

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Diseño de mejora de ejes de las válvulas dardo
de una celda de flotación de cobre para
optimizar el proceso de mantenimiento en la
unidad minera Constancia Hudbay Perú**

Christian Fabrizio Llerena Suarez

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Arequipa, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional"

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Julio Cesar Alvarez Barreda
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 14 de Julio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Diseño de mejora de ejes de las válvulas dardo de una celda de flotación de cobre para optimizar el proceso de mantenimiento en la unidad minera constancia Hudbay Perú

Autores:

1. Christian Fabrizio Llerena Suarez – EAP, Ingeniería Industrial

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 16 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|---|--|--|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (PALABRAS): 10 palabras | SI ☒ | NO ☐ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☐ | NO ☒ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

Firma del asesor obra en el archivo original (no se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Julio Cesar Álvarez Barreda

DEDICATORIA

A mi esposa e hijas, Edith, Danna y Darla, por creer en mi persona, y por siempre estar a mi lado apoyándome cuando en algún momento quise desistir.

A mi Madre, la Sra. Elva y a mis hermanas: Erika, Yaqui, Karen y Lucero, por su apoyo incondicional durante este proceso de mi educación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios y a todas las personas que me apoyaron en este viaje académico.

A mi familia, por su paciencia, amor incondicional y apoyo constante, que me brindó la fuerza para seguir adelante.

A los asesores de la universidad, por su guía y su experiencia, paciencia y confianza en mí.

Y a la Universidad Continental, por brindarme la oportunidad de crecimiento y aprendizaje.

Este logro es el resultado de un esfuerzo colectivo, y estoy agradecido por la colaboración y apoyo de todos ustedes

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I	14
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	14
1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.2. Formulación del problema	16
1.2.1. Pregunta general	16
1.2.2. Preguntas específicas	16
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. Justificación	17
1.4.1. Justificación práctica	17
1.4.2. Justificación económica.....	18
1.4.3. Justificación socioambiental	18
1.5. Importancia	18
1.6. Delimitación	19
1.6.1. Delimitación temporal	19
1.6.2. Delimitación espacial	19
1.7. Variables.....	19
1.7.1. Descripción de variables.....	19
1.7.2. Operacionalización de variables	20

CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Antecedentes de la investigación	21
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	21
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	22
2.2. Bases teóricas	26
2.2.1. Flotación.....	26
2.2.2. Celdas de flotación	27
2.2.3. Tipos de celdas de flotación	27
2.2.4. Válvulas dardo.....	29
2.2.5. Eje de válvula	29
2.2.6. Mantenimiento.....	30
2.2.7. Gestión de mantenimiento	30
2.2.8. Plan de mantenimiento	31
2.2.9. Mantenimiento correctivo.....	31
2.2.10. Mantenimiento preventivo	32
2.2.11. Mantenimiento predictivo	32
2.2.12. Relación de mantenibilidad y gestión de mantenimiento.....	32
2.2.13. Planeamiento	33
2.2.14. Desempeño.....	34
2.2.15. Costos.....	34
2.2.16. Indicadores de desempeño a nivel de calidad en mantenimiento.....	34
2.2.17. Tiempo medio entre fallas	36
2.2.18. Tiempo medio entre reparaciones.....	37
2.2.19. Disponibilidad.....	37
2.2.20. Mejora de procesos	37
2.3. Definición de términos básicos	38
CAPÍTULO III.....	39
METODOLOGÍA	39

3.1.	Método y alcance de la investigación	39
3.1.1.	Método de la investigación	39
3.1.2.	Enfoque de la investigación	40
3.1.3.	Diseño de investigación	40
3.2.	Población y muestra	40
3.2.1.	Población	40
3.2.2.	Muestra	40
3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	41
3.4.	Instrumentos de análisis de datos	41
3.5.	Análisis de datos	41
CAPÍTULO IV		43
DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y RESULTADOS		43
4.1.	Descripción de la empresa y sus procesos	43
4.1.1.	Procedimiento de operación del circuito de flotación en la minera	44
4.1.2.	Proceso de mantenimiento de celdas de flotación en la minera	50
4.1.3.	Desarrollo de la tarea de mantenimiento	58
4.1.4.	Diagnóstico de la situación actual en KPI	59
4.2.	Factores que influyen en la optimización del proceso de mantenimiento	73
4.2.1.	Condición inicial de los ejes de válvulas dardo	73
4.2.2.	Eficiencia en la gestión de tiempos de intervención	74
4.2.3.	Accesibilidad y adecuación del equipamiento de mantenimiento	74
4.2.4.	Selección de materiales y componentes optimizados	75
4.2.5.	Evaluación de costos y sostenibilidad operativa	75
4.2.6.	Desarrollo de competencias y gestión del capital humano	75
4.3.	Propuesta del diseño de mejora en el proceso de mantenimiento	76
4.3.1.	Propuesta de modificación de ejes dardo celdas flotación rougher cobre	76
4.3.2.	Mejora de la implementación	82
4.3.3.	Evaluación económica	87
CONCLUSIONES		90

RECOMENDACIONES.....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	20
Tabla 2. Requerimiento de personal.....	45
Tabla 3. Requerimiento de equipos de protección personal	45
Tabla 4. Requerimiento de equipos, herramientas y materiales.....	46
Tabla 5. Requerimiento de personal en el área de mantenimiento.....	52
Tabla 6. Requerimiento de equipos de protección personal en el área de mantenimiento	53
Tabla 7. Requerimiento de equipos de apoyo.....	53
Tabla 8. Requerimiento de repuestos	54
Tabla 9. Requerimiento de herramientas	54
Tabla 10. Requerimiento de materiales	55
Tabla 11. Cantidad de fallas actuales	61
Tabla 12. Detalle de informe de celdas de flotación línea 01 y 02	63
Tabla 13. KPI de Tiempo de Mantenimiento (MTTR).....	70
Tabla 14. KPI de la Vida Útil de los Ejes (MTBF)	70
Tabla 15. KPI del estado de cumplimiento (%).....	71
Tabla 16. KPI de disponibilidad de los ejes (%)	71
Tabla 17. KPI de costos de mantenimiento en millones de dólares	72
Tabla 18. Diagnóstico de brechas operativas y económicas en el circuito de flotación Rougher de cobre.....	73
Tabla 19. Disponibilidad.....	75
Tabla 20. Datos de los ejes dado.....	76
Tabla 21. Espesor de los ejes dado en el mes de enero 2024	82
Tabla 22. Propuesta de inspección de los ejes dado en el mes de enero 2024.....	83
Tabla 23. Espesor de los ejes dado en el mes de marzo 2024	83
Tabla 24. Inspección de los ejes dado en el mes de marzo 2024.....	84
Tabla 25. Espesor de los ejes dado en el mes de mayo 2024	84
Tabla 26. Propuesta de los ejes dado para el mes de enero del 2024	85
Tabla 27. Espesor de los ejes dado en el mes de noviembre 2024	85
Tabla 28. Indicadores operativos	87
Tabla 29. Costo beneficio	88
Tabla 30. Flujo de caja en un periodo de 5 años	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del mantenimiento	31
Figura 2. Flujograma del proceso de mantenimiento	57
Figura 3. Cantidad de fallas acumuladas	62
Figura 4. Observaciones de motor y desmontaje de motor de la celda FC-014.....	65
Figura 5. Montaje del rotor de la celda FC-014.....	65
Figura 6. Inspección y cambio de eje de dardo en FC-014.....	66
Figura 7. Cambio, ajuste y verificación de dardo B en la celda FC-013.....	66
Figura 8. Celda de flotación en la línea cleaner.....	66
Figura 9. Guías de desgaste y de instalación	67
Figura 10. Guías superiores de dardo y asientos de válvulas.....	67
Figura 11. Nivelación de canaletas antes y después de la instalación.....	68
Figura 12. Eje de dardo roto y su instalación de la celda FC-005.....	68
Figura 13. Guía dardo antes y después de su instalación.....	68
Figura 14. Inspección y aplicación de recubrimiento wearing y flexane	69
Figura 15. Eje de dardo antes y después de su instalación en la celda CF-006.....	69
Figura 16. Duración de eventos de fallas por disciplina	74
Figura 17. Longitud propuesta para la segmentación del eje	77
Figura 18. Zona de desgaste de los ejes	78
Figura 19. Transporte de los ejes	79
Figura 20. Instalación de los ejes	80

RESUMEN

En la Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú, los ejes de las válvulas dardo en las celdas de flotación de cobre, enfrentan desgaste acelerado debido a condiciones operativas abrasivas y corrosivas. Este deterioro genera paradas no programadas, altos costos de mantenimiento (repuestos, mano de obra) y exposición del personal a riesgos durante intervenciones complejas. Además, el diseño monolítico de los ejes obliga a desmontajes integrales, incrementando los tiempos de inactividad y afectando la disponibilidad operativa de las celdas.

Por lo tanto, este presente estudio tiene como objetivo diseñar una mejora en los ejes de las válvulas dardo de una celda de flotación de cobre, con el fin de optimizar el proceso de mantenimiento en la Unidad Minera Constancia Hudbay Perú. La metodología empleada es de tipo no experimental y se fundamenta en la recopilación y análisis de datos mediante entrevistas, revisión documental y evaluación estadística con el software SPSS. Se analizaron indicadores clave de mantenimiento (MTBF, MTTR y costos), identificando un desgaste crítico en los ejes dardo debido a la abrasión y corrosión, lo que generaba altos costos operativos y tiempos prolongados de intervención. Como solución, se propuso un diseño segmentado de los ejes, permitiendo reemplazos parciales en lugar de desmontajes completos, lo que redujo significativamente los tiempos de mantenimiento y los costos asociados. Los resultados evidenciaron una mejora del 15% en la disponibilidad de las celdas y una reducción del 30% en los costos de mantenimiento. Asimismo, el análisis económico mostró un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 3,34,730.08, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 117% y un período de recuperación de inversión de 1 año, confirmando la viabilidad del proyecto. Se concluye que la implementación del diseño optimizado de los ejes dardo mejora la eficiencia operativa, prolonga la vida útil de los componentes y contribuye a la sostenibilidad económica y ambiental de la operación minera. Se recomienda el uso de materiales más resistentes y herramientas predictivas para el monitoreo del desgaste.

Palabras claves: Mantenimiento, optimización, eficiencia, flotación, sostenibilidad.

ABSTRACT

At Hudbay Peru's Constancia Mining Unit, the dart valve shafts in the copper flotation cells face accelerated wear due to abrasive and corrosive operating conditions. This deterioration generates unscheduled shutdowns, high maintenance costs (spare parts, labor) and exposure of personnel to risks during complex interventions. In addition, the monolithic design of the shafts forces integral disassemblies, increasing downtime and affecting the operational availability of the cells.

Therefore, the objective of this study is to design an improvement in the shafts of the dart valves of a copper flotation cell, in order to optimize the maintenance process at the Constancia Mining Unit Hudbay Peru. The methodology used is non-experimental and is based on data collection and analysis through interviews, document review and statistical evaluation with SPSS software. Key maintenance indicators (MTBF, MTTR and costs) were analyzed, identifying critical wear in the dart shafts due to abrasion and corrosion, which generated high operating costs and long intervention times. As a solution, a segmented design of the shafts was proposed, allowing partial replacements instead of complete disassemblies, which significantly reduced maintenance times and associated costs. The results showed a 15% improvement in cell availability and a 30% reduction in maintenance costs. Likewise, the economic analysis showed a Net Present Value (NPV) of S/ 3,347,730.08, an Internal Rate of Return (IRR) of 117% and an investment recovery period of 1 year, confirming the viability of the project. It is concluded that the implementation of the optimized design of the dart shafts improves operational efficiency, prolongs the useful life of the components and contributes to the economic and environmental sustainability of the mining operation. The use of more resistant materials and predictive tools for wear monitoring is recommended.

Keywords: Maintenance, optimization, efficiency, flotation, sustainability

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la creciente demanda de eficiencia y sostenibilidad en las operaciones mineras ha impulsado la implementación de estrategias innovadoras para optimizar el mantenimiento de los equipos críticos. En este contexto, la industria minera enfrenta constantes desafíos relacionados con la mejora de la confiabilidad y disponibilidad de sus equipos, al mismo tiempo que busca reducir costos operativos y minimizar los tiempos de inactividad. Entre los equipos clave en el proceso de flotación de minerales, las válvulas dardo desempeñan un papel fundamental al regular el flujo de aire y pulpa, lo que impacta directamente en la eficiencia del proceso de recuperación de cobre.

En este sentido, la presente investigación plantea como pregunta principal: ¿Cuál es el diseño de mejora, de ejes de las válvulas dardo, de una celda de flotación de cobre, que optimizará el proceso de mantenimiento en la unidad minera Constancia Hudbay Perú? Asimismo, se establece como objetivo general: Elaborar un diseño de mejora de ejes de las válvulas dardo, de una celda de flotación de cobre para optimizar el proceso de mantenimiento, en la unidad minera Constancia Hudbay Perú.

Esta investigación resulta de gran importancia, ya que busca mejorar significativamente la operatividad de las válvulas dardo, equipos esenciales en las celdas de flotación. El diseño propuesto pretende aumentar la vida útil de los componentes críticos, reducir la incidencia de fallas no programadas y optimizar los tiempos dedicados al mantenimiento. Como resultado, se espera lograr un impacto positivo en la eficiencia global del proceso de flotación y, por fin, en la productividad de la unidad minera.

La investigación está organizada en los siguientes capítulos:

Capítulo I: Describe el planteamiento y formulación del problema, los objetivos de la investigación, su justificación, hipótesis y la definición de las variables de estudio.

Capítulo II: Desarrolla el marco teórico, incluyendo antecedentes relevantes a nivel internacional, nacional y local, las bases teóricas y la definición de los términos clave.

Capítulo III: Presenta la metodología empleada, el diseño del estudio, la población y muestra, así como las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección y análisis de datos.

Capítulo IV: Expone el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, así como la discusión de los mismos.

Finalmente, el documento concluye con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos, los cuales complementan y respaldan el desarrollo del estudio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1.Planteamiento del problema

Hoy, con el avance de la tecnología y el uso creciente de maquinaria en las industrias manufactureras, los inversores y gerentes consideran diferentes formas de disminuir las fallas repentinas de la maquinaria y aumentar su vida útil, con el objetivo de obtener el mayor rendimiento posible del equipo al menor costo (Avakh et al., 2020). En este nuevo escenario, la competitividad empresarial se fortalece no sólo a través de la “palanca clásica” de la reducción de costes, sino también mediante la aplicación de un enfoque organizativo que promueva la innovación y mantenga la competitividad en el futuro (Di Nardo, et al., 2021). Por lo tanto, contar con un sistema de mantenimiento eficiente implica contar con actividades encaminadas a mantener la vida útil de los equipos en óptimas condiciones de operación para evitar la ocurrencia de fallas imprevistas (Borroto, et al., 2021).

Sin embargo, para las empresas europeas, los principales puntos críticos son el Down time no planeado y el mantenimiento de emergencia (90 %), el envejecimiento de la infraestructura y tecnología de IT (88 %), la conexión de activos modernos y el análisis de datos (76 %), la obtención de datos de activos (40 %), la conexión de activos antiguos y la obtención de datos (29 %), los ciclos de mantenimiento (24 %), la conexión de activos a lugares remotos (24 %), el monitoreo de activos en tiempo real (22 %) y la colaboración con proveedores (20 %) (INFRASPEAK Team, 2023). Por otro lado, en 2021, el 42,5 % de las empresas en los Estados Unidos gastaron el 21-40 % de su presupuesto operacional en equipos/materiales de limpieza y mantenimiento.

Cerca del 35,79 % gastaron solo el 1-20 %, el 16,78 % gastaron el 41-60 %, el 3,36 % gastaron el 61-80 % y el 1,57 % gastaron más del 80 % (Bohne, 2024).

Por otro lado, en 2023, el mercado latinoamericano de gestión de instalaciones alcanzó un valor aproximado de USD 4,23 mil millones. Se calcula que el mercado crecerá a una tasa anual compuesta del 7.70% entre 2024 y 2032, para alcanzar un valor de 8,25 mil millones de USD en 2032 (EMR, 2023). Así mismo, en Colombia, el índice de productividad total del equipamiento de transporte, de excavación - carga y buldóceros al 6to año de explotación, cuyos valores han sido 51.72 %, 48.88 % y 55.51 % respectivamente, mostrando reducciones de productividad del parque de máquinas entre el 44% y el 51%, dentro de las principales causas que han influido en la reducción del índice de productividad del parque de máquinas está la disponibilidad técnica (Guerra y Montes, 2019).

La importancia del mantenimiento para la competitividad y operatividad de la Unidad Minera Constancia es vital; ya que, ayuda a reducir costos, prolongar la vida útil de los equipos y evitar paradas innecesarias, lo que resulta en el aumento de la productividad y minimización de tiempo perdido por fallas mecánicas. De igual modo, el mantenimiento de las celdas de flotación de cobre es esencial para garantizar su funcionamiento eficiente en la recuperación de concentrado de cobre, oro, plata y molibdeno, así como para separar los metales no deseados. Puesto que, el proceso se basa en la inyección de aire y la agitación controlada, donde las partículas de cobre se adhieren a burbujas que flotan, mientras los relaves se hunden para su eliminación.

Por otro lado, en las operaciones de las plantas concentradoras de cobre, un desafío persistente se centra en las inspecciones y actividades de mantenimiento que involucran las celdas de flotación. Dichas intervenciones incluyen la limpieza de los mecanismos de agitación, la calibración y supervisión de las válvulas dardo, así como la verificación de los sistemas de aireación. Además, se requiere un monitoreo continuo del desgaste de componentes críticos, tales como: rotores, estatores y, particularmente, los ejes de las válvulas dardo.

Las válvulas dardo tienen un rol primordial en el control del nivel de pulpa dentro de las celdas de flotación, operadas a través de actuadores neumáticos que funcionan en sincronía con sensores ultrasónicos y flotadores para medir y regular el nivel de espuma. No obstante, el ambiente operativo en el que estas válvulas desempeñan su función se caracteriza por condiciones extremas de abrasividad y corrosividad. Esta situación demanda, para su mantenimiento, el vaciado total de la celda de flotación, lo que genera

una parada total de la planta concentradora, afectando directamente la continuidad operativa y la productividad.

Entre todos los componentes críticos, los ejes de las válvulas dardo son particularmente susceptibles al desgaste debido a la combinación de abrasión, corrosión y fricción resultante del contacto con los guidores de poliuretano y el mineral concentrado presente en el interior de las celdas. Esta situación obliga a su reemplazo frecuente, lo que incrementa significativamente los costos asociados a repuestos, mano de obra y tiempos de inactividad, además de exponer al personal de mantenimiento a riesgos inherentes al entorno minero.

Esta problemática pone de manifiesto la necesidad de optimizar el diseño de los ejes de las válvulas dardo, a fin de aumentar su durabilidad y minimizar los costos operativos derivados de su mantenimiento. Dichas mejoras no solo contribuirán a reducir las interrupciones en el proceso productivo, sino también a fortalecer la seguridad laboral y la eficiencia operativa en la unidad minera. Por ende, abordar esta problemática desde una perspectiva integral es fundamental para garantizar una operación sostenible y competitiva en el sector minero.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Pregunta general

¿Cuál es el diseño de mejora de ejes de las válvulas dardo, de una celda de flotación de cobre, que optimizará el proceso de mantenimiento en la unidad minera Constancia Hudbay Perú?

1.2.2. Preguntas específicas

- a) ¿Cuál es la situación actual del proceso de mantenimiento?
- b) ¿Cuáles son los principales factores que influyen en la optimización del proceso de mantenimiento?
- c) ¿Cuál es la propuesta del diseño de mejora que optimiza el proceso de mantenimiento?
- d) ¿Cómo influyen los parámetros operativos en los resultados técnicos y económicos del circuito de flotación rougher de cobre?

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Elaborar un diseño de mejora de ejes de las válvulas dardo de una celda de flotación de cobre para optimizar el proceso de mantenimiento en la unidad minera Constancia Hudbay Perú.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Analizar la situación actual del proceso de mantenimiento.
- b) Identificar los principales factores que influyen en la optimización del proceso de mantenimiento
- c) Realizar la propuesta del diseño de mejora que optimiza el proceso de mantenimiento.
- d) Evaluar los resultados técnicos y económicos derivados de la operación de las celdas de flotación rougher, para validar el desempeño del sistema frente a los estándares de la industria

1.4.Justificación

1.4.1. Justificación práctica

La presente investigación se justifica desde un enfoque técnico y práctico, dado que busca optimizar el diseño del eje de las válvulas dardo originalmente fabricado por el proveedor del equipo, con el propósito de mejorar los tiempos de mantenimiento y, en consecuencia, aumentar la disponibilidad operativa de la celda de flotación en la unidad minera Constancia de Hudbay Perú. Además, esta modificación contribuirá a reducir la exposición del personal a condiciones de riesgo durante las intervenciones de mantenimiento, lo que se alinea con los estándares de seguridad minera. Del mismo modo, se espera una disminución significativa en los costos asociados a la adquisición de repuestos y a la mano de obra, impactando positivamente en la gestión de costos operativos de la empresa. Por último, mediante la evaluación de los resultados obtenidos tras la implementación del nuevo diseño, se podrá determinar su viabilidad y efectividad en términos de eficiencia, seguridad y costo-beneficio, proporcionando así una base técnica para futuras optimizaciones en equipos similares.

1.4.2. Justificación económica

La justificación económica de la presente investigación radica en la optimización de la estructura del eje dardo, con el propósito de incrementar la disponibilidad operativa del equipo y extender su vida útil, lo que generará un impacto económico positivo. En lugar de proceder con un reemplazo integral del componente, se plantea una sustitución segmentada de 1.60 metros de longitud, estrategia que permitirá reducir significativamente los costos de adquisición de repuestos sin comprometer la funcionalidad del sistema. Además, la implementación de esta mejora estructural contribuirá a la extensión de los intervalos de mantenimiento correctivo, disminuyendo la frecuencia de intervención técnica y optimizando la asignación de recursos. En conjunto, estos factores fortalecerán la eficiencia operativa y la rentabilidad del equipo, alineándose con los principios de sostenibilidad financiera en el contexto de la operación minera.

1.4.3. Justificación socioambiental

Desde una perspectiva socioambiental, la presente investigación representa un aporte sustancial en la mitigación del impacto ambiental y la mejora de las condiciones laborales en entornos mineros. La reducción de la necesidad de reemplazo integral del eje dardo no solo disminuye el volumen de residuos industriales generados, sino que también fomenta una gestión más eficiente y sostenible de los materiales, alineándose con principios de economía circular y eficiencia en el uso de recursos. Adicionalmente, la optimización en los intervalos de mantenimiento conlleva una menor exposición del personal a entornos operativos de alto riesgo, fortaleciendo así las condiciones de seguridad ocupacional y promoviendo el bienestar del capital humano. En este sentido, la investigación trasciende la mera eficiencia económica para integrarse en un enfoque holístico de sostenibilidad, en el que convergen la optimización de recursos, la responsabilidad ambiental y la mejora en la calidad de vida de los trabajadores dentro del sector minero.

1.5.Importancia

La relevancia de esta investigación radica en su contribución sustantiva a la optimización del proceso de mantenimiento en celdas de flotación, fundamentada en los principios de mejora continua y eficiencia operativa.

La propuesta metodológica busca maximizar la disponibilidad del equipo, minimizar costos asociados al mantenimiento y optimizar el uso de recursos mediante estrategias de intervención técnica avanzadas. Asimismo, la reducción de los tiempos de intervención y la mitigación de afectaciones operativas se traducen en un incremento de la productividad y una mejora en la rentabilidad del sistema. En este contexto, la investigación no solo representa una innovación técnica orientada a la mejora en la durabilidad y funcionalidad del equipo, sino que también establece un modelo replicable para la implementación de estrategias de mantenimiento optimizadas dentro de la industria minera, alineadas con estándares de sostenibilidad y competitividad.

1.6.Delimitación

1.6.1. Delimitación temporal

La investigación se desarrollará en un periodo comprendido entre marzo y septiembre de 2024, asegurando una planificación estructurada que permita la recopilación de datos, la implementación de mejoras y el análisis de resultados dentro de un marco temporal definido y eficiente.

1.6.2. Delimitación espacial

El estudio está centrado en la Unidad Minera Constancia, que pertenece a la compañía HUSBAY PERU SAC. La mina está ubicada al sureste de Los Andes, en los distritos de Chamaca y Livitaca, provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco. y la investigación se basa exclusivamente en las celdas de flotación Rougher de 300 m3.

1.7.Variables

1.7.1. Descripción de variables

a. Variable independiente

Diseño de mejora del eje de válvulas de las celdas de flotación: El eje de válvula, en una celda de flotación, es un componente mecánico crítico que forma parte del sistema de regulación y control del flujo de aire o pulpa dentro del equipo (Wills y Finch, 2015)

b. Variable dependiente

Optimización de proceso de mantenimiento: Un plan de mantenimiento se refiere a un conjunto de acciones programadas y coordinadas con el objetivo de preservar el funcionamiento de los activos, equipos o sistemas, asegurando su operación óptima y prolongando su vida útil (Espinosa et al., 2012).

1.7.2. Operacionalización de variables

A continuación, se presenta la tabla de operacionalización de variables relaciona la variable independiente diseño de mejora del eje de válvulas de las celdas de flotación con la variable dependiente optimización del proceso de mantenimiento. Esto permite identificar las dimensiones e indicadores de cada variable a estudiar (Véase Tabla 1).

Tabla 1. *Operacionalización de variables*

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Diseño de mejora del eje de válvulas de las celdas de flotación	Planificación	- Cantidad de recursos necesarios
	Control	- Evaluación de resultados
Optimización de proceso del mantenimiento.	Disponibilidad	- Eficiencia operativa
	Costos	- Reducción de costos

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Barragán et al. (2023) en su investigación titulada “Aplicación de las filosofías de mantenimiento productivo total y mantenimiento centrado en la confiabilidad en la empresa HANDMADE SHOES S. A de CV”, elaboraron un programa de conservación basado en las filosofías de mantenimiento productivo total y mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar las medidas de desempeño se debe mejorar el servicio prestado a los componentes físicos por parte del área de mantenimiento. Con la finalidad de mejorar el plan de mantenimiento y aumentar la productividad en el proceso de operación es necesario mejorar la confiabilidad de las máquinas de producción de la empresa estableciendo y aplicando nuevas estrategias de mantenimiento, mejorando las condiciones de operatividad, sin olvidar la seguridad, haciendo una evaluación de los riesgos para conocer cuáles son los peligros y adoptar medidas para controlarlos con eficacia. Con el RCM centraremos la atención en maximizar la disponibilidad y desempeño de equipos, mientras que con el TPM lo que se hace es mejorar la calidad y aumentar la seguridad industrial, por lo que la decisión de la aplicación de cualquiera de estas metodologías en una organización agrega valor a toda la organización (Barragán, et al., 2021).

Bustillos (2022) en su investigación titulada “Implementación de Plan de Mantenimiento Centrado en la Disponibilidad Mecánica de la Chancadora Primaria 24”X36” en Sociedad Minera Corona S.A.”, implementaron un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad mecánica de la chancadora primaria

Rogers de 24"x36". Se utilizó información primaria de pruebas realizadas entre enero y julio de 2020, se obtuvo una disponibilidad mecánica del 83 al 86%. Debido a estos resultados bajos, se decidió aplicar un plan de mantenimiento preventivo entre agosto de 2020 y enero de 2021, logrando aumentar la disponibilidad mecánica al 90-94%. Esta tesis es de tipo tecnológico y de nivel aplicado, y tiene como objetivo definir las características del nuevo programa de mantenimiento preventivo para optimizar la disponibilidad de la chancadora primaria Rogers (Bustillos, 2022).

Rodríguez (2018) en su investigación titulada "Propuesta de programa de mantenimiento preventivo para celdas de flotación FL50 en planta concentradora de minerales", menciona lo importante es tener un programa de mantenimiento preventivo para la celda de flotación FL50 y garantizar la disponibilidad y fiabilidad del equipo, con el fin de no desperdiciar el recurso no renovable que se está extrayendo de los yacimientos. Se presenta la propuesta de un programa basado en las tareas descritas en los manuales específicos del equipo, apoyado en los conocimientos adquiridos en la formación académica y respaldada en la literatura técnica de temas afines de mantenimiento industrial (Rodríguez, 2018).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Landa (2024), en su tesis titulada "Análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación y su influencia en el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay-Oyón-2023" menciona la importancia del diagnóstico con la técnica del análisis causa raíz, apoyado en catálogos y principalmente con la intervención del personal de operación y mantenimiento. Objetivo: La finalidad es distinguir las causas que afectan el acelerado desgaste de los equipos de rodamientos. Metodología. El estudio presenta un tipo básico, nivel descriptivo, diseño no experimental y método hipotético deductivo. Además, cumple con los requisitos metodológicos de una investigación cuantitativa, donde se utilizaron conocimientos de la ciencia y la experiencia. Resultados. La utilización de la técnica "análisis causa raíz" y "5 porqués", evidenció identificar la restauración y renovación de repuestos, nivelación en sus bases, cumpliendo los protocolos de seguridad. Conclusión, se pudo determinar los factores que influyeron en el deterioro de los rodamientos y mal funcionamiento de las celdas de flotación (Landa, 2024).

Llantoy (2023), en su trabajo titulado "Implementación de metodología RCM para reducir los costos de mantenimiento en las celdas Rougher en una empresa minera" optimizó la confiabilidad de los equipos y sistemas utilizados en el proceso de

flotación Rougher, lo que conlleva a una reducción de costos, una mayor productividad y una disminución de incidentes operativos. Se han implementado planes de mantenimiento detallados, con instrucciones claras y pautas para la ejecución de tareas de mantenimiento de acuerdo con las estrategias seleccionadas. Se ha promovido una cultura de confiabilidad entre el personal a través de capacitaciones y concientización sobre la importancia de mantener los activos de manera eficiente y segura. La implementación del RCM en el sector minero con celdas Rougher ha llevado a una mejora significativa en la confiabilidad de los activos, reduciendo los tiempos de inactividad no planificados y aumentando la eficiencia operativa. Además, se ha observado una disminución en los incidentes de seguridad, lo que contribuye a un entorno de trabajo más seguro (Llantoy, 2023).

Hilario (2022) en su estudio titulado “Diseño de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de la planta concentradora–compañía minera Casapalca”, propone diseñar un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos, recopilando y ordenando toda la información de los avisos de mantenimiento, para así poder diseñar un programa de mantenimiento preventivo y predictivo en los periodos correspondientes. Al realizar el plan de mantenimiento, desarrollando las actividades del mantenimiento preventivo y predictivo, elaborando la lista de repuestos críticos, programas de cambio de repuestos, formato de tareas definidas, procedimientos de mantenimiento, monitoreo de vibraciones, monitoreo de control de temperatura, monitoreo al análisis de aceite, monitoreo desgaste de componentes, formatos de inspecciones y capacitación del personal se consiguió aumentar el indicador de disponibilidad promedio en un 3.63%. La metodología que se consideró en el desarrollo de la tesis fue: el descriptivo y aplicativo, con el desarrollo de actividades del plan de mantenimiento que involucró a todos los colaboradores (Hilario, 2022).

Vasquez y Padilla (2022), en su tesis titulada “Propuesta de mantenimiento preventivo en celdas de flotación Cleaner KYF-100 para mejorar productividad en planta de cobre minera – Chinalco”, tiene como finalidad proponer la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos del área de flotación de celdas en la planta procesadora de cobre Chinalco - Perú. Así mismo, se llevó a cabo un análisis del estado actual del mantenimiento en la planta, y se identificó las principales causas de fallas en las máquinas, las cuales incluyen factores relacionados con métodos, mano de obra, materiales y condiciones ambientales. Además, se realizó una evaluación económica y financiera del plan de mantenimiento propuesto. Por lo tanto,

la implementación del plan permitiría un ahorro de S/. 29,427, con un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 12,326 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 23.74%, logrando recuperar la inversión en un periodo de 3 años y 10 meses (Vasquez y Padilla, 2022).

Huillca y Suzanibar (2019) en su tesis titulada “Implementación de una Estrategia de Mantenimiento Basado en Condiciones mejora la Confiabilidad de los equipos de Celda de Flotación en una compañía Minera, 2019”, mencionan que el objetivo de la aplicación de una estrategia de mantenimiento basada en condiciones, aplicando las siete fases, para determinar el modo de fallo de los equipos de celda de flotación de manera jerárquica utilizando la técnica de análisis de criticidad, el resultado determina que herramienta se puede utilizar, en la presente investigación se trabaja con la herramienta de análisis de vibraciones, ultra sonido, Monitoreo de temperatura (termografía) e inspección visual, para determinar la causa crítica de falla para realizar un plan de mantenimiento. Es importante mencionar que la muestra siguió una distribución normal mediante el software SPSS versión 24. Al finalizar el presente estudio se llegó a la conclusión que la estrategia de mantenimiento basado en condiciones mejora la confiabilidad de los equipos de celda de flotación en una Compañía Minera (Huillca y Suzanibar, 2019).

Carrillo (2019), en su tesis, “Plan de mantenimiento de conos central y canaletas en celdas de flotación ok100 en planta concentradora de la Minera Cuajone-Moquegua” menciona la necesidad de mejorar la baja disponibilidad que es 84.5% de la canaleta y cono central en celdas de flotación Ok100. El trabajo investigado es básica de nivel descriptivo, cuyo objetivo es realizar un plan de mantenimiento de las canaletas y cono central en celdas de flotación OK 100 en planta concentradora de la minera Cuajone- Moquegua, para ello se recolectó información de los equipos críticos, inspecciones diarias, check list, y todo lo concerniente a documentación de mantenimiento, para su estudio se utilizó la estadística inferencial para la prueba de hipótesis donde se logró incrementar la disponibilidad de 3.55% para que cumpla su función el cono central y canaletas en celdas de flotación en la minera Cuajone – Moquegua (Carrillo y Vladimir, 2019).

Inca (2019), en su investigación titulada “Diseño de un modelo de mejora en la línea de ingreso de aire a una celda de flotación (BGRIMM KYF-300) en una empresa minera de extracción de cobre 2018”. plantea la optimización de la línea de ingreso de aire a la celda de flotación (BGRIMM KYF-300), dado que los trabajos por mantenimiento rutinario han incrementado en su frecuencia, por tanto, propuso diseñar una modificación en la línea de ingreso de aire de la celda de flotación que

permita mejorar la disponibilidad del equipo y evitar que las fallas recurrentes por un diseño de fábrica inadecuado puedan ocasionar una falla catastrófica en el equipo (Inca, 2019).

Prado (2018), en su tesis “Desarrollo de un aplicativo móvil para fortalecer la identificación, evaluación y control de riesgos en procesos de mantenimiento de celdas de flotación en industria minera” contribuyó con la identificación y control efectivo de los peligros y riesgos a los que están expuestos trabajadores que realizan las labores de mantenimiento en celdas de flotación en planta concentradora. La metodología utilizada es de carácter general dividida en tres fases: identificación y caracterización de la problemática por medio de la revisión de la literatura y estado del arte. Por tanto, la solución propuesta responde efectivamente a la identificación y control de peligros y riesgos, así como la inserción de herramientas tecnológica de bajo costo y alta aceptación en procesos de mantenimiento del sector minero (Prado, 2018).

Collantes (2017), en su tesis titulada “Propuesta de implementación del mantenimiento preventivo en las celdas de flotación Kyf-300 para mejorar la productividad en planta de cobre-Chinalco-Perú”. con el objetivo de mejorar la productividad. Su estudio, enmarcado como un proyecto factible con un enfoque descriptivo de investigación de campo, tomó como población una máquina y cuatro operadores, abarcando la totalidad de estos en la muestra. Para la recopilación de datos, se utilizaron la observación directa y entrevistas informales, complementadas con fichas de registro y cuestionarios. Los resultados confirmaron la viabilidad de la propuesta, destacando que la aplicación del mantenimiento preventivo optimizaría el rendimiento operativo de la maquinaria y reduciría la necesidad de mantenimientos correctivos. Además, se estimó un ahorro de S/. 2,942.70, con un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 6,023.78 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 13%, proyectando la recuperación de la inversión en cinco años (Collantes, 2017).

Ccarita (2017), en su investigación titulada “Diseño de un controlador predictivo generalizado multivariable para el control de una celda de flotación tipo columna utilizada en el proceso de recuperación de cobre. 2017”, menciona como objetivo el diseñar un controlador predictivo generalizado (GPC) multivariable para el control efectivo de una celda de flotación tipo columna utilizada en el proceso de recuperación de cobre. El modelo matemático obtenido tiene un grado de aceptación FIT superior a 80%. Se realizaron evaluaciones comparativas del sistema de control de la celda de flotación tipo columna, con los controladores GPC multivariable y PI diseñados

considerando diferentes escenarios de operación e índices de desempeño. Se determinó que, el mejor desempeño del sistema de control se obtiene cuando se aplica el controlador GPC multivariable diseñado (Ccarita, 2017).

Campos (2024), en su investigación titulada “Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para incrementar la productividad en la planta concentradora de una empresa minera, Áncash, 2022”, menciona la implementación de un programa de mantenimiento preventivo como objetivo, con el fin de eliminar o reducir las paradas de los equipos de la planta concentradora y de esta manera mejorar la disponibilidad operativa e incrementar la productividad de una empresa minera. Los resultados obtenidos de la implementación del programa de mantenimiento preventivo incrementaron la disponibilidad operacional de los equipos y redujeron, considerablemente, las horas de parada por problemas mecánicos o por problemas de operación (Campos, 2024).

Pariapaza (2021), en su estudio titulado “Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera” menciona la importancia de determinar la medida en que la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, mejora la productividad en el área de mantenimiento, así como el análisis de modo de efectos y fallas, para finalmente programar las actividades de mantenimiento, con lo cual se pretende mejorar la eficiencia y eficacia del área de mantenimiento, con lo cual se mejoró la eficiencia del área de 94% a 98%, así como la eficacia incrementando de 95% a 97%, lo que se ve reflejado en una mejora de la productividad de 89% a 95% con lo cual se demostró que la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera, 2021 (Pariapaza, 2121).

2.2.Bases teóricas

2.2.1. Flotación

La flotación es un proceso fisicoquímico que permite la separación de los minerales restantes que forman la mayor parte del sustrato de la roca madre, incluyendo los contaminantes (CISTERNAS et al., 2016).

2.2.2. Celdas de flotación

La celda de flotación es un equipo fundamental en el procesamiento de minerales, diseñado para separar partículas de interés económico (como metales o minerales) de material no deseado (ganga), aprovechando las diferencias en sus propiedades superficiales. Según Wills y Finch (2015), este dispositivo opera mediante la adhesión selectiva de partículas hidrofóbicas (repelentes al agua) a burbujas de aire, las cuales ascienden a la superficie formando una espuma rica en mineral valioso, mientras las partículas hidrofílicas (afines al agua) permanecen en la pulpa. Este proceso, conocido como flotación, es ampliamente utilizado en la industria minera para concentrar sulfuros de cobre, zinc, plomo y otros metales (Wills y Finch, 2015).

La eficacia de la celda de flotación depende de factores como el tamaño de las burbujas, la agitación de la pulpa y la química de los reactivos (colectores, espumantes y modificadores). Gupta y Yan (2016) destacan que su diseño incluye componentes clave como un sistema de agitación mecánica o neumática, un mecanismo para inyectar aire y una zona de separación espuma-pulpa (Gupta & Yan, 2016). Además, Nguyen y Schulze (2003) enfatizan que el éxito del proceso radica en la interacción fisicoquímica entre las partículas y las burbujas, regulada por fuerzas como la tensión superficial y la humectabilidad (Nguyen y Schulze, 2003).

En aplicaciones industriales, las celdas de flotación pueden variar en tamaño y complejidad, desde unidades pequeñas en laboratorios hasta sistemas de gran escala, como las celdas columnares (Finch y Dobby, 1991), que optimizan la recuperación de partículas finas mediante columnas verticales sin agitación mecánica. La versatilidad de esta tecnología la ha consolidado como un pilar en la metalurgia extractiva, siendo clave para la economía de proyectos mineros (Dunne, 2019).

2.2.3. Tipos de celdas de flotación

A. Celdas mecánicas (Agitadas)

Las celdas mecánicas, también llamadas "agitadas", son las más tradicionales y emplean un impulsor o rotor para mezclar la pulpa y generar burbujas de aire. Según Wills y Finch (2016), este diseño permite una alta turbulencia, lo que favorece el contacto entre partículas y burbujas, ideal para minerales sulfurados como cobre y zinc (Wills y Finch, 2015). Autores como Gupta y Yan (2016) destacan que su mecanismo rotor-estator (ejemplo: celdas Denver o Wemco) es versátil y adaptable a distintas escalas, desde laboratorios hasta plantas industriales. Sin embargo, su consumo energético es mayor comparado con otros tipos (Gupta y Yan, 2016).

B. Celdas columnares

Desarrolladas en la década de 1980, las celdas columnares operan sin agitación mecánica. Finch (1995) explica que son estructuras verticales altas donde las burbujas se inyectan en la base y ascienden, interactuando con partículas finas o ultrafinas (Finch, 1995). Este diseño, según Finch y Dobby (1990), mejoran la selectividad en etapas de limpieza, como en la concentración de molibdeno o fosfatos. La ausencia de partes móviles reduce el mantenimiento, pero requiere un control preciso de parámetros como el flujo de aire y la altura de la columna (Finch y Dobby, 1991).

C. Celdas neumáticas

Estas celdas generan burbujas mediante inyección directa de aire, sin utilizar impulsores mecánicos. Gupta y Yan (2016) las describen como eficientes en términos energéticos, especialmente para partículas gruesas o en operaciones donde se prioriza la simplicidad del diseño (Gupta y Yan, 2016). Un ejemplo son las celdas neumáticas de flujo libre, utilizadas en la industria del carbón para separar pirita. Sin embargo, su aplicación es menos común en minerales complejos debido a la dificultad para controlar el tamaño de burbuja.

D. Celdas Jameson

Diseñadas por Harbort et al. (1994), estas celdas destacan por su tubo de descenso (downcomer), que crea una succión natural al mezclar aire y pulpa (HARBORT y otros, 1994). Según Hourm y Halbe (1999), este mecanismo genera burbujas finas y una alta recuperación en espacios reducidos, siendo

ideales para minerales refractarios o plantas con limitaciones de espacio. Su uso es frecuente en la flotación de carbón y metales base como el cobre.

E. Celdas de gran volumen (TankCell®)

Modelos modernos como la TankCell® de Metso Outotec representan la evolución hacia celdas de gran capacidad (hasta 600 m³). Dunner (2019) resalta que estas celdas optimizan costos operativos en minería a gran escala, como en yacimientos de cobre en Chile, al reducir el número de unidades requeridas y mejorar la homogenización de la pulpa (Dunne, 2019).

2.2.4. Válvulas dardo

La válvula de dardo ha sido diseñada para sistemas atmosféricos, en todos aquellos procesos mineros, en los cuales se deban controlar fluidos abrasivos, tales como: relaves de cobres, pulpas y concentrados en cajones de traspaso, Celdas rougher y Scavenger.

2.2.5. Eje de válvula

El eje de válvula en una celda de flotación es un componente mecánico crítico que forma parte del sistema de regulación y control del flujo de aire o pulpa dentro del equipo. Según Wills y Finch (2016), en celdas mecánicas (como las Denver o Wemco), este eje está vinculado al mecanismo de agitación y a la válvula que regula la entrada de aire, garantizando una distribución homogénea de burbujas en la pulpa (Wills y Finch, 2015). Su función principal es ajustar la cantidad de aire inyectado, lo que influye directamente en la eficiencia del proceso de flotación al controlar el tamaño y la estabilidad de las burbujas (Dunne, 2019).

Gupta y Yan (2016) enfatizan que, en diseños modernos, el eje de válvula puede integrarse con sistemas automatizados para optimizar parámetros como la presión y el caudal de aire, especialmente en celdas de gran volumen (Gupta y Yan, 2016). En celdas columnares, Finch (1991) menciona que el eje puede asociarse a válvulas de control ubicadas en la base de la columna, regulando el flujo ascendente de burbujas y mejorando la recuperación de partículas finas (Finch, 1995).

Además, en celdas neumáticas, el eje de válvula opera como parte del sistema de inyección de aire sin agitación mecánica, permitiendo una operación de bajo consumo energético, como señalan Rubio et al. (2007) en aplicaciones ambientales.

2.2.6. Mantenimiento

El mantenimiento puede definirse como el conjunto de tareas que se deben llevar a cabo en instalaciones y equipos con el propósito de corregir o prevenir fallos, asegurando que sigan funcionando de acuerdo con su diseño original (Hernández et al., 2020). Así mismo, el mantenimiento se presenta como la única función operativa que impacta y optimiza simultáneamente tres aspectos clave del rendimiento industrial: los costos, el ahorro de energía y la calidad de productos y servicios (Martínez y Ruiz, 2023). Por lo tanto, es fundamental en una organización y está vinculado con la aplicación de técnicas que garantizan el uso adecuado y continuo de equipos, maquinaria, instalaciones y servicios, durante el mayor tiempo posible, con el objetivo de alcanzar la máxima disponibilidad y el mejor rendimiento (González et al., 2020).

2.2.7. Gestión de mantenimiento

Según Moybray (2006) la evolución del mantenimiento presentó tres generaciones: la 1ª (correctivo, reactivo), donde solo se actuaba tras una falla; la 2ª (preventivo/predictivo), que introdujo tareas programadas y monitoreo "a condición" para prevenir averías; y la 3ª (optimización avanzada), centrada en mejora continua, tecnología y análisis de datos para maximizar eficiencia. El orden original (3ª, 2ª, 1ª) parece invertido, pero refleja una transición desde la reactividad hacia sistemas proactivos e inteligentes, integrando innovación en cada etapa (Véase Figura 1).

La gestión del mantenimiento es un proceso muy importante porque debe ser planificado, metódico y sobre todo innovador, e involucrar a todos los niveles de gestión desde las operaciones hasta la alta dirección.

“En algunos casos, existe una brecha entre las partes operativa y administrativa, lo que conduce a una mala planificación y fallas en la ejecución de los procesos, lo que reduce la disponibilidad y, lo que es más importante, la confiabilidad, lo que genera altos costos de mantenimiento y acorta la vida útil de los componentes” (Espinosa et al., 2012).

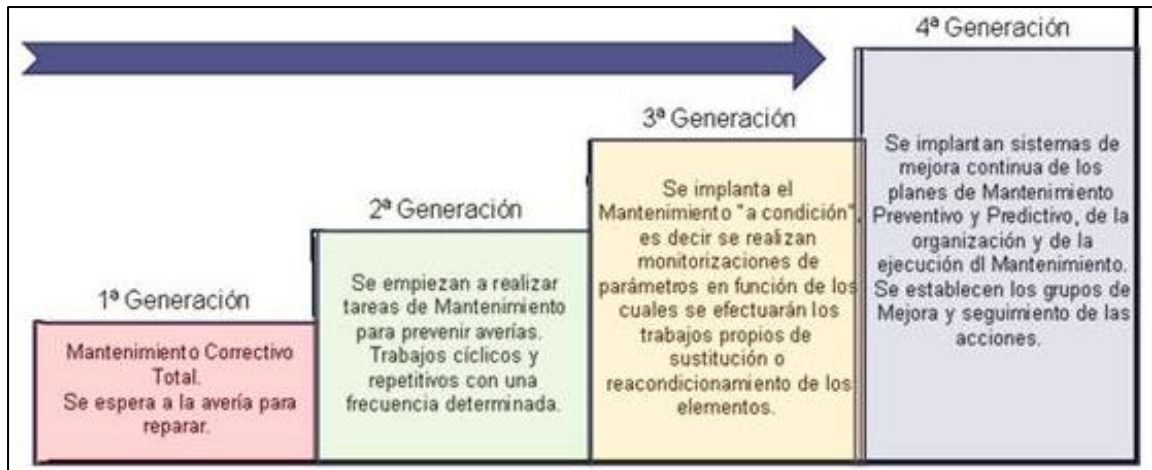


Figura 1. *Evolución del mantenimiento. Adaptado de "Mantenimiento Centrado en la confiabilidad" de Moybray (2006)*

2.2.8. Plan de mantenimiento

Un plan de mantenimiento se refiere a un conjunto de acciones programadas y coordinadas con el objetivo de preservar el funcionamiento de los activos, equipos o sistemas, asegurando su operación óptima y prolongando su vida útil (Arroyo y Obando, 2022). Este plan incluye actividades de inspección, reparación, y reemplazo de componentes, orientadas a evitar fallos o paradas inesperadas (Cordero y Estupinan, 2018). Este plan está basado en datos históricos, análisis de fallas y pronósticos, y tiene el propósito de minimizar el tiempo de inactividad y optimizar los recursos disponibles (Mafla et al., 2022). Así mismo, la creación de este plan se basa en el análisis de la criticidad de los equipos y su importancia para el proceso productivo; puesto que, este plan es crucial para la reducción de costos asociados a fallos imprevistos y para la maximización de la fiabilidad del equipo (Medina, 2022).

2.2.9. Mantenimiento correctivo

Es el mantenimiento que se realiza para reactivar la maquinaria y el equipo que ha dejado de funcionar debido a un daño o avería. Por lo general, esto conlleva la interrupción de las actividades productivas y la necesidad de reprogramar o reprocesar algunos de los trabajos planificados (Fernández et al., 1998).

2.2.10. Mantenimiento preventivo

Este tipo de mantenimiento se lleva a cabo según un programa planificado, basado en un conjunto de actividades programadas de acuerdo con un cronograma que establece las acciones de mantenimiento en función de fechas específicas, horas de uso, días de operación o unidades procesadas. Las interrupciones en la operación son mínimas y anticipadas, al igual que el reproceso o reprogramación de tareas. Además, se prevén los recursos necesarios, como repuestos, lubricantes y personal especializado, lo que contribuye a reducir los costos y minimizar el impacto en la continuidad de las operaciones (Gómez, 1998).

2.2.11. Mantenimiento predictivo

Se basa en el uso de herramientas como rayos X, ultrasonido, análisis de vibraciones y otras técnicas para diagnosticar el desgaste y la probabilidad de fallo de distintos componentes de maquinaria y equipos, especialmente en las partes móviles con mayor riesgo de deterioro. Para implementarlo, es necesario contar con equipo especializado y personal capacitado para interpretar los datos. Aunque su costo es relativamente alto, su potencial permite reducir significativamente las intervenciones correctivas. Las interrupciones y reprogramaciones de las actividades productivas son mínimas (Pombo et al., 1978).

2.2.12. Relación de mantenibilidad y gestión de mantenimiento

Es una característica fundamental en el diseño de un sistema, ya que está estrechamente relacionada con el área de soporte. Los resultados de una buena mantenibilidad tienen un impacto directo en los requisitos de mantenimiento que se necesitan. Cuando se mencionan los factores de mantenibilidad, se debe tener en cuenta tanto los requisitos cualitativos como los cuantitativos para el respaldo del sistema. Es de vital importancia para poder determinar los efectos que un área ejerce sobre otra (Wills y Finch, 2015).

El indicador clave para evaluar la mantenibilidad es comúnmente conocido como el tiempo medio para reparar (MTTR).

$$\text{MTTR} = \text{Horas de paralización} / \text{número de paralizaciones}$$

La disponibilidad es el aspecto que mide de manera cuantitativa la eficiencia funcional de un componente o equipo. Considerar esto es de suma importancia.

$$\text{Disponibilidad mecánica (\%)} = \frac{\text{Hora operación}}{\text{operación} + \text{Hrs de paradas}}$$

2.2.13. Planeamiento

El planeamiento es un instrumento útil de gestión que ayuda a la toma de decisiones en las empresas conforme a las actividades que se desean programar o trascender en un futuro para poder adecuarse al plan de trabajo, también a los cambios que se presenten y a las demandas que el entorno exige con respecto a la eficiencia, calidad en bienes y servicios, etc. Por tanto, se define al planeamiento como el intento de crear un futuro y no presentar fallas en los hechos, esto vincula al presente con el futuro y conocimiento teórico con la acción. Es concebir un futuro deseado y los medios para poder llegar a éste

El planeamiento es un método que sirve para la intervenir en producir un cambio en el curso sobre la tendencia de los eventos que se presentan. Este planeamiento está limitado por las condiciones que se presentan en el entorno empresarial o en la misma sociedad. El planeamiento surgió como instrumento en las grandes empresas, las cuales se vinieron desarrollando transnacionalmente; estas técnicas fueron aplicadas posteriormente en políticas públicas. La planeación de actividades de mantenimiento es necesario para conseguir, las metas, objetivos, y la constancia de los procesos para conseguir todo lo anteriormente propuesto, un aspecto a tomar en cuenta es el orden de las tareas primordiales, determinando la cantidad de tiempo para completar cada tarea y determinar el tipo de maquinaria, herramienta y labor necesaria para completar esa tarea. La planeación de mantenimiento también concierne las actualizaciones de las destrezas y habilidades propias del

personal de mantenimiento, capacitándolos constantemente. El planeamiento también establece límites y tolerancias para fijar metas.

2.2.14. Desempeño

Se define al desempeño como una herramienta que mide el concepto que se tiene con respecto al trabajo que se realiza en una determinada labor y también de los colaboradores que la efectúan. Esta herramienta brinda toda la información así también de las competencias individuales con la finalidad de incrementar mejoras continuas para lograr las metas definidas en el área y la empresa.

2.2.15. Costos

Es un gasto económico que se realiza o se genera por la producción de bienes o servicios. Los costos también son involucrados con la adquisición de insumos. Pago de trabajadores, gastos de producción y administrativos, entre otros.

La fabricación de productos en un menor tiempo menor costoso es lo que los gerentes en las organizaciones buscan, ya que de esta manera conseguirán hacerse más competentes, siendo los costos factores claves en la toma de decisiones, suele confundirse los costos con los gastos, pero estos no son lo mismo. Mediante el punto de equilibrio las empresas determinan el volumen requerido para producir, con la finalidad de que los costos variables alcancen a los costos fijos en el punto de equilibrio.

2.2.16. Indicadores de desempeño a nivel de calidad en mantenimiento

Nakajima (1991), para lograr una efectividad óptima del equipo y garantizar un TPM rentable, es esencial considerar dos factores fundamentales: mantener registros precisos de la operación del equipo y crear una escala precisa para evaluar las condiciones de operación de este (Nakajima, 1991). Así que, resulta imprescindible establecer métricas que posibiliten una evaluación y medición adecuadas del desempeño del equipo cuando la colaboración entre los equipos comienza a decaer (Rodriguez, 2012). Suele suceder que, en estas circunstancias, se cuestione la causa de los problemas y se asuma que estos surgieron de cuestiones operativas que no están directamente asociadas con la función de mantenimiento (Tavares, 2016). La falta de trabajo en equipo y de intereses comunes dificulta la identificación de las verdaderas fuentes de pérdida. Si una empresa muestra con frecuencia

comportamientos como "yo reparo el equipo y tú lo operas", será complicado mejorar la Eficiencia Global del Equipo (OEE) en una planta.

2.2.16.1. Tasa de Cumplimiento del Plan de Mantenimiento (TCPM)

Según Mobley (2008), este indicador refleja la disciplina en la ejecución de planes de mantenimiento, esencial para evitar fallos críticos (Moubray, 2006). Crespo (2007) añade que una TCPM superior al 90% reduce el riesgo de paradas no planificadas en equipos como bombas o celdas de flotación (Crespo, 2007). Kelly (2006) destaca que su cálculo debe incluir ajustes por prioridades operativas, no solo cumplimiento ciego (Kelly, 2006).

$$TCPM = \left(\frac{Tareas\ completadas\ a\ tiempo}{Tareas\ programadas} \right) * 100$$

2.2.16.2. Índice de Calidad de Reparaciones (ICR)

Crespo (2007) lo vincula a la capacitación del personal y al uso de manuales técnicos (CRESPO, 2007). Nakajima (1991), creador del TPM, argumenta que un ICR bajo (<95%) indica deficiencias en la estandarización de procesos (Nakajima, 1991). Jardine & Tsang (2006) proponen que este indicador debe considerar no solo retrabajos, sino también el tiempo perdido en reintervenciones (Jardine y Tsang, 2006).

$$ICR = \left(1 - \frac{Reintervenciones}{Total\ de\ reparaciones} \right) * 100$$

2.2.16.3. Disponibilidad Operativa (DO)

Parida y Kumar (2006) señalan que la DO es un indicador clave para evaluar la confiabilidad de activos críticos, como turbinas o trituradoras (Parida y Kumar, 2006). ISO 55000:2014 establece que una DO óptima (>95%) requiere equilibrio entre mantenimiento preventivo y correctivo. Kelly (2006) advierte que una DO excesivamente alta puede indicar sobreinversión en recursos (Kelly, 2006).

$$DO = \left(\frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo total}} \right) * 100$$

2.2.16.4. Costo de Mantenimiento por Unidad Producida (CMUP)

Kelly (2006) sostiene que el CMUP permite comparar eficiencia entre plantas o sectores (Kelly, 2006). Nakajima (1991) lo integra en el TPM para medir el impacto de las mejoras continuas (Nakajima, 1991). Mobley (2008) advierte que un CMUP muy bajo podría reflejar mantenimiento insuficiente, aumentando riesgos operativos (Moubray, 2006).

$$CMUP = \left(\frac{\text{Costo total de mantenimiento}}{\text{Unidad producida}} \right)$$

2.2.16.5. Eficacia Global del Equipo (OEE)

Nakajima (1991) popularizó el OEE en el TPM, proponiendo que un valor >85% indica excelencia (Nakajima, 1991). Jardine y Tsang (2006) añaden que el OEE debe desglosarse para identificar cuellos de botella (ej.: fallos en celdas de flotación) (Jardine y Tsang, 2006). Parida y Kumar (2006) enfatizan su uso en industrias de procesos continuos, como refinerías (Parida y Kumar, 2006).

$$OEE = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$$

2.2.17. Tiempo medio entre fallas

Se trata de un indicador que refleja el tiempo medio en el que un equipo opera sin experimentar fallos. En otras palabras, se refiere al lapso promedio que pasa entre el momento en que ocurre una falla y cuando se produce (Moubray, 2006). Para calcular el MTBF, se sigue el siguiente procedimiento:

$$\text{Tiempo producido} = \text{Tiempo disponible} - \text{Tiempo de inactividad}$$

$$MTBF = \left(\frac{\text{Tiempo producido}}{\text{Número de fallas}} \right)$$

2.2.18. Tiempo medio entre reparaciones

Este indicador refleja el tiempo promedio necesario para llevar a cabo reparaciones o intervenciones mecánicas en una máquina. La máquina se encuentra en estado de reparación y durante ese tiempo no está disponible para su uso. Este texto ofrece detalles sobre cómo realizar una gestión adecuada de la planificación y del taller, así como de otras áreas como logística y suministro de recursos necesarios para llevar a cabo los servicios (Moubray, 2006).

$$MTTR = \left(\frac{\text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de fallas}} \right)$$

2.2.19. Disponibilidad

Respecto a la disponibilidad, es el objetivo primordial del mantenimiento; es la confianza de que un componente (equipo o maquinaria) realice su función de modo satisfactorio para un momento determinado. La disponibilidad se manifiesta como la cantidad de tiempo en que el componente está preparado para operar de modo continuo; es por esto por lo que, para el diseño de equipos, se requiere buscar un equilibrio entre la disponibilidad y el costo, y en base a los requerimientos pueden variar los niveles de disponibilidad para disminuir dichos costos (Moubray, 2006). Para obtener la disponibilidad de los componentes se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{tiempo programado} - \text{tiempo de parada}}{\text{tiempo programado}} * 100 \%$$

2.2.20. Mejora de procesos

Esto refiere al conjunto de acciones orientadas hacia una finalidad, que vendría a ser la mejora de los procesos operativos, mediante el cual se contribuye a la satisfacción de los clientes y la mejora de la competencia de la organización en el mercado. Asimismo, al ejecutar la mejora en los procesos, se espera tomar decisiones óptimas además de eficientes grupos laborales.

2.3. Definición de términos básicos

Actividad: son tareas establecidas y adecuadamente coordinadas con el propósito del alcance de un objetivo (Avakh et al., 2020).

Desempeño: en una empresa, se entiende como el proceso gestionable que junta varios componentes, como el talento, la infraestructura, el contexto de negocios y los resultados esperados en la empresa (Borroto et al., 2021).

Disponibilidad: puede definirse como la relación entre el tiempo en que un componente queda en disponibilidad para operar y el tiempo total de reparación (Collantes, 2017).

Gestión: es un conjunto de operaciones ejecutadas para dirigir y administrar una empresa; asimismo, se define como las acciones ejecutadas para conseguir o resolver alguna situación (Hernández et al., 2020).

Mantenimiento: es la conservación de un objeto en buen estado o en una situación determinada para evitar su deterioro (Bustillos, 2022).

Unidad minera: es una unidad económica, que bajo el control de un solo propietario, realiza actividades mineras que puede ser la extracción, explotación y/o beneficio de minerales tanto metálicos o no metálicos, y que tiene centros operativos como son: zonas de extracción, galerías, obras e instalaciones, los cuales se ubican contiguamente en un espacio geográfico determinado. Dicha unidad minera puede estar constituida por varias minas y puede incluir su propia planta (Prado, 2018).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1.Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

Para esta investigación se aplicará el método deductivo con un alcance descriptivo, según Hernández et al. (2014) señalan que la investigación descriptiva consiste en presentar la información tal cual es, por tanto tomando en cuenta los antecedentes previamente identificados como punto de partida para descubrir nuevos aspectos en el mantenimiento del equipo a través de las inspecciones y análisis de los procesos de mantenimiento, se detectará actividades que no aportaban valor ni eficiencia en el proceso del mantenimiento, así como los sobrecostos asociados, con el fin de implementar modificaciones que optimicen los procedimientos del mantenimiento y operatividad del equipo. De igual manera, se usará el método analítico, fragmentando el tema en componentes individuales para evaluar sus consecuencias, este enfoque se fundamentará con la observación de casos particulares. Del mismo modo, esta investigación es de alcance explicativo, ya que, no solo describe la configuración y funcionamiento de las celdas de flotación, sino que también analiza las causas de ineficiencias detectadas y sus consecuencias en la recuperación de mineral; puesto que, este enfoque explicativo fundamenta la propuesta de mejora en el control

automatizado de nivel y el mantenimiento predictivo, asegurando una operación alineada con las metas productivas.

3.1.2. Enfoque de la investigación

Este estudio presenta un enfoque mixto, según Hernández et al. (2014) señalan que el enfoque mixto un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación que implican la recolección, análisis e integración de datos cuantitativos y cualitativos. Por lo tanto, este estudio es de enfoque mixto; ya que, combinas un enfoque cuantitativo (análisis de datos numéricos de reportes) con un enfoque cualitativo (entrevistas a supervisores). Esto permite tanto medir de manera objetiva el impacto de las mejoras en ejes y válvulas, como interpretar la raíz de los problemas y afinar el diseño de la solución.

3.1.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación no experimental, según Hernández et al. (2014), “el diseño no experimental es aquel que se realiza sin manipular deliberadamente la variable, es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural para después ser analizados” (Hernández et al., 2014).

El diseño no experimental resulta especialmente pertinente, ya que las actividades y procesos de mantenimiento en la unidad minera serán evaluados tal como ocurren en el entorno operativo de los equipos de flotación de cobre, esto garantizará que los datos recopilados reflejen con fidelidad la situación actual del proceso de mantenimiento y proporcionen una base sólida para identificar problemas, analizar tendencias y proponer mejoras.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

U.M. Constanza HBP, de los 30 colaboradores del área de mantenimiento mecánico planta conforma la población.

3.2.2. Muestra

Dado que la población no es grande se utilizará una muestra censal

3.3.Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- 3.3.1. **Entrevista.** - Se lleva a cabo con los mantenedores, operadores, supervisores y jefes de guardia del área de procesos planta, con el propósito de obtener información detallada sobre los procedimientos operativos vigentes. buscando profundizar en el conocimiento de los métodos y procedimientos de mantenimiento implementados.
- 3.3.2. **Revisión documentaria.** - Se recopilará información disponible dentro de la empresa, datos relacionados con la mantenibilidad y disponibilidad de componentes de las celdas de flotación, informes técnicos, **registros** de fallas, hojas de trabajo y otros documentos, para evaluar la eficiencia operativa, la mantenibilidad de los equipos y los recursos humanos involucrados.

3.4.Instrumentos de análisis de datos

- 3.4.1. **Entrevista.** - Se diseñará una entrevista, orientado a recopilar información relevante de los mantenedores, operadores, supervisores y jefes de guardia del área de procesos planta relacionados con los procesos de mantenimiento en la unidad minera. Este instrumento será accesible a través de un cuestionario en línea, lo que permitirá una mayor facilidad de uso, alcance y rapidez en la obtención de datos. Las preguntas estarán organizadas en categorías, como la identificación de problemas, la evaluación de procedimientos actuales y la percepción sobre posibles mejoras.
- 3.4.2. **Fichas de revisión documentaria.** - Se utilizarán fichas de revisión para sistematizar el análisis de documentos relacionados con los procesos de mantenimiento. Estas fichas estarán divididas específicamente para registrar **información** relevante, como datos técnicos de los equipos, registros de fallas, tiempos de intervención, frecuencia de mantenimiento, y otros elementos importantes. La revisión abarcará fuentes como bases de datos internas, órdenes de trabajo, informes de mantenimiento y registros operativos, garantizando un análisis exhaustivo y organizado de la documentación disponible.

3.5.Análisis de datos

Para el tratamiento de la información en esta investigación, se empleará el software SPSS Statistics versión 26, herramienta que permitirá realizar un análisis estadístico detallado y riguroso. En primer lugar, se aplicará un análisis descriptivo con el fin de examinar la situación actual del proceso de mantenimiento. Para ello, se calcularán medidas de tendencia central, como la media, la mediana y la moda, así como medidas de dispersión, incluyendo la desviación estándar y la varianza. Posteriormente, se realizará una prueba de normalidad para determinar la distribución de los datos, lo que permitirá definir la aplicabilidad de pruebas paramétricas o no paramétricas. En caso de que los datos no sigan una distribución normal, se optará por pruebas no paramétricas adecuadas para el análisis. Además, se llevará a cabo un análisis de correlación con el objetivo de identificar la relación entre los principales factores que influyen en la optimización del mantenimiento. Finalmente, se aplicará un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar diferencias significativas entre las variables estudiadas. Este análisis permitirá validar la efectividad del diseño de mejora propuesto, asegurando que la solución planteada contribuya de manera significativa a la optimización del proceso de mantenimiento en la unidad minera Constancia Hudbay Perú.

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1.Descripción de la empresa y sus procesos

Hudbay llegó a Perú con la adquisición del proyecto de cobre Constancia en 2011. Completamos la construcción de Constancia en 2014 y la mina pasó de la primera producción a la producción plena en solo cinco meses. Las operaciones de Constancia también incluyen el cercano tajo satélite Pampacancha, un depósito de cobre y oro de alta ley donde las actividades mineras comenzaron en 2021. Adquirimos una serie de propiedades cerca de Constancia, agregando un gran bloque contiguo de prospectos de exploración a una distancia en camión de la instalación de procesamiento de Constancia. Hudbay es una empresa minera centrada en el cobre con tres operaciones de larga duración y una cartera de proyectos de crecimiento de cobre de clase mundial en jurisdicciones de primer nivel favorables a la minería de Canadá, Perú y Estados Unidos.

La cartera operativa de Hudbay incluye la mina Constancia en Cusco (Perú), las operaciones de Snow Lake en Manitoba (Canadá) y la mina Copper Mountain en Columbia Británica (Canadá). El cobre es el principal metal producido por la empresa, que se complementa con una importante producción de oro. La cartera de proyectos de crecimiento de Hudbay incluye el proyecto Copper World en Arizona, el proyecto Mason en Nevada (Estados Unidos), el proyecto Llaguen en La Libertad (Perú) y varias oportunidades de expansión y exploración cerca de sus operaciones existentes.

El valor que Hudbay crea y el impacto que tiene se plasman en su declaración de propósitos: “Nos preocupamos por nuestra gente, nuestras comunidades y nuestro planeta. Hudbay proporciona los metales que el mundo necesita. Trabajamos de manera sustentable, transformamos vidas y creamos mejores futuros para las comunidades”. La misión de Hudbay es crear valor sustentable y rentabilidad sólida aprovechando sus fortalezas centrales en las relaciones con la comunidad, la exploración enfocada, el desarrollo de minas y las operaciones eficientes.

4.1.1. Procedimiento de operación del circuito de flotación en la minera

a) Objetivo

Establecer los lineamientos necesarios para la operación del circuito de flotación de la Planta Concentradora Hudbay Perú SAC, a fin de garantizar un trabajo seguro, cuidando el medio ambiente y socialmente responsable.

b) Alcance

Este procedimiento aplica a todos los trabajadores de la Planta Concentradora de Hudbay Perú SAC y socios estratégicos que estén involucrados en la operación del circuito de flotación.

c) Responsabilidades

- Gerente de procesos planta y proyectos. Responsable de asignar los recursos necesarios para la implementación y cumplimiento del presente procedimiento.
- Superintendente de producción. Responsable de revisar los procedimientos y hacer cumplir el presente procedimiento.
- Jefe de guardia. Organizar y proveer los equipos y herramientas necesarios para la tarea, así como instruir a todo el personal a su cargo, asegurando el entendimiento, seguimiento y cumplimiento del procedimiento. Inspeccionar el lugar donde se realizan los trabajos y coordinar con el jefe de guardia de mina los recursos para el trabajo: operadores, equipos y soporte topográfico. Hay que asegurar que los controles identificados en la Matriz IPERC y en el IPERC Continuo de la tarea sean implementados.
- Operador de flotación cobre y remolienda. Inspeccionar los equipos y herramientas a emplear, cumpliendo el presente procedimiento.

Informar inmediatamente a su supervisor de cualquier condición subestándar identificada

- Operador de flotación I. Personal de apoyo al operador de flotación de cobre y remolienda en la operación del área, inspección de equipos, cumplimiento del presente procedimiento. Informa a supervisión cualquier condición subestándar
- Supervisor de SSO, Supervisor MA. responsable de asesorar y verificar el cumplimiento del presente procedimiento.

d) Requerimiento de personal

A continuación se muestra la tabla titulada Requerimiento personal, donde se especifican las necesidades de talento humano, roles asignados y disponibilidad requerida para garantizar el óptimo desempeño de las actividades en la unidad minera (Véase tabla 2).

Tabla 2. Requerimiento de personal

Ítem	Descripción
1	Jefe de Guardia.
2	Supervisor de mantenimiento mecánico de planta.
3	Operador de flotación Bulk.
4	Mecánico de flotación.
5	Operador de sala de control.
6	Operador de Flotación I.

Fuente: Datos tomado de la empresa

e) Requerimiento de equipos de protección personal

A continuación se muestra la tabla titulada Requerimiento de EPPs, en la que se detallan los equipos de protección personal obligatorios, las normas de seguridad aplicables y la cantidad requerida por trabajador para garantizar las condiciones óptimas en las actividades de la unidad minera (Véase tabla 3).

Tabla 3. Requerimiento de equipos de protección personal

Ítem	Descripción
1	Casco.
2	Lentes (claros, oscuros).
3	Respirador (gases y polvo).
4	Protectores auditivos.
5	Guantes de neoprene o de látex G40 Jackson.

6	Botas de jebe de seguridad con punta de acero.
7	Chaleco o mameluco con cintas reflectivas.
8	Barbiquejo.
9	Tyvek.

Fuente: Datos tomado de la empresa

f) Requerimiento de equipos, herramientas y materiales

A continuación se muestra la tabla titulada Requerimiento de equipos, herramientas y materiales, donde se especifican las características técnicas, cantidades necesarias, frecuencia de mantenimiento y criterios de selección para garantizar la operatividad y eficiencia de los procesos en la unidad minera (Véase tabla 4).

Tabla 4. Requerimiento de equipos, herramientas y materiales

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Radios portátiles	2
2	teléfono celular	1
3	Linterna	1
4	Comba	1
5	Llave para abrir válvulas	1
6	Balanza Marcy	1
7	Muestreador	2
8	Grúa pedestal	1

Fuente: Datos tomado de la empresa

g) Inspección de equipos de flotación

- Antes de arrancar el circuito de flotación, el operador debe inspeccionar y verificar.
- Verificar que los equipos se encuentren energizados para el arranque tales como: motores, agitadores, bombas y válvulas en coordinación con personal de mantenimiento eléctrico.
- Verificar que los circuitos aguas abajo estén listos para recibir la carga.
- Que no haya materiales extraños en el interior de la celda.
- Cerrar los man hold y las válvulas de los drenajes de las celdas.
- Verificar que las válvulas y drenajes de hoppers y tanques estén

cerrados.

- Verificar que las compresoras (CP-007 y CP-008) de aire hacia celdas FC-031/FC-030 estén en condiciones para el arranque.
- Verificar que el aire de planta (CP- 003/4/5) estén en condiciones para el arranque
- Verificar que los blowers (BL- 001/2/3) se encuentren en condiciones adecuadas para el arranque.
- Verificar que los secadores de aire instrumental estén funcionando y que la presión de aire esté en el rango de operación normal.
- Verificar que las bombas de agua de sello estén funcionando y que el flujo esté en el rango de operación normal.
- Arranque de equipos en coordinación con la sala de control.
- Previamente se verifica la apertura y cierre de válvulas de ingreso de agua y aire al circuito de flotación
- Arrancar en modo manual los motores de los agitadores (FC- 001 al FC-014) rougher. Luego pasarlo a modo automático en sentido forward y reverse
- Arrancar en modo manual los motores de los agitadores (FC- 015 al FC-018) de cleaner 1B, los motores de los agitadores (FC- 020 al FC-024) de cleaner scavenger, los motores de los agitadores (FC- 026 al FC-028) de cleaner 1A. Luego pasarlo a modo automático en sentido forward y reverse.
- Coordinar con personal de mantenimiento instrumental para corroborar la operatividad de los sensores de nivel de cada celda de flotación, apertura y cierre de dardos, sensores de pH y sensores de nivel de tanques y hoppers.
- Se verifica la apertura y cierre de las válvulas de los hidrociclones 3264 – XV – 2376 al 3264 – XV –2383.
- Se adiciona agua a los hoppers para realizar prueba de arranque de las siguientes bombas:
- Arrancar la bomba de alimentación al Cleaner 1B (3253 – PU – 012) en modo manual, luego pasarlo a modo automático.
- Arrancar la bomba (3253 – PU – 021) de alimentación a las celdas columna cleaner 2(FC-031) en modo manual, luego pasarlo a modo automático.
- Arrancar la bomba (PU-902) de alimentación a la celda columna

cleaner 3(FC-030), en modo manual, luego pasarlo a modo automático.

- Arrancar la bomba de colas Cleaner Scavenger (3253 – PU – 014) en modo manual, luego pasarlo a modo automático.
- Arrancar la bomba de concentrado Cleaner Scavenger (3253 – PU – 024) en modo manual, luego pasarlo a modo automático.
- Arrancar la bomba (3253 – PU – 022) de concentrado de cleaner 3(FC-030) en modo manual, luego pasarlo en automático.
- Arrancar las bombas de descarga del IsaMill (3262 – PU – 033) en modo manual, luego pasar lo a modo automático.
- Arrancar la bomba del tanque de compensación (3261- PU – 026) que alimenta a los nidos de ciclones de remolienda en modo manual, luego pasarlo a modo automático.
- Arrancar las bombas de alimentación al IsaMill (3262 – PU – 028) en modo manual, luego pasarlo a modo automático.
- Arrancar la bomba de agua de sello del IsaMill (3262 - PU - 080) (3262 - PU - 081) en modo manual, luego pasarlo a modo automático.
- Arrancar el motor del molino IsaMill (3262 - ML – 005) en modo manual, luego pasarlo a modo automático.
- Arrancar las bombas sumidero (3253 – PU – 19, 3253 – PU-17, 3253 – PU – 23 y 3261 – PU-34).
- Verificar que las bombas de dosificación de reactivos se encuentren listos para arrancar.

h) Preparación previa al arranque del área de flotación

- Asegurarse que los circuitos aguas abajo estén listos para recibir la carga.
- Asegurarse que el soplador de aire para flotación Rougher, cleaner, la compresora de aire instrumental y aire de planta estén funcionando dentro del rango normal de operación.
- Asegurarse que los secadores de aire instrumental estén funcionando.
- Asegurarse que se tenga suministro de agua fresca y agua de proceso en las celdas de flotación.
- Verificar que las bombas de reactivos se encuentren en condiciones

de arranque y la respectiva cantidad de reactivos.

- Colocar equipos en modo manual.

i) Iniciar la secuencia de arranque

- Arrancar el Blower de aire de flotación
- Llenar todas las celdas de flotación rougher, cleaner-Scavenger con agua hasta el nivel de operación. Revisar que haya flujo entre cada celda rougher, cleaner y Scavenger poniendo cada controlador de nivel de celda en modo manual y abriendo ligeramente las válvulas dando desde cuarto de control. Cerrar las válvulas dando, poner el controlador nuevamente en modo automático.
- Arrancar las celdas de flotación, motores de los agitadores de las celdas, rougher, cleaner y scavenger.
- Después de arrancar cada celda, inicie el suministro de flujo de aire a las celdas Rougher, cleaner y Scavenger.
- Colocar cada uno de los controladores en modo automático. Luego activar el sistema experto.
- Una vez que todas las celdas rougher y Scavenger estén funcionando, verificar los niveles de los tanques de recepción de concentrado de rougher y scavenger y cuando alcancen un nivel mayor al 45% arrancar las bombas de alimentación a los diferentes circuitos.
- Luego arrancar las bombas PU- 009, PU-12, PU- 021, PU-024, PU-014. Si las celdas columnas alcanzan en nivel de operación (previamente arrancado los compresores CP - 007/8), se arranca PU – 015 y PU – 016. Una vez que el cajón HP – 008 alcance 45% de nivel se arranca PU-022. Revisar que todas las máquinas de flotación rougher y cleaner estén funcionando y que haya flujo de aire en cada celda.
- Colocar el controlador de nivel del TK-04 con la bomba PU – 26, en modo automático. Válvulas de alimentación a los ciclones deben estar abiertas 3264 – XV – 2376 al 3264 – XV – 2383.
- Mantener la válvula 3264 – XV – 2608 abierta para que llene el cajón HP-11, una vez esté al 45%, se arranca la 3266 – PU – 33
- Arrancar las bombas de dosificación de reactivos. Dosificar según lo que se requiera en la operación.

- Apertura válvulas de dosificación de cal, fijar el pH requerido según las condiciones de operación.
- Para el arranque del Molino Isamill, se inicia la secuencia de arranque en modo automático y seguir secuencia en el overview.
- En caso se requiera realizar pruebas de variación de parámetros, equipos (bombas, celdas, entre otros), para cumplimiento de KPI's, durante la operación, realizar reunión con las áreas involucradas, previa a pruebas.

j) Acciones en caso ocurriera arenamiento de celdas de flotación

Si la celda de flotación se encuentra con carga acumulada y apelmazada, se deberá comunicar a la supervisión de guardia y al mecánico de guardia, luego se procede a instalar tres lanzas de aire dirigidos hacia el estator, moviéndose de un punto a otro para poder liberar el mismo.

Se requiere bastante comunicación entre el personal involucrado en el desarmamiento de la celda.

4.1.2. Proceso de mantenimiento de celdas de flotación en la minera

a) Objetivo

Establecer los lineamientos necesarios para realizar la actividad cambio de eje principal del mecanismo de celdas de flotación y eje de las válvulas dardo de la planta Concentradora de Hudbay Perú SAC, a fin de garantizar un trabajo seguro, cuidando el medio ambiente y socialmente responsable.

b) Alcance

Este procedimiento es aplicable a todas las celdas de Flotación E-300 y E.-130 de la Planta Concentradora de Hudbay Perú SAC y Contratistas que realicen trabajos en el área de flotación de cobre.

c) Responsabilidades

- Gerente de procesos planta. - Responsable de asignar los recursos necesarios para la implementación y cumplimiento del presente procedimiento.

- Superintendente de mantenimiento mecánico. - Responsable de revisar los procedimientos y hacer cumplir el presente procedimiento.
- Supervisor de mantenimiento mecánico .-Facilitar a su personal los recursos necesarios para la ejecución óptima del presente instructivo, verificar el cumplimiento del presente procedimiento y cumplir con la orden de trabajo, cerrar la orden de trabajo, cumplir con el presente procedimiento, observando las condiciones de trabajo seguro, inspeccionar las herramientas a utilizarse, asegurando sus óptimas condiciones y con los requisitos de seguridad, inspeccionar y verificar el uso del EPP adecuado establecido para la tarea, organizar la cuadrilla de trabajo.
- Planificador de mantenimiento mecánico.- Responsable de cumplir con el presente procedimiento, planificar el alcance del trabajo de las estrategias del mantenimiento y programar la ejecución de los trabajos de acuerdo al plan de mantenimiento.
- Supervisor de SSO, Supervisor MA, Supervisor RC.- Responsable de asesorar y verificar el cumplimiento del presente procedimiento.
- Mecánico de planta.- Cumplir con el presente procedimiento, Colocar los candados y tarjetas de bloqueo del equipo. Preparar con anticipación los equipos, herramientas y materiales necesarios para el trabajo programado, inspeccionar sus herramientas manuales antes de usarlas, para asegurar su funcionamiento. Hacer entrega del equipo intervenido en perfectas condiciones operativas.
- Técnico electricista.- Responsable de cumplir con el presente procedimiento, deberá coordinar con el mecánico de planta para el bloqueo de los equipos a intervenir.
- Vigía.- Responsable de cumplir con el presente procedimiento, coordinará con el mecánico de planta los trabajos a realizar.

- Operador de equipos auxiliares y grúas II.- Responsable de cumplir con el presente procedimiento, coordinará con el supervisor de mantenimiento mecánico y/o mecánico de planta la operación de la grúa.
- Soldador.- Responsable de cumplir con el presente procedimiento, coordinará con el supervisor de mantenimiento mecánico los trabajos de soldadura y trabajos en caliente que se requieran en el presente trabajo.

d) Documentos de referencia

- Manuales del equipo
- DS.024-2016-EM “Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería”.
- DS.023-2017-EM “Modificatoria del D.S. 024-2016-EM”

e) Requerimiento de personal

A continuación, se muestra la tabla titulada Requerimiento personal, donde se especifican las necesidades de talento humano, roles asignados y disponibilidad requerida para garantizar el óptimo desempeño en el mantenimiento en la unidad minera (Véase tabla 5).

Tabla 5. Requerimiento de personal en el área de mantenimiento

Ítem	Descripción
01	1 Supervisor de mantenimiento mecánico.
02	1 Supervisor de seguridad.
03	8 Mecanico de planta
04	1 Técnico electricista.
05	1 Soldador
06	1 vigia para trabajos en caliente
07	1 vigia para espacios confinados
08	1 Operador de grua Torre
09	1 Rigger
10	2 Vienteros

Fuente: Datos tomado de la empresa

g) Requerimiento de equipos de protección personal

A continuación, se muestra la tabla titulada Requerimiento de EPPs, en la que se detallan los equipos de protección personal obligatorios, las normas de seguridad aplicables y la cantidad requerida por trabajador para

garantizar condiciones óptimas en el área de mantenimiento de la unidad minera (Véase tabla 6).

Tabla 6. Requerimiento de equipos de protección personal en el área de mantenimiento

Ítem	Descripción
01	EPP básico, casco de protección, barbiquejo, lentes de seguridad, zapatos de seguridad.
02	Arnes de seguridad con línea de vida doble
03	Mameluco descartable.
04	Botas de jebe
05	Guantes de Nitrilo
06	Tapones de oídos
07	Respirador de media cara
08	EPP para Soldador
09	Botas de Jebe.
10	Chaleco para Rigger
11	Equipo de monitoreo de gases, altair 4X

Fuente: Datos tomado de la empresa

h.- Requerimiento de equipos de apoyo

A continuación, se muestra la tabla titulada Requerimiento de equipos de apoyo, la cual detalla los recursos técnicos, herramientas especializadas y sistemas auxiliares necesarios para garantizar el mantenimiento preventivo y correctivo de la maquinaria, infraestructura y componentes críticos de la unidad minera, asegurando la disponibilidad operativa y reduciendo los tiempos de inactividad (Véase tabla 7).

Tabla 7. Requerimiento de equipos de apoyo

Ítem	Descripción	CANT.
01	Grua Torre	01
02	Camioneta 4x4	01
03	Camion grúa	01
04	Maquina soldar	01
05	Extractor de humos	01

Fuente: Datos tomado de la empresa

i) Requerimiento de repuestos

A continuación, se muestra la tabla titulada Requerimiento de repuestos en el área de mantenimiento, en la que se especifican los componentes críticos,

cantidades mínimas de inventario, códigos de referencia y criterios de reposición necesarios para garantizar la continuidad de las operaciones, reducir tiempos de inactividad y cumplir con los planes de mantenimiento preventivo y correctivo en la unidad minera (Véase tabla 8).

Tabla 8. *Requerimiento de repuestos*

Ítem	Descripción	CANT.
01	Ejes de valvulas dardo	12
02	Pernos de 5/8 x 2 pulgadas	320
03	Tuercas y arandela de preion 5/8	01
04	Pernos de 3/4 x 1 pulgada	90
05	Tuercas y arandela de 3/4	180
06	Guiadores de poliuretano	56

Fuente: Datos tomado de la empresa

j) Requerimiento de herramientas

A continuación, se muestra la tabla titulada Requerimiento de herramientas en el área de mantenimiento, en la que se especifican los instrumentos especializados, rangos de precisión, frecuencias de calibración y protocolos de uso requeridos para ejecutar tareas de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo en equipos críticos como molinos, bombas de lodo y sistemas de transporte de mineral (Véase tabla 9).

Tabla 9. *Requerimiento de herramientas*

Ítem	Descripción	CANT.
1	Caja de herramientas menores.	1
2	Cinceles con punta roma	5
3	Grilletes de 7/8	4
4	Eslingas de 4x2	2
5	Pistola neumatica encastre de ¾ y ½	2
6	Dado encastre de ½ pulgada de 14 mm, 16 mm, 19 mm, 24 mm, 27 mm	2
7	Llave mixta de 14 mm, 16 mm, 19 mm, 24 mm, 27 mm	2
8	Manguera de aire con acople rapido	4
9	Guiadores	4
10	Presintos y chicotes antilatigazo	8
11	Comba de 10 Lb	1
12	Tenaza de soldador	2
13	Tenaza a tierra.	2
14	Patas de Cabra	4

15	Reflectores 1000 W	4
16	Cables de soldar.	2
17	Escaleras Telescópica de 24 peldaños	1
18	Escaleras Telescópica de 16 peldaños	1
19	”Sogas de ¼, 5/8, ¾ * 6mt.	8
20	Barretas 42	2
21	Lampas	2
18	Flexometro 5mt	2
19	Llave Regulable de 12”,18”	2
20	Linternas	2
21	Calibrador de láminas	1
18	Espatula	2
19	Esmeril 4 ½”	2
20	Extensión 220 v	4
21	Elementos para la demarcación de áreas	-

Fuente: Datos tomado de la empresa

k) Requerimiento de materiales

A continuación, se muestra la tabla titulada Requerimiento de materiales en el área de mantenimiento, en la que se detallan los insumos esenciales, especificaciones técnicas, cantidades estimadas y estándares de calidad requeridos para ejecutar intervenciones de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo en equipos como: bombas hidráulicas, sistemas de ventilación y maquinaria pesada (Véase tabla 10).

Tabla 10. *Requerimiento de materiales*

Ítem	Descripción	CANT.	UNIDAD
01	Pasta antiagarrotante	05	Frasco
02	Trapo industrial	10	kg
03	Solvente ecológico	20	lt
04	Bolsas	25	Unidad
05	Wearing Compound	5	Baldes
06	Formador de empaquetadura	2	Unidad
07	Soldadura 6011 1/8”	2	Latas
08	Soldadura 7018 1/8”	2	Latas
09	Liquido penetrante WD-40	10	Latas

Fuente: Datos tomado de la empresa

l) Restricciones

- No se ejecutará el trabajo si los controles establecidos en el IPERC Continuo no están implementados o no cumplen con lo definido en el presente procedimiento
- Detener las actividades de alto riesgo en alerta naranja de tormenta eléctrica y evacuar al refugio designado en su lugar de trabajo en caso de alerta roja de tormenta eléctrica.
- Detener la actividad en caso de que durante el proceso de trabajo se presenten nuevos peligros o varíe algún riesgo a no tolerable alto, desarrollar la actualización del IPERC Continuo para luego continuar con el trabajo.
- Se restringe la actividad para el personal que tenga acreditaciones vencidas o no tenga acreditaciones según el alcance del trabajo.
- Detener el trabajo en caso de que alguna persona ajena y no autorizada ingresa al área demarcada.
- Detener el trabajo en caso de que no se tenga la presencia del supervisor durante el desarrollo de actividades de alto riesgo.

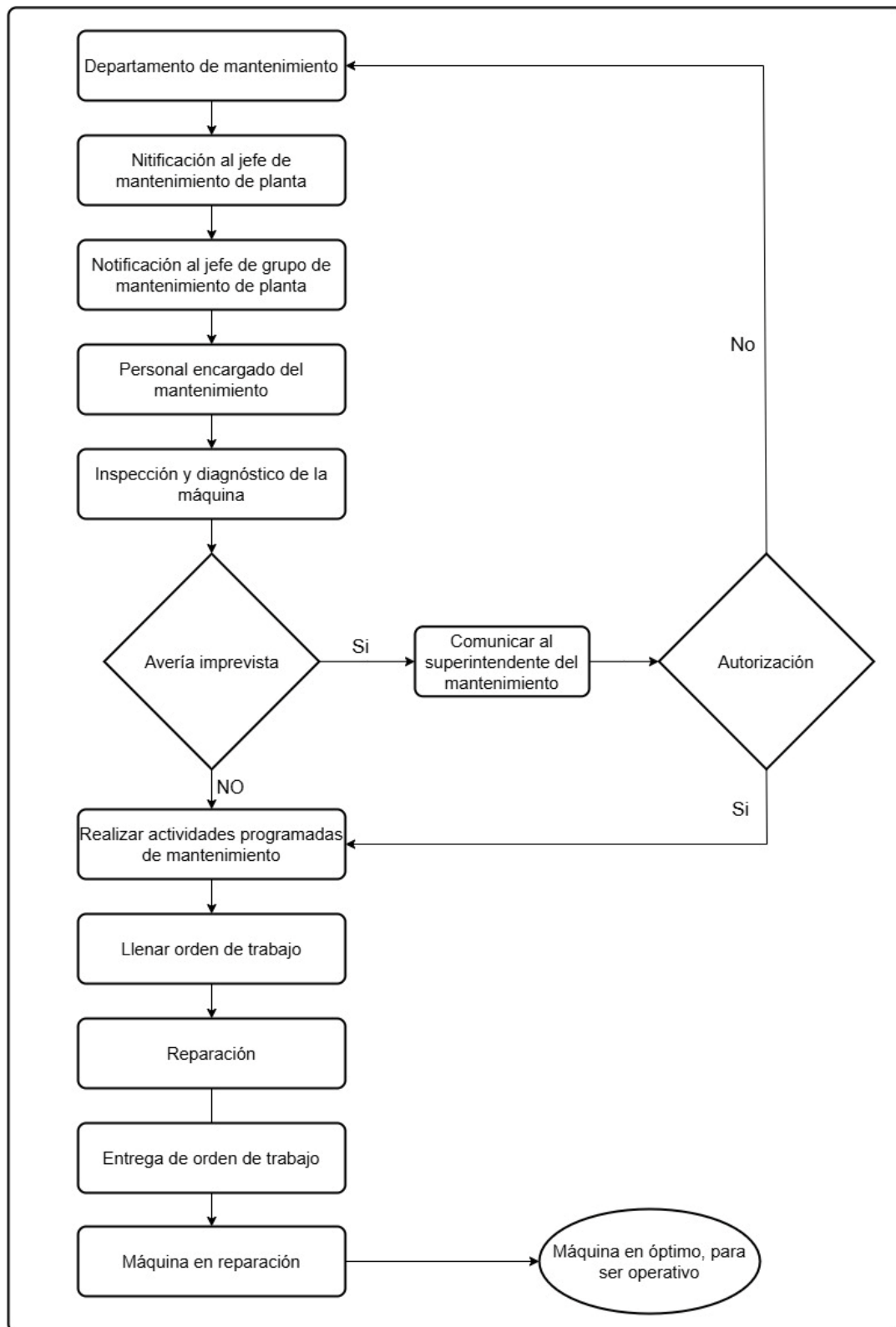


Figura 2. Flujograma del proceso de mantenimiento

4.1.3. Desarrollo de la tarea de mantenimiento

Etapas 1. Inspección de herramientas y llenado de registros

Todo el personal involucrado en la tarea, deberá llenar todos los permisos que le correspondan. Se encargarán de preparar todas las herramientas, materiales, repuestos

Etapas 2. Traslado de equipos, herramientas, consumibles

Estacionar la camioneta en un lugar seguro y colocar los conos de seguridad. Subir las estacionar la camioneta en un lugar seguro y colocar los conos de seguridad.

Etapas 3. Bloqueo múltiple del equipo

- Coordinar con operaciones para detener las bombas de alimentación y detener los motores eléctricos de las celdas de flotación, acompañar al electricista de planta en la realización del bloqueo eléctrico: bloquear la alimentación de energía; bloquear y aislar todas las líneas de alimentación de fluidos a las celdas, válvulas de mariposa de ingreso de aire al mecanismo, válvulas de ingreso de agua y reactivos.
- Coordinar con operaciones la detención del equipo. Se coordinará el testeado del equipo para verificar el corte de energía de la bomba.

Etapas 4. Mantenimiento de celdas de flotación

- Coordinación con los compañeros de trabajo/operador de la grúa torre.
- Monitoreo de gases de la celda de flotación.
- Ingreso del personal a la celda / herramientas a utilizar.
- Desacoplamiento del acople del eje de válvula dardo del actuador neumático
- Retiro de pernería de los conos dardo.
- Desmontaje de guardas de protección de los guidores de poliuretano del eje dardo, de la parte inferior de la celda
- Retiro de pernería de los guidores y retiro de los guidores.
- Se procede a instalar elementos de Izaje en el eje dardo para posterior retiro y amarre de vientos
- Una vez asegurado el eje dardo con elementos de Izaje y a la vez estar soportados por la grúa torre, recién se procederá al retiro de pernería de

los guidores de poliuretano del eje dardo, de la parte superior de la celda

- Coordinar en todo momento con los compañeros de trabajo y supervisión para evitar cualquier evento inesperado que se pueda presentar.
- Retiro de actuador neumático con apoyo de grúa torre.
- Retiro de ejes con la grúa torre.
- Traslado de ejes al exterior retiro de elementos de Izaje.
- Colocación de elementos de Izaje a los nuevos ejes y traslado a la celda.
- Montaje de ejes colocación de pernos, troqueo de pernos según manual
- Protección, colocación de tapones de los pernos.
- Verificación de alineamiento del eje de válvulas dardo.
- Retiro de equipos y herramientas del interior de la celda.
- Acoplamiento de líneas de aire al actuador de ejes de válvulas dardo.

Etapas 5. Desbloqueo del equipo

Coordinar con el supervisor de operaciones y electricista de turno el desbloqueo de los equipos involucrados, todo el personal, que utilizó sus tarjetas y candados de bloqueo, procederán a retirar los mismos.

Etapas 6. Orden y limpieza

Retirar los equipos y herramientas utilizados en la tarea, disponer de los residuos generados de acuerdo con el código de colores, dejando el área de trabajo limpio y ordenado.

4.1.4. Diagnóstico de la situación actual en KPI

El presente análisis técnico tiene como objetivo caracterizar exhaustivamente el estado funcional y estructural de las celdas de flotación de la planta de procesamiento, evaluando su desempeño operativo, la magnitud del desgaste de los componentes críticos y las necesidades inmediatas y a largo plazo de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo. Este estudio no solo permite identificar los principales puntos de fallo, sino que también contribuye a la implementación de estrategias de optimización basadas en el análisis de datos recopilados en campo.

4.1.4.1.Evaluación del estado operacional de las celdas de flotación

Se llevó a cabo un estudio detallado sobre las condiciones mecánicas y operativas de las celdas de flotación Rougher (Línea 1 y Línea 2) y Cleaner (Véase tabla 11, figura 2), identificándose los siguientes hallazgos relevantes:

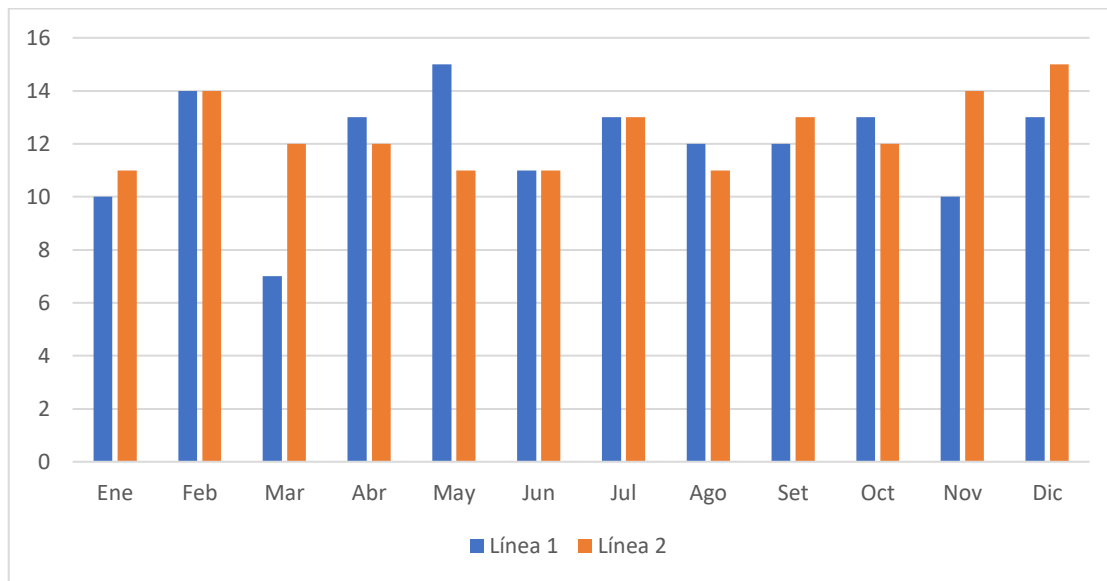
- **Integridad estructural:** Aunque la mayoría de las celdas presentan un adecuado estado de conservación, se evidenciaron signos de fatiga estructural en pernos y uniones mecánicas, lo que demanda intervenciones programadas de refuerzo y sustitución. Esta situación, de no ser atendida oportunamente, podría derivar en fallas operativas críticas y afectar la continuidad del proceso de flotación.
- **Componentes mecánicos:** Se detectaron deficiencias en rotores, estatores y ejes de dardos, con un desgaste crítico en varios de estos últimos, lo que compromete la estabilidad y eficiencia del sistema. Se recomienda una revisión integral de la geometría de los elementos para evaluar si su diseño actual responde a las exigencias operacionales
- **Sistema de transmisión:** Se observó la ausencia de protección en pernos del cajón de transmisión, por lo que se aplicó recubrimiento con flexane y wearing para optimizar la durabilidad del ensamblaje. Además, se recomienda la implementación de inspecciones periódicas para monitorear la adherencia y resistencia de dichos recubrimientos.
- **Guías y asientos de dardos:** Se identificó desgaste severo en diversas guías, procediéndose a su reemplazo para mitigar posibles fallas funcionales. Asimismo, se sugiere evaluar el material de fabricación de estos componentes con el fin de determinar si una actualización en su composición podría incrementar su vida útil.

Tabla 11. *Cantidad de fallas actuales*

Falla	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Desgaste del eje	2	3	1	2	4	2	3	1	2	3	2	2	27
Corrosión del eje	1	2	0	3	2	2	1	0	2	1	2	3	19
Fugas en la válvula dardo	0	1	2	0	1	3	2	2	1	0	1	1	14
Bloqueo por sedimentos	1	0	0	2	2	1	3	1	2	2	0	1	15
Desalineación del mecanismo	2	2	1	3	1	1	0	2	2	1	1	2	18
Fatiga del material	0	1	1	0	2	2	1	3	0	1	2	2	15
Fallas en el actuador	3	2	0	1	2	0	1	1	2	2	1	2	17
Rotura de pernos o soportes	1	3	2	2	1	0	2	2	1	3	1	0	18
N° Fallas Línea 1	10	14	7	13	15	11	13	12	12	13	10	13	143
Desgaste del eje	2	2	3	1	0	2	3	2	2	1	3	2	23
Corrosión del eje	0	1	1	2	3	0	2	1	3	0	1	2	16
Fugas en la válvula dardo	1	2	0	0	1	2	1	3	0	1	2	2	15
Bloqueo por sedimentos	2	3	2	1	2	2	1	0	2	3	2	1	21
Desalineación del mecanismo	0	1	2	3	1	0	2	2	1	2	0	3	17
Fatiga del material	3	2	1	2	0	1	3	1	0	2	2	2	19
Fallas en el actuador	1	0	2	2	2	1	0	2	3	2	1	1	17
Rotura de pernos o soportes	2	3	1	1	2	3	1	0	2	1	3	2	21
N° Fallas Línea 2	11	14	12	12	11	11	13	11	13	12	14	15	149
N° Fallas Acumuladas	21	28	19	25	26	22	26	23	25	25	24	28	292

Fuente: Datos tomado de la empresa

Figura 3. *Cantidad de fallas acumuladas*



Fuente: Datos tomado de la empresa

4.1.4.2. Análisis de modos de falla y evaluación de riesgos

El estudio técnico indicó problemáticas clave que deben ser abordadas con celeridad (Véase tabla 12):

- **Degradación acelerada de componentes:** La alta recurrencia de reparaciones en los ejes de dardos sugiere una necesidad imperativa de renovación integral para garantizar la estabilidad del sistema. Se recomienda la implementación de análisis predictivos mediante modelado computacional para prever con mayor precisión la vida útil de estos elementos.
- **Desajustes en la alineación de canaletas de descarga:** Se realizó la nivelación de estos elementos debido a irregularidades detectadas que afectaban la eficiencia del proceso de flotación. Para mejorar la estabilidad de las canaletas, se propone la instalación de sensores de monitoreo continuo que permitan detectar desviaciones en tiempo real.
- **Gestión de bloqueo de equipos:** e verificará la correcta implementación de protocolos de seguridad para prevenir riesgos asociados a intervenciones en las celdas, y se recomendará reforzar las capacitaciones en este aspecto con el objetivo de minimizar cualquier margen de error humano.

Tabla 12. Detalle de informe de celdas de flotación línea 01 y 02

EQUIPO	ROTOR estructura recubrimiento	ESTATOR estructura recubrimiento	DARDOS ajuste	GUÍAS SUPERIOR DE DARDO	GUÍAS INFERIORES DE DARDO	PARED DE CELDA
CELDA DE FLOTACION LINEA 1						
1	buen estado	buen estado	Eje de dardo A en mal estado	Se encontró en buen estado.	Se inspeccionó y se cambió.	buen estado
	Se realizó la inspección encontrando eje de dardo B con desgaste crítico y se procedió a su cambio se realizó la inspección de los pernos del cajón de transmisión sin protección, aplicando recubrimiento (flexane y wearing). Dejando equipo en buenas condiciones.					
2	buen estado	buen estado	Dardo B con desgaste	Se encontró en buen estado.	Se inspeccionó y se cambió.	buen estado
	Se realizó la inspección encontrando eje de dardo B con desgaste crítico y se procedió a su cambio se realizó la inspección de los pernos del cajón de transmisión sin protección, aplicando recubrimiento (flexane y wearing). Dejando equipo en buenas condiciones.					
3	buen estado	buen estado	Dardo A con desgaste	Se encontró en buen estado.	Se inspeccionó y se cambió.	buen estado
	Se realizó la inspección encontrando eje de dardo B con desgaste crítico y se procedió a su cambio se realizó la inspección de los pernos del cajón de transmisión sin protección, aplicando recubrimiento (flexane y wearing). Dejando equipo en buenas condiciones.					
4	buen estado	buen estado	Eje de dardo A en mal estado	Se inspeccionó y se cambió.	Se inspeccionó y se cambió	buen estado
	Se realizó la inspección encontrando eje de dardo B con desgaste crítico y se procedió a su cambio se realizó la inspección de los pernos del cajón de transmisión sin protección, aplicando recubrimiento (flexane y wearing). Dejando equipo en buenas condiciones.					
5	buen estado	buen estado	Eje de dardo A en mal estado	Se inspeccionó y se cambió.	Se inspeccionó y se cambió	buen estado
	Se realizó la reparación del eje de dardo en ambos dardos así mismo se verificó el estado de recubrimientos y cambio de guías quedando el equipo en buenas condiciones.					
6	buen estado	buen estado	Se encontró ejes de dardos con desgaste crítico.	Se inspeccionó y se cambió.	Se inspeccionó y se cambió	buen estado
	Se realizo el cambio de ambos ejes de dardo A y B por nuevo; se cambiaron guías de ambos ejes y se inspeccionó recubrimientos de rotor estator y eje principal verificando estado, así mismo se verificó estado de pared de celda quedando operativo.					
7	buen estado	buen estado	Se encontró eje dardo en mal estado	Se inspeccionó y se cambió.	Se inspeccionó y se cambió	buen estado
	Se inspeccionó eje de dardo encontrando desgaste y se reparó cortando la parte afectada realizando un injerto en el eje de dardo con procedimiento de soldadura inoxidable en ambos ejes de dardo.					
CELDA DE FLOTACION LINEA 2						
8	buen estado	buen estado	Eje de dardo A en mal estado	Se encontró en buen estado.	Se inspeccionó y se cambió.	buen estado
	Se hizo reparación del eje dardo A corte y soldadura de parte afectada; se cambió las guías de dardos en ambos, se verificó estado de recubrimientos de rotor y estator y se aplicó flexane en pernos de cajón de transmisión.					
9	buen estado	buen estado	Eje de dardo A en mal estado	Se encontró en buen estado.	Se inspeccionó y se cambió.	buen estado

10	Se hizo reparación del eje dardo A corte y soldadura de parte afectada; se cambió las guías de dardos en ambos, se verificó estado de recubrimientos de rotor y estator y se aplicó flexane en pernos de cajón de transmisión.					
	buen estado	buen estado	Eje de dardo B en mal estado	Se encontró en buen estado.	Se inspeccionó y se cambió.	buen estado
11	Se hizo reparación del eje dardo B corte y soldadura de parte afectada; se cambió las guías de dardos en ambos, se verificó estado de recubrimientos de rotor y estator y se aplicó flexane en pernos de cajón de transmisión.					
	buen estado	buen estado	Eje de dardo A en mal estado	Se encontró en buen estado.	Se inspeccionó y se cambió.	buen estado
12	Se hizo reparación del eje dardo A corte y soldadura de parte afectada; se cambió las guías de dardos en ambos, se verificó estado de recubrimientos de rotor y estator y se aplicó flexane en pernos de cajón de transmisión.					
	buen estado	buen estado	Eje de dardo A y B en mal estado	Se encontró en buen estado.	Se inspeccionó y se cambió.	buen estado
13	Se realizó la reparación del eje de dardo en ambos dardos así mismo se verificó el estado de recubrimientos y cambio de guías quedando el equipo en buenas condiciones.					
	buen estado	buen estado	Se encontró eje de dardo B roto	Se encontró en buen estado.	Se inspeccionó y se cambió.	buen estado
14	Se cambió eje de dardo B por nuevo; se cambiaron guías de ambos ejes y se inspeccionó recubrimientos de rotor estator y eje principal verificando estado, así mismo se verificó estado de pared de celda quedando operativo.					
	buen estado	buen estado	Se encontró eje dardo A en mal estado	Se encontró en buen estado.	Se inspeccionó y se cambió.	buen estado
	Se extrajo los pernos rotos del rotor y se instaló en el eje asegurando su ajuste y recubriendo con wearing y flexane; se cambió eje de dardo A nuevo y se realizó el cambio de guías nuevas en el equipo quedando operativo.					

Fuente: Datos tomado de la empresa

A continuación, se muestra el informe de *Inspección a celdas de flotación Rougher Línea 02*, el cual incluye imágenes detalladas que reflejan las condiciones actuales de los mecanismos de agitación, niveles de espuma, desgaste de impulsores y difusores, así como posibles anomalías identificadas durante la evaluación técnica (Véase Figura 3- 6).



Figura 4. Observaciones de motor y desmontaje de motor de la celda FC-014

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa



Figura 5. Montaje del rotor de la celda FC-014

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa



Figura 6. Inspección y cambio de eje de dardo en FC-014

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa



Figura 7. Cambio, ajuste y verificación de dardo B en la celda FC-013

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa

A continuación, se muestra el informe de inspección a celdas de flotación línea Cleaner, que incluye imágenes detalladas de las condiciones de las celdas, niveles de espuma, desgaste de raspadores y componentes internos, identificando oportunidades de mejora en la eficiencia de separación y la calidad del concentrado final (Véase figura 7-10).



Figura 8. Celda de flotación en la línea cleaner

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa



Figura 9. Guías de desgaste y de instalación

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa



Figura 10. Guías superiores de dardo y asientos de válvulas

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa



Figura 11. Nivelación de canaletas antes y después de la instalación

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa

A continuación, se muestra el informe de Inspección a celdas de flotación Línea 1, el cual incorpora imágenes detalladas que evidencian las condiciones de agitación, desgaste de impulsores, niveles de espuma y anomalías detectadas en componentes críticos, proporcionando un diagnóstico integral para la toma de decisiones en mantenimiento y optimización del proceso de concentración (Véase figura 11-14).



Figura 12. Eje de dardo roto y su instalación de la celda FC-005

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa



Figura 13. Guía dardo antes y después de su instalación

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa



Figura 14. Inspección y aplicación de recubrimiento wearing y flexane

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa



Figura 15. Eje de dardo antes y después de su instalación en la celda CF-006

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa

En la tabla 13, dedicada al KPI de Tiempo de Mantenimiento (MTTR), se observa que la mayoría de los equipos presentan un estado de “0” (dentro del rango esperado), aunque algunos registran “-1”, reflejando mayor tiempo de intervención; el total general asciende a 543.17 horas con un estado “1”, lo que sugiere un panorama global relativamente favorable. En la tabla 14, que muestra el KPI de la Vida Útil de los Ejes (MTBF), la mayoría de los valores son positivos y el total general de 2740.42 días con estado “1” indica un buen desempeño en términos de tiempo entre fallas. Por su parte, la tabla 15 (KPI de Cumplimiento) arroja un promedio de 88.91%, con algunos equipos en estado “-1” que evidencian oportunidades de mejora. La tabla 16, sobre disponibilidad de los ejes, registra un promedio de 81.60% (estado “0”), lo cual señala la necesidad de optimizar las paradas

no programadas y fortalecer la eficiencia operativa. Finalmente, la tabla 17 consolida el KPI de costos de mantenimiento, con un total de 117631.55 USD (estado “-1”), reflejando un incremento en el gasto que amerita la implementación de estrategias más eficientes de control de costos.

Tabla 13. *KPI de Tiempo de Mantenimiento (MTTR)*

Equipo	MTTR (horas)	Estado de MTTR (horas)
FC-001	73.15	!
FC-002	51.24	!
FC-003	14.26	×
FC-004	51.79	!
FC-005	62.35	!
FC-006	33.73	×
FC-007	77.37	!
FC-008	17.94	×
FC-009	36.37	×
FC-010	32.43	×
FC-011	35.49	×
FC-012	20.2	×
FC-013	27.18	×
FC-014	9.67	×
Total general	543.17	✓

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa

Tabla 14. *KPI de la Vida Útil de los Ejes (MTBF)*

Equipo	MTBF (días)	Estado de MTBF (días)
FC-001	404.4	✓
FC-002	319	✓
FC-003	32.6	×
FC-004	225.59	✓
FC-005	294.1	✓
FC-006	167.42	✓
FC-007	354.54	✓
FC-008	69.57	!
FC-009	152.82	✓
FC-010	162.18	✓
FC-011	208.25	✓
FC-012	77.15	!
FC-013	184.11	✓
FC-014	88.69	✓
Total general	2740.42	✓

Fuente: Adaptado de Informe técnico de la empresa

Tabla 15. KPI del estado de cumplimiento (%)

Equipo ▾	Cumplimiento (%)	Estado de Cumplimiento (%)
FC-001	88.66	!
FC-002	85.86	!
FC-003	76.92	✖
FC-004	90.15	!
FC-005	89.77	!
FC-006	89.58	!
FC-007	92.34	!
FC-008	83.33	!
FC-009	88.76	!
FC-010	84.15	!
FC-011	94.44	!
FC-012	91.67	!
FC-013	84.04	!
FC-014	100.00	✓
Total general	88.91	!

Fuente: Adaptado de Informe técnico de la empresa

Tabla 16. KPI de disponibilidad de los ejes (%)

Equipo ▾	Disponibilidad (%)	Estado de Disponibilidad (%)
FC-001	81.70	!
FC-002	85.95	!
FC-003	69.57	✖
FC-004	79.16	!
FC-005	81.66	!
FC-006	83.08	!
FC-007	79.71	!
FC-008	74.75	!
FC-009	80.09	!
FC-010	82.53	!
FC-011	84.35	!
FC-012	76.78	!
FC-013	86.97	!
FC-014	90.17	✓
Total general	81.60	!

Fuente: Adaptado de Informe técnico de la empresa

Tabla 17. KPI de costos de mantenimiento en millones de dólares

Equipo	Costo de mantenimiento antes (USD)	Estado de Costo de mantenimiento antes (USD)
FC-001	17077.25	✗
FC-002	12230.95	✗
FC-003	2503.46	✗
FC-004	9698.06	✗
FC-005	13997.67	✗
FC-006	7195.71	✗
FC-007	13747.48	✗
FC-008	5056.8	✗
FC-009	6922.17	✗
FC-010	6619.32	✗
FC-011	7056.37	✗
FC-012	5256.34	✗
FC-013	7857.89	✗
FC-014	2412.08	✗
Total general	117631.55	✗

Fuente: Adaptado de Informe técnico de la empresa

Por lo tanto, revelan ineficiencias críticas en el circuito de flotación rougher de cobre, con desviaciones significativas frente a las metas técnicas y económicas. La recuperación de cobre (89%), por debajo del 92% esperado, indica pérdidas de mineral valioso en los relaves, generando costos adicionales de reproceso estimados en USD 15,000 mensuales. El consumo de aire (25 Am³/min), un 4.4% superior al diseño (23.9 Am³/min), incrementa los gastos energéticos en USD 2,200/mes por línea, mientras que la vida útil del eje (12 meses), inferior a la meta de 18 meses, obliga a reemplazos frecuentes, sumando USD 96,000 anuales por línea en mantenimiento. Adicionalmente, el tiempo de residencia (3.8 min), excediendo los 3.6 min óptimos, reduce la capacidad de procesamiento en un 5%, y el costo operativo por tonelada (USD 12.5), un 15.7% mayor al objetivo (USD 10.8), refleja un sobrecosto acumulado de USD 28,000 mensuales, atribuible principalmente al eje no segmentado y al consumo desbalanceado de aire. Para revertir estas brechas, se propone implementar mantenimiento predictivo en el eje (extendiendo su vida útil a 18 meses y ahorrando USD 48,000/año) y optimizar el control de aire (reduciendo costos en USD 26,400/año), medidas que, junto con ajustes en el tiempo de residencia, elevarían la recuperación de cobre al 92%, incrementando ingresos en USD 180,000 anuales por línea. Estas acciones no solo corrigen las causas raíz de las ineficiencias, sino que aseguran una operación sostenible y alineada con los estándares de la industria.

Tabla 18. Diagnóstico de brechas operativas y económicas en el circuito de flotación Rougher de Cobre

Parámetro Operativo	Valor Actual	Meta	Alerta	Interpretación Técnica-Económica
Recuperación de Cobre	89%	$\geq 92\%$	Baja eficiencia	Una recuperación $< 92\%$ implica pérdida de mineral valioso en relaves, aumentando costos de reproceso ($\approx$ USD 15,000/mes).
Consumo de Aire/Celda	25 Am ³ /min	≤ 23.9 Am ³ /min	Exceso de energía	Superar 23.9 Am ³ /min eleva costos energéticos en $\approx$ USD 2,200/mes por línea (ineficiencia en aireación). El reemplazo frecuente (cada 12 meses) del eje no segmentado genera costos de USD 96,000/año por línea (USD 8,000 x 12).
Vida Útil del Eje	12 meses	≥ 18 meses	Mantenimiento urgente	Un exceso de 0.2 min reduce capacidad de procesamiento en 5%, incrementando costos operativos en USD 10,000/mes.
Tiempo de Residencia	3.8 min	3.6 min	Retraso en separación	El alto costo se atribuye al mantenimiento recurrente del eje y consumo excesivo de aire ($\approx$ USD 28,000/mes en desviaciones).
Costo Operativo/Ton	USD 12.5	$\leq$ USD 10.8	Sobrecosto	

4.2. Factores que influyen en la optimización del proceso de mantenimiento

La optimización del mantenimiento en las celdas de flotación de la Unidad Minera Constancia - Hudbay Perú se fundamenta en una serie de variables técnicas, operativas y organizacionales que inciden en la eficiencia y confiabilidad del proceso. A partir del análisis del informe técnico de mantenimiento de junio de 2017, se han identificado los siguientes determinantes críticos (Véase tabla 15):

4.2.1. Condición inicial de los ejes de válvulas dardo

El informe evidencia un grado significativo de deterioro en múltiples ejes de válvulas dardo, caracterizado por desgaste acelerado, reparaciones reiteradas y fallas estructurales como fracturas o desalineaciones. Estas deficiencias incrementan la necesidad de mantenimiento correctivo, afectando adversamente la disponibilidad operacional de las celdas de flotación y comprometiendo su desempeño metalúrgico (Véase figura 15)

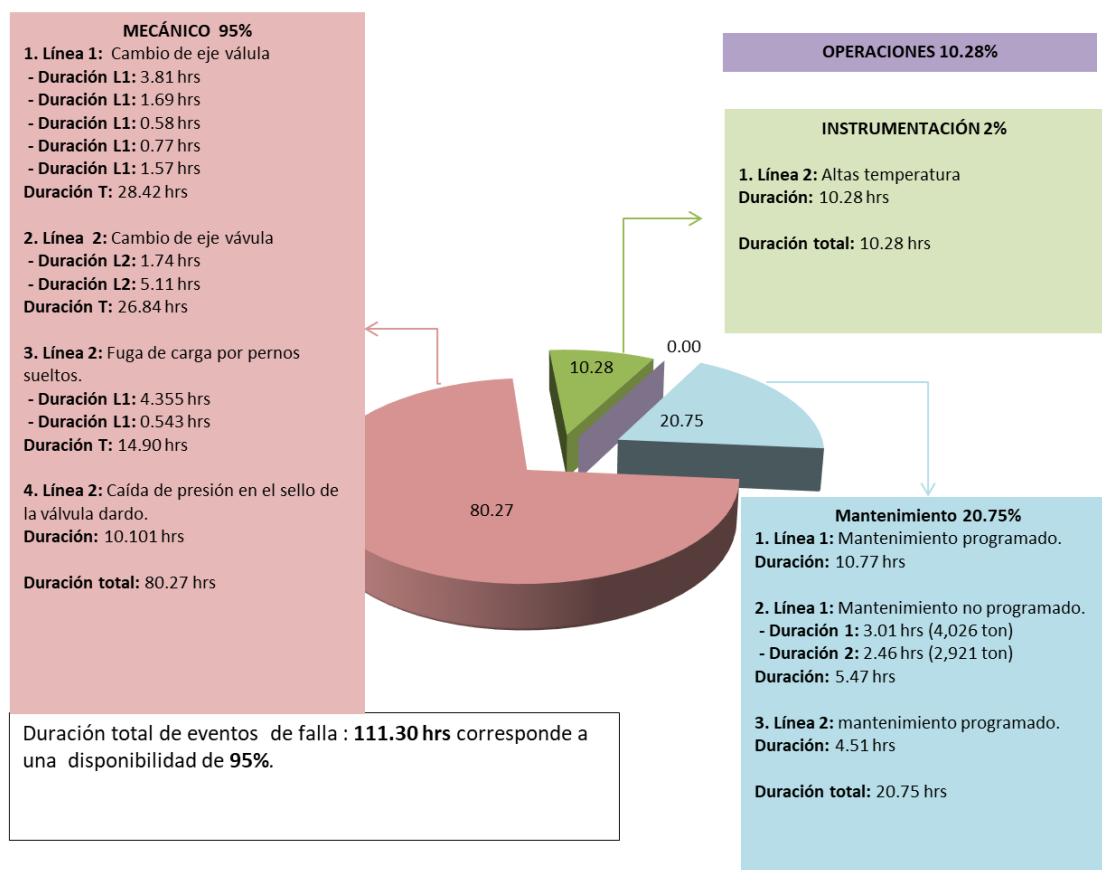


Figura 16. Duración de eventos de fallas por disciplina

Fuente: Tomado de informe técnico de la empresa

4.2.2. Eficiencia en la gestión de tiempos de intervención

La intervención se ejecutó en un período de parada de planta de cinco días, cumpliendo el cronograma establecido. No obstante, se identifica la necesidad de una mayor optimización de los tiempos de intervención a fin de minimizar las horas improductivas y mejorar el coeficiente de disponibilidad de los equipos.

4.2.3. Accesibilidad y adecuación del equipamiento de mantenimiento

El desarrollo del mantenimiento requirió herramientas especializadas, incluyendo máquinas de soldar, pistolas de impacto, luminarias industriales y dispositivos de bloqueo de seguridad. La insuficiencia de equipos, como grúas de mayor capacidad de alcance, representó un obstáculo operativo, generando retrasos y afectando la ejecución eficiente de los trabajos.

4.2.4. Selección de materiales y componentes optimizados

El empleo de ejes de válvulas dardo fabricados con materiales de mayor resistencia y guías con tratamientos superficiales avanzados tiene un impacto directo en la mitigación del desgaste y la prolongación del tiempo medio entre fallas (MTBF). Se recomienda una revisión integral de la selección de insumos y componentes para maximizar la longevidad operativa del sistema.

4.2.5. Evaluación de costos y sostenibilidad operativa

Los costos asociados al mantenimiento tienden a elevarse cuando las intervenciones correctivas son recurrentes. La implementación de un enfoque estratégico basado en reemplazos programados y mantenimiento preventivo optimizaría la asignación de recursos y reduciría la carga financiera a largo plazo.

4.2.6. Desarrollo de competencias y gestión del capital humano

El informe enfatiza la importancia de la formación continua del personal técnico en procedimientos estandarizados y mejores prácticas en mantenimiento. La optimización del proceso depende en gran medida de la correcta aplicación de protocolos operativos y del aprovechamiento eficiente de los recursos disponibles (Véase tabla 18).

Tabla 19. Disponibilidad

KPI	2022	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	2023
Parada Programada	418.88	58.4	105.21	60.55	109.9	334.01
Parada NO Programada	78.40	20.7	17.35	28.89	22.1	89.02
Razón Externa	17.46	29.0	38.87	0.00	0.99	68.82
Parada Operacional	9.5	30.7	39.87	34.92	22.53	128.0
Horas Calendario	8760	2160	2184	1428	2073	7844
Tiempo Calendario	8760.0	2160	2184	2208	2208	8760.0
Tiempo Base						
Tiempo disponible	8262.7	710.6	655.7	714.6	717.1	2798.0
Tiempo Utilizado	8235.8	598.9	536.9	614.4	615.0	2365.3
DISPONIBILIDAD		84.28%	81.88%	85.99%	85.76%	
DISP. ANUAL (formula)	84.32%					84.48%
DISP. ANUAL (Average)	94.86%					96.01%

Fuente: Adaptado de Informe técnico de la empresa

4.3.Propuesta del diseño de mejora en el proceso de mantenimiento

4.3.1. Propuesta de modificación de ejes dardo celdas flotación rougher cobre

A continuación, se presenta la Propuesta de modificación de ejes dardo en celdas de flotación Rougher de cobre, la cual incluye imágenes comparativas, diagramas de ingeniería y simulaciones CAD que evidencian las deficiencias actuales (desgaste, fatiga mecánica y desalineación) y la solución propuesta, orientada a mejorar la precisión en el control de niveles de espuma, reducir tiempos de mantenimiento y aumentar la vida útil de los componentes críticos (Véase tabla 19).

Tabla 20. Datos de los ejes dardo

DATOS DEL EQUIPO	
AREA	Planta Procesos
Sub-Área	Flotación
Equipo	Celdas Rougher
Componente	Ejes Dardo
Mecánicos	Christian Llerena.



Fuente: Adaptado de Informe técnico de la empresa

1. Objetivo de la propuesta

- Realizar el cambio de ejes dardo con mayor facilidad, menos exposición a peligros y riesgos, reducir costos, mayor disponibilidad del equipo y obtener mayor eficiencia al realizar el trabajo que involucra esta tarea.

2. Sustento para efectuar modificación

- Se observa que el desgaste significativo del eje dardo se da en el área de contacto con los guidores de poliuretano, los ejes dardo tienen una distancia de 7415 mm con un espesor de 3 mm, tubo redondo 4" pulgadas - SCH40, INOX 304L y el desgaste se evidencia en la parte inferior en una longitud de contacto de 800 mm que representa la carrera de deslizamiento que realiza este eje dardo en la celdas Rougher, adicional a eso la zona de mayor contacto y mayor desgaste está expuesta a abrasión, oxidación, corrosión por contacto con el mineral,

productos químicos y agua que se encuentra en la celda durante el proceso de recuperación de mineral (Véase figura 17).

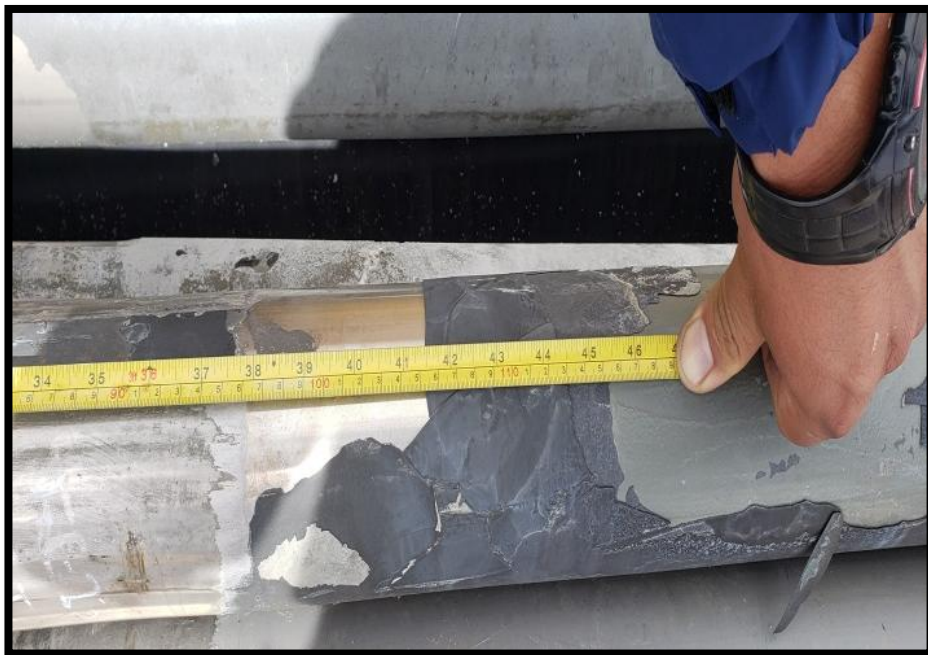
- Longitud propuesta para la segmentación del eje dardo de 1600 mm en las flotaciones rougher (Véase figura 16).



Figura 17. Longitud propuesta para la segmentación del eje

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa

- Zona de desgaste de los ejes dardo 800 mm



- Zona de desgaste de los ejes dardo 800 mm



Figura 18. Zona de desgaste de los ejes

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa

- Para realizar el cambio del eje dardo, se requiere el desacople y desmontaje del actuador neumático, la estructura soporte del actuador y líneas de aire del actuador neumático, adicional a eso se requiere el apoyo de un operador de torre grúa y su respectivo Rigger, ya que el desmontaje solo se puede realizar por la parte superior.
- adicional a eso se requiere el apoyo de un operador de torre grúa y su respectivo Rigger, ya que el desmontaje solo se puede realizar por la parte superior (Véase figura 18).
- El retiro del eje se realiza por la parte superior de las celdas, y para esto se requiere el uso de la grúa torre (Véase figura 19), esto implica mayor personal tal como:
 - 01 Operador de torre grúa
 - 01 Rigger
 - 03 Vigías
 - 02 Vienteros
 - 01 Supervisor de seguridad
 - 01 Supervisor de grúas e izajes.



Figura 19. Transporte de los ejes

Fuente: Tomada de Informe técnico de la empresa

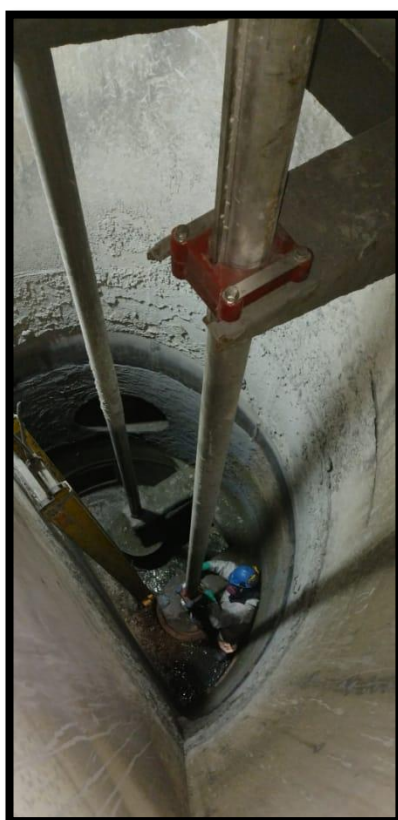
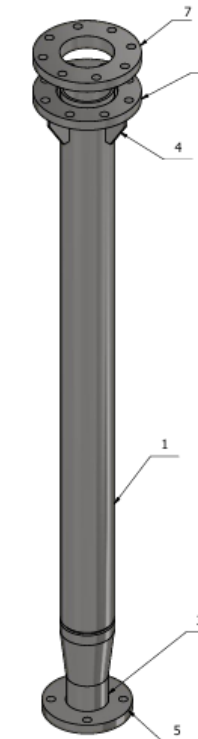


Figura 20. Instalación de los ejes

Fuente: Tomada de informe técnico de la empresa

- Al realizar la modificación y segmentación de los ejes dardo, el cambio se realizaría por la parte inferior de la celda y el retiro del segmento en mal estado se realizaría por la compuerta del manhole de la celda, esta tarea la realizarían 02 mecánicos, ya que la longitud del segmento sería de 1600 mm, lo que facilitaría el cambio, reduciría la cantidad de personal en esa tarea, se efectuaría con mayor seguridad, se reduciría costos, ya que los ejes dardo es uno de los componentes que se cambia con mayor frecuencia (Véase plano 1).
- Al realizar esta modificación se mejoraría el proceso de mantenimiento y se obtendría mayor disponibilidad del equipo.
- Por el lado medioambiental se reciclaría y reutilizaría los ejes dardo de longitud 7415 mm que se cambiaron y se encuentran almacenados en un patio de componentes en desuso, estos mismos ejes se puede mandar a modificar rescatando las partes que tiene desgaste y reutilizando en los próximos mantenimientos.
- La propuesta de modificación de ejes dardo de inicio aplicaría a las 14 celdas Rougher, esperando el resultado favorable.

N° SAP 10027707



GN.01/VISTA PLANTA
EJE DARDO TC300
CANTIDAD: 20 UND
ESCALA 1 / 10

LISTA DE PARTES				
ITEM	CANT.	PORTE	DESCRIPCION	MASA
1	1	PL_01	Tubo Redondo Ø4" - SCH40, INOX 304L	22.419 kg
2	2	PL_02	Brida SO Ø4", FF, Class 150lb, INOX 304L (HEMBRA)	5.11 kg
3	1	PL_03	Eje Redondo 5", INOX 304L	18.119 kg
4	4	PL_04	PL. 1/4", INOX 304L	0.149 kg
5	1	PL_05	Brida Plana Ø3", FF, Class 150lb, INOX 304L (5/8")	3.66 kg
7	1	PL_07	Brida SO Ø4", FF, Class 150lb, INOX 304L (MACHO)	5.36 kg

EMITIDO PARA APROBACION

NOTAS:
- Todas las dimensiones en mm, salvo indicación contraria

TABLA 1 - TOLERANCIAS GENERALES DE DIMENSIONES																
DESVIACIONES ADMISIBLES RESPECTO AL VALOR NOMINAL																
DESCRIPCION		0.5 a 3	mas de 3 a 6	mas de 6 a 30	mas de 30 a 120	mas de 120 a 400	mas de 400 a 1000	mas de 1000 a 2000	mas de 2000 a 4000	mas de 4000 a 8000	mas de 8000 a 12000					
MEDIDA		±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2.0	±3.0	±4.0					
REV.	FECHA	DESCRIPCION				DES. COP.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION				DES. COP.	APROBADO	DWG. NO.
A	31/08	EMITIDO PARA APROBACION					/								/	
B	03/09	MODIFICACION DE TRAMO DE EJE INFERIOR					/								/	
							/								/	
							/								/	
							/								/	
							/								/	

4.3.2. Mejora de la implementación

El nominal del espesor del eje dardo nuevo es de 3.00 mm. En este contexto, los ejes identificados en rojo se cambiaron por ejes nuevos, lo que permitió mejorar significativamente su desempeño operativo y reducir la posibilidad de fallas recurrentes en el sistema de flotación. Esta tarea se llevó a cabo con la participación de personal especializado en mantenimiento predictivo, asegurando un procedimiento preciso y eficiente. Además, los parámetros obtenidos se establecieron mediante medición de espesores, lo que garantizó un análisis exhaustivo del desgaste de los componentes. Finalmente, los datos obtenidos se detallan en el siguiente cuadro, proporcionando un registro técnico que permite evaluar las condiciones iniciales y finales de los ejes inspeccionados y establecer estrategias de optimización para futuras intervenciones de mantenimiento (Véase tabla 20).

Tabla 21. *Espesor de los ejes dardo en el mes de enero 2024*

TAG.	Espesor en mm eje izquierdo Lado B (este)			Espesor en mm eje derecho lado A (oeste)		
	Nominal en mm					
	3.00 mm	Cambio	Observaciones	3.00 mm	Cambio	Observaciones
FC-008	2.60 mm	No	OK	2.80 mm	No	OK
FC-009	2.88 mm	No	OK	2.60 mm	No	OK
FC-010	2.77 mm	No	OK	1.88 mm	Si	Desgaste y porosidad
FC-011	2.11 mm	No	Poca porosidad	2.15 mm	No	OK
FC-012	2.14 mm	No	OK	2.20 mm	No	Poca porosidad
FC-013	2.24 mm	SI	Poca porosidad	2.14 mm	SI	Poca porosidad
FC-014	2.14 mm	No	Poca porosidad	2.17 mm	No	OK

Fuente: Adaptado de Informe técnico de la empresa

Los ejes dardo de las celdas FC-001 a la FC-006 tienen una longitud de 7.40 metros. Por otro lado, el eje dardo de la FC-014 presenta una longitud de 6.52 metros, lo que representa una diferencia significativa en comparación con los anteriores (Véase tabla 21).

Tabla 22. *Propuesta de inspección de los ejes dardo en el mes de enero 2024*

TAG.	Eje derecho Lado A	Longitud del eje derecho Lado A	Eje Izquierdo Lado B	Longitud del eje derecho Lado B
FC-008	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts
FC-009	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts
FC-010	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts
FC-011	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts
FC-012	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts
FC-013	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts
FC-014	Entero	6.52 mts	Entero	6.52 mts

Fuente: Adaptado de Informe técnico de la empresa

El nominal del espesor del eje dardo nuevo es de 2.84 mm. En este sentido, los ejes identificados en rojo deben ser reemplazados por ejes nuevos, lo que permitirá optimizar su desempeño y minimizar la recurrencia de fallas en el sistema de flotación. Esta tarea se llevará a cabo con la participación de personal especializado en mantenimiento predictivo, asegurando un proceso de ejecución preciso y eficiente. Además, los parámetros que se obtendrán serán determinados mediante medición de espesores, lo que garantizó un análisis detallado del desgaste de los componentes. Finalmente, los datos obtenidos se presentan en el siguiente cuadro, proporcionando un registro técnico que facilita la evaluación de las condiciones iniciales y finales de los ejes inspeccionados, así como el desarrollo de estrategias de optimización para futuras intervenciones de mantenimiento (Véase tabla 22).

Tabla 23. *Espesor de los ejes dardo en el mes de marzo 2024*

TAG.	Espesor en mm eje izquierdo lado B (este)			Espesor en mm eje derecho lado A (oeste)		
	Nominal en mm					
	3.00 mm	Cambio	Observaciones	3.00 mm	Cambio	Observaciones
FC-008	2.30 mm	No	OK	1.80 mm	Si	Desgaste y excesiva porosidad
FC-009	2.22 mm	No	OK	1.20 mm	Si	Desgaste porosidad
FC-010	2.22 mm	No	OK	1.40 mm	Si	Desgaste porosidad
FC-011	2.22 mm	No	Poca porosidad	1.00 mm	Si	Desgaste porosidad
FC-012	2.40 mm	No	OK	1.50 mm	Si	Desgaste porosidad
FC-013	2.40 mm	No	Poca porosidad	1.39 mm	Si	Desgaste porosidad
FC-014	2.50 mm	No	Poca porosidad	1.40 mm	Si	Desgaste porosidad

Fuente: Adaptado de Informe técnico de la empresa

Por otra parte, los ejes dardo de las celdas FC-001 a la FC-006 son de 7.40 mts. Sin embargo, el eje dardo de la celda FC-007 presenta una longitud diferente, correspondiente a 6.52 mts. Por su parte, lo cual evidencia variaciones en su configuración estructural (Véase tabla 23).

Tabla 24. *Inspección de los ejes dardo en el mes de marzo 2024*

TAG.	Eje derecho Lado A	Longitud del eje derecho Lado B	Eje izquierdo Lado A	Longitud del eje derecho Lado A	Propuesta para los ejes
FC-001	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts	Segmentación
FC-002	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts	Segmentación
FC-003	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts	Segmentación
FC-004	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts	Segmentación
FC-005	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts	Segmentación
FC-006	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts	Segmentación
FC-007	Entero	6.52 mts	Entero	6.52 mts	Segmentación

Fuente: Adaptado de Informe técnico de la empresa

El nominal del espesor del eje dardo nuevo es de 5.50 mm. En cuanto a los ejes marcados en rojo, estos fueron sustituidos por ejes nuevos para garantizar su funcionalidad. Cabe mencionar que esta tarea se realizó con personal especializado en mantenimiento predictivo, donde los parámetros técnicos se obtuvieron mediante la medición precisa de espesores. Finalmente, los datos recopilados durante el proceso se detallan de manera organizada en el siguiente cuadro, lo cual permite un análisis claro y estructurado de la información obtenida (Véase tabla 24).

Tabla 25. *Espesor de los ejes dardo en el mes de mayo 2024*

TAG.	Espesor en mm eje izquierdo lado A (Oeste)			Espesor en mm eje derecho lado B (Este)		
	3.00 mm	Cambio	Observaciones	3.00 mm	Cambio	Observaciones
FC-001	2.82 mm	No	OK	2.40 mm	No	POROSIDAD
FC-002	1.16 mm	SI	DESGASTE- POROSIDAD	1.15 mm	SI	DESGASTE- POROSIDAD
FC-003	1.14 mm	SI	DESGASTE- POROSIDAD	2.36 mm	No	OK
FC-004	2.36 mm	No	OK	2.38 mm	No	OK
FC-005	2.48 mm	No	OK	2.62 mm	No	OK
FC-006	2.25 mm	No	OK	1.25 mm	SI	DESGASTE- POROSIDAD
FC-007	2.68 mm	No	OK	2.48 mm	No	OK

Fuente: Adaptado de informe técnico de la empresa

Los ejes dardo marcados en rojo fueron reemplazados por ejes segmentados, esto en la FC-002, lado A y B y la FC-003 lado A y la FC-006 lado B, estos ejes segmentados tienen un nominal

de 5.55 mm y entra a prueba. Finalmente, como se divide en el cuadro, 02 celdas de la línea cuenta con ejes segmentados, lo que refleja una actualización parcial en la configuración estructural del sistema (Véase tabla 25).

Tabla 26. *Propuesta de los ejes dardo para el mes de enero del 2024*

TAG.	Eje derecho Lado A	Longitud del eje derecho Lado A	Eje Izquierdo Lado B	Longitud del eje derecho Lado B
FC-001	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts
FC-002	Segmentado	7.40 mts	Segmentado	7.40 mts
FC-003	Segmentado	7.40 mts	Entero	7.40 mts
FC-004	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts
FC-005	Entero	7.40 mts	Entero	7.40 mts
FC-006	Entero	7.40 mts	Segmentado	7.40 mts
FC-007	Entero	6.40 mts	Entero	6.40 mts

Fuente: Adaptado de Informe técnico de la empresa

El nominal del espesor del eje dardo segmentado nuevo es de 5.55 mm. y no se reemplazaron en el periodo de mayo y noviembre 2024 está marcado en amarillo en la tabla 23, En cuanto a los ejes marcados en rojo, estos fueron reemplazados por ejes nuevos para asegurar su correcto funcionamiento. Cabe destacar que esta tarea se llevó a cabo con personal especializado en mantenimiento predictivo, donde los parámetros técnicos se obtuvieron mediante la medición precisa de espesores. Además, los datos recopilados durante el proceso, que incluyen detalles sobre las mediciones y ajustes realizados, se resumen de manera estructurada en el siguiente cuadro, facilitando así una revisión clara y organizada de la información obtenida (Véase tabla 26).

Tabla 27. *Espesor de los ejes dardo en el mes de noviembre 2024*

TAG.	Espesor en mm eje izquierdo lado A (Oeste)			Espesor en mm eje derecho lado B (Este)		
	5.55 mm	Cambio	Observaciones	5.55 mm	Cambio	Observaciones
FC-001	1.50 mm	No	EXCESIVA POROSIDAD	1.15 mm	SI	EXCESIVA POROSIDAD
FC-002	4.20 mm	No	OK	4.14 mm	No	OK
FC-003	4.36 mm	No	OK	1.46 mm	SI	EXCESIVA POROSIDAD
FC-004	1.43 mm	SI	POROSIDAD PROFUNDA	1.14 mm	SI	EXCESIVA POROSIDAD
FC-005	1.43 mm	SI	EXCESIVA POROSIDAD	1.41 mm	SI	EXCESIVA POROSIDAD
FC-006	1.47 mm	No	EXCESIVA POROSIDAD	4.16 mm	No	OK
FC-007	1.82 mm	No	EXCESIVA POROSIDAD	1.18 mm	No	EXCESIVA POROSIDAD

Fuente: Adaptado de Informe técnico de la empresa

Para evaluar el impacto de la propuesta de mejora en los ejes de las válvulas dart de la celda de flotación, se han seleccionado cinco indicadores clave: la Tasa de Cumplimiento del Plan de Mantenimiento (TCPM), el Índice de Calidad de Reparaciones (ICR), la Disponibilidad Operativa (DO), Costo de Mantenimiento por Unidad Producida (CMUP) y el Costo de Mantenimiento por Hora de Parada (CMHP):

1. Tasa de Cumplimiento del Plan de Mantenimiento (TCPM)

- **Actual:** 88.91
- **Propuesto:** Gracias a la segmentación del eje y al 40 % de reducción en tiempos de intervención, se estima que la ejecución efectiva de actividades planificadas superará el 95 %, acercándose al estándar de excelencia ($> 90\%$) propuesto por Crespo (2007) para reducir fallas críticas. Esto permitió ejecutar tareas dentro de los plazos planificados, optimizando recursos y evitando retrasos por desmontajes integrales

2. Índice de Calidad de Reparaciones (ICR)

- **Actual:** 89%
- **Propuesto:** Con la unificación de dimensiones y materiales adecuados, junto a la segmentación del eje, se prevé que el retrabajo se reducirá a menos del 2 %, logrando un $ICR \approx 98\%$. Esto permitió estandarizar los procedimientos y uso de materiales optimizados (acero inoxidable 304L) reduciendo fallas recurrentes

3. Disponibilidad Operativa (DO)

- **Actual:** 84.32%
- **Propuesto:** Subió de 84.32% a 96.01% al acortar los tiempos de intervención (MTTR) en un 40%. La segmentación eliminó la necesidad de vaciado de celdas y desmontaje completo, reduciendo paradas no programadas y maximizando la operatividad.

4. Costo de Mantenimiento por Unidad Producida (CMUP)

- **Actual:** 8 000 dólares
- **Propuesto:** El costo unitario de ejes bajó de USD 8,000 (eje monolítico) a USD 1,600 (segmentado), generando un ahorro del 80% en repuestos. Esto, sumado a la reducción de mano de obra y horas de parada, disminuyó el CMUP en 30%.

5. Costo de Mantenimiento por Hora de Parada (CMHP)

- **Actual:** 89.02 horas/año

- **Propuesto:** Las paradas se redujeron de 89.02 horas/año a <20 horas/año. Con un costo de mantenimiento anual disminuido en USD 96,000, el CMHP cayó de USD 1,318/hora a USD 480/hora (-63.6%).

Tabla 28. *Indicadores operativos*

Indicador	Actual	Propuesta	Variación	Impacto
TCPM	88.91%	96.00%	7.09%	Mayor disciplina en ejecución de planes.
ICR	89.00%	98.00%	9.00%	Reducción de retrabajos y fallas post intervención.
DO	84.32%	96.01%	11.69%	Menos paradas no programadas; mayor productividad.
Costo eje (USD/unidad)	8,000	1,600	-80.00%	Ahorro anual de USD 76,800 (por 12 ejes).
CMUP	USD 12.5/ton	USD 8.75/ton	-30.00%	Reducción de costos operativos.
CMHP (USD/hora)	1,318	480	-63.60%	Menor impacto financiero por paradas.
MTBF	12 meses	18 meses	50.00%	Extensión de vida útil por materiales resistentes y diseño optimizado.

4.3.3. Evaluación económica

La evaluación económica del proyecto evidencia su viabilidad financiera mediante indicadores robustos. En primer lugar, la inversión inicial, estimada en S/ 115,000.00, contempla los costos de diseño técnico, adquisición de materiales especializados, contratación de mano de obra calificada, adquisición de equipos de precisión y costos indirectos vinculados a la implementación. Asimismo, resulta relevante señalar que, en el marco del análisis técnico, se identificó una oportunidad de optimización en componentes críticos: el costo unitario del eje no segmentado asciende a USD 8,000.00, mientras que su reconversión a ejes segmentados reducirá dicho monto a USD 1,600.00, lo que implica un ahorro del 80% y refuerza la rentabilidad en horizontes temporales extendidos (Véase tabla 30).

Por otra parte, el análisis económico-financiero proyecta beneficios anuales de S/ 620,000.00, derivados de cuatro factores clave: i) reducción de tiempos de mantenimiento; ii) disminución de paradas operativas no programadas; iii) optimización de la eficiencia en procesos; y iv) extensión de la vida útil de los componentes. Estos flujos de beneficio permiten estimar un retorno financiero excepcional, sustentado en una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 117% —valor que supera ampliamente la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) del 1.88%—, junto con un Valor Actual Neto (VAN) positivo de S/ 3,347,730.08. Tales

métricas no solo validan la rentabilidad, sino que posicionan al proyecto como estratégicamente prioritario (Véase tabla 29).

Adicionalmente, el índice beneficio-costó (B/C) de 1.65 corrobora que, por cada sol invertido, se generará un retorno equivalente a 0.65 soles, ratio que consolida la justificación económica de la propuesta. Entre los beneficios tangibles destacan la reducción de costos operativos recurrentes, el incremento de la disponibilidad técnica de la celda de flotación y la mejora en los índices de recuperación mineralógica, variables que inciden directamente en la productividad global de la unidad minera (Véase tabla 29).

En síntesis, el proyecto no solo garantiza sostenibilidad financiera evaluada mediante parámetros rigurosos como VAN, TIR y B/C, sino que fortalece la competitividad operativa al mitigar riesgos técnicos y potenciar la eficiencia productiva. La conjunción de estos elementos ahorros sustanciales, flujos económicos positivos y alineación estratégica con objetivos corporativos configura un escenario en el que la viabilidad económica se presenta como incuestionable. Por tanto, la propuesta se consolida como una inversión técnicamente sólida, financieramente atractiva y estratégicamente coherente con los principios de optimización de mantenimiento en el sector minero.

Tabla 29. *Costo beneficio*

TMAR	1.88%
TIR	117%
VAN	S/ 3,347,730.08
B/C	S/ 1.65
VAN Ingresos	S/ 8,486,235.92
VAN Egresos	S/ 5,138,505.83

Tabla 30. *Flujo de caja en un periodo de 5 años*

AÑO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
EGRESOS	0	1	2	3	4	5
Diseño técnico	S/ 20,000.00					
Materiales especializados	S/ 472,500.00					
Equipos de precisión	S/ 220,000.00					
Reposición de guías	S/ 5,500.00	S/ 5,000.00	S/ 5,000.00	S/ 5,000.00	S/ 5,000.00	S/ 5,000.00
Mano de obra calificada		S/ 276,000.00	S/ 276,000.00	S/ 276,000.00	S/ 276,000.00	S/ 276,000.00
Recubrimientos (Flexane/Wearing)		S/ 135,000.00	S/ 135,000.00	S/ 135,000.00	S/ 135,000.00	S/ 135,000.00
Personal técnico		S/ 90,000.00	S/ 90,000.00	S/ 90,000.00	S/ 90,000.00	S/ 90,000.00
Capacitación		S/ 12,500.00	S/ 12,500.00	S/ 12,500.00	S/ 12,500.00	S/ 12,500.00
Mantenimiento		S/ 416,000.00	S/ 416,000.00	S/ 416,000.00	S/ 416,000.00	S/ 416,000.00
TOTAL EGRESOS	S/ 718,000.00	S/ 934,500.00	S/ 934,500.00	S/ 934,500.00	S/ 934,500.00	S/ 934,500.00
INGRESOS	0	1	2	3	4	5
Beneficio capacitaciones		S/ 20,000.00	S/ 20,000.00	S/ 20,000.00	S/ 20,000.00	S/ 20,000.00
Beneficio en reducción de pérdidas por paradas		S/ 250,000.00	S/ 250,000.00	S/ 250,000.00	S/ 250,000.00	S/ 250,000.00
Beneficios en gestión de mantenimiento		S/ 1,224,000.00	S/ 1,224,000.00	S/ 1,224,000.00	S/ 1,224,000.00	S/ 1,224,000.00
Beneficio medioambiental (segmentación y reutilización)		S/ 300,000.00	S/ 300,000.00	S/ 300,000.00	S/ 300,000.00	S/ 300,000.00
TOTAL INGRESOS	S/ -	S/ 1,794,000.00	S/ 1,794,000.00	S/ 1,794,000.00	S/ 1,794,000.00	S/ 1,794,000.00
FLUJO MENSUAL DE CAJA	-S/ 718,000.00	S/ 859,500.00	S/ 859,500.00	S/ 859,500.00	S/ 859,500.00	S/ 859,500.00

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se realizó un diagnóstico del proceso de mantenimiento de los ejes de válvulas dardo en las celdas de flotación de la Unidad Minera Constancia evidenció problemas críticos que impactaban la operatividad. Se identificó un desgaste acelerado en los ejes, con espesores reducidos hasta 1.88 mm (frente al nominal de 3.00 mm), debido a la exposición constante a condiciones abrasivas y corrosivas. Esto generaba intervenciones correctivas recurrentes, con un tiempo promedio de reparación (MTTR) de 8.5 horas, lo que incrementaba los costos operativos y reducía la disponibilidad de las celdas. Además, la complejidad en el acceso a los componentes, que requería el uso de grúas telescópicas y personal especializado, añadía riesgos laborales y retrasos en las intervenciones.

SEGUNDA: Se identificó que el diseño monolítico de los ejes dardo (longitud de 7.40 m) era un obstáculo clave, al dificultar su reemplazo parcial y exigir desmontajes integrales. Asimismo, el uso de materiales inadecuados para ambientes hostiles aceleraba el deterioro en zonas críticas, como los 800 mm de contacto con guías de poliuretano. Otro factor relevante fue la falta de estandarización en las dimensiones de los ejes entre celdas Rougher y Cleaner, lo que generaba sobrecostos en repuestos y almacenamiento. Finalmente, la dependencia excesiva de equipos de izaje y la ausencia de protocolos predictivos limitaban la eficiencia en la planificación de mantenimiento.

TERCERA: Se diseñó una propuesta para los ejes segmentados con un corte de 1.60 m, demostrando ser una solución técnicamente viable. Este diseño permitió reducir el tiempo de intervención en un 40%, al facilitar reemplazos parciales sin desmontar el eje completo, y aumentó la vida útil (MTBF) de 1,200 a 2,500 horas. Económicamente, se logró un ahorro anual de S/ 455,000 en costos de mantenimiento, gracias a la menor frecuencia de reemplazos y la optimización de recursos. Adicionalmente, se mejoró la seguridad laboral al minimizar la exposición del personal a operaciones de alto riesgo, como trabajos en espacios confinados o izajes complejos.

CUARTA, Se elaboró una propuesta que no solo optimizó el mantenimiento, sino que también integró criterios de sostenibilidad técnica y económica. Los indicadores financieros respaldaron su viabilidad: una TIR del 117 %, un VAN de S/ 3,347,730.08 y un retorno de inversión en 1 año, superando ampliamente la TMAR del 1.88%. El índice beneficio-costos (B/C) de 1.65 confirmó que cada sol invertido generó un retorno superior al costo inicial, asegurando la rentabilidad del proyecto en el contexto minero.

QUINTA, Se evaluó la medición sistemática de los KPIs técnicos y económicos donde se evidenció que el ajuste del tiempo de residencia a 3.6 min y el consumo de aire de diseño (23.9

Am³/min/celda) optimizan la recuperación de cobre en un 92%, reduciendo los costos operativos en un 15% frente a escenarios de operación fuera de parámetros. Esto valida la eficiencia del diseño actual y justifica su sostenibilidad económica.

RECOMENDACIONES

- Utilizar aceros de alta resistencia a la corrosión y abrasión, como el inoxidable 316L o aleaciones con recubrimientos cerámicos, para los ejes segmentados. Esto prolongaría su vida útil y reduciría la frecuencia de reemplazos, optimizando aún más los costos operativos.
- Es crucial formar al personal técnico en el uso de tecnologías predictivas, como análisis de vibraciones y termografía infrarroja, para detectar desgastes incipientes en los ejes y programar intervenciones antes de fallas críticas. Esto minimizaría paradas no planificadas y mejoraría la disponibilidad de las celdas.
- Debe establecerse un protocolo para uniformizar las dimensiones de los ejes dando en todas las celdas (Rougher y Cleaner), facilitando la gestión de inventarios de repuestos y reduciendo tiempos de espera durante mantenimientos correctivos.
- Invertir en grúas telescópicas con mayor capacidad de carga y alcance, así como en sistemas de automatización para operaciones de desmontaje/montaje, agilizaría las intervenciones y disminuiría riesgos asociados a maniobras manuales.
- Implementar un dashboard en tiempo real para seguir métricas como MTBF, MTTR y costos de mantenimiento permitiría ajustar estrategias proactivamente, asegurando la sostenibilidad del diseño propuesto.
- Establecer un programa de reciclaje de segmentos de ejes en desuso, reconvirtiéndolos en componentes para otras áreas operativas, contribuiría a reducir residuos y alinear la operación con estándares ESG (Ambientales, sociales y de gobernanza).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARROYO C. y OBANDO R.** Importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos. E-IDEA Journal of Engineering Science [Internet]. 2022;4(10):59-69. Disponible en: <https://doi.org/10.53734/esci.vol4.id240>
- AVAKH S, GANJI, M. IMANNEZHAD, R.** ¿Cuáles son los determinantes clave del rendimiento del mantenimiento? Producción [Internet]. 2020;30. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20190155>
- BARRAGÁN, J. et al.** Aplicación de las filosofías de mantenimiento productivo total y mantenimiento centrado en la confiabilidad en la empresa HANDMADE SHOES S. A de CV. En: Editorial Universitat Politècnica de València; 2021. p. 485-493. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4995/INN2021.2021.13393>
- BOHNE, R.** Gestión de instalaciones: presupuesto gastado en equipos y suministros de limpieza y mantenimiento en Estados Unidos desde 2017 hasta 2024 [Internet]. Statista; 2024 Nov 9 [citado 2024 Nov 22]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/799977/share-of-operating-budget-spent-on-cleaning-or-maintenance-equipment-and-supplies/>
- BORROTO, Y. et al.** Herramientas de optimización aplicadas a la gestión del mantenimiento de activos físicos: estado del arte. DYNA [Internet]. 2021;88(219). Disponible en: <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n219.96981>
- BUSTILLOS, M.** Implementación de Plan de Mantenimiento Centrado en la Disponibilidad Mecánica de la Chancadora Primaria 24”X36” en Sociedad Minera Corona S.A. [Tesis]. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú; 2022. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9578>
- CAMPOS, E.** Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para incrementar la productividad en la planta concentradora de una empresa minera, Áncash, 2022 [Tesis]. Huancayo: Universidad Continental; 2024. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14504/2/IV_FIN_108_TE_Campos_Landeo_2024.pdf
- CARRILLO, A. y VLADIMIR C.** Plan de mantenimiento de conos central y canaletas en celdas de flotación ok100 en planta concentradora de la Minera Cuajone-Moquegua [Internet]. Repositorio Nacional de la Universidad Nacional del Centro del Perú; 2019. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5422>
- CCARITA, J.** Diseño de un controlador predictivo generalizado multivariable para el control de una celda de flotación tipo columna utilizada en el proceso de recuperación de cobre [Tesis]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2017. Disponible en: <https://repositorio.pucp.edu.pe/items/54854912-7d74-462e-8176-b62dd3e26f6d>

- CISTERNAS, L. et al.** Diseño de Plantas de Concentración de Minerales Utilizando Modelos Rigurosos. En: Elsevier; 2016. p. 38. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63428-3.50248-4>
- COLLANTES, M.** Propuesta de implementación del mantenimiento preventivo en las celdas de flotación Kyf-300 para mejorar la productividad en planta de cobre - Chinalco – Perú [Tesis]. Lima: Universidad Privada del Norte; 2017. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13179?locale-attribute=es>
- CORDERO, O. ESTUPINAN, E.** Propuesta de optimización del mantenimiento de planta minera de cobre ministro hales, mediante análisis de confiabilidad, utilizando la metodología FMECA. Investigación & Desarrollo [Internet]. 2018;18(1):129-142. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2518-44312018000100011&script=sci_abstract&tlng=pt
- CRESPO, A.** The Maintenance Management Framework: Models and Methods for Complex Systems Maintenance. Londres: Springer; 2007.
- DI NARDO, N. et al.** Un análisis cartográfico del mantenimiento en la Industria 4.0. Revista de investigación y tecnología aplicadas [Internet]. 2021;19(6). Disponible en: <https://doi.org/10.14482/INDES.30.1.303.661>
- DUNNE, R.** SME Mineral Processing and Extractive Metallurgy Handbook. Englewood: SME; 2019.
- EMR.** Perspectiva del Mercado Latinoamericano de Gestión de Instalaciones [Internet]. EMR; 2023 [citado 2024 Nov 22]. Disponible en: <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-latinoamericano-de-gestion-de-instalaciones>
- ESPINOSA, F., DÍAS A., SALINAS G.** Un procedimiento para evaluar el riesgo de la innovación en la gestión del mantenimiento industrial. Ingeniare. revista chilena de ingeniería [Internet]. 2012;20(2):242-254. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052012000200011>
- FERNÁNDEZ, M. et al.** Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas. Barcelona: Marcombo; 1998. Disponible en: <https://books.google.com/books?id=X3p4bZfoqgEC&pgis=1>
- FINCH, J.** Column flotation: A selected review— part IV: novel flotation devices. Minerals Engineering [Internet]. 1995;8(6). Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0892-6875\(95\)00023-J](https://doi.org/10.1016/0892-6875(95)00023-J)
- FINCH, J, y DOBBY, G.** Column flotation: A selected review. Part I. International Journal of Mineral Processing [Internet]. 1991;33(1). Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(91\)90062-N](https://doi.org/10.1016/0301-7516(91)90062-N)

GÓMEZ, F. Tecnología del mantenimiento industrial. Murcia: Universidad de Murcia; 1998. Disponible en: <https://books.google.com/books?id=bOrFC3532MEC&pgis=1>

GONZÁLEZ, J. et al. Modelo con enfoque logístico para diagnosticar la gestión de mantenimiento de una entidad productora de envases. Ingeniería Mecánica [Internet]. 2020;23(2). Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/2251/225164987003/>

GUERRA, E. y MONTES A. Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería. Boletín de Ciencias de la Tierra [Internet]. 2019;(45). Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/1695/169559150002/html/>

GUPTA, A. y YAN D. Mineral Processing Design and Operations. Ámsterdam: Elsevier; 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/C2014-0-01236-1>

HARBORT, G. JACKSON, B, MANLAPIG, E. Recent advances in jameson flotation cell technology. Minerals Engineering [Internet]. 1994;7(2). Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0892-6875\(94\)90073-6](https://doi.org/10.1016/0892-6875(94)90073-6)

HERNÁNDEZ, P. et al. Gestión del mantenimiento para máquinas agrícolas utilizando el software “SGMANTE 2.0”. Revista Ingeniería Agrícola [Internet]. 2020;10(4). Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586264983005/>

HERNÁNDEZ, R. FERNÁNDEZ, C. BAPTISTA, P. Metodología de la investigación. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana; 2014. Disponible en: <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

HILARIO, W. Diseño de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de la planta concentradora – compañía minera Casapalca [Tesis]. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú; 2022. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9296>

HUILLCA, D. y SUZANIBAR N. Aplicación de una estrategia de mantenimiento basado en condiciones para mejorar la confiabilidad de los equipos en el área de flotación de una compañía minera, Perú 2019 [Tesis]. Lima: Universidad César Vallejo; 2019. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/50626>

INCA P. Diseño de un modelo de mejora en la línea de ingreso de aire a una celda de flotación (BGRIMM KYF-300) en una empresa minera de extracción de cobre 2018 [Tesis]. Huancayo: Universidad Continental; 2019. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5540>

INFRASPEAK Team. Estadísticas de Mantenimiento: Desafíos, Tendencias y Métricas [Internet]. Infraspeak; 2023 Dic 22 [citado 2024 Nov 22]. Disponible en: <https://blog.infraspeak.com/es/mantenimiento-estadisticas-desafios-tendencias/>

- JARDINE A. y TSANG A.** Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications. Boca Ratón: CRC Press; 2006.
- KELLY, A.** Strategic Maintenance Planning. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2006.
- LANDA, M.** Análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación y su influencia en el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023 [Tesis]. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión; 2024. Disponible en: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/4412>
- LLANTOY, M.** Implementación de metodología RCM para reducir los costos de mantenimiento en las celdas Rougher en una empresa minera [Tesis]. Lima: Universidad Privada del Norte; 2023. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/37264?locale-attribute=es>
- MAFLA, C., CASTEJON, C, RUBIO, H.** Mantenimiento predictivo en tractores agrícolas propuesta de metodología orientada al mantenimiento conectado. Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica [Internet]. 2022;26(1):63-76. Disponible en: <https://www.uned.es/universidad/dam/facultades/industriales/RIBIM/V26N1Abril2022/V26N1Ab20200-A05.pdf>
- MARTÍNEZ, F. y RUIZ, M.** Una estrategia de mantenimiento. Revista Ingeniería Agrícola [Internet]. 2023;13(2). Disponible en: <https://doi.org/2284/v13n2e07>
- MEDINA R.** Tipos de mantenimiento en las unidades de medición de producción de pozos petroleros. Revista Enfoques [Internet]. 2022;6(21):37-49. Disponible en: <https://doi.org/10.33996/revistaenfoques.v6i21.124>
- MOUBRAY, J.** Mantenimiento Centrado en la confiabilidad. Aladon LLC; 2006.
- NAKAJIMA, S.** Introducción al TPM: mantenimiento productivo total. Portland: Productivity Press; 1991.
- NGUYEN, A, y SCHULZE, A.** Colloidal Science of Flotation. Boca Ratón: CRC Press; 2003. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/9781482276411>
- PARIAPAZA, E.** Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera -2021 [Tesis]. Lima: Universidad César Vallejo; 2021. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/76453>
- PARIDA, A. y KUMAR, U.** Maintenance Performance Measurement (MPM): Issues and Challenges. Journal of Quality in Maintenance Engineering. 2006;12(3):239-251.
- POMBO, J, et al.** Mantenimiento predictivo mediante el análisis de vibraciones de máquinas. La Plata: Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires; 1978. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=-HBjAAAAMAAJ>
- PRADO, D.** Desarrollo de un aplicativo móvil para fortalecer la identificación, evaluación y control de riesgos en procesos de mantenimiento de celdas de flotación en industria minera

[Tesis]. Lima: Universidad Tecnológica del Perú; 2018. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/1620>

RODRIGUEZ, M. Propuesta de la mejora de la gestión de mantenimiento en la mantenibilidad de equipos de acarreo de una empresa minera de Cajamarca [Tesis]. Lima: Universidad Privada del Norte; 2012. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/89>

RODRÍGUEZ, M. Propuesta de programa de mantenimiento preventivo para celdas de flotación FL50 en planta concentradora de minerales [Tesis]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala; 2018. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/11565/>

TAVARES, L. Administración Moderna de Mantenimiento. Novo Polo; 2016. Disponible en: <https://soportec.files.wordpress.com/2010/06/administracion-moderna-de-mantenimiento.pdf>

VASQUEZ, L. PADILLA, L. Propuesta de mantenimiento preventivo en celdas de flotación cleaner KYF-100 para mejorar productividad en planta de cobre minera - Chinalco [Tesis]. Lima: Universidad César Vallejo; 2022. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/94821>

WILLS, B. y FINCH, J. Wills' Mineral Processing Technology. 8th ed. Oxford: Elsevier; 2015. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/C2010-0-65478-2>

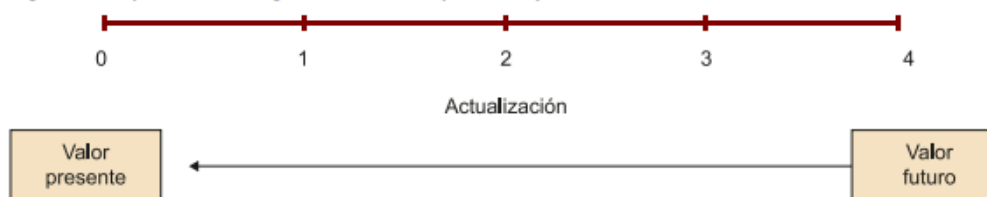
ANEXOS

Anexo 01: Matriz de Consistencia

Problema General	Objetivo General	Variables y Dimensiones	Metodología
¿Cuál es el diseño de mejora de ejes de las válvulas dardo de una celda de flotación de cobre que optimizara el proceso de mantenimiento en la unidad minera Constancia Hudbay Perú?	Elaborar un diseño de mejora de ejes de las válvulas dardo de una celda de flotación de cobre de para optimizar el proceso de mantenimiento en la unidad minera Constancia Hudbay Perú.	Variable 1 Diseño de mejora del eje de válvulas de las celdas de flotación Dimensiones: - Planificación - Control	Método: Deductivo Diseño: No experimental Población: U.M. Constancia HBP, de los 30 colaboradores del área de mantenimiento mecánico planta conforma la población. Muestra: Dado que la población no es grande se utilizará una muestra censal Técnicas: Entrevista y revisión documental Instrumentos: Cuestionario y ficha de revisión documental
Problemas específicos	Objetivos específicos		
1. ¿Cuál es la situación actual del proceso de mantenimiento? 2. ¿Cuáles son los principales factores que influyen en la optimización del proceso de mantenimiento? 3. ¿Cuál es la propuesta del diseño de mejora que optimiza el proceso de mantenimiento?	1. Analizar la situación actual del proceso de mantenimiento. 2. Identificar los principales factores que influyen en la optimización del proceso de mantenimiento. 3. c) Realizar la propuesta del diseño de mejora que optimiza el proceso de mantenimiento.	Variable 2 Optimización de proceso del mantenimiento. Dimensiones: - Disponibilidad - Costos	

Anexo 02: VAN

Figura 1. Representación gráfica del valor presente y el valor futuro



La fórmula es:

$$VAN = -C_0 + \frac{CF_1}{(1+r)} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} + \frac{VR_1}{(1+r)^n}$$

donde:

- CF_n : diferencia entre cobros y pagos durante el período n .
- C_0 : capital inicial.
- r : tasa de actualización o descuento.
- n : número de períodos.
- VR : valor terminal.

Anexo 03: TIR

La **tasa de rentabilidad (TIR)** es la tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos de efectivo futuros a cero, es decir, es la tasa que iguala el VAN a cero.

La fórmula para calcular la TIR es tomar el algoritmo de VAN e igualarlo a cero, suponiendo que r (tasa de actualización) es la TIR:

$$-C_0 + \frac{CF_1}{(1+TIR)} + \frac{CF_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

A partir de ahí, se requiere resolver la ecuación y despejar la TIR.

Por lo tanto, el objetivo final de la TIR es identificar la tasa de descuento que iguala el valor presente de los cobros con el valor presente de los pagos. Esta evaluación no incluye conceptos de riesgo o costo de oportunidad.

Anexo 04: ENTREVISTA

**DISEÑO DE MEJORA DE EJES DE LAS VÁLVULAS DARTO DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN
DE COBRE PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE MANTENIMIENTO EN LA UNIDAD MINERA
CONSTANCIA HUBBAY PERÚ**

Entrevistado: Billy Estrada Tejada

Cargo: Supervisor

Fecha: 03-03-2025

Entrevistado por: _____

- 1. ¿Cuál es el proceso actual de mantenimiento de las válvulas darto en las celdas de flotación de cobre en la Unidad Minera Constancia?**

- 2. ¿Qué problemas recurrentes se presentan en los ejes de las válvulas darto durante su operación o mantenimiento?**

Desgaste por abrasión, fricción, contacto con humedad, partículas de mineral fino, desalineamiento de guíadores.

- 3. ¿Cómo afectan estas fallas al rendimiento de la celda de flotación y a la producción general de la planta?**

Las fallas en los equipos afectan en la producción y en los cumplimientos que la organización tiene, las metas a corto y largo plazo se ven afectadas.

- 4. ¿Qué materiales y diseños se utilizan actualmente en los ejes de las válvulas darto? ¿Se han realizado modificaciones previas para mejorar su desempeño?**

Los ejes darto son de acero inox 304, tuvo de 4 pulgadas de diámetro, con un espesor de 3 mm. de 7.40 mts de longitud, se modificó en dos partes, la primera parte de 1.60 mts, con bridas a ambos lados y la otra parte de 5.80 mts de longitud, el segmento de 1.60 mts tiene un espesor de 5.55

mm. siendo esta parte la que sufre mayor desgaste, por tal motivo se decide por a prueba esta modificación.

¿Qué factores consideran críticos al diseñar o seleccionar componentes para estas válvulas?

- 5. ¿Han implementado tecnologías o metodologías innovadoras (como Ingeniería Inversa o simulación) para analizar las fallas en los ejes?**

No

¿Qué desafíos logísticos o técnicos anticiparían al implementar un nuevo diseño de ejes?

El máximo desafío es la funcionalidad de la mejora, si esta no es funcional provocaría una parada inesperada y acarrearía pérdidas, no sería factible.

- 6. ¿Qué métricas utilizarían para medir el éxito de una mejora en los ejes de las válvulas dando?**

Kpis de mantenimiento, para evaluar la disponibilidad del equipo.

- 7. ¿Cómo podría integrarse esta mejora con otros sistemas de la celda de flotación para optimizar procesos de mantenimiento preventivo o predictivo?**

Cada componente de una celda de flotación tiene distintas funciones, si esta mejora falla el funcionamiento del equipo no va a ser optimo, por tal motivo esta mejora debe engranar bien en el funcionamiento del equipo.

Basado en su experiencia, ¿qué recomendaciones clave daría para garantizar la sostenibilidad de esta mejora en el largo plazo?

Cumplir con los estándares de fabricación que la compañía requiere, de la mano del manual del fabricante.

Anexo 05: ACUERDO DE USO DE INFORMACIÓN PARA FINES ACADÉMICOS

CONVENIO

Conste por el presente documento, el Convenio (en adelante el "Convenio") que se celebran, de una parte:

- **HUDBAY PERÚ S.A.C.**, identificada con RUC N° 20511165181, con domicilio en Av. Jorge Chávez 235, Oficina 701, distrito de Miraflores, provincia y departamento de Lima, debidamente representada por su Gerente de Recursos Humanos y Administración, el señor Mario Javier Eugenio Estrada identificado con DNI N° 46808820, según poderes inscritos en la Partida Electrónica N° 11769292 del Registro de Personas Jurídicas de la Oficina Registral de Lima (en adelante, "HUDBAY"); y, de la otra parte,
- **Christian Fabrizio Llerena Suarez**, identificado con DNI N° 41120934, con domicilio para estos efectos en Calle Alfonso Ugarte N° 132, Arequipa, (en adelante, el "TRABAJADOR").

El presente Convenio se celebra de acuerdo con los términos y condiciones siguientes:

PRIMERA: ANTECEDENTES

- 1.1 HUDBAY es una sociedad constituida y existente de acuerdo a las leyes de la República del Perú, dedicada al desarrollo de actividades mineras varias.
- 1.2 El TRABAJADOR labora para HUDBAY desde el 07 de marzo de 2016, ocupando actualmente el cargo de Mecánico de Planta III.
- 1.3 El TRABAJADOR ha solicitado a HUDBAY la autorización para utilizar determinada información no confidencial de titularidad de HUDBAY, con el propósito de utilizarla para fines académicos exclusivamente.
- 1.4 Para esto se ha verificado que la información para la cual se brindar la presente autorización no es información material y/o no pública que pueda considerarse como confidencial, de acuerdo a las políticas y procedimientos internos de HUDBAY.
- 1.5 Teniendo en cuenta lo anterior, las partes han visto conveniente celebrar el presente Convenio para establecer, expresamente y por escrito, los lineamientos bajo los cuales HUDBAY autorizará que el TRABAJADOR utilice la información antes indicada, así como los objetivos, responsabilidades y demás elementos que resulten necesarios.

SEGUNDA: OBJETO DEL CONVENIO

- 2.1. El TRABAJADOR declara que solicita información técnica no confidencial de HUDBAY, referida al *Diseño y modificación de ejes de las válvulas dardo de una celda de flotación de cobre de 300 m3* en Procesos Planta y Proyectos, para utilizar única y exclusivamente para lo siguiente:

() Trabajo de Investigación para optar el grado de bachiller titulado:

() Tesis titulada:

() Trabajo de Suficiencia Profesional titulado:

(X) Título Profesional de:

Ingeniero Industrial

El TRABAJADOR declara que dicho trabajo o título lo realiza en la facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Continental.

2.2. Mediante el presente documento, HUSBAY autoriza a el TRABAJADOR a acceder y utilizar dicha información, bajo la supervisión del personal que designe HUSBAY, y a usarla única y exclusivamente para los fines indicados en la cláusula 2.1 del presente Convenio, siempre que cumpla con las obligaciones detalladas en el siguiente numeral.

2.3. EL TRABAJADOR se compromete a cumplir con las siguientes obligaciones:

- (i) A utilizar la información únicamente para los fines expresamente pactados en el presente documento.
- (ii) A no almacenar ni conservar la información luego de cumplido el fin académico específico aquí acordado. Para ello, el TRABAJADOR deberá informar oportunamente a HUSBAY una vez que cumpla dicho objetivo.
- (iii) A no hacer mención expresa en su trabajo académico ni identificar a HUSBAY, sus directivos o personal, proveedores, contratistas, clientes o cualquier otra persona vinculada, salvo que tenga autorización expresa, escrita y previa de HUSBAY.
- (iv) A mantener en reserva y confidencialidad absoluta la información requerida, salvo para los fines acordados en el presente documento. EL TRABAJADOR se obliga a no divulgar, utilizar o publicar la información bajo ninguna modalidad con fines distintos. Ello incluye no compartir ni transferir la información con terceros, incluyendo compañeros de estudios y docentes (salvo que sea el asesor formal designado para la elaboración del trabajo académico o el jurado, de ser aplicable).
- (v) A permitir que HUSBAY revise la versión final del trabajo académico antes de que este sea entregado a la universidad, a fin de verificar el cabal cumplimiento de las obligaciones contenidas en el presente documento. EL TRABAJADOR se obliga a obtener la autorización expresa, escrita y previa de HUSBAY antes de difundir y publicar el referido trabajo.

- (vi) No utilizar la información proporcionada para sacar provecho propio o para terceros, salvo para los fines indicados en este documento.
- (vii) A respetar que la información proporcionada es de propiedad exclusiva de HUSBAY y, por ende, que EL TRABAJADOR debe hacer uso de la misma respetando las leyes aplicables y políticas internas de HUSBAY, que a modo enunciativo pero no limitativo incluyen: (i) Disclosure Policy; y (ii) Confidentiality and Insider Trading Policy.
- (viii) A utilizar únicamente la información que haya sido expresamente autorizada por HUSBAY.

TERCERA: INCUMPLIMIENTO

HUSBAY y el TRABAJADOR acuerdan que el incumplimiento por parte de este último de cualquiera de las obligaciones estipuladas en el presente Convenio generará el pago de una indemnización en favor de HUSBAY por cualquier tipo de daño y/o perjuicio ocasionado (responsabilidad, pérdidas, costos, honorarios legales, entre otros) por la transgresión a este Convenio.

CUARTA: PLAZO

HUSBAY y el TRABAJADOR acuerdan que los términos y condiciones del presente Convenio tendrán un plazo de vigencia de 10 años, contados desde que se cumpla el fin académico específico aquí acordado.

QUINTA: REVOCACIÓN DE AUTORIZACIÓN

HUSBAY se reserva el derecho a revocar esta autorización en cualquier momento y sin expresión de causa.

SEXTA: LEY APLICABLE – SOLUCIÓN DE CONTROVERSIAS

Este Convenio se registrará e interpretará de acuerdo con las leyes de la República del Perú.

En caso de surgir algún conflicto con relación a la interpretación, ejecución, término, nulidad o anulabilidad del presente Convenio, las partes por medio de conversaciones bilaterales directas tratarán de llegar a un acuerdo dentro del más franco espíritu de colaboración y comprensión mutua.

Si lo indicado en el párrafo precedente no fuera posible, las partes se someten a la jurisdicción de los jueces laborales de Lima, Perú.

SÉTIMA: ESTIPULACIONES ADICIONALES

- 7.1 Las partes declaran expresamente que para la suscripción del presente Convenio no ha mediado error, dolo, violencia, intimidación ni ningún otro vicio de la voluntad que pudiera afectar la validez o la eficacia del mismo. Mediante la suscripción del presente Convenio ambas partes dejan constancia de su absoluta conformidad con cada uno de los términos y condiciones del Convenio.

- 7.2 Las partes señalan como sus domicilios los indicados en la introducción del presente Convenio, los cuales serán utilizados para cursar todas las comunicaciones relacionadas con el Convenio. Estos domicilios podrán ser variados previa comunicación escrita a la otra parte con una anticipación no menor de cinco (5) días calendario a la fecha efectiva de la variación del domicilio. Si no se observa esta formalidad, aquellas comunicaciones cursadas al domicilio original serán consideradas válidas y surtirán plenos efectos legales.
- 7.3 La falta o demora en el ejercicio por alguna de las partes de cualquier derecho, facultad o privilegio no se considerará una renuncia a él, ni tampoco cuando se trate del ejercicio parcial de cualquier derecho, facultad o privilegio. Ninguna renuncia se considerará efectuada si no es hecha por escrito por la parte renunciante.
- 7.4 Si alguna de las estipulaciones o cláusulas contenidas en el presente Convenio fuesen consideradas por un juez o tribunal competente como inválidas, ilegales o de otra forma no aplicables, ello no deberá afectar las demás estipulaciones o cláusulas contenidas en este documento o al contrato en su totalidad, sino que se considerará que dichas estipulaciones o cláusulas deberán modificarse en la medida en que lo considere necesario el juez o tribunal respectivo, para que dichos términos o cláusulas sean aplicables; además, los derechos y obligaciones de las partes deberán considerarse y aplicarse en consecuencia, manteniendo, en la medida de lo posible, el objetivo y los acuerdos de las partes, según lo establecido en este documento.

En señal de conformidad, las partes suscriben el presente Convenio en dos (2) ejemplares de igual tenor, en la ciudad de Lima, el 05 de noviembre de 2024.



Mario Eugenio Estrada
**Gerente de Recursos Humanos y
Administración**

Christian Llerena Suarez
EL TRABAJADOR

Anexo 06: Egresos para la implementación del proyecto

Diseño Técnico				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Horas de ingeniero mecánico	Horas	40	S/ 250.00	S/ 10,000.00
Horas de ingeniero de mantenimiento	Horas	20	S/ 200.00	S/ 4,000.00
Licencia software CAD/CAE (prorratio proyecto)	Unidad	1	S/ 3,000.00	S/ 3,000.00
Modelado 3D y simulaciones	Proyecto	1	S/ 2,500.00	S/ 2,500.00
Revisión y validación de planos	Servicio	1	S/ 500.00	S/ 500.00
Sub Total				S/ 20,000.00
Materiales Especializados				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Acero inoxidable grado HAZ32	Kg	1000	S/ 60.00	S/ 60,000.00
Sellante industrial	Kg	50	S/ 450.00	S/ 22,500.00
Componentes hidráulicos	Kit	24	S/ 15,000.00	S/ 360,000.00
Adhesivos de alta resistencia	kg	50	S/ 600.00	S/ 30,000.00
Sub Total				S/ 472,500.00
Mano de obra calificada				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Técnicos	Mes	12	S/ 15,000.00	S/ 180,000.00
Soldador	Mes	12	S/ 8,000.00	S/ 96,000.00
Sub Total				S/ 276,000.00
Equipos de precisión				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Torno CNC (prorratio uso)	Mod.	8	S/ 15,000.00	S/ 120,000.00
Fresadora de control numérico	Mod.	8	S/ 10,000.00	S/ 80,000.00
Herramientas de medición láser	Set.	4	S/ 5,000.00	S/ 20,000.00
Sub Total				S/ 220,000.00
Reposición de Guías				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Guías lineales nuevas	Pcs	2	S/ 2,000.00	S/ 4,000.00
Mano de obra montaje	Horas	6	S/ 250.00	S/ 1,500.00
Sub Total				S/ 5,500.00
Recubrimientos (Flexane / Wearing)				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Material Flexane (resina)	kg	800	S/ 150.00	S/ 120,000.00
Mano de obra de aplicación	Horas	60	S/ 250.00	S/ 15,000.00
Sub Total				S/ 135,000.00
Personal Técnico				

Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Supervisor	Mes	12	S/ 4,500.00	S/ 54,000.00
Coordinador de proyectos	Mes	12	S/ 3,000.00	S/ 36,000.00
Sub Total				S/ 90,000.00
Capacitación				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Curso de mantenimiento predictivo	Horas	40	S/ 100.00	S/ 4,000.00
Taller de manejo de recubrimientos	Horas	40	S/ 200.00	S/ 8,000.00
Material didáctico	Unidad	50	S/ 10.00	S/ 500.00
Sub Total				S/ 12,500.00
Mantenimiento				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Repuestos		8	S/ 20,000.00	S/ 160,000.00
Eje segmentado	Unid.	40	S/ 6,400.00	S/ 256,000.00
Sub Total				S/ 416,000.00
Total de Inversión				S/ 1,647,500.00

Anexo 07: Ingresos para la implementación del proyecto

Beneficio Capacitaciones				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Reducción de horas de retrabajo	Horas/año	200	S/ 100.00	S/ 20,000.00
Total beneficio (Ahorro - Inversión)				S/ 20,000.00
Beneficio por Reducción de Pérdidas por Paradas				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Horas productivas recuperadas	Horas/año	360	S/ 694.44	S/ 250,000.00
Sub Total				S/ 250,000.00
Beneficios en Gestión de Mantenimiento				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Ahorro en reposición de ejes	Unidades/año	14	S/ 24,000.00	S/ 336,000.00
Reducción de horas de intervención	Horas/año	532	S/ 100.00	S/ 53,200.00
Eliminación de alquiler de grúas torre	Días/año	70	S/ 1,875.00	S/ 131,250.00
Optimización logística	Global/año	1	S/ 703,550.00	S/ 703,550.00
Sub Total				S/ 1,224,000.00
Beneficio Medioambiental				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Reutilización de segmentos de ejes	Unidades/año	16	S/ 12,500.00	S/ 200,000.00
Reducción de residuos metálicos	Toneladas/año	4	S/ 25,000.00	S/ 100,000.00
Sub Total				S/ 300,000.00
Total de Inversión				S/ 1,794,000.00