mantenimiento del sistema de bombeo GOULDS VIC-T, de la plataforma de bombeo de PLS2, en Minera Shahuindo SAC.

Para el presente contexto actual de operación de la ejecución de la tarea de “mantenimiento al cual asciende la ejecución de la actividad del sistema de bombeo GOULDS VIC-T, de la plataforma de bombeo de PLS2, en Minera Shahuindo SAC”, se optó por analizar en 2 indicadores que nos permitan visualizar el tiempo para la reparación (MTTR, maintenance to time repair) y la disponibilidad.

Actualmente, en la plataforma de bombeo de Pregnant leaching solution N°2 (PLS2), se vienen realizando trabajos de mantenimiento con una frecuencia de cada 2 años, de su sistema de bombeo de solución rica hacia planta ADR (Absorción, desorción y recuperación), con una buena disponibilidad.

Para definir la disponibilidad de un sistema, se plantea la siguiente formula:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

Donde:

HT: Horas totales. Representan las horas disponibles de funcionamiento en un contexto ideal, cero fallas y/o paradas por mantenimiento, durante el periodo 2018 al 2021.

HPM: Horas parada por mantenimiento. Representan las horas por mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y otras causas, durante el periodo de 2018 al 2021.

A partir de la presente información se tiene una disponibilidad del 98% en el presente sistema y/o proceso que, según los estándares internacionales, está por encima del 90%, concluyendo que se tiene una buena disponibilidad del sistema.

**Tabla 18** Sistema de bombeo de plataforma PLS2

<b>SISTEMA DE BOMBEO DE PLATAFORMA PLS2</b>	
AÑOS DE SERVICIO	4 Años
MESES POR AÑO	12 Meses
DIAS POR MES	30 Días
HORAS POR DÍA	24 Hrs
TIEMPO OPERATIVO NETO	34560 Hrs
TIEMPO TOTAL POR PM/CM/OTRAS CAUSAS	802 Hrs
TIEMPO TOTAL FUNCIONAMIENTO	33758 Hrs
<b>DISPONIBILIDAD</b>	0.98

Elaboración: Fuente propia.

Para el presente escenario, el costo por mantenimiento y/o paradas asciende a **USD \$ 3 061 292.97 dólares**, para el periodo 2018 al 2021.

**Tabla 19** Costo de sistema detenido por mantenimientos

<b>COSTO DE SISTEMA DETENIDO POR MANTENIMIENTO Y/O FALLAS EN EL SISTEMA (2018 AL 2021)</b>	
Total de flujo perdido en 1 hora (4 bombas)	2000 m3/hr
TIEMPO TOTAL POR PM/CM/OTRAS CAUSAS	802 Horas
Costo de un m3	1.37 Dólares/m3
<b>SUB TOTAL</b>	<b>\$2,197,480.00 Dólares</b>
Servicio de mantenimiento preventivo	\$408,165.20
Servicio de mantenimiento correctivo y otras causas	\$455,647.77
<b>TOTAL</b>	<b>\$3,061,292.97 Dólares</b>

Elaboración: Fuente propia.

Para una proyección de vida del sistema de bombeo, en la unidad minera SHAHUINDO SAC, de 10 años, de continuar con el mismo escenario, a una disponibilidad del 98%, esta representaría USD \$ 7 653 232. 43 dólares.

**Tabla 20** Costo por sistema con disponibilidad del 98% proyectado a 10 años

<b>COSTO DEL SISTEMA CON UNA DISPONIBILIDAD DEL 98% A UNA PROYECCIÓN DE 10 AÑOS</b>	
Costo de disponibilidad al 98%	\$765,323.24 Dolares/año
Tiempo de vida del proyecto	10 Años
<b>TOTAL</b>	<b>\$7,653,232.43 Dólares</b>

Elaboración: Fuente propia.

Ante este escenario, se plantea una propuesta técnica económica, de mejorar del 15% o más con un ahorro para la empresa de, USD \$ 1 147 984.86 dólares.

**Tabla 21** Proyección de ahorros mejorando disponibilidad

<b>PROYECCIÓN DE AHORRO MEJORANDO LA DISPONIBILIDAD DEL 98% A 10 AÑOS</b>	
Costo del sistema por reparaciones con una proyección de 10 años	\$7,653,232.43 Dolares/año
Disminución del costo	0.15 %
<b>TOTAL</b>	<b>\$1,147,984.86 Dólares</b>

Elaboración: Fuente propia.

En el primer caso, el tiempo para la reparación, es el resultado promedio de la base historia de los tiempos de mantenimiento correctivo, que ha tenido el equipo de mantenimiento, en resolver los distintos problemas que se han presentado en el sistema y nuestra base de análisis se centra en como estos tiempos han impacto en la operación. El sistema de bombeo este compuesto por los siguientes equipos:

- 135-PU-006A – Bomba de solución rica.
- 135-PU-006B – Bomba de solución rica.
- 135-PU-006C – Bomba de solución rica.
- 135-PU-006D – Bomba de solución rica.

Para el caso de los sistemas auxiliares y de instrumentación, se consideran asociados a cada equipo, en su identificación.

**Tabla 22** Mantenimiento correctivo de la bomba 135-PU-006A

EQUIPO							
135-PU-006A							
N°	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	AÑO	CM/Otras causas	UNIDAD	SUB TOTAL		
1	Falla de sello mecánico	2018	CM	Hrs	5		
2	Corte de energía por descarga eléctrica	2018	Otras causas	Hrs	1.5		
3	Falla de switch de flujo de descarga	2018	CM	Hrs	2		
4	Corte de energía por descarga eléctrica	2018	Otras causas	Hrs	1.2		
5	Corte de energía por descarga eléctrica	2019	Otras causas	Hrs	1		
6	Falla de junta de expansión de 18" de descarga	2019	CM	Hrs	3.5		
7	Falla de impulsor (parada por interlock de vibración)	2019	CM	Hrs	48		
8	Corte de energía por descarga eléctrica	2019	Otras causas	Hrs	5		
9	Corte de energía por descarga eléctrica	2020	Otras causas	Hrs	12		
10	Limpieza y contrastación de flujometro de descarga	2020	CM	Hrs	10		
11	Falla de valvula doble check de descarga	2020	CM	Hrs	2.5		
12	Falla de valvula mariposa de descarga	2020	CM	Hrs	3.5		
13	Corte de energía por descarga eléctrica	2020	Otras causas	Hrs	0.5		
14	Falla de sello mecánico	2021	CM	Hrs	5		
15	Corte de energía por descarga eléctrica	2021	Otras causas	Hrs	1.3		
16	Falla de junta de expansión de 12" de succión	2021	CM	Hrs	3.5		
17	Corte de energía por descarga eléctrica	2021	Otras causas	Hrs	1.5		
					<b>TOTAL</b>	<b>107</b>	Hrs

Elaboración: Fuente propia.

**Tabla 23** Mantenimiento correctivo de la bomba 135-PU-006B

PERIODO							
2018-2021							
EQUIPO							
135-PU-006B							
N°	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	AÑO	CM/Otras causas	UNIDAD	SUB TOTAL		
1	Falla de switch de flujo de descarga	2018	CM	Hrs	3.5		
2	Falla de sello mecánico	2018	CM	Hrs	5		
3	Corte de energía por descarga eléctrica	2018	Otras causas	Hrs	0.5		
4	Falla de junta de expansión de 18" de descarga	2018	CM	Hrs	3.5		
5	Falla de sello mecánico	2019	CM	Hrs	5		
6	Falla de valvula doble check de descarga	2019	CM	Hrs	2.5		
7	Corte de energía por descarga eléctrica	2019	Otras causas	Hrs	1.1		
8	Corte de energía por descarga eléctrica	2020	Otras causas	Hrs	3		
9	Falla de sello mecánico	2020	CM	Hrs	5		
10	Falla de junta de expansión de 12" de succión	2020	CM	Hrs	3.5		
11	Falla de junta de expansión de 12" de succión	2020	CM	Hrs	3.5		
12	Falla de valvula mariposa de descarga	2020	Otras causas	Hrs	1		
13	Corte de energía por descarga eléctrica	2021	Otras causas	Hrs	1.2		
14	Limpieza y contrastación de flujometro de descarga	2021	CM	Hrs	10		
					<b>TOTAL</b>	<b>48.3</b>	Hrs

Elaboración: Fuente propia.

**Tabla 24** Mantenimiento correctivo de la bomba 135- PU-006C

PERIODO		2018-2021				
EQUIPO		135-PU-006C				
N°	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	AÑO	CM/Otras causas	UNIDAD	SUB TOTAL	
1	Falla de junta de expansión de 18" de descarga	2018	CM	Hrs	3.5	
2	Falla de valvula mariposa de descarga	2018	CM	Hrs	3	
3	Limpieza y contrastación de flujometro de descarga	2018	CM	Hrs	1.2	
4	Falla de sello mecánico	2019	CM	Hrs	5	
5	Falla de junta de expansión de 18" de descarga	2019	CM	Hrs	3	
6	Falla de sello mecánico	2020	CM	Hrs	5	
7	Falla de junta de expansión de 18" de descarga	2020	CM	Hrs	3.5	
8	Falla de variador (Interlock de temperatura en cabinet / Falla de ventilador)	2020	CM	Hrs	12	
9	Limpieza y contrastación de flujometro de descarga	2020	CM	Hrs	0.5	
10	Falla de sello mecánico	2021	CM	Hrs	5	
11	Falla de valvula doble check de descarga	2021	CM	Hrs	2.5	
12	Corte de energía por descarga electrica	2021	Otras causas	Hrs	1.5	
<b>TOTAL</b>					<b>45.7</b>	<b>Hrs</b>

Elaboración: Fuente propia.

**Tabla 25** Mantenimiento correctivo de la bomba 135-PU-006D

PERIODO		2018-2021				
EQUIPO		135-PU-006D				
N°	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	AÑO	CM/Otras causas	UNIDAD	SUB TOTAL	
1	Corte de energía por descarga electrica	2018	Otras causas	Hrs	1	
2	Falla de junta de expansión de 12" de succión	2018	CM	Hrs	3.5	
3	Falla de sello mecánico	2018	CM	Hrs	5	
4	Falla de valvula mariposa de descarga	2018	CM	Hrs	3.5	
5	Falla de junta de expansión de 18" de descarga	2019	CM	Hrs	3.5	
6	Limpieza y contrastación de flujometro de descarga	2019	CM	Hrs	10	
7	Falla de sello mecánico	2019	CM	Hrs	5	
8	Corte de energía por descarga electrica	2020	Otras causas	Hrs	1.5	
9	Falla de motor electrico (falla a tierra)	2020	CM	Hrs	48	
10	Falla de valvula mariposa de descarga	2020	CM	Hrs	3.5	
11	Falla de sello mecánico	2020	CM	Hrs	5	
12	Limpieza y contrastación de flujometro de descarga	2020	CM	Hrs	10	
13	Falla de junta de expansión de 12" de succión	2021	CM	Hrs	3.5	
14	Falla de switch de flujo de descarga	2021	CM	Hrs	2	
<b>TOTAL</b>					<b>105</b>	<b>Hrs</b>

Elaboración: Fuente propia.

En la Tabla 26 se muestra información del historial de los mantenimientos correctivos y otras causas, del sistema de bombeo.

**Tabla 26** Historial de mantenimientos preventivos - correctivos y otras causas

	MTTO. PREVENTIVO (PM)				MTTO. CORRECTIVO (CM)				OTRAS CAUSAS				SUB TOTAL
	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	
135-PU-006A	7	55	7	55	7	51.5	16	8.5	2.7	6	12.5	2.8	231 Horas
135-PU-006B	7	55	7	55	12	7.5	12	10	0.5	1.1	4	1.2	172.3 Horas
135-PU-006C	7	55	7	55	7.7	8	21	7.5	0	0	0	1.5	169.7 Horas
135-PU-006D	7	55	7	55	12	18.5	66.5	5.5	1	0	1.5	0	229 Horas
													<b>TOTAL</b> 802 Horas
N° De reparaciones					11	9	14	7	4	3	5	4	57 Reparaciones
Horas de reparaciones					38.7	85.5	115.5	31.5	4.2	7.1	18	5.5	306 Horas
MTTR					3.52	9.50	8.25	4.50	1.05	2.37	3.60	1.38	5.37

Elaboración: Fuente propia.

A partir de la presente información llegamos a un tiempo para la reparación de 5.37 horas. Partiendo del costo de 1.37 dólares/m<sup>3</sup>, que el sistema deja de bombear, por la capacidad del sistema de 2000 m<sup>3</sup>/hora. El tiempo para la reparación representa, **USD \$ 14 709.47 dólares** americanos por reparación correctiva promedio.

**Tabla 27** Costo por tiempo promedio de reparación

<b>COSTO POR SISTEMA PROMEDIO POR MTTR (2018 AL 2021)</b>	
Total de flujo perdido en 1 hora (4 bombas)	2000 m <sup>3</sup> /hr
MTTR	5.37 Horas
Costo de un m <sup>3</sup>	1.37 Dólares/m <sup>3</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>\$14,709.47 Dólares</b>

Elaboración: Fuente propia.

En la **Tabla 28** se muestra el acumulado por mantenimiento correctivo y otras causas el cual asciende a 36 horas entre los periodos 2018 al 2021, por lo tanto, el sistema ha dejado de producir, 612 000 m<sup>3</sup>, lo que representa, USD \$ 838 440.00 dólares americanos, para la empresa.

**Tabla 28** Costo por acumulado de horas de mantenimiento

**COSTO POR SISTEMA PROMEDIO POR MTTR (2018 AL 2021)**

Total de flujo perdido en 1 hora (4 bombas)	2000 m3/hr
Tiempo acumulado en reparaciones	306 Horas
Total de perdida de flujo en 48 Hrs	612000 m3
Costo de un m3	1.37 Dólares/m3
<b>TOTAL</b>	<b>\$838,440.00 Dólares</b>

Elaboración: Fuente propia.

En la Tabla 29 se muestra el costo por reparaciones ante una proyección de vida del sistema de bombeo, en la unidad minera SHAHUINDO SAC, la cual sería 10 años, de continuar con el mismo escenario, lo que representaría USD \$ 2 096 100.00 dólares.

**Tabla 29** Costo por mantenimientos en proyección a 10 años

**COSTO DEL SISTEMA POR REPARACIONES CON UNA PROYECCIÓN DE 10 AÑOS**

Costo por año promedio de reparaciones	\$209,610.00 Dolares/año
Tiempo de vida del proyecto	10 Años
<b>TOTAL</b>	<b>\$2,096,100.00 Dólares</b>

Ante este escenario, se plantea una propuesta técnica económica, de mejorar del 15% o más con un ahorro para la empresa de, USD \$ 314 415.00 dólares.

**Tabla 30** Costo por mantenimiento a 10 años considerando 15% de ahorro

**PROYECCIÓN DE AHORRO MEJORANDO EL MTTR A 10 AÑOS**

Costo del sistema por reparaciones con una proyección de 10 años	\$2,096,100.00 Dolares/año
Disminución del costo	0.15 %
<b>TOTAL</b>	<b>\$314,415.00 Dólares</b>

**4.2. OBJETIVO ESPECIFICO 02:** Elaborar la propuesta técnica económica, para reducir en un 15% el costo de mantenimiento del sistema de bombeo GOULDS VIC-T, de la plataforma de bombeo de PLS2, en Minera Shahuindo SAC.

Para identificar la oportunidad de mejora definimos en base al historial de fallas un top ten, basados en el costo que significa para la empresa, en el periodo de 2018 al 2021. Resolviendo mediante una gráfica de Pareto, que los que tenían mayor significancia, eran las fallas relacionadas al desmontaje del equipo, como los son:

- Falla de motor eléctrico (falla a tierra). **Requiere asistencia de grúa.**
- Falla de válvula mariposa de descarga
- Falla de sello mecánico.
- Falla de junta de expansión de 12" de descarga.

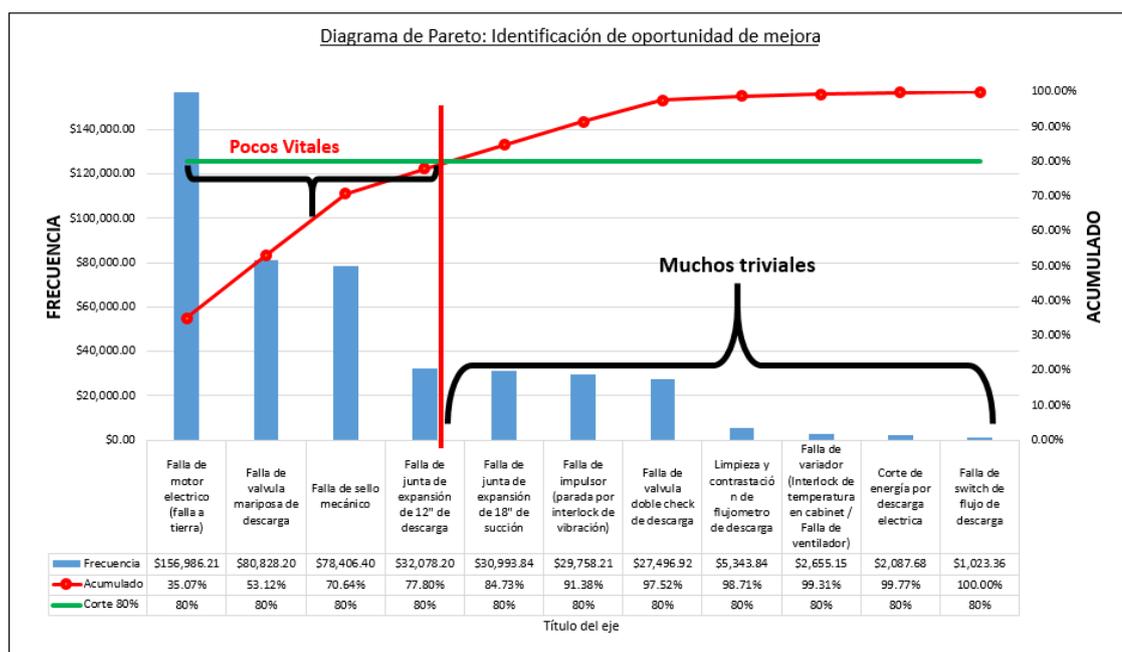
Al ser un evento correctivo, existe el riesgo de no tener disponible la grúa en la operación y/o condiciones desfavorables de las vías, para el ingreso de la unidad a la plataforma de bombeo.

**Tabla 31** Análisis por Pareto

N°	Causas	USD \$	Frecuencia	Acumulado	Corte 80%
1	Falla de motor eléctrico (falla a tierra)	\$156,986.21	\$156,986	35.07%	80%
2	Falla de válvula mariposa de descarga	\$80,828.20	\$237,814	53.12%	80%
3	Falla de sello mecánico	\$78,406.40	\$316,221	70.64%	80%
4	Falla de junta de expansión de 12" de descarga	\$32,078.20	\$348,299	77.80%	80%
5	Falla de junta de expansión de 18" de succión	\$30,993.84	\$379,293	84.73%	80%
6	Falla de impulsor (parada por interlock de vibración)	\$29,758.21	\$409,051	91.38%	80%
7	Falla de válvula doble check de descarga	\$27,496.92	\$436,548	97.52%	80%
8	Limpieza y contrastación de flujometro de descarga	\$5,343.84	\$441,892	98.71%	80%
9	Falla de variador (Interlock de temperatura en cabinet / Falla de ventilador)	\$2,655.15	\$444,547	99.31%	80%
10	Corte de energía por descarga eléctrica	\$2,087.68	\$446,635	99.77%	80%
11	Falla de switch de flujo de descarga	\$1,023.36	\$447,658	100.00%	80%
		<b>\$447,658.01</b>			

Elaboración: Fuente propia.

**Tabla 32** Análisis por diagrama de Pareto



Elaboración: Fuente propia.

A partir de la evaluación realizada en base al diagrama de Pareto aplicado a la realidad de la tarea de mantenimiento, durante el periodo 2018 a 2021. Se plantea 3 alternativas de solución como sistema de izaje a implementar. Para una mejor visualización de las propuestas se consideraron los siguientes criterios de evaluación:

#### 4.2.1. Evaluación propuesta económica (100%).

**4.2.1.1.** Valor de oferta económica (70%). Está relacionado al costo de venta del equipo. Venta de equipos, su implementación, comisionado y puesta en marcha. No incluye el traslado y/o flete hacia la unidad minera.

$$\% \text{ de propuesta económica} = \left( \frac{\text{valor mínimo de las propuestas}}{\text{valor de la propuesta evaluada}} \right) \times \% \text{ de evaluación de la oferta económica}$$

Términos contractuales y/o comerciales (30%). Está relacionado con los siguientes términos:

**Tabla 33** Criterios de puntaje para evaluación de implementación

<b>N° TERMINOS CONTRACTUALES</b>	<b>PUNTAJE</b>
1 No requiere de anticipo para su implementación	4
2 Presenta cartafianza (20% del valor de lo adjudicado)	4
3 Existen penalidades en propuesta	2
	<b>10</b>

**Nota:** El no cumplimiento de los criterios es puntaje 0.

#### 4.2.2. Evaluación propuesta técnica (100%).

##### 4.2.2.1. Tecnología (25%).

**Tabla 34** Criterios de evaluación para propuesta económica

<b>N° TECNOLOGIA</b>	<b>PUNTAJE</b>
1 Emplea variadores de velocidad para movimiento de precisión	3
2 Emplea sistema de lubricación para el cableado	3
3 Emplea sistema de radio para operación remota mediante jostick	4
	<b>TOTAL 10</b>

**Nota:** El no cumplimiento de los criterios es puntaje 0.

##### 4.2.2.2. Diseño (25%).

**Tabla 35** Criterio de evaluación para diseño

<b>N° DISEÑO</b>	<b>PUNTAJE</b>
1 Considera en su diseño 1 sola estructura como propuesta	3
2 Considera diseño y calculo: Civil, electrico y estructural	3
3 Considera comisionado, puesta en marcha y dossier de calidad	4
	<b>TOTAL 10</b>

**Nota:** El no cumplimiento de los criterios es puntaje 0.

#### 4.2.2.3. Tiempo de entrega (25%).

**Tabla 36** Criterio de evaluación para tiempo de entrega

<b>N° TIEMPO DE ENTREGA</b>	<b>PUNTAJE</b>
1 De 16 a mas semanas	2
2 De 11 a 15 semanas	3
3 De 1 a 10 semanas	5

**Nota:** El no cumplimiento de los criterios es puntaje 0.

#### 4.2.2.4. Medio ambiente (25%).

**Tabla 37** Criterios de evaluación Medio Ambiente

<b>N° MEDIO AMBIENTE</b>	<b>PUNTAJE</b>
1 Emplea diesel para su funcionamiento	3
2 Emplea energía eléctrica para su funcionamiento	7
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>

**Nota:** El no cumplimiento de los criterios es puntaje

**Tabla 38** Propuesta técnica - económica por implementación de sistema de izaje

Ítem	Factores de Evaluación	Max Puntaje	ALTERNATIVA "A"		ALTERNATIVA "B"		ALTERNATIVA "C"		OBSERVACIONES				
Tabla de Ponderación :			Cumplimiento	Valor %	Cumplimiento	Valor %	Cumplimiento	Valor %					
Descripción de propuesta			JIB CRANE		GRUA PORTICO		GRUA TELESCOPICA						
Imagen referencial									Fotografía referencial de propuesta técnica - económica.				
<b>1.0</b>	<b>EVALUACION PROPUESTA ECONOMOM</b>	<b>10.0</b>	<b>100%</b>	<b>82%</b>		<b>67%</b>		<b>34%</b>					
1.01	Valor de Oferta Económica	50%	70%	\$ 175,000	70%	\$ 222,000	55%	\$ 550,000	22%	Bajo las presentes propuestas la alternativa mas competitiva es la "A".			
1.02	Terminos contractuales		30%	No requiere de anticipo para su implementación	4	12%	No requiere de anticipo para su implementación	4	12%	Ver criterios de evaluación y puntaje.			
<b>2.0</b>	<b>EVALUACION PROPUESTA TECNICA</b>	<b>10.0</b>	<b>100%</b>	<b>60%</b>		<b>75%</b>		<b>53%</b>					
2.01	Tecnología	50%	25%	Emplea variadores de velocidad para movimiento de precisión.	7.0	18%	Emplea variadores de velocidad para movimiento de precisión.	10.0	25%	Emplea sistema de lubricación para el cableado.	6.0	15%	Ver criterios de evaluación y puntaje.
2.02	Diseño		25%	Emplea sistema de radio para operación remota mediante jostick. Considera diseño y calculo: Civil, electrico y estructural.	7.0	18%	Considera en su diseño 1 sola estructura como propuesta.	10.0	25%	Considera en su diseño 1 sola estructura como propuesta.	10.0	25%	Ver criterios de evaluación y puntaje.
2.03	Tiempo de entrega		25%	Considera comisionado, puesta en marcha y dossier de calidad.	3.0	8%	Considera diseño y calculo: Civil, electrico y estructural.	3.0	8%	Considera diseño y calculo: Civil, electrico y estructural.	2.0	5%	Ver criterios de evaluación y puntaje.
2.04	Medio Ambiente		25%	De 11 a 15 semanas	7.0	18%	De 11 a 15 semanas	7.0	18%	Emplea diesel para su funcionamiento	3.0	8%	Ver criterios de evaluación y puntaje.
<b>Total</b>		<b>100%</b>		<b>71%</b>		<b>71%</b>		<b>43%</b>					

Elaboración: Fuente propia

De la evaluación realizada en el estado situacional al 2021 de la tarea de **mantenimiento overhaul (PM3 - Overhaul - Sello mecánico, tasones, sellos, orings, etc. - 17500 hrs)**, se realizó una evaluación en base a los 2 últimos mantenimientos del 2019, con camión grúa (**USD \$ 196 232.20**) y 2021, con grúa telescópica de 50 TN (**USD \$ 165 600.20**). Para realizar la proyección a 10 años, se tomó en consideración los siguientes puntos:

1. El servicio de montaje, ajustes y alineamiento, tercerizado por la empresa contratista, ya no se realizaría para los siguientes años 2023, 2025, 2027, 2029, 2031, por transferencia de destrezas y habilidades adquiridas por el personal de mantenimiento. Por lo tanto, no se considera en la presente proyección, así como, todas las facilidades asociadas al servicio tercerizado con la contratista.
2. Para la proyección con el escenario de izaje actual, rentando la grúa telescópica de 50 TN, donde se realizarían 20 mantenimiento en total, durante los años 2023, 2025, 2027, 2029, 2031, con un monto de USD \$ 742 701.00 dólares.

**Tabla 39** Proyección de costo por mantenimiento con alquiler de grúa telescópica 50 Tn

N°	TAG	TAREA	SISTEMA DE IZAJE	2023	2025	2027	2029	2031	SUB TOTAL
1	135-PU-006A	Mantenimiento Overhaul (PM3 - Overhaul - Sello mecanico, tasones, sellos, orings, etc. - 17500 hrs)	Alquiler de grua te 50 TN	\$37,135.05	\$37,135.05	\$37,135.05	\$37,135.05	\$37,135.05	\$185,675.25
2	135-PU-006B	Mantenimiento Overhaul (PM3 - Overhaul - Sello mecanico, tasones, sellos, orings, etc. - 17500 hrs)	Alquiler de grua te 50 TN	\$37,135.05	\$37,135.05	\$37,135.05	\$37,135.05	\$37,135.05	\$185,675.25
3	135-PU-006C	Mantenimiento Overhaul (PM3 - Overhaul - Sello mecanico, tasones, sellos, orings, etc. - 17500 hrs)	Alquiler de grua te 50 TN	\$37,135.05	\$37,135.05	\$37,135.05	\$37,135.05	\$37,135.05	\$185,675.25
4	135-PU-006D	Mantenimiento Overhaul (PM3 - Overhaul - Sello mecanico, tasones, sellos, orings, etc. - 17500 hrs)	Alquiler de grua te 50 TN	\$37,135.05	\$37,135.05	\$37,135.05	\$37,135.05	\$37,135.05	\$185,675.25
<b>PROYECCIÓN DE COSTO DE MANTENIMIENTO OVERHAUL CON SISTEMA DE IZAJE DE GRUA TELESCOPICA 50 TN</b>									<b>\$742,701.00</b>

3. Para la validación del logro del objetivo de un 15% de ahorro en el costo de mantenimiento, en base a la propuesta técnica-económica y sus premisas de evaluación: tecnología, diseño, costo, tiempo

implementación y medio ambiente. Se realizó el cálculo a 10 años, de continuar ejecutando la tarea bajo las mismas condiciones, versus, implementar cada una de las alternativas planeadas, en la presente propuesta.

- a. Alternativa A: Seguir realizando el mantenimiento de overhaul, mediante la implementación del sistema de izaje JIB CRANE de 10 TN.
- b. Alternativa B: Seguir realizando el mantenimiento de overhaul, mediante la implementación de la grúa pórtico de 10 TN.
- c. Alternativa C: Seguir realizando el mantenimiento de overhaul, mediante la adquisición de una grúa telescópica de 50 TN.

**Tabla 40** Porcentaje de ahorro proyectado a 10 años de mantenimiento

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ALTERNATIVA "A"	REPRESENTATIVIDAD	ALTERNATIVA "B"	REPRESENTATIVIDAD	ALTERNATIVA "C"	REPRESENTATIVIDAD
1	Proyección de costo de mantenimiento overhaul con sistema de grúa telescópica 50 TN (Mediante alquiler de sist. De izaje)	Global	\$742,701.00	100.00%	\$742,701.00	100.00%	\$742,701.00	100.00%
2	Proyección de costo de mantenimiento overhaul con implementación de alternativa	Global	\$586,229.00	78.93%	\$631,049.00	84.97%	\$972,701.00	130.97%
	% de ahorro en 10 años de operación por mantenimiento overhaul		\$156,472.00	21.07%	\$111,652.00	15.03%	-\$230,000.00	-30.97%

4. De los resultados obtenidos, podemos visualizar que económicamente, las alternativas "A" (21.08%) y "B" (15.04%), son las que están dentro del objetivo planteado, de obtener un ahorro del 15% del costo actual de ejecutar la tarea. Por lo tanto, las presentes alternativas representan una alternativa de solución a la problemática planteada.

**4.3. OBJETIVO ESPECIFICO 03:** Validar mediante indicadores de evaluación de proyectos de inversión, la propuesta técnica económica para reducir el costo de mantenimiento de las bombas verticales GOULDS VIC-T, de la plataforma de bombeo PLS2, en minera Shahuindo SAC.

**Tabla 41** Rentabilidad costo beneficio

Tasa de descuento		10%	\$175,000.00	\$222,000.00	\$550,000.00
N°	TIPO DE FLUJO	FLUJO DE EFECTIVO/AÑO	ALTERNATIVA "A"	ALTERNATIVA "B"	ALTERNATIVA "C"
					
			JIB CRANE	GRUA PORTICO	GRUA TELESCOPICA
0	INVERSIÓN	2022	-\$175,000.00	-\$222,000.00	-\$550,000.00
1	AHORRO	2023	\$66,414.40	\$66,414.40	\$66,414.40
2	AHORRO	2025	\$66,414.40	\$66,414.40	\$66,414.40
3	AHORRO	2027	\$66,414.40	\$66,414.40	\$66,414.40
4	AHORRO	2029	\$66,414.40	\$66,414.40	\$66,414.40
5	AHORRO	2031	\$66,414.40	\$66,414.40	\$66,414.40

PERIODO	VALOR PRESENTE NETO/PERIODO		
1	\$60,376.73	\$60,376.73	\$60,376.73
2	\$54,887.93	\$54,887.93	\$54,887.93
3	\$49,898.12	\$49,898.12	\$49,898.12
4	\$45,361.93	\$45,361.93	\$45,361.93
5	\$41,238.12	\$41,238.12	\$41,238.12

Valor presente de la suma de los flujos actualizados	\$251,762.83	\$251,762.83	\$251,762.83
Valor Presente Neto ( VPN)	\$76,762.83	\$29,762.83	-\$298,237.17
Tasa interna de retorno (TIR)	26.00%	15.12%	-14.76%
Índice de rentabilidad o beneficio/costo	1.44	1.13	0.46

**Tabla 42** Tiempo de recuperación de inversión

INVERSIÓN DE PROYECTO:		\$175,000.00		\$222,000.00		\$550,000.00	
N°	PERIODO	ALTERNATIVA "A"		ALTERNATIVA "B"		ALTERNATIVA "C"	
							
		JIB CRANE	Pendiente por recuperar	GRUA PORTICO	Pendiente por recuperar	GRUA TELESCOPICA	Pendiente por recuperar
0	2022	-\$175,000.00	-\$175,000.00	-\$222,000.00	-\$222,000.00	-\$550,000.00	-\$550,000.00
1	2023	\$66,414.40	-\$108,585.60	\$66,414.40	-\$155,585.60	\$66,414.40	-\$483,585.60
2	2025	\$66,414.40	-\$42,171.20	\$66,414.40	-\$89,171.20	\$66,414.40	-\$417,171.20
3	2027	\$66,414.40	\$24,243.20	\$66,414.40	-\$22,756.80	\$66,414.40	-\$350,756.80
4	2029	\$66,414.40		\$66,414.40	\$43,657.60	\$66,414.40	-\$284,342.40
5	2031	\$66,414.40		\$66,414.40		\$66,414.40	-\$217,928.00
6						\$66,414.40	-\$151,513.60
7						\$66,414.40	-\$85,099.20
8						\$66,414.40	-\$18,684.80
9						\$66,414.40	\$47,729.60
PAYBACK		$PAYBACK = \text{Año antes de recuperar} + \frac{\text{Valor absoluto flujo por recuperar}}{\text{Flujo periodo recupera la invers}}$					
Tiempo de recuperación		2.63		3.34		8.28	
Tiempo de recuperación (A/M/D)		2 años + 7 meses + 16 días		3 años + 4 meses + 24 días		8 años + 3 meses + 10 días	
Cada mantenimiento se realiza con una frecuencia de 2 años, por lo tanto, se considera el doble del periodo.		4 años + 7 meses + 16 días		6 años + 4 meses + 24 días		16 años + 3 meses + 10 días	

El costo de oportunidad, para el presente estudio se define como la proyección de 10 años, de realizar el mismo trabajo, bajo las condiciones de alquiler de una grúa telescópica frente, al optar por cada una de las alternativas de sistemas de izaje propuestos.

Para una proyección de 10 años, se tiene un costo de mantenimiento por las 4 bombas, de **USD \$ 742 701.00 dólares**, tal como se muestra en la **Tabla 39**

Para cada escenario propuesto en una proyección de 10 años, tendríamos la misma tarea de mantenimiento con un costo de **USD \$ 586 169.00** para la alternativa "A", **USD \$ 630 989.00** para la alternativa "B" y **USD \$ 972 701.00** para la alternativa "C".

**Tabla 43** Costo de mantenimiento considerando el tipo de grúa

<b>INVERSIÓN</b>	\$175,000.00	\$222,000.00	\$550,000.00
<b>DESCRIPCIÓN DEL COSTO</b>	<b>ALTERNATIVA "A"</b>	<b>ALTERNATIVA "B"</b>	<b>ALTERNATIVA "C"</b>
Costo de mantenimiento/bomba	\$29,311.45	\$31,552.45	\$48,635.05
Costo de mantenimiento 4 bombas	\$117,245.80	\$126,209.80	\$194,540.20
<b>Costo de mantenimiento en 10 años (5 Campañas)</b>	<b>\$586,229.00</b>	<b>\$631,049.00</b>	<b>\$972,701.00</b>

Por lo tanto, bajo el siguiente escenario, los resultados de costo de oportunidad para las 3 alternativas, en una proyección de vida útil de la mina, para 10 años, nos plantea 2 alternativas a considerar como oportunidad para reducir el costo del mantenimiento.

**Tabla 44** Propuesta para reducción de costo por mantenimiento considerando las alternativas

	<b>ALTERNATIVA "A"</b>	<b>ALTERNATIVA "B"</b>	<b>ALTERNATIVA "C"</b>
Proyección de costo de mantenimiento overhaul con sistema de grua telescópica 50 TN (Valor de la opción NO tomada)	\$742,701.00	\$742,701.00	\$742,701.00
Costo de mantenimiento en 10 años (Valor de opción tomada)	\$586,169.00	\$630,989.00	\$972,701.00
Costo de oportunidad	<i>Costo de oportunidad = Valor de la opción NO tomada – Valor de la opción tomada</i>		
Costo de oportunidad	<b>\$156,532.00</b>	<b>\$111,712.00</b>	<b>-\$230,000.00</b>

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 5.1. **OBJETIVO ESPECIFICO 01:** Realizar un diagnóstico de la situación actual del MTTR (Tiempo para la reparación) y disponibilidad del sistema de bombeo, para identificar el costo de mantenimiento al cual asciende la ejecución de la actividad del sistema de bombeo GOULDS VIC-T, de la plataforma de bombeo de PLS2, en Minera Shahuindo SAC.

Chávez, P. y Namoc, J. (2021), en su tesis titulada “Análisis Técnico Económico para la adquisición de una maquina BOBCAT y su incidencia en la rentabilidad patrimonial de la empresa JJN CIEM EIRL Trujillo 2020”, concluyen en que la evaluación situacional de la empresa, es importante para realizar una propuesta de mejora, así mismo, muestran la consideración de factores externos que impactan en la rentabilidad económica y financiera en un contexto de covid-19. En nuestro presente informe, se muestra con claridad la alta eficiencia del equipo de mantenimiento, pero también una oportunidad de mejora en la ejecución del gasto, que se incurre en la ejecución del mantenimiento en el sistema de bombeo de PLS2, para alcanzar una **disponibilidad real** acumulada, entre los periodos 2018 a 2021, del **98%** a un costo de **USD \$ 3 061 292.97 dólares** y un **MTTR de 5.37 horas**, a un costo de **USD \$ 14 709.47 dólares**, estimado para el mismo periodo.

- 5.2. **OBJETIVO ESPECIFICO 02:** Elaborar la propuesta técnica económica, para reducir en un 15% el costo de mantenimiento del sistema de bombeo GOULDS VIC-T, de la plataforma de bombeo de PLS2, en Minera Shahuindo SAC.

Amaya, C. (2017). En su tesis titulada “Estudio de viabilidad técnico económica para la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas COTECMAR sede MAMONAL”, se concluye que, mediante una evaluación técnica-económica, se

define la tecnología más adecuada a emplearse, para el tratamiento de aguas residuales, con el método SBR, lo que le permitirá a la empresa CONTECMAR, de mejorar su proceso de forma sostenida a largo plazo, en estricto rigor del cumplimiento de las normas vigentes. Este trabajo se basó en criterios asociados a la implementación que la ingeniería requería, considerando los aspectos técnicos, económicos, legales y ambientales. En nuestro presente informe, se empleó la herramienta de Pareto para identificar las oportunidades de mejora dentro del universo de tareas de mantenimiento asociadas a la plataforma de bombeo de PLS2, donde se identificó la oportunidad de evaluar 3 escenarios, con respecto al actual de rentar una grúa telescópica de 50 TN, para la realización de la tarea. En un horizonte de 10 años, se plantearon alternativas de izaje, como la adquisición de: un sistema de izaje Jib Crane de 10 TN, un sistema de izaje de grúa tipo pórtico de 10 TN y la adquisición de una grúa telescópica de 50 TN. En base a estas alternativas, se formuló una metodología de evaluación económica y técnica, para evidenciar la mejor alternativa como propuesta, obteniendo 2 alternativas que superaron la valla del 70% de aprobación. No obstante a ello, se sustenta la presente evaluación en el logro del objetivo de una reducción del 15% del costo de mantenimiento de la plataforma de bombeo de PLS2, en una proyección del costo de la tarea con la renta de la grúa telescópica, versus cada una de las alternativas planteadas, donde evidenciamos que ambas alternativas, que superaron la valla en la evaluación técnica-económica, alcanzaron respectivamente una oportunidad de reducción del costo del 22.08 % (Alternativa A) y 15.04% (Alternativa B).

- 5.3. OBJETIVO ESPECIFICO 03:** Validar mediante indicadores de evaluación de proyectos de inversión, la propuesta técnica económica para reducir el costo de mantenimiento de las bombas verticales GOULDS VIC-T, de la plataforma de bombeo PLS2, en minera Shahuindo SAC.

Chávez, J. y Bueno, L. (2021), en su tesis titulada “Estudio técnico Económico para reemplazar una maquina Hepro y su contribución en la rentabilidad de la empresa Danper Trujillo SAC 2020”, concluyeron que su proyecto es financieramente viable, a razón de su flujo positivo en sus respectivos valores actuales, donde se mostró que genero valor y se recuperó el costo de inversión. En nuestro presente informe, se emplearon herramientas de evaluación de proyectos, sobre las 3 alternativas planteadas, con el objeto de brindar la mejor alternativa disponible financieramente. Donde según nuestros indicadores de VPN, TIR, Costo/beneficio, payback y costo de oportunidad, resolvieron como opciones viables financieramente, las alternativas A y B.

## VI. CONCLUSIONES

Se resuelve mediante la evaluación del estado situacional de los trabajos de mantenimiento, en la plataforma de bombeo PLS2, durante el periodo 2018 al 2021, que la disponibilidad acumulada real, asciende a del **98%** a un costo de **USD \$ 3 061 292.97 dólares** y un **MTTR** de **5.37 horas**, a un costo de **USD \$ 14 709.47 dólares**. Mediante la herramienta de Pareto se identifica dentro las tareas de mantenimiento asociada a la plataforma de bombeo PLS2, se discrimina el 20% de las actividades que podrían resultar en un beneficio económico para la empresa, de implementarse un sistema de izaje, que permita disminuir el costo que implica la renta de una grúa telescópica de 50 TN, para la ejecución de las tareas de mantenimiento donde se involucra este soporte auxiliar. Para se realiza una propuesta técnica-económica, bajo criterios como: Costo de proyecto, términos contractuales, tecnología, diseño, tiempo de entrega y medio ambiente, de 3 alternativas como sistema de izaje. Donde se obtiene como resultado, 2 alternativas viables bajo estos criterios, no obstante, también se realiza la proyección económica a 10 años, de seguir operando bajo las mismas condiciones, versus, cada una de las alternativas, con la misma proyección de 10 años, consolidando una reducción del costo del 22.08 % (Alternativa A) y 15.04% (Alternativa B). Así mismo, se soportan las propuestas de mejora en indicadores de evaluación de proyectos, tales como: VPN, TIR, Costo/beneficio, payback, costo de oportunidad, reafirmando así, la viabilidad de las alternativas "A" y "B". Siendo la alternativa "B", la más recomendada en su implementación, a razón del porcentaje obtenido en la propuesta técnica-económica, donde alcanzo un 75% técnicamente, con respecto a la propuesta "A", que alcanzó un 60% técnicamente, cuya variación radica principalmente, en la implementación del proyecto, dado que la alternativa "A", plantea instalar un sistema que se compone de 2 unidades, de grúas tipo JIB CRANE.

## **VII. RECOMENDACIONES**

### **Corto plazo**

A partir del escenario actual del trabajo de mantenimiento, realizado en la plataforma de bombeo de PLS2, se evidencio oportunidades de mejora, a ser aplicados en un periodo de 15 semanas, con un impacto económico de reducción del costo de mantenimiento en un horizonte de vida útil de la mina, de 10 años.

### **Mediano plazo**

Se sugiere analizar las siguientes tareas, que según el análisis de Pareto resolvió que estaban por encima del 20% causas vitales, que generaban el 80% del costo total de las tareas asociadas al mantenimiento del sistema de la plataforma de bombeo PLS2.

### **Largo plazo**

Se recomienda realizar el seguimiento de cada uno de los mantenimientos realizados en la plataforma de bombeo de PLS2, a nivel de un estudio tipo SMED, con el objeto de contrastar el impacto económico real con la implementación de la propuesta de técnica-económica de mejora.

## **Referencias bibliográficas**

**Autoridad Nacional del Agua (2021).** Resolución N° 044-2021-ANA/TNRCH.

## **Referencias de tesis**

**Chávez, J. & Bueno, L. (2021).** Estudio técnico económico para reemplazar una maquina HEPRO y su contribución en la rentabilidad de la empresa Dámper Trujillo SAC 2020. (Tesis de grado) UPAO, Trujillo, Perú.

**Chávez, W. & Namoc, J. (2021).** Análisis técnico económico para la adquisición de una maquina BOBCAT y su incidencia en rentabilidad patrimonial de la empresa JJN CIEM EIRL, TRUJILLO, 2020. (Tesis de Grado). UPAO, Trujillo, Perú.

**Mallqui, E. (2019).** Optimización de costos en extracción de mineral, implementando Chimenea Raise Boring como Ore Pass del nivel 1915 al nivel 1467 de la Mina Papagayo – Poderosa. (Tesis de Grado) Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

**Contador, J. (2021).** Estudio de pre factibilidad técnico económico para la creación de empresa de recarga y mantención de extintores. (Tesis de Grado). Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

**Amaya, C. (2017).** Estudio de la viabilidad técnico económica para la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en Cotecmar sede Mamonal. (Tesis de Grado). Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.

**Salazar, C. & Pacheco, R. (2019).** Evaluación de la fuerza de cianuro en la solución de riego y la solución de drenado del mineral para mantener constante la reposición diaria de cianuro de sodio en el pad lixiviación. (Tesis de Grado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

## Referencias electrónicas

**Reabilityweb. (2022).** Consejo de mantenimiento “Mejorando el Historial de Equipos”. <https://reabilityweb.com/sp/tips/article/consejo-de-mantenimiento-mejorando-el-historial-de-equipos#:~:text=Un%20historial%20de%20mantenimiento%20de,para%20predecir%20falla%20probables%20futuras.>

**Predictiva21. (2022).** Informe historial de los equipos. <https://predictiva21.com/4-4-informe-historial-equipos-mantenimiento/>

**INFRASPEAK. (2022).** Disponibilidad vs. Fiabilidad vs. Mantenibilidad: ¿Cuál es la diferencia? <https://blog.infraspeak.com/es/disponibilidad-fiabilidad-mantenibilidad/>

**INFRASPEAK. (2022).** ¿Qué es el MTTR? Definición, cálculo y formas de reducirlo. <https://blog.infraspeak.com/es/mttr/>

**Esan (2015).** Cuatro modelos para evaluar proyectos de inversion. Recuperado de <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/cuatro-modelos-evaluar-proyectos-inversion.>

**Gasbarrino, S. (2021).** Valor presente neto: Qué es y cómo se calcula (incluye ejemplos). Recuperado de [https://blog.hubspot.es/sales/que-es-valor-presente-neto#:~:text=F%C3%B3rmula%20de%20valor%20presente%20neto&text=De%20esta%20forma%2C%20cada%20entrada,descuento\)%%20%5E%20n%C3%BAmero%20de%20periodos.](https://blog.hubspot.es/sales/que-es-valor-presente-neto#:~:text=F%C3%B3rmula%20de%20valor%20presente%20neto&text=De%20esta%20forma%2C%20cada%20entrada,descuento)%%20%5E%20n%C3%BAmero%20de%20periodos.)

**Geremas (2021).** Tasa interna de retorno (TIR) <https://generamas.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir>

**Conexión ESAN. (2017).** El PRI: Uno de los indicadores que más llama la atención de los inversionistas. <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/el-pri-uno-de-los-indicadores-que-mas-llama-la-atencion-de-los-inversionistas#:~:text=El%20per%C3%ADodo%20de%20recuperaci%C3>

[%B3n%20de,ser%C3%A1%20cubierta%20la%20inversi%C3%B3n%20inicial.](#)

**Ferrari, A. (2018).** Las ventajas y desventajas del período de recuperación.  
<https://www.cuidatudinero.com/13149119/que-es-el-periodo-de-recuperacion>

**Vásquez, R (2021).** Análisis de costo/beneficio.  
<https://economipedia.com/definiciones/analisis-costebeneficio.html#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20coste%2Fbeneficio%20mide,son%20las%20operaciones%20en%20Bolsa.>

**Significados. (2021).** Significado de costo-beneficio.  
<https://www.significados.com/costo-beneficio/>

**Conexión ESAN. (2020).** Indicadores de rentabilidad en proyectos de inversión ¿Cuáles son? <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/indicadores-de-rentabilidad-en-proyectos-de-inversion-cuales-son#:~:text=Este%20indicador%20de%20rentabilidad%20mide,y%20flujos%20netos%20de%20efectivo.>

**Vilcara, P. (2022).** El costo de Oportunidad de capital (COK) y el valor actual neto (VAN). [https://www.gestiopolis.com/costo-oportunidad-capital-cok-valor-actual-neto-van/#:~:text=El%20costo%20de%20oportunidad\(COK\),-Como%20se%20pudo&text=%E2%80%9CCuando%20se%20toma%20una%20decisi%C3%B3n,oportunidad%20de%20la%20acci%C3%B3n%20escogida.](https://www.gestiopolis.com/costo-oportunidad-capital-cok-valor-actual-neto-van/#:~:text=El%20costo%20de%20oportunidad(COK),-Como%20se%20pudo&text=%E2%80%9CCuando%20se%20toma%20una%20decisi%C3%B3n,oportunidad%20de%20la%20acci%C3%B3n%20escogida.)

**TDM. (2022).** PADS de lixiviación. Primera edición.  
<https://www.tdm.com.pe/soluciones-impermeabilizacion-lixiviacion/>

**EMEW. (2021).** Lixiviación en metalurgia y en la recuperación de metales. Primera edición. <https://emew.com/es/lixiviacion-en-metalurgia-y-en-la-recuperacion-de-metales/>

**GEOESTADÍSTICA (2022).** Lixiviación, ADR, y fundición.  
[http://www.geoestadistica.com/lixiviacion\\_adr\\_fun.htm](http://www.geoestadistica.com/lixiviacion_adr_fun.htm)

- INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL. (2020).** Identificación de instrumentos: como armamos los TAGS. <https://instrumentacionycontrol.net/identificacion-de-instrumentos-como-armamos-los-tags/>
- Cruz, E. (2021).** Poderosa, Yanacocha y Retamas destacan en el top de producción nacional de oro. <https://www.rumbominero.com/peru/noticias/mineria/poderosa-yanacocha-y-retamas-destacan-en-el-top-de-produccion-nacional-de-oro/>
- Salazar, B. (2019).** ¿Qué es la gestión del mantenimiento? <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-mantenimiento/que-es-la-gestion-del-mantenimiento/>
- Sevilla, A. (2020).** Tasa interna de retorno (TIR). <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html#:~:text=La%20tasa%20interna%20de%20retorno,se%20han%20retirado%20del%20proyecto.>
- Jiménez, D. (2020).** Comparación entre VAN y TIR. <https://economipedia.com/definiciones/comparacion-entre-van-y-tir.html>
- Rodríguez, N. (2021).** Cómo realizar un análisis de costo-beneficio paso a paso. [https://blog.hubspot.es/sales/analisis-costo-beneficio#:~:text=El%20costo%2Dbeneficio%20\(B%2F,o%20costos%20otales%20\(VAC\).](https://blog.hubspot.es/sales/analisis-costo-beneficio#:~:text=El%20costo%2Dbeneficio%20(B%2F,o%20costos%20otales%20(VAC).)
- Pedrosa, J. (2020)** Coste de oportunidad. <https://economipedia.com/definiciones/coste-de-oportunidad.html#:~:text=El%20coste%20de%20oportunidad%20es,habe r%20escogido%20la%20opci%C3%B3n%20alternativa.>
- Euroinnova (2021)** Una clave del éxito: descubrir qué es el periodo de recuperación de la inversión. <https://www.euroinnova.pe/blog/que-es-periodo-de-recuperacion-de-la-inversion>
- Grúas Arlim. (2019)** Conozca los principales tipos de grúas que existen en el mundo. <https://www.gruasarlin.com/conoce-principales-tipos-gruas/>