

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Actualización del plan de mantenimiento de los
equipos de chancado secundario para incrementar la
eficiencia de activos del área seca de una gran
minera de la ciudad de Arequipa, 2023**

Eduardo Concepcion Perez Chuy

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Arequipa, 2024

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 Efraín Postigo Zumarán
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 11 de Octubre de 2024

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

Título:

ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE CHANCADO SECUNDARIO PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DE ACTIVOS DEL ÁREA SECA DE UNA GRAN MINERA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA, 2023

Autores:

1. Eduardo Concepcion Perez Chuy – 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 15 % 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 (**en caso de elegir "SI"**): 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,

La firma del asesor obra en el archivo original

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad por darme las bases para desarrollar el trabajo.

A mi asesor por guiarme en todo este trayecto.

DEDICATORIA

A mi familia por ser el motor de mi vida.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	3
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.1.2 Formulación del problema	5
1.1.2.1 Problema general.....	5
1.1.2.2 Problemas específicos	5
1.1.3 Objetivos.....	5
1.1.3.1 Objetivo general.....	5
1.1.3.2 Objetivos específicos	5
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	6
1.2.1 Justificación	6
1.2.2 Importancia.....	8
1.3 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	9
1.3.1 Hipótesis	9
1.3.2 Variables.....	9
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	10
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	10
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	10
2.1.2 Antecedentes nacionales	12
2.1.3 Antecedentes locales.....	16
2.2 BASES TEÓRICAS	17
2.2.1 Mantenimiento.....	17
2.2.2 Plan de mantenimiento.....	17
2.2.3 Tipos de mantenimiento.....	18
2.2.4 Pasos para la implementación de mantenimiento	21
2.2.5 Importancia de la gestión del mantenimiento	22
2.2.6 Gestión de activos.....	24
2.2.7 Eficiencia de activos	28
2.2.8 Herramientas de calidad.....	32

2.2.9 Herramientas de gestión.....	35
2.2.10 Proceso de chancado.....	36
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	38
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	41
3.1 MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.1.1 Método de investigación.....	41
3.1.2 Alcance de la investigación	41
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	41
3.3.1 Población	41
3.3.2 Muestra	42
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	42
3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	43
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1 DIAGNÓSTICO SITUACIONAL.....	44
4.1.1 Reseña.....	44
4.1.2 Visión.....	44
4.1.4 Organigrama gran minera	46
4.1.5 Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	47
4.2 ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	60
4.2.1 Creación de la herramienta para retiro de head	60
4.2.2 Proceso optimizado del mantenimiento de chancadoras secundarias año 2023	63
4.2.3 Mejora en la utilización de materiales	66
4.2.4 Asignación de tareas al personal en cada parte del proceso	67
4.2.5 Cronograma de mantenimiento del año 2023	68
4.2.6 Costo de parada de chancadoras secundarias.....	69
4.2.7 Disponibilidad y confiabilidad del año 2023	70
4.2.8 Eficiencia de activos del año 2023	70
4.3 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA COMPARATIVA	71
4.4 CONTRASTE DE HIPÓTESIS	72
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Importancia de la eficiencia de activos.	29
Figura 2. Factores de la gestión de activos.	29
Figura 3. Organigrama.	46
Figura 4. Circuito de Recuperación de Mineral Grueso y alimentación a la tolva intermedia. 48	
Figura 5. Diagrama de bloques de mantenimiento de chancadoras secundarias 2022.	49
Figura 6. Cronograma de mantenimiento 2022.	51
Figura 7. Diagrama de Ishiwaka.	57
Figura 8. Diagrama de Pareto.	59
Figura 9. Cambio de trompo manualmente.	60
Figura 10. Línea del tiempo de la creación de la herramienta para retiro de head.	61
Figura 11. Partes herramienta para retiro de head.	62
Figura 12. Proceso optimizado del mantenimiento de chancadoras secundarias año 2023.	63
Figura 13. Tiempo de mantenimiento de chancadoras secundarias año 2023 (enero- abril).	64
Figura 14. Actividades de mantenimiento.	65
Figura 15. Tiempo de mantenimiento de chancadoras secundarias año 2023 (mayo-junio).	66
Figura 16. Perfil STD Extra fino de la chancadora secundaria MP1250.	67
Figura 17. Parada de línea CR24 enero 2023.	68
Figura 18. Cronograma de parada de línea CR24 enero 2023.	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Matriz de operacionalización de las variables	9
Tabla 2.	Equipos de chancado secundario	42
Tabla 3.	Tiempos de parada de máquina	52
Tabla 4.	Costo por parada de chancadoras de enero a julio 2022.....	53
Tabla 5.	Costo por parada de chancadoras de agosto a diciembre 2022.....	53
Tabla 6.	Costo total de parada año 2022.....	54
Tabla 7.	Disponibilidad y confiabilidad 2022	54
Tabla 8.	Eficiencia de activos del año 2022	55
Tabla 9.	Matriz de correlación.....	58
Tabla 10.	Orden de importancia de causas raíces	58
Tabla 11.	Costo de parada de chancadoras secundarias de enero a abril 2023.....	69
Tabla 12.	Costo de parada de chancadoras secundarias de mayo a diciembre 2023	69
Tabla 13.	Costo total de parada del año 2023.....	69
Tabla 14.	Disponibilidad y confiabilidad del año 2023.....	70
Tabla 15.	Eficiencia de activos del año 2023	70
Tabla 16.	Comparación descriptiva	71
Tabla 17.	Prueba de normalidad	72
Tabla 18.	Contraste de hipótesis.....	72

RESUMEN

El presente trabajo surge por la necesidad de reducir el tiempo de parada de máquina en una gran minera. Por lo tanto, se planteó como objetivo determinar la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario, lo cual incrementa la eficiencia de activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023. Para tal fin, se utilizó el método científico hipotético deductivo, puesto que se recopiló, organizó, procesó, analizó e interpretó los datos de los equipos de chancado secundario y demoras operativas en dichos equipos por paradas. En los resultados de 28 actividades se redujo a 24 con lo que se ahorró 2.15 horas. Además, se redujo 8.50 horas de 17 actividades y 7 se realizan al mismo tiempo lo que ahorro 1.75 horas, lo que permitió alcanzar el tiempo de demora de mantenimiento de 4.5 horas. Por lo tanto, la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario incrementó la eficiencia de activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa en 12.53 %, la disponibilidad de los equipos en 1.54 % y la confiabilidad de los equipos en 3.98 %. Se concluye, que la implementación de la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario incrementó la eficiencia de activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa en 12.53 %.

Palabras clave: Plan de mantenimiento, eficiencia de activos, disponibilidad, confiabilidad, gran minera.

ABSTRACT

This work arises from the need to reduce machine downtime in a large mining company. Therefore, the objective was to determine the update of the maintenance plan of the secondary crushing equipment that increases the efficiency of assets in the dry area of a large mining company in the city of Arequipa, 2023. For this purpose, the hypothetical deductive scientific method was used, since the data of the secondary crushing equipment and operational delays in such equipment due to stoppages were collected, organized, processed, analyzed and interpreted. The results of 28 activities were reduced to 24, saving 2.15 hours. In addition, 8.50 hours were reduced from 17 activities and 7 are performed at the same time saving 1.75 hours, which allowed reaching the maintenance delay time of 4.5 hours. Therefore, updating the maintenance plan of the secondary crushing equipment increased the efficiency of assets in the dry area of a large mining company in the city of Arequipa by 12.53 %, the availability of the equipment by 1.54 % and the reliability of the equipment by 3.98 %. It is concluded, that the implementation of the secondary crushing equipment maintenance plan update increased the asset efficiency of the dry area of a large mining company in the city of Arequipa by 12.53 %.

Keywords: Maintenance plan, asset efficiency, availability, reliability, large mining company

INTRODUCCIÓN

Es importante para las empresas tener un plan de mantenimiento que deberá aplicarse a los equipos, buscando la prevención y reducción de tiempos en las paradas de máquina, y los tiempos perdidos que se dan al respecto, así como pérdida económica y la reducción de costos. Esto además permite realizar una revisión adecuada y optimizada, de esta forma, el plan de mantenimiento garantiza una gestión eficiente en los activos.

Respecto al ámbito empresarial, el sector minero es muy competitivo, por lo que las mineras buscan disminuir el uso de recursos para aumentar sus ganancias. En este contexto, la eficiencia se torna relevante para la gestión de activos, dado que se producirán mejoras en el desempeño de las organizaciones empresariales. Es por ello, que el plan de mantenimiento para la eficiencia minera se basa en un método estructurado y ordenado que garantiza el funcionamiento continuo y eficaz de todos los equipos, maquinaria y sistemas. Este plan abarca actividades orientadas al mantenimiento, con la finalidad de disminuir las fallas, reducir el tiempo de paralización de actividades y optimizar el rendimiento operativo. La correcta ejecución de este plan es indispensable para que las empresas mineras tengan operaciones exitosas.

Por otro lado, el mantenimiento de los equipos asegura que se encuentren en su mejor estado y que tengan un rendimiento óptimo, lo que lleva a una mayor producción y un mejor rendimiento general. Además, una programación adecuada y constante de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, contribuye a extender el tiempo de conservación y utilidad de los equipos disminuyendo el requerimiento de reemplazos frecuentes y costosos. Adicionalmente, existe una menor probabilidad de fallos que puedan comprometer la seguridad del personal; teniendo como consecuencia, un entorno de trabajo más seguro

Ante lo presentado anteriormente, la finalidad de esta investigación es la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario para incrementar la eficiencia de los activos del área de seco, se conoce que en las áreas seca y húmeda se realizan las actividades relacionadas al chancado primario, secundario y terciario, la molienda y la frotación entre otros, donde las paradas de equipos programadas ya eran establecidas cada 20 o 21 días.

Se debe considerar, que con el pasar del tiempo, los activos van presentando desgaste debido al propio uso que se les da, de ahí radica lo relevante que es un plan de mantenimiento, apoyando a que los activos se encuentren en buen estado y, a la vez incrementar la conservación y utilidad de los mismos.

En el primer capítulo trata sobre el problema de la minera que es mantener actualizado el plan de mantenimiento en especial en los equipos de chancado secundario. Así como el objetivo principal que es determinar la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado

secundario que incrementa la eficiencia de activos del área seca de una gran minera en la ciudad de Arequipa.

El segundo capítulo trata sobre los antecedentes previos relacionados con la problemática del presente trabajo. En el ámbito internacional se presenta que, para mejorar la eficiencia de activos en el sector minero, se aplican mejoras de ingeniería con la reposición y el cambio de equipos se convierte en una estrategia para el sector.

A nivel nacional, el mantenimiento en el sector minero se realiza con el objetivo de aumentar su confiabilidad y disponibilidad de las maquinarias y equipos. Antes de ello, se realizan análisis de causas raíces para enfocar eficientemente la mejora y se mide su efecto mediante estadísticas comparativas. A nivel local, se aplican estándares de calidad en el mantenimiento como estrategia para reducir las paradas de las máquinas. Además, en el segundo capítulo se presentan las bases teóricas de las variables.

El tercer capítulo trata sobre la metodología relacionada a la presente investigación que es el método científico hipotético deductivo, de alcance explicativo comparando el antes y después de la actualización del mantenimiento con un diseño pre experimental. Además, la población en la que se centra el estudio, son los equipos de chancado secundario del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa.

En el cuarto capítulo se presenta inicialmente el diagnóstico del área seca donde están los equipos de chancado secundario. Además, se identificó que la principal problemática del área era la baja eficiencia de activos. Para ello, se actualizó el plan de mantenimiento, en el que se eliminaron actividades por la compra de maquinaria y por realizar actividades de manera simultánea, se logró mejorar la eficiencia de activos, seguidamente se realizó el análisis descriptivo y comparativo, después se contrastó la hipótesis y se realizó la discusión. Para finalizar, se realizó las conclusiones y recomendaciones planteados en coherencia a los resultados y objetivos de la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Planteamiento del problema

La eficiencia de activos en las grandes mineras, está referida a la destreza de estas empresas para utilizar sus recursos en forma efectiva y generar rendimientos óptimos a partir de sus inversiones en activos.

En Perú, aproximadamente entre el 30 % y el 40 % de las empresas tienden a vender sus activos fijos de forma regular. Todavía se necesita fomentar una mentalidad de eficiencia en la gestión del capital. En ocasiones, muchas empresas optan por conservar sus activos fijos durante períodos prolongados, incluso después de que hayan superado su vida útil, sin evaluar el impacto económico asociado a los costos continuos de mantenimiento. Este enfoque no solo puede dar lugar a ineficiencias internas, sino que también plantea riesgos para la seguridad de los trabajadores. Es crucial desarrollar una conciencia sobre el análisis de costos y la optimización de recursos para producir mejoras en la eficiencia operativa y garantizar un ambiente de trabajo seguro (1).

La problemática se centra en incrementar la eficiencia de activos del área seca de una gran minera, enfocándose en los equipos de chancado secundario, según la Sociedad de Comercio Exterior del Perú, el crecimiento de las empresas del sector minero depende del desarrollo de proyectos (2). Sin embargo, para José Andújar et al., el sector minero se enfrenta a precios de metales volátiles que afectan a la oferta y demanda, por esta razón, se torna relevante realizar las operaciones con efectividad y eficiencia (3).

Por otro lado, de acuerdo con el último informe de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, en la actualización del portafolio de inversión minera del mes de julio del 2023; se observa que 46 proyectos, aportan una inversión equivalente a \$53 130 millones. Dentro de estos proyectos, 34 evidencian retrasos en referencia a su proyección sobre la primera fecha de ejecución; de los cuales, 11 se encuentran retrasados por decisión propia de la empresa y 23 por factores ajenos a la voluntad de la empresa. Respecto a los proyectos retrasados por motivos

ajenos a la voluntad de la empresa, se tiene a los conflictos sociales y desafíos comunitarios, retrasos en los procedimientos administrativos en las etapas de exploración, preparación y construcción, y explotación y beneficio de la mina. (4).

A pesar de la conflictividad, el sector industrial de minería e hidrocarburos presentó un incremento acumulado del 6,08 % en el período enero-abril de 2023. Este aumento se debió al desarrollo creciente de la industria minera de metales, con un incremento del 7,37 %, incentivado por los altos porcentajes en los niveles productivos de cobre (15,26 %) y hierro (23,94 %). Por otro lado, los incrementos mencionados, aportaron 7,91 puntos al porcentaje total del desempeño del sector, sólo con el cobre y hierro. Sin embargo, se presentó una ligera disminución debido a una baja en la productividad acumulada de molibdeno (-7,70 %), plata (-7,05 %), zinc (-2,67 %), estaño (-51,17 %), oro (-2,41 %) y plomo (-1,48 %), lo que resultó en un efecto negativo de -1,70 puntos en el porcentaje total al agrupar estos productos. Esto se refleja en un incremento en los activos fijos de las empresas en todo el país (Instituto Nacional de Estadística y Informática, 2023).

En el ámbito local, se encuentra una gran minera en la ciudad de Arequipa dedicada a producir cátodos de cobre (Cu), concentrado de cobre y concentrado de molibdeno; donde el funcionamiento de la planta concentradora es de suma importancia para las metas de producción que consta del área seca como el área húmeda. Por otro lado, para la gran minera promueve una cultura de rendimiento en todas las áreas.

Para cumplir con la cultura de alto rendimiento, las áreas utilizan metodologías como OKR, Blueprint que son enfocadas en buscar la reducción de parada de planta debido a que una hora de parada de chancadoras secundarias cuesta en promedio \$ 25 000 dólares. Por otro lado, se evidencia que en las áreas seca y húmeda, se realizan las actividades relacionadas al chancado primario, secundario y terciario, la molienda y la frotación entre otros, donde las paradas de equipos programados se cumplían con los tiempos óptimos que eran realizados cada 20 o 21 días, se mejoró ampliando el mantenimiento entre 28 a 30 días, lo que demuestra que están logrando extender la vida del componente, lo que resulta en un incremento en la eficiencia de activos de 86.7 % a 90.76 %.

Sin embargo, pese a la mejora, se ha evidenciado que aún se puede reducir los tiempos de parada de planta de 6.5 horas a 4.5 horas en los equipos de chancado secundario. Actualmente, el área de chancado secundario cuenta con cuatro chancadoras cónicas de la marca Metso modelo MP1000, con un upgrade a MP1250, que alimenta a un HPGR el cual requiere ser cambiado una vez al año. Sin embargo, las chancadoras son cuellos de botella para el área, ya que su parada de planta representa del 25 % al 50 % de las horas de parada de planta actualmente, y se busca que cada chancadora represente el 25 % con 4,5 horas.

Como consecuencia, se advierte la necesidad de llevar a cabo una actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario, que presentará claramente los pasos

para incrementar la eficiencia de los activos y su disponibilidad que se alinea a la cultura de alto rendimiento de la gran minera que busca minimizar los tiempos de parada de planta. Además, para la gran minera los activos requieren tener un mantenimiento adecuado que minimice los altos riesgos de falla que afectan a las operaciones y a la rentabilidad de las inversiones. Por lo tanto, se requiere actualizar el plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario para incrementar la eficiencia de activos del área seca de una gran minera de Arequipa.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1 Problema general

¿Cómo la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario incrementa la eficiencia de activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023?

1.1.2.2 Problemas específicos

¿Cómo la actualización del plan de mantenimiento incrementa la disponibilidad de los equipos de chancado secundario área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa?

¿Cómo la actualización del plan de mantenimiento incrementa la confiabilidad de los equipos de chancado secundario área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa?

1.1.3 Objetivos

1.1.3.1 Objetivo general

Actualizar el plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario para incrementar la eficiencia de activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023.

1.1.3.2 Objetivos específicos

Diseñar la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario para incrementar la disponibilidad del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023.

Efectuar la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario para incrementar la confiabilidad del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023.

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.2.1 Justificación

A. Justificación práctica

El presente estudio se plantea ante la necesidad de incrementar la eficiencia de los activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa que permitirá cumplir con las metas de producción y ahorrar costos al reducir las paradas de máquinas no programadas. La eficiencia de los activos en una empresa minera es esencial para garantizar un rendimiento económico sostenible y la maximización de los recursos disponibles.

Una gestión eficiente de los activos, permite asignar de manera óptima los recursos financieros. Al minimizar gastos innecesarios que las operaciones presentan y mejorar la utilización de equipos, se contribuye al logro de una rentabilidad y sostenibilidad financiera más elevada de la organización empresarial minera.

Respecto a la relevancia del plan de mantenimiento para la eficiencia minera, esta radica en su destreza en la prevención de fallos, disminución de los periodos de paralización de actividades, optimización del rendimiento de los equipos, reducir costos, mejorar la seguridad, cumplir con normativas y gestionar los recursos eficientemente. Por otro lado, al tener eficiencia en la gestión de los activos, se garantiza la evaluación constante de la duración y utilidad de los equipos, facilitando decisiones oportunas sobre reemplazos, actualizaciones o mejoras, maximizando así su rendimiento.

La eficiencia de los activos también está vinculada a la seguridad laboral. Mantener equipos desgastados o ineficientes aumenta el riesgo de accidentes. Al asegurar que los activos estén en condiciones óptimas, se protege la integridad física de los trabajadores y se cumplen normativas de seguridad.

Los activos eficientes contribuyen a una mayor productividad en las operaciones mineras. Equipos bien mantenidos y utilizados de manera efectiva, mejoran la eficiencia en la extracción, procesamiento y transporte de minerales; generándose un incremento en la producción.

En un mercado minero en constante cambio, la eficiencia de activos posibilita que la empresa se adapte de forma rápida a las variaciones de la demanda y las situaciones del mercado. La flexibilidad con que se desarrolle la gestión de activos facilita la toma de decisiones ágiles y con visión estratégica.

B. Justificación teórica

Se aportará al conocimiento de la ingeniería industrial y se incrementará al material de estudio a investigaciones del sector minero que busquen resultados más óptimos en la gestión operativa con el incremento de la eficiencia de activos.

Por otro lado, la eficiencia de los activos en el contexto de una empresa minera, encuentra sustento en diversos principios teóricos y conceptos fundamentales, los cuales respaldan la

necesidad de gestionar de manera efectiva los recursos y equipamientos utilizados en las operaciones mineras.

Además, la eficiencia en la gestión de los activos en una empresa minera, encuentra respaldo teórico en diversas disciplinas que van desde la economía y la gestión administrativa de activos hasta la seguridad en el trabajo y la responsabilidad social corporativa. La aplicación de estos principios teóricos, es crucial para optimizar las operaciones mineras y garantizar un rendimiento sostenible a largo plazo.

C. Justificación social

Por el crecimiento de la eficiencia de los activos, la planta de chancado secundario mejorará los procesos operativos permitiendo mejorar el bienestar de los trabajadores. La eficiencia en la gestión de los activos ayuda a la sostenibilidad de las operaciones mineras, asegurando la estabilidad de la empresa y, por ende, la continuidad de empleo para los trabajadores. Un enfoque eficiente no solo preserva puestos de trabajo que ya existen, sino que también favorece la creación de empleo adicional de tal forma que la empresa se expande y está en crecimiento.

Una operación minera eficiente puede destinar recursos adicionales a programas de desarrollo comunitario. La inversión en proyectos de ayuda social, orientados a la educación y de salud; sirven para mejorar las condiciones en que viven los pobladores de las comunidades locales, promoviendo la equidad y el bienestar social, fortaleciendo el vínculo con las comunidades aledañas.

La eficiencia de los activos está intrínsecamente vinculada a la seguridad y salud ocupacional. Mantener equipos en óptimas condiciones no solo reduce riesgos de accidentes, sino que también promueve un entorno de trabajo seguro, mejorando el bienestar general de los trabajadores y generando un impacto positivo en la sociedad.

D. Justificación personal

Con la elaboración de la investigación, el bachiller podrá ampliar su léxico y conocimientos que tienen relación con la actualización de plan de mantenimiento en el sector minero, además le permitirá ser acreditado con el título profesional de ingeniero industrial. Además, el presente estudio buscará llenar vacíos de conocimiento, analizando las mejores prácticas, identificando desafíos comunes y proponiendo enfoques innovadores para mejorar la gestión de activos en este sector.

E. Justificación ambiental

La eficiencia de los activos también tiene implicaciones ambientales. Equipos obsoletos o ineficientes pueden generar mayores emisiones y residuos. La gestión eficiente no solo mejora

la rentabilidad, sino que también asegura el cumplimiento de regulaciones ambientales, contribuyendo a la sostenibilidad y la responsabilidad social corporativa.

1.2.2 Importancia

La investigación es relevante en el contexto de la gran minería, dado que se centra en la optimización y potenciación de las operaciones a gran escala que caracterizan a esta industria. En primer lugar, la investigación permite identificar y evaluar nuevas tecnologías que pueden ser incorporadas para producir mejoras en la eficiencia y la productividad de las organizaciones empresariales mineras. Esto es crucial, dado el tamaño y la intensidad de las operaciones en este sector, donde pequeñas mejoras pueden traducirse en grandes aumentos de rendimiento.

Además, la investigación facilita la actualización y el ajuste continuo de los planes de mantenimiento, lo que es indispensable para garantizar el adecuado funcionamiento de los equipamientos y maquinaria que se utilizan en la extracción y procesamiento de minerales. Al mantenerse al día con las últimas tecnologías y prácticas de mantenimiento, las empresas mineras pueden disminuir los periodos de paralización de actividades de los equipos e incrementar su vida útil, lo que se traduce directamente en una mayor producción y rentabilidad.

Un aspecto clave de la investigación en este contexto, es su contribución a la implementación de estrategias operativas efectivas. Por ejemplo, la actualización del plan de mantenimiento, puede permitir a las empresas mineras generar mejoras en sus procesos de chancado secundario, mediante la introducción de monitoreo en tiempo real y técnicas de mantenimiento predictivo. Además de producirse una mejora en la eficiencia de los activos, se presenta una reducción en los costos operativos al minimizar las interrupciones no planificadas debido a fallas mecánicas.

Además, la investigación valida la efectividad de las estrategias de mejora continua en el sector minero. Al demostrar que la implementación de cambios disruptivos en las operaciones, como la actualización del plan de mantenimiento, puede conducir a una reducción significativa en las paradas de las máquinas y, por lo tanto, aumentar la productividad global, se refuerza el compromiso de la industria con la innovación y el progreso constante.

En conclusión, el presente estudio, enfocado en la gran minería, es fundamental para lograr un impulso en la eficiencia, mejora de la productividad y la rentabilidad de las operaciones, al tiempo que promueve una cultura de mejora continua y adaptación a los avances tecnológicos, así como la implementación de mejores prácticas al interior de la industria.

1.3 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.3.1 Hipótesis

La actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario incrementa la eficiencia de activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023.

1.3.2 Variables

A continuación, se presenta la operacionalización de variables:

Tabla 1.

Matriz de operacionalización de las variables

Variables	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente Plan de mantenimiento.	Análisis de situación actual	Resultados del diagnóstico Análisis de la información
	Diseño.	Objetivos del plan de mantenimiento
	Ejecución.	Cumplimiento de objetivos del plan de mantenimiento
	Control.	Cumplimiento del cronograma de mantenimiento
Variable dependiente Eficiencia de activos	Disponibilidad.	Tiempo disponible
		Tiempo de horas muertas
	Confiabilidad	Tiempo disponible
		Paradas no planificadas
		Paradas planificadas
	Detenimiento de operaciones	
	Fallas operacionales	

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1 Antecedentes internacionales

Oluwatobi et al. (2023), en su estudio tuvo como finalidad mejorar la eficiencia del mantenimiento de equipos en la industria minera, el texto destaca la necesidad de integrar tecnologías de Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Automático (ML). Se analiza el mantenimiento en la industria minera; así como las metodologías y procesos de PdM que se utilizan en otras industrias, sugiriendo su aplicabilidad al sector minero. Se analizan diferentes arquitecturas, procesos, fases y modelos de PdM, tanto estadísticos como basados en ML, que son utilizados para desarrollar planes de mantenimiento predictivo; además, se exploran posibles direcciones de implementación para el PdM en la industria minera, destacando los desafíos que podrían surgir en este proceso. Para ello, se realizó una investigación tanto de los modelos basados en la física como de los basados en el conocimiento empírico, que requieren información completa sobre la máquina y su funcionamiento. De acuerdo con los resultados, aborda la complejidad y los costos que se asocian al mantenimiento de maquinaria dentro de la industria minera, proponiendo la incorporación de tecnologías avanzadas como la IA y el ML. Se concluye que la industria minera es importante en la economía global, al generar productos básicos esenciales. Se señala que, para mantener una producción continua, la industria depende en gran medida de maquinaria y equipos, los cuales se han vuelto más complejos debido a la modernización, presentando una variedad de sistemas y subsistemas. No obstante, se plantea que el mantenimiento de esta maquinaria puede ser un desafío complejo y costoso (6).

Guerra y Montes de Oca, en su artículo “Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería”, analizan a la minería como un eje trascendental en el desarrollo económico de todo país, además de ser una gran fuente de riquezas, dado que aporta a la sostenibilidad de la población. Como parte de sus operaciones, usualmente, se realiza la movilización de grandes cantidades de materiales, utilizando equipos diseñados para que puedan operar de manera constante en el transcurso de su duración y utilidad.

Esta maquinaria suele ser expuesta a severas condiciones ocasionadas por el esfuerzo de jornadas continuas, que se extienden con la finalidad de alcanzar las metas planteadas de producción. A medida que se extiende el tiempo de uso, se van presentando desgastes prematuros en ciertos componentes de las máquinas. La investigación fundamenta la problemática que se presenta ante el requerimiento de establecer qué relación existe entre la productividad, los procedimientos aplicados para el mantenimiento y la sustitución de los equipos mineros utilizados por las grandes empresas mineras a cielo abierto, analizando su rendimiento en condiciones específicas de los procesos de explotación (7). Para tal fin, se ha descrito el flujo de tecnología dentro de la empresa minera, caracterizando los equipos de la mina que son parte del proceso de explotación. Adicionalmente se ha realizado la evaluación de la condicionalidad en la que se realiza el cambio del equipo y maquinaria; así como los daños ocasionados por los errores en estos procesos y su incidencia en el costo de operaciones. Se aplicó una investigación de campo, teniendo como técnica el estudio de caso. El hallazgo más importante se refiere al cálculo de los niveles de productividad total de los equipos utilizados en el transporte, para la excavación y carga; así como los bulldóceres en el 6to año de la explotación minera.

Los valores hallados fueron 51.72 %, 48.88 % y 55.5; correspondientes a cada ítem, evidenciando disminución en la productividad de las maquinarias que oscila entre el 44 % y el 51 %. Se observa que la disminución de los niveles productivos del parque de máquinas, es ocasionada por deficiencias en la disponibilidad técnica que se suma al incumplimiento de la planeación en las actividades de mantenimiento, lo cual tiene relación directa con las estrategias que se utilizan para la adquisición de cada equipo en particular, así como su reemplazo en el momento que se requiera de forma inmediata.

Ignacio Zamora, en su investigación “Diseño de un plan de mantenimiento para equipos de la empresa compañía minera Cerro Negro S.A.”, tuvo como objetivo el diseño del plan de mantenimiento de equipos de la compañía minera Cerro Negro que representa un paso significativo hacia la optimización de su desempleo operativo y económico la identificación de la alta frecuencia de fallas la carencia de un plan de mantenimiento y repuestos como la inexistencia de registros y recomendaciones del fabricante, resalta la urgencia de abordar este equipo crítico en términos operativos y económicos. La aplicación de un enfoque sistemático en tres etapas, demuestra una rigurosa recopilación de datos los cuales proporcionan una base de salida para entender las posibles problemáticas, la posibilidad de identificar componentes críticos a través del análisis de falla y criticidad junto con la aplicación del modelo de Weibull, igualmente añade una capa de precisión al diagnóstico y la formulación de estrategias de mantenimiento. Se propone el plan de mantenimiento basado en los resultados obtenidos y en el contexto operacional, adopta un enfoque preventivo basado en la condición, ofreciendo frecuencias primas de inspección y protocolos de actuación, esta estrategia no solo aborda las fallas existentes, sino que también se proyecta para prevenir futuros inconvenientes mejorando la confiabilidad del equipo. La tercera

etapa centrada en el plan de repuestos, destaca la importancia de minimizar el costo global asociado a las fallas mediante un enfoque basado en el análisis de confiabilidad. Este enfoque inteligente, contribuye no solo a reducir costos operativos, sino también, asegurar la disponibilidad de repuestos esenciales. Se concluye que, la investigación ofrece un marco integral y proactivo para abordar las deficiencias del equipo, proporcionando una base sólida para la mejora continua en términos operativos y económicos en la compañía minera Cerro Negro (8).

Barrios y Molina, en su estudio “Análisis y diagnóstico de los tipos de mantenimiento en la pequeña y gran minería aurífera en la subregión del Bajo Cauca Antioquia”, señalan que la pequeña minería aurífera en la región, opera principalmente con un mantenimiento correctivo aplicado en emergencias. Esto implica abordar reparaciones y mantenimiento solo después de que ha ocurrido un problema, lo que puede resultar en uso excesivo de tiempo y recursos económicos debido a las reparaciones, compra de repuestos y paralización de los equipos. Además, se observa una cantidad insuficiente de mano de obra calificada para dichos trabajos en la zona, que se considera un factor clave para la implementación del mantenimiento correctivo. Este problema puede afectar negativamente la eficiencia de las operaciones de la mina; así como su rentabilidad. El artículo propone realizar un análisis, en función de los diferentes tipos de mantenimiento, incluyendo los de prevención, predicción y corrección. Esto sugiere una evaluación integral de las estrategias de mantenimiento utilizadas en las empresas mineras de la subregión. Se destaca la importancia del mantenimiento RCM, como una estrategia para acrecentar las ganancias y los sistemas operativos dentro de la industria. El RCM se centra en conservar los niveles de confiabilidad que deben presentar los equipos, identificando y abordando de manera proactiva las posibles fallas antes de que ocurran. La finalidad del análisis propuesto, es mejorar las utilidades y operatividad en la industria minera. Esto sugiere una perspectiva de gestión más estratégica hacia el mantenimiento, con un enfoque en la eficiencia y la reducción de pérdidas asociadas con el mantenimiento correctivo (9).

2.1.2 Antecedentes nacionales

Arnold Indigoyen, en su investigación “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para Incrementar la Disponibilidad de la Chancadora SANDVIK CH870 – Compañía Minera Milpo S.A.A.”, identificó el problema del bajo nivel de disponibilidad de la Chancadora Sandvik CH870, con un promedio mensual de 77,4 %; lo cual impacta de forma directa en la producción, generando incumplimiento constante en las metas organizacionales planteadas por la Compañía Minera Milpo S.A.A. Las fallas presentadas en los equipos, tenían impacto directo en su productividad, ocasionando indicadores negativos en el mantenimiento y en sus costos. Todo ello, debido al desconocimiento de las fallas que se podrían presentar, no se prevé la implementación de estrategias que puedan disminuir el impacto de las mismas. Por tal motivo, se plantea como objetivo del estudio, implementar la aplicación de la estrategia RCM con la finalidad de generar

un incremento en la disponibilidad de la chancadora mencionada. Respecto a la metodología, se aplicó el método experimental, de tipo correlacional. Respecto a la recolección de datos, se consideró el enfoque del RCM, utilizando una base de datos que permitió la recopilación de la información para ser procesada por el programa SAP Módulo PM. Tras la identificación de las principales causas que ocasionan la reducción en la disponibilidad de los equipamientos, se requiere implementar la realización de un análisis para la priorización de las acciones necesarias. Con la finalidad de lograr ello, se utilizó el diagrama de Pareto, evidenciándose los efectos negativos que se producen por los tiempos de paralización de las actividades, así como las consecuencias que se reflejan en la producción. En los hallazgos, posterior a la aplicación del RCM, se evidencia un incremento en la disponibilidad mensual de 77.4 % a 85.2 %. Como parte de las estrategias, se implementó una guía para la aplicación de lubricantes en los equipos que sirven de soporte para que se pueda incrementar la disponibilidad de uso y confiabilidad de los mismos, en función del uso de lubricantes de base sintética, con lo cual se logró una disminución en los periodos de paralización ocasionados debido a las actividades del mantenimiento correctivo. La disminución fue de 158 horas a 104 horas, con lo cual se incrementó la disponibilidad del equipo (10).

Angel Torres, presenta la tesis titulada “Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para Mejorar la Disponibilidad de la Chancadora 60”X113” de minera Chinalco”. El estudio se centra en el análisis de la utilización eficiente de estrategias para el mantenimiento propuesto por la metodología RCM, que se ha implementado para la chancadora 60” x 113” de Minera Chinalco Perú para lograr mejoras en su disponibilidad. Con tal finalidad, se analizaron los puntos de criticidad las formas y consecuencias que producen las averías, lo que posibilita el estudio de las características que presentan las averías más frecuentes de la chancadora primaria y su afectación en la disponibilidad y operatividad mecánica. Por lo tanto, el objetivo central es aplicar un plan de mantenimiento que se basa en la confiabilidad, con la perspectiva de buscar mejoras en la disponibilidad de la Chancadora cónica 60”x113” propiedad de la Compañía Minera Chinalco Perú; realizándose la recopilación de la información proveniente de la propia minera. Respecto a la metodología, esta fue de Análisis – Síntesis. Además, se hizo uso del método de sintonización para presentar los resultados en su interpretación y en la discusión; así como para el planteamiento de las conclusiones y recomendaciones. En referencia al desarrollo del estudio, se consideró la Investigación Tecnológica. Para procesar la información, se aplicó el software estadístico SPSS, para el análisis de normalidad de la información, se aplicó la prueba de Shapiro Wilk; mientras que, la hipótesis fue validada con el estadístico de T-students para muestras relacionadas; de manera que, se garantizó que los resultados tuvieran un importante impacto para mejorar la disponibilidad, logrando un mejoramiento de un 92,08 % en la disponibilidad mecánica del Chancador cónico 60”x113. En los hallazgos, se evidencia que la disponibilidad mecánica es de un 88,91 %, entre julio de 2015 a junio del 2016; información que fue considerada para poder

elaborar un plan de mantenimiento en función de la confiabilidad, el cual fue aplicado entre julio de 2016 a junio del 2017. Se logró la identificación de las funciones, averías funcionales, tipos de averías, aplicando un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF); seguidamente, se llevó a cabo el análisis de los puntos de criticidad de cada componente de la chancadora de acuerdo con los parámetros brindados por la minera, logrando la identificación de las averías con mayores niveles de prioridad de riesgo (NPR), con lo que se procede a la elaboración de la hoja de dictámenes (11).

Maykol Fernández, presenta la investigación titulada “Implementación de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para el área de Chancado Terciario en una Planta Concentradora Arequipa 2016-2018”, en la cual realiza un análisis del escenario actual de las empresas que ponen a prueba su destreza para afrontar la competitividad, debido al volumen y calidad de los bienes y recursos comprometidos en el departamento de mantenimiento. Considerando que, actualmente, los precios se fijan de acuerdo con la fluctuación del mercado, las empresas se ven obligadas a trabajar en la minimización y optimización de sus procesos productivos, lo que origina un incremento en los costos de mantenimiento. Con ello, se busca generar beneficios en los grupos de interés más cercanos como es el área de producción. La finalidad del estudio, es crear un plan de mantenimiento y trabajar en su implementación con la perspectiva de lograr mejoras en la confiabilidad que presentan los HPGR correspondientes al área de chancado terciario. Para tal fin, se propone una metodología que se basa en el uso del RCM, para poder identificar los motivos probables de las paralizaciones de actividades que no han sido consideradas en la programación. La investigación es de tipo explicativa. Se procede a analizar los motivos y las consecuencias de las averías de los activos. Es indispensable considerar todos los modos de falla para seleccionar una estrategia que oriente en el planteamiento de una actividad en cada caso identificado. Seguidamente, se llevó a cabo la estimación del NPR para determinar los tipos de fallas críticos en cada equipo considerado en la investigación. Se elaboró un rol de actividades para la realización del mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo; lográndose realizar un mejor diagnóstico y obtener información cronogramada de las fallas que presentan los equipos en los que se puede visualizar la fecha y hora de la ocurrencia, motivos de la falla; además, se debe considerar los costos ocasionados (compra de repuestos para sustituir las piezas con defectos, mano de obra; etc.). Cuando se culmina con el comparativo entre el plan de mantenimiento vigente vs plan RCM, se llega a la conclusión de que al aplicarse el RCM, este proporciona una visión financiera muy favorable, dado que se logra ahorrar la cantidad de \$ 3 514,100, en un lapso de 5 años, en los gastos que se producen cuando no se aplica el RCM (12).

Davis Macedo y Franklin López, en su tesis titulada “Modelo de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad en equipos subterráneos en una empresa de mediana minería en Ayacucho-Perú, utilizando RCM”, consideran el desarrollo vertiginoso de la minería a nivel mundial a partir de fines del siglo XX, basándose en datos de distintas variables,

tales como la inversión realizada por las empresas mineras que en un periodo menor a los quince años, paso de un monto de mil millones de dólares americanos, a un monto que sobrepasó los veinte mil millones de la misma moneda correspondientes al año 2012, siendo considerada como una prueba relevante en relación con el incremento de este sector . El estudio tiene como finalidad poner en práctica un modelo aplicado a la administración en el área de mantenimiento, para aumentar los niveles de disponibilidad del equipamiento que trabaja bajo tierra en una empresa de mediana minería en la región de Ayacucho-Perú, ello mediante el uso de las estrategias planteadas por el RCM, basado en una detección objetiva, mediante el uso de instrumentos y métodos que corresponden a la ingeniería industrial dentro de los que se incluye, los diagramas de Pareto y el de causa efecto en los cuales se centra como problema principal, la flota Scoop presenta una disponibilidad de un 77 %, con un costo al año de \$ 1 236 239,00 destinados a las actividades de mantenimiento. En la hipótesis, se plantea que la problemática radica en los bajos niveles de disponibilidad que presenta la flota Scoop utilizada en las operaciones de la minería subterránea, que tiene como causas principales la interrupción constante durante el abastecimiento de la energía necesaria en la ejecución de las operaciones del equipo, se evidencia la ocurrencia de cortes en la provisión de potencia para las llantas y la operación constante del equipo de manera que pueda seguir operando, y los efectos negativos sobre las características internas y/o externas del equipamiento que produce efectos negativos en su movimiento coordinado y uniforme. Por tal motivo, se hizo uso de las técnicas y estrategias de ingeniería: AMEF y se implementó el RCM, que fueron integrados en un mismo modelo y fueron validados con los artículos científicos que se presentan en el Capítulo I, que sirve para demostrar la eficiencia de dichas herramientas en todo el mundo. Se llega a la conclusión de que la metodología RCM que se propuso, se puede considerar como una medida de solución aplicable al realizar el acto de prueba; aplicando el software Arena, se pudo identificar un aumento en los niveles de disponibilidad, que se incrementaron del 77 % al 83 %. Este incremento ha tenido un impacto positivo en otros indicadores de mantenimiento como el tiempo promedio que se presenta entre las fallas (MTTF) que presentó un aumento de 56 a 83 horas, contrario al tiempo promedio durante la reparación (MTTR); que presentó una disminución de 13 horas/avería a 9 horas/ avería. Como consecuencia, se produjo un aumento de 12,630.62 toneladas del material extraído durante las operaciones de la empresa minera (13).

Henry Chacón, en su tesis titulada “Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la productividad de los equipos de chancado secundario en una empresa minera”, propone un plan de mantenimiento que se revela como una herramienta integral y efectiva para optimizar la eficiencia y los niveles de confiabilidad que se observan en los equipos de la operación minera. La combinación de enfoques preventivos y predictivos junto con la implementación de indicadores de gestión, han demostrado ser crucial para el aumento de la disponibilidad y la reducción de las paradas no programadas; por otro lado, la investigación de campo mediante el

estudio de caso, proporciona datos valiosos que respaldan la hipótesis de que el plan de mantenimiento repercute positivamente sobre la producción de los equipos que se utilizan en el chancado secundario, en lo que respecta a la unidad minera el Porvenir. La valoración detallada de la productividad de los equipos como la identificación y abordaje respecto a las principales causas de disminución de la productividad, ofrecen un enfoque práctico y fundamentado del enfoque de mantenimiento que se centra en la confiabilidad; se destaca como una estrategia esencial en la optimización del tiempo de operación planificada y minimizar las interrupciones no planificadas, contribuyendo significativamente al incremento general de la productividad. El análisis estadístico de los índices de la eficacia y la eficiencia durante el periodo de 24 semanas, respalda de manera sólida la conclusión de que la decisión de implementar el plan de mantenimiento preventivo, ha logrado un aumento notable en el rendimiento productivo. Se concluye que, la interrelación entre productividad, operaciones de mantenimiento y la sustitución del equipamiento minero se abordan de manera exhaustiva, proporcionando decisiones estratégicas en el ámbito de la operación minera a cielo abierto a gran escala; la aceptación de la hipótesis general refuerza la relevancia y efectividad del plan de mantenimiento consolidándolo como una herramienta esencial para maximizar la operación y contribuir al éxito continuo de la unidad minera el Porvenir (14)

2.1.3 Antecedentes locales

Ambrocio y Huamaní, en su investigación “Propuesta de mejora del plan de mantenimiento proactivo del área seca C” en Sociedad Minera Cerro Verde”, tuvo como finalidad, optimizar el mantenimiento proactivo en el área seca C2, en la cual, se realizan las operaciones de los equipos de chancado y las fajas transportadoras. La meta fue que se mantenga una producción constante y lograr la máxima eficiencia en la planta. La propuesta se inicia con una evaluación exhaustiva de la condición, en el momento de la investigación de la Sociedad Minera Cerro Verde (SMCV), con un enfoque específico en el área de mantenimiento, teniendo como consigna, el aseguramiento de la operación ininterrumpida de la producción las 24 horas del día. Se destaca la importancia de contar con una elevada disponibilidad en el área seca C2, actualmente situada en un 92.46 %. Se subraya la necesidad de incrementar este índice para mejorar la eficiencia de la planta. La propuesta se centra en implementar mejoras proactivas y realizar cambios en el área, con la finalidad de tener una reducción en las paralizaciones de actividades que no se encuentran en la programación de la planta. Se busca identificar oportunidades para mejorar el mantenimiento proactivo y reducir fallas inesperadas. Se plantea la implementación de un enfoque predictivo y la compra de equipamiento de vanguardia para la supervisión; esto sugiere la adopción de tecnologías avanzadas para anticipar y prevenir posibles fallos en los equipos. Se proyecta que estas mejoras resultarán en un aumento en los índices de disponibilidad de la planta en un 0.45 %, equivalente al monto aproximado de 7 millones de

dólares americanos. Esto destaca la relación directa entre el mantenimiento eficiente y los beneficios económicos. En resumen, la propuesta se enfoca en mejorar la eficiencia del mantenimiento proactivo en el área seca C2, haciendo hincapié en la importancia de la disponibilidad. La introducción de enfoques predictivos y tecnologías de monitoreo refleja una estrategia avanzada en la optimización de la gestión de mantenimiento y alcanzar mejoras económicas significativas (15).

Santos, en su estudio “Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aplicado en el área de chancado de planta concentradora minera Bateas S.A.C. Arequipa”, presenta un plan de mantenimiento con la finalidad de alcanzar una elevada disponibilidad y confiabilidad de los equipamientos utilizados en el circuito de chancado. Se busca asegurar un tamaño adecuado del producto y garantizar la mejora continua. Durante el desarrollo del proyecto, se crearon y emplearon esquemas para el control, estándares de calidad, planos y procesos laborales. El objetivo era la existencia de un adecuado procedimiento, cumplimiento de metas, seguimiento de los procesos, recopilación y análisis detallado de los datos. En conclusión, la implementación del RCM, resultó en una mejora del 10 % en los niveles de disponibilidad del equipamiento en la sección de chancado en comparación con años anteriores. Este análisis evidencia la relevancia del mantenimiento centrado en confiabilidad, la atención a la seguridad y normativas, así como la aplicación de controles y protocolos para garantizar un rendimiento óptimo de los equipos de chancado en la empresa minera Bateas S.A.C. El incremento en los niveles de disponibilidad de los equipos indica el éxito del enfoque implementado (16).

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Mantenimiento

El mantenimiento son las acciones realizadas con la finalidad de que un elemento, maquinaria o equipo que posee la empresa, se mantenga debidamente conservado o restaurado, de manera que pueda desempeñarse en las funciones programadas para las que ha sido diseñado. También está referido a la administración de recursos y la planificación de actividades en función del análisis de datos estadísticos, en el que se aplican criterios de las generaciones actuales que se han desarrollado en los últimos años, y están en actualización permanente (17).

2.2.2 Plan de mantenimiento

Para proceder con la implementación de un plan de mantenimiento, se requiere tener conocimiento sobre los indicadores de disposición, confiabilidad, hojas de ruta para el mantenimiento, tiempo promedio entre las paradas por reparaciones; la aplicación debe elaborarse de acuerdo con determinados parámetros que aseguren bajos costos en el proceso de

mantenimiento. Es importante tener en cuenta todo lo anterior para la correcta ejecución de un plan de mantenimiento (18).

La formulación de esquemas para la gestión del mantenimiento desde una visión del sector civil, no concreta una planificación; lo cual se puede reflejar en la disponibilidad de los equipos. El método aplicado para la gestión se puede monitorear desde diferentes ámbitos, tales como la gestión administrativa que guarda un historial del avance de las actividades de mantenimiento; así como la planificación, organización y control de la teoría en base al TPM (19).

Para la aplicación de la estrategia de la metodología 5S, es necesario trabajar de acuerdo con los índices en la gestión de actividades programadas para el mantenimiento y los itinerarios de inspeccionar, reparar, y gestionar los recursos humanos; debiendo ser acompañado por un plan de adiestramiento que contenga materias de utilidad para los encargados de ejecutar los trabajos de mantenimiento y para los trabajadores a cargo de los equipos en su trabajo diario (20). Ello conduce a una mejor organización en la empresa, según un enfoque más estratégico considerando diversas etapas de optimización, por lo que la metodología 5S es una de las más utilizadas por las empresas que buscan mejorar su capacidad organizativa en cualquier área que lo requiera. Se considera que las primordiales ventajas de esta herramienta son su uso práctico, utilizando sus recursos en los niveles que sean básicos para alcanzar la máxima eficiencia en la ejecución de sus actividades. Es evidente que el trabajo intensivo en la optimización de cada parámetro que lo requiera genera buenos resultados.

Ante la posibilidad de prescindir de esta herramienta por temor a las dificultades que se pudieran presentar en su implementación, se debe tener en consideración que las 5S ayudan en el mejoramiento del control visual de las maquinarias y equipamiento en las grandes industrias como la minería, dado que se mejora la visualización de los distintos mecanismos internos y/ externos cada vez que se necesite ejecutar alguna actividad referida al mantenimiento (21).

Por otro lado, se entiende que la gestión de mantenimiento, es relevante en la disminución de gastos que provienen de la inversión en mantenimiento, personal, servicios por reparación, la minimización de los sobrecostos por la repetición en las tareas de mantenimiento. Adicionalmente, se consideran las pérdidas en los procedimientos de producción, la disminución en la calidad de productos, demoras en los tiempos de entrega y el gasto excesivo por almacenaje de productos de costos de baja rotación (22).

2.2.3 Tipos de mantenimiento

El trabajo planificado de estrategias de mantenimiento sirve para mejorar la gestión de sus actividades, de manera que se ejecuten de manera más eficiente y efectiva (23). Para una mejor comprensión se presentan los siguientes tipos de mantenimiento:

A. Mantenimiento autónomo

Becerra, como se cita en Rodríguez (2019), sostiene que está referido a la puesta en práctica de actividades propias del mantenimiento como: trabajos de lubricación, limpieza, protección, calibración, ajustes o similares. Este tipo de mantenimiento es realizado por los operarios a cargo de los equipos, usualmente cada semana, con la finalidad de que se mantengan en un nivel adecuado de uso y para que se pueda extender la vida útil de los procesos operativos, de manera que se evita su desgaste (24).

Este tipo de mantenimiento por los operadores es particular del TPM y es fundamental para todo tipo de industria. La estandarización de este tipo de mantenimiento es difícil de lograr y puede extenderse por un largo periodo de tiempo, debido a que los maquinistas y operadores a cargo del mantenimiento, les resulta difícil cambiar su rutina de trabajo. Los operadores se dedican a las actividades productivas y el personal a cargo del mantenimiento asume toda la responsabilidad del mantenimiento. Además de las normas y beneficios que se consideran en su forma de trabajo vigentes (19).

Respecto al mantenimiento autónomo, se trata de una de las etapas en las que el área de ejecución prepara las condiciones para la implementación del TPM. Capacitar a los empleados en los métodos TPM es una actividad importante más adelante en la fase de implementación. La fase preparatoria incluye la formación de todos los instrumentos de gestión y sindicatos. En la etapa de desarrollo del talento para la capacitación de este método, se considera a los mandos intermedios y empleados base.

B. Mantenimiento Correctivo

Germán Manjón, se refiere al mantenimiento que se ejecuta para reparar las fallas que ocurren en las maquinarias. Se clasifica en:

- No planificado: Actividad de mantenimiento que se realiza en calidad de emergencia, en la que no se ha podido detectar el fallo. Se debe ejecutar con urgencia
- Planificado: Se tiene conocimiento con anticipación de las actividades a ejecutar, de forma que al momento de que se presente una para, se disponga de los recursos necesarios para efectuar la reparación. En esta actividad se debe considerar las horas hombre, los repuestos y la documentación técnica que se requiere para una correcta ejecución del trabajo.

La diferencia que se observa entre estos dos tipos de mantenimiento es que, en el no programado se trata de realizar la corrección o reparación de una avería, apenas esta se presente. Por otro lado, en el planificado, se procede a la reparación de la avería al momento que se cuenta con el personal, herramientas, datos y materiales necesarios para la ejecución eficiente del trabajo de mantenimiento (25). Las reparaciones se realizan según las necesidades de producción, que el defecto se repare de forma planificada o de inmediato, usualmente depende de la importancia del

equipamiento dentro de los procesos de producción: si este es indispensable, se detiene de forma inmediata a consecuencia del daño, las actividades de reparación se pueden iniciar sin haber sido planificadas previamente; sin embargo, en caso de que el equipo o instalación puede funcionar a pesar del fallo, las reparaciones pueden posponerse, de acuerdo con la conveniencia de las operaciones de la empresa (22).

Esta diferenciación que se evidencia entre el correctivo planificado y correctivo no planificado, genera efectos negativos sobre todo en la productividad. No tendrá el mismo efecto la planificación de las actividades productivas, si la suspensión se produce de inmediato y de manera sorpresiva que limita la capacidad para reaccionar ante la contingencia. Por lo tanto, si bien una corrección no planificada es claramente un acontecimiento que se debe evitar desde la perspectiva de la productividad, la participación de los clientes y las ganancias, una corrección planificada se muestra menos agresiva para todos ellos (26).

C. Mantenimiento predictivo

Mantenimiento que se realiza en función de las rutas de inspección, sensoriales e instrumentales, con la finalidad de identificar el estado y nivel de operatividad de los activos, se realizan de manera intermitente para la prevención de fallos (26).

Se necesita realizar el análisis de las variables físicas que presentan los equipos (temperatura, presión, vibración, etc.), para identificar las fluctuaciones que se pudieran presentar, ocasionando perjuicios en el activo (23).

D. Mantenimiento preventivo

Emilio Alpizar, sostiene que se refiere a las actividades que se ejecutan en un equipo, dispositivo o estructura, con el fin de que funcione con la mayor eficiencia, previniendo paradas forzadas o imprevistas que puedan suscitarse. Para la ejecución de esta clase de mantenimiento, se necesita tener un elevado nivel de conocimiento y eficiencia en la organización. Se debe elaborar un cronograma de inspecciones para las maquinarias y equipamiento que se encuentran en la planta, para lo cual se debe planificar, programar, controlar y ejecutar las actividades necesarias para identificar y corregir errores que pueden ocasionar daños más serios con el paso del tiempo.

Actualmente, las organizaciones empresariales, tienen la tendencia a generar pérdidas, dado que sus plantas no cumplen con los objetivos operacionales que se requieren para un trabajo eficiente; lo cual se ve reflejado en un importante sector, debido a la ausencia de planes de mantenimiento que puedan asegurar niveles óptimos de operatividad de las máquinas y equipos, para reducir las pérdidas que se producen a causa de los paros intempestivos (26).

Es recomendable que el mantenimiento preventivo se realice en todo el centro de trabajo porque se utilizará para realizar un seguimiento de todas las inspecciones, incluso si hay algunas

salas o máquinas que cuentan con suministros dedicados y mantenimiento subcontratado. No se puede ocupar ningún puesto sin inspección y/o control. Se debe inventariar todos los materiales físicos del centro de trabajo, para poder desarrollar la programación de las actividades de mantenimiento que satisfaga los requerimientos prioritarios que se presentan en la empresa y obtener los mejores datos sobre la relación entre costos, mantenimiento y producción (25).

El mantenimiento preventivo produce una serie de planes que se ejecutarán en fechas establecidas. Estos planes son exhaustivos, ya que especifican todos los materiales, herramientas y repuestos necesarios para el servicio, así como la información sobre los técnicos y el personal encargado del mantenimiento. (Tambra 2021).

2.2.4 Pasos para la implementación de mantenimiento

Según Emilio Alpizar, las etapas a seguir para poder implementar un plan de mantenimiento son:

A. Primero: Definir los equipos

Se considera indispensable que se identifique cuáles son los equipos que requieren de estudio para su mantenimiento; posteriormente, la empresa debe brindar los catálogos y/o manuales correspondientes para que se realice un manejo adecuado y un buen procesamiento de la información.

B. Segundo: Definir las tareas de mantenimiento

Considerando que las tareas de mantenimiento están referidas a las acciones que son realizadas para la mantenibilidad que se deben efectuar a los equipos, se tienen las tareas de inspeccionar, reparar y conservar.

C. Tercero: Definir las rutas de mantenimiento

Para definir las estrategias de mantenimiento, se debe considerar todas las tareas que se podrían ejecutar dentro de un área determinada y unificar todas las disciplinas para intervenir cada activo y/o dispositivo de acuerdo con la especificación de los catálogos de los equipos, el juicio que pudieran emitir los expertos, historial de ocurrencias, condiciones en las que se realiza la operación.

D. Cuarto: Elaborar el plan de mantenimiento

Se procede con el diseño de un plan, en el cual deberán detallarse las actividades correspondientes al mantenimiento y establecer la frecuencia requerida para la realización de cada intervención. Posteriormente, se elabora un formulario en el que se incluya una lista de las tareas que deben ser ejecutadas en un espacio de tiempo establecido y debidamente calendarizadas. La

planificación debe realizarse de acuerdo con los recursos con los que se cuenta para el mantenimiento. El formulario será una orden de trabajo (OT), que debe contener la especificación de todas las tareas de mantenimiento que se ejecutan mediante esta orden de trabajo.

E. Quinto: Definición de los recursos

En esta parte, se procede a la identificación de los recursos, dentro de ellos se considera el talento humano, repuestos requeridos, materiales disponibles, insumos imprescindibles para la realización de cada actividad especificada en el mantenimiento. Además, se debe indicar si para la operación será necesario el uso de personal o el contrato de un servicio externo o interno, o ambos.

F. Sexto: Implantar un sistema de gestión de la información

En esta etapa se procede al registro en un sistema ya sea manual o virtual de la información fidedigna con la que se cuenta respecto al plan de mantenimiento, así como las actividades ejecutadas, el tiempo que se utiliza para el mantenimiento de cada operación, las horas hombre implementadas, los repuestos utilizados, los desvíos y todo dato que sea relevante para la mejora permanente de los programas de mantenimiento.

La implementación de estos sistemas puede ser respaldada por herramientas como cuestionarios, radares, listas de verificación y otras similares. La revisión de los registros, facilita la optimización de las operaciones comerciales y el incremento de la rentabilidad al proporcionar datos relevantes y precisos sobre aspectos clave para tomar decisiones informadas. Aplicando esto a nuestro contexto, una auditoría puede servir de ayuda para la evaluación del impacto de las mejoras en el mantenimiento. Esta mejora continua permite el avance hacia determinadas metas, de manera gradual. Un primer intento fallido no implica que el éxito sea inalcanzable (27).

2.2.5 Importancia de la gestión del mantenimiento

Castillo y Prieto, sostienen que la importancia de una adecuada gestión de las actividades de mantenimiento en el sector minero, es crucial para tener asegurada la eficiencia, seguridad y rentabilidad de las empresas mineras. Los trabajos de mantenimiento han evolucionado de acuerdo con los avances de la tecnología; en sus inicios, era considerado como una actividad correctiva, realizada con la finalidad de reparar averías eventuales; además, estas actividades de mantenimiento, eran ejecutadas por los maquinistas a cargo de los equipos; con la evolución e incremento de la complejidad de las máquinas, las áreas de mantenimiento empiezan a organizarse para poder atender, no solo las averías eventuales, sino para la realización de trabajos preventivos de manera que se tengan programas de intervención previos a la ocurrencia fallas o averías. Para que esto pueda ejecutarse, se presentó la necesidad de contar con personal especializado en el análisis de los tiempos de ocurrencia de las averías, para que puedan ser

atendidas de forma inmediata. Esta estrategia permita su rápida eliminación, garantizando la optimización de la eficiencia; ello permitirá reducir y/o evitar los costes por errores. Actualmente, el mantenimiento tiene la finalidad de extender el tiempo de conservación y utilidad de los bienes, de manera que puedan brindar un servicio óptimo; es por ello que, tanto el mantenimiento preventivo como el correctivo son medios para este fin.

A continuación, se detallan algunos aspectos clave que resaltan su relevancia (28):

A. Maximización de la disponibilidad y rendimiento de equipos

Una adecuada gestión de las actividades de mantenimiento garantiza que las maquinarias y equipamiento utilizados en la minería estén disponibles y funcionando en su máxima capacidad. Esto reduce los periodos de paralización de actividades no planificados y optimiza la producción.

B. Seguridad del personal y de las operaciones

Un mantenimiento óptimo aporta directamente a la seguridad en el lugar de trabajo. Equipos bien mantenidos reducen el riesgo de fallas catastróficas que podrían poner en riesgo al personal y afectar la integridad de las instalaciones mineras.

C. Prolongación de la vida útil de los activos:

La gestión del mantenimiento se centra en prácticas preventivas y predictivas para asegurar que los activos como maquinarias y equipos, se mantengan en buenas condiciones a lo largo del tiempo. Esto ayuda a la extensión de la operatividad de los activos, evitando costosos reemplazos prematuros.

D. Eficiencia energética

El mantenimiento de los equipos en condiciones adecuadas para su operatividad, se ve reflejado en la eficiencia energética. Las maquinarias y equipamientos que tienen un correcto proceso de mantenimiento, suelen operar con mayor eficiencia, ocasionando una disminución en la utilización de energía y los gastos asociados.

E. Reducción de costos operativos

La gestión del mantenimiento permite planificar y programar actividades de mantenimiento eficientemente, previniendo reparaciones de emergencia costosas. La inversión en mantenimiento preventivo puede lograr ahorros significativos a largo plazo reduciendo los costos operativos.

F. Cumplimiento con normativas ambientales

La minería está sujeta a estrictas regulaciones ambientales. La gestión del mantenimiento ayuda a garantizar que los equipos cumplan con los estándares ambientales, minimizando la incidencia negativa de las actividades mineras en el entorno.

G. Mejora continua e innovación

La recolección de datos y la gestión del mantenimiento, brindan información estimable sobre la utilidad de los procedimientos y los equipos. Estos datos se pueden utilizar para análisis y mejoras continuas, fomentando la innovación en las prácticas mineras.

H. Gestión de riesgos

La detección y mitigación de potenciales amenazas, son parte integral de la gestión del mantenimiento en el sector minero. Dentro de esta estrategia, se incluye evaluar y abordar posibles problemas de seguridad y medio ambiente antes que lleguen a ser situaciones sin retroceso (28).

En resumen, la gestión del mantenimiento en la minería, no está centrada exclusivamente en la operación efectiva de los equipos, adicionalmente influye de forma directa en las condiciones de seguridad de los colaboradores, la conservación ambiental, así como la rentabilidad a largo plazo de las operaciones mineras. Con el paso de los años, las empresas mineras han considerado lo relevante que es la supervisión de los niveles de operatividad de los equipos que son parte de los sistemas productivos respecto a las ganancias. Para tal fin, las empresas realizan inversiones importantes en la implementación de mejoras en sus departamentos de mantenimiento y contratar personal especializado y calificado. Esto asegura la planificación de actividades preventivas y la identificación de defectos, asegurando así el funcionamiento óptimo de las actividades de producción, facilitando el funcionamiento exitoso de las estrategias de control y la eliminación de pérdidas de materias primas e interrupciones en la producción.

2.2.6 Gestión de activos

Se considera a los activos físicos a los inmuebles, así como a los sistemas de tecnología básicos y sistemas con especialización en producción y servicio, soportes del negocio de la organización (29).

Por ello, la ISO 55000:2014, resalta la importancia que tiene un activo para la organización y acota que pueden ser tangibles e intangibles, financieros o no financieros; así, de tal forma que se conceptualiza al activo como aquello que contiene valor potencial o real para la organización, pudiendo variar su valor dependiendo de cada organización (30). De acuerdo con Eric Too, la gestión de activos físicos (GAF), debe mantener el negocio a través de objetivos. Los

activos físicos tienen una correspondencia con la creación de valor que es una estrategia de productividad (31).

Tibaire Depool, considera la GAF como el diseño donde se definen los riesgos que pueden ser aceptables y comprendidos en todos los niveles de la empresa. La GAF desde una concepción actual, tiene en cuenta a estos desde el momento en que se analiza su compra o fabricación y finaliza con su separación como activo de la organización, es decir, ya no solo durante el servicio de producción de las actividades de los equipos de la empresa (32).

Para Campbell y Reyes (33); Tibaire Depool (32), el término GAF surgió de la gestión de las actividades de mantenimiento y el vínculo con las demás dependencias de la compañía, donde se logra una utilización óptima de los activos productivos de manera eficiente, es decir con un mínimo de gastos. Además, sostienen que la política de mantenimiento de la organización tiene como objetivo tener los equipos operativos y con reducción de fallas. Según el caso la organización podría elegir una de las siguientes políticas: la reparación de equipos al ocurrir la falla, mantener a los equipos activos y el mantenimiento preventivo.

Amadi-Echundu et al., añaden que en el GAF se consideran estrategias de riesgo, medición, seguridad, medio ambiente y factores humanos (34). Para ISO 55000:2014, la GAF es el conjunto de actividades asociadas con: (a) identificar qué activos se necesitan, (b) identificar los requisitos de financiación, (c) adquirir activos, (d) proporcionar soporte logístico y de mantenimiento para los activos, (e) enajenación y renovación de activos. Por lo tanto, la gestión de activos está referida a los procedimientos de seguimiento y acciones de control de los activos que se necesiten, así como su financiación, la adquisición, la logística, mantenimiento y la renovación, todos enfocados para dar sostenibilidad a las empresas (30). Por lo tanto, con la gestión de activos, la organización busca lograr dar un valor adicional a sus activos y esto se da a partir de una serie de movimientos coordinados de sus diversas áreas como planeación, contabilidad, presupuesto, etc.

Hoy en día, la gestión eficiente de activos no es un requisito obligatorio para las empresas de servicios públicos. A nivel global, las organizaciones enfrentan retos significativos en la administración de sus recursos. Las economías en desarrollo están enfocadas en identificar inversiones que requieran menos costos y ofrezcan mayores rendimientos para obtener los máximos beneficios a corto plazo. En contraste, los países en rápido crecimiento se enfrentan al desafío de comprender los costos que se asocian al periodo de duración y operatividad de su infraestructura. Mientras tanto, las economías más desarrolladas están buscando maneras de prolongar la durabilidad de sus infraestructuras y abordar problemas globales como el cambio climático. La gestión de activos puede contribuir a resolver estos problemas al ofrecer la estructura necesaria. Esta evidencia su capacidad de producir mejoras en las condiciones de vida de millones de individuos y se torna fundamental en el funcionamiento general de la civilización. (35).

Según los autores Campbell y Reyes, la gestión de activos es el trabajo articulado de todas las áreas habilitadoras dentro de una empresa u organización (Logística, mantenimiento, operaciones, recursos humanos finanzas, etc.) con el objetivo de darle un valor a la organización, esto se logra gracias a la coordinación de diversas actividades para el adecuado tratamiento de los riesgos y llegar a generar este valor. Las interacciones entre las áreas mencionadas, así como los procesos de implementación, deben ir documentadas para que la organización lo lleve de manera clara frente a las interacciones de los variados componentes del sistema administrativo de activos. Ambos autores sostienen, así mismo, que es posible medir el rendimiento de los activos de acuerdo con su capacidad durante la ejecución de las actividades productivas, durante la etapa de utilización del activo, para lo cual proponen al valor como una medida que permite medir dicho rendimiento (33).

Para Nicholas Hastings, la función central de GAF a nivel de empresa, es proporcionar insumos a la planificación de activos, a participar en las principales adquisiciones y desarrollos y a estar involucrado en la provisión de los sistemas e instalaciones necesarios para respaldar los activos en el proceso de vida (36). La gestión de activos es distinta a la gestión de las operaciones y no generalmente implican el diseño directo o la construcción de los propios activos. La terminología y las estructuras de informes pueden variar de una organización a otra. Así mismo es importante la implementación de una planificación estratégica en la gestión de activos físicos (SAMP), documento que describe cómo la GAF está organizada y operada dentro de la organización.

Con los argumentos descritos, se puede demostrar la importancia de una continua mejora externa, mediante la presencia de efectos directos en el plan estratégico organizacional y proyecciones que tienen las partes interesadas. Por lo tanto, esta normativa propone el uso eficiente de los recursos, mediante la evaluación de aspectos técnicos, humanos y organizacionales para conseguir mejoras en la prestación del servicio o en el producto (37).

Para Alsyouf et al., el vínculo entre la GAF y el desempeño organizacional es fundamental, ya que la finalidad central de esta gestión, es el establecimiento del valor de los activos de una entidad. Asimismo, la implementación de un programa de gestión de activos permite a las organizaciones optimizar su rendimiento financiero, agilización en los procedimientos de toma de decisiones, la gestión de riesgos, la calidad de los servicios y los resultados. También contribuye a mejorar la responsabilidad social, incrementa la percepción positiva de la población y la sostenibilidad de la empresa. La gestión de activos físicos abarca diversas disciplinas e involucra procesos multifuncionales, personas y tecnologías dentro de la organización. Este enfoque requiere un esfuerzo sistemático y coordinado, que abarca estrategias, procesos operativos, de mantenimiento y técnicos, con el objetivo de maximizar el valor de un activo o un portafolio de activos, con sostenibilidad durante su periodo de vida productiva, teniendo en cuenta los riesgos asociados (38).

Asimismo, para Rodrigo Andrade, los activos son importantes para crear valor tangible para una organización en el conjunto de aplicaciones que permiten los entornos industriales como la fabricación, el abastecimiento de energía eléctrica, el abastecimiento de agua, construcción, minería, servicios de transporte y varios otros sectores (39).

En la gestión de activos un componente esencial es la capacidad de la organización para cuantificar el riesgo, comprender sus costos y medir su desempeño. En consecuencia, el propósito de gestión de activos físicos, es lograr que el riesgo, costo y desempeño se encuentren equilibrados; así como establecer la forma en que utilizan los activos (40).

La GAF se encuentra en un punto de encuentro entre lo técnico y lo empresarial. El papel del administrador de activos es aplicar una combinación de técnicas y conocimiento empresarial para cubrir con eficacia y eficiencia las necesidades relacionadas con los activos de la empresa en su conjunto. Esto implica una serie de áreas de actividad profesional en tasación de activos, adquisición de activos y soporte logístico durante el periodo de vida productiva de los activos (37).

Es probable que el administrador de activos típico sea un ingeniero, gerente de mantenimiento, o especialista en logística que se ha involucrado en decisiones comerciales que requieren conocimientos técnicos y un enfoque financiero. Por otro lado, la gestión de activos es una actividad separada de la ingeniería técnica y del mantenimiento. Esto se debe a que la práctica de la ingeniería o la gestión del mantenimiento requieren tiempo, dedicación y un enfoque que es diferente de la combinación de cuestiones logísticas y comerciales involucradas en la gestión de activos. Con respecto a otras funciones en los negocios, los especialistas en finanzas y contabilidad son conscientes de los activos fijos como un asiento del balance cuyas profundidades técnicas se desconocen (41).

En el ámbito productivo, la gestión de activos es un término que se utiliza como un distintivo que identifica la gestión integral respecto a la infraestructura industrial en el transcurso de su vida útil. De manera práctica, se puede decir que es el sector empresarial que incluye los procesos para invertir y renovar los equipos que la industria requiere, asegurar su operatividad, supervisar su mantenimiento y la manipulación de los materiales y recursos afines (17).

En la actualidad, según García et al. (35), el enfoque de una gestión eficiente de activos, se centra en el perfeccionamiento de la inversión y la optimización en los gastos operativos de los equipamientos industriales, modelo que es conocido como Life Cycle Cost (LCC), consistente en analizar cada gasto que se genera debido a las máquinas industriales, el cual inicia con la adquisición y culmina con la enajenación. Este proceso facilita las siguientes decisiones:

- La inversión en la que se considera el rendimiento, el ciclo de vida y el precio.
- Los intervalos que pudieran presentarse durante los procesos de inspección y mantenimiento.
- La gestión de repuestos para las piezas dañadas y los materiales que se requieren.

- La planificación de las parás que se pudieran presentar en las actividades productivas.
- La identificación de conversiones necesarias y reemplazos.
- La gestión de riesgos operativos.
- La estimación de mejoras de planta, de tipo genético.

No cabe duda de que las decisiones que se toman en el manejo administrativo de los activos, son elementos vitales para la productividad, la calidad de la producción, los desechos que produce la industria, las estrategias de seguridad industrial y la disponibilidad del personal adecuado; así como para garantizar la operatividad de la infraestructura con que cuenta la industria, que suele considerarse como la función que integra todas las acciones que se asocian a la producción. Uno de los desafíos que presenta la gestión de activos radica en que los activos están en la oscuridad. No almacena notificaciones, no es ni económico ni político, pero reacciona a cómo se maneja o utiliza. Esto crea un desafío para la gerencia al intentar lograr el comportamiento correcto de unidades que no están equipadas para escuchar (17).

2.2.7 Eficiencia de activos

La eficiencia de activos es la medida del rendimiento de la capacidad de usar de forma efectiva los activos (42). Asimismo, la relevancia de la eficiencia de activos es por su impacto en los niveles de productividad, el recorte de costos y en la optimización de operaciones. También, la eficiencia de activos está relacionada con el mantenimiento (43).

En el caso de la gran minera mide la eficiencia de activos considerando la disponibilidad de activos y el rendimiento de activos. En el caso de la disponibilidad de activos según Kai Vika, es una medida cuantitativa de los recursos de tiempo (44).

Además, el rendimiento de activos, es la medida de cumplimiento de objetivos, donde la eficiencia de los activos se refiere a la habilidad que tienen las empresas en el uso adecuado de sus activos en la producción y extracción de minerales. Tiene como finalidad, la maximización de la productividad y rentabilidad de los activos utilizados como maquinaria, equipos y personal, minimizando los costos operativos (45).

Para la eficiencia de activos se realiza un conjunto de actividades y prácticas mediante las cuales una organización empresarial realiza la gestión de sus activos con el objetivo de lograr los planes de una organización (46).

La alta eficiencia de los activos en el sector, indica que la empresa utiliza sus recursos de manera efectiva para generar ingresos y rentabilidad, lo que a su vez conduce a una mayor productividad, rentabilidad y competitividad en el mercado.

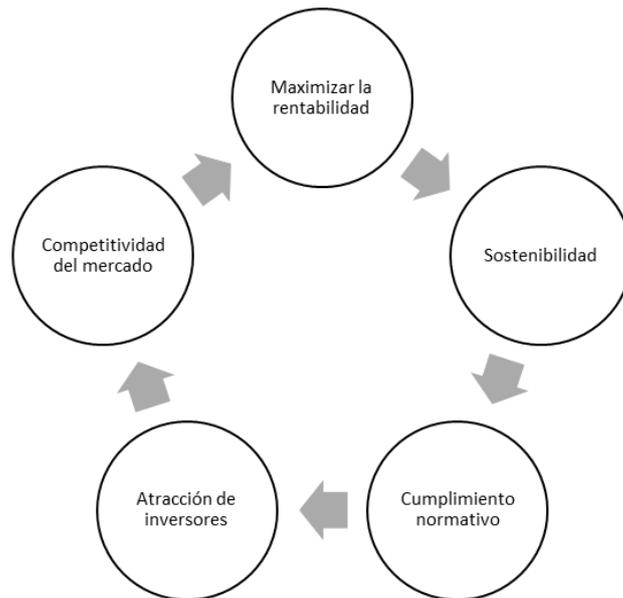


Figura 1. Importancia de la eficiencia de activos.
Nota: Adaptada de Cerón et al., 2015, p.100 (46).

El éxito de las empresas del sector minero, está relacionado con la capacidad de reorganizar los sistemas productivos, la subida constante de los precios de los metales y la posibilidad de expandirse. En particular, políticas como la estabilidad, las exenciones fiscales y la flexibilidad laboral han creado condiciones que favorecen la inversión y el crecimiento de las grandes empresas mineras multinacionales.

En ese sentido, la Norma Internacional ISO 55000:2014, indica que el control eficaz de los activos por parte de una empresa, es fundamental para lograr valor mediante la gestión para los riesgos y aumentar las oportunidades, en este sentido, la eficiencia de activos mejora las inversiones que está evolucionando continuamente. Los fundamentos de la eficiencia de activos se integran en el marco más amplio que contribuye a los beneficios y oportunidades enfocándose en los riesgos para traducir los objetivos en sucesos.

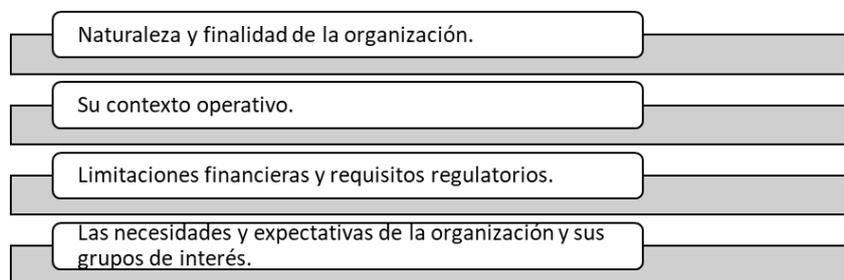


Figura 2. Factores de la gestión de activos.
Nota. Adaptado de Norma Internacional ISO 55000, 2014, pp 1-6 (47).

Disponibilidad

La disponibilidad es la capacidad de un recurso, equipo o servicio para estar presente y en perfecto estado de funcionamiento, cuando sea requerido. Además, la disponibilidad está

referida a la presencia operativa que le permite responder de manera pertinente, solucionar problemas u ofrecer ayuda. Desde otra perspectiva, la disponibilidad se refiere a la operatividad de algo para realizar con éxito una actividad específica que desde la funcionalidad crea valor (48).

La disponibilidad es entendida como el adecuado funcionamiento de un equipo, cuando se requiera su uso, una vez que se haya iniciado su proceso productivo dentro de la empresa cuando se utiliza en condiciones estables (49).

Es por ello por lo que la importancia de medir la disponibilidad de equipos, se centra en la posibilidad de entender la razón de las falencias en los equipos, permitiendo el análisis de los procesos relacionados a los equipos, analizando la forma de reducir su riesgo. En un entorno competitivo la disponibilidad garantiza el cumplimiento de la demanda de forma eficiente cumpliendo con los plazos y con trabajos operativos de calidad (27).

En la disponibilidad de equipos existen desafíos para garantizar la producción continua, evitando los cuellos de botella por causas como mantenimiento inadecuado, la antigüedad de los equipos, por desgaste natural, falta de piezas o personal, falta de control en mantenimiento y por excesivos costos (50).

Dentro de este proceso se considera que, en el tiempo total está incluido el tiempo de operación, el tiempo activo para la reparación, el tiempo de inactividad, el tiempo que se invierte en el mantenimiento preventivo (ocasionalmente), el tiempo de las gestiones, el tiempo de funcionamiento sin producción y el tiempo para la implementación de la logística (27).

$$D = \frac{Tt - H \text{ muertas}}{Tt}$$

Dónde:

Tt: Tiempo total.

H. muertas: Paradas por fallos.

Para que la disponibilidad aumente, la empresa debe ser consciente de la condición real de la disponibilidad, estableciendo la relación del tiempo con la programación de equipos; de ahí se determina la máxima disponibilidad de los equipos considerando los factores involucrados que son limitantes, para determinar las actividades de mejora necesarias.

En el seguimiento de la disponibilidad se recomienda implementar programas, realizando capacitaciones durante la implementación y dando materiales necesarios para la implementación. Además, la gerencia debe realizar el seguimiento para garantizar el cumplimiento con medidas ya establecidas.

Confiabilidad

Está referida a la claridad y precisión de un dispositivo de medición en un proceso particular (51). También, es el potencial operativo que tiene un programa, producto o procedimiento para realizar su función de forma sostenible y programada, en condiciones establecidas, en un lapso de tiempo específico (52). Además, se refiere a la posibilidad de que los equipos funcionen sin errores, dentro de un período específico de operación en condiciones regulares o específicas. (52), (51).

Asimismo, la confiabilidad es el potencial de un activo, sistema o equipamiento para tener un óptimo funcionamiento de forma continua y efectiva, con una periodicidad programada en condiciones previamente establecidas de operación y mantenimiento. En otras palabras, es la posibilidad de que un activo o sistema pueda realizar sus funciones previamente programadas, sin interrupciones o fallas inesperadas durante su vida útil planificada (53).

Además, la confiabilidad es una medida importante en una variedad de campos, incluida la ingeniería, la tecnología, la fabricación y la gestión de operaciones, y tiene como objetivo garantizar un rendimiento consistente y confiable de sistemas y productos (52).

En La confiabilidad se implica un conjunto continuo de sistemas que integran sistemáticamente herramientas de diagnóstico, técnicas analíticas y nuevas tecnologías para optimizar la producción (Arata y Arata, 2013). No figura en la bibliografía (54)

La confiabilidad se evalúa analizando la efectividad o precisión de equipos, maquinaria o procedimientos durante un período de tiempo. Para ello se utilizan pruebas que producen coeficientes de confiabilidad que indican qué tan confiable es el equipo (51).

La confiabilidad y la calidad están estrechamente vinculadas donde la calidad de un equipo mide y expresa por su confiabilidad. Por el contrario, los equipos de baja calidad son menos confiables y es probable que fallen (53).

La confiabilidad es la forma en la que un activo presenta un correcto funcionamiento en un determinado periodo de tiempo, cumpliendo con las condiciones operativas establecidas (27).

$$C = \left(\frac{T}{T:F}\right)/T$$

Donde:

C= Confiabilidad

T: Tiempo de funcionamiento

T°F: Número de fallas

Asimismo, para la gran minera el cálculo de la eficiencia de activo se debe restar las horas no planificadas y las planificadas. Y dividir las entre el total de horas disponibles.

$$\% \text{ Ef. Activos} = \frac{\text{Tiempo disponible} - \text{Paradas no planificadas} - \text{Paradas planificadas} - \text{Deten. operac.} - \text{fallas operacionales}}{\text{Tiempo disponible}}$$

El aseguramiento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipamientos por medio de un mantenimiento industrial eficaz, impacta directamente en la mejora de la competitividad. La disponibilidad de las máquinas está directamente relacionada con factores como la operación adecuada de los equipos y también la interacción con el departamento de compras y suministros. Esto resulta en una mayor eficiencia operativa, ya que las operaciones continúan sin necesidad de paradas repentinas (22).

Desde el enfoque del mejoramiento continuo de la disponibilidad y confiabilidad, se mejoran los procesos de producción, debido a que las empresas buscan optimizar sus procesos para reducir costos en la implementación de las actividades de mantenimiento, bajo este enfoque la GAF se torna relevantes para asegurar la eficiencia de activos se calculan indicadores (55).

La importancia de la confiabilidad radica en su vinculación directa con la calidad, ya que mide el desempeño óptimo de los equipos en un tiempo determinado bajo las condiciones que requieren las operaciones, su importancia radica en que brinda una seguridad constante ante la ocurrencia de fallas (56).

2.2.8 Herramientas de calidad

Estas herramientas son métodos o técnicas que son utilizados para mejorar y asegurar la calidad de determinados productos o procesos. Estas herramientas posibilitan que las organizaciones logren de manera efectiva sus metas empleando de manera eficiente sus recursos, por otro lado, el término herramienta se refiere a algo utilizado para poner en práctica una actividad planificada, para lograr un objetivo. Las metas para la gestión de la calidad al interior de una organización pueden variar, aunque algunas son más destacadas que otras, los objetivos primordiales abarcan detectar problemas, clasificar los problemas de calidad según su relevancia o importancia, localizar las posibles circunstancias de los inconvenientes que se consideran más críticos o significativos, proponer posibles soluciones a los inconvenientes (57). Las herramientas empleadas deben tener ciertas características, dentro de ellas se tiene:

- Es importante especificar el principio de uso simple.
- Facilidad de uso en el trabajo en equipo.
- Estrategias visuales que aporten en la dinámica del equipo.
- Llegar de forma rápida a un consenso entre los miembros del equipo.
- Puede ser utilizado para diferentes departamentos de la empresa.
- Proporcionar soporte a las actividades de gestión de calidad dentro de la organización.
- Se puede utilizar como una estrategia para conservar la memoria del progreso de la actualización calidad en la organización.

Cabe señalar que las herramientas utilizadas en la gestión de la seguridad de toda organización minera, son un componente indispensable y básico en la gestión de cualquier actividad minera. Es por ello, que se enfatiza la importancia de la meta de cero accidentes, pero para lograrlo deben existir ciertas acciones, estas acciones deben implementarse sistemáticamente de acuerdo con lo que se propone en las herramientas de gestión para la seguridad, entendidas como los procedimientos, normativas, políticas organizacionales, conocimiento de potenciales peligros y evaluación de riesgos, auditoría e inspección de las instalaciones, ya sea diaria, semanal, mensual o anual, entre otras consideraciones son si el problema es el equipo. Es importante la prueba individual de herramientas, la emisión de permisos de trabajo de alto riesgo, ya que en este último aspecto se especifica la temática de la retroalimentación y capacitación, la cual debe ser específica y relevante para el desarrollo de su operación (58).

A. Diagrama de causas-efecto de Ishikawa

El conocido diagrama de causa y efecto, lleva el nombre de Kaoru Ishikawa, ilustra que varias secciones se pueden agrupar y vincular. El diseño también se conoce como cadena causal. Este es un método de tipo gráfico usado para examinar, pudiéndose hallar circunstancias que inducen a efectos que se controlen; además, se utilizan para revisar los casos para hacer conexiones apropiadas que ayuden en la determinación de problemas desde los síntomas hasta las causas y soluciones. Los gráficos de Ishikawa facilitan a comprender cada aspecto fácilmente (59).

Según Ariane de Saeger, las fases para la creación de un diagrama de Ishikawa son los siguientes:

- 1) Decida qué efectos (como las funciones de calidad) desea controlar.
- 2) Coloque el efecto dentro del rectángulo al final de la flecha. Al final de la flecha, observe los principales factores asociados con el impacto más a menudo).
- 3) A modo de ejemplo, se consideran seis categorías principales: dinero, maquinaria, materiales, etc. Se debe tener en cuenta que esto no se aplica a las seis categorías.
- 4) Las categorías definidas en el diagrama de afinidad derivadas del torbellino de ideas, pueden utilizarse como un factor que contribuye a estos factores principales.
- 5) Se escribe un factor cuadrático en cada una de estas ramas. Las ramas definidas tienen, como mínimo, dos niveles y algunas ramificaciones pueden presentar tres niveles o más.
- 6) Completar el diagrama para asegurarse de que se hayan identificado todas las causas. La eficiencia de este tipo de gráficos, se evidencia cuando es coherente con el objetivo para el que fue creado. Se entiende que el gráfico es incorrecto, cuando solo identifica el problema.

Esta herramienta visualiza las causas probables que pueden ocasionar una problemática determinada. Ayuda en la identificación y análisis de las diversas fuentes que podrían contribuir a un problema de calidad. Adicionalmente, estos diagramas son utilizados frecuentemente en evaluaciones de necesidades para poder graficar la relación que se puede presentar entre diversas causas probables o fidedignas, respecto a un determinado problema, permitiendo la identificación de la causa real, no solo los síntomas de la afección, y agruparlos en categorías. Ayuda a facilitar mejoras en los procesos y captura aportes de los integrantes del equipo, respecto a acciones específicas que tienen relación con la calidad. Por otro lado, fomenta espacios reflexivos y el fortalecimiento del trabajo en equipo para encontrar las causas fundamentales de una problemática determinada, proporciona una visión completa y ordenada de una situación determinada a medida que se identifica un conjunto de factores subyacentes (59).

B. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es un instrumento de nivel basado en histogramas donde se observa los inconvenientes o circunstancias de un grupo de documentación en orden vertical, la idea es precisar las dificultades o circunstancias más significativas y dar preferencia. El método de Pareto sustenta que el 80 % de los inconvenientes se dan como consecuencia del 20 % de las circunstancias. La valoración de Pareto ayuda a identificar y priorizar las circunstancias más cruciales de las dificultades de calidad (60)

Felipe Gándara, afirma que en el diagrama se especifica la unidad de análisis, como el número de eventos y los componentes, se registran de izquierda a derecha en el eje horizontal ordenados en forma regresiva de acuerdo a la medición correspondiente. Los grupos se encuentran a la derecha del eje, se crean dos ejes verticales que son ubicados en cada extremo del eje horizontal. La longitud medida a la izquierda del eje de la escala, debe ser igual a la suma de todas las longitudes. La suma de proporciones se ubica en el eje derecho. Se dibuja un cuadrado encima de cada objeto su altura indica su tamaño estándar. Se creará un camino curvo que se contraiga y aumente el tamaño de cada componente de izquierda a derecha (60). Este diagrama presenta diversas ventajas, dentro de las que se tiene, las siguientes:

- Ayuda a centrarse en las mejoras que proporcionan el mayor beneficio.
- Brinda una representación breve y eficiente de los principales problemas.
- Previene que las contingencias se agraven.
- Es una herramienta de fácil manejo y entendimiento, sirviendo de apoyo en la resolución de contingencias dentro de la empresa.

C. Histogramas

Un histograma es un esquema de barras que describe la repartición de un grupo de datos que revelan con qué porcentaje ocurren valores diferentes dentro de un rango fijo. Cada barra de

histograma determina un intervalo o categoría y la altura de la barra indica la frecuencia o cantidad de datos en esa categoría. Por lo tanto, un histograma se centra en la asignación de datos mientras que un diagrama de Pareto se centra en la identificación y priorización de las causas o problemas más relevantes, ambos son útiles para mejorar los sistemas de control de calidad y los procesos productivos. El histograma es básicamente, un esquema que muestra barras que representan la distribución de una información determinada. Es utilizado para comprender la variabilidad y la frecuencia de ciertos eventos o resultados en un proceso (61).

Existen semejanzas entre los histogramas y los gráficos de barras, tanto por el tipo de gráficos que utilizan, como por la representación de distribuciones de frecuencia. Sin embargo, ambos tienen dos rasgos distintivos principales:

- Visualmente, se observa que las barras o columnas de un gráfico de barras, muestran una separación evidente entre sí; mientras que, las barras del histograma se ubican muy cerca unas de otras.
- Se utilizan gráficos o diagramas de barras para graficar la distribución de frecuencia que presentan las variables cuantitativas y cualitativas discretas, por lo que se tiene un número limitado de valores. Por otro lado, los histogramas son utilizados para la representación del comportamiento continuo de variables cuantitativas, es decir, un número infinito de valores.

2.2.9 Herramientas de gestión

En la industria minera, las herramientas de gestión son recursos esenciales que abarcan una variedad de instrumentos, métodos y estrategias para planificar, supervisar y mejorar las operaciones en distintas áreas. Su implementación contribuye a optimizar la eficiencia, la seguridad y la rentabilidad en la minería (62).

A. Diagrama de Gantt

El Diagrama de Gantt es un mecanismo de gran valor para la planificación y gestión de proyectos, brindando una representación gráfica que ayuda a mantener el proyecto en camino y a gestionar eficientemente los recursos y las actividades (63).

Este diagrama muestra las tareas del proyecto a lo largo del tiempo, permitiendo a los equipos de proyecto y a los responsables de la gestión, visualizar la planificación, la duración y la superposición de las actividades. Esta herramienta se puede aplicar en:

- Identificación de Tareas: Enumera todas las tareas que se necesitan para finalizar el proyecto. Estas pueden variar desde actividades específicas hasta hitos importantes.
- Estimación de Duración: Asigna una duración estimada para cada tarea. Esto ayuda a calcular el tiempo total requerido para completar el proyecto.

- **Secuenciación de Tareas:** Define el orden en que se deben realizar las tareas. Algunas tareas pueden ser secuenciales, mientras que otras pueden superponerse.
- **Representación Visual:** Utiliza barras horizontales para representar cada tarea en el tiempo. El largo que tiene la barra, indica el tiempo que toma determinada tarea.
- **Relaciones de Dependencia:** Utiliza líneas o flechas para mostrar las relaciones de dependencia entre las tareas. Esto indica qué tareas deben terminarse para continuar con otras.
- **Hitos:** Marca hitos interesantes en el proyecto, como la finalización de una fase clave o la entrega de un componente crítico.
- **Actualización Continua:** Conforme el proyecto avanza, se va actualizando el Diagrama de Gantt para revelar el progreso real frente al planificado.

Beneficios del Diagrama de Gantt (63):

- **Visión General del Proyecto:** Brinda una visión clara y concisa del proyecto y su cronograma.
- **Identificación de Interdependencias:** Ayuda a identificar las tareas que deben completarse antes de iniciar otras.
- **Programación y Asignación de Recursos:** Facilita la asignación de recursos y la programación de actividades.
- **Comunicación Efectiva:** Es una herramienta útil entre los que conforman el equipo y las partes involucradas.
- **La gestión del mantenimiento en el sector minero es sumamente importante,** considerando que cumple un rol fundamental en la operación eficiente y segura de las instalaciones mineras.

En el tiempo actual, estos diagramas son denominados "herramientas de hoja de ruta", ante el requerimiento de lograr la satisfacción de las necesidades del desarrollo de un software actualizado; además, deben incluir estructuras de tareas modulares y paneles que puedan ser utilizados en la administración de recursos. El procedimiento interactivo para el desarrollo del software, sirven de apoyo para que los equipos de trabajo mantengan una estrategia coherente al pasar de un proyecto a otro (63).

2.2.10 Proceso de chancado

En la gran minera (64), el chancado se hace mediante el uso de una máquina que se mueve lentamente a lo largo de una trayectoria fija y aplica una enorme presión a baja velocidad. Esta acción se aplica a la roca mediante piezas móviles que se acercan y se alejan de las piezas fijas. El mineral se exprime y presiona entre estas dos partes. El proceso de chancado se divide en dos

fases primordiales, cada una de las cuales implica el uso de equipamiento específicos para llevar a cabo la granulometría deseada

A. Chancado primario o grueso:

En esta fase inicial, se utilizan equipos diseñados para reducir el tamaño de los materiales desde su estado original hasta dimensiones manejables, con la finalidad de preparar el material para la siguiente etapa del proceso de chancado. En este proceso, hay reducción del tamaño de la roca que presenta buenos niveles en contenido de cobre. Esta chancadora posee un volumen de alrededor de 90 ton/h. En este equipo se reduce el tamaño de las rocas, la colpa que tiene 20 cm. de diámetro se reduce hasta llegar a las 2 pulgadas de diámetro. Las actividades de chancado se dan en tiempos específicos, motivo por el cual, este procedimiento se lleva a cabo en determinados momentos cuando se dispone del material necesario para su procesamiento.

B. Chancado fino:

Corresponde a las fases de chancado secundario, terciario y cuaternario.

En el chancado secundario, se hace uso de equipos especializados para reducir aún más el tamaño del material previamente triturado en la etapa primaria.

El chancado terciario y cuaternario se centra en la reducción adicional del tamaño del material a través de equipos más finos y específicos.

El resultado final de estas fases es lograr una granulometría indicada para los requerimientos específicos del proceso como la preparación para procesos metalúrgicos o de separación.

Al considerar estas clases de chancadoras, es esencial tener en cuenta los siguientes factores:

- Volumen de material o tonelaje a triturar: Determina la capacidad requerida del chancador.
- Tamaño de alimentación: Indica la dimensión máxima de las rocas a procesar.
- Tamaño del producto de salida: Define el tamaño final deseado del material triturado.
- Dureza de la roca matriz: Influencia en la elección del tipo de chancador, considerando la escala de Mohs.
- Tenacidad de la roca a triturar: Comparada con la caliza, proporciona información sobre la resistencia del material.
- Abrasividad: Relacionada con el contenido de sílice, afecta el desgaste de los equipos.

Estos factores son esenciales para la selección adecuada de chancadores, asegurando un procesamiento eficiente y duradero en la reducción de materiales.

El proceso de chancado intenta ser lo suficientemente rápido, eficiente y granular para reducir cada vez más material. Este es uno de los mayores desafíos que enfrenta este proceso en la industria minera y también requiere mejores prácticas de diseño y mantenimiento.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Activos

En la industria minera, los activos son recursos con valor económico que son propiedad de la empresa minera. Estos recursos pueden abarcar una serie de elementos, desde las minas y depósitos mismos, hasta las instalaciones de procesamiento, instalaciones mineras, concesiones y otros recursos relacionados. Dentro de los tipos de activos más comunes en la industria minera, se tiene: yacimientos mineros, propiedades y concesiones mineras, instalaciones del procesamiento, equipos, infraestructura, reservas minerales (65).

Chancado

El chancado en minería se refiere al proceso de reducción del tamaño de las rocas producidas en una mina. Este proceso es esencial en la preparación de los minerales para su procesamiento posterior en el proceso de distribución. El objetivo principal de la trituración es romper los materiales de la mina en partículas más pequeñas, facilitando así su carga, descarga, transporte y procesamiento. El mineral clasificado se envía al proceso de chancado primario donde se tritura. Al reducir el tamaño del mineral después del dimensionamiento, pasa a una trituradora secundaria donde el mineral se reduce hasta lograr un menor diámetro para ingresar a la trituradora principal. En la tercera etapa, los minerales destruidos se reducen y preparan para el proceso de molienda. Por lo tanto, la trituración es un paso clave en la cadena de procesamiento de minerales en la industria minera (66).

Confiabilidad

La confiabilidad en la industria minera se refiere a la capacidad de los equipos, procesos y sistemas utilizados en las operaciones mineras para que puedan continuar operando de manera eficiente y cumplan con los objetivos de producción, reduciendo el riesgo de fallas inesperadas (67).

Eficacia

En la industria minera, la eficacia se refiere a la capacidad de alcanzar con éxito las metas establecidas y lograr resultados satisfactorios. La eficacia extractiva implica la extracción, el procesamiento y la gestión eficiente de los recursos para lograr los resultados deseados. Esto puede incluir aspectos relacionados con la producción, la seguridad, la sostenibilidad ambiental, la rentabilidad y la gestión de riesgos. En resumen, la eficacia de la industria minera se evalúa en

relación con la capacidad de alcanzar de manera efectiva y exitosa las metas trazadas, tomando en cuenta diversos factores y desafíos específicos de la industria minera (68).

Eficiencia

El concepto de eficiencia en la industria minera, está relacionado con la capacidad de utilizar eficientemente los recursos disponibles para lograr los mejores resultados. En este contexto, la eficiencia de extracción significa maximizar la extracción de minerales y recursos, minimizando costos y minimizando el impacto ambiental (68).

Gestión

La gestión en la industria minera implica una gestión eficaz de los recursos y operaciones para garantizar la rentabilidad, la sostenibilidad y el cumplimiento de los estándares ambientales y de seguridad.

Modos de fallas y efecto

Se refiere al enfoque sistemático que debe tener la empresa minera para la identificación y evaluación de posibles modos de falla de un sistema o equipo, su impacto y medidas preventivas. Permite mejorar la confiabilidad eliminando posibles fuentes de falla antes de que afecten las operaciones (69).

Planificación

La planificación es fundamental para el éxito y la rentabilidad de las empresas mineras. La evaluación, mantenimiento y optimización de estos recursos, es parte integral de la planificación estratégica de la industria minera (70).

Desarrollar planes a largo plazo para el mantenimiento de equipos y activos teniendo en cuenta los objetivos de confiabilidad, costo y eficiencia operativa. Un programa de mantenimiento estratégico es esencial para garantizar la confiabilidad durante todo el ciclo de vida de un activo. (71).

Mantenibilidad

La mantenibilidad se refiere a la habilidad de mantener un sistema, equipo o activo de manera eficiente, con el fin de reducir al mínimo el tiempo y los recursos requeridos para llevar a cabo las tareas de mantenimiento. Es la capacidad de un sistema o equipo para ser mantenido y reparado de manera que vuelva a funcionar tras una falla o emergencia. Esto implica crear un sistema que facilite y optimice las tareas de mantenimiento, minimizando el tiempo de inactividad y los costos relacionados (72).

Tiempo Muerto

El "tiempo de muerto" en la industria minera, es un período de tiempo en el que la maquinaria, el equipo o los procesos de producción no están funcionando, ya sean planificados o no. Estos períodos pueden ser causados por actividades tales como mantenimiento, reparaciones, cambios de turno, escasez de inventario, clima adverso u otras interrupciones imprevistas que resulten en la interrupción temporal de las operaciones mineras (73).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Método de investigación

Se utilizó el método científico hipotético deductivo, puesto que se va a recopilar, organizar, procesar, analizar e interpretar los datos de los equipos de chancado secundario y las demoras que trae consigo que estos equipos se encuentren parados, generando pérdidas en una gran minera de la ciudad de Arequipa (74).

3.1.2 Alcance de la investigación

El alcance es explicativo porque se estableció el impacto de la variable independiente en la variable dependiente.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación fue de diseño preexperimental debido a que se actualizó el plan de mantenimiento y se comprobó su impacto en un área específica; además, fue de corte longitudinal porque los datos fueron evaluados antes y después de la implementación del plan de mantenimiento.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

La población es el conjunto de personas, artículos o situaciones de los cuales se desea estudiar una o varias características (74). De esa manera estuvo compuesta por los equipos de chancado secundario del área seca.

Tabla 2.*Equipos de chancado secundario*

N°	Equipos
1	Chancadora Primaria NT 60*113
1	Aapron Feeder D9
4	Aapron Feeder D7
1	Tripper de alimentación Tr 003 y
1	Tripper de alimentación Tr 010
4	Zarandas SC 3500
4	Feeder Secundarios
4	Feeder Terciarios
8	Feeder Húmedos
4	Chancadoras Metso MP 1000 con Up Grande a 1250
1	Divisor DV 95
4	HPGR 2400
4	Fajas

Nota: Datos proporcionados por la gran minera.

3.3.2 Muestra

La muestra está basada en un subconjunto de temas o sujetos de una población (74). En relación con la muestra fue de tipo censal que tuvo como característica considerar a toda la población como muestra.

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la elaboración del estudio se utilizó el análisis documental y la observación como técnicas, la cual según Hernández et al. (74), en la observación se recolectan datos mediante el “registro sistemático, válido y confiable de determinadas situaciones que pueden ser observadas” (p. 156) y en el análisis documental, se recopilan datos y se seleccionan la información.

En relación con los instrumentos, se utilizó la ficha de recolección de datos (ver anexo 1), en la cual se anotaron los datos retrospectivos de la eficiencia de activos de los reportes de la planta de chancado secundario del año 2022 y los datos del año 2023. También, se utilizó una ficha de observación que sirvió para medir los tiempos de paradas de máquinas, según las actividades realizadas en el mantenimiento de la planta de chancado secundario antes y después de la actualización del plan de mantenimiento.

3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Siendo el proceso, estudio e investigación de datos, se utilizó el programa computacional Microsoft Excel, el cual contrastará los indicadores de plan de mantenimiento como la eficiencia de activos; para comprobar la hipótesis, se utilizó el programa estadístico SPSS utilizando el estadístico T student Para realizar la comparación del pre test y post test porque los datos presentaron una distribución normal.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

4.1.1 Reseña

La mina inicia sus actividades en el año 1868, siendo de propiedad estatal en sus inicios y en la actualidad es de propiedad privada, se ubica en la ciudad de Arequipa a una altura 2 600 msnm. Está dedicada a producir cátodos de cobre, concentrado de cobre y concentrado de molibdeno. donde el funcionamiento de la planta concentradora es de suma importancia para las metas de producción que consta del área seca y del área húmeda. Por otro lado, para la gran minera promueve la cultura de rendimiento en todas las áreas. El presente diagnóstico se centra en analizar la eficiencia de activos del área seca, enfocándose en los equipos de chancado secundario, por lo tanto, se enfoca en analizar el plan de mantenimiento del año 2022.

4.1.2 Visión

Nuestro objetivo es ser líderes en la producción segura de cobre, buscando que cada día sea nuestro mejor día.

4.1.3 Misión

Para alcanzar nuestra visión, nos comprometemos a:

A. Excelencia en seguridad y medio ambiente:

Priorizar el retorno seguro de todos los trabajadores a sus hogares diariamente.

- Hacer que la producción segura sea una prioridad.
- Prevenir fatalidades y eliminar eventos de alto riesgo.
- Fortalecer la conciencia ambiental.

B. Excelencia en las personas

- Trabajar en equipos para fortalecer nuestra cultura de alto rendimiento.
- Desarrollar a nuestro personal y empoderarlo.

- Fomentar la colaboración y eliminar barreras comunicativas.
- Promover el liderazgo y respeto y la responsabilidad ética.

C. Gestión de costos

- Invertir de manera inteligente para maximizar los beneficios.
- Añadir valor al negocio y controlar los costos.
- Implementar capital de manera efectiva y eficiente.
- Involucrar a todos los trabajadores en los procesos de mejora.

D. Responsabilidad social y con grupos de interés

- Operar de forma ambiental y socialmente responsable,
- Respetar y colaborar activamente con los grupos de interés.
- Cumplir con los compromisos y acuerdos, mantenimiento la aceptación local para operar.

4.1.4 Organigrama gran minera

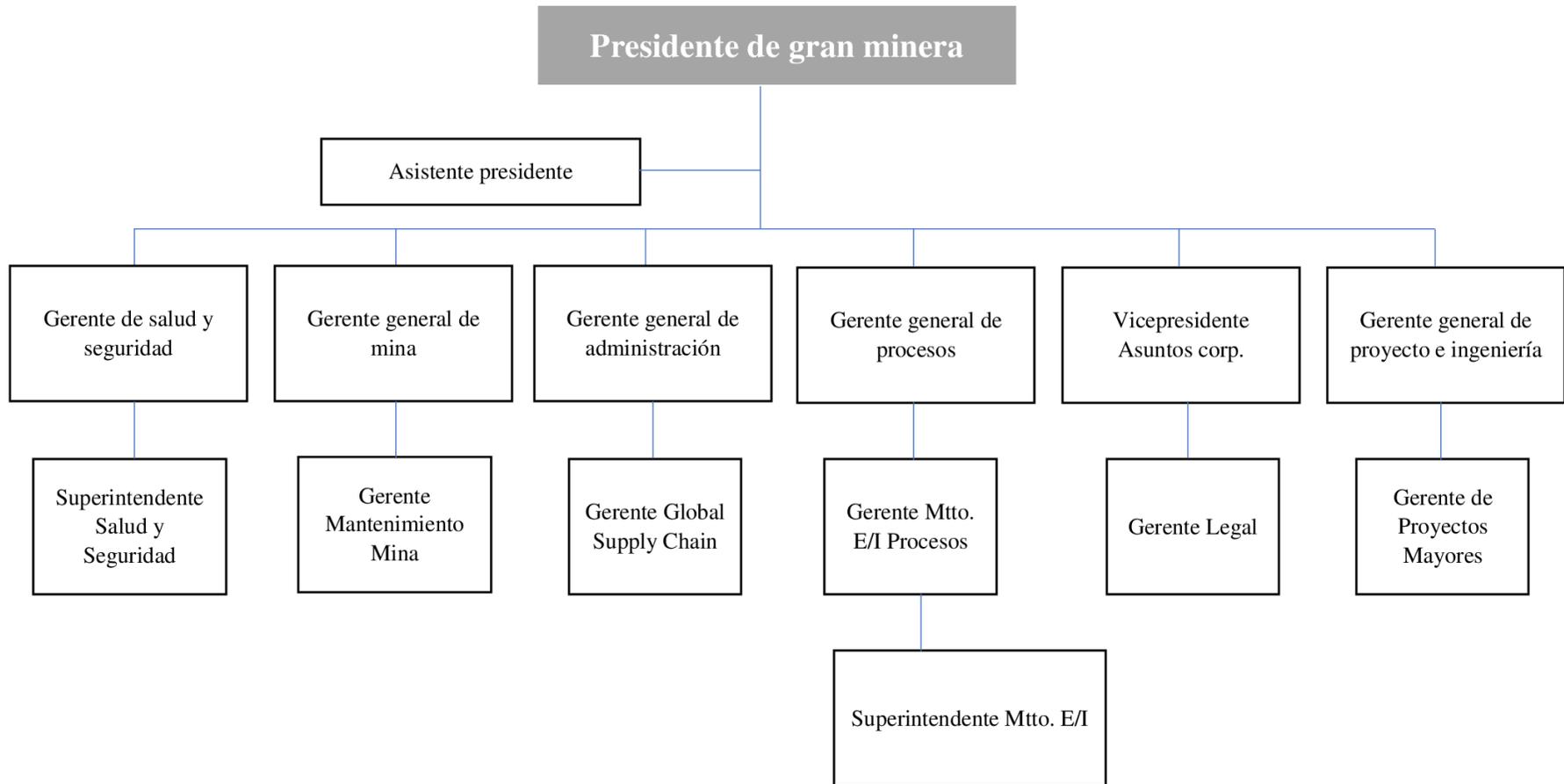


Figura 3. Organigrama.
Nota: Gran minera.

4.1.5 Resultados del tratamiento y análisis de la información

A continuación, se presenta el diagrama referido al acopio de mineral grueso, sistema de recuperación, circuito de zarandeo y chancado secundario, diagrama de bloques del mantenimiento de las chancadoras secundarias, cronograma de mantenimiento anual 2022 y los costos por hora de mantenimiento.

A. Diagrama de acopio de mineral grueso, sistema de recuperación, circuito de zarandeo y chancado secundario

La figura 4, ilustra la pila de acopio de mineral grueso y el sistema de recuperación, así como el circuito de zarandeo y chancado secundario. Bajo una operación normal, los cuatro alimentadores serán usados a velocidades reguladas para controlar lo extraído de la pila de acopio, de manera que se cumpla con los requerimientos de operatividad. Si se presentan deficiencias en un alimentador, se tiene la posibilidad de que los tres restantes, puedan sostener la razón de alimentación de acuerdo con el diseño.

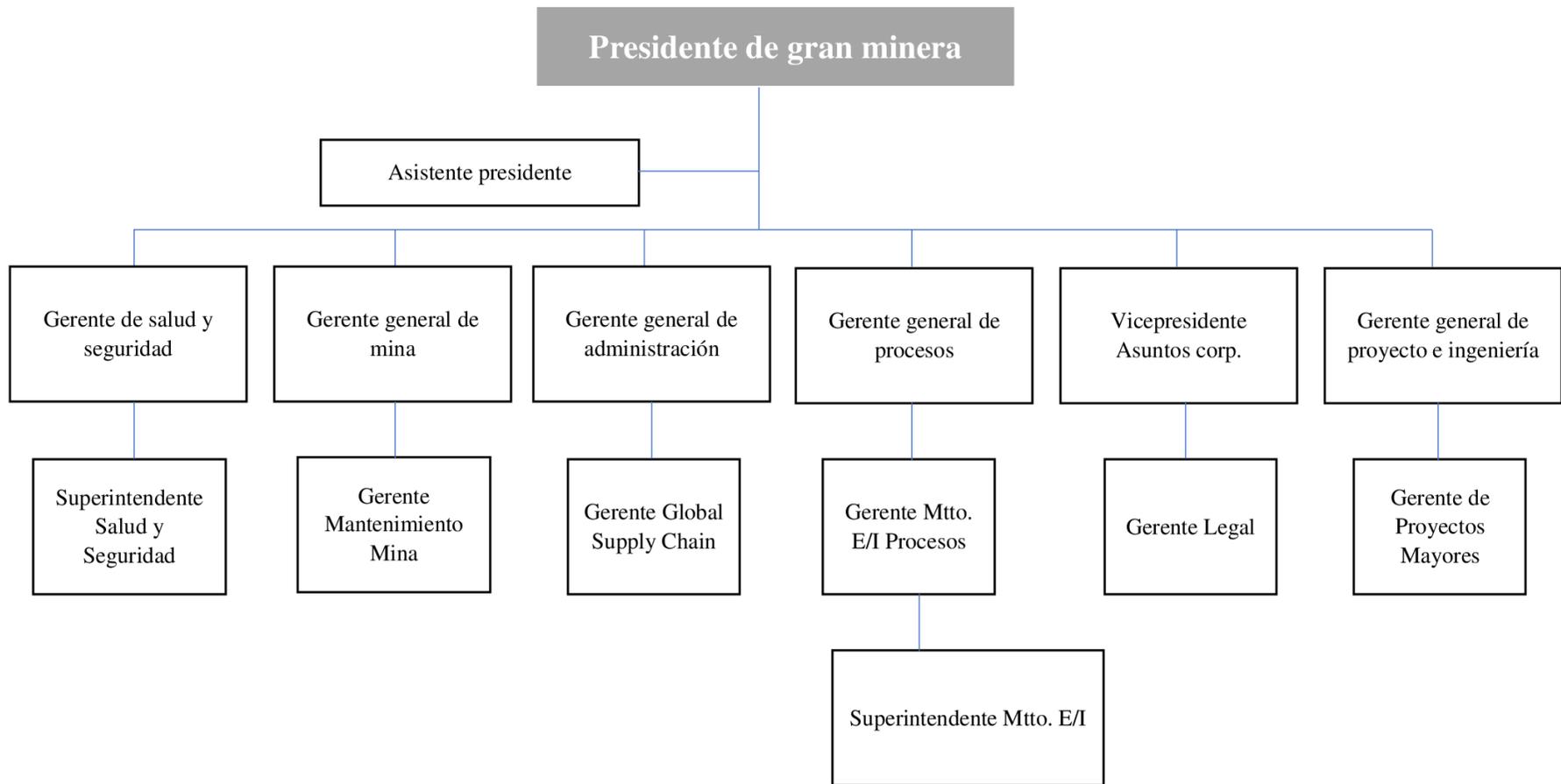


Figura 4. Circuito de Recuperación de Mineral Grueso y alimentación a la tolva intermedia.

Nota. Reporte de gran minera.

B. Diagrama de bloques de mantenimiento de chancadoras secundarias 2022

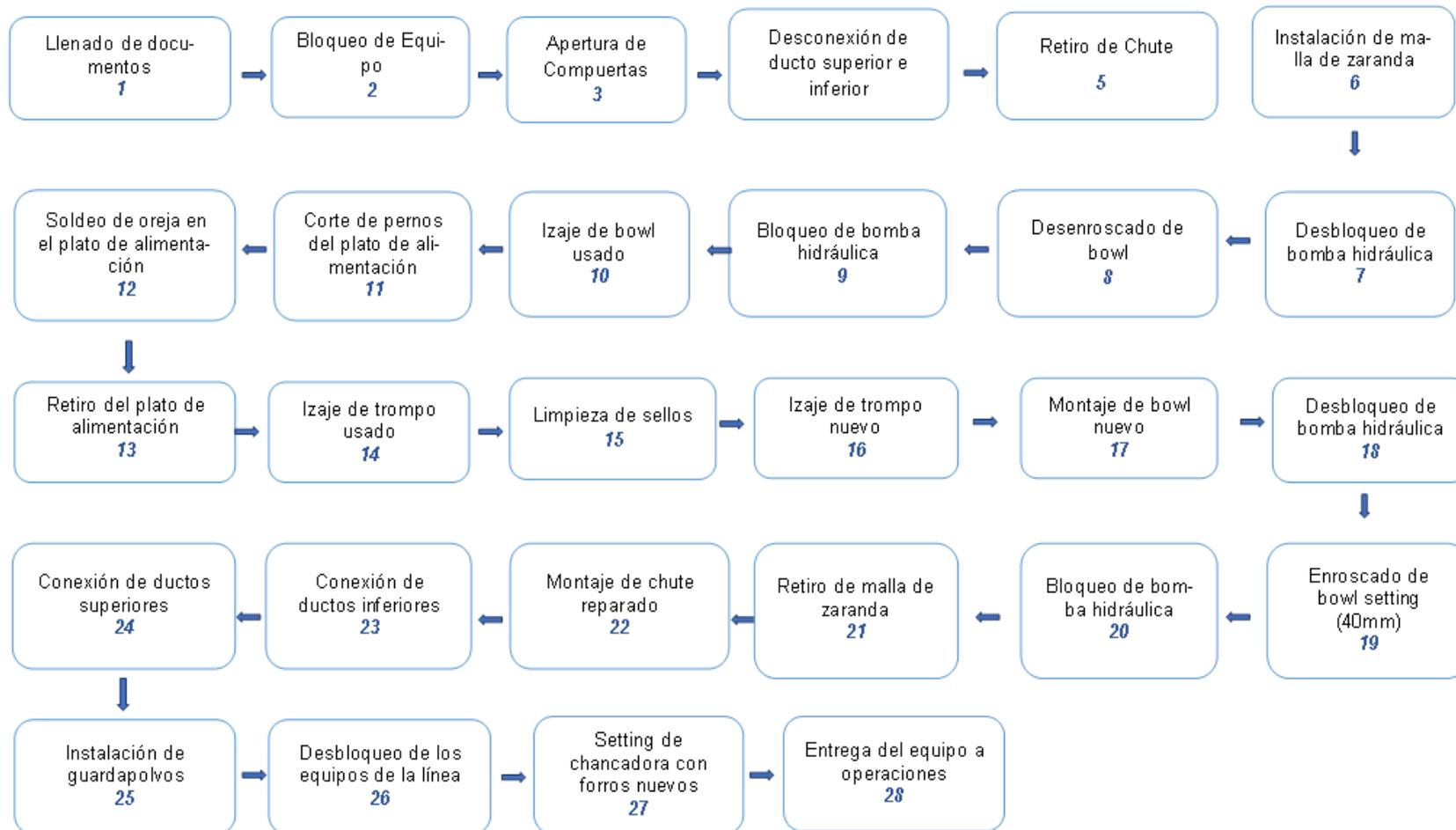


Figura 5. Diagrama de bloques de mantenimiento de chancadoras secundarias 2022.

Nota. Reporte de gran minera.

La figura 5, muestra el proceso de mantenimiento del año 2022, consta de 28 pasos a seguir ordenadamente para las cuatro chancadoras desde la línea 21 a la línea 24. Es importante considerar que no existen responsables en este proceso, es decir, que no se han asignado los técnicos que realizarán cada uno de los pasos. Por esta razón se han dado conflictos entre los técnicos encargados de los mantenimientos, debido a que algunos técnicos trabajaban más que otros y no se veía homogeneidad en el trabajo, se presentaron bastantes quejas en cuanto los técnicos que intervenían más en el proceso que otros que solo apoyaban en unos cuantos pasos y después dejaban de hacerlo.

C. Cronograma de mantenimiento 2022

		2022																																			
		ENERO				FEBRERO		MARZO				ABRIL		MAYO				JUNIO				JULIO		AGOSTO				SET		OCTUBRE				NOV		DIC	
Maquinaria/día		3	4	24	25	14	15	7	8	27	28	18	19	9	10	29	30	10	11	29	30	20	21	11	12	30	31	20	21	11	12	30	31	20	21	11	12
Chancadora 21-24		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

Figura 6. Cronograma de mantenimiento 2022.

Nota. Reporte de gran minera.

En la figura 6, está el cronograma de mantenimiento del año 2022 que se realizó a las cuatro chancadoras (21,22,23 y 24), se observa la información desde el mes de enero hasta julio del 2022. Este se realizó en los dos turnos A y B, en cada turno se hicieron 10 horas de mantenimiento por cada chancadora, es decir, 20 horas diarias realizadas en dos días, cada 20 días aproximadamente. Este mantenimiento a partir del mes de agosto a diciembre del 2022, se realizó en los dos turnos A y B, en cada turno se hicieron 8.5 horas de mantenimiento por cada chancadora, es decir, 17 horas diarias realizadas en dos días.

D. Tiempos de parada de máquina

Tabla 3.

Tiempos de parada de máquina

Actividades	Tiempo	
	Ene-jul-2022	Ago-dic 2022
1 Llenado de documentos.	0.5	0.25
2 Bloqueo de equipo.	0.5	0.5
3 Apertura de compuertas.	0.25	0.25
4 Desconexión de ducto superior e inferior.	0.5	0.5
5 Retiro de chute.	0.5	0.5
6 Instalación de malla de zaranda.	0.25	0.25
7 Desbloqueo de bomba hidráulica.	0.25	0.25
8 Desenroscado de bowl.	0.5	0.5
9 Bloqueo de bomba hidráulica.	0.25	0.25
10 Izaje de bowl usado.	0.5	0.5
11 Corte de pernos del plato de alimentación.	0.25	0.25
12 Soldeo de oreja en el plato de alimentación.	0.25	0.25
13 Retiro del plato de alimentación.	0.5	0.25
14 Izaje de trompo usado.	0.5	0.5
15 Limpieza de sellos.	0.5	0.25
16 Izaje de trompo nuevo.	0.5	0.5
17 Montaje de bowl nuevo.	0.5	0.5
18 Desbloqueo de bomba hidráulica.	0.25	0.25
19 Enroscado de bowl setting (40mm).	0.25	0.25
20 Bloqueo de bomba hidráulica.	0.25	0.25
21 Retiro de malla de zaranda.	0.25	0.25
22 Montaje de chute reparado.	0.5	0.5
23 Conexión de ductos inferiores.	0.25	0.25
24 Conexión de ductos superiores.	0.25	0.25
25 Instalación de guardapolvos.	0.25	0.25
26 Desbloqueo de los equipos de la línea.	0.25	0.25
27 Setting de chancadora con forros nuevos.	0.25	0.25
28 Entrega del equipo a operaciones.	0.25	0
Total	10	8.5

Nota. Datos de la ficha de observación.

En la tabla 3 se presenta que las actividades se realizan de forma secuencia, si bien se aprecia una reducción de tiempos, aún no está en el tiempo esperado que es el de 4.5 horas; por lo tanto, hay que enfocarse en reducir tiempos o actividades innecesarias.

E. Costo de parada de chancadoras secundarias 2022

Tabla 4.

Costo por parada de chancadoras de enero a julio 2022

Horas por día de parada	Cantidad de horas de enero a Julio 2022	Costo por hora de parada	Costo total de enero a Julio 2022
20	440	\$ 25 000,00	\$ 11 000.000,00

Nota. Reporte de la gran minera.

En la tabla 4, se observan la cantidad de horas paradas por día que son 20 horas, el total de horas paradas desde el mes de enero a julio del año 2022, han sido 440 horas. De esta manera, el costo por hora de parada es \$ 25 000,00 dólares. Es decir, que el costo total de enero a julio 2022 ha sido de \$ 11 000.000.00 dólares.

Tabla 5.

Costo por parada de chancadoras de agosto a diciembre 2022

Horas por día de parada	Cantidad de horas de agosto a diciembre 2022	Costo por hora de parada de planta	Costo total de agosto a diciembre 2022
17	238	\$25.000,00	\$5.950.000,00

Nota. Reporte de la gran minera.

En la tabla 5, se observa la cantidad de horas paradas por día 17 horas, el total de horas paradas desde el mes de agosto a diciembre del año 2022, en total han sido 238 horas. De esta manera, el costo por hora de parada es \$ 25 000,00 dólares; es decir, que el costo total de agosto a diciembre 2022 ha sido de \$ 5 950.000.00 dólares. Si la gran minera no hiciera nada al respecto, tal vez este costo pueda incrementar a lo largo del tiempo y continuar perdiendo millones de dólares.

Tabla 6.*Costo total de parada año 2022*

Total de Horas de parada 2022	Costo total 2022
678	\$16.950.000,00

Nota. Reporte de la gran minera.

En la tabla 6, se describe el total de horas de parada de planta del año 2022 que asciende a 678 horas y el costo de parada de las chancadoras secundarias que fue de \$ 16 950,000.00 dólares; es decir, que la gran minera ha perdido \$ 16 millones 950 mil dólares en el año 2022. Es decir, la eficiencia de activos ha sido suficiente en el año 2022.

F. Materiales utilizados

Los materiales utilizados hasta agosto de 2022, fueron los siguientes: XT 510 en el bowl y XT 610 en el head y estos tenían un desgaste rápido, aleación inadecuada y una configuración inadecuada. Por lo tanto, la duración del material llegaba a 21 días. A partir de agosto 2022, se empezó a utilizar el modelo XT 710 en el bowl y XT 770 en el head.

G. Disponibilidad y confiabilidad**Tabla 7.***Disponibilidad y confiabilidad 2022*

	Disponibilidad	Confiabilidad
Enero	96.94 %	99.91 %
Febrero	94.96 %	99.56 %
Marzo	98.11 %	99.84 %
Abril	97.04 %	99.51 %
Mayo	95.03 %	99.88 %
Junio	94.07 %	98.72 %
Julio	95.70 %	99.94 %
Agosto	98.27 %	99.60 %
Septiembre	99.10 %	100.00 %
Octubre	96.96 %	99.60 %
Noviembre	86.58 %	98.72 %
Diciembre	92.58 %	99.19 %
Promedio	95.45 %	99.54 %

Nota. Reporte de la gran minera.

En la tabla 7, se presenta que la disponibilidad de equipos solo los meses de enero, marzo, abril, agosto, septiembre y noviembre fueron óptimos bajo los estándares de la gran minera (superior al 98 %). Además, los equipos fueron confiables con pocas horas de fallas; sin embargo, los meses de julio y noviembre tuvieron un valor inferior al 99 % aceptable.

H. Eficiencia de activos

Tabla 8.

Eficiencia de activos del año 2022

Meses	Eficiencia de activos
Enero	94.04 %
Febrero	80.03 %
Marzo	72.66 %
Abril	94.79 %
Mayo	86.01 %
Junio	92.84 %
Julio	94.44 %
Agosto	66.15 %
Septiembre	98.07 %
Octubre	91.96 %
Noviembre	83.63 %
Diciembre	86.21 %
Promedio	86.73 %

Nota. Reporte de la gran minera.

En la tabla 8, se observan los porcentajes de eficiencia de activos a lo largo del año 2022, en el que setiembre tiene la mayor eficiencia con un 98.07 %, debido a que en este mes las paradas no planificadas, las planificadas y operacionales se vieron reducidas significativamente y no existieron hora de fallas operacionales. Por otro lado, en el mes de agosto se observó un porcentaje de 66.15 %, siendo el menor porcentaje del año 2022. El promedio de eficiencia de activos del año 2022 fue de 86.73 %. El detalle de la eficiencia de activos del año 2022 se encuentra detallado en el anexo 4.

I. Análisis

Para el análisis de causas raíces, se utilizó el diagrama de Ishikawa y posteriormente el diagrama de Pareto.

Diagrama de Ishikawa

En la figura 7, en relación con la baja eficiencia de activos. Se observa el diagrama de Ishikawa, en el cual se detallan las causas raíces referidas en 4 partes: materiales, método, proceso y personas.

Entre las principales causas raíces se encontraron:

- Relacionadas a los materiales: El desgaste rápido, aleación inadecuada y configuración inadecuada.
- Relacionadas al método: Carencia de una secuencia de actividades y ausencia de comunicación entre mantenimiento y operaciones.
- Relacionadas al proceso: Alta demanda de horas en el mantenimiento de chancadoras y no se realiza seguimiento a las chancadoras secundarias.
- Relacionadas a las personas: Falta de asignación de responsabilidades y desconocimiento del personal del impacto de la parada por las chancadoras.

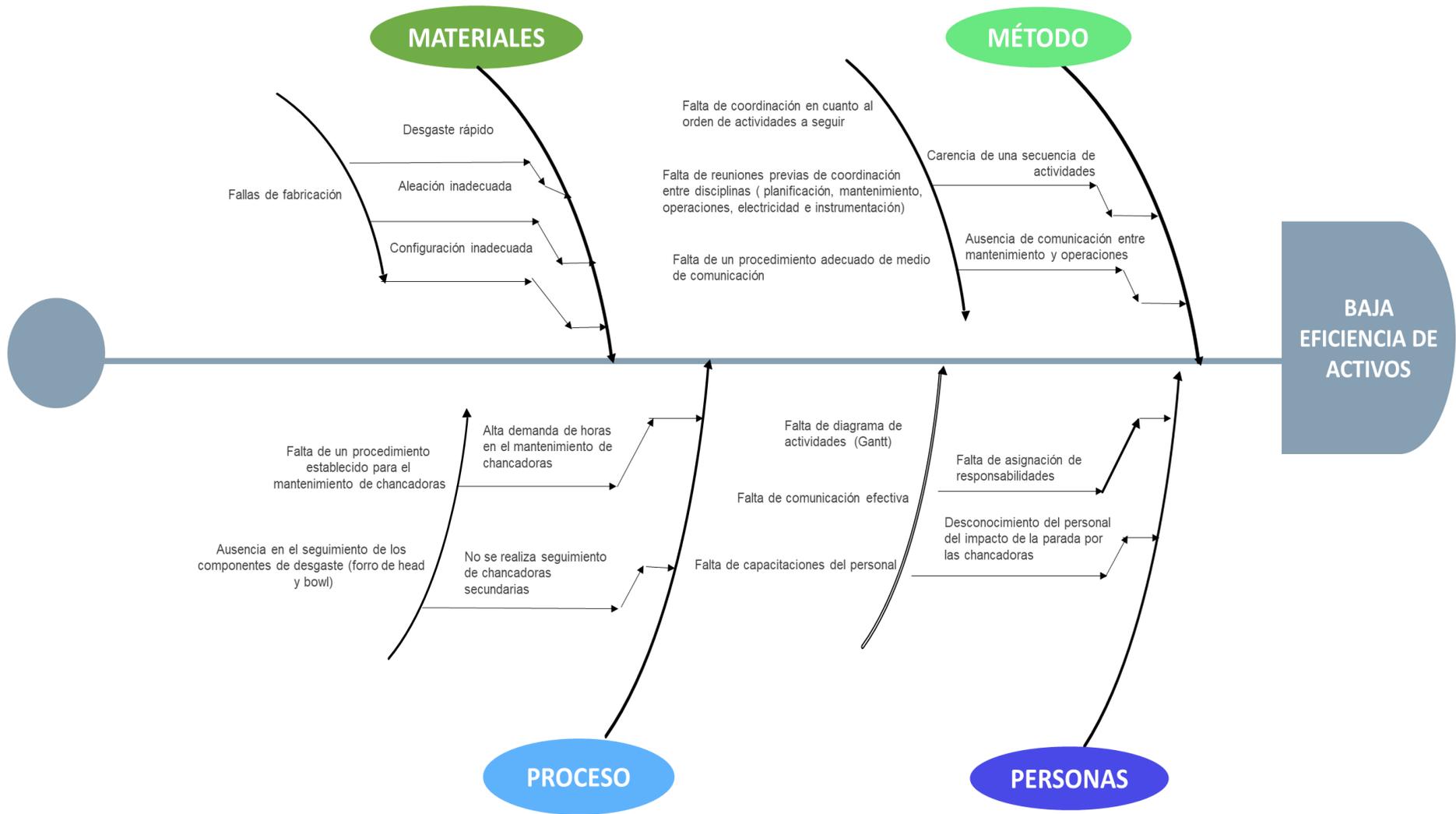


Figura 7. Diagrama de Ishiwaka.

Tabla 9.*Matriz de correlación*

Causas	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Puntaje	%
Carencia de secuencia de actividades		1	0	0	0	1	1	1	1	5	10,6 %
Ausencia de comunicación entre mantenimiento y operaciones	1		0	0	1	1	1	1	1	6	12,8 %
Desgaste rápido de material	0	0		1	1	1	1	0	1	5	10,6 %
Aleación inadecuada de material	0	1	1		1	1	1	0	0	5	10,6 %
Configuración inadecuada de material	0	1	1	1		1	1	0	0	5	10,6 %
Alta demanda de horas en el mantenimiento de las chancadoras	1	1	0	1	0		1	1	1	6	12,8 %
No se realiza seguimiento de chancadoras secundarias	0	1	0	1	0	1		0	0	4	8,5 %
Falta de asignación de responsabilidades	1	1	0	0	0	1	1		1	6	12,8 %
Desconocimiento del personal del impacto de la parada por las chancadoras	0	1	0	0	0	1	1	1		5	10,6 %

Tabla 10.*Orden de importancia de causas raíces*

Causas	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
	a	e	
Ausencia de comunicación entre mantenimiento y operaciones	6	12,77 %	18,00 %
Alta demanda de horas en el mantenimiento de las chancadoras	6	12,77 %	34,00 %
Falta de asignación de responsabilidades	6	12,77 %	48,00 %
Carencia de secuencia de actividades	5	10,64 %	60,00 %
Desgaste rápido de material	5	10,64 %	70,00 %
Aleación inadecuada de material	5	10,64 %	80,00 %
Configuración inadecuada de material	5	10,64 %	88,00 %
Desconocimiento del personal del impacto de la parada por las chancadoras	5	10,64 %	94,00 %
No se realiza seguimiento de chancadoras secundarias	4	8,51 %	100,00 %
Total	47		

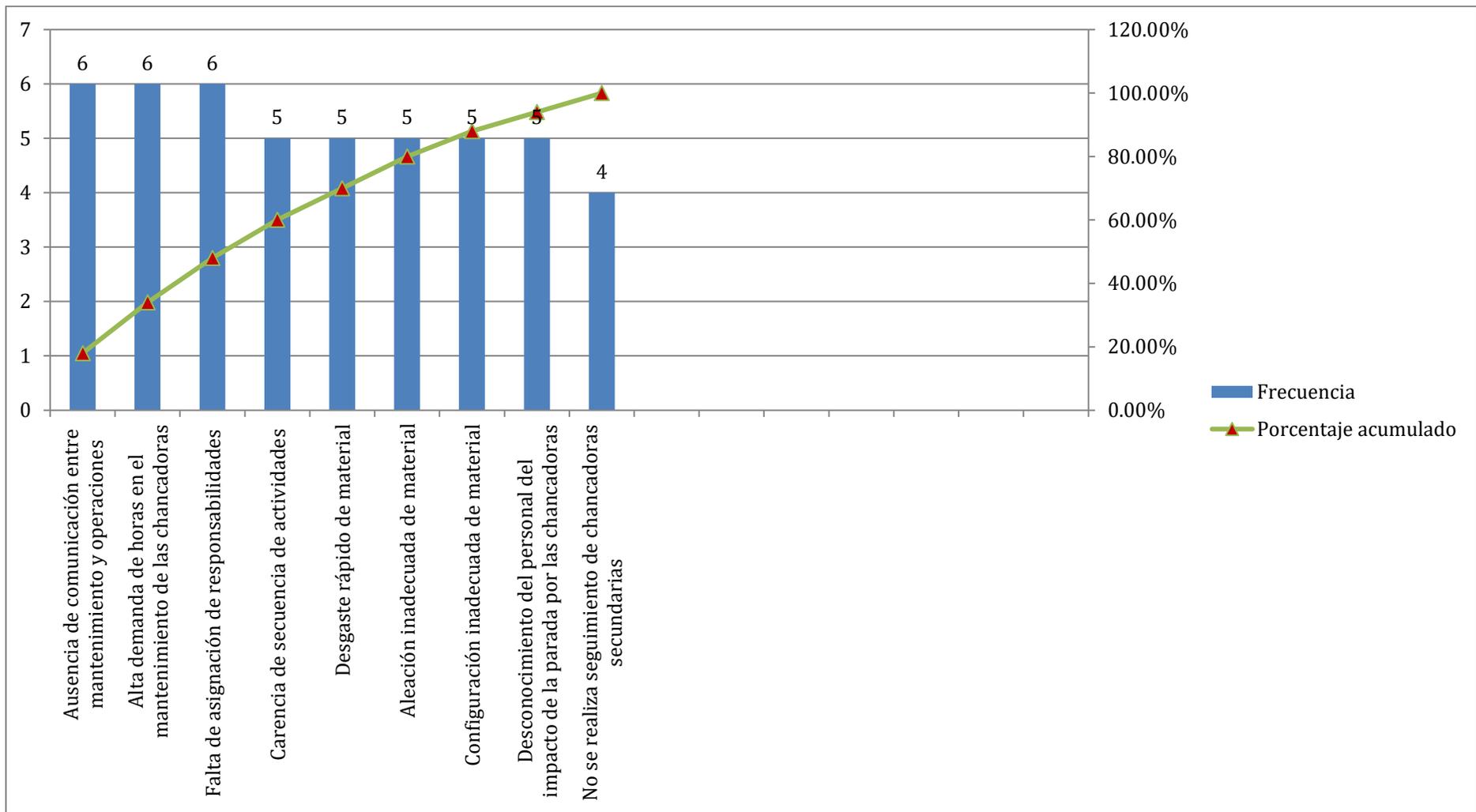


Figura 8. Diagrama de Pareto.

Ante la problemática identificada, el área de secado secundario decidió actualizar su plan de mantenimiento.

En la tabla 7, se puede observar el orden de las causas raíces más importantes, según su matriz de correlación antes mencionada; siendo las principales: ausencia de comunicación entre mantenimiento y operaciones, alta demanda de horas en el mantenimiento de las chancadoras, falta de asignación de responsabilidades.

Por otro lado, es relevante acotar que el área de chancado secundario no es responsable de la gestión de recursos, siendo su principal función garantizar que los activos funcionen efectivamente y para ello ante la baja eficiencia de activos se decide actualizar el plan de mantenimiento.

4.2 ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

4.2.1 Creación de la herramienta para retiro de head

A. Objetivo:

Durante el proceso de cambio de trompo y taza de chancadora secundaria en C1, el personal se exponía recurrentemente a trabajos críticos para poder retirar el trompo de la chancadora secundaria exponiéndose a:

- Trabajos en caliente-Para el retiro de Feed plate.
- Trabajos en espacios confinados- Para acceso a cabeza de chancadora secundaria y retiro del feed plate.
- Trabajos en altura-para el acceso a cabeza de chancadora secundaria y retiro del feed plate.
- Otros trabajos que podrían generar algún riesgo: Trabajos con herramienta de poder y trabajo con productos químicos.



Figura 9. Cambio de trompo manualmente.
Nota. Reporte de gran minera.

B. Línea del tiempo de la creación de la herramienta para retiro de head

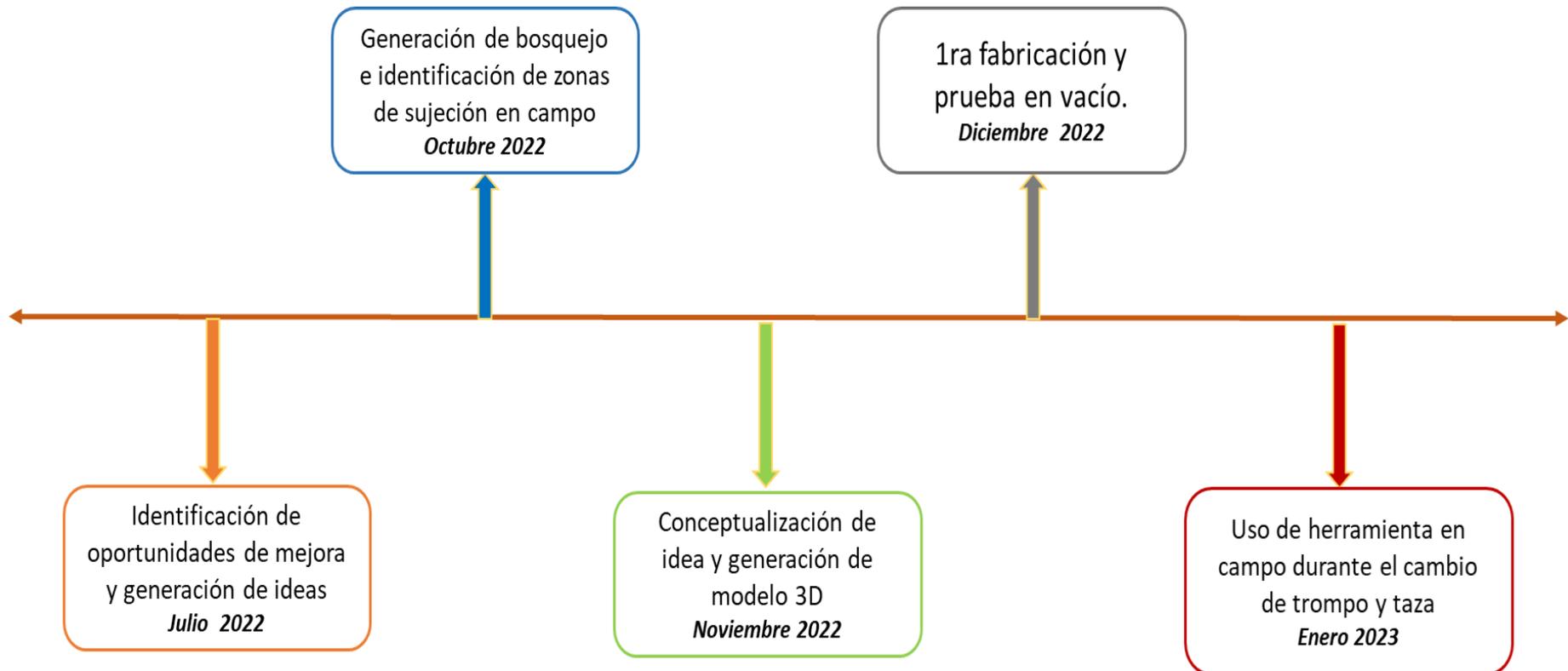


Figura 10. Línea del tiempo de la creación de la herramienta para retiro de head.

Nota. Reporte de gran minera.

C. Descripción de la herramienta para retiro de head

La herramienta para retiro de head, es una herramienta que permite retirar el conjunto del trompo de chancadora secundaria eliminando los riesgos de trabajo en caliente, confinado y altura.

a. Partes

La herramienta para retiro de head posee 3 brazos con una base cuadrada cada uno, el cual consta de una pestaña o perfil, estos brazos están unidos a un cuerpo fijo de forma piramidal, el cual lleva en la cumbre un orificio de izaje. Los brazos son accionados por pistones neumáticos.

b. Funcionamiento

Esta herramienta funciona izándola sobre el trompo para luego proceder a la apertura de los 3 brazos (con ayuda de pistones neumáticos), apoyándolo sobre el trompo, luego se cierra los brazos y estos se sujetan con el trompo en la pestaña superior. El para retiro de head se traba y bloquea gracias a las pestañas de las bases cuadradas de los brazos y el centro de gravedad que tiene cada brazo.



Figura 11. Partes herramienta para retiro de head.
Nota. Reporte de gran minera.

4.2.2 Proceso optimizado del mantenimiento de chancadoras secundarias año 2023

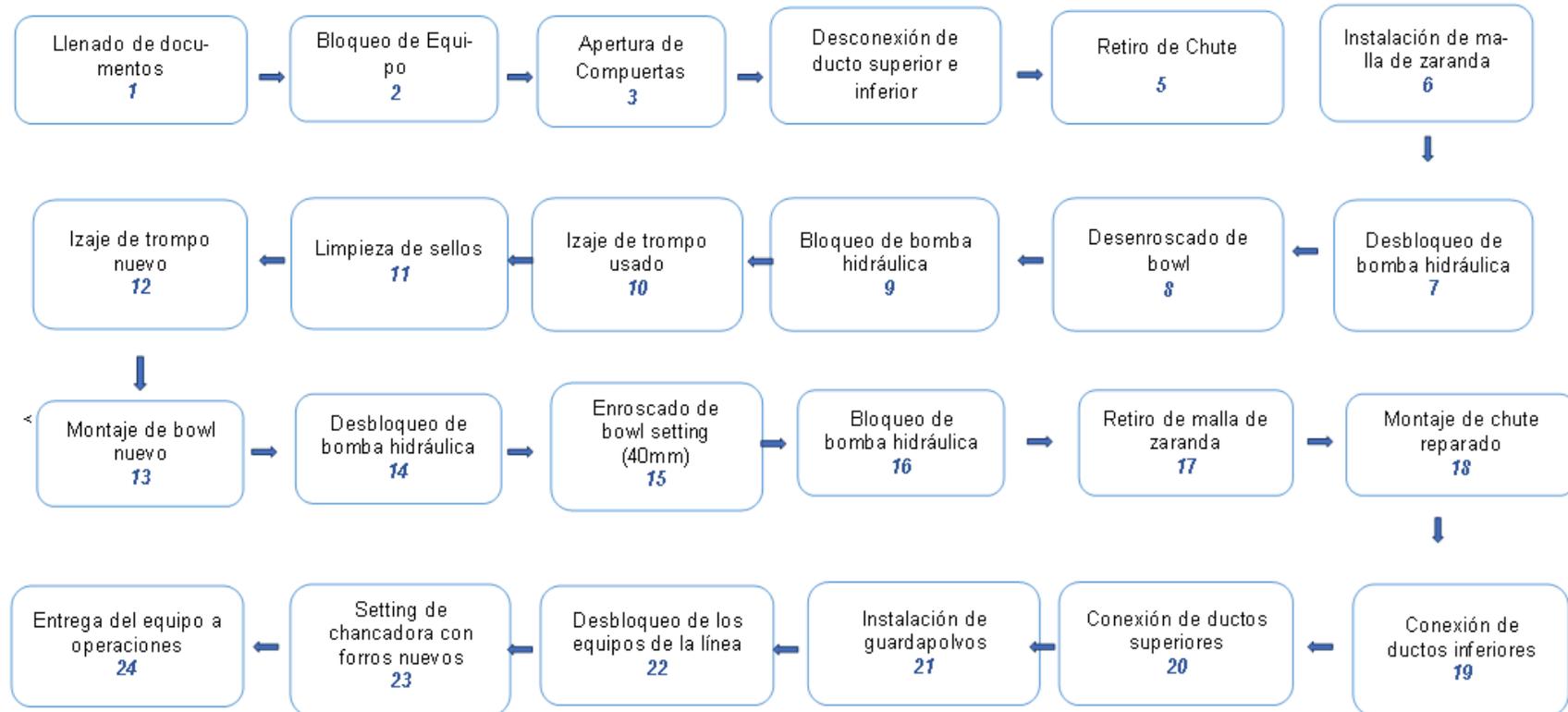


Figura 12. Proceso optimizado del mantenimiento de chancadoras secundarias año 2023.

Nota. Reporte de gran minera.

N°	Actividad	Tiempo	Tiempo de parada de máquina																									
			0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50
1	Llenado de documentos.	0.25	■																									
2	Bloqueo de equipo.	0.25		■																								
3	Apertura de compuertas	0.25			■																							
4	Desconexión de ducto superior e inferior.	0.25				■																						
5	Retiro de chute.	0.25					■																					
6	Instalación de malla de zaranda.	0.25						■																				
7	Desbloqueo de bomba hidráulica.	0.25							■																			
8	Desenroscado de bowl	0.25								■																		
9	Bloqueo de bomba hidráulica.	0.25									■																	
10	Izaje de bowl usado.	0.25										■																
11	Corte de pernos del plato de alimentación.	0.25											■															
12	Soldeo de oreja en el plato de alimentación.	0.25												■														
13	Retiro del plato de alimentación.	0.25													■													
14	Izaje de trompo usado.	0.25														■												
15	Limpieza de sellos.	0.25															■											
16	Izaje de trompo nuevo.	0.25																■										
17	Montaje de bowl nuevo.	0.5																	■									
18	Desbloqueo de bomba hidráulica.	0.25																		■								
19	Enroscado de bowl setting (40mm).	0.25																			■							
20	Bloqueo de bomba hidráulica.	0.25																				■						
21	Retiro de malla de zaranda.	0.25																					■					
22	Montaje de chute reparado.	0.5																						■				
23	Conexión de ductos inferiores.																											
24	Conexión de ductos superiores.	0.25																										■
25	Instalación de guardapolvos.																											
26	Desbloqueo de los equipos de la línea.	0.25																										■
27	Setting de chancadora con forros nuevos.	0																										
28	Entrega del equipo a operaciones.	0																										
	Total	6.5																										

Figura 13. Tiempo de mantenimiento de chancadoras secundarias año 2023 (enero- abril).

Nota. Ficha de observación.



Figura 14. Actividades de mantenimiento.
Nota. Reporte de gran minera.

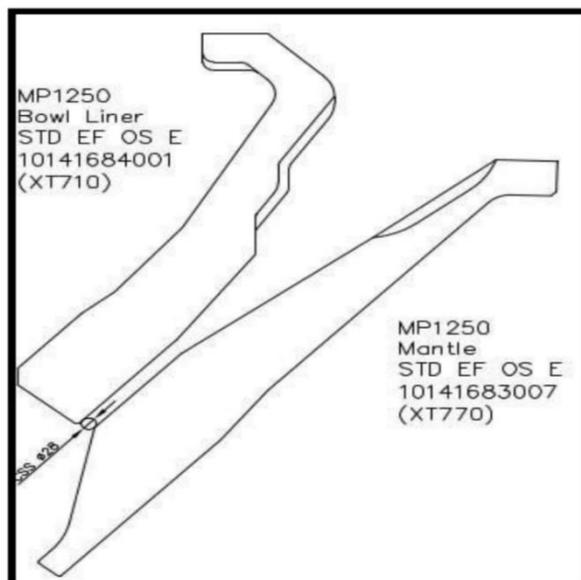
Nº	Actividad	Tiempo	Tiempo de parada de máquina																		
			0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	
1	Llenado de documentos.	0.25	■																		
2	Bloqueo de equipo.	0.25		■																	
3	Apertura de compuertas					■															
4	Desconexión de ducto superior e inferior.	0.25				■															
5	Retiro de chute.	0.25					■														
6	Instalación de malla de zaranda.	0.25						■													
7	Desbloqueo de bomba hidráulica.									■											
8	Desenroscado de bowl	0.25								■											
9	Bloqueo de bomba hidráulica.	0.25									■										
10	Izaje de bowl usado.	0.25										■									
11	Limpieza de sellos.	0.25											■								
12	Izaje de trompo nuevo.														■						
13	Montaje de bowl nuevo.	0.5													■						
14	Desbloqueo de bomba hidráulica.	0.25														■					
15	Enroscado de bowl setting (40mm).	0.25															■				
16	Bloqueo de bomba hidráulica.	0.25																■			
17	Retiro de malla de zaranda.																			■	
18	Montaje de chute reparado.	0.5																	■		
19	Conexión de ductos inferiores.	0.25																		■	
20	Conexión de ductos superiores.																				■
21	Instalación de guardapolvos.																				■
22	Desbloqueo de los equipos de la línea.	0.25																			■
23	Setting de chancadora con forros nuevos.	0																			
24	Entrega del equipo a operaciones.	0																			
	Total	4.5																			

Figura 15. Tiempo de mantenimiento de chancadoras secundarias año 2023 (mayo-junio).
Nota. Ficha de observación.

Como se puede observar en la figura 15, el proceso de mantenimiento de las chancadoras secundarias se redujo a 24 pasos en comparación al diagnóstico previo realizado, en el cual se realizaba en 28 pasos. Los pasos omitidos del anterior diagrama de bloques, fueron los pasos 11,12, 13 y 14 del diagrama de bloques del año 2022, debido a la utilización de la herramienta para retiro de head. Al omitir estos tres pasos se han ahorrado 2.15 horas. Además, se redujeron 8.50 horas de 17 actividades y 7 actividades se realizaban al mismo tiempo, lo que representó un ahorro de 1.75 horas; por lo tanto, el tiempo de demora en el mantenimiento llegó a ser de 4.5 horas por chancadora en el año 2023.

4.2.3 Mejora en la utilización de materiales

En los materiales a partir del año 2023, se empezó a utilizar el XT 710 modificado en el bowl y XT 770 modificado en el head. Esto incrementó la vida útil de los materiales durante la operación de 21 días a 30 días.



- **Perfil STD Extra fino OS MP1250 Corrugado.**
- **Aleación XT710/XT770**
- **Peso Set: 13.9 TNs**
- **Vida útil proyectada: 35 días**

Figura 16. Perfil STD Extra fino de la chancadora secundaria MP1250.

Nota. Reporte de gran minera.

4.2.4 Asignación de tareas al personal en cada parte del proceso

En la figura 17, se observa el proceso de parada de línea de la chancadora secundaria CR24 en el mes de enero 2023, en este proceso se asignaron responsables de cada uno de los 23 pasos del proceso de mantenimiento; por esta razón, el proceso se realiza de manera más eficiente y se ha logrado optimizar el tiempo. Debido a que anteriormente los técnicos que realizaban el mantenimiento no tenían tareas específicas designadas lo que provocaba retrasos y malestar en el personal pues unos trabajaban más que otros, esto hacía que cada vez el personal de mantenimiento tuviera diferencias y el clima laboral se veía afectado, además de tiempos más largos en mantenimiento, de haber seguido así no se hubiera logrado optimizar el tiempo invertido por el personal en mantenimiento.

Ítem	Actividades	Responsable	Ítem	Actividades	Responsable
1	Llenado de documentos	Técnico 3	13	Montaje de bowl nuevo	Técnico 9
		Técnico 4			Técnico 10
		Técnico 5			Contratista
2	Bloqueo de equipo	Técnico 1	14	Desbloqueo de bomba hidráulica	Técnico 1
3	Apertura de compuertas	Operaciones	15	Enroscado de bowl	Técnico 3
		Técnico 2		Setting (40mm)	Operaciones
4	Desconexión de ducto superior e inferior	Técnico 4	16	Bloqueo de bomba hidráulica	Técnico 1
		Técnico 6			
5	Retiro de chute	Técnico 7	17	Retiro de malla de zaranda	Contratista
		Técnico 8			
6	Desbloqueo de la bomba hidráulica	Técnico 1	18	Montaje de chute reparado	Técnico 9
					Técnico 10
					Contratista
7	Instalación de malla de zaranda.	Técnico 2	19	Conexión de ductos inferiores	Técnico 4
					Técnico 6
8	Desenroscado de bowl	Técnico 3	20	Conexión de ductos superiores	Técnico 7
9	Bloqueo de bomba hidráulica	Técnico 1	21	Instalación de guardapolvos	Técnico 1
10	Izaje de bowl usado	Técnico 7	22	Desbloqueo de los equipos de línea	Técnico 1
		Técnico 8			
11	Limpieza de sellos	Técnico 4	23	Setting de chancadora con forros nuevos	Técnico 11
		Técnico 6			
12	Izaje de trompo nuevo	Técnico 3	24	Entrega del equipo a operaciones	Técnico 9
		Técnico 1			Técnico 10
					Contratista

Figura 17. Parada de línea CR24 enero 2023.

Nota. Reporte de gran minera.

4.2.5 Cronograma de mantenimiento del año 2023

	2023															
	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO	
Maquinaria/día	11	12	15	16	16	17	17	18	16	17	17	18	16	17	17	18
Chancadora 21-24	13	13	13	13	13	13	13	13	9	9	9	9	9	9	9	9

Figura 18. Cronograma de parada de línea CR24 enero 2023

Nota. Reporte de gran minera.

En la figura 18, en el cronograma de mantenimiento del año 2023 de las cuatro chancadoras (21,22,23 y 24), se observa que desde el mes de enero hasta abril de 2023 se redujeron las horas a 13 horas en las paradas de línea. Este se realiza en los dos turnos A y B, en cada turno se realizan 6.5 horas de mantenimiento por cada chancadora; es decir, 13 horas diarias realizadas en dos días cada 30 días aproximadamente. Desde mayo a agosto se redujo a 9 horas por las mejoras implementadas las que se realizan 4.5 horas por cada chancadora. Anteriormente se realizaba cada 21 días aproximadamente, es decir, que el tiempo para que las chancadoras necesiten mantenimiento es de aproximadamente 9 días, más en comparación al año pasado. Esto ha permitido reducir en un 43 % la cantidad de días en los que las chancadoras necesitan mantenimiento entre los años 2022 y 2023. Además, la cantidad de horas de mantenimiento por día se ha reducido en un 31 % entre los meses de enero y mayo.

4.2.6 Costo de parada de chancadoras secundarias

Tabla 11.

Costo de parada de chancadoras secundarias de enero a abril 2023

Horas por día de parada	Cantidad de horas de enero a abril 2023	Costo por hora de parada de planta	Costo total de enero a abril 2023
13	104	\$ 25 000.00	\$ 2 600,000.00

Tabla 12.

Costo de parada de chancadoras secundarias de mayo a diciembre 2023

Horas por día de parada	Total de horas de mayo a agosto 2023	Costo por hora de parada de planta	Costo total de mayo a agosto 2023
9	72	\$ 25 000.00	\$ 1 800,000.00

Nota. Reporte de la gran minera.

En la tabla 11 y 12, considerando que cada hora de parada de chancadoras equivale a \$ 25 000.00 entre el mes de enero hasta abril del 2023, se han considerado 13 horas al día en cada parada, haciendo un total de 104 horas y asciende a \$ 2 600,000.00, desde mayo a agosto de 2023 un total de 72 horas lo que significa \$ 1 800,000.00; es decir, en el año 2023 al contrastar los 4 primeros meses con los otros siguientes meses se ahorra \$ 800 000.00.

Tabla 13.

Costo total de parada del año 2023

Total de Horas de parada 2022	Costo total 2022	Total de Horas de parada 2023	Costo total del año 2023
678	\$ 16 950,000.00	153.5	\$ 4 175 000.00

Nota. Reporte de la gran minera.

En la tabla 13, para el año 2023, se considera el periodo de enero a agosto, con un total de 153.5 horas, lo que representará un costo de \$ 4 175000.00. Debido a las mejoras mencionadas anteriormente, al finalizar el año 2023, la gran minera habrá ahorrado \$ 12 775 000.00, lo que equivale a un ahorro total del 75.37 %

4.2.7 Disponibilidad y confiabilidad del año 2023

Tabla 14.

Disponibilidad y confiabilidad del año 2023

	Disponibilidad	Confiabilidad
Enero	95.34 %	99.39 %
Febrero	93.96 %	96.35 %
Marzo	93.07 %	99.58 %
Abril	95.71 %	97.90 %
Mayo	98.42 %	100.00 %
Junio	98.98 %	99.82 %
Julio	98.85 %	99.69 %
Agosto	97.76 %	99.86 %
Promedio	96.51 %	99.07 %

Nota. Reporte de la gran minera.

En la tabla 14, se presenta que la disponibilidad de equipos solo los meses de enero a abril, no cumplieron con los estándares, desde abril el comportamiento mejoró. Además, los equipos fueron confiables con pocas horas de fallas; sin embargo, los meses de febrero y abril tuvieron un valor inferior al 99 % aceptable.

4.2.8 Eficiencia de activos del año 2023

Tabla 15.

Eficiencia de activos del año 2023

Meses	Eficiencia de activos
Enero	88.01 %
Febrero	87.05 %
Marzo	86.22 %
Abril	76.72 %
Mayo	96.56 %
Junio	97.99 %
Julio	96.33 %
Agosto	97.24 %

Nota. Reporte de la gran minera.

En la tabla 15, se observan los porcentajes de eficiencia de los activos, donde se destaca que en el mes de abril se registraron más fallas operacionales; además, en los 3 meses siguientes, las paradas planificadas se incrementaron, lo que permitió mejorar la eficiencia de los activos en los meses siguientes. Entre los meses de enero y abril de 2023, la eficiencia de activos tuvo un promedio de 84.50 % mientras que, a partir del mes de mayo hasta agosto 2023, mejoró a un promedio de 97.03 %; es decir, mejoró en aproximadamente 13 %.

4.3 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA COMPARATIVA

Para la estadística descriptiva, se comparará él antes y después de la implementación, considerando como “antes” los meses de enero a abril de 2023 y el “después” los meses de mayo a agosto de 2023.

Tabla 16.

Comparación descriptiva

	Disponibilidad		Confiabilidad		Eficiencia de los activos	
	Valores	Promedio	Valores	Promedio	Valores	Promedio
Antes	95.34 %		99.39 %		88.01 %	
	93.96 %	94.52 %	96.35 %	98.30 %	87.05 %	84.50 %
	93.07 %		99.58 %		86.22 %	
	95.71 %		97.90 %		76.72 %	
Después	98.42 %		100.00 %		96.56 %	
	98.98 %	98.50 %	99.82 %	99.84 %	97.99 %	97.03 %
	98.85 %		99.69 %		96.33 %	
	97.76 %		99.86 %		97.24 %	

Nota. Reporte de la gran minera.

En la tabla 16, se presenta que la disponibilidad de equipos aumentó en 3.98 %, la confiabilidad en 1.54 % y la eficiencia de activos en 12.53 %, lo que demuestra que la reducción de las horas en el mantenimiento de los equipos de chancado secundario tuvieron un efecto positivo. Considerando que, en la segunda parte del año 2023, estos tres ítems mejoraron en un promedio general de un 7.80 %, destacándose la mejora en la eficiencia de activos.

4.4 CONTRASTE DE HIPÓTESIS

Tabla 17.

Prueba de normalidad

		Estadístico	gl	Sig.
Eficiencia de activos	Antes	0.758	4	0.05
	Después	0.937	4	0.64

En la tabla 17, los datos del antes y después tienen una distribución normal valores sig igual o mayor a 0.05. Por lo tanto, para calcular si el efecto de la actualización del mantenimiento fue significativo en la eficiencia de activos y se utilizará la T student.

Tabla 18.

Contraste de hipótesis

		Promedio	Sig
Eficiencia de activos	Antes	84.50 %	0.003
	Después	97.03 %	

En la tabla 18 se evidencia que, al 95 % de nivel de confianza el efecto de la actualización del mantenimiento fue significativo (sig menor a 0.05) lo que da base para aceptar la hipótesis de investigación y afirmar que la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario, incrementa la eficiencia de activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023.

4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con el objetivo general, determinar la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario que incrementa la eficiencia de activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023; se presenta el cronograma de mantenimiento 2023 de las cuatro chancadoras (21,22,23 y 24), en el cual se puede observar que, desde el mes de enero hasta el mes de abril de 2023, se redujeron a 13 horas en las paradas de línea. Esta se realiza en los dos turnos A y B, en cada turno se realizan 6.5 horas de mantenimiento y desde el mes de mayo al mes de agosto de 2023, se redujeron a 4.5 horas lo que evidenció un crecimiento en la eficiencia de los activos. De manera similar, Angel Torres (11), realizó un plan de mantenimiento que se centró en la confiabilidad y se llevó a cabo en la temporalidad de julio de 2016 a junio del 2017, reconociendo así las funciones, fallas funcionales, modos de falla, alcanzando al finalizar una mejora de un 92,08 % de la disponibilidad mecánica de la chancadora.

Por otro lado, Esmilka Guerra y Alexis Montes de Oca (7), al implementar el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, mediante la aplicación del RCM lograron ahorrar \$ 3 514 100.

Respecto al primer objetivo específico, identificar la actualización del plan de mantenimiento que incrementa la disponibilidad de los equipos de chancado secundario área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023; se observa que, en el proceso de parada de línea de la chancadora secundaria CR24 en el mes de enero 2023, se asignaron responsables de cada uno de los 23 pasos del proceso de mantenimiento, lo que mejoró la eficiencia optimizó el tiempo, logrando un incremento en la disponibilidad de los equipos. Dichos hallazgos concuerdan con los de David Macedo y Franklin López (13), quienes aplican la metodología RCM y luego de la simulación con el software Arena, identificaron un incremento de la disponibilidad del 77 % al 83 %. En la misma línea, Arnold Indigoyen (10), al mejorar la lubricación del equipo incrementó de la disponibilidad y confiabilidad del equipo, lo que produjo una disminución en las horas de parada por mantenimiento correctivo, reduciendo de 158 a 104 horas, con lo cual se incrementó la disponibilidad del equipo. De la misma forma, Angel Torres (11), consigue una mejora de un 92,08 % de la disponibilidad mecánica del Chancadora cónico 60"x113.

De acuerdo con los hallazgos, se puede corroborar la importancia de un plan de mantenimiento bien diseñado para optimizar la eficiencia minera, mejorar la productividad, reducir costos y garantizar la seguridad operativa. En definitiva, un plan de mantenimiento eficaz no solo asegura una operación minera eficiente y económica, sino que también promueve la seguridad y sostenibilidad, siendo crucial para el éxito y la longevidad de las actividades mineras.

En referencia al segundo objetivo específico, analizar la actualización del plan de mantenimiento que incrementa la confiabilidad de los equipos de chancado secundario área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023; se evidencia que en los materiales a partir del año 2023, se empezó a utilizar el XT 710 modificado en el bowl y XT 770 modificado en el head, lo cual incrementó la vida útil de los materiales durante la operación de 21 días a 30 días. Esto fue similar a lo realizado por Maykol Fernández (12), quien desarrolló una base de tareas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo que permite reducir las fallas en los equipos; por lo que la confiabilidad se incrementa. Por su parte, Angel Torres (11), identifica las fallas mediante un análisis de criticidad, evidenciando mejoras en la confiabilidad. También, los resultados guardan similitud con los hallazgos de Macedo y López (2020), que evidenciaron un incremento que influyó positivamente en otro grupo de indicadores del mantenimiento; tales como el tiempo medio entre fallas (MTTF) que presentó un aumento de 56 horas a 83 horas, lo cual difiere del tiempo medio para la reparación (MTTR) que presentó una disminución de 13 horas/avería a 9 horas/ avería.

De acuerdo con los resultados, la minimización de los tiempos de inactividad, mediante la aplicación de un programa de mantenimiento bien gestionado, evita paradas inesperadas garantizando una producción continua y estable. Además, con la optimización del rendimiento de

equipos, las operaciones mineras se dan de manera más efectiva, lo que se traduce en una mayor producción y la prolongación de la vida útil de los activos de la empresa, disminuyendo la necesidad de reemplazos prematuros y costosos, ayudando a amortizar la inversión en los mismos.

CONCLUSIONES

PRIMERO: Se determinó que la implementación de la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario, incrementó la eficiencia de los activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa en 12.53 %. Esto se debe a la creación de una nueva herramienta para retiro de head, la optimización en el proceso de mantenimiento, mejora en la utilización de materiales y asignación de tareas a los operarios encargados del mantenimiento.

SEGUNDO: Se identificó que la actualización del plan de mantenimiento con respecto al año 2023, incrementó la disponibilidad de los equipos de chancado secundario área seca de una gran minera en 3.98 %. Esta comparativa se hizo entre los meses de enero a abril 2023 que tuvo 94.52 % de disponibilidad de equipos y los meses de mayo a agosto de 98.50 %.

TERCERO: Se identificó que la actualización del plan de mantenimiento con respecto al año 2023, incrementó la confiabilidad de los equipos de chancado secundario área seca de una gran minera en 1.54 %. Esta comparativa se hizo entre los meses de enero a abril 2023 que tuvo 98.30 % de disponibilidad de equipos y los meses de mayo a agosto de 99.84 %.

RECOMENDACIONES

PRIMERO: Se recomienda al gerente de mantenimiento de la mina, impartir capacitaciones bimestrales al personal a cargo del mantenimiento para sostener e incrementar la preparación técnica del personal, mediante la transferencia de nueva tecnología con la finalidad que se cumpla a cabalidad con las actividades operativas de una manera eficiente. Además, realizar capacitaciones bimestrales para los operarios, para mantener el buen estado de los chutes de las fajas transportadoras y obtener un óptimo rendimiento de los equipos.

SEGUNDO: Se recomienda al gerente general revisar de forma anual los planes de mantenimiento para todas las áreas restantes de la planta concentradora, de acuerdo con sus características y a la probabilidad de confiabilidad que se determine, con el fin de mejorar la identificación de la criticidad de los equipos y poder lograr una reevaluación constante del plan de mantenimiento para disminuir los costos de mantenimiento y lograr la optimización en la gestión del mantenimiento.

TERCERO: Se recomienda al gerente de mantenimiento de mina, capacitar a los operarios sobre el adecuado manejo del Excel programado para el cambio de los revestimientos y/o una minuciosa revisión, con la finalidad de evitar fallas, estas capacitaciones deberán ser de seis meses de duración, a cargo de personal especialista en el tema otorgándoles certificación para motivar al personal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MORENO, K. La eficiencia en la gestión de activos será el foco principal de las empresas mineras para el 2023. 2022 [fecha de consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: <https://iimp.org.pe/#close>
2. SOCIEDAD de Comercio Exterior del Perú. La nueva cartera de proyectos mineros 2023 alcanza los US\$ 53,715 millones. 2023 [fecha de consulta: 22 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.comexperu.org.pe/articulo/la-nueva-cartera-de-proyectos-mineros-2023-alcanza-los-us-53715-millones>.
3. ANDÚJAR, J. et al. Minería del cobre en Perú análisis de las variables exógenas y endógenas para gestionar su desarrollo. Revista Venezolana de Gerencia [en línea], 2021, 26(94), 784-801 [fecha de consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/290/29069612018/html/>.
4. SOCIEDAD Nacional de Minería. ¿Qué estamos perdiendo como país? El impacto económico de los conflictos sociales y la tramitología en la minería [en línea]. Lima: Sociedad Nacional de Minería, 2023. [fecha de consulta: 18 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.ipe.org.pe/portal/wp-content/uploads/2023/09/El-impacto-economico-de-los-conflictos-sociales-y-la-tramitologia-en-la-mineria.pdf>
5. INSTITUTO Nacional de Estadística y Informática. Producción nacional - informe técnico [en línea]. 2023. Lima: Instituto Nacional de Estadística y Informática. 62 pp. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/06-informe-tecnico-produccion-nacional-abr-2023.pdf>
6. OLUWATOBI, D.; BEKIR, G.; TURGAY, C; SAMSON, B. Adoptable approaches to predictive maintenance in mining industry: An overview. Resources Policy [en línea], 2023, 86 [fecha de consulta: 27 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420723010024>
7. GUERRA, E. y MONTES DE OCA, A. Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería. Boletín de Ciencias de la Tierra [en línea], 2019, 45, 14-21 [fecha de consulta: 23 marzo 2024]. ISSN 0120-3630. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/1695/169559150002/html/>
8. ZAMORA, I. Diseño de un plan de mantenimiento para un molino de bolas de la empresa compañía minera Cerro Negro S.A [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Quilpué: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2018. 298 pp. [fecha de consulta: 26 marzo 2024]. Disponible en: http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-9500/UCC9690_01.pdf

9. BARRIOS, J. y MOLINA, S. Análisis y diagnóstico de los tipos de mantenimiento en la pequeña y gran minería aurífera en la subregión el Bajo Cauca Antioquia. *Revista Metalnova* [en línea], 2019, 1, 17-24 [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://revistas.sena.edu.co/index.php/metalnova/article/view/2140>
10. INDIGOYEN, C. Mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad de la chancadora Sandvik CH870 - Compañía Minera Milpo S.A.A [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020. 116 pp. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6259/TESIS%20PREGRADO_ARNOLD%20INDIGOYEN%20AGUILAR%20%20REVISI%3%93N%20FINAL_CORREGIDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
11. TORRES, Á. Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la chancadora 60"x113" de Minera Chinalco [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017. 142 pp. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3681>
12. FERNÁNDEZ, M. Implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para el área de chancado terciario en una planta concentradora Arequipa 2016 – 2018 [en línea]. Tesis (Magister en Ingeniería de Mantenimiento). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2018, 152 pp. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/233005840>.
13. MACEDO, D. y LÓPEZ, F. Modelo de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad en quipos subterráneos en una empresa de mediana minería en Ayacucho-Perú, utilizando RCM [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Industrial) Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2020. 150 pp. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/653812/Macedo_ND.pdf?sequence=3&isAllowed=y
14. CHACÓN, H. Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la productividad de los equipos de chancado secundario en una empresa minera [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Huancayo: Universidad Peruana de los Andes, 2020. 26 pp. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1789>
15. AMBROCIO, A. y HUAMANÍ C. Propuesta de mejora del plan del mantenimiento proactivo del área seca C2 en sociedad minera Cerro Verde [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Lima: Universidad Antonio Ruíz de Montoya, 2018. 4 pp. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uarm.edu.pe/items/056adec7-5858-40c2-8934-848199891662>

16. SANTOS, J. Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aplicado en el Área de Chancado de planta concentradora minera Bateas S. A. C. Arequipa [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Arequipa: Universidad Continental, 2022. 96 pp. [fecha de consulta: 22 febrero 2023]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12271/3/IV_FIN_111_TSP_Santos_Casilla_2022.pdf
17. ARATA, A. Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento [en línea]. Santiago: Ril Editores, 2005. 972 pp. ISBN: 97815129181862 [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.buscalibre.pe/libro-manual-de-gestion-de-activos-y-mantenimiento-adolfo-arata-ril-editores/9789562844338/p/1038326>
18. DUFFUAA, S. y RAOUF, O. Planning and Control of Maintenance Systems: Modelling and Analysis [en línea]. 2° ed. Londres: Springer International Publishing Switzerland, 2016. 361 pp. ISBN 978-3-319-19802-6 [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/404976744/Salih-O-Duffuaa-A-Raouf-auth-Planning-and-Control-of-Maintenance-Systems-Modelling-and-Analysis-Springer-International-Publishing-2015-pdf>
19. LLONTOP, L. Propuesta de implementación de mantenimiento productivo total (TPM) en el área de extracción de jugo trapiche para medir el impacto de la productividad de la agroindustria Pomalca SAA [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. 2018. 37 pp. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1426/1/TM_LlontopMendozaLucio.pdf
20. DUFFUAA, S., RAOUF, A. y CAMPBELL, J. Sistemas de mantenimiento. Planificación y control [en línea]. México D.F.: Editorial Limusa. 2010. 404 pp. ISBN 968-18-5918-9. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/rusvel7/sistemas-demantenimientoduffuayotros>
21. PIÑERO, E., VIVAS, F., y FLORES, V. Programa 5S's para el mejoramiento continuo de la calidad y la productividad en los puestos de trabajo. Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias [en línea], 2018, 6(20), 99–110. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/2150/215057003009/html/>
22. MONTILLA, C. (2019). Mantenimiento industrial y su administración [en línea]. Pereira Editorial Pereira. 489 pp. ISBN: 978-958-722-391-0. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/288157713.pdf>
23. GONZÁLES, F. Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado [en línea]. Madrid: FC Editorial, 2005. 575 pp. ISBN: 9788496169494. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en:

- https://books.google.com.pe/books?id=OzwXOAKv_QAC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false.
24. RODRÍGUEZ, R. Tipos de mantenimiento en las plantas compresoras de gas del municipio Simón Bolívar. *Data Ciencia* [en línea], 2019, 2(1), 143-161 [fecha de consulta: 27 marzo 2024]. Disponible en: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/dataciencia/article/view/32818>
 25. MANJÓN, G. Mantenimiento planificado y su aplicación en la mejora de resultados de la empresa Ice Cream factory comaker [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Electrónica y Automática Industrial) Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2018. 14 pp. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106406/MANJ%C3%93N%20-%20MANTENIMIENTO%20PLANIFICADO%20Y%20SU%20APLICACI%C3%93N%20A%20LA%20MEJORA%20DE%20RESULTADOS%20DE%20LA%20EMPRESA%20ICE%20CR....pdf>
 26. TAMBRA, L. Gestión de mantenimiento. *Cite Energía* [en línea]. 2012 [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2021/08/gestion_de_mantenimiento.pdf
 27. ALPIZAR, E. Operación, mantenimiento y control de calidad [en línea], 2008, pp. 193-246. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Capítulo 5: Mantenimiento. Disponible en: https://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual4/ma4_cap5.pdf
 28. CASTILLO, R. y PRIETO, J. Elementos de la gestión de mantenimiento en las instituciones públicas de educación superior del municipio Cabimas. *Negotium* [en línea], 2013, 9(25), 55-85 [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/782/78228410004.pdf>
 29. SÁNCHEZ, Á. La gestión de los activos físicos en la función mantenimiento. *Ingeniería Mecánica* [en línea], 2010, 13(2), 72-78 [fecha de consulta: 22 marzo 2023]. ISSN 1815-5944. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442010000200008.
 30. ISO 55000. Gestión de activos — Aspectos generales, principios y terminología. ISO 55000, 2014. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:55000:ed-1:v2:es>.
 31. TOO, E. A framework for strategic infrastructure asset management. En: *World Congress on Engineering Asset Management and Intelligent Maintenance Systems Conference* (3.º: 2008, Beijing). [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://eprints.qut.edu.au/16886/1/16886.pdf>
 32. DEPOOL, T. Mejora de la gestión de activos físicos según PAS 55 - ISO 55000 evaluando el desempeño de los roles del marco de competencias del IAM [en línea]. Tesis (Doctor en

- Diseño, Fabricación y Gestión de Proyectos Industriales). Valencia: Universitat Politècnica de València. 2015, 324 pp. [fecha de consulta: 23 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/57047/DEPOOL%20-%20MEJORA%20DE%20LA%20GESTI%20N%20DE%20ACTIVOS%20F%20CDSICOS%20SEG%20DAN%20PAS%2055%20-%20ISO%2055000%20EVALUANDO%20EL%20DESEMPE%20DIO%20pdf;jsessionid=5E31C7ADC9C2F11353D44EC1F064289F?sequence=1>
33. CAMPBELL, J. y REYES, J. Uptime Strategies for Excellence in Maintenance Management [en línea]. 3.º ed. Boca Ratón: Taylor & Francis Group, LLC. 2016. 475 pp. ISBN: 13 978-1-4822-5238-5. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/41736579/Uptime_Strategies_for_Excellence_in_Maintenance_Management.
 34. AMADI-ECHENDU, J. et al. New paradigms for physical asset management [en línea]. En: International Conference on Condition Monitoring (4º: 2007: Harrogate). pp. 116-129. Conferencia [fecha de consulta: 28 febrero 2023]. Disponible en: <https://eprints.qut.edu.au/12954/1/12954.pdf>
 35. GARCÍA, M., PAREJA, A., y FARIAS, P. Nuestra riqueza exploradora. Hacia una gestión moderna de los activos públicos, 2021. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/nuestra-riqueza-inexplorada-hacia-una-gestion-moderna-de-los-activos-publicos>
 36. HASTINGS, N. Physical asset management. A Practitioner's guide [en línea]. Londres: Springer, 2010. 383 pp. ISBN 978-1-84882-750-9. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-751-6>
 37. SOLA, A., y CRESPO, A. Principios y marcos de referencia de la gestión de activos [en línea]. Madrid: AENOR. 2016. 151 pp. ISBN: 978-84-8143-924-3 [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.marcialpons.es/media/pdf/9788481439243.pdf>
 38. ALSYOUF, I. et al. Impact of ISO 55000 on organizational performance: Evidence from certified UAE firms. Total Quality Management & Business Excellence [en línea], 2021, 32(2) [fecha de consulta: 22 enero 2023]. ISSN:1478-3363. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1537750>
 39. ANDRADE, R. Mantenimiento en función de la vida útil: una nueva metodología de gestión y planificación del mantenimiento aplicada a los aerogeneradores [en línea]. Tesis (Doctor en Ingeniería Industrial e Informática). Madrid: Universidad Pontificia Comillas, 2015. 992 pp. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11531/3065>
 40. MOREIRA, M. et al. View of Asset management system according to ISO 55000 standard in the production process. Journal of business and entrepreneurial studies [en línea], 2022, 6(4),

- 37-48 [fecha de consulta: 27 marzo 2024]. ISSN: 2576-0971. Disponible en: <https://www.journalbusinesses.com/index.php/revista/article/view/314/697>
41. DAVIS, R. Introducción a la gestión de activos. Chester: The Institute of asset management. 2015. 32 pp. ISBN: 978-0-9571508-2-9 [fecha de consulta: 22 febrero 2023]. Disponible en: <https://eatechnology.com/media/idrjutri/introduccion-a-la-gestion-de-activos-espa%C3%B1ol.pdf>
42. RAEYATINEZHAD, H., 2023. Activities Within Maintenance Management [en línea]. Tesis (Maestro en Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad). Trondheim: Norwegian University of Science and Technology. [fecha de consulta: 26 enero 2024]. Disponible en: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/3091473/no.ntnu%3ainspera%3a146717040%3a98678040.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
43. AHMED, M. The use of performance-based contracting in managing the outsourcing of a reliability-centered maintenance program. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* [en línea], 2019, 26(4), 526–554 [fecha de consulta: 24 febrero 2023]. ISSN 13552511. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/JQME-02-2018-0007>
44. VIKÅ, K. An analysis of asset availability performance: a practical determination of well system reliability and maintainability. Tesis. (Maestro en Gestión de Activos Industriales). Stavanger: University of Stavanger, 2016. 161 pp. [fecha de consulta: 26 marzo 2024]. Disponible en: https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/bitstream/handle/11250/2411627/Vika_Kai_Petter.pdf?sequence=1&isAllowed=y
45. PARIDA, A. Asset performance measurement and management: Bridging the gap between failure and success [en línea]. En: Conference: Euro Maintenance (1º: 2016 Atenas). [fecha de consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/303767904_Asset_performance_measurement_and_management_Bridging_the_gap_between_failure_and_success
46. CERÓN, A. et al. Panorama de la Gestión de Activos para Transformadores de Potencia. *Información Tecnológica* [en línea], 2015, 26(3), 99-110 [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v26n3/art14.pdf>
47. NORMA Internacional ISO 55000. Gestión de activos-Aspectos generales, principios y terminología [en línea]. Ginebra: Secretaría Central de ISO, 2014. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: [www.iso.orghttps://cdn.standards.iteh.ai/samples/55088/bf0026cab063456dbf8838e2e92ce917/ISO-55000-2014.pdf](https://cdn.standards.iteh.ai/samples/55088/bf0026cab063456dbf8838e2e92ce917/ISO-55000-2014.pdf)
48. TORRE, N., LEO, C. y BONAMIGO, A. Lean 4.0: An analytical approach for hydraulic system maintenance in a production line of a steel-making plant. *International Journal of*

- Industrial Engineering and Management [en línea], 2023, 14(3) [fecha de consulta: 27 marzo 2024]. ISSN 22172661. Disponible en: <http://doi.org/10.24867/IJIEM-2023-3-332>.
49. TOJAL, M. et al. Case-Based Product Development of a High-Pressure Die Casting Injection Subset Using Design Science Research. FME Transactions [en línea], 2022, 50(1) [fecha de consulta: 27 marzo 2024]. ISSN 2406128X. Disponible en: DOI 10.5937/fme2201032T.
 50. DE VRIES, K y VISSER, J. Valuation of the factors characterising high-performing maintenance teams in the petrochemical industry. South African Journal of Industrial Engineering [en línea], 2021, 32(3) [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. ISSN 22247890. Disponible en: <https://doi.org/10.7166/32-3-2626>
 51. MANTEROLA, C. et al. Confiabilidad, precisión o reproducibilidad de las mediciones. Métodos de valoración, utilidad y aplicaciones en la práctica clínica. Revista Chilena Infectol [en línea], 2018, 35(6), 680–688 [fecha de consulta: 22 marzo 2024]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rci/v35n6/0716-1018-rci-35-06-0680.pdf>
 52. HUICHO, A. Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento basado en RCM-II para el molino SAG en empresa minera a mayor de 3800 msnm [en línea]. Tesis (Maestro en Ingeniería de Mantenimiento) Arequipa: Universidad Católica de Santa María, (2022). 87 pp. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/13f8929b-a5ee-4dd0-b252-5c3cbf6ec102/content>
 53. MOLINA, J., y CALA, J. Propuesta para la gestión eficiente de activos con un horizonte de cierre de operaciones de 10 años [en línea]. Tesis (Título de Ingeniería Especialización en Gestión de Activos) Colombia: Universidad de Antioquía. 2023, 21 pp. [fecha de consulta: 23 de febrero de 2023]. Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/37765/1/MolinaJorgeCalaJorge_2023_PropuestaGestionEficiente
 54. ARATA, A. y ARATA, A. Ingeniería de la Confiabilidad: Teoría y aplicación en proyectos de capital y en la operación de instalaciones industriales a través del enfoque R-MES [en línea]. Santiago: RIL Editores, 2013. 78 pp. ISBN: 978-956-284-967-8. [fecha de consulta: 18 de abril de 2024]. Disponible en: <https://es.scribd.com/embeds/431239044/content>
 55. ZAMBRANO, T. y PONSOT, E., 2023. Aplicación de un modelo estocástico para el Análisis RAM de Máquinas Rotatorias en la Industria 4.0. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar [en línea], 2023, 7(2) [fecha de consulta: 27 marzo 2024]., ISSN 2707-2207. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5750
 56. GASCA, M., CAMARGO, L., y MEDINA, B. Gestión del mantenimiento para la confiabilidad operacional. Revista Espacios [en línea], 2020, 41(47), 250–261. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n47p18>

57. INSTITUTO Uruguayo de Normas Técnicas. Herramientas para la mejora de la calidad [en línea]. Montevideo: UNIT, 2009. 8 pp. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://qualitasbiblo.files.wordpress.com/2013/01/libro-herramientas-para-la-mejora-de-la-calidad-curso-unit.pdf>
58. FLOREZ, J., QUINO, G., RAMOS, E., y CONDORI, C. Identificación de componentes y herramientas para la gestión de seguridad del título III del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería que influyen en la mejora de la gestión de riesgos laborales de la actividad minera. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [en línea], 2022, 6(3), 2566–2595. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i3.2404
59. SAEGER, A. El diagrama de Ishikawa [en línea]. Titivillus, 2018. [fecha de consulta: 27 marzo 2023]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/misajeljimenez/el-diagrama-de-ishikawa-ariane-de-saegerpdf>
60. GÁNDARA, F. Herramientas de calidad y el trabajo en equipo para disminuir la reprobación escolar. *Ciencia Tecnológica* [en línea], 2014, 17-27 [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94432996003>
61. GUTIÉRREZ, B. y CINTAS, G. El histograma como un instrumento para la comprensión de las funciones de densidad de probabilidad. *Revista de didáctica de la Estadística* [en línea], 2013, 229-235 [fecha de consulta: 23 marzo 2024]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4770286>
62. ALFARO, A. Diseño e implementación de un Sistema de Gestión de Despacho para el control de los equipos de carguío y acarreo utilizando la comunicación de señal móvil en la unidad minera Summa Gold Corporation SAC. *Revista peruana de computación y sistemas* [en línea], 2022, 4(1), 3-23 [fecha de consulta: 24 febrero 2023]. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpcsis/article/view/24123>
63. TERRAZAS, R. Planificación y programación de operaciones. *Perspectivas* [en línea], 2011, (28) 7-32 [fecha de consulta: 18 marzo 2023]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1994-37332011000200002
64. GRAN Minera (2023). Proceso de chancado.
65. CAMPBELL J., JARDINE A., y MCGLYNN J. *Asset Management Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions* [en línea]. 2.º ed. Londres: Taylor y Francis Group, 2011. 231 pp. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=W96gu5XqM50C&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
66. WILLS, B. *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery* [en línea]. 7.º ed. Londres: Elsevier Science & Technology Books, 2006. 464 pp. ISBN: 0750644508. [fecha de consulta: 23 febrero 2023].

- Disponible en: https://www.academia.edu/40297760/Mineral_Processing_Technology_An_Introduction_to_the_Practical_Aspects_of_Ore_Treatment_and_Mineral_Recovery_by_Barry_A_Wills_Tim_Napier_Mun
67. TOMLINGSON, P. Equipmet Management Key to Equipment Reliability and productivity in mining [en línea]. 2.º ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME), 2010. 326 pp. ISBN: 978-0-87335-324-3. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: https://nibmehub.com/opac-service/pdf/read/Equipment%20Management%20_%20key%20to%20equipment%20reliability%20and%20productivity%20in%20mining.pdf
 68. ROJAS, M., JAIMES, L. y VALENCIA, M. Efectividad, eficacia y eficiencia en equipos de trabajo. Revista Espacios [en línea], 2018, 39(6) [fecha de consulta: 27 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a18v39n06/a18v39n06p11.pdf>.
 69. CARLSON, C. Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes using Failure Mode and Effects Analysis [en línea]. Nuevo Jersey: John Wiley & Sons. 2012. 464 pp. ISBN: 1118007433. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: https://books.google.com.pe/books/about/Effective_FMEAs.html?id=fPhCZA6HS6EC&redir_esc=y
 70. HERRERA, J. Introducción al mantenimiento minero [en línea]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, 2009. 27 pp. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: https://oa.upm.es/10485/1/INTRODUCCION_AL_MANTENIMIENTO-090320_2.pdf
 71. PALMER, R. Maintenance Planning and Scheduling Handbook. 4.º ed. Nueva York: McGraw Hill, 2019. 960 pp. ISBN: 978-1260135282.
 72. JARDINE, A., y TSANG, A. Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications. 2.º ed. Nueva York: Crc Press, 2013. 364 pp. IBSN: 9781466554856.
 73. PARRA, A. Análisis del metrado de las tareas de mantenimiento preventivo para la mejora de la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares en la Compañía Minera Antamina Perú, 2019 [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Arequipa: Universidad Continental, 2019. 84 pp. [fecha de consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8392/4/IV_FIN_108_TI_Parra_Quispe_2019.pdf
 74. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. Metodología de la Investigación [en línea]. México D.F.: McGraw Hill/Interamericana Editores S.A., 2014. 672 pp. ISBN 978-1-4562-2396-0. [fecha de consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.

ANEXOS

Anexo 1: Instrumentos de recolección de datos

Ficha de recolección de datos				
Área:			Año:	
Mes	Tiempo de parada de máquina	Disponibilidad	Confiabilidad	Eficiencia de activos

Ficha de observación									
N°	Actividad	Tiempo	Tiempo de parada de máquina						
1	Llenado de documentos.								
2	Bloqueo de equipo.								
3	Apertura de compuertas								
4	Desconexión de ducto superior e inferior.								
5	Retiro de chute.								
6	Instalación de malla de zaranda.								
7	Desbloqueo de bomba hidráulica.								
8	Desenroscado de bowl								
9	Bloqueo de bomba hidráulica.								
10	Izaje de bowl usado.								
11	Corte de pernos del plato de alimentación.								
12	Soldeo de oreja en el plato de alimentación.								
13	Retiro del plato de alimentación.								
14	Izaje de trompo usado.								
15	Limpieza de sellos.								
16	Izaje de trompo nuevo.								
17	Montaje de bowl nuevo.								
18	Desbloqueo de bomba hidráulica.								
19	Enroscado de bowl setting (40mm).								
20	Bloqueo de bomba hidráulica.								
21	Retiro de malla de zaranda.								
22	Montaje de chute reparado.								
23	Conexión de ductos inferiores.								
24	Conexión de ductos superiores.								
25	Instalación de guardapolvos.								
26	Desbloqueo de los equipos de la línea.								
27	Setting de chancadora con forros nuevos.								
28	Entrega del equipo a operaciones.								
	Total								

Anexo 2: Matriz morfológica

Solución de problema	Alternativa 1	Alternativa 2
Análisis de situación actual	Ficha de observación Ficha de recolección de datos Análisis causa efecto	Entrevista Lluvia de ideas
Diseño	Definición de responsables Definición de objetivos Definición de actividades Definición de cronograma Definición de indicadores	Definición de responsables Definición de objetivos Definición de actividades Definición de cronograma Definición de indicadores
Actualización del plan de mantenimiento	Inicio Proceso Fin	Inicio Proceso Fin
Control	Disponibilidad Confiabilidad	Disponibilidad Confiabilidad
Selección	✓	

Anexo 3: Matriz de consistencia

Actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario para incrementar la eficiencia de activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023				
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable e dimensiones	Metodología
¿Cómo la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario incrementa la eficiencia de activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023?	Actualizar el plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario para incrementar la eficiencia de activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023.	La actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario incrementa la eficiencia de activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023.	Variable independiente:	Diseño Preexperimental-longitudinal
Problemas específicos	Objetivos específicos		Plan de mantenimiento.	Tipo Descriptivo-explicativo
¿Cómo la actualización del plan de mantenimiento incrementa la disponibilidad de los equipos de chancado secundario área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa?	Analizar cómo la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario permite incrementar la disponibilidad del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023.		<ul style="list-style-type: none"> ● Análisis de situación actual ● Diseño. ● Ejecución. ● Control. 	Técnica
¿Cómo es la eficiencia de activos del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa después de la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario?	Detallas cómo la actualización del plan de mantenimiento de los equipos de chancado secundario permite incrementar la confiabilidad del área seca de una gran minera de la ciudad de Arequipa, 2023.		Variable dependiente: Eficiencia de activos	Instrumento Ficha de observación Ficha de recolección de datos
			<ul style="list-style-type: none"> ● Disponibilidad. ● Confiabilidad. 	Población 41 equipos

Anexo 4: Detalle de la eficiencia de Activos año 2022

ENERO

Tiempo disponible	744
Paradas no planificadas	-22,1
Paradas planificadas	-18,96
Paradas Operacionales	-2,62
Fallas Operacionales	-0,64
Total horas operativas	699,68

<i>Eficiencia de activos</i>	$\frac{699,68}{744}$
------------------------------	----------------------

% Eficiencia de activos	94,04%
--------------------------------	---------------

ABRIL

Tiempo disponible	720
Paradas no planificadas	-17,81
Paradas planificadas	-6,13
Paradas Operacionales	-4,19
Fallas Operacionales	-9,41
Total horas operativas	682,46

<i>Eficiencia de activos</i>	$\frac{682,46}{720}$
------------------------------	----------------------

% Eficiencia de activos	94,79%
--------------------------------	---------------

JULIO

Tiempo disponible	744
Paradas no planificadas	-31,57
Paradas planificadas	-7,69
Paradas Operacionales	-1,65
Fallas Operacionales	-0,45
Total horas operativas	702,64

<i>Eficiencia de activos</i>	$\frac{702,64}{744}$
------------------------------	----------------------

% Eficiencia de activos	94,44%
--------------------------------	---------------

OCTUBRE

Tiempo disponible	744
Paradas no planificadas	-19,59
Paradas planificadas	-36,81
Paradas Operacionales	-0,44
Fallas Operacionales	-3,01
Total horas operativas	684,15

<i>Eficiencia de activos</i>	$\frac{684,15}{744}$
------------------------------	----------------------

% Eficiencia de activos	91,96%
--------------------------------	---------------

FEBRERO

Tiempo disponible	672
Paradas no planificadas	-30,87
Paradas planificadas	-94,73
Paradas Operacionales	-5,6
Fallas Operacionales	-2,99
Total horas operativas	537,81

<i>Eficiencia de activos</i>	$\frac{537,81}{672}$
------------------------------	----------------------

% Eficiencia de activos	80,03%
--------------------------------	---------------

MAYO

Tiempo disponible	744
Paradas no planificadas	-36,1
Paradas planificadas	-62,54
Paradas Operacionales	-4,58
Fallas Operacionales	-0,86
Total horas operativas	639,92

<i>Eficiencia de activos</i>	$\frac{639,92}{744}$
------------------------------	----------------------

% Eficiencia de activos	86,01%
--------------------------------	---------------

AGOSTO

Tiempo disponible	744
Paradas no planificadas	-9,91
Paradas planificadas	-235,39
Paradas Operacionales	-3,58
Fallas Operacionales	-2,97
Total horas operativas	492,15

<i>Eficiencia de activos</i>	$\frac{492,15}{744}$
------------------------------	----------------------

% Eficiencia de activos	66,15%
--------------------------------	---------------

NOVIEMBRE

Tiempo disponible	720
Paradas no planificadas	-87,37
Paradas planificadas	-17,63
Paradas Operacionales	-3,68
Fallas Operacionales	-9,22
Total horas operativas	602,1

<i>Eficiencia de activos</i>	$\frac{602,1}{720}$
------------------------------	---------------------

% Eficiencia de activos	83,63%
--------------------------------	---------------

MARZO

Tiempo disponible	744
Paradas no planificadas	-12,85
Paradas planificadas	-188,17
Paradas Operacionales	-1,16
Fallas Operacionales	-1,22
Total horas operativas	540,6

<i>Eficiencia de activos</i>	$\frac{540,6}{744}$
------------------------------	---------------------

% Eficiencia de activos	72,66%
--------------------------------	---------------

JUNIO

Tiempo disponible	720
Paradas no planificadas	-33,46
Paradas planificadas	-8,42
Paradas Operacionales	-0,47
Fallas Operacionales	-9,21
Total horas operativas	668,44

<i>Eficiencia de activos</i>	$\frac{668,44}{720}$
------------------------------	----------------------

% Eficiencia de activos	92,84%
--------------------------------	---------------

SETIEMBRE

Tiempo disponible	720
Paradas no planificadas	-6,45
Paradas planificadas	-7,14
Paradas Operacionales	-0,33
Fallas Operacionales	0
Total horas operativas	706,08

<i>Eficiencia de activos</i>	$\frac{706,08}{720}$
------------------------------	----------------------

% Eficiencia de activos	98,07%
--------------------------------	---------------

DICIEMBRE

Tiempo disponible	744
Paradas no planificadas	-49,16
Paradas planificadas	-42,79
Paradas Operacionales	-4,65
Fallas Operacionales	-6,01
Total horas operativas	641,39

<i>Eficiencia de activos</i>	$\frac{641,39}{744}$
------------------------------	----------------------

% Eficiencia de activos	86,21%
--------------------------------	---------------

Anexo 5: Detalle de la eficiencia de Activos año 2023

AÑO 2023

ENERO

Tiempo disponible	744
Paradas no planificadas	30.1
Paradas planificadas	11.79
Paradas Operacionales	4.47
Fallas Operacionales	42.85
Total horas operativas	89.21

Tiempo muerto **72.95**

MARZO

Tiempo disponible	720
Paradas no planificadas	46.88
Paradas planificadas	114.8
Paradas Operacionales	2.95
Fallas Operacionales	2.99
Total horas operativas	167.62

Tiempo muerto **49.87**

MAYO

Tiempo disponible	744
Paradas no planificadas	11.75
Paradas planificadas	3.8
Paradas Operacionales	10.04
Fallas Operacionales	0
Total horas operativas	25.59

Tiempo muerto **11.75**

JULIO

Tiempo disponible	744
Paradas no planificadas	6.27
Paradas planificadas	14.51
Paradas Operacionales	4.21
Fallas Operacionales	2.28
Total horas operativas	27.27

Tiempo muerto **8.55**

FEBRERO

Tiempo disponible	672
Paradas no planificadas	16.04
Paradas planificadas	45.33
Paradas Operacionales	1.11
Fallas Operacionales	24.56
Total horas operativas	87.04

Tiempo muerto **40.60**

ABRIL

Tiempo disponible	744
Paradas no planificadas	16.28
Paradas planificadas	60.59
Paradas Operacionales	10.07
Fallas Operacionales	15.61
Total horas operativas	102.55

Tiempo muerto **31.89**

JUNIO

Tiempo disponible	720
Paradas no planificadas	6.02
Paradas planificadas	2.83
Paradas Operacionales	4.33
Fallas Operacionales	1.32
Total horas operativas	14.5

Tiempo muerto **7.34**

AGOSTO

Tiempo disponible	744
Paradas no planificadas	15.6
Paradas planificadas	3.74
Paradas Operacionales	0.14
Fallas Operacionales	1.06
Total horas operativas	20.54

Tiempo muerto **16.66**