

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Propuesta de mejora del proceso de lubricación en una
planta concentradora para incrementar la confiabilidad
en el Área de Chancado en una empresa del sector minero
en Arequipa**

Willians Roberts Sernaque Pariona
Javier Jose Tapia Flores

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Arequipa, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Julio Cesar Alvarez Barreda
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 3 de Abril de 2025

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

Título:

Propuesta de mejora del proceso de lubricación en una planta concentradora para incrementar la confiabilidad en el área de chancado en una empresa del sector minero en Arequipa

Autores:

1. Willians Roberts Sernaque Pariona – EAP. Ingeniería Industrial
2. Javier Jose Tapia Flores – 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 20 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (PALABRAS): 15 palabras SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

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

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

Atentamente,

ASESOR

Mag. Julio César Álvarez Barreda

AGRADECIMIENTOS

A nuestra adorada familia, nuestras esposas e hijos, por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional; sin su apoyo no hubiésemos podido culminar nuestra carrera profesional con éxito.

Agradecimiento a la Universidad Continental, a nuestros asesores de la escuela de Ingeniería, quienes fueron nuestros guías durante el periodo de elaboración de la tesis.

DEDICATORIA

Esta tesis dedicada a Dios, porque gracias a él hemos podido lograr y terminar nuestra carrera profesional; también a nuestras esposas, hijos y demás familiares, porque ellos siempre estuvieron a nuestro lado dándonos su apoyo incondicional y sus consejos para continuar, ser perseverantes, de esa manera, realizarnos profesionalmente y poder contribuir con la familia y la sociedad.

ÍNDICE

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema	5
1.2.1 Pregunta general.....	5
1.2.2 Preguntas específicas	5
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Justificación	6
1.4.1 Justificación práctica.....	6
1.4.2 Justificación económica	6
1.4.3 Justificación ambiental.....	6
1.5 Importancia	6
1.6 Delimitación.....	7
1.6.1 Delimitación temporal.....	7
1.6.2 Delimitación espacial.....	7
1.7 Variables	7
1.7.1 Descripción de variables	7
1.7.2 Operacionalización de variables	8
CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Antecedentes de la investigación.....	9
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	9

2.1.2	Antecedentes nacionales	13
2.2	Bases teóricas.....	15
2.2.1	Proceso de lubricación	15
2.2.2	Confiabilidad en mantenimiento	25
2.2.3	Proceso de producción de cobre en una empresa minera.....	30
2.3	Definición de términos básicos.....	32
CAPÍTULO III.....		35
METODOLOGÍA.....		35
3.1	Método y alcance de la investigación	35
3.2	Diseño de la investigación	35
3.3	Población y muestra.....	35
3.3.1	Población.....	35
3.3.2	Muestra	36
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.4.1	Técnicas de recolección de datos	36
3.4.2	Instrumentos de recolección de datos	36
3.5	Instrumentos de análisis de datos.....	37
CAPÍTULO IV		38
DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y RESULTADOS		38
4.1	Descripción de la empresa	38
4.1.1	4.1.1 Proceso productivo para la extracción de mineral de la empresa	39
4.1.2	Diagrama de flujo del proceso productivo de la empresa	40
4.1.3	Proceso productivo en el área de chancado.....	40
4.2	Diagnóstico de la situación actual.....	45
4.2.1	Diagnóstico en chancado primario.....	45
4.2.2	Diagnóstico en chancado secundario	46
4.2.3	Diagnóstico en chancado terciario	47
4.2.4	Diagnóstico en zarandas secas	48
4.2.5	Diagnóstico en fajas transportadoras	48
4.3	Medición del impacto de la lubricación en plantas en el área seca de chancado	49
4.4	Causas de los problemas encontrados en la lubricación en el área hancado.....	50
4.4.1	Diagrama causa-raíz (Ishikawa).....	51
4.5	Propuestas	53
4.5.1	Propuesta 1.....	53
4.5.2	Propuesta 2.....	54
4.5.3	Propuesta 3.....	56
4.5.4	Propuesta 4.....	57

4.5.5	Propuesta 5.....	58
4.5.6	Propuesta 6.....	59
4.5.7	Costos totales de las propuestas	60
4.5.8	Costos beneficio de las propuestas.....	62
CAPÍTULO V		63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		63
5.1	Conclusiones.....	63
5.2	Recomendaciones	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		66
ANEXOS		70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Causas identificadas en el problema de lubricación del área seca de chancado.....	3
Tabla 2. Frecuencia de problemas identificados en la lubricación del área seca de chancado.	3
Tabla 3. Problemas resultantes del Diagrama de Pareto.....	4
Tabla 4. Operacionalización de variables.....	8
Tabla 5. Evaluación económica de equipos para almacenamiento de lubricantes.	54
Tabla 6. Comparación de consumo de aceite	55
Tabla 7. Comparación de consumo de aceite por costos.	55
Tabla 8. Propuesta de implementación de dializadoras en chancado.	56
Tabla 9. Cantidad y cotización de equipos para muestreo de lubricantes.	59
Tabla 10. Cotización de accesorios y herramientas para manipulación de lubricantes.	60
Tabla 11. Costos totales de las propuestas.	61
Tabla 12. Ahorro generado por la disminución de frecuencia de cambio aceite en las chancadoras secundarias.....	61
Tabla 13. Ahorro generado por la disminución de frecuencia de cambio aceite en las chancadoras primarias.	62
Tabla 14. Ahorro generado por la disminución del volumen de aceite usado en los excitadores de zarandas secas.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama de Pareto.....	4
Figura 2.	Fricción fluida en la lubricación.. ..	16
Figura 3.	Fricción de rodadura en la lubricación.....	16
Figura 4.	Fricción de deslizamiento en la lubricación.....	17
Figura 5.	Partes del sistema de engrase de la araña.....	18
Figura 6.	Partes del sistema de lubricación chancadora primaria.....	19
Figura 7.	Partes del sistema de hidrosset.	20
Figura 8.	Partes del Sistema de lubricación chancado secundario.. ..	21
Figura 9.	Chancadora de rodillos de alta presión HPGR.....	21
Figura 10.	Sistema central de engrase de rodamientos de rodillos HPGR.	22
Figura 11.	Funcionamiento de la zaranda.....	23
Figura 12.	Caja reductora de una faja transportadora.....	24
Figura 13.	Polea de volteo de una faja transportadora de mineral.	25
Figura 14.	Planta concentradora sulfuros primarios y secundarios.	31
Figura 15.	Organigrama de la empresa.....	39
Figura 16.	Diagrama de flujo del proceso productivo.	40
Figura 17.	Diagrama de flujo chancado primario.....	42
Figura 18.	Diagrama de flujo de chancado secundario.	43
Figura 19.	Diagrama de flujo de chancado terciario.	45
Figura 20.	Banco de filtros del sistema de lubricación CH primario	46
Figura 21.	Cambio de elementos filtrantes en Chancadora secundaria.	47
Figura 22.	HPGR Chancadora de rodillos de alta presión.....	47
Figura 23.	Toma de temperatura de excitadores de zarandas secas.	48
Figura 24.	Conjunto de transmisión de faja transportadora.....	49
Figura 25.	Cambios de elementos filtrantes en CH primario mensual.	49
Figura 26.	Cambio de elementos filtrantes en CH secundario mensual.	50
Figura 27.	Diagrama causa – raíz.....	52
Figura 28.	Consumo de aceite mineral en zarandas secas.	56
Figura 29.	Consumo de aceite sintético en zarandas secas.....	56
Figura 30.	Distribución de dializadora por área en chancado.	57
Figura 31.	Muestra de etiqueta lis para aceite.	57
Figura 32.	Código alfanumérico para aceites.	58
Figura 33.	Muestra de una etiqueta referencial.	59
Figura 34.	Herramientas y accesorios para manejo y manipulación de lubricantes.	60

RESUMEN

En la industria minera, la eficiencia y la confiabilidad de los equipos son factores clave para garantizar el éxito de las operaciones en las plantas concentradoras; el proceso de chancado, esencial para la extracción del mineral, puede verse afectado por fallas y períodos de inactividad debido a una gestión inadecuada de la lubricación. Este estudio tuvo como propósito proponer mejoras en el proceso de lubricación de una planta concentradora en Arequipa, con el fin de incrementar la confiabilidad operativa en el área de chancado. El objetivo fue desarrollar una propuesta de mejora en el proceso de lubricación de la planta concentradora; de esa manera, elevar la confiabilidad en el área de chancado en una empresa del sector minero ubicada en Arequipa, en el año 2024. La adecuada lubricación de los equipos en el área de chancado es fundamental para reducir el desgaste de las piezas, extender la vida útil de los equipos y mejorar la eficiencia operativa. En esa línea, se identificaron deficiencias en la gestión de la lubricación que resultaban en fallas recurrentes, tiempos de inactividad no previstos y elevados costos operativos. Mejorar este proceso permitirá optimizar el uso de los recursos, reducir los costos operativos y mejorar la confiabilidad de los equipos, lo que redundará en un impacto positivo sobre la productividad general de la planta. La adecuada lubricación de los equipos en el área de chancado es fundamental para reducir el desgaste de las piezas, extender la vida útil de los equipos y mejorar la eficiencia operativa. Asimismo, en la planta concentradora se identificaron deficiencias en la gestión de la lubricación que resultaban en fallas recurrentes, tiempos de inactividad no previstos y elevados costos operativos. Mejorar este proceso permitirá optimizar el uso de los recursos, reducir los costos operativos y mejorar la confiabilidad de los equipos, lo que redundará en un impacto positivo sobre la productividad general de la planta. El diseño de la presente investigación fue no experimental, ya que no se manipularon variables de manera directa; este estudio contribuyó al proceso de mejora continua de la planta concentradora, ofreciendo una propuesta concreta para optimizar la lubricación en los equipos de chancado. Las recomendaciones señaladas permitirán incrementar la confiabilidad operativa, reducir los costos asociados al mantenimiento correctivo y mejorar la productividad general de la planta; además, los resultados obtenidos podrían servir como referencia para la mejora de procesos en otras plantas mineras de la región y el país.

Palabras claves: concentradora, eficiencia, planta, chancado, vida útil.

ABSTRACT

In the mining industry, equipment efficiency and reliability are key factors in ensuring successful operations at concentrator plants. The crushing process, essential for mineral extraction, can be affected by failures and downtime due to inadequate lubrication management. The purpose of this study was to propose improvements to the lubrication process at a concentrator plant in Arequipa, in order to increase operational reliability in the crushing area. The objective was to develop a proposal for improving the lubrication process at the concentrator plant, thereby increasing reliability in the crushing area of a mining company located in Arequipa by 2024. Proper lubrication of crushing equipment is essential for reducing wear, extending equipment life, and improving operational efficiency. Along these lines, deficiencies in lubrication management were identified, resulting in recurring failures, unplanned downtime, and high operating costs. Improving this process will optimize resource use, reduce operating costs, and improve equipment reliability, which will positively impact overall plant productivity. Proper lubrication of crushing equipment is essential to reduce wear, extend equipment life, and improve operational efficiency. Furthermore, deficiencies in lubrication management were identified at the concentrator plant, resulting in recurring failures, unplanned downtime, and high operating costs. Improving this process will optimize resource use, reduce operating costs, and improve equipment reliability, which will positively impact overall plant productivity. This research was designed as non-experimental, as no variables were directly manipulated. This study contributed to the concentrator plant's continuous improvement process by offering a concrete proposal for optimizing lubrication of crushing equipment. The recommendations outlined will increase operational reliability, reduce costs associated with corrective maintenance, and improve overall plant productivity. Furthermore, the results obtained could serve as a reference for process improvement at other mining plants in the region and the country.

Keywords: concentrator, efficiency, plant, crushing, useful life.

INTRODUCCIÓN

La investigación titulada “Propuesta de mejora del proceso de lubricación en una planta concentradora para incrementar la confiabilidad en el área de chancado en una empresa del sector minero en Arequipa” se centra en estudiar la problemática de la deficiente lubricación aplicada a los equipos críticos que son parte de la planta concentradora y que se ubican en la denominada “área seca”.

Es válido tener presente que los equipos de la mencionada “área seca” son fundamentales para el normal desarrollo del proceso de chancado, pues se determina una etapa que dispone de variables significativas como la eficiencia y la confiabilidad en función de garantizar la continuidad de las operaciones y la optimización de los recursos que son parte del proceso de la minería.

El propósito del presente trabajo está orientado a una propuesta de mejora del proceso de lubricación, dispone de un enfoque metodológico con diseño no experimental, de tipo transversal y aplicado; utiliza un enfoque cuantitativo para la implementación de mejoras específicas. Esta particularidad permite un análisis exhaustivo de los datos existentes, la evaluación de la relación entre la frecuencia de la lubricación y la confiabilidad de los equipos. Adicionalmente, se busca conocer los patrones de fallas y su vínculo con los procedimientos de lubricación actuales, sin la necesidad de intervenciones directas en las operaciones. Para ello, se analiza los registros históricos de mantenimiento y las consecuentes fallas, así como el tiempo promedio entre fallas y otros datos descriptivos mediante el uso de herramientas de estadística descriptiva y un análisis de correlación.

En el primer capítulo se presenta la formulación del problema y su contexto, se incluyen las preguntas de investigación generales y específicas; se detallan los objetivos de la investigación, la justificación y la delimitación temporal y espacial. Por lo demás, se identifican y describen las variables involucradas en el estudio, lo cual se sustenta en su operacionalización.

Dentro del segundo capítulo se desarrolla el fundamento teórico que respalda la investigación, a través de la revisión de la literatura existente y de conceptos relevantes que se encuentran relacionados con aspectos de: lubricación, confiabilidad, mantenimiento predictivo y su conexión con el rendimiento de los equipos de chancado.

A continuación, en el tercer capítulo se describe detalladamente la metodología empleada en la investigación, se aplica un enfoque cuantitativo, diseño no experimental y de naturaleza

aplicada; además, se presentan instrumentos de recolección y análisis de datos utilizados, tales como: análisis de registros históricos, estadística descriptiva y análisis de correlación.

A continuación, en el cuarto capítulo se presenta un diagnóstico del estado actual del proceso de lubricación de la planta concentradora, así como los resultados del análisis de datos y su interpretación. Se evidencian los patrones de fallas detectados y las correlaciones existentes entre la frecuencia de lubricación y la confiabilidad de los equipos. Posteriormente, se generan las conclusiones y recomendaciones pertinentes y se ubican las referencias bibliográficas.

El estudio no solo contribuirá a la eficiencia operativa de la empresa, sino que también promoverá la sostenibilidad de sus operaciones, pues proporciona una base cuantitativa que permite fundamentar las mejoras significativas en las prácticas de lubricación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento del problema

A nivel general, es factible considerar el criterio del Banco Mundial (2022), el cual determinó que en el mundo el 45% de la actividad económica es nativa del sector minero. La información destacó el papel crucial que desempeña la minería en la estabilidad económica y en el bienestar de las personas, pues se motivan ventas directas de materias primas minerales, metálicas y no metálicas. Se estimó que la minería comprende el 10% de la actividad económica global, considerando los ingresos generados por los sectores de extracción de minerales, canteras y petróleo; otro 10% se atribuye a los pagos a las industrias de servicios y apoyo directo. El nivel directivo resaltó la latente contribución de los productos mineros a la capacidad productiva de otras industrias, como es el caso de los fertilizantes para la agricultura, el combustible para la energía y el transporte, el carbono y el hierro para la fabricación de acero, así como otros materiales para la construcción. Por lo indicado, la contribución económica global del sector minero es superior el 45%.

A nivel de país, para Perumin (2023), Perú ha desarrollado diversos proyectos mineros que lo posicionan como un destino atractivo para la inversión. En los últimos años, ha existido un aumento del interés mostrado por los inversionistas nativos de Canadá, Australia, China, Estados Unidos e Inglaterra. A pesar de las adversidades que enfrenta el sector minero a nivel global, el país destacó por su riqueza geológica, costos de producción competitivos, estabilidad económica, experiencia y la capacidad de sus proveedores locales, lo cual determinó un mercado altamente competitivo.

En la región de Arequipa, es válida la investigación de Rumbo Minero (2022), la cual advirtió cambios en este tipo de actividad económica y su incidencia en el ámbito económico, social y cultural. En los últimos diez años, el PBI regional experimentó un crecimiento con una tasa promedio anual del 7%, este valor fue similar al crecimiento de la economía nacional. El ingreso per cápita ha superado ligeramente el promedio nacional y la minería, guardó un papel fundamental en este crecimiento y se reflejó en una variación del 6% al 10% del PBI regional, y constituyendo el 89% de las exportaciones; además, la minería ha sido una fuente importante de ingresos para los gobiernos locales y regionales, generando alrededor de 500 millones de nuevos soles por concepto de canon y regalías. Las empresas mineras también han realizado donaciones voluntarias para proyectos sociales en la región, los beneficios han llevado a que,

actualmente, el 42,74% del territorio de Arequipa tenga concesiones mineras, convirtiéndola posiblemente en una de las regiones con mayor presencia minera.

En el caso de la presente investigación, es conocido que el área de chancado de la empresa que labora en el sector minero, requiere el establecimiento de un lineamiento de trabajo para la lubricación del área seca de chancado, el cual debe responder a las necesidades de cada equipo. Por lo mismo, es significativo tener presente las condiciones climáticas adversas que enfrenta la maquinaria requerida en la actividad minera y que son capaces de afectar negativamente en el desempeño de los elementos metálicos.

La empresa que es parte del presente análisis sustenta su actividad económica en el adecuado desempeño de su maquinaria; debido a ello, es de vital importancia que exista un control efectivo sobre su infraestructura y su consecuente desempeño. Por otra parte, la característica de la minería exige la presencia de un monitoreo permanente sobre el estado y funcionamiento de la maquinaria. Es así que la presente investigación se orienta al proceso de lubricación de una planta concentradora.

En base al levantamiento de datos propios de las labores de la empresa, ha sido posible la identificación de hallazgos dentro de sus labores cotidianas y que son parte de la lubricación del área seca de chancado, entre los cuales es visible el calentamiento de los equipos, el consumo de energía, prácticas erradas de lubricación, personal sin entrenamiento, ausencia de sistemas de filtrado, entre otros.

Lo indicado se sustenta en el contenido de la tabla 1, la cual identifica inconvenientes que históricamente se han generado durante el proceso de lubricación en el área seca de chancado en el 2024, y que han ocasionado incluso “paras” en la maquinaria que ha sido afectada por el deficiente proceso de lubricación.

Complementariamente, es importante considerar que la tabla 1 ha identificado variables relevantes, como es el caso de la frecuencia de apareamiento de las causas que motivan el problema de la investigación. En este sentido, se establece como punto de partida la identificación de las causas presentes en el sujeto de la investigación.

Tabla 1. Causas identificadas dentro del problema de lubricación del área seca de chancado.

#	CAUSAS	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	TOTAL
P1	Personal técnico sin entrenamiento	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	6
P2	Falta de inversión en capacitaciones	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	12
P3	Malas prácticas de lubricación	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	8
P4	Mayor consumo energético	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	10
P5	Calentamiento de equipos por exceso falta de lubricante	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	10
P6	Falta de bombas de lubricación manuales y neumáticas	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
P7	No contar con sistemas de filtrado de aceite	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	10
P8	No contar con equipos para evitar la contaminación del lubricante	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	9
P9	Intervalos de lubricación inadecuados	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	12
P10	Lubricación ineficiente y excesiva	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	6
P11	No actualizar el programa de lubricación	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	10
P12	Uso incorrecto de lubricantes	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	8
P13	Derrame de hidrocarburos	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	10
P14	Disposición inadecuada de residuos impregnados de hidrocarburos	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	8
P15	No tener un registro adecuado de las horas de trabajo de los equipos	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	10

132

Una vez conocidos los datos de la tabla 1, es factible la elaboración de los datos pertinentes para el gráfico vinculado al análisis de Pareto, con lo cual se identifica la frecuencia, el porcentaje y el acumulado de cada uno de las causas identificadas (tabla 2).

Tabla 2. Frecuencia de problemas identificados en lubricación del área seca de chancado.

#	CAUSAS	FRECUENCIA	ACUMULADO	%
P2	Ineficiente método de trabajo	12	9,09%	9,09%
P9	Intervalos de lubricación inadecuados	12	18,18%	9,09%
P4	Mayor consumo energético	10	25,76%	7,58%
P5	Calentamiento de equipos por exceso o falta de lubricante	10	33,33%	7,58%
P7	No contar con sistema de filtrado de aceite	10	40,91%	7,58%
P11	No actualizar el programa de lubricación	10	48,48%	7,58%
P13	Derrame de hidrocarburos	10	56,06%	7,58%
P15	No tener un registro adecuado de las horas de trabajo de los equipos	10	63,64%	7,58%
P8	No contar con equipos para evitar la contaminación del lubricante	9	70,45%	6,82%
P3	Malas prácticas de lubricación	8	76,52%	6,06%
P12	Uso incorrecto de lubricante	8	82,58%	6,06%
P14	Disposición inadecuada de residuos impregnados de hidrocarburos	8	88,64%	6,06%
P1	Personal técnico sin entrenamiento	6	93,18%	4,55%
P10	Lubricación insuficiente y excesiva	6	97,73%	4,55%
P6	Falta de bombas de lubricación manuales y neumáticas	3	100,00%	2,27%
TOTAL		132		

Los datos tabulados en la tabla 2, dan lugar al trazado de la curva de Pareto (figura 1) y permiten, mediante el uso de la gráfica, la sectorización de las causas de mayor incidencia en la presente investigación.

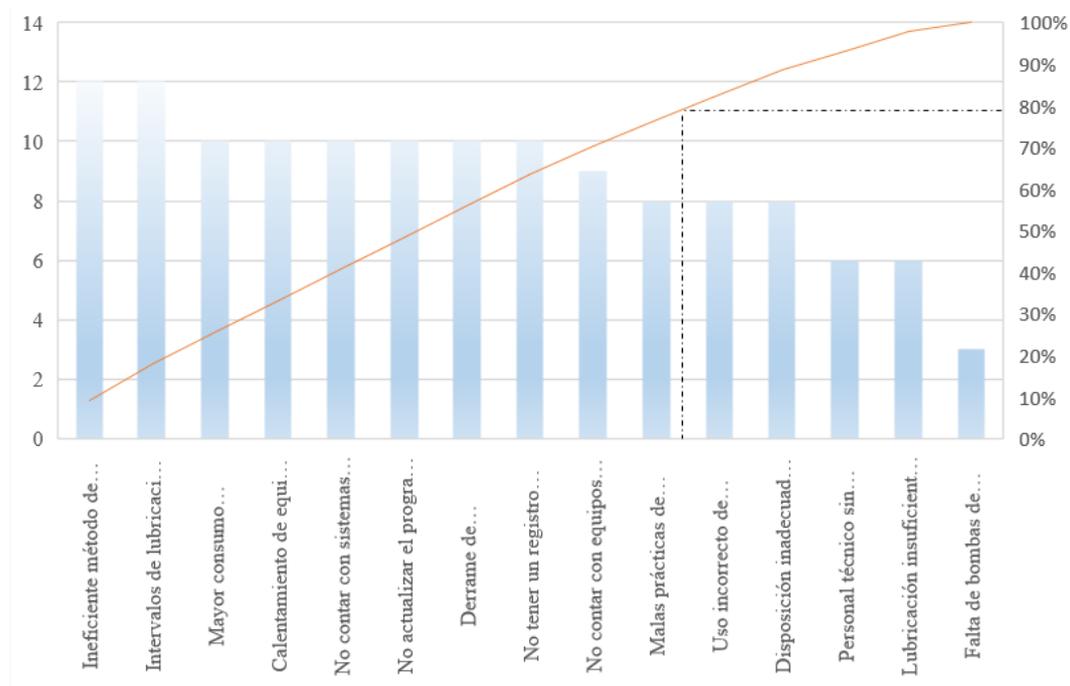


Figura 1. Diagrama de Pareto.

La curva de Pareto y el análisis 80/20, permite la identificación de 10 problemas a ser debidamente gestionados y que incluso pasan a ser parte de la información correspondiente en el Diagrama de Ishikawa (tabla 3).

Tabla 3. Problemas resultantes del Diagrama de Pareto.

#	CAUSAS	FRECUENCIA	ACUMULADO	%	80/20
P2	Ineficiente método de trabajo	12	9,09%	9,09%	80%
P9	Intervalos de lubricación inadecuados	12	18,18%	9,09%	80%
P4	Mayor consumo energético	10	25,76%	7,58%	80%
P5	Calentamiento de equipos por exceso o falta de lubricante	10	33,33%	7,58%	80%
P7	No contar con sistema de filtrado de aceite	10	40,91%	7,58%	80%
P11	No actualizar el programa de lubricación	10	48,48%	7,58%	80%
P13	Derrame de hidrocarburos	10	56,06%	7,58%	80%
P15	No tener un registro adecuado de las horas de trabajo de los equipos	10	63,64%	7,58%	80%
P8	No contar con equipos para evitar la contaminación del lubricante	9	70,45%	6,82%	80%
P3	Malas prácticas de lubricación	8	76,52%	6,06%	80%

De manera relevante, es válido indicar que las causas identificadas en el Diagrama de Pareto son factibles que sean ubicados dentro del Diagrama de Ishikawa. En este ámbito, se genera una expresión gráfica que contiene el problema y los factores que lo motivan en el transcurso del tiempo.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Pregunta general

¿Cuál es el proceso significativo que se debe controlar para el incremento de la confiabilidad de una planta concentradora del área seca de chancado de una empresa minera, en la región de Arequipa?

1.2.2 Preguntas específicas

- a) ¿Cuál es el estado operativo del proceso de chancado de una empresa del sector minero en la región de Arequipa, en el 2024?
- b) ¿Cómo se establece el impacto del proceso de lubricación en la planta concentradora del área seca de chancado de una empresa del sector minero en la región de Arequipa, en el 2024?
- c) ¿Cuáles son los motivos de los problemas encontrados en la lubricación de una planta concentradora en el área seca de chancado de una empresa del sector minero en la región de Arequipa, en el 2024?
- d) ¿Qué acciones se deben realizar en el proceso de lubricación para motivar el incremento de la confiabilidad del área seca de chancado del sector minero, en el 2024?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una propuesta de mejora en el proceso de lubricación en una planta concentradora para incrementar la confiabilidad en el área de chancado en una empresa del sector minero Arequipa 2024.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Realizar el diagnóstico de la situación actual del área de chancado en una empresa del sector minero, Arequipa 2024.
- b) Medir el impacto de lubricación en plantas concentradoras en el área de chancado en una empresa del sector minero, Arequipa 2024.

- c) Identificar las causas de los problemas encontrados en la lubricación del área de chancado en una empresa del sector minero, Arequipa 2024.
- d) Proponer las acciones de mejora en la lubricación para incrementar la confiabilidad en el área de chancado en una empresa del sector minero, Arequipa 2024.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación práctica

Se justifica en lo práctico para identificar posibles problemas en la lubricación de los equipos, incrementar prácticas adecuadas de lubricación, seleccionar lubricantes correctos y establecer un plan de lubricación en el área de chancado en una empresa minera en Arequipa para mejorar la confiabilidad.

1.4.2 Justificación económica

Se justifica en el aumento de confiabilidad, ya que puede conllevar a importantes beneficios económicos, tales como: reemplazos frecuentes de componentes, la disminución de los gastos en mantenimiento en paradas de planta por cambios de aceite y la reducción en la compra de lubricantes.

1.4.3 Justificación ambiental

Se justifica en la optimización del proceso de lubricación, tiene el potencial de disminuir el uso de lubricantes perjudiciales, el almacenamiento de aceites usados y la posible liberación de estos al entorno. La implementación de dispositivos que eviten los riesgos de fuga de lubricantes y contribuir a reducir el impacto ambiental; un proceso de lubricación eficiente puede disminuir la fricción en las máquinas y equipos, lo que traduce en un menor consumo energético.

1.5 Importancia

La investigación centra su importancia en mejorar el proceso de lubricación en una planta concentradora reviste una gran importancia para el sector minero, particularmente en el área de chancado, donde los equipos deben operar bajo condiciones de alta demanda y precisión. Incrementar la confiabilidad de estos equipos, mediante un sistema de lubricación optimizado, aporta beneficios significativos, una adecuada lubricación contribuye a reducir las fallas y las paradas imprevistas, ya que protege los componentes clave del desgaste acelerado, disminuyendo así la probabilidad de averías y el tiempo de inactividad; además, al mantener

los equipos en condiciones óptimas de operación, se logra un aumento en la productividad y eficiencia del proceso de chancado, lo que permite una producción continua y maximiza el rendimiento de la planta, la prevención de fallos mayores a través de una lubricación adecuada conlleva una disminución de los costos de mantenimiento, al reducir la necesidad de reparaciones onerosas y la reposición constante de piezas,. Un proceso de lubricación eficiente permite reducir el consumo de lubricantes y la generación de residuos, promoviendo una operación más sostenible, la investigación abarca aspectos no solo de eficiencia y rentabilidad, sino también de seguridad y sostenibilidad, todos ellos esenciales para mejorar la competitividad de la empresa minera.

1.6 Delimitación

1.6.1 Delimitación temporal

La investigación se llevó a cabo de julio 2023 a diciembre 2024.

1.6.2 Delimitación espacial

La investigación de se realizó en el departamento de Arequipa, provincia de Arequipa, distrito de Uchumayo.

1.7 Variables

1.7.1 Descripción de variables

- a) Variable independiente: propuesta de mejora en el proceso de lubricación. Consiste en implementar acciones para optimizar los procedimientos y técnicas de lubricación de equipos y maquinaria.
- b) Variable dependiente: confiabilidad. Es la capacidad de un equipo o sistema para operar sin fallos durante un tiempo determinado, bajo condiciones normales.

1.7.2 Operacionalización de variables

Tabla 4. Operacionalización de variables.

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Propuesta de mejora en el proceso de lubricación	Calidad de lubricación Frecuencia de lubricación	Lubricante utilizado / Lubricante planificado Intervenciones de lubricación realizadas / Intervenciones de lubricación programadas
Confiabilidad	Eficiencia Disponibilidad	Acciones realizadas / Acciones planificadas Tiempo de uso / Tiempo planificado

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Cueva (2021) en su investigación “Propuesta de un modelo de gestión por procesos para mejorar la productividad del área de producción de la empresa ladrillera la Ximena” utilizaron diversas técnicas de investigación, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con el equipo de producción, así como encuestas para entender las percepciones de los trabajadores sobre la productividad. Los instrumentos de recolección de datos incluyeron cuestionarios, también se usaron herramientas informáticas, como excel, para el análisis de la información recopilada. Los resultados del estudio identificaron que se logró un incremento notable del 20% en la eficiencia operativa, así como una mejor asignación de recursos y una mayor satisfacción del personal, como se evidenció en la encuesta realizada posteriormente, la adopción del modelo de gestión por procesos generó una mejora significativa en la productividad del área de producción de la ladrillera La Ximena.

Fateni (2022) en su investigación “El papel del mantenimiento sostenible del aceite en la fiabilidad del sistema de lubricación” con el fin de analizar la importancia del mantenimiento sostenible de aceites mediante el uso de filtración offline de alta tecnología a nivel submicrónico, basada en el monitoreo de la condición del aceite, con el fin de reducir las partículas de desgaste y mejorar la confiabilidad del sistema. Se aplicó un sistema de filtración offline de alta tecnología, con un tamaño de poro de 0.1 micrones en los sistemas de lubricación de los molinos de bolas en la mina de cobre Sungun, como una actividad de mantenimiento del aceite para controlar la contaminación de la lubricación, identificada como una de las causas fundamentales de las fallas. Los resultados obtenidos a partir de esta implementación demuestran una reducción significativa en la contaminación del aceite, lo que se traduce en una disminución de las partículas de desgaste y, en consecuencia, en una mayor confiabilidad de los sistemas de lubricación. La monitorización continua y el control de las condiciones del aceite permiten abordar las causas raíz de las fallas en las máquinas, lo que resulta en mejoras significativas en la confiabilidad y sostenibilidad de los sistemas operativos.

Por su parte, Zhou, et al. en su investigación “Regulación de la biosíntesis de aceites y mejora genética en plantas: avances y perspectiva” con el fin de evaluar las diferentes estrategias de mejora para incrementar el contenido de aceite en las semillas de las plantas y optimizar la

composición de sus ácidos grasos, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la literatura científica relacionada con la regulación del metabolismo del aceite en las semillas de las plantas. El análisis abarcó diversas estrategias, tales como: (a) la regulación de la distribución de carbono mediante la inhibición de la expresión de genes que codifican enzimas clave, lo que dirige las fuentes de carbono hacia la síntesis de proteínas y ácidos grasos; (b) la intervención en la síntesis de lípidos para promover la biosíntesis de ácidos grasos y mejorar la expresión de genes relacionados con el ensamblaje de triacilglicerol (TAG); (c) la mejora de la calidad del aceite mediante la modificación de la composición de ácidos grasos y la regulación de la expresión génica de la desaturasa de ácidos grasos, el artículo analiza las enzimas clave involucradas en la biosíntesis de ácidos grasos, la síntesis de triacilglicerol y los procesos regulatorios asociados. Se destacan las funciones reguladoras de factores de transcripción, como WRI, LEC y Dof, en la regulación de las enzimas clave durante el proceso de síntesis de lípidos. Las estrategias de mejora pueden contribuir significativamente a la optimización del contenido y la calidad del aceite en las semillas de las plantas. La investigación proporcionó implicaciones importantes para la investigación en el ámbito de la ingeniería genética aplicada al metabolismo de lípidos en semillas de plantas.

Shirani, et al. en su investigación “Características de lubricación de los ésteres de cera de aceites producidos por un cultivo de semillas oleaginosas mejoradas genéticamente” con el propósito de analizar las características de lubricación de los ésteres de cera de Crambe y su efectividad en mezclas con aceite convencional de Crambe. Se utilizaron diversas técnicas para evaluar las propiedades de lubricación de las mezclas. La micro balanza de cristal de cuarzo se empleó para estudiar la estabilidad térmica de los ésteres de cera y sus mezclas, observando los cambios de viscosidad con el aumento de temperatura, el análisis FTIR mostró que las alteraciones químicas en el aceite de Crambe, cuando se mezcla con el 15% en peso de ésteres de cera, son principalmente atribuibles a la estabilidad de los ésteres. Las pruebas tribológicas confirmaron que la adición de un 15% en peso de ésteres de cera resulta en una significativa reducción de la fricción y del desgaste en condiciones de contacto deslizando a temperaturas elevadas. El estudio demostró que la incorporación de ésteres de cera de Crambe a su aceite convencional, mejora las propiedades de lubricación, ofreciendo una notable estabilidad térmica y un rendimiento superior en términos de fricción y desgaste.

Ullero, et al. en su investigación “Propuesta de mejora para aumentar el rendimiento mediante la aplicación de un rediseño de estaciones y métodos de trabajo junto con un plan de mantenimiento preventivo en una embotelladora de GLP” con el propósito de evaluar el desempeño productivo de una empresa envasadora de gas licuado de petróleo (GLP), el cual fue inicialmente del 75.88%. Para determinar si el desempeño se encuentra dentro de rangos

óptimos de operatividad, se comparó con el promedio de desempeño productivo de industrias envasadoras de GLP en México, que es del 83.47%. La comparación revela una brecha técnica de 7.59% entre el desempeño de la empresa estudiada y el promedio de la industria. Ante esta situación, se desarrolló un modelo que integra el rediseño de estaciones y métodos de trabajo, junto con la implementación de un plan de mantenimiento preventivo. Como resultado de la implementación del modelo, se observó una notable mejora en el desempeño productivo de la empresa. En particular, se logró una reducción en el tiempo de operación y un incremento en la eficiencia del envasado, lo que contribuyó a cerrar la brecha técnica identificada. Estos cambios no solo optimizaron los procesos, sino que también mejoraron la satisfacción del cliente al asegurar una mayor fiabilidad en el servicio ofrecido. En conclusión, el desarrollo e implementación de un modelo que combina el rediseño operativo y el mantenimiento preventivo ha demostrado ser efectivo para mejorar el desempeño productivo en la empresa envasadora de GLP. La reducción de la brecha técnica identificada permite prever un impacto positivo en los resultados financieros y en la satisfacción del cliente, sentando las bases para un futuro crecimiento sostenible en la industria.

Zhang, et al. (2020) en su investigación “Estudio experimental sobre el efecto de lubricación y enfriamiento del grafeno en el aceite base para pares deslizantes Si₃N₄/Si₃N₄” con el fin de evaluar el impacto de la adición de grafeno en las propiedades tribológicas de los pares deslizantes de Si₃N₄, enfocándose en su rendimiento en lubricación y enfriamiento bajo diferentes condiciones de carga y velocidad. Se llevaron a cabo pruebas experimentales en las que se añadieron diferentes porcentajes de grafeno al aceite lubricante base. Se realizaron ensayos de fricción y desgaste a distintas velocidades de rotación y cargas, analizando específicamente un aceite que contenía un 0,1 % en peso de grafeno a una velocidad de rotación de 3000 r·min⁻¹ y cargas de 40 N, así como un aceite con un 0,05 % en peso de grafeno a velocidades menores de 500 r·min⁻¹ y cargas de 140 N. En el caso del aceite con un 0,1 % de grafeno, se observó una reducción del 76,33 % en el coeficiente de fricción promedio. Por otro lado, el efecto de enfriamiento fue más efectivo a bajas velocidades y altas cargas; se logró una disminución del 19,76 % en el aumento de temperatura con un aceite que contenía un 0,05 % de grafeno bajo las condiciones mencionadas. Este estudio concluye que la incorporación de grafeno en aceites lubricantes puede mejorar significativamente las propiedades tribológicas de los pares deslizantes de Si₃N₄.

Berman (2022) en su investigación “Aceites de origen vegetal para soluciones de lubricación sostenibles: revisión” con el propósito de explorar cómo los aceites de origen vegetal pueden satisfacer las diversas necesidades de lubricación en distintas industrias. Se busca resaltar el potencial de los lubricantes biodegradables y las estrategias para mejorar su rendimiento. La

metodología empleada incluye una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre lubricantes biodegradables, centrándose en la evaluación de aceites de origen vegetal y sus propiedades lubricantes. Además, se investigan enfoques innovadores para mejorar el rendimiento de los lubricantes mediante la incorporación de componentes bioinspirados, como estóolidos, ésteres de cera o ácido erúcido, así como la adición de nanomateriales, incluidos nanopartículas, nanoclay y películas bidimensionales. Como resultado se determinó que los aceites de origen vegetal pueden competir con los lubricantes convencionales en términos de efectividad, siempre que se optimicen sus propiedades a través de innovaciones en su formulación. Los estudios muestran que las modificaciones mediante componentes bioinspirados y nanomateriales pueden aumentar significativamente el rendimiento de los lubricantes de base biológica, mejorando su estabilidad y capacidad de carga. En conclusión, los lubricantes biodegradables a base de plantas representan una solución prometedora para la industria, ofreciendo una alternativa sostenible y efectiva a los lubricantes tradicionales.

Yamashita, et al. en su investigación “Una revisión de las estrategias de modelado y control para trituradoras de cono en las industrias de procesamiento de minerales y canteras” con el fin de realizar una revisión exhaustiva de la literatura sobre trituradoras de cono, enfocándose en la modelización y el control de los circuitos de trituración. Se busca clasificar y discutir los trabajos publicados en este campo, analizando las diversas formulaciones de modelos y estrategias de control que se han utilizado para llevar a cabo esta investigación, se realizó una revisión sistemática de 61 estudios publicados entre 1972 y 2020. Los estudios se clasificaron en función de la formulación del modelo, que puede ser un modelo de balance poblacional, empírico o basado en datos, así como por las estrategias de control empleadas, que incluyen control proporcional-integral-derivativo, control predictivo basado en modelos, sistemas expertos y control libre de modelos. Los resultados de la discusión sobre el estado actual de las tecnologías de modelización y control en circuitos de trituración consolidan la información disponible en la literatura y destacan los desafíos que deben superarse para mejorar el rendimiento de la trituración a través de estrategias de control y optimización. En conclusión, aunque se han realizado avances significativos en la modelización y las estrategias de control de las trituradoras de cono, todavía existen desafíos que requieren atención para mejorar la eficiencia del proceso de trituración.

Akcan & Cayir (2020) en su investigación “Los estudios de mejora de procesos para aumentar la productividad en una instalación de producción de tejidos impresos” con el fin de superar los cuellos de botella en los departamentos de embalaje, planificación y control de calidad en una planta de producción de tejidos estampados en la industria textil turca, utilizando la técnica Kaizen dentro del sistema de producción ajustada para mejorar la eficiencia y la productividad,

se implementó la técnica Kaizen, un enfoque de mejora continua que permite identificar y eliminar desperdicios en los procesos. En primer lugar, se observó y analizó cada proceso para determinar los puntos críticos y los recursos desperdiciados. Como resultado de la implementación de Kaizen, se obtuvieron ganancias económicas de aproximadamente 8.245 TL en el departamento de planificación y control de calidad durante un mes, y 5.100 TL en el departamento de embalaje. Además de los beneficios financieros, se logró una mejora significativa en la productividad, ya que la carga de trabajo se distribuyó de manera más equilibrada, lo que permitió un aumento en la eficiencia. Los índices de fallos disminuyeron considerablemente, lo que se tradujo en una mayor satisfacción del cliente y una mejora en la calidad del producto. La aplicación de la técnica Kaizen resultó en mejoras sustanciales tanto en términos financieros como operativos. (Los estudios de mejora de procesos para aumentar la productividad en una instalación de producción de tejidos impresos)

Finalmente, Martínez (2020) en su investigación “Proyecto de mejora de la productividad de una línea de producción en una empresa del sector químico” con el propósito de mejorar la productividad general de una planta de producción, centrándose en la identificación de la línea que afecta negativamente los resultados de la empresa. Se seleccionó la línea de envasado para implementar mejoras utilizando la filosofía Lean, fichas de observación y registro como instrumento, se realizó un estudio preliminar para detectar problemas, seguido de un análisis detallado de la línea de envasado. La filosofía Lean se aplicó para optimizar la flexibilidad, eficiencia y eficacia en la producción, hubo un aumento en la productividad, una reducción de desperdicios y una mejora en la eficiencia operativa, lo que llevó a una mayor satisfacción del cliente y mayor seguridad laboral. La implementación de mejoras en la línea de envasado, basada en Lean, impactó positivamente en la productividad general, alineando mejor las operaciones con las demandas del mercado.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Guillén (2023) en su investigación “Propuesta de Mejora para la Gestión de las actividades de Lubricación en Planta Concentradora de Minera Chinalco Perú S.A.”, planteó mejorar las condiciones operativas de los equipos y prevenir fallas prematuras. La investigación, de carácter práctico y aplicada, se centró en optimizar el uso de lubricantes y la confiabilidad de las actividades de lubricación, la auditoría incluyó la evaluación y estandarización de procedimientos, así como la capacitación del personal. Se realizaron análisis costo-beneficio para evaluar el impacto de las acciones implementadas, los resultados fueron significativos, logrando una reducción del 95% en fallas imprevistas por defectos de lubricación y mejorando las prácticas del personal. La estandarización de lubricantes y mejoras en manipulación y

almacenamiento también contribuyeron a minimizar desperdicios. El estudio permitió alcanzar una gestión de lubricación de clase mundial, aumentando la confiabilidad y eficiencia operativa, así como reduciendo costos y extendiendo la vida útil de los lubricantes.

Mishti, et al.(2018) en su investigación “Mejora de la gestión de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad, en la línea de chancado de la planta concentradora Compañía Minera Lincuna S.A. 2018” con el propósito de esta investigación fue analizar y mejorar la gestión de mantenimiento en un entorno industrial, enfocándose en la criticidad de los equipos, el desarrollo de un plan de mantenimiento y la gestión de repuestos, se buscó establecer un modelo moderno de gestión que ayudará a reducir costos y aumentar la disponibilidad de los equipos. La investigación se caracterizó por su enfoque aplicado, utilizando métodos como la observación directa en la planta, el análisis de datos históricos, encuestas y entrevistas al personal de mantenimiento para detectar áreas de mejora. Los resultados indicaron que existían deficiencias en el mantenimiento preventivo actual, como la ausencia de un plan organizado y una gestión ineficiente de repuestos, la creación del plan de mantenimiento preventivo, la disponibilidad de los equipos en la línea de chancado mostró un aumento notable, evidenciado por la mejora en los indicadores.

A su turno, Castro (2021) desarrolló un estudio con el objetivo primordial de incrementar la productividad, así como de mejorar la eficiencia y eficacia en el área de producción de la empresa. El enfoque de la investigación es cuantitativo, empleando un diseño de investigación experimental, específicamente cuasiexperimental, con un nivel explicativo. La técnica utilizada para medir la variable dependiente, es decir, la productividad, se realizó a través de fórmulas validadas por expertos, que evalúan tanto el índice de eficacia como el índice de eficiencia. Los resultados de la investigación se presentaron de manera clara y concisa en tablas y gráficos, lo que apoyó la visualización de los hallazgos. Entre los resultados obtenidos, se destaca que la implementación de los nuevos procesos ha llevado a una mejora significativa en la productividad, se evidenció un incremento notable en las medias de eficiencia, donde la media durante el Pre Test se situó en un 52,33%, cifra que supera ampliamente la media de eficiencia observada en el Post Test, que alcanzó el 68,58%. En conclusión, se puede afirmar que los procesos establecidos han propiciado una mejora en la productividad de la empresa Jhodypac File EIRL.

Villamar (2021) en su investigación “Mejora de procesos para el incremento de la productividad aplicando Lean Manufacturing, en una empresa de confecciones” propuso como objetivo el mejorar los procesos productivos en la empresa de confecciones, se planteó la adopción de estrategias de Lean Manufacturing, para llevar a cabo esta iniciativa, se utilizaron diversas

técnicas e instrumentos. Se realizó una observación directa para analizar detalladamente el flujo de trabajo existente en la producción; además, se llevaron a cabo entrevistas con el personal, lo que permitió identificar problemas y recopilar sugerencias basadas en la experiencia de los empleados. En cuanto a los instrumentos empleados, se utilizaron cuestionarios con el fin de obtener información estructurada sobre los desafíos que enfrentaba el proceso productivo. Los mapas de procesos sirvieron para representar visualmente los flujos actuales y las modificaciones propuestas en el área de producción. La reorganización del espacio de producción resultó en una optimización del flujo de trabajo, lo que minimizó los tiempos de inactividad y mejoró la secuenciación de las operaciones.

Quintana (2021) en su investigación “Mejora de procesos para el incremento de la productividad de picking en un centro de distribución de Huachipa” con la finalidad de incrementar la productividad de manera sostenible y eficiente. Para alcanzar este objetivo, se emplearon diversas técnicas e instrumentos que permitieron un análisis profundo de la situación existente, se realizó una observación directa de los procesos de picking, complementada con encuestas y entrevistas dirigidas a operarios y supervisores. En cuanto a los instrumentos utilizados, se aplicaron cuestionarios estructurados que facilitaron la evaluación de la productividad antes y después de la implementación de las reformas, los resultados obtenidos fueron significativos, la productividad en los procesos de picking aumentó notablemente, pasando de 264 CF/HH a más de 300 CF/HH, lo que refleja el cumplimiento de los objetivos propuestos. En conclusión, las mejoras introducidas en los procesos de picking de Arca Continental Lindley resultaron en un incremento notable de la productividad.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Proceso de lubricación

De acuerdo (Trujillo 2024) los últimos años se ha tratado de alertar a nuestra comunidad de la necesidad de mejorar nuestra relación con el medio ambiente desde la industria de la lubricación.

En el mundo de la minería, la búsqueda de la eficiencia y la confiabilidad es constante y permanente. En la minería se esfuerzan por optimizar sus operaciones y reducir el tiempo de detenciones de los equipos, es ahí donde la tribología juega un papel importante. La tribología es la ciencia que estudia la interacción entre las superficies en movimiento, la fricción, el desgaste y la lubricación de la maquinaria. El mayor reto es que la fricción no se transmita de un componente a otro, mejorando el rendimiento y la durabilidad del equipo.

La lubricación impacta sobre la maquinas industriales ya que reduce la fricción entre las partes móviles que puede conducir a desgastes significativos y a mayor consumo de energía; las innovaciones tribológicas ayudan en el diseño de equipos y lubricantes que contribuyen a minimizar el desgaste, mejorar la eficiencia y reducir el consumo de energía. Existen dos tipos de fricción estática, que es la que impide el movimiento; y dinámica, es la que se opone al movimiento. A su vez, la fricción tiene estos tres tipos de características la fricción fluida, la fricción por rodadura y la fricción por deslizamiento.

La fricción fluida es la resistencia que se siente al agitar un fluido, es un tipo de fricción que se produce en los fluidos, ya sean líquidos o gases, y se opone a su movimiento. Se encuentra en las máquinas industriales que requieren lubricación.



Figura 2. *Fricción fluida en la lubricación. Tomada del “Manual lubricantes, combustibles y refrigerantes TECSUP”.*

La fricción por rodadura es la fuerza que se opone al movimiento de rodamiento de un objeto sobre otro.



Figura 3. *Fricción de rodadura en la lubricación. Tomada del “Manual lubricantes, combustibles y refrigerantes TECSUP”.*

La fricción por deslizamiento ocurre cuando una fuerza se opone al movimiento de una superficie sobre otra, dos objetos se frotan entre sí.



Figura 4. *Fricción de deslizamiento en la lubricación. Tomado del “Manual lubricantes, combustibles y refrigerantes TECSUP”.*

El prolongar la vida útil de los equipos y reducir el desgaste es una preocupación en el entorno de minería, comprender los mecanismos de desgaste y desarrollar procedimientos y técnicas que nos ayuden a soportar las condiciones severas de operación y así extender la vida útil de la maquinaria.

El desgaste se clasifica en:

- Adhesivo: cuando dos superficies se deslizan una sobre otra.
- Abrasivo: pérdida de material debido a raspaduras.
- Corrosión: producido por una reacción química y mecánica.
- Picado: cuando se forman pequeños agujeros en la superficie.
- Cavitación: es un tipo de erosión cuando se producen burbujas de vapor y colapsan en una zona de alta presión.
- Erosión: producida por impactos repetitivos de partículas sólidas y líquidas.
- Fatiga: debilitación de un cuerpo por presión y choques cíclicos.

La lubricación es vital para reducir el contacto metal con metal y así prolongar la vida de los componentes de los equipos, reduciendo el desgaste, mejorando la eficiencia e incrementando la confiabilidad de los equipos.

En los últimos años, se ha incrementado en las empresas del sector minero la necesidad de mejorar nuestra relación con el medio ambiente, desde la industria de la lubricación.

2.2.1.1 Proceso de lubricación en el área de chancado

El proceso de lubricación se divide en 5 etapas en el área de chancado, las cuales ayudarán a entender mejor el proceso en cada etapa.

a) Lubricación en chancado primario

La lubricación en este equipo está dividida en tres etapas, la lubricación de la araña, la lubricación de la excéntrica y el sistema hidráulico.

La lubricación de la araña consiste en barril de grasa de 108 kg, una bomba eléctrica o neumática y para tener una correcta dosificación de la grasa se cuenta con un controlador y un temporizador para controlar la frecuencia, cuenta con un sistema de alarma que está enclavada a la chancadora, cuando se detecta alguna falla en el sistema de engrase automático o cuando el nivel de grasa del barril está bajo, manda a detener a la chancadora.

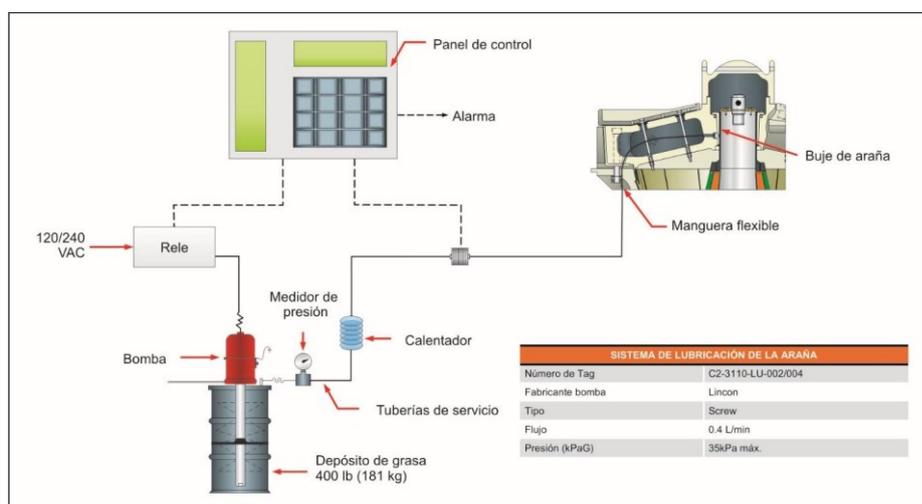


Figura 5. Partes del sistema de engrase de la araña. Tomado de: "Operation and maintenance manual N°59001574".

La lubricación de excéntrica de la chancadora se lubrica con aceite bombeado en la chancadora a tres puntos. Estos comprenden el émbolo del soporte hidráulico, los cojinetes del contra eje, y el manguito del excéntrico exterior. El sistema de lubricación está compuesto por un tanque de aceite, con dos bombas, una en operación y otra en stand by, que alimentan a la chancadora, previamente pasa por un filtro de aceite. La cantidad principal del aceite entra en el émbolo del soporte hidráulico, lubrica los aros del soporte del eje principal y se bombea hacia arriba por el excéntrico a fin de lubricar el manguito interior del excéntrico.

Encima del excéntrico, la cantidad principal de este aceite corre hacia abajo, por gravedad, entre el excéntrico y el manguito exterior del mismo y lubrica estas superficies. Este aceite se descarga sobre el engranaje. La cantidad de aceite que no corre hacia abajo por el manguito exterior del excéntrico, se conduce por un canal localizado detrás del manguito exterior del excéntrico a un punto de descarga sobre el engranaje. El aceite introducido al manguito exterior

del excéntrico se descarga también sobre el engranaje. Todo el aceite corre en la zona situada debajo del engranaje y se evacua de la trituradora por la línea de descarga de 6 pulgadas en el tanque. El sistema de lubricación consta de bombas consta de dos bombas, un filtro y un enfriador. Únicamente una bomba ha de accionarse a la vez; la otra es una de stand by. El filtro y las bombas vienen protegidos por válvulas de alivio.

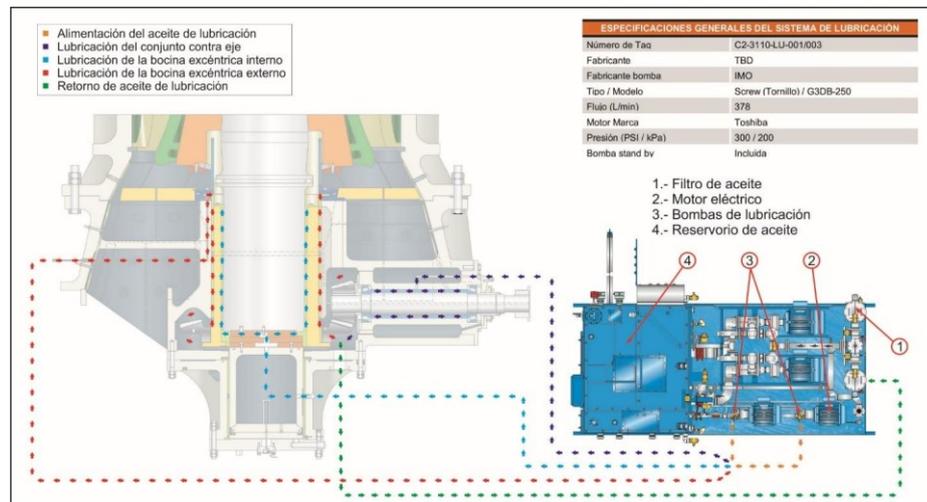


Figura 6. *Partes del sistema de lubricación chancadora primaria. Tomada de "Operation and maintenance manual N°59001574".*

El eje principal o poste de la chancadora está soportado por una cantidad de aceite entre el émbolo y la cubierta del cilindro. El aceite soporta el eje principal y todas las cargas del material de chancado y sirve también para regular el setting de la chancadora cambiando la posición vertical del eje principal o poste. El aceite se atrapa en esta zona con una válvula de alivio. Si las fuerzas aplicadas en este aceite exceden del ajuste de presión de la válvula de alivio, dicha válvula permite que el flujo del aceite retorne al depósito. Esta condición puede ocasionarse por fragmentos inchancable metálicos extraños, cuando el material de chancado es muy duro o sea condensamiento producido por material mojado y pegajoso, por la acumulación de material en la zona de descarga localizada debajo de la chancadora. La pérdida de aceite debajo del émbolo permite que el eje principal cambie de su posición y se alarga el espacio entre las superficies de trituración. El sistema hidráulico consta de un tanque de aceite, consta de dos bombas, un filtro y válvulas direccionales de solenoide. Unos calentadores de regulación termostática vienen provistos en el tanque de aceite para mantener la bomba a una temperatura adecuada para poder ser bombeado. El aceite usado en el sistema hidráulico es el mismo usado en el sistema de lubricación.

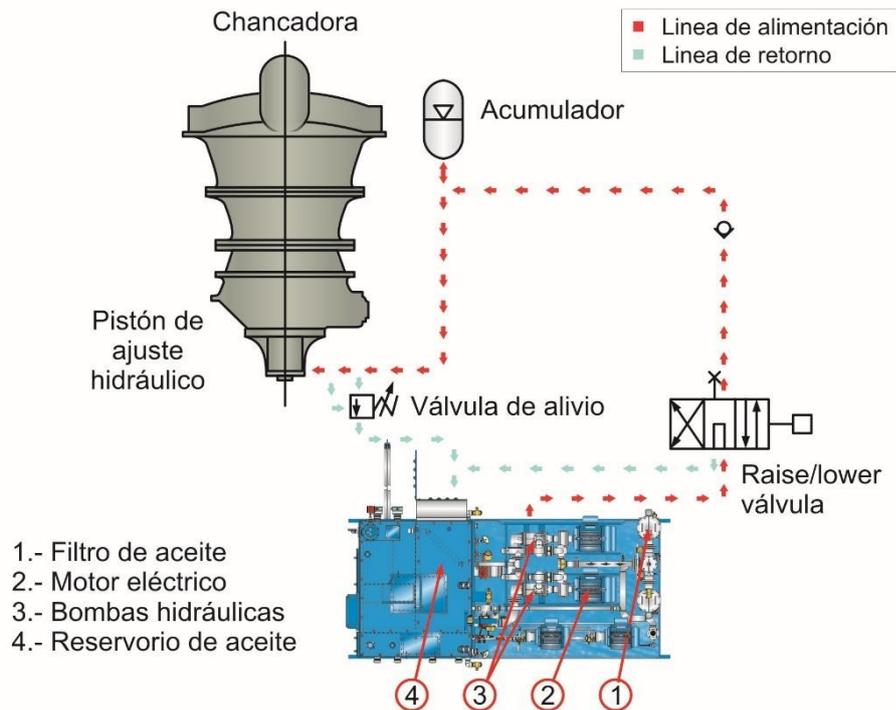


Figura 7. Partes del sistema de hidroset. Tomado de: “Operation and maintenance manual N°59001574”.

b) Lubricación en chancado secundario

En este sistema de lubricación, el aceite se extrae del tanque por medio de una bomba, previamente se dirige hacia el filtro. Se provee una válvula de alivio de desvío para proteger a los elementos de filtrantes. Después, el aceite va dirigido hacia un intercambiador de calor montado sobre una plataforma separada donde el aceite se enfría a través de un radiador, el enfriamiento es por el aire circulante. Luego, el aceite se dirige al eje principal en la base del armazón principal. En seguida, se fuerza el aceite bajo presión hacia arriba, a través de canales interconectados en el eje principal, a las superficies de cojinete de casquillos excéntricos y de cabeza. También, se envía hacia arriba, a través del socket, la superficie de cojinete del revestimiento de socket. El rebalse de aceite del revestimiento del socket y de la parte superior del cojinete de cabeza y del excéntrico fluye hacia abajo y a través de los orificios en la cabeza, y luego hacia abajo, a través de ranuras grandes en el contrapeso; finalmente, se junta en el armazón debajo del engranaje del excéntrico. El aceite se junta en el armazón principal y luego fluye y se derrama sobre el engranaje y los dientes del piñón.

Una línea separada que sale de la línea de alimentación y se conecta al eje principal fuerza aceite simultáneamente a través de la caja del contra eje a los cojinetes del contra eje.

Finalmente, el aceite se junta en un sumidero debajo del piñón y regresa por gravedad al tanque de aceite a través de la tubería.

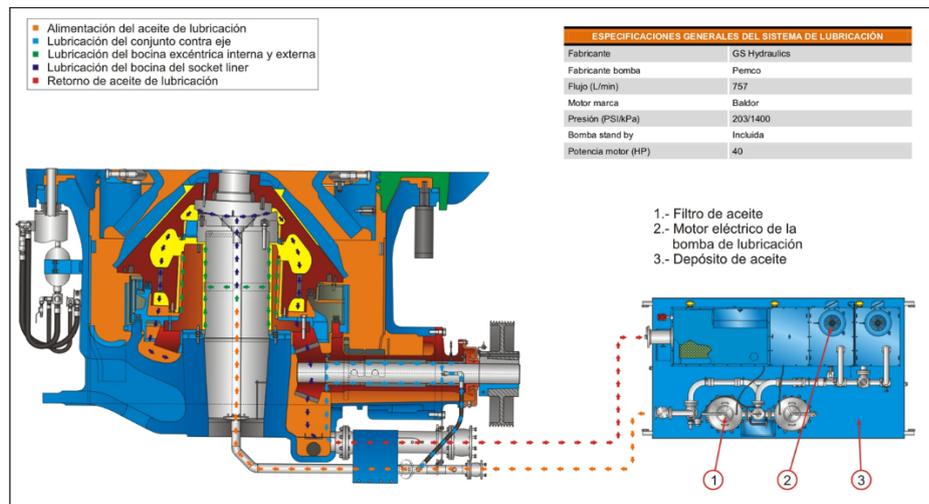


Figura 8. Partes del Sistema de lubricación chancado secundario. Tomada de: “Manual de operaciones – Planta concentradora C2”.

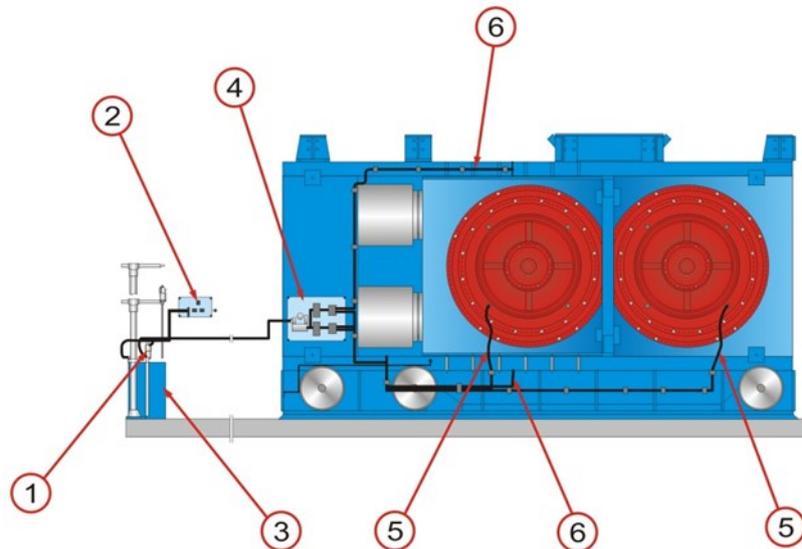
c) Lubricación en chancado terciario

En este sistema de lubricación tenemos a dos reductores, cada uno cuenta con su bomba de aceite, dos bancos de filtros, un intercambiador de calor. El aceite es extraído del reductor por la bomba, llevado hacia el enfriador de aceite, luego pasa por el banco de filtro para retornar al reductor. El reductor cuenta con un respirador para mantener una presión positiva dentro del reductor y extraer la humedad que se pueda generar, cada reductor lleva 145 galones de aceite.



Figura 9. Chancadora de rodillos de alta presión HPGR. Tomado de: “Manual de estándares de confiabilidad de equipos Freeport Mc Moran”.

Cuenta con un sistema de engrase, el cual consta de una bomba neumática, una unidad de mantenimiento y un distribuidor. La bomba que abastece de lubricante, en este caso grasa, hacia los cojinetes de los rodillos a rotula y a los carriles guía, el engrase es por ciclos. La grasa es transportada por la bomba hacia un distribuidor y de ahí hacia los puntos de engrase.



1. Bomba de pulsos
2. Unidad de control de aire
3. Reservorio de grasa
4. Unidad de control de engrase
5. Línea de lubricación de rodamientos de rodillo móvil y fijo
6. Línea de lubricación de carriles guía de los rodillos

Figura 10. Sistema central de engrase de rodamientos de rodillos HPGR. Tomada del “Manual de operaciones – Planta concentradora C2”.

d) Lubricación en zarandas secas

La zaranda está compuesta por dos placas laterales, montada sobre resortes. Entre las placas laterales existen unas vigas transversales, una estructura de soporte de parrillas y una viga de transmisión.

La viga de transmisión cuenta con tres excitadores que son los responsables de generar el movimiento vibratorio de la zaranda, los cuales son accionados por un motor eléctrico a través de un eje universal.

Los excitadores llevan 10 litros de aceite mineral ISO 150, el cual es cambiado una vez al mes. Para el cambio de aceite se retira el tapón de drenaje, la varilla del nivel de aceite y se drena el aceite. Los excitadores cuentan con tapones magnéticos que sirven para atrapar limaduras de

metal y partículas finas, los taponos deben de limpiarse y colocados nuevamente. Rellenar el excitador con 10 litros de aceite luego medir el nivel con la varilla medidora, enroscar la varilla hasta el tope luego retirar la varilla y el aceite debe llegar a la mitad de la escala marcada. Cada vez que se realiza un cambio de aceite se debe tomar una muestra de aceite para ser analizada y hacer un seguimiento del desgaste de los engranes, también se debe de inspeccionar el respirador.

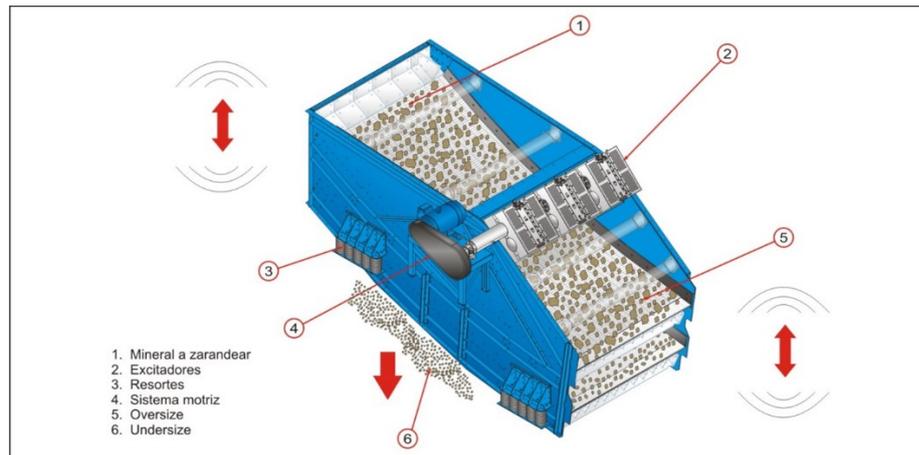


Figura 11. *Funcionamiento de la zaranda. Tomada de “Manual de operaciones – Planta concentradora C2”.*

e) Lubricación en fajas transportadoras

- Reductores

Los reductores de velocidad son indispensables en todas las industrias del país, desde los que producen cemento hasta los que procesan alimentos requieren estos equipos en sus maquinarias. Los reductores son diseñados a base de engranes mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales. Toda máquina, cuyo movimiento sea generado por un motor, ya sea eléctrico, de explosión u otro, necesita que la velocidad de dicho motor se adapte a la velocidad requerida para su funcionamiento. La velocidad requerida es lograda gracias a los reductores de velocidad. En conclusión, los reductores son sistemas de engranajes que permiten que los motores eléctricos funcionen a diferentes velocidades para los que fueron diseñados.



Figura 12. *Caja reductora de una faja transportadora. Imagen tomada en planta concentradora C2.*

En la lubricación en los reductores es importante la selección correcta del lubricante, ya que un aceite incorrecto puede dañar la caja reductora. Para la selección, se debe tener en cuenta la viscosidad de la marca recomendada por el fabricante, se debe asegurar que el reductor de velocidad sea llenado con la marca correcta y el volumen indicado por el fabricante. Para determinar la cantidad de aceite también se puede utilizar su varilla de nivel.

A continuación, mencionares algunos beneficios que tiene los reductores de velocidad:

- Mantienen una regularidad perfecta en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Poleas.

En planta tenemos poleas de fajas transportadoras, las cuales incluyen una rueda sobre un eje o rueda diseñada para soportar el movimiento y redirigir la tensión. Las poleas de fajas transportadoras permiten que las fuerzas pequeñas muevan objetos grandes y se utilizan para hacer más manejable el trabajo pesado.

las poleas de fajas transportadoras, se encuentran en la mayoría de la empresa mineras del mundo. Son equipos, quizá más críticos y esenciales en la industria de la minería, que ayudan

a maximizar la producción de minerales, al transportarlo de manera eficiente para ahorrar energía, tiempo y costos a la empresa.

Las poleas cuentan con un rodamiento, la cual permite el movimiento relativo entre dos partes (generalmente rotativo o lineal) al reducir la fricción entre las partes. Los rodamientos están diseñados para soportar cargas radiales (perpendiculares al eje), también axiales (en dirección del eje) o combinadas, la cual garantiza un funcionamiento prolongado y más eficiente.



Figura 13. *Polea de volteo de una faja transportadora de mineral. Foto tomada en planta concentradora C2.*

2.2.2 Confiabilidad en mantenimiento

De acuerdo (Campbell, 2022) un proceso lógico y técnico para determinar los requerimientos apropiados de las tareas de mantenimiento y así poder alcanzar la confiabilidad de diseño del sistema bajo condiciones operacionales específicas, en un ambiente operacional específico.

Es la capacidad de hacer frente a la falla, cuando se presente, más allá de la investigación de qué pasó o qué sucedió, una vez que se ha corregido la falla, hay todo un tiempo donde la maquina o el proceso empieza a operar hasta que vuelve a fallar. A ese tiempo donde no falla se le denomina MTBF (tiempo promedio entre fallas). Existe otro tiempo que hay que considerar que es el MTTR (tiempo medio de recuperación), el cual tiene una fracción que es el tiempo de mantenimiento y una fracción que son los tiempos de espera, hasta que me reponga

y luego vuelva a entrar a MTBF. Si el tiempo promedio entre fallas es muy largo la confiabilidad son muy alta.

2.2.2.1 Indicadores de confiabilidad en la gestión de mantenimiento

La productividad y la competencia son características de los ambientes donde se desempeñan corporaciones e industrias, las cuales se ven obligadas a maximizar sus capacidades productivas y minimizar costes operativos. La condición y disponibilidad de sus sistemas productivos juegan un papel decisivo en el éxito de sus negocios.

Para la función de mantenimiento esta significa una constante búsqueda de nuevas y novedosas formas de incrementar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de plantas y equipos industriales, siempre a través de un control efectivo de costes.

El hecho de planificar y programar los trabajos de mantenimiento o grandes volúmenes de equipos e instalaciones, ha visto en la automatización una oportunidad de constantes mejoras, y la posibilidad de plasmar procedimientos cada día más complejos e independientes.

Aunado a la mejor práctica de un mantenimiento de clase mundial, que establece sistemas integrados, ha conllevado a las grandes corporaciones a tomar la decisión de adoptar sistemas de mantenimiento de planificación empresarial CMMS.

Los indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes; de esta manera, será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento.

Estos indicadores son:

- a) Tiempo promedio para fallar (TPPF): mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del periodo considerado; constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El tiempo promedio para fallar también es llamado “tiempo promedio operativo” o “tiempo promedio hasta la falla”.

$$TPPF = \frac{\text{Cantidad de horas operadas}}{\text{Cantidad de fallas}} \quad (1)$$

- b) Tiempo Promedio para Reparar (TPPR): es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un periodo de un tiempo. El tiempo promedio para reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad; es decir, a la ejecución del mantenimiento. La mantenibilidad definida como la probabilidad de devolver el equipo o condiciones operativas de un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnósticos, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño.

$$TPPR = \frac{\text{Cantidad de horas de falla}}{\text{Cantidad de fallas}} \quad (2)$$

- c) Disponibilidad (D): la disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.

$$D = \frac{TPPF}{(TPPF + TPPR)} \times 100 \quad (3)$$

- d) Utilización: la utilización también llamada factor de servicio, mide el tiempo efectivo de operación de un activo durante un periodo determinado.

$$D = \frac{\text{Cantidad de horas operadas}}{\text{Cantidad de horas del período}} \times 100 \quad (4)$$

- e) Confiabilidad (C): es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un periodo determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo

sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.

$$C = e^{-\frac{t}{TPPF}} \quad (5)$$

- t: es el período considerado
 - TPPF: tiempo promedio para fallar
- f) Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF - MTBF): el tiempo promedio entre fallos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “fallo”. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importante utilizados en el estudio de la confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información.

$$MTBF = \frac{\# \text{ de items} \times \# \text{ horas totales del período analizado}}{\# \text{ de fallos en ese período}} \quad (6)$$

El análisis de fallos es el paso más importante en la determinación de un programa de mantenimiento óptimo y este depende del conocimiento del índice de fallos de un equipo, en cualquier momento de su vida útil.

El estudio de la confiabilidad se utiliza en el análisis de data operativa para mantenimiento. Es posible conocer el comportamiento de equipos en operación con el fin de:

- Prever y optimizar el uso de los recursos humanos y materiales necesarios para el mantenimiento.
- Diseñar y/o modificar las políticas de mantenimiento a ser utilizadas.
- Calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos.
- Establecer frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo.

2.2.2.2 *Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM*

Según (Moubray, 1999) es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo continúe haciendo la exigencia de sus usuarios, en su contexto operacional.

Es una metodología empleada para elaborar planes de mantenimiento necesario, optimizando los recursos dedicados, e incluye todo tipo de estrategias (mantenimiento preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, etc.), basadas en la confiabilidad de los equipos.

Contribuye a desarrollar planes óptimos de mantenimiento:

- De forma metódica, disciplinada, sistemática y racional.
- Capitaliza el conocimiento del personal, quienes desarrollan el nuevo plan, a través de la integración de equipo de trabajo multidisciplinarios, conformado por los técnicos que conocen el activo.
- Se facilita la recolección de información y su documentación, a través de la estandarización.

Los objetivos del mantenimiento centrado en la confiabilidad son:

- Revisar las políticas y estrategias de mantenimiento
- Identificar los problemas de mayor impacto en la operación.
- Reducir el número de incidentes, fallas y residuos.
- Reducción de la producción perdida, asociado con fallas.
- Disminución de la carga de mantenimiento rutinario (40 – 70%).
- Disminuye significativamente el consumo de refacciones de MP.
- Aumento de la disponibilidad operacional de los activos físicos.
- Aumento del aprovechamiento de la vida útil de los activos.
- Mejorar la eficiencia, la rentabilidad y la productividad de los procesos.
- Mejorar la confiabilidad, la seguridad y el impacto medioambiental.

¿Qué pretende RCM?

- Conocer los posibles fallos o averías, definidos como el no cumplimiento de las funciones y sus parámetros determinados.
- Conocer las causas que las originan.

- Conocer las consecuencias que generan al producirse mediante la evaluación del impacto sobre la organización: personas, medio ambiente y operación (costes económicos y calidad).
- Conocer los métodos para detectarlos anticipadamente con el fin de evitarlos.
- Estimar cualitativamente la importancia del fallo, mediante la criticidad y la probabilidad de ocurrencia.

2.2.3 Proceso de producción de cobre en una empresa minera

Según (Ferriz, 2023) son infraestructuras industriales que se emplean en la industria minera para llevar a cabo la separación de metales valiosos de la ganga o material no deseado. Estos complejos utilizan una serie de procedimientos como la trituración, molienda, flotación y filtrado para separar y concentrar los minerales de interés, tales como el cobre, oro, plata y hierro, entre otros.

Una planta concentradora es un tipo de planta metalúrgica, que tiene por objetivo el procesamiento del cobre, con el fin de obtener concentrado de cobre y molibdeno. Dicho de otra manera, gracias a la planta concentradora se procesan y se separan los minerales obtenidos de los yacimientos y se transforman en productos como el cobre.

La planta concentradora es una instalación industrial que utiliza el proceso de flotación selectiva para lograr la concentración de la mineralización económica proveniente de las minas. Incluye los procesos de chancado, clasificación, molienda, acondicionamiento, flotación y filtrado, así como las respectivas canchas de almacenamiento de relaves.



Figura 14. *Planta concentradora sulfuros primarios y secundarios. Foto tomada en planta concentradora C2.*

2.2.3.1 Derivados del cobre

Según (Ferriz, 2023) el cobre es un metal ampliamente utilizado en diversas industrias, principalmente por sus excepcionales propiedades de conducción eléctrica y térmica, a lo largo del proceso de extracción y refinación, se obtienen distintos productos derivados del cobre, los cuales tienen múltiples aplicaciones.

Entre los principales derivados del cobre se incluyen:

- Cátodos de cobre: son el producto principal de la refinación electrolítica del cobre.
- Bronce: aleación de cobre con estaño, utilizada principalmente en la industria automotriz, naval y en la producción de monedas.
- Latón: combinación de cobre y zinc, empleado en la fabricación de piezas para maquinaria, instrumentos musicales y monedas.
- Cobre rojo o cobre sin alear: cobre extraído en su forma más pura, que se utiliza principalmente en la fabricación de cables eléctricos y en diversas aplicaciones en la industria eléctrica.
- Sulfato de cobre: subproducto derivado de la refinación del cobre, utilizado en la agricultura como fungicida y en la industria química.

2.2.3.2 Tipos de extracción

La extracción de cobre puede llevarse a cabo mediante diversos métodos, que varían según las características del yacimiento y las tecnologías disponibles. Los métodos más comunes son:

- Tajo abierto: se emplea cuando los depósitos de cobre se encuentran cercanos a la superficie, consiste en remover grandes cantidades de material superficial para acceder al mineral subyacente, el tajo abierto se aplica generalmente en yacimientos grandes y poco profundos, uno de los principales desafíos de este método es su impacto ambiental, ya que puede generar grandes volúmenes de desechos y modificar el ecosistema circundante.
- Socavón: el método de socavón se utiliza cuando el mineral de cobre se encuentra a mayores profundidades, este proceso implica la construcción de túneles subterráneos para acceder al mineral, utilizando explosivos para fracturar la roca y equipos de perforación para extraer el cobre.

2.3 Definición de términos básicos

- a) Chancado: es el proceso de reducción de tamaño de minerales y rocas, utilizando equipos como trituradoras y molinos, con el objetivo es obtener partículas más pequeñas para facilitar la extracción de metales valiosos o para su posterior procesamiento, este proceso es fundamental en la minería, ya que prepara el material para etapas posteriores como la flotación o la lixiviación (Campbell,2023).
- b) Mantenimiento predictivo: estrategia basada en la recopilación y análisis de datos operativos para prever fallas en equipos antes de que ocurran, utiliza tecnologías como sensores, termografía y análisis de vibraciones para monitorizar las condiciones de los componentes, permite intervenir de manera preventiva, reduciendo tiempos de inactividad no planificados (Campbell,2023).
- c) Desgaste: el desgaste es el deterioro progresivo de materiales debido al contacto y movimiento constante, generalmente por fricción, se manifiesta como la pérdida de material de las superficies, lo que puede afectar el funcionamiento de los equipos, este proceso puede ser acelerado por factores como la presión, la temperatura y la presencia de contaminantes (Castro,2020).
- d) Fricción: la fricción es la resistencia que se genera cuando dos superficies entran en contacto y tienden a moverse entre sí, esta fuerza de oposición puede causar desgaste y aumento de temperatura, lo que puede dañar los componentes de las máquinas, en los

sistemas mecánicos, la fricción no deseada se controla mediante lubricantes que forman una película protectora. (Castro,2020).

- e) Parada no planificada: es una interrupción inesperada en el proceso de producción debido a fallas no anticipadas en los equipos. Se trata de eventos costosos, ya que pueden generar tiempos de inactividad, pérdidas de productividad y un aumento en los costos de mantenimiento; las paradas no planificadas suelen ser consecuencia de fallas mecánicas, eléctricas o de sistema, que pueden prevenirse mediante mantenimiento preventivo y monitoreo constante (Castro,2020).
- f) Eficiencia: es la capacidad de un sistema para cumplir su función utilizando la menor cantidad de recursos posibles, mejorar la eficiencia ayuda a reducir costos operativos y a incrementar la producción, la eficiencia se ve afectada por factores como el mantenimiento adecuado, el control de la fricción y la minimización del desgaste (Campbell,2023).
- g) Producción continua: la producción continua es un modelo de producción ininterrumpida, donde los procesos se mantienen operativos de manera constante para maximizar la eficiencia, este sistema se utiliza principalmente en la industria de procesos, como la petroquímica o la minería, los equipos deben estar en condiciones óptimas para evitar paradas no planificadas (Campbell,2023).
- h) Componentes críticos: los componentes críticos son aquellos elementos de una máquina o equipo cuya falla podría tener un impacto significativo en la producción o seguridad del sistema, estos componentes requieren un monitoreo constante y un mantenimiento especial debido a su importancia, a fin de identificar estos componentes es fundamental para la planificación del mantenimiento preventivo y predictivo (Campbell,2023).
- i) Tribología: es la ciencia que estudia los fenómenos de fricción, desgaste y lubricación entre superficies en contacto. Es clave en la ingeniería de máquinas y sistemas, ya que permite optimizar el rendimiento y la durabilidad de los equipos. La tribología se aplica en el diseño de rodamientos, sellos y sistemas de lubricación, contribuye a mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental de los procesos industriales (Campbell,2023).
- j) Viscosidad: la viscosidad es la medida de la resistencia de un fluido y fundamental para garantizar que el fluido forme una capa protectora adecuada entre las superficies en contacto, un lubricante con la viscosidad incorrecta puede generar fricción excesiva o no proteger adecuadamente las superficies, es crucial seleccionar el lubricante con la viscosidad adecuada según las condiciones de operación y las especificaciones del equipo (Campbell, 2022).

- k) Dializado: a nivel de la minería es considerado un proceso que permite la mezcla del material considerado como estéril con lo estrictamente valioso durante las diversas etapas que son parte de este tipo de actividad económica (Campbell, 2022)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcance de la investigación

Se aplicará la metodología de investigación mixta (cualitativa – cuantitativa). En el criterio de Pagliaro (2020), este tipo de investigación se soporta en el proceso sistematizado, en el cual se toman decisiones en base al análisis del sujeto de interés. Es decir, se partirá de datos históricos (como, por ejemplo, el consumo de aceite) propios de la empresa para el conocimiento del impacto que se motivado por la presencia de hallazgos dentro de las labores operativas y administrativas, este es el caso de la lubricación del área seca de chancado, la cual, sujeta a acciones de control, es factible que presente un impacto positivo en el uso de lubricantes.

El estudio será de alcance descriptivo. De acuerdo con el punto de vista de Silva (2020), es factible la recopilación de datos con al afán de disponer de información detallada sobre un fenómeno en estudio. Por lo mismo, la finalidad es el uso de medios que permitan la revisión del tema en estudio y el conocimiento de las causas que motivan el problema. En el caso presente, la retroalimentación con los participantes de los procesos ha permitido la identificación de causas que impulsan la persistencia del problema en estudio.

3.2 Diseño de la investigación

La investigación será de diseño no experimental. Para Díaz et al. (2022) es factible un ámbito de observación y del consecuente análisis a nivel de causa-efecto y sin la presencia de una potencial manipulación directa de las variables. Lo indicado permite la identificación de causas y efectos que son parte del proceso de lubricación y su consecuente impacto en la confiabilidad de los equipos de chancado.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población estará constituida por las 20 máquinas de la empresa. En el criterio de Pagliaro (2020) es conocido que la población constituye el conjunto de elementos que son parte de la zona en investigación. En el caso presente, se ha determinado la presencia de la mencionada cantidad de maquinaria que interviene dentro del área seca del proceso de chancado y que se encuentra sujeta de las condiciones de trabajo.

3.3.2 Muestra

La muestra estará compuesta por las 05 máquinas del área de chancado de la empresa. En el criterio de Díaz et al. (2022) la muestra es una parte de la población de interés. En el caso presente, es válido tener en cuenta que las 05 máquinas que han sido identificadas constituyen las directamente afectadas durante el 2024. Es decir, su funcionamiento se ha visto comprometido por el deficiente proceso de lubricación que han sufrido sus componentes, lo cual, ocasionó dificultades operativas en su desarrollo.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas de recolección de datos

Se utilizará una observación directa en la zona de interés, es decir, se realizará un seguimiento en tiempo real sobre el proceso de lubricación y de las operaciones que son parte del área seca de chancado. Este particular permitirá la detección oportuna de las causas que motivan el problema en investigación asociado con el proceso de lubricación.

Por otra parte, la retroalimentación directa con el personal facilita el levantamiento de información significativa con los operarios y técnicos responsables del mantenimiento y operación de la planta.

De manera complementaria, se usará una revisión documental de los registros históricos que son parte de los informes de mantenimiento, reportes de producción, incidencias mecánicas y tiempos de inactividad relacionados con el área de chancado.

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Se usará el check list para el seguimiento en tiempo real de la lubricación del área seca de chancado. De esta manera, se facilita el registro los aspectos inherentes al problema en investigación que se vincula al proceso de lubricación.

El flujo de información con los participantes sustenta el conocimiento de datos a ser vinculados con información nativa de los manuales de la maquinaria en análisis. Por otra parte, es relevante la revisión de registros de lubricación efectuada en las máquinas de interés y los consecuentes tiempos de inactividad, incidencias mecánicas y reportes de mantenimiento. De esta manera, se impulsa la determinación de problemas en la lubricación y las causas que las motivan.

3.5 Instrumentos de análisis de datos

La revisión de los registros históricos que son parte del mantenimiento de las máquinas y las bases de datos asociadas a las fallas constituirán documentos significativos para el desarrollo de información sobre el proceso de lubricación que se han efectuado en el último período (2024).

Será importante el conocimiento de variables, como las intervenciones en la maquinaria, tiempo de inactividad, frecuencia de falla y tipos de averías que han sido parte de las labores de los equipos de chancado ubicados en el área seca. El mencionado particular impulsa el análisis y la evaluación del proceso de lubricación.

Se utilizará estadística descriptiva con el uso emplea valores asociados a frecuencias, promedios y desviaciones estándar para el examen de datos cuantitativos que permiten el análisis de variables como el tiempo medio entre fallas, el tiempo promedio de reparación y la frecuencia de lubricación. El resultado ofrece un conocimiento del rendimiento actual del proceso de lubricación y su influencia en la confiabilidad de los equipos de chancado.

Se utilizará el software Excel para la generación de tablas datos y gráficos correspondientes a los datos propios del Pareto (frecuencia, porcentaje acumulado, porcentaje). El resultado permite una visualización gráfica del problema sujeto de investigación y el consecuente planteamiento de propuestas.

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Descripción de la empresa

La empresa minera en investigación es una compañía peruana destacada por su liderazgo e innovación en la industria extractiva. Su actividad principal consiste en la extracción de sulfuros secundarios y primarios, con los cuales genera productos de calidad como: cátodos de cobre, concentrado de cobre y concentrado de molibdeno. A lo largo de su historia, ha jugado un papel fundamental en el desarrollo económico del país, aportando valor a las comunidades, trabajadores, contratistas y al entorno. Su compromiso con la seguridad y el respeto al medio ambiente es un pilar central de sus operaciones.

La empresa minera sujeta a estudio tiene una larga trayectoria en el sector minero, cuyos inicios datan del siglo XIX, cuando los españoles comenzaron a extraer minerales de óxido de cobre de alta ley, durante el siglo XX, la mina pasó por varias manos, incluidas las de la empresa Anaconda, la cual operó el yacimiento hasta 1970, cuando el Estado asumió el control. En 1972, el gobierno construyó una de las primeras plantas de procesamiento del cobre a nivel mundial utilizando el sistema de extracción por solventes y electrodeposición (SX/EW).

En 1994, la compañía estadounidense Cyprus Amax adquirió la operación e invirtió capital para aumentar la productividad, esta inversión resultó en un aumento del 350% en la producción de cobre y una reducción de los costos en más de un 40%. Posteriormente, en 2006, Cerro Verde pasó a formar parte de la corporación Phelps Dodge, que comenzó la construcción de una planta para procesar sulfuros primarios; en 2007, Freeport-McMoran adquirió Phelps Dodge, convirtiéndose en la actual propietaria de la mina.

En cuanto a sus procesos, uno de los más importantes es el chancado, que consiste en la reducción del tamaño del mineral mediante la trituración, con el fin de facilitar la posterior extracción del cobre, este proceso es fundamental dentro de la cadena productiva, ya que prepara el material para ser procesado en las etapas siguientes, como la flotación y la lixiviación, lo que permite maximizar la eficiencia en la producción de cobre y otros metales valiosos.

a) Visión de la empresa

“Somos líderes de producción segura de cobre, haciendo de cada día nuestro mejor día”.

b) Misión de la empresa

- Excelencia en seguridad y medio ambiente “todos regresan a casa seguros todos los días”.
- Excelencia en las personas “trabajando juntos para fortalecer nuestra cultura de alto rendimiento”.
- Excelencia operacional “lograr mejores eficiencias operacionales cada día”.
- Gestión de costos “invirtiendo dinero sabiamente para maximizar el beneficio”.
- Responsabilidad social y con grupos de interés: “mantener aceptación para operar localmente.

c) Estructura organizacional de la empresa

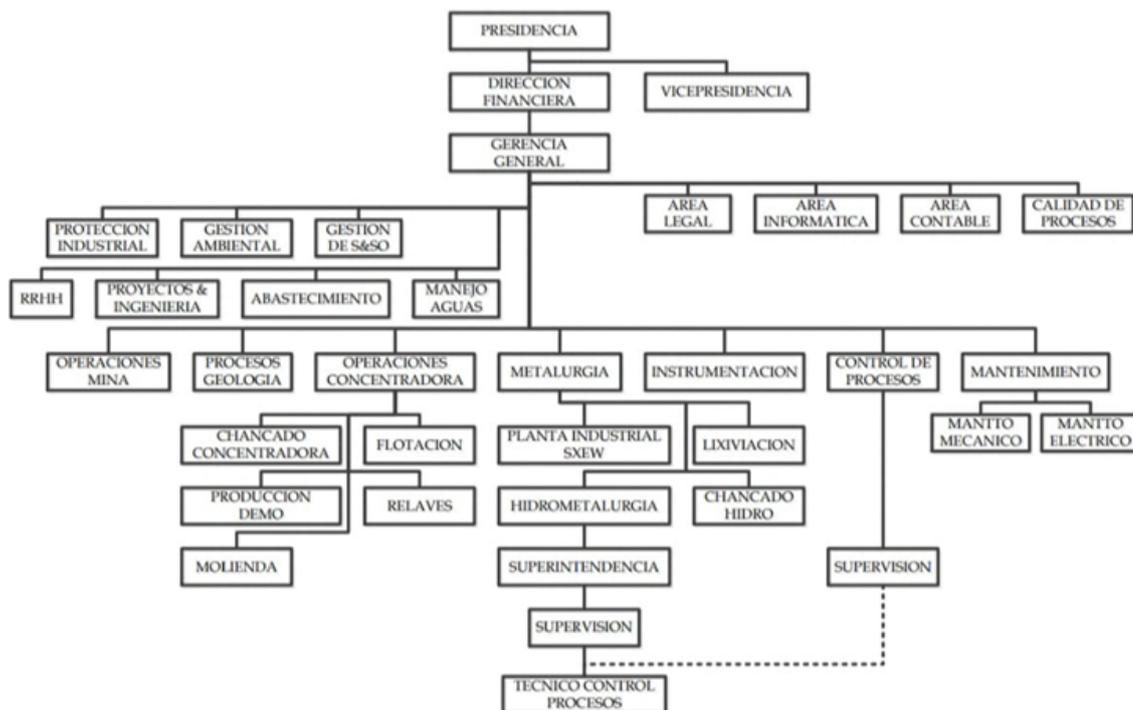


Figura 15. Organigrama de la empresa. Tomada de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.

4.1.1 4.1.1 Proceso productivo para la extracción de mineral de la empresa

- a) Minado
- b) Acarreo
- c) Chancado primario
- d) Clasificado Seco por zarandas

- e) Chancado Secundario
- f) Chancado Terciario
- g) Clasificado húmedo por zarandas
- h) Molinos
- i) Flotación
- j) Remolienda
- k) Espesamiento Concentrado Bulk
- l) Planta Moly
- m) Filtrado de Cu
- n) Transporte y embarque

4.1.2 Diagrama de flujo del proceso productivo de la empresa

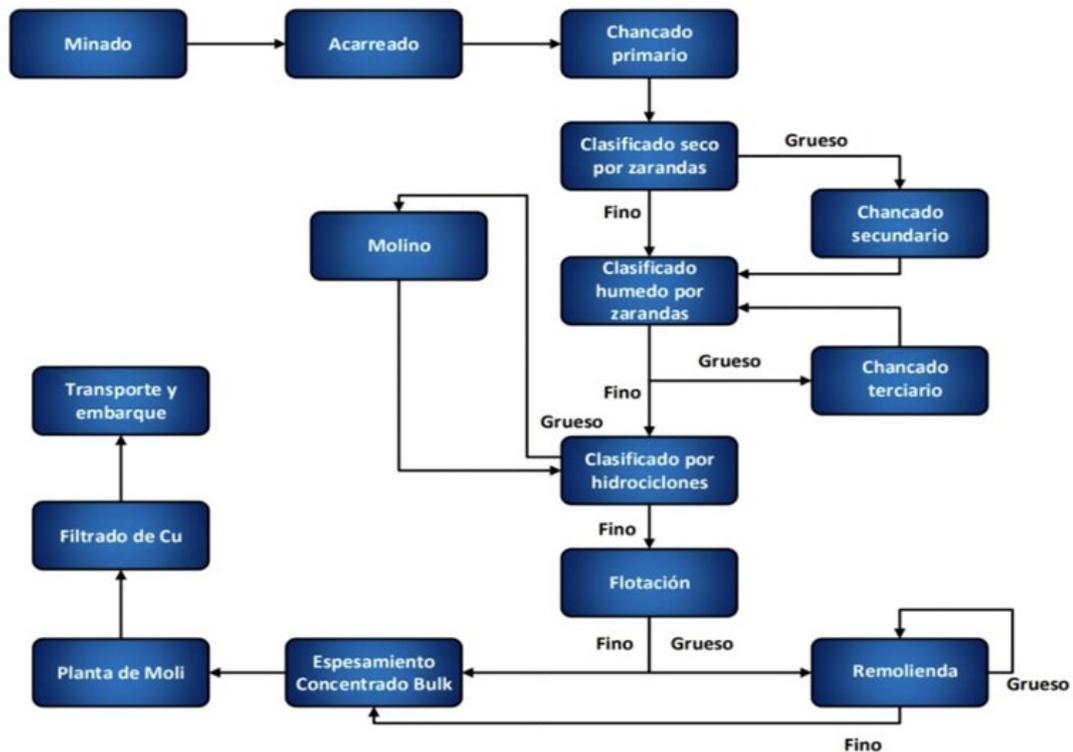


Figura 16. . Diagrama de flujo del proceso productivo.

4.1.3 Proceso productivo en el área de chancado

Por la dimensión de áreas con las que cuenta la empresa, la esta investigación se centrará en las siguientes etapas del proceso:

4.1.2.1 Chancado primario

En este proceso, el área de chancado primario se encarga de reducir el tamaño del mineral proveniente de la mina, a un tamaño que pueda ser fácilmente transportados por las fajas de transferencias hacia la siguiente etapa mediante las dos líneas de procesamiento. El mineral ROM proviene de mina, es transportado por camiones de 240 toneladas de capacidad que llegan a las plataformas de descarga conocidas como bahías hacia los dos circuitos de chancado primario y es descargado en las tolvas de descarga llamados Dump pocket, permitiendo que las chancadoras triturén el mineral de manera continua. En este proceso el mineral de un tamaño máximo 15”, es reducido hasta 4 – 6.5”.

La chancadora primaria es un equipo mecánico, empleado para la reducción del mineral proveniente de mina, debido al movimiento excéntrico realizado por el eje principal (main shaft) dentro de la cámara de chancado el mineral triturado cae a la abertura hacia la tolva de compensación (surge pocket). El mineral chancado descargado cae por gravedad a los surge pocket, donde debajo de estas se encuentran instalados los Apron feeder, que son los encargados de extraer el mineral chancado; de tal manera que se mantenga un flujo continuo del mineral para recibir la descarga sobre la zona donde encuentran ubicados sus polines de impacto. También, cuenta con un sistema de tensado por contrapeso gravitacional, adyacente a la estación de transmisión, que regulara la tensión de la faja en el retorno. El movimiento de la faja se da gracias a la transmisión de potencia de sus 3 motores entre la polea motriz y la faja, proporcionando una carga de tensión controlada.

El área de apilamiento de mineral grueso está compuesta por 2 stock pile, uno junto al otro. La capacidad viva de almacenamiento stock pile es la cantidad de mineral que se puede extraer mediante los apron feeder, sin hacer uso de los tractores, y mantener la continuidad de las operaciones aguas debajo del stock pile.

Dentro de los equipos adicionales aparte de la chancadora cónica tenemos:

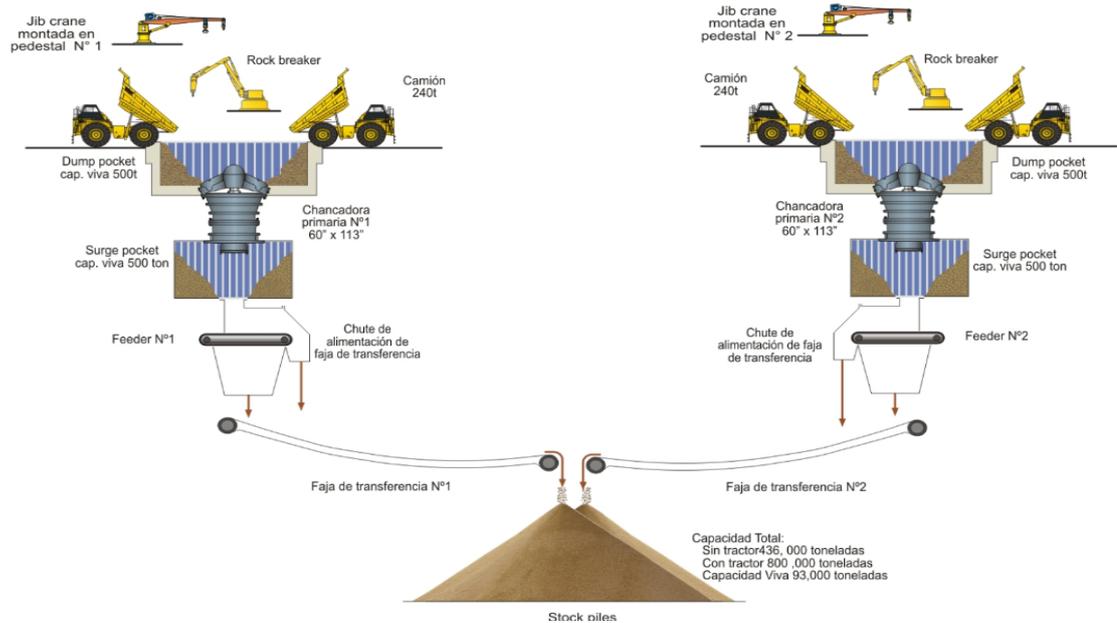


Figura 17. Diagrama de flujo chancado primario. Tomada del “Manual de operación y mantenimiento S.M.C.V”

4.1.2.2 Chancado secundario

En este proceso, para continuar con la reducción del mineral se cuenta con chancadoras cónicas de modelo MP1250, que son unos equipos electro-mecánicos, utilizado para la reducción del tamaño del mineral a un 74% pasante 47 mm efectuado por el movimiento giratorio excéntrico de la cabeza dentro de la cámara de chancado.

La chancadora cuenta con un sistema de lubricación, que se encarga de lubricar a la bocina interna y externa al conjunto del contraeje, la bocina del socket liner e indirectamente al engranaje piñón corona, para luego retornar al depósito de aceite o tanque.

Con respecto al funcionamiento, se tiene instalado un sistema de control que permite ajustar la altura del tazón (bolw) compuesto por tres transmisiones hidráulicas y una cremallera, ubicadas en la parte superior de la chancadora que permite subir y bajar el tazón, alterando las dimensiones del material triturado. La distancia mínima entre el manto en movimiento y el revestimiento, se denomina ajuste del lado cerrado; mientras que la mayor distancia entre el manto y el revestimiento se denomina ajuste del lado abierto. Cuando el mineral ingresa a la tasa de alimentación, cae por el espacio que existe entre el manto y el revestimiento, siendo atrapado y triturado. Producto del movimiento de la cabeza, la cual se acerca y se aleja por acción del conjunto piñón, contraeje y excéntrica, se forma una transmisión de engranajes cónicos, acoplado directamente al motor eléctrico. Después de haber sido reducido el mineral, cae por gravedad y pasa hacia el chute de descarga. Cuando se presenta algún elemento

inchancable, el conjunto superior se eleva, permitiendo la liberación de dicho elemento, mediante la acción de los acumuladores y pistones hidráulicos.

Para esta parte del contamos con unos equipos adicionales que ayudan a completar el proceso en chancado secundario:

- Alimentación de 4 - 6.5" hasta un P80 > 45 mm.
- 2 Fajas de transferencia (CV-013/023).
- 2 Fajas de alim. a Tolvas Zar. Sec. (CV-016/026)
- 8 tolvas de zarandas de 2600 TM/Línea.
- 8 feeders de zarandas
- 2 fajas de alim. a Tolvas Sec. (CV-015/025).
- 8 tolvas de almacenamiento de 2800 TM /Línea.
- 8 feeders de chancadoras cónicas.
- 8 chancadoras cónicas MP 1250.
- 2 fajas de transferencia (CV-031/041).

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del área de chancado secundario.

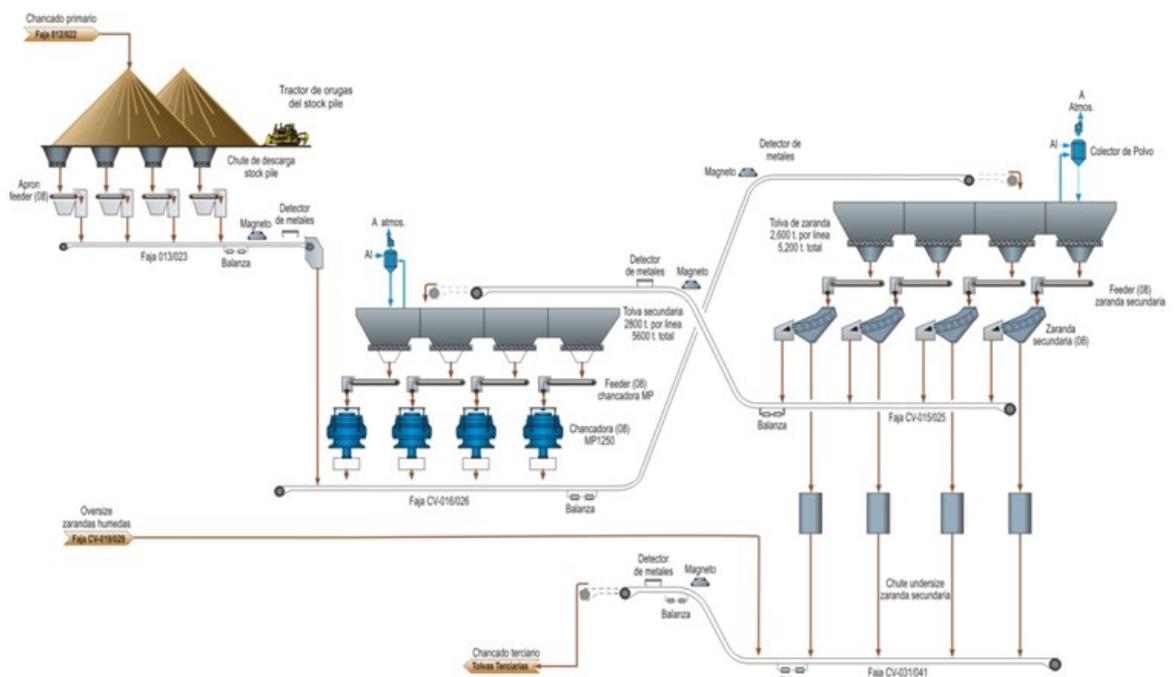


Figura 18. Diagrama de flujo de chancado secundario. Tomada del "Manual de operación y mantenimiento S.M.C.V"

4.1.2.3 Chancado terciario

En esta etapa del proceso se trabajan con HPGR (Chancadora de Rodillo de Alta Presión) estos equipos se encargan de la trituración del mineral, mediante la alta compresión entre dos rodillos que giran en sentidos opuestos. Estos rodillos tienen un espacio, una cierta separación (GAP) por donde el mineral va estar cayendo entre ambos rodillos, y gracias a la compresión y los giros que tienen estos rodillos van a poder hacer la conminución del mineral que pasa a través de estos. El espacio entre ambos rodillos determina el tamaño final de las partículas del mineral.

En chancado terciario se cuenta con los siguientes equipos adicionales para completar el proceso de conminución.

- Alimentación F80 > 45 mm hasta P80 12-21 mm.
- 2 fajas de alim. a Tolvas Terciarias (CV-031/041).
- 8 tolvas de almacenamiento de 7200 TM /Línea.
- 8 feeders de HPGR.
- 8 fajas de alimentación a HPGR.
- 8 chancadoras HPGR.
- 2 fajas de transferencia (CV-017/027).
- 2 fajas de alim. a tolvas de molinos (CV-018/028).
- 2 tolvas de molinos de 18000 TM/Línea.
- 12 feeders de transferencia.
- 12 fajas de alimentación a zarandas.
- 12 zarandas húmedas.
- 2 fajas de recirculación (CV-019/029).

A continuación, se muestra en figura el diagrama de flujo de chancado terciario.

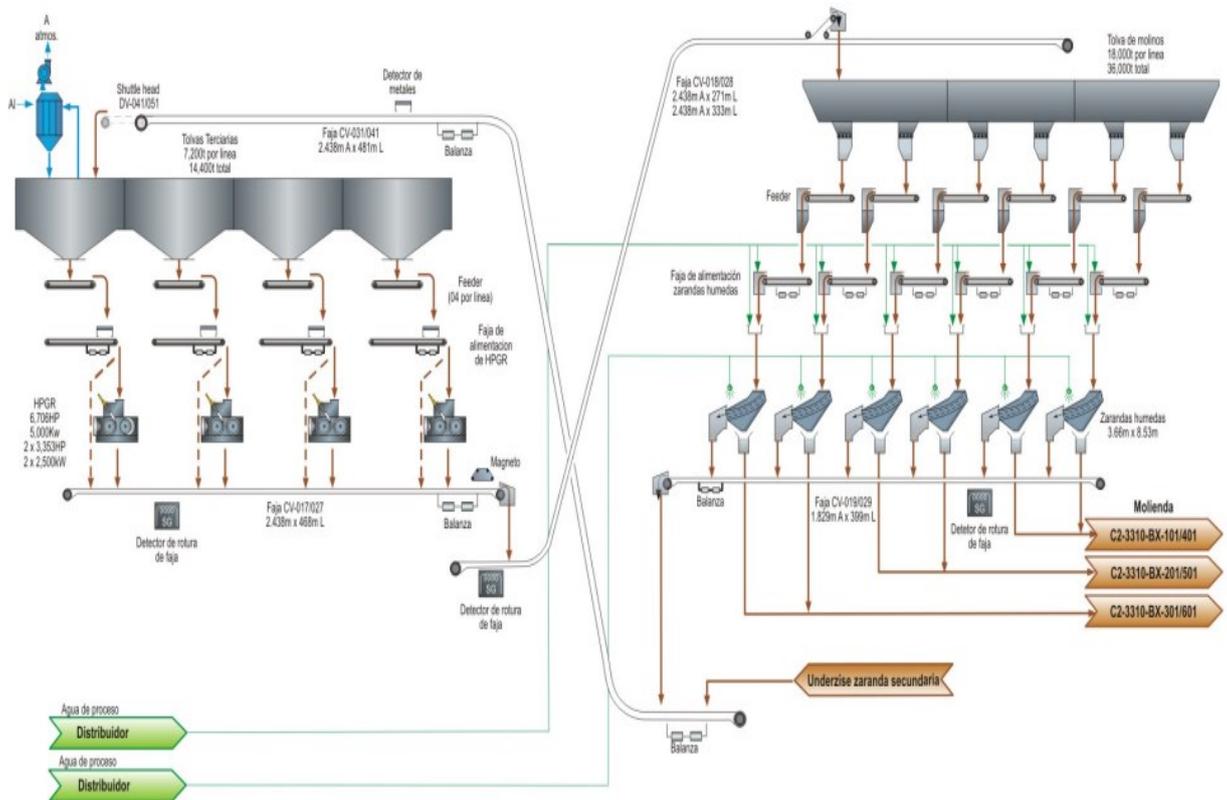


Figura 19. Diagrama de flujo de chancado terciario. Tomada del “Manual de operación y mantenimiento S.M.C.V”

4.2 Diagnóstico de la situación actual

4.2.1 Diagnóstico en chancado primario

En chancado primario se tiene un sistema de lubricación encargado de realizar la lubricación de los componentes internos de la chancadora, como son: piñón de contraeje, excéntrica, buje de la excéntrica, platos de bronce, platos de metal, etc.

Las condiciones que se tienen en el área de chancado primario son las siguientes:

- Saturación de los elementos filtrantes del sistema de lubricación de la chancadora.
- Desgaste prematuro de componentes internos de la chancadora.



Figura 20. Banco de filtros del sistema de lubricación CH primario. Imagen tomada en planta concentradora C2.

4.2.2 Diagnóstico en chancado secundario

En chancado secundario se tiene algunos problemas con los equipos que utilizan lubricantes (grasa y/o aceites) para su funcionamiento:

- Saturación de los elementos filtrantes del sistema de lubricación.
- Desgaste de componentes internos de la chancadora.
- Alta temperatura de los rodamientos del Jack shaft (transmisión).
- Consumo de aceite en el sistema de lubricación.

A continuación, en la figura se muestra un cambio de elementos filtrantes en uno de los bancos del sistema de lubricación de la chancadora secundaria.

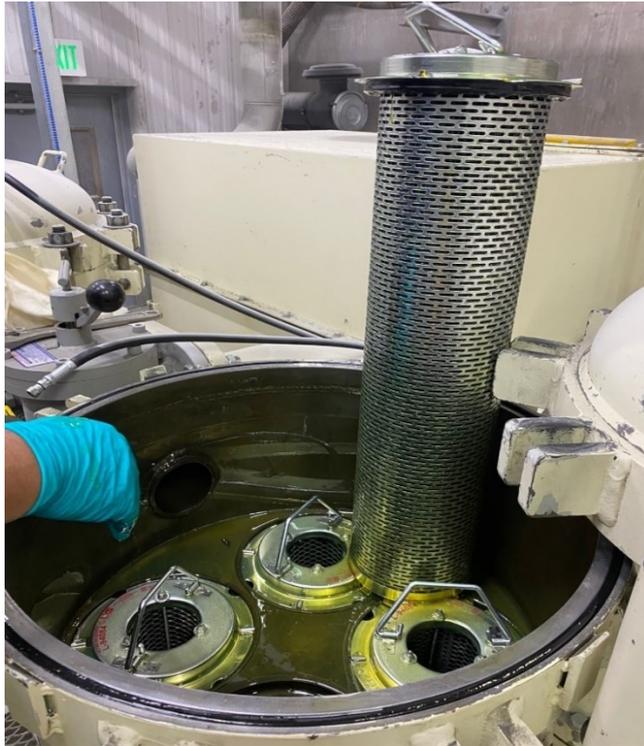


Figura 21. Cambio de elementos filtrantes en Chancadora secundaria. Imagen tomada en planta concentradora C2.

4.2.3 Diagnóstico en chancado terciario

Para el área de chancado terciario se tiene:

- Alta temperatura en rodamientos de rodillos HPGR
- Alta temperatura en Gear box de HPGR.

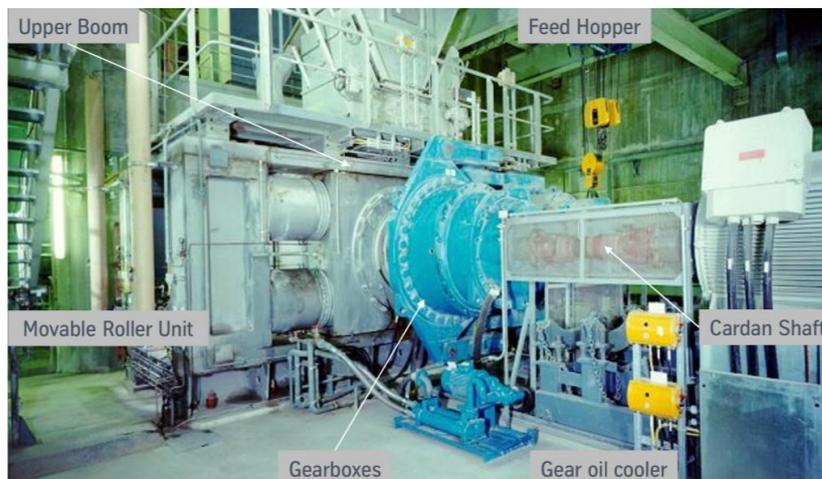


Figura 22. HPGR Chancadora de rodillos de alta presión. Tomada del “HPGR Polycom – Design, Maintenance & Operation”

4.2.4 Diagnóstico en zarandas secas

Actualmente, en el área seca se tiene 08 zarandas (04 por línea), de los cuales cada zaranda tiene 03 excitadores, cada uno. Cada zaranda tiene un motor eléctrico que se encarga de transmitir el movimiento hacia los excitadores para realizar el zarandeo y selección del mineral. En esta etapa tenemos los siguientes problemas con los equipos que trabajan con lubricantes:

- Alta temperatura de los excitadores de zarandas secas.
- Vibración en los excitadores de zarandas secas.
- Alta temperatura en rodamientos de Lay shaft (transmisión) en zarandas.



Figura 23. Toma de temperatura de excitadores de zarandas secas. Imagen tomada en planta concentradora C2.

4.2.5 Diagnóstico en fajas transportadoras

- Alta temperatura en las cajas reductoras de las fajas transportadoras.
- Vibración alta en cajas reductoras.
- Alta temperatura en rodamientos de poleas de fajas transportadoras.

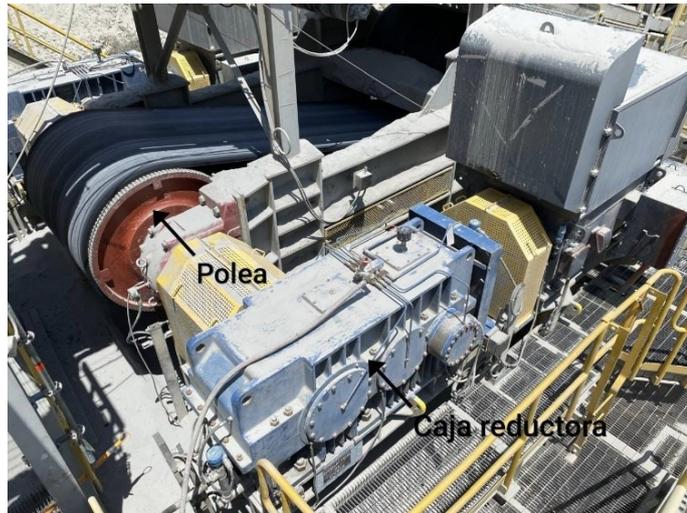


Figura 24. *Conjunto de transmisión de faja transportadora. Imagen tomada en planta concentradora C2.*

4.3 Medición del impacto de la lubricación en plantas en el área seca de chancado

En la actualidad, la medición del impacto de lubricación dispone de indicadores claves de desempeño (KPI), los cuales se consideran herramientas que controlan de manera exitosa el desarrollo de un programa de lubricación. La determinación de KPI requiere la definición de objetivos asociados al cumplimiento de lo programado.

En el caso presente, es factible el uso de indicadores aplicados principalmente sobre el cambio de los filtros de aceite CH primario y secundario. Por lo mismo, se fundamenta los cambios anuales de elementos filtrantes en el área de chancado primaria y secundaria durante el 2024.

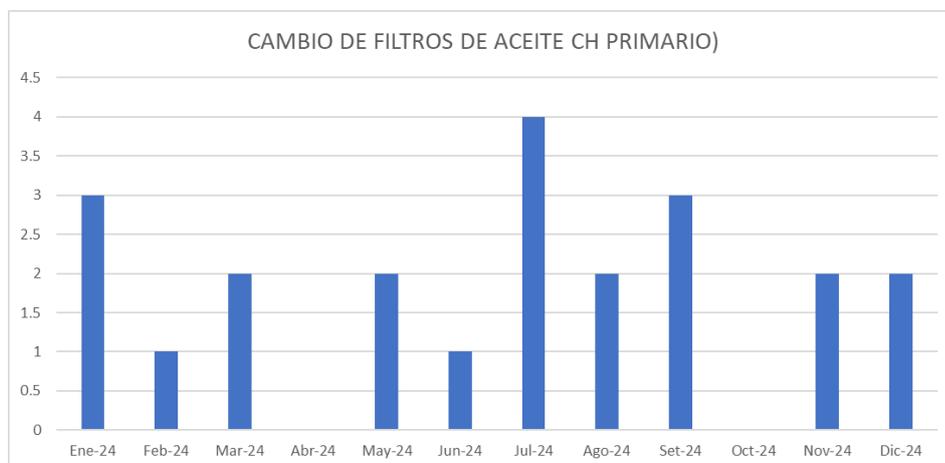


Figura 25. *Cambios de elementos filtrantes en CH primario mensual.*

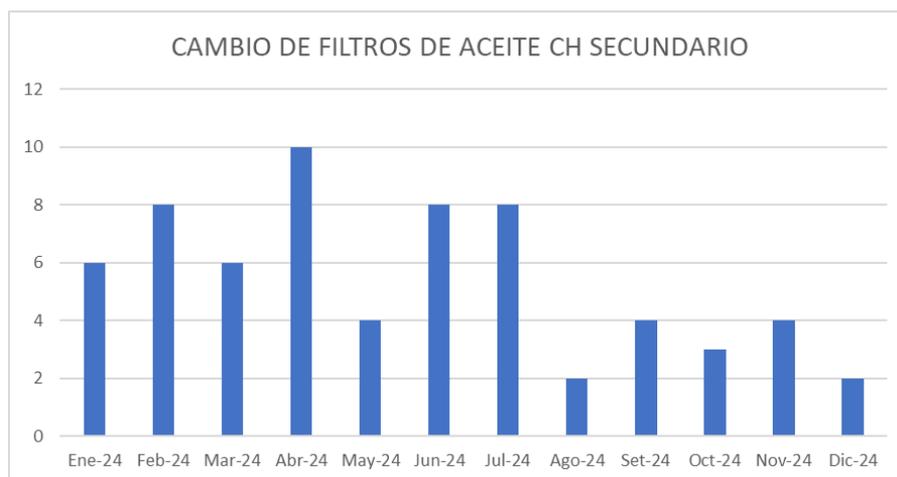


Figura 26. *Cambio de elementos filtrantes en CH secundario mensual.*

4.4 Causas de los problemas encontrados en la lubricación en el área seca de chancado

Selección de lubricante: existen deficiencias en la selección del aceite mineral; por ello, se requiere del uso de aditivos complementarios, pues los cambios de temperatura inciden en la viscosidad. En este sentido, el aceite mineral dispone de moléculas de hidrocarburos, sales metales, parafinas y azufre, las cuales, ocasionan que el calor y la oxidación sean relevantes en su descomposición y con el paso del tiempo, se disminuye su capacidad de lubricación, de fricción y, por ende, aumenta la temperatura.

Almacenamiento: dentro del área seca de chancado han aparecido lubricantes que están almacenados y sin protección de la luz solar, esto motiva el aparecimiento de humedad, polvo y otros contaminantes en el lubricante. Además, no existe rotulación en el sector de los aceites destinados al almacenamiento y, por lo tanto, no existe un control en las fechas de fabricación y de ingreso a la planta.

Manejo y aplicación: el taller de lubricación no dispone de herramientas necesarias para el traslado de cilindros de aceites y grasas. En el área de zarandas, se utiliza para el cambio de aceite las denominadas “galonearas” que no son herméticas. Para el cambio de aceite de reductores, no se cuenta con equipos automáticos para la extracción y dosificación de aceite mientras que, en las chancadoras, no se aparecen con reservorios para el drenaje de aceite usado.

Control de contaminación: no se dispone de un sistema de filtrado de aceite, sistema de dosificación automática, kits antiderrames, segundas contenciones. Es evidente la falta equipos para los cambios de aceite como bombas neumáticas y conectores rápidos. En estas condiciones de trabajo, es mayor el riesgo de derrames de aceite y la contaminación del medio ambiente.

Análisis de lubricantes: periódicamente existe un análisis de lubricante; sin embargo, los puntos de muestreo en los tanques no generan datos reales. En los reductores no se cuentan con puntos de muestreo al igual que en los excitadores; por lo que se debe retirar las tapas o respiraderos para la toma de muestras. Además, hacen falta etiquetas estandarizadas para la identificación de las muestras de aceite.

4.4.1 Diagrama causa-raíz (Ishikawa)

Es una herramienta analítica y gráfica que permite la identificación de los factores que causan el problema vinculado a la presente investigación. En este caso, se tiene:

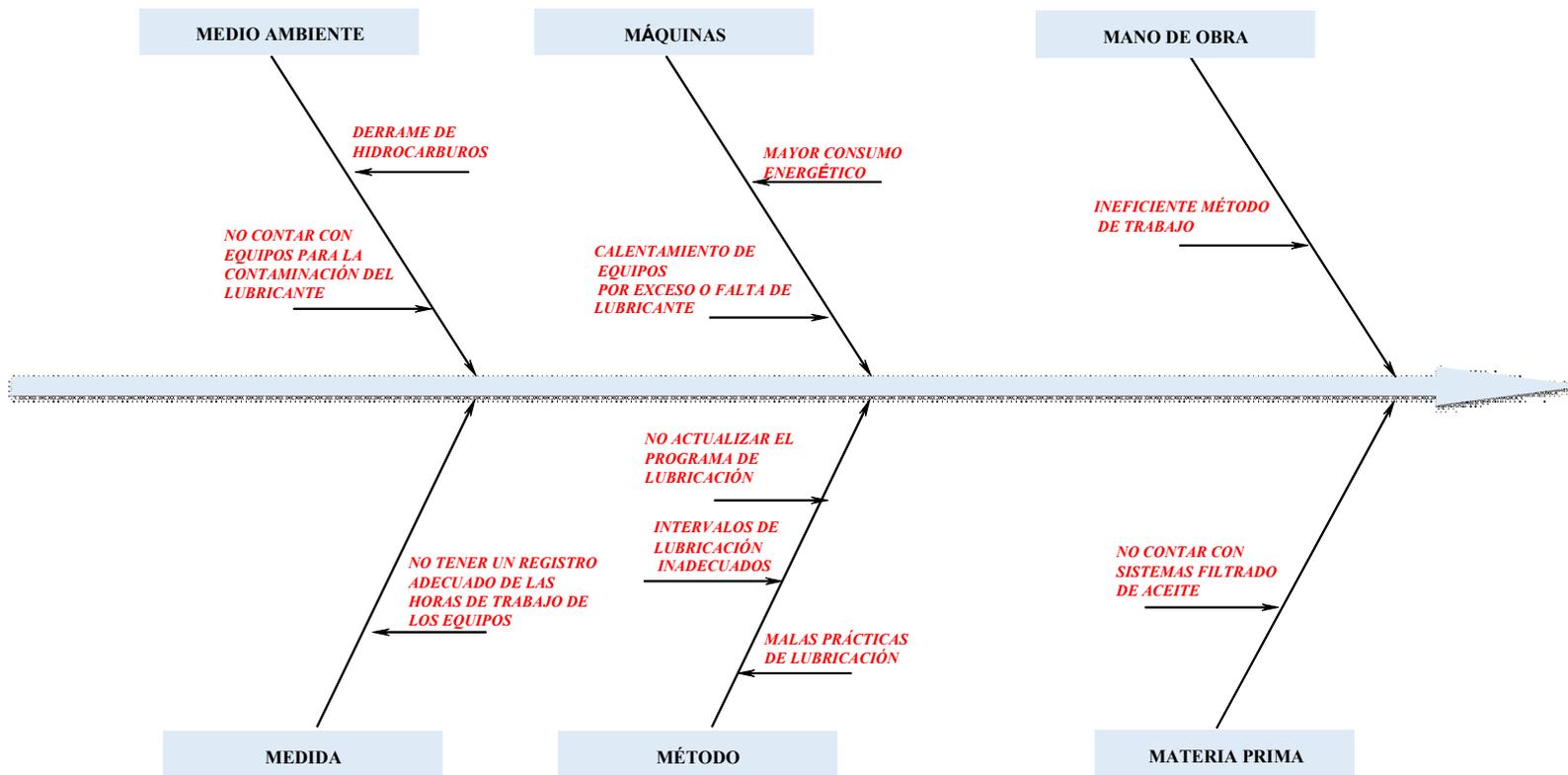


Figura 27. Diagrama causa – raíz.

Es válido tener en cuenta que el Diagrama de Ishikawa de la figura 27, es una representación gráfica que permite la identificación de las diversas causas que son parte del problema de la presente investigación. En este sentido, se han ubicado las mencionadas causas en cada uno de los aspectos “M (medio ambiente, máquinas, mano de obra, medida, método y materia prima)” que integran el análisis y que a la postre, permiten el establecimiento del problema de la lubricación en el área seca de chancado.

4.5 Propuestas

Proponer las acciones de mejora en la lubricación para incrementar la confiabilidad en el área de chancado.

A continuación, se mencionarán dichas propuestas al detalle:

4.5.1 Propuesta 1

Implementar áreas de almacenamiento temporal (orientados al control de potenciales derrames de hidrocarburos y en la contaminación del lubricante)

Para la implementar estas áreas, se debe identificar zonas alejadas de todo tipo de contaminación industrial incluido el polvo. La temperatura de almacenamiento debe ser moderada con el fin de evitar la humedad; de esa manera, se conserva el sitio seco y limpio.

Se debe crear un procedimiento enfocado en el almacenamiento de los cilindros de lubricantes, es decir, se establece acciones de control sobre la condición de los cilindros (posición vertical y tapas cerradas que eviten la contaminación). En el caso de almacenamiento de cilindros en posición horizontal, los tapones deben ser ubicados en la posición de las agujas del reloj de las 3 y las 9, y se debe instalar válvulas para su dispensación.

El procedimiento debe indicar el seguimiento del consumo de lubricantes, con el fin de minimizar la exposición a condiciones agresivas del ambiente. Por lo demás, los primeros cilindros que ingresan serán los primeros en salir en el proceso. En consecuencia, el almacenamiento de lubricantes debe ser la menor cantidad posible y en una área limpia, seca y fresca.

La identificación adecuada debe manejar un código de colores y, además, rotular los cilindros para evitar la contaminación cruzada de lubricante y un potencial mal uso. Asimismo, debe manejarse un código de colores en el etiquetado y la información relevante numérica para el personal que tenga dificultad en la percepción de los colores.

Las áreas de almacenamiento deben disponer de segundas contenciones y kit antiderrames, barras delimitadoras, protectores y carritos porta cilindros. A continuación, se presenta un cuadro con la evaluación económica estimada para la implementación de áreas de almacenamiento temporal por área.

Tabla 5. Evaluación económica de equipos para almacenamiento de lubricantes.

Ítem	Cantidad	Precio	Cantidad	Precio	Cantidad	Precio	Cantidad	Precio
Segunda contención	1	\$830	4	\$3,320	8	\$3,320	2	\$830
Carro portacilindros	0	-	2	\$740	8	\$2,960	2	\$740
Kit antiderrames	2	\$800	8	\$3200	8	\$3,200	2	\$800
Parantes delimitadores	6	\$210	24	\$840	24	\$840	6	\$210
Barras de señalización	4	\$68	16	\$272	16	\$272	4	\$68
Protectores de cilindros	8	\$280	32	\$1,120	8	\$280	4	\$140
Subtotal		\$2188		\$9,492				\$2,788
Total		\$						25,340

4.5.2 Propuesta 2

Proponer el cambio de lubricantes con el uso de zarandas (orientado al control del ineficiente método de trabajo, malas prácticas de lubricación)

Para realizar el cambio de lubricante en las zarandas se debe tener claro los motivos que impulsan el cambio de aceite, en el caso del uso de zarandas se debe establecer parámetros de uso asociados a los cambios de aceite. En este sentido, es valedero la identificación de mejoras con la aplicación de este tipo de recipientes.

- Reducción del desgaste y de las temperaturas de trabajo.
- Prolongación de la vida útil de los componentes internos.
- Extensión de los períodos de cambio de aceite (30 a 45 días).

El consumo anual de lubricantes es capaz de disminuir el uso del área de almacenamiento y por lo mismo, se reduce el riesgo de contaminación y degradación del producto. En la tabla 5, se determina un comparativo de consumo en galones del aceite mineral y sintético una vez realizado el cambio de la viscosidad de lubricante de 150 a 220.

Tabla 6. Comparación de consumo de aceite

Comparación de consumo de aceite				
Antes de la propuesta			Después de la propuesta	
Aceite mineral			Aceite sintético	
Consumo en 30 días	en	55 galones	Consumo en 45 días	55 galones
Consumo en 365 días	en	660 galones	Consumo en 365 días	330 galones

En el caso de los costos, se debe tener presente que el incremento de la viscosidad del lubricante alarga los periodos de cambio de aceite y, por lo mismo, se prolonga un potencial “para” del equipo y el consumo de lubricante se reduce a la mitad. En este ámbito, se realizó la medición de los resultados económicos en función al costo y promedio del ahorro anual.

Tabla 7. Comparación de consumo de aceite por costos.

Comparación de consumo de aceite					
Antes de la propuesta			Después de la propuesta		
Aceite mineral			Aceite sintético		
	Cantidad	\$		Cantidad	\$
Consumo en 30 días	55 galones	550	Consumo en 45 días	55 galones	800
Consumo en 365 días	660 galones	6600	Consumo en 365 días	330 galones	4800

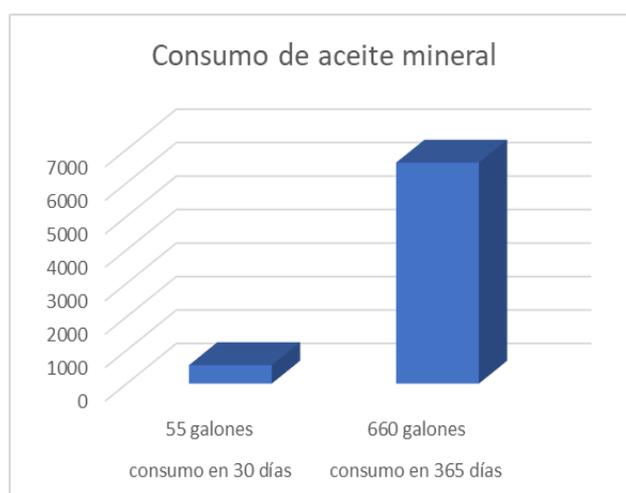


Figura 28. Consumo de aceite mineral en zarandas secas.

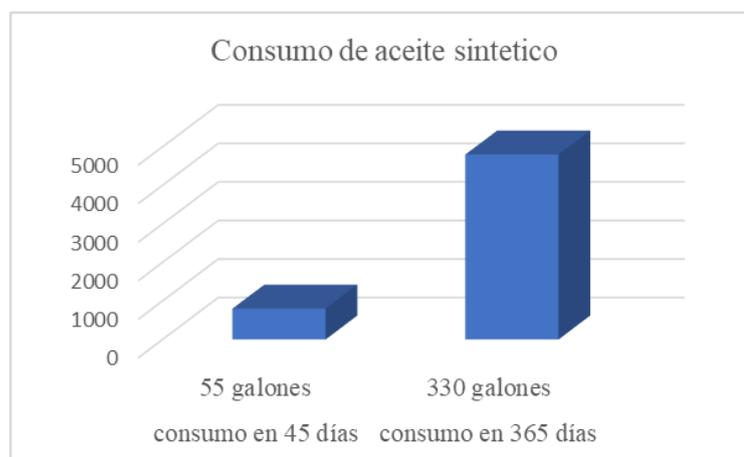


Figura 29. Consumo de aceite sintético en zarandas secas.

4.5.3 Propuesta 3

Implementar sistemas de filtrado (orientado al control de los intervalos de lubricación inadecuados, al mayor consumo energético y a la ausencia de sistema de filtrado de aceite)

En el ámbito de la contaminación es necesario el uso de sistemas de lubricación de las chancadoras y reductores, este punto, se basa en sistemas de filtrado que reducen el potencial ingreso de contaminantes al lubricante y al propio sistema. Por lo tanto, se extiende la vida útil del equipo y del aceite. Además, se determina que la reducción del ingreso de contaminantes brinda confiabilidad al funcionamiento de los equipos.

En la tabla 8, se determina la implementación de dializadoras necesarias en el control de contaminación del lubricante de las chancadoras y reductores.

Tabla 8. Propuesta de implementación de dializadoras en chancado.

DETALLE	PRECIO UNITARIO \$	CANTIDAD PROPUESTA POR ÁREA			PRECIO PARA LA PROPUESTA 3
		CH I	CH II	CH III	
Dializadora					
Oil Filtración	28000	2			56000
Schroeder	39000		2	1	117000
MONTO REQUERIDO PARA LA PROPUESTA 3 DE MEJORA					173000

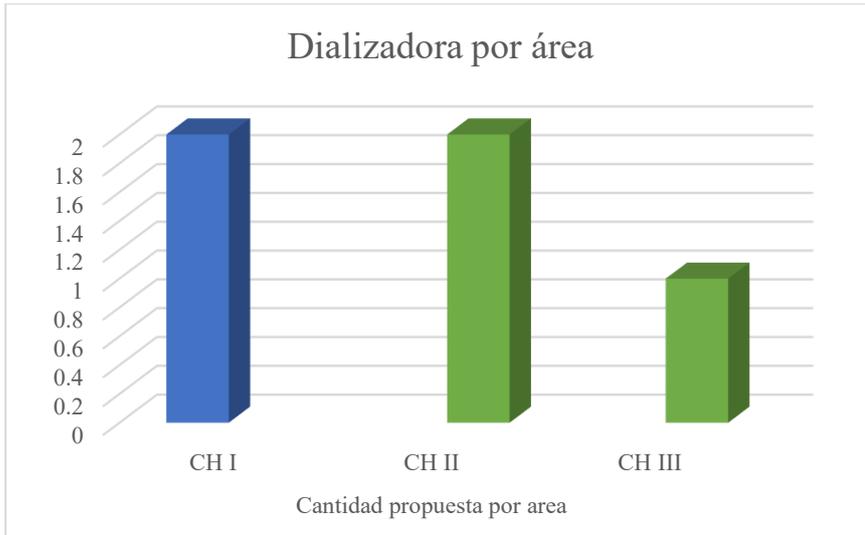


Figura 30. *Distribución de dializadora por área en chancado.*

4.5.4 Propuesta 4

Implementar código de colores e información numérica para la identificación de lubricantes (orientado al control de la ausencia de horas de trabajo de los equipos)

La implementación de código de colores e información numérica facilita el flujo de información acerca del lubricante; por lo mismo, se garantiza su uso correcto y en los sitios destinados a su control. En este sentido, es viable el uso de un método simple de etiquetado como es el caso del Sistema de Identificación de Lubricante (LIS) de Noria.

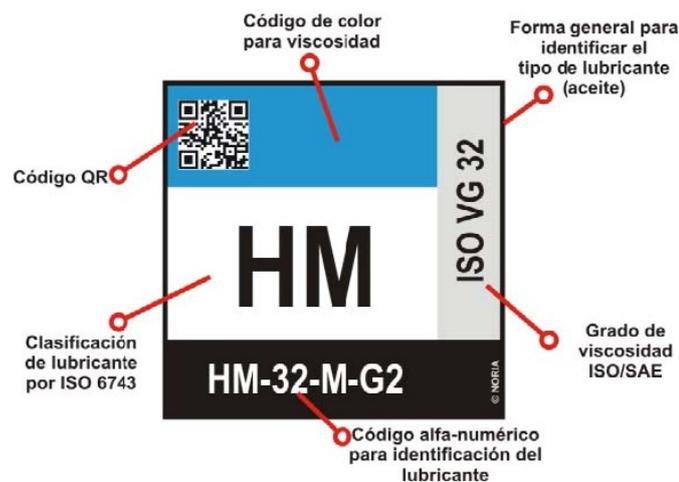


Figura 31. *Muestra de etiqueta lis para aceite.*

Se debe tener presente que el centro del etiquetado LIS contiene la designación del lubricante según ISO 6743 y contiene la formulación el tipo de aceite base, el grado de viscosidad asociado

a un color. El código alfa numérico dispone de cuatro secciones de clasificación o bloques que sustenta la identificación de lubricantes líquidos aceites.

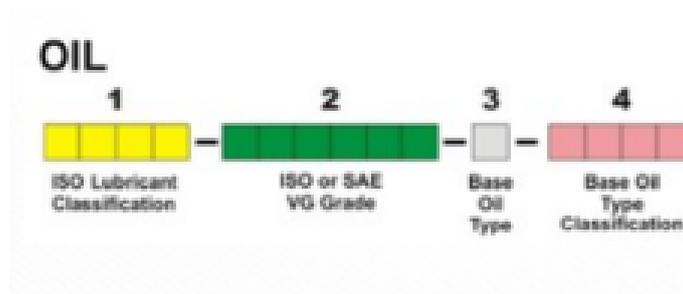


Figura 32. Código alfanumérico para aceites.

El mencionado sistema es apropiado y será utilizado en:

- Áreas de almacenamiento.
- Lubricantes almacenados.
- Contenedores de lubricantes.
- Contenedores de relleno.
- Carros de filtrado.
- Mangueras para relleno de lubricante
- Bombas de dosificación

4.5.5 Propuesta 5

Implementar el uso de estandarizado en etiquetas para las muestras de aceite y puntos de muestreo (orientado al buen control de la contaminación de los equipos por condición en los lubricantes)

El estandarizado de las etiquetas debe requerir lo siguiente:

- Nombre de la empresa.
- Lugar - área de trabajo.
- Modelo, serie y numero de la máquina.
- Horómetro.
- Tipo de aceite.
- Cambio de aceite.
- Cambió el filtro.

"TOME LA MUESTRA CON EL ACEITE CALIENTE"

CLIENTE		FECHA(dd/mm/aa)		MARCA/API/SAE DEL ACEITE	MUESTRA TOMADA DE:	
LUGAR DE TRABAJO		HOROMETRO/KILOMETRAJE		HORAS/Km DEL ACEITE	<input type="checkbox"/> Sist. Hidráulico	<input type="checkbox"/> Tomamesa
MODELO	SERIE	NUM.MAQUINA	MARCA DE LA MAQUINA	ACEITE AGREGADO galones(ga.)	<input type="checkbox"/> Dirección	<input type="checkbox"/> Tandem Derecho
Después de tomar la muestra:			ORDEN DE TRABAJO	CAPAC. DEL COMPART.	<input type="checkbox"/> Motor	<input type="checkbox"/> Tandem Izqdo.
Cambió Aceite?	Cambió Filtros?	Horómetro/Kilometraje del Compartimiento:			<input type="checkbox"/> Transmisión	<input type="checkbox"/> Compresor
SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	NOTA			<input type="checkbox"/> Eje/Dif. Delantero	<input type="checkbox"/> Rola
					<input type="checkbox"/> Eje/Dif. Posterior	<input type="checkbox"/> Circulo de Giro
					<input type="checkbox"/> M.F.D.D.	<input type="checkbox"/> Cab. de Rotación
					<input type="checkbox"/> M.F.D.I.	<input type="checkbox"/> Caja Marina
					<input type="checkbox"/> M.F.P.D.	<input type="checkbox"/> Tanque de Combustible
					<input type="checkbox"/> M.F.P.I.	
					<input type="checkbox"/> M.F. Derecho	
					<input type="checkbox"/> M.F. Izqdo.	

Figura 33. Muestra de una etiqueta referencial.

El muestreo de lubricantes requiere de la implementación de puntos de muestreo que garanticen una muestra representativa dentro del monitoreo del lubricante, esto con la finalidad de la predicción de fallas y prolongar la vida útil de la maquinaria.

Tabla 9. Cantidad y cotización de equipos para muestreo de lubricantes.

Detalle	Precio unitario			Requerimiento para la propuesta 5	
	Cantidad de equipos	Válvula de 1/2"	Niple 1/2"	Válvula de 1/2"	Niple 1/2"
Reductores	82	12	11,74	\$984	\$963
Tanques de lubricación	18	12	11,74	\$216	\$211
SUBTOTAL				\$1,200	\$1,174
TOTAL				\$	\$2,374.00

4.5.6 Propuesta 6

Manejo y aplicación de lubricantes (orientado al control del programa de lubricación)

El manejo de lubricantes requiere de accesorios para el izaje y traslado de lubricantes, lo indicado para controlar la ergonomía y la seguridad del trabajador. El izaje de cilindro determina el uso de una garra y abrazaderas para trasladar los lubricantes hasta su punto de dosificación. La tabla 10, establece la cantidad de accesorios para la manipulación y traslado de lubricantes.

Tabla 10. Cotización de accesorios y herramientas para manipulación de lubricantes.

Herramientas y accesorios para la manipulación de lubricantes		Precio unitario \$	Cantidad propuesta	Precio del requerimiento \$
Herramientas de izaje	Garras	370	2	740
	Abrazadera	545	2	1090
	Abrazadera con base	920	1	920
bombas de diafragma	bombas pequeñas	570	2	1140
	bombas grandes	1100	3	3300
galoneras con tapa	Importadas de 10 litros	35	15	525
	Nacionales de 10 litros	79	10	790
Monto requerido para la propuesta 6				8505

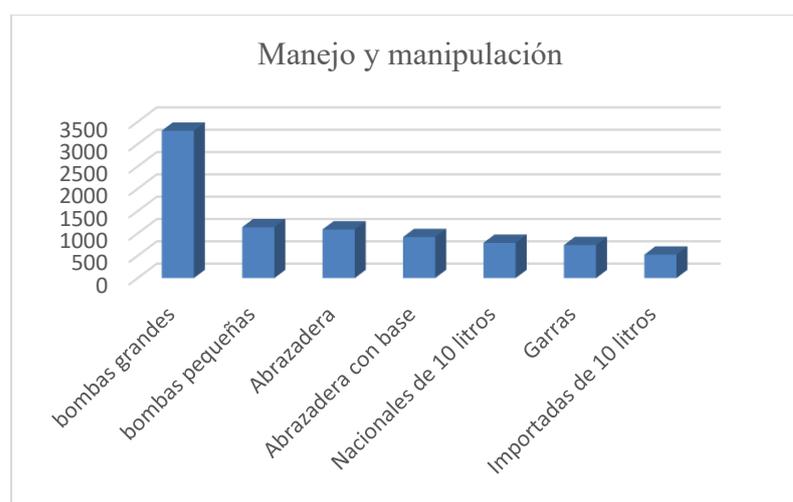


Figura 34. Herramientas y accesorios para manejo y manipulación de lubricantes.

4.5.7 Costos totales de las propuestas

En base a los valores estimados dentro de cada una de las 6 propuestas es factible el siguiente detalle:

Tabla 11. Costos totales de las propuestas.

PROPUESTA	COSTO	AMBITO DE ACCIÓN	OBSERVACIÓN
PROPUESTA 1	\$25,340	Áreas de almacenamiento temporal	
PROPUESTA 2	\$	Cambio de lubricantes con el uso de zarandas	Se considera como un valor no significativo, pues es factible su desarrollo como parte de las labores de mantenimiento de chancado.
PROPUESTA 3	\$173,000	Sistema de filtrado	
PROPUESTA 4	\$	Código de colores en la identificación de lubricantes	Se considera como un valor no significativo, pues es factible su desarrollo como parte de las labores de mantenimiento de chancado.
PROPUESTA 5	2,374	Uso estandarizado de etiquetas para los muestreos	
PROPUESTA 6	\$8,505	Manejo de lubricantes	
TOTAL	\$209,219		

Un aspecto a considerar dentro las propuestas estimadas son los ahorros que su implementación son capaces de generar. En este sentido, es válido citar la reducción de la cantidad de aceite que usualmente se utiliza y la consecuente disminución del consumo de aceite, en los valores de mantenimiento anual del área de zarandas secas, chancado primario y chancado secundario. Por lo tanto, se plantea un tiempo de análisis de 5 años (tiempo estimado en un proyecto), en el cual, el ahorro es el siguiente:

Tabla 12. Ahorro generado por la disminución de frecuencia de cambio aceite en las chancadoras secundarias.

AHORRO CONSUMO DE ACEITE CHANCADO SECUNDARIO			
PERIODO	COSTO ACTUAL \$	COSTO NUEVO \$	AHORRO \$
AÑO 1	105,600.00	37,120	68,480.00
AÑO 2	105,600.00	37,120	68,480.00
AÑO 3	105,600.00	37,120	68,480.00
AÑO 4	105,600.00	37,120	68,480.00
AÑO 5	105,600.00	37,120	68,480.00
		Total	342,400.00

Tabla 13. Ahorro generado por la disminución de frecuencia de cambio aceite en las chancadoras primarias.

AHORRO CONSUMO DE ACEITE CHANCADO PRIMARIA			
PERIODO	COSTO ACTUAL \$	COSTO NUEVO \$	AHORRO \$
AÑO 1	25,300.00	5,440.00	19,860.00
AÑO 2	25,300.00	5,440.00	19,860.00
AÑO 3	25,300.00	5,440.00	19,860.00
AÑO 4	25,300.00	5,440.00	19,860.00
AÑO 5	25,300.00	5,440.00	19,860.00
Total			99,300.00

Tabla 14. Ahorro generado por la disminución del volumen de aceite usado en los excitadores de zarandas secas.

AHORRO CONSUMO DE ACEITE EN ZARANDAS SECAS			
PERIODO	COSTO ACTUAL \$	COSTO NUEVO \$	AHORRO \$
AÑO 1	10,000.00	6,664.00	3,336.00
AÑO 2	10,000.00	6,664.00	3,336.00
AÑO 3	10,000.00	6,664.00	3,336.00
AÑO 4	10,000.00	6,664.00	3,336.00
AÑO 5	10,000.00	6,664.00	3,336.00
Total			16,680.00

4.5.8 Costos beneficio de las propuestas

$$B/C = \frac{\text{BENEFICIOS (POSITIVOS - NEGATIVOS)}}{\text{COSTOS}} \quad (7)$$

En consecuencia, existe un ahorro en base a la disminución del consumo de aceite en las áreas de zarandas secas de \$16,680.00, en chancado primario un ahorro de \$99,300.00 y en chancado secundario un ahorro de \$342,400.00, en un periodo de 5 años. El mencionado valor es factible, ya que el resultado del beneficio entre el costo es igual a 2.19, siendo mayor a 1, lo que significa que los beneficios superan los costos y las propuestas presentadas en este proyecto son viables. Cabe mencionar que el proyecto tiene un costo de \$209,219.00, dicha inversión del proyecto se podrá recuperar en un periodo de 28 meses.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se realizó el diagnóstico de la situación actual del área de chancado en una empresa minera de Arequipa en 2024, permitiendo identificar aspectos clave relacionados con la eficiencia operativa y la confiabilidad de los equipos utilizados mediante un análisis detallado de los procesos. Se detectaron áreas críticas, la frecuencia de fallas, los tiempos de inactividad no planificados y la falta de un mantenimiento preventivo adecuado. Se observó la necesidad de optimizar el uso de lubricantes y la gestión de insumos en el proceso de chancado, lo cual impactó directamente en la productividad y los costos operativos. El diagnóstico inicial proporcionó una base sólida para el desarrollo de acciones y estrategias de control y mejora que abordarán de manera efectiva las deficiencias encontradas; es decir, se sustentó un plan de acción enfocado en incrementar la eficiencia, reducir los costos operativos y mejorar la confiabilidad de los equipos en el área seca de chancado.

Se midió el impacto de la lubricación en las plantas concentradoras del área de chancado, lo que reveló que la correcta gestión de los lubricantes era esencial para el rendimiento óptimo de los equipos. La investigación mostró que el uso de lubricantes de alta calidad y la frecuencia adecuada en los cambios contribuyeron a reducir la fricción y el desgaste de las piezas móviles, mejorando así la confiabilidad y eficiencia operativa, se identificó que las prácticas inadecuadas de lubricación generaron un aumento de los costos operativos debido a fallas imprevistas en los equipos y la necesidad de reemplazar componentes con mayor frecuencia. La medición del impacto demostró que la implementación de un proceso de lubricación estandarizado y bien gestionado prolongó significativamente la vida útil de los equipos, redujo los tiempos de inactividad y, en consecuencia, mejoró la productividad y disminuyó los costos derivados del mantenimiento correctivo.

La identificación de las causas de los problemas en la lubricación del área de chancado permitió detectar varios factores clave. Entre las causas principales se encontraron la falta de estandarización en los procedimientos de lubricación, el uso de lubricantes inadecuados para las condiciones operativas específicas del proceso de chancado y la ausencia de un sistema de monitoreo que permitiera evaluar en tiempo real la condición de los lubricantes y los equipos, se detectaron deficiencias en el mantenimiento preventivo, con intervalos irregulares o poco frecuentes en los cambios de lubricantes; lo que causó un deterioro prematuro de las piezas y un mayor riesgo de fallas, la falta de capacitación y sensibilización en las prácticas adecuadas

de lubricación contribuyó al manejo ineficiente de los lubricantes, la identificación de estas causas permitió focalizar las intervenciones necesarias para mejorar la gestión de la lubricación, lo que resultó en una mayor confiabilidad operativa en el área de chancado.

Se propusieron acciones de mejora para optimizar el proceso de lubricación en el área de chancado, orientadas a garantizar una mayor confiabilidad y eficiencia operativa. En este sentido, se determinaron propuestas encaminadas al control de las causas previamente identificadas como relevantes en el problema. En esa línea, la propuesta 1 se orientó a los potenciales derrames de hidrocarburos y en la contaminación del lubricante; la propuesta 2 se direccionó al ineficiente método de trabajo y malas prácticas de lubricación; la propuesta 3 se enfocó a los intervalos de lubricación inadecuados, consumo energético y ausencia de sistema de filtrado de aceite); la propuesta 4 se asoció sobre el control de la ausencia de horas de trabajo de los equipos; la propuesta 5 gestionó del calentamiento de equipos por exceso o falta de lubricante; finalmente, la propuesta 6 se adecuó al control del programa de lubricación.

Con lo indicado, entre las acciones clave se incluyó la implementación de un sistema avanzado de filtrado para eliminar impurezas de los lubricantes, lo que contribuyó a reducir el desgaste de los equipos y prolongó su vida útil, se propuso la creación de un programa de mantenimiento preventivo que regulara de manera eficiente los intervalos de cambio de lubricantes y garantizara el uso de productos adecuados a las condiciones específicas del proceso de chancado.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda implementar un plan de acción integral que contemple la estandarización de los procesos operativos, la mejora del mantenimiento preventivo y el uso de tecnologías de monitoreo en tiempo real para detectar fallas antes de que ocurran. Es importante capacitar al personal en las mejores prácticas de gestión de insumos y lubricantes con el objetivo de reducir los costos operativos y mejorar la productividad del área de chancado.

Se recomienda la implementación de un programa de lubricación estandarizado y bien gestionado, que incluya el uso de lubricantes de alta calidad y una programación adecuada de cambios. Se debe invertir en sistemas de monitoreo de la condición de los lubricantes para asegurar su efectividad y prevenir fallas prematuras en los equipos. Es crucial fomentar la capacitación del personal en las mejores prácticas de lubricación para garantizar su correcta aplicación y maximizar los beneficios operativos.

Se recomienda gestionar procedimientos estandarizados de lubricación que estén alineados con las condiciones operativas específicas del proceso de chancado. Se recomienda la instalación de un sistema de monitoreo continuo de la condición de los lubricantes y equipos, así como la capacitación continua del personal en el manejo eficiente de los lubricantes. Debe establecerse un programa riguroso de mantenimiento preventivo para garantizar la correcta aplicación de los lubricantes y prolongar la vida útil de los equipos.

Se recomienda realizar auditorías periódicas para evaluar la efectividad de las acciones implementadas y hacer ajustes cuando sea necesario, se debe asegurar la capacitación constante del personal para que se mantengan actualizados en las mejores prácticas y en el uso adecuado de las tecnologías implementadas, garantizando así la sostenibilidad de las mejoras a largo plazo. Por lo demás, el contenido de las 6 propuestas es factible sean sujetas de una mejora a medida que sea sujeta de un análisis por parte de los responsables de los procesos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKCAN, S. y CAYIRI, E. (2020). Los estudios de mejora de procesos para aumentar la productividad en una instalación de producción de tejidos impresos. [En línea] 2020.

BALLEN, J. y PINEDA, D. (2023). Diseño de estrategias para el mejoramiento del proceso de generación de ordenes de servicio de mantenimiento para una empresa de seguridad electrónica. [En línea] 2023. [Fecha de consulta: 12 de enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/3949>.

MINARIA SOSTIBLE. El 45% de la economía mundial está impulsada por el sector minero. [En línea] 2023. Madrid: s.n., 2022. [Fecha de consulta: 12 de enero 2024]. Disponible en: <https://minariasostible.gal/es/economia-mundial-y-el-sector-minero/>

CAMPBELL, J. (2022). Manual de confiabilidad. [En línea] 2022. [Fecha de consulta: 20 de enero 2024]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/manual-deconfiabilidadespaol-compress/251301792>

CASTRO, F. (2020). Mejora de procesos para incrementar la productividad en la empresa JHODYPAC FILE EIRL. [En línea] 2020. [Fecha de consulta: 16 de febrero 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/130024>

CUEVA, J. (2021). Propuesta de un modelo de gestión por procesos para mejorar la productividad del área de producción de la empresa ladrillera la Ximena. Cauca. [En línea] 2021. [Fecha de consulta: 10 de febrero 2024]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/0a635124-cff1-4c46-8e57-eeb30bdd3187/content>

GARCÍA, R. (2023). Improvement proposal to increase performance by applying redesign of stations and work methods together with a preventive maintenance plan in a LPG bottling machine. [En línea] 2023.

GUILLEN, F. (2023). Propuesta de mejora para la gestión de las actividades de lubricación en planta concentradora de Minera Chinalco Perú SA. Junín. [En línea] 2023. [Fecha de consulta: 10 de marzo 2024]. Disponible en: <https://repositorio.epnewman.edu.pe/handle/20.500.12892/634>

Hernández, L. (2019). Influencia de la velocidad de avance y la lubricación en el acabado superficial en un proceso de cilindrado. [En línea] 2019. [Fecha de consulta: 06 de marzo 2024] Disponible en: [/https://3ciencias.com/wp-content/uploads/2019/10/INFLUENCIA-DE-LA-VELOCIDAD-DE-AVANCE.pdf](https://3ciencias.com/wp-content/uploads/2019/10/INFLUENCIA-DE-LA-VELOCIDAD-DE-AVANCE.pdf)

Herrera, P. 2023. Plant-Based Oils for Sustainable Lubrication Solutions—Review. 2023.

ARROYO, S. y OBANDO, F. (2022) Importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos. Rev. E-IDEA Journal of Engineering Science, Vol. 04, págs. 59-69. [Fecha de consulta: 06 de marzo 2024] Disponible en: <https://doi.org/10.53734/esci.vol4.id240>

LIZANA, N. y ELÍAS, C. (2022). repositorio.ucv.edu.pe. Plan de mantenimiento preventivo para aumentar la productividad de la Empresa el Tiempo Piura- 2022. [En línea] 2022. [Fecha de consulta: 06 de marzo 2024] Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/95473>.

MAMANI, R., REYES, E. y VARGAS, G. (2023). Sistematización del proceso de operación, mantenimiento de equipos y la satisfacción de los usuarios de la empresa OBREX. [En línea] 2023. [Fecha de consulta: 12 de marzo 2024] Disponible en: <https://repositorio.upci.edu.pe/handle/upci/974>.

MAFLA, C., CASTEJON, C. y RUBIO, G. (2022). Mantenimiento preventivo en tractores agrícolas. Propuesta de Metodología orientada al mantenimiento conectado. ISSN 1137-2729, Vol. 26, N° 1, 2022, págs. 63-76. Rev. Iberoamericana de Ingeniería Mecánica. [En línea]. [Fecha de consulta: 10 de febrero 2024] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=1772>

MARTÍNEZ, C. (2020). Proyecto de mejora de la productividad de una línea de producción en una empresa del sector químico. . [En línea] 2020. [Fecha de consulta: 04 de febrero 2024] Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/10251/170023/1/Estelles%20-%20Proyecto%20de%20mejora%20de%20la%20productividad%20de%20una%20linea%20de%20produccion%20en%20una%20empresa%20del%20s....pdf>

MENDOZA, A. (2023). Regulation of Oil Biosynthesis and Genetic Improvement in Plants: Advances and Prospects. [En línea] 2023.

DÍAZ, T., PAREDES, I. y DE LA CRUZ, L. (2022) Metodología de la Investigación Científica. 04, 2022, Rev. Dialnet, Vol. 15, págs. 55-60.

MISHTI, O. y SUASNABAR, H. (2019). Mejora de la gestión de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad, en la línea de chancado de la planta concentradora compañía Minera Lincuna S.A. Ancash. [En línea] 2019. [Fecha de consulta: 06 de abril de 2024] Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/13979>

MOUBRAY, J. (1999). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Reino Unido: s.n., 1999. [Fecha de consulta: 03 de marzo de 2024] Disponible en: <https://soporteycia.com/system/files/articulos-pdf/rcm-articulo-mantenimiento-centrado-confiabilidad-03-dic-2021.pdf>

RUMBO MINERO. (2022). La minería en Arequipa: Oportunidades y amenazas para el desarrollo. [En línea] 2022.

PAGLIARO. (2020). Metodología de la Investigación. [En línea] 2020. [Fecha de consulta: 20 de marzo de 2024] Disponible en: [+metodologia+de+la+investigaci%C3%B3n&form=ANNTH1&refig=5408e2bafdf6443b9f0802ebdbd471a9](https://www.repositorio.cebsa.int/bitstream/handle/10665/330602/1/9789291041997es.pdf) Metodología de la Investigación.

PAULO, B. (2023). Herramientas de calidad y gestión de procesos. Buenos Aires. [En línea] 2023. Clube de Autores. [Fecha de consulta: 12 de marzo de 2024] Disponible en: <https://es.everand.com/book/694261331/Herramientas-De-Calidad-Y-Gestion-De-Procesos>

PERUMIN. (2023). El futuro de la minería y su impacto en la economía. Lima: s.n., 2023.

QUINTANA, A. (2021). Mejora de procesos para el incremento de la productividad de picking en un centro de distribución de Huachipa. Huachipa, [En línea] 2021. [Fecha de consulta: 12 de marzo de 2024] Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12724/13788>

QUISPE, E. (2023). A review of modeling and control strategies for cone crushers in the mineral processing and quarrying industries. [En línea] 2023.

REYES. (2023). Experimental Study on the Lubrication and Cooling Effect of Graphene in Base Oil for Si3N4/Si3N4 Sliding Pairs. . [En línea] 2023.

REVISTA JESUITA DE CULTURA SOCIAL (2022). La minería en Arequipa: oportunidades y amenazas para el desarrollo. s.n., 2022. [Fecha de consulta: 10 de febrero de 2024] Disponible en: <https://intercambio.pe/la-mineria-en-arequipa-oportunidades-y-amenazas-para-el-desarrollo/>

Silva, J. 2023. The role of sustainable oil maintenance on lubrication system reliability. [En línea] 2023.

SILVA, Karla. (2020). <https://tiposdeinvestig.blogspot.com/2020/>. Tipos de investigación. [En línea] 2020. [Fecha de consulta: 13 de febrero de 2024] Disponible en: <https://tiposdeinvestig.blogspot.com/2020/>.

TORO, L. (2023). Lubrication characteristics of wax esters from oils produced by a genetically-. [En línea] 2023.

VALVERDE, D. (2021). repositorio.unac.edu.pe. Plan de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada en Minera Chinalco S.A. [En línea] Universidad Nacional del Callao, 2021. [Fecha de consulta: 16 de febrero de 2024] Disponible en: http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/5884/TESIS_MAESTR%C3%8DA_VALVERDE%20OBREGON_FIME_2021.pdf.

WIN. (2020). Mantenimiento Win. [En línea] 2020. [Fecha de consulta: 16 de febrero de 2024] Disponible en: <https://mantenimiento.win/>.

ANEXOS

Anexo N° 01. Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
General	General		
¿Cuál es el proceso significativo que se debe controlar para el incremento de la confiabilidad de una Planta Concentradora del área seca de chancado de una empresa minera en la región de Arequipa?	Desarrollar una propuesta de mejora en el proceso de lubricación en una planta concentradora para incrementar la confiabilidad en el área de chancado en una empresa del sector minero Arequipa 2024.	V.I.: Propuesta de mejora en el proceso de lubricación	Alcance: Descriptivo
Específicos	Específicos		
¿Cuál es el estado operativo del proceso de chancado de una empresa del sector minero en la Región de Arequipa, en el 2024?	Realizar el diagnóstico de la situación actual del área de chancado en una empresa del sector minero Arequipa 2024.	D1: Calidad de lubricación	Nivel: No Experimental
¿Cómo se establece el impacto del proceso de lubricación en la Planta Concentradora del área seca de chancado de una empresa del sector minero en la Región de Arequipa, en el 2024?	Medir el impacto de lubricación en plantas concentradoras en el área de chancado en una empresa del sector minero Arequipa 2024.	D2: Frecuencia de lubricación V.D.: Confiabilidad	
¿Cuáles son los motivos de los problemas encontrados en la lubricación de una Planta Concentradora en el área seca de chancado de una empresa del sector minero en la Región de Arequipa, en el 2024?	Identificar las causas de los problemas encontrados en la lubricación del área de chancado en una empresa del sector minero Arequipa 2024.	D1: Eficiencia	
¿Qué acciones se deben realizar en el proceso de lubricación para motivar el incremento de la confiabilidad del área seca de chancado del sector minero, en el 2024?	Proponer las acciones de mejora en la lubricación para incrementar la confiabilidad en el área de chancado en una empresa del sector minero Arequipa 2024.	D2: Disponibilidad	