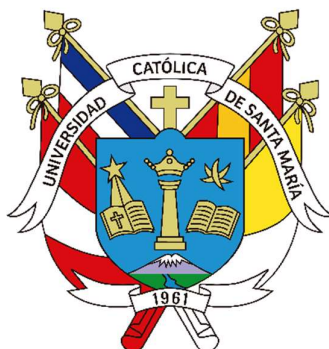


Universidad Católica de Santa María
Escuela de Postgrado
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento



**Relación entre el análisis tribológico (*Particle Quantifier Index*) y los
costos de mantenimiento en los equipos de extracción minera, para el
caso de una empresa minera del sur del Perú**

Tesis presentada por el Bachiller:

Gonzales Wong, Reynaldo Edward

ORCID: 0009-0007-2636-2260

para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería de Mantenimiento

Asesor:

Dr. Ticse Villanueva, Edwing Jesús

ORCID: 0000-0003-1684-5617

Arequipa - Perú

2025

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA DE POSTGRADO
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 21 de Mayo del 2025

Dictamen: 012854-C-EPG-2025

Visto el borrador del expediente 012854, presentado por:

2023003511 - GONZALES WONG REYNALDO EDWARD

Titulado:

**RELACIÓN ENTRE EL ANÁLISIS TRIBOLÓGICO (PARTICLE QUANTIFIER INDEX) Y LOS COSTOS
DE MANTENIMIENTO EN LOS EQUIPOS DE EXTRACCIÓN MINERA, PARA EL CASO DE UNA
EMPRESA MINERA DEL SUR DEL PERÚ**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29267647 - VALENCIA BECERRA ROLARDI MARIO
DICTAMINADOR**



**29278441 - PACHECO OVIEDO ABRAHAM ARTURO
DICTAMINADOR**



**29440909 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS
DICTAMINADOR**



RELACIÓN ENTRE EL ANÁLISIS TRIBOLÓGICO (PARTICLE QUANTIFIER INDEX) Y LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO EN LOS EQUIPOS DE EXTRACCIÓN MINERA, PARA EL CASO DE UNA EMPRESA MINERA DEL SUR DEL PERÚ

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%	12%	2%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	4%
	Trabajo del estudiante	
2	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
3	mineriamoderna.net	1%
	Fuente de Internet	
4	www.valborsoluciones.com	1%
	Fuente de Internet	
5	www.escuelaindustrialesupm.com	1%
	Fuente de Internet	
6	journalingeniar.org	1%
	Fuente de Internet	
7	www.researchgate.net	1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.upn.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
9	revistas.unica.cu	1%
	Fuente de Internet	
10	repositorio.upct.es	1%
	Fuente de Internet	

DEDICATORIA

A mi esposa, por su apoyo incondicional, paciencia y siempre animarme a seguir adelante a pesar de los momentos más difíciles.

A mis hijos, que son fuente inagotable de motivación, quienes son el impulso que necesito para ser mejor cada día.

A mis padres, porque sigo su ejemplo de esfuerzo, honestidad y perseverancia.

A mi querida familia, porque siempre están presentes en cada paso que doy por pequeño que sea.

Esta conquista no es exclusiva mía, sino de todos ustedes, quienes han sido y continuarán siendo el cimiento esencial de mi crecimiento personal y laboral.

Con todo mi cariño y gratitud.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien con su mano poderosa y su amor infinito me ha acompañado en cada momento de mi vida.

Durante los días difíciles me dio fortaleza, en los momentos de incertidumbre me dio claridad y en las pruebas me mostró que nunca me abandona.

Este logro demuestra que todo es posible cuando Él está con nosotros.



RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal determinar la relación entre el análisis tribológico (*Particle Quantifier Index*) y los costos de mantenimiento en la industria extractiva en una mina del sur del Perú, durante el período 2021-2023. En base a ello, se plantea la hipótesis de que existe una relación entre el análisis tribológico (*Particle Quantifier Index*) y los costos de mantenimiento en la unidad minera durante dicho período. Metodológicamente, la investigación es aplicada, con un diseño no experimental de corte transversal y un enfoque correlacional. La población estuvo compuesta por 387 colaboradores que pertenecen al área de mantenimiento. A través de un muestreo por conveniencia, se seleccionó una muestra de 16 colaboradores de la unidad minera investigada, los resultados de la investigación confirmaron que existe una relación entre el análisis tribológico (*Particle Quantifier Index*) y los costos de mantenimiento en la industria minera durante el periodo de estudio. En cuanto a la percepción de los colaboradores del área de mantenimiento, el 87.50% considera que el análisis tribológico realizado es adecuado y un 93.75% opina que los costos de mantenimiento se gestionan correctamente. Esto debido a la existencia de un plan de conservación de equipos y un plan de trabajo bien estructurado en el área de mantenimiento, esto asegura la presencia del personal cuando es necesario, la empresa asigna un presupuesto para el mantenimiento de los equipos y mantiene un control adecuado de ellos en las distintas áreas.

Palabras clave: Tribología, costos, mantenimiento, minería.

ABSTRACT

The main objective of this research is to determine the relationship between the tribological analysis (Particle Quantifier Index) and maintenance costs in the extractive industry in a mine in southern Peru, during the period 2021-2023. Based on this, it is hypothesized that there is a relationship between the tribological analysis (Particle Quantifier Index) and the maintenance costs in the mining unit during that period. Methodologically, the research is applied, with a non-experimental cross-sectional design and a correlational approach. The population was made up of 387 employees who belong to the maintenance área. Through convenience sampling, a sample of 16 collaborators from the investigated mining unit was selected, the results of the research confirmed that there is a relationship between the tribological analysis (Particle Quantifier Index) and maintenance costs in the mining industry during the study period. Regarding the perception of the employees of the maintenance area, 87.50% consider that the tribological analysis carried out is adequate and 93.75% believe that maintenance costs are managed correctly. This is due to the existence of an equipment conservation plan and a well-structured work plan in the maintenance area, this ensures the presence of personnel when necessary, the company assigns a budget for the maintenance of the equipment and maintains adequate control of them in the different areas.

Keywords: Tribology, costs, maintenance, mining.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTOS.....	
RESUMEN	
ABSTRACT	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema de Investigación.....	2
1.1.1. <i>Enunciado del Problema</i>	2
1.2. Descripción del Problema.....	5
1.2.1. <i>Métodos de Investigación</i>	5
1.2.2. <i>Diseño de Investigación</i>	5
1.3. Justificación de la Investigación.....	6
1.4. Hipótesis	7
1.5. Objetivos del Estudio.....	7
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	7
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	7
1.6 Tipo de Investigación.....	7
1.7. Variables	8
1.7.1. <i>Variable Independiente: Análisis Tribológico</i>	8
1.7.2. <i>Variable Dependiente: Costos de Mantenimiento</i>	8
1.7.3. <i>Operacionalización de Variables</i>	8
1.7.4. <i>Matriz de Consistencia</i>	10
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	11
2.2. Análisis Tribológico	13
2.2.1. <i>Definición</i>	13
2.2.2. <i>Elementos del Análisis Tribológico</i>	15
2.2.3. <i>Las Ventajas y Desventajas del Análisis Tribológico</i>	18
2.2.4. <i>Interpretación del Análisis de Aceite</i>	19
2.3. Costos de Mantenimiento	20
2.3.1. <i>Tipos de Costos de Mantenimiento</i>	21

2.4. Taxonomía de los Activos Físicos	22
2.4.1. Definición de Taxonomía o Árbol de Equipos	23
2.5. Norma ISO 14224	23
2.5.1. Definición de Equipo	28
2.5.2. Definición de Sistema	28
2.5.3. Definición de Subsistema	28
2.5.4. Definición de Componente/Ítem Mantenible	28
2.5.5. Definición de Parte	28
2.6. Pala eléctrica 4100XPC	29
2.7. Definición de Términos Básicos	30
3. METODOLOGÍA	32
3.1. Tipos de Investigación	32
3.2. Unidad y Objeto de Investigación	32
3.3. Tipo de Información	33
3.3.1. Fuente de Información Primaria	33
3.3.2. Fuentes de Información Secundaria	33
3.4 Población y Muestra	33
3.4.1. Población	33
3.4.2. Muestra	33
3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	34
3.5.1. Técnicas	34
3.5.2. Instrumento	34
3.6. Técnicas de Procedimiento y Análisis de Datos	34
4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	35
4.1 Presentación de Resultados	35
4.2 Presentación y Discusión de los Resultados	45
4.3 Reportes en Análisis Tribológico	46
4.3.1. Reporte de Resultados de Análisis de Lubricante (I)	46
4.3.2. Reporte de Resultados de Análisis de Lubricante (II)	53
4.3.3. Reporte de Resultados de Análisis de Lubricante (III)	60
4.4 Beneficios	66
4.4.1. Beneficios Directos	66

4.4.2. Beneficios indirectos.....	67
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	76



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	9
Tabla 2 Matriz de consistencia	10
Tabla 3 Taxonomía de la Pala A (componente tema de estudio caja de levante)	26
Tabla 4 Personal de mantenimiento de la empresa minera	33
Tabla 5 Resultados de la dimensión PQI.....	35
Tabla 6 Resultados de la dimensión fricción.....	36
Tabla 7 Resultados de la dimensión desgaste.....	37
Tabla 8 Resultados de la dimensión lubricación	38
Tabla 9 Resultados de la variable análisis tribológico	39
Tabla 10 Resultados de la dimensión mano de obra	40
Tabla 11 Resultados de la dimensión uso de materiales	41
Tabla 12 Resultados de la dimensión uso de servicios.....	42
Tabla 13 Resultados de la dimensión mantenimiento de equipos	43
Tabla 14 Resultados de la variable costos de mantenimiento	44
Tabla 15 Ensayos de laboratorio	46
Tabla 16 Datos generales del reporte (I)	46
Tabla 17 Resultados de la salud del combustible (normal).....	47
Tabla 18 Resultados de la contaminación del combustible (alarma)	49
Tabla 19 Resultados del desgaste del combustible (regular).....	51
Tabla 20 Ensayos de laboratorio	53
Tabla 21 Datos generales del reporte (II)	53
Tabla 22 Resultados de la salud del combustible (normal).....	54
Tabla 23 Resultados de la contaminación del combustible (alarma)	56
Tabla 24 Resultados del desgaste del combustible (crítico).....	58
Tabla 25 Ensayos de laboratorio	60
Tabla 26 Datos generales del reporte (III).....	60
Tabla 27 Resultados de la salud del combustible (normal).....	61
Tabla 28 Resultados de la contaminación del combustible (alarma)	63
Tabla 29 Resultados del desgaste del combustible (crítico).....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Nivel de Taxonomía Activos Físicos Norma ISO 14224	24
Figura 2 Taxonomía Subdivisión Equipo Mecánico Siete Niveles Adaptado. 2016)	25
Figura 3 Transmisión de levante	29
Figura 4 Transmisión de empuje	29
Figura 5 Transmisión de giro.....	30
Figura 6 Transmisión de propulsión.....	30
Figura 7 Resultados de la dimensión PQI	35
Figura 8 Resultados de la dimensión fricción	36
Figura 9 Resultados de la dimensión desgaste	37
Figura 10 Resultados de la dimensión lubricación.....	38
Figura 11 Resultados de la variable análisis tribológico	39
Figura 12 Resultados de la dimensión mano de obra	40
Figura 13 Resultados de la dimensión uso de materiales	41
Figura 14 Resultados de la dimensión uso de servicios	42
Figura 15 Resultados de la dimensión mantenimiento de equipos.....	43
Figura 16 Resultados de la variable costos de mantenimiento.....	44
Figura 17 Gráfico de viscosidad (normal).....	48
Figura 18 Gráfico de aditivos (normal)	48
Figura 19 Gráfico de contaminación por Silicio y Sodio (seguimiento).....	50
Figura 20 Gráfico de contaminación por Litio (normal)	50
Figura 21 Gráfico de desgaste (regular)	52
Figura 22 Gráfico de viscosidad (normal).....	55
Figura 23 Gráfico de aditivos (normal)	55
Figura 24 Gráfico de contaminación por Silicio y Sodio (normal).....	57
Figura 25 Gráfico de contaminación por Litio (normal)	57
Figura 26 Gráfico de contaminación (crítico)	59
Figura 27 Gráfico de viscosidad (normal).....	62
Figura 28 Gráfico de aditivos (normal)	62
Figura 29 Gráfico de contaminación por Silicio y Sodio (normal).....	64
Figura 30 Gráfico de contaminación por Litio (normal)	64
Figura 31 Gráfico de contaminación (crítico)	66

ÍNDICE DE ANEXOS

Cuestionario de Análisis Tribológico	77
Cuestionario de Costos de Mantenimiento	78



1. INTRODUCCIÓN

La unidad minera tiene los procesos de extracción, molienda y flotación de minerales de cobre para la producción de concentrado de cobre y molibdeno; luego mediante fundición y refinamiento se produce ánodos y cátodos de cobre. Como parte del proceso también se destaca una relevante producción de plata refinada y molibdeno, donde utiliza tecnología de extracción por solventes y electrodeposición (ESDE).

La estrategia de la empresa se enfoca en la producción de cobre, el control de los costos, la mejora de la producción y el mantenimiento de una estructura de capital prudente para sostener niveles de rentabilidad. Además, la empresa busca implementar la tecnología como el soporte principal para la continuidad de sus procesos.

Dentro de la operación destaca el uso de las palas eléctricas, equipos de grandes dimensiones que se encargan de mover grandes cantidades de mineral, su operatividad es muy importante dentro del proceso porque son parte del inicio de la cadena productiva motivo por el cual es fundamental su trabajo permanente. Con ello se asegura el cumplimiento de las metas y objetivos, la rentabilidad del negocio se relaciona con la disponibilidad de estos equipos.

Por ello aplican nuevas estrategias de mantenimiento, que permitan la continuidad de las operaciones. El mantenimiento predictivo con sus diferentes técnicas y herramientas permite identificar potenciales fallas en sus diferentes etapas, la tribología es la técnica de mayor uso por su efectividad.

El manejo adecuado de los costos de mantenimiento asegura una inversión correcta que garantice la continuidad de la operación, mejorando la eficiencia y seguridad de la operación, además de contribuir a su éxito y competencia en la industria.

El objetivo del trabajo de investigación es analizar el comportamiento de un equipo industrial y los factores que tienen influencia con la fricción, el desgaste y la lubricación, con la finalidad de generar estrategias y medidas preventivas de mantenimiento y lubricación, que permitirá optimizar la producción, garantizando mayor confiabilidad y rentabilidad.

La investigación tiene como objetivo establecer la relación directa entre la tribología (*Particle Quantifier Index*) y los costos de mantenimiento, identificando oportunidades para detectar fallas potenciales anticipándose a problemas mayores. Esto se logrará mediante el análisis y control de la salud, contaminación y desgaste de los lubricantes, con la finalidad

de mejorar la disponibilidad y el rendimiento de los equipos. Las estadísticas revelan que más del 75% de las fallas se deben a la contaminación del aceite lubricante.

Se ha consultado información de libros, revistas, tesis, páginas de internet especializadas de antecedentes que tienen relación con la tribología, los costos de mantenimiento, la lubricación y el mantenimiento industrial.

El estudio busca analizar la relación entre la tribología, el desgaste y el estado de la maquinaria con los costos operativos en una empresa minera. La investigación proporcionará información clave para mejorar su aplicación en la industria minera nacional. Para ello, se emplea un enfoque metodológico estructurado basado en técnicas cuantitativas que analizan el impacto tribológico en los costos de mantenimiento.

1.1 Problema de Investigación

Determinar la relación que existe entre el análisis tribológico (*Particle Quantifier Index*) y los costos de mantenimiento en los equipos de extracción minera, para el caso de una empresa minera del sur del Perú.

1.1.1. Enunciado del Problema

La tribología abarca los procesos de fricción, desgaste y lubricación de los cuerpos en contacto, fenómenos que en la práctica de ingeniería se analizaban por separado, la unión de estas ramas en una sola disciplina científico-técnica ha contribuido considerablemente en los últimos tiempos al desarrollo de los sistemas mecánicos (Castillo y Toapanta, 2019).

El índice PQI (*Particle Quantifier Index*, Índice Cuantificador de Partículas), es una forma de determinar de manera cuantitativa las partículas de desgastes ferrosas, provenientes del acero, hierro o algún tipo de aleación (Alvarez, 2015).

A nivel global, la tribología ha vivido un fuerte crecimiento. Se han desarrollado modelos de comportamiento de sistemas lubricados y herramientas de predicción muy potentes, apoyadas en el creciente desarrollo computacional y en el auge de los equipos de ensayo específicos. Se han perfeccionado los lubricantes y se ha generalizado el uso de materiales compuestos, poliméricos y cerámicos, así como de los recubrimientos, para mejorar las propiedades superficiales. El conocimiento generado se ha aplicado a evitar la aparición de fallas en máquinas, mejorar su eficiencia energética y ralentizar los fenómenos de desgaste. Como consecuencia, se ha conseguido economizar en materias primas y reducir la necesidad de mantenimiento y reparación. Por ejemplo, en el último medio siglo, la tribología ha sido decisiva para disminuir a la mitad el consumo de combustible de vehículos

con motor de explosión, cada uno de los cuales puede contener miles de contactos tribológicos. Si tenemos en cuenta el incremento de uso de vehículos, es fácil comprender que el impacto global ha sido inmenso. Además, el ahorro energético ha ido acompañado de la disminución de emisiones, tanto de efecto invernadero como de otros contaminantes, con un efecto directo en la calidad del aire y la salud de las personas. (Echávarri et al., 2022).

En América Latina, no se ha desarrollado de forma adecuada salvo casos puntuales. Sin embargo, debería ser la región que más invierte en el desarrollo de la tecnología ya que es petrolera y minera por excelencia, esta condición debería incentivar para crear nuevas soluciones. Cuba ha tenido un modesto desarrollo en la tribología, como disciplina se ha incorporado en la carrera de Ingeniería Mecánica y también forma parte de algunos postgrados de mantenimiento. En México y Bolivia se han propuesto a inicios del siglo XXI crear centros alineados a la tribología para tener profesionales e instituciones comprometidas con el desarrollo nacional. Finalmente, en las últimas décadas casi todos los países latinoamericanos tienen sus propios planes de inversión en el desarrollo de esta ciencia, sin embargo, los criterios locales aún no se alinean con los intereses de la región (López, 2017).

A nivel local, en la unidad minera que se ubica en el sur del Perú en la región Tacna, se dedica a extraer recursos minerales, para transformarlos y comercializarlo a nivel mundial, es responsable con la sociedad y el medio ambiente. Dentro de sus instalaciones tiene equipos de extracción de gran envergadura, palas P&H 4100, Bucyrus 495, CAT 7495; cuyo trabajo es retirar el material de desbroce y depositarlo en unidades de 420t. Estos equipos dentro de sus sistemas tienen cajas de transmisión mecánicas que se encargan de hacer los diferentes movimientos, estos equipos son monitoreados de acuerdo a un programa de toma de muestras para determinar el estado de salud del lubricante y las partes internas del componente.

El análisis de costos y presupuesto es fundamental para una eficiente gestión financiera en la industria minera. Este proceso consiste en identificar y evaluar los costos asociados a la extracción y procesamiento de minerales, así como a las actividades de mantenimiento y operación de la mina. Mediante un análisis detallado, es posible determinar los costos directos e indirectos de cada etapa del proceso minero, lo que permite tomar decisiones informadas para optimizar los recursos disponibles. Para llevar a cabo un análisis de costos efectivo, es necesario contar con información precisa y actualizada sobre los insumos, equipos, mano de obra y otros recursos necesarios para la operación minera. Además, es importante considerar los costos ambientales y sociales, como el cumplimiento

de regulaciones ambientales y la responsabilidad social corporativa. Un presupuesto adecuado es el resultado del análisis de costos y permite establecer metas financieras realistas para el proyecto minero. El presupuesto debe contemplar los ingresos esperados, los gastos proyectados y los márgenes de beneficio deseados. Al contar con un presupuesto bien estructurado, se pueden tomar decisiones financieras más acertadas y se evitan sorpresas desagradables durante la ejecución del proyecto (Minería Moderna, s.f.).

En la actualidad el lubricante de un motor en el sector minero no es tomado en consideración, puesto se le atribuye una mayor importancia al precio antes que a la calidad, siendo la calidad del lubricante un factor importante que determina el desgaste de los componentes internos del motor, basado en un límite condensorio y rangos establecidos, lo cual en un corto o mediano plazo provocara un desgaste prematuro del motor, lo cual se evidencia por ruido en el motor a falta de lubricación en los tanques y partes metálicas o en peor de los caso se pueden producir arqueos de levas, por ello es necesario que se brinde una mayor importancia a los proceso de manteamiento en motores y selección del fluido hidráulico óptimo para la máquina.

Cuando no hay conocimientos de Tribología se genera el incremento de los costos del recurso humano, se incrementa el consumo de energía, se eleva el consumo de lubricantes y grasas, aumenta en el uso de repuestos e inventario y la disminución del rendimiento y expectativas de vida de los activos y componentes industriales de la empresa, esto impacta en la rentabilidad y los costos de mantenimiento y reparación, puesto que un problema que no se identifica disminuye directamente en la productividad de la mina, por ello se necesita aplicar la tribología dentro del sector minero para ayudar a la resolver problemas en máquinas, equipos y procesos industriales en motores eléctricos y de combustión.

Generalmente en las estrategias de mantenimiento no hay un sistema de estudio del desgaste y su efecto asociados a los equipos industriales como son el diseño de equipo, los materiales de contacto, lubricantes, el medio de trabajo e incluso las condiciones operativas relacionadas al factor humano, lo que provoca el deterioro temprano de máquinas y equipos, en algunos casos si no se detecta un problema a tiempo demanda de una recambio de pieza, lo cual afecta la operación y costos de mantenimiento y reparación.

Por otro lado, la poca importancia que se da a los procesos de lubricación reduce considerablemente la vida útil de los rodamientos en motores, lo cual desencadena problemas técnicos y mecánicos en el mediano plazo, pero con una correcta lubricación se

puede prolongar la operatividad de los rodamientos de 5000 horas a 7000 horas, logrando un mayor rendimiento.

Para mantener una caja de engranajes en óptimas condiciones, es crucial proporcionar una lubricación adecuada. La lubricación reduce la fricción entre los engranajes y ayuda a prevenir el desgaste prematuro. Los lubricantes específicos para engranajes están diseñados para soportar altas cargas y temperaturas, lo que los hace ideales para su uso en cajas de engranajes. Es importante seguir las recomendaciones del fabricante en cuanto a la frecuencia y el tipo de lubricante a utilizar.

De lo expuesto anteriormente, nace el problema de la presente investigación, representa de vital importancia la elaboración de la investigación con el objetivo de determinar la relación del análisis tribológico (*Particle Quantifier Index*), evitando la posibilidad de convertirse en fallas mayores y los costos de mantenimiento en la industria extractiva minera, para extender la vida útil de las maquinarias y reducir el nivel de avería durante la operación, en una empresa minera del sur del Perú.

1.2. Descripción del Problema

1.2.1. Métodos de Investigación

El método de la investigación es hipotético – deductivo, según Pérez y Cruz (2014) “Comienza con la generación de hipótesis que guían el proceso de búsqueda de información que confirme o refute la hipótesis planteada, está dirigido por las hipótesis generadas. El proceso marcha desde el diagnóstico a los datos, desde lo general a lo particular, y por eso es deductivo. Se trata de un proceso consciente, activo y analítico”.

1.2.2. Diseño de Investigación

La investigación se desarrollará en base a un diseño no experimental, afirman Hernández et al. (2014) que “son estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos” (p.152).

Del mismo modo la investigación se clasifica en transeccional o transversal, afirman Hernández et al. (2014) que “estas son investigaciones que recopilan datos en un momento único” (p.154).

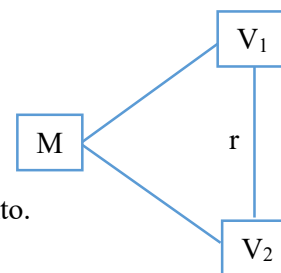
Donde:

m: muestra.

V1: Variable independiente: Análisis tribológico.

r: influencia entre ambas variables.

V2: Variable dependiente: Costos de mantenimiento.



1.3. Justificación de la Investigación

Hoy en día, la disponibilidad y el rendimiento son cruciales para la productividad en la gran minería. Por ello, se propone con el análisis tribológico (*Particle Quantifier Index*) optimizar los costos de mantenimiento contribuyendo así al desarrollo rentable de la empresa.

Teórica: La justificación de la presente investigación permitirá presentarla como un complemento teórico a los diferentes enfoques y modelos de análisis de información asociados al tema Tribológico de lubricantes y Costos de Mantenimiento. Por ello, la consolidación de la información de este trabajo de investigación facilitará el entendimiento, manejo y aplicación de estos estudios en la industria extractiva minera nacional, tomando en consideración tres aspectos importantes de la tribología, la fricción, el desgaste y la lubricación.

Relevancia económica: El aporte de la investigación es fundamental porque permitirá a la unidad minera optimizar sus costos para el cambio de componentes, utilizando a la tribología como aliada para tener un programa de reemplazo adecuado, maximizando la vida útil de los componentes y el uso adecuado de los lubricantes.

Relevancia ambiental: El aporte de la investigación ayudará a la unidad minera en menor disposición de componentes y lubricantes en desecho, esto favorecerá al medio ambiente teniendo menor contaminación por estos elementos.

Relevancia social: El aporte de la investigación ayudará a invertir los costos ahorrados en inversiones que pueden ayudar a las comunidades aledañas, los colaboradores de la empresa también pueden verse beneficiados con bonos asociados a estos ahorros en costos de mantenimiento.

Utilidad metodológica: La investigación estará alineada con el método científico, se hará uso de técnicas e instrumentos para recolectar información, además se hará uso de

información de tipo primaria y secundaria, finalmente hará uso de la estadística para el análisis y procesamiento de información.

1.4. Hipótesis

Parar un equipo por mantenimiento genera una disminución de la producción, es factible que con el análisis tribológico (*Particle Quantifier Index*) exista una relación con los costos de mantenimiento que permita optimizarlos.

1.5. Objetivos del Estudio

El propósito de investigación de esta Tesis Magistral tiene como objetivos:

1.5.1. *Objetivo General*

Determinar la relación entre el análisis tribológico (*Particle Quantifier Index*) y los costos de mantenimiento en los equipos de extracción minera, para el caso de una empresa minera del sur del Perú.

1.5.2. *Objetivos Específicos*

Determinar la relación existe entre la fricción y los costos de mantenimiento en los equipos de extracción minera, para el caso de una empresa minera del sur del Perú.

Determinar la relación existe entre el desgaste y los costos de mantenimiento en los equipos de extracción minera, para el caso de una empresa minera del sur del Perú.

Determinar la relación existe entre la lubricación y los costos de mantenimiento en los equipos de extracción minera, para el caso de una empresa minera del sur del Perú.

1.6 Tipo de Investigación

El tipo de investigación es no experimental porque nos vamos a enfocar en utilizar conceptos, variables del análisis tribológico y los costos de mantenimiento (ya han sucedido sin nuestra intervención).

Su enfoque será cuantitativo ya que recolectaremos datos que ayudaran a probar nuestra hipótesis, estos a su vez pueden ser evaluados y replicados, que incrementará el conocimiento teórico del tema.

1.7. Variables

1.7.1. *Variable Independiente: Análisis Tribológico*

Según NORIA (2023), la tribología “Es el estudio de la ciencia y tecnología de las superficies que interactúan en movimiento relativo y abarca el estudio y la aplicación de la fricción, el desgaste, la lubricación y aspectos relacionados con el diseño de los componentes de la maquinaria.”.

1.7.2. *Variable Dependiente: Costos de Mantenimiento*

Según Perú Contable (2017), los costos de mantenimiento “Son los gastos causados por las acciones ejecutadas para conservar los equipos o maquinas en buen estado y funcionamiento, o restáuralos a un estado específico de funcionalidad”.

1.7.3. *Operacionalización de Variables*

Dimensiones de análisis tribológicos.

- *Particle Quantifier Index*
- Fricción
- Desgaste
- Lubricación

Dimensiones de los costos de mantenimiento.

- Costo de mantenimiento preventivo
- Costo de mantenimiento correctivo

En la tabla 1 se muestra la operacionalización de variables aplicada a la investigación:

Tabla 1
Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumento	Escala de medición
Análisis tribológico	Según NORIA (2023), la tribología “Es el estudio de la ciencia y tecnología de las superficies que interactúan en movimiento relativo y abarca el estudio y la aplicación de la fricción, el desgaste, la lubricación y aspectos relacionados con el diseño de los componentes de la maquinaria.”.	La operacionalización del análisis tribológico se centra en las dimensiones <i>Particle Quantifier Index</i> , fricción, desgaste y lubricación.	<i>Particle Quantifier Index</i>	Desgaste normal	1-6	El cuestionario	Ordinal
				Desgaste por fatiga			
				Desgaste acelerado			
			Fricción	Rugosidad superficial	7-14		
				Velocidad relativa			
				Geometría de las superficies			
			Desgaste	Lubricante utilizado	15-22		
				Deslizamiento			
				Abrasión			
				Erosión			
				Oxidación y/o corrosión			
Lubricación	Viscosidad	23-28					
	Carga aplicada						
	Velocidad de deslizamiento						
Costos de mantenimiento	Según Perú Contable (2017), los costos de mantenimiento “Son los gastos causados por las acciones ejecutadas para conservar los equipos o maquinas en buen estado y funcionamiento, o restáuralos a un estado específico de funcionalidad”.	La operacionalización de los costos de mantenimiento se centra en las dimensiones uso de mano de obra, uso de materiales, uso de servicios y mantenimiento de equipos.	Uso de mano de obra	Costo de mantenimiento preventivo (programado)	29-32	Totalmente en desacuerdo (1) En desacuerdo (2) Ni de acuerdo ni en desacuerdo (3) De acuerdo (4) Totalmente de acuerdo (5)	
			Uso de materiales				
			Uso de servicios	Costo de mantenimiento correctivo (no programado)	33-36		
			Mantenimiento de equipos				

Nota: Elaboración propia

1.7.4. Matriz de Consistencia

En la tabla 2 se muestra la matriz de consistencia para el desarrollo de la investigación, son definidos el problema, objetos, justificación, hipótesis y variables:

Tabla 2

Matriz de consistencia

Relación entre el análisis tribológico (<i>Particle Quantifier Index</i>) y los costos de mantenimiento en los equipos de extracción minera, para el caso de una empresa minera del sur del Perú				
Problema	Objetivo	Justificación	Hipótesis	Variables
Determinar la relación del análisis tribológico (<i>Particle Quantifier Index</i>), evitando la posibilidad de convertirse en fallas mayores y los costos de mantenimiento en la industria extractiva minera, para extender la vida útil de las maquinarias y reducir el nivel de avería durante la operación, en una empresa minera del sur del Perú.	Objetivo general Determinar la relación entre el análisis tribológico (<i>Particle Quantifier Index</i>) y los costos de mantenimiento en los equipos de extracción minera, para el caso de una empresa minera del sur del Perú. Objetivos específicos Determinar la relación existe entre la fricción y los costos de mantenimiento en los equipos de extracción minera, para el caso de una empresa minera del sur del Perú. Determinar la relación existe entre el desgaste y los costos de mantenimiento en los equipos de extracción minera, para el caso de una empresa minera del sur del Perú. Determinar la relación existe entre la lubricación y los costos de mantenimiento en los equipos de extracción minera, para el caso de una empresa minera del sur del Perú.	Hoy en día, la disponibilidad y el rendimiento son cruciales para la productividad en la gran minería. Por ello, se propone con el análisis tribológico (<i>Particle Quantifier Index</i>) optimizar los costos de mantenimiento contribuyendo así al desarrollo rentable de la empresa.	Parar un equipo por mantenimiento genera una disminución de la producción, es factible que con el análisis tribológico (<i>Particle Quantifier Index</i>) exista una relación con los costos de mantenimiento que permita optimizarlos.	Variable independiente: Análisis Tribológico Variable dependiente: Costos de Mantenimiento

Nota: Elaboración propia

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Internacional

Marzal (2023) en su investigación “Estudio del impacto de la tribología en el ahorro del consumo energético” en la Universidad Politécnica de Cartagena – España. Su objetivo fue conocer el impacto de la tribología en la pérdida de energía causada por la fricción. Llegando a la conclusión, que el conocimiento de la tribología ayuda a entender porque se producen las pérdidas de energía y que se debe hacer para mejorar la lubricación que finalmente reduce el consumo de energía y evita el desgaste de los sistemas mecánicos. El consumo de energía en la industria está ligado a la tribología. Puede generar costos importantes en la industria en todos sus aspectos por desgaste y fricción excesiva, también que la falta de lubricación puede causar aumentar el desgaste que conlleva al cambio de componentes con mayor frecuencia. Introduce el término superlubricidad que trata de la selección de materiales adecuados, estabilidad y la duración de los recubrimientos superlubrificantes, puede ser prometedor para mejorar la eficiencia energética que reduciría el impacto ambiental en la industria.

Cuellar (2022) en su investigación “Diseño tribológico y análisis de costo de un sistema de purificación de lubricante SAE para motores General Electric de 3,5 MW” en la Universidad de San Carlos de Guatemala – Guatemala. Su objetivo fue presentar un análisis y propuesta para prolongar la vida útil del lubricante en un motor de combustión interna para mejorar su eficiencia y con ello la planta. Llegando a la conclusión, que instalar un sistema de purificación permitirá incrementar la eficiencia de operación, ya que evitará el daño por rozamiento por los movimientos propios de su operación, por acción del rozamiento que ejercen los mecanismos internos, temperatura y otros más. Al aumentar la vida útil del lubricante con la instalación del sistema de purificación se reduce al 50% las intervenciones por cambio de aceite a los motores al año, con ello aumentamos considerablemente la vida del motor y el lubricante, esto también representa un ahorro significativo del consumo de aceite además de un ahorro financiero. La ruta del mantenimiento tendrá que sufrir una variación con el sistema de purificación, para definir en escalas que corresponden al uso que se le da y siguiendo las especificaciones del fabricante.

Nacional

Mauricio (2017) en su tesis “Análisis de desgastes mecánicos por tribología para reducir costos de mantenimiento del motor de tractor sobre orugas D6T-Caterpillar” desarrollada en la Universidad Nacional del Centro del Perú. El objetivo fue analizar los desgastes mecánicos para reducir los costos de mantenimiento de un motor CAT C9.3 ACERT de un tractor D6T Caterpillar. Llegando a la conclusión, que la tribología tiene tres fenómenos principales: fricción, desgaste y lubricación. La mayor parte del desgaste del motor CAT C9.3 ACERT se da en las partes superior e inferior de los componentes internos. La fricción origina cuatro desgastes: adhesión, abrasión, corrosión y fatiga. Con la prueba del motor Shell indica que se debe usar el aceite 15W40 CF-4 y no el 15W40 supra diésel. El resultado de las encuestas a las jefaturas y mecánicos de mantenimiento indica que hay 30% de deficiencias de mantenimiento y 40% de deficiencia de capacitación. El cambio de aceite genera un incremento del 6% en los costos de mantenimiento. Si se llegará a afectar el motor su reparación por pérdida de producción se incrementa en \$6000.

Vega (2024) en su tesis “Diseño de un plan de mantenimiento predictivo basado en la tribología de lubricante en motores diésel Mitsubishi modelo 4M50 de 174 hp para una altitud de 4100 msnm” desarrollada en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Llegando a la conclusión, que se planteó el cambio de aceite mineral Mobil 15W40 DELVAC MX ESP, por el semi sintético Mobil 15W40 DELVAC EXTREME y se planteó el cambio cada 10000km de funcionamiento. Los muestreos de laboratorio demostraron que el aceite mineral a las 4000km de trabajo había perdido todas sus propiedades, mientras que el aceite semi sintético supero los 5000km de trabajo para el recambio y mantenimiento. Los datos de viscosidad de los muestreos presentan disminución progresiva de la viscosidad, pero no llega al límite inferior del parámetro. Se recalculo los cambios de aceite, el mineral a los 4000km y el semi sintético a los 10000km para garantizar la óptima lubricación del motor. Se redujeron los costos de mantenimiento de S/2262.00 en un ciclo de 40000km de recorrido anual.

Local

Tapia (2023) en su tesis “Análisis de la migración y extensión del periodo de cambio del lubricante en el tren posterior de camiones mineros CAT 797F” de la Universidad Católica de Santa María – Arequipa. El objetivo fue analizar la extensión del período de cambio de aceite del tren posterior. Llegando a la conclusión, que es posible incrementar la extensión de tiempo del período de cambio del lubricante para ello se debe usar el aceite

sintético que protege de mejor manera los componentes internos y prolonga la vida útil del componente, finalmente proporciona un intervalo de drenado mayor que el mineral lo que reduce los tiempos muertos de mantenimiento.

Chura (2019) en su tesis “Optimización del consumo de aceite y mayor disponibilidad en camiones de acarreo de mineral con análisis de aceite en la unidad económica de cobre en la región Moquegua” desarrollada en la Universidad Continental - Arequipa. El objetivo general del estudio es analizar de qué manera se puede optimizar el consumo de aceite y mayor disponibilidad en los camiones de acarreo de mineral con análisis de aceite en una unidad minera de la región Moquegua. Llegando a la conclusión que es factible técnica y económicamente implementar un laboratorio de análisis de lubricantes, se ahorra combustible en el costo de mantenimiento de los equipos, hay una demanda insatisfecha en el servicio de análisis de lubricantes, se presenta el diseño de las instalaciones para el correcto funcionamiento del equipo y el desempeño eficiente del personal, el proyecto generará utilidades al primer año y recuperación de la inversión a los diez años de operación el laboratorio no genera riesgos al ambiente ni al personal que labore en el mismo.

2.2. Análisis Tribológico

2.2.1. Definición

Según Díaz (2007) define a la tribología, “el arte de aplicar un análisis operacional a problemas de gran importancia económica, como la confiabilidad, mantenimiento y desgaste del equipo, va desde aplicaciones complejas como las aeroespaciales hasta las más sencillas como las domésticas” (p.2).

La tribología estudia la fricción, el desgaste y la lubricación de superficies que se encuentran en contacto. Reconoce como es la interacción de los materiales en movimiento relativo y como se podría optimizar con el fin de mejorar la eficiencia y durabilidad de los sistemas en movimiento.

Según Martínez (2002) el concepto tribología se usó por primera vez en un informe que elaboró la Comisión del Ministerio de Educación y Ciencia de la Gran Bretaña el 9 de marzo de 1966, por ello a esa fecha se le conoce como el nacimiento de la tribología como una nueva disciplina científica. En este informe se indicaba que era de carácter multidisciplinaria ya que podrían participar la física, la química, la metalurgia, la economía, la ciencia de los materiales, las matemáticas y la computación (p.9).

De acuerdo a Granizo (2010) se considera a la tribología como una disciplina técnico – científica y multidisciplinaria, que se encarga de los procesos que tienen las superficies en contacto durante su movimiento, por ello se ha convertido en una de las ciencias con mayor desarrollo (p.66).

De acuerdo a Espinosa (2011) en el estudio de la tribología se incluyen conceptos de lubricación, fricción, desgaste, diseño de maquinaria, materiales, reparaciones, operación de equipos y procesos de mantenimiento (p.6).

De acuerdo a Castillo y Toapanta (2019) el termino tribología proviene de las palabras griegas “tribos” que significa fricción y “logos” que significa estudio; su utiliza para definir la ciencia de las superficies en fricción. La carencia de esta disciplina conlleva a considerables perdidas de energía, largos periodos de tiempo improductivo, elevado consumo de materiales y repuestos, así como elevados costos de mantenimiento no programado (p. 11).

Contrariamente, el ahorro que se deriva de la aplicación de esta ciencia se enfoca en el consumo de menor energía y el uso de menor cantidad de materia prima, mano de obra y repuestos.

De acuerdo a López (2017) la tribología se centra en el estudio de tres fenómenos que son la fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de este fenómeno y la lubricación como un medio para evitar el desgaste (p.92).

De acuerdo a Remache (2017) la tribología estudia la ciencia y la tecnología relacionadas a la lubricación, fricción y desgaste de cuerpos en movimiento. Relacionado al funcionamiento de máquinas de forma general (p.140).

De acuerdo a Hernández et al. (2020) la tribología es la ciencia que estudia a la lubricación, desgaste y fricción de dos cuerpos sólidos en movimiento; todos están relacionados con la confiabilidad de los equipos (p.122).

De acuerdo a Marzal (2023) habla del concepto “Tribología verde” que engloba los conceptos de tribología desde un punto de vista ecológico siguiendo un equilibrio mediante un análisis de cómo afecta al medio ambiente y a los seres vivos (p.28).

De acuerdo a Aguilera et al. (2020) menciona la tribología se ha ido rediseñando apoyando las demandas de la sociedad para ser sostenible y amigable con el medio ambiente, buscando nuevas alternativas que ayuden a reducir el consumo de energía, disminuyendo la fricción, reduciendo la contaminación del aire, agua y tierra desarrollando materiales biodegradables, biolubricantes, todo esto enmarcado en la tribología verde (p.10).

De acuerdo a Lazo y Huatuco (2011) menciona que el fin de la tribología es prolongar la vida útil de los componentes y equipos mecánicos, a través del control y reducción de desgaste de los mismos (p.151)

De acuerdo a Granizo (2010) manifiesta que las organizaciones de ingenieros de varios países han logrado ahorro sustancial aplicando investigaciones tribológicas en el mantenimiento industrial por el incremento de la vida útil de los componentes y equipos, aumentando su confiabilidad y reduciendo el consumo de energía (p.66).

En nuestro estudio, uno de los principales objetivos de la tribología es optimizar el funcionamiento de los sistemas en movimiento buscando el equilibrio ideal entre "mínimo desgaste y mínima fricción", "máximo desgaste y máxima fricción", "mínimo desgaste y máxima fricción" y "máximo desgaste y máxima fricción". En estos entornos, necesariamente se involucran estos elementos tribocomponentes que son el entorno, los materiales (dos cuerpos en movimiento) y el elemento intermedio (aceite, grasa, agua, etc.).

2.2.2. Elementos del Análisis Tribológico

a. Particle Quantifier Index. De acuerdo con Tribylab (s.f.) se usa para detectar todas las partículas de desgaste que sean magnetizables, no importa el tamaño, por ello es mejor que la espectroscopia ya que puede detectar partículas de hierro mayores a 5 micras. De acuerdo a Tribologik (2014) es un ensayo que mide la masa de desgaste ferroso de una muestra y lo demuestra independientemente del tamaño de la partícula.

De acuerdo a NORIA (2023) se utiliza para medir la densidad de las partículas ferrosas sin importar el tamaño de la misma.

De acuerdo a Ciria (s.f.) es una medida cuantitativa que no tiene dimensiones que nos indica la tendencia, de amplio rango, de todo el contenido de las partículas de origen ferromagnético y sus diferentes tamaños en la muestra de aceite.

Se utiliza para evaluar el grado de contaminación por partículas ferromagnéticas en un sistema tribológico, como la presencia de abrasivos o contaminantes que pueden afectar la fricción, el desgaste y la vida útil de los componentes mecánicos. Generalmente se calcula utilizando tecnología de análisis de partículas y es importante para el mantenimiento predictivo y la gestión de lubricación de los equipos industriales.

b. Fricción. De acuerdo con Anaya et al. (2013) con la fricción es una fuerza tangencial sobre una superficie que impide que un objeto se deslice a través de una superficie adyacente. La fuerza de fricción se encuentra paralela a la superficie y opuesta a su movimiento (p.60).

Por lo tanto, solo se puede llevar a cabo un proceso de descenso cuando la fuerza ejercida supere la fuerza máxima de fricción estática.

La fricción no tiene dependencia de la zona de contacto, esto se puede evidenciar al analizar las llantas de los automóviles, pensamos que una llanta de mayor espesor sirve para que se sujete mejor a la superficie, pero no es así, los autos de carrera utilizan llantas anchas con el objetivo de disipar el calor y reducir la fricción con la pista.

Por lo tanto, sin fricción, no hay necesidad de lubricantes, porque no hay pérdida de energía ni desgaste de la máquina y el propósito del uso de lubricantes es reducir la fricción para que el rendimiento de la máquina sea óptimo, por ejemplo al no existir fricción entre una tubería y el líquido, no debería haber caída de presión en el flujo de la tubería ni pérdidas de energía. Esto significa que la bomba impulsa estos líquidos de manera eficiente y logra eficiencia operativa del 100%, pero esto aumentará la presión en la tubería, provocando una fuga o, en casos extremos, una explosión.

c. Desgaste. De acuerdo a Castillo y Toapanta (2019) el desgaste son los cambios graduales en las dimensiones micro y macrogeométricas de los cuerpos que están acompañados del proceso de destrucción y desprendimiento de material de las superficies en contacto, la acumulación de deformaciones remanentes durante la fricción y la aparición de deformaciones adicionales (p.14).

De acuerdo a Luengo (2008) el desgaste es el proceso de eliminación de material debido al movimiento relativo de esa superficie con respecto a otra superficie de contacto. Durante este proceso, se puede retirar el material de la superficie y drenar fuera del área de contacto. También puede transferirse a otra superficie y adherirse a ella, o romperse y formar fragmentos que pueden quedar parcialmente atrapados al contacto. Si se produce transferencia de material, la pérdida neta de masa en la interfaz es cero y una o ambas superficies se desgastan (p.15).

De acuerdo a Martínez et al. (2018) el conocimiento de la máquina y la tribología es un detalle importante y transversal a los diferentes sectores y aplicaciones para asegurar la aplicación de las mejoras prácticas tribológicas y evitar el desgaste de la maquinaria. La capacitación del personal responsable y la comprensión del estado de la máquina son

esenciales para prevenir problemas tribológicos. La aparición de la industria 4.0 ha dado lugar a una nueva tendencia, que consiste en la vigilancia en línea del estado del equipamiento y la digitalización de estos datos con el fin de obtener información completa y consistente para facilitar la toma de decisiones (p.21).

d. Lubricación. De acuerdo a Linares (2010) el objetivo de la lubricación es separar dos superficies con deslizamiento relativo entre sí de tal manera que no se produzca daño en ellas. Este proceso de deslizamiento se lleva a cabo con el menor rozamiento posible. Para lograr esto, se intenta que haya una película de lubricante (gaseoso, líquido o sólido) de espesor suficiente entre las dos superficies para evitar el desgaste, siempre que sea posible (p.3).

De acuerdo a García et al. (2019) la lubricación es un proceso en el cual cada uno de sus componentes debe ser tomado en cuenta y darle cabal seguimiento para que el lubricante pueda cumplir con la función que le es encomendada además define y explica cinco componentes indispensables estos son: la selección, la recepción y almacenamiento, el manejo y aplicación, finalmente la administración del lubricante en operación y disposición ecológica (p.122).

De acuerdo a Martínez et al. (2018) la lubricación de las máquinas en entornos industriales es crucial para su óptimo funcionamiento y sobre todo para su ciclo de vida. Al considerar este factor como un factor crucial en el funcionamiento de los activos, las acciones de lubricación y su monitorización se posicionan como tareas críticas tanto para el mantenimiento como para la productividad de los procesos industriales (p.3)

De acuerdo a Piloto et al. (2020) para que la maquinaria funcione de manera eficiente, la lubricación es uno de los componentes más importantes del mantenimiento. Diversas razones han impedido que la mayoría de las empresas mantengan correctamente la lubricación. Dos datos son un ejemplo: el 92 % de las plantas no tienen procedimientos de lubricación adecuados y el 74 % de las plantas no utilizan el análisis de lubricación como herramienta de monitoreo (p.1).

De acuerdo a García et al. (2019) la gestión de la lubricación es un componente del mantenimiento de un equipo o industria para reducir la fricción, el desgaste superficial, las fallas, los costos de mantenimiento y el consumo de energía, además de aumentar la seguridad de las personas y el equipo (p.121).

Se definen que hay tres tipos diferentes de lubricación: la hidrodinámica, de límite o contorno y la hidrostática. Los objetivos de ahorro de la energía y la reducción de costos de mantenimiento industrial son optimizar la relación con el medio ambiente.

2.2.3. Las Ventajas y Desventajas del Análisis Tribológico

De acuerdo a Castillo y Toapanta (2019) técnica y económicamente la ventaja está en el ahorro de energía ya que entre 30 al 50% de la energía que se genera se pierde a causa de la fricción que se produce en las máquinas; el ahorro de materias primas y materiales se puede conseguir con la disminución del desgaste de las máquinas ya que entre el 80 y 90% de los elementos que se reemplazan en máquinas se debe al desgaste y la explotación de los sistemas tribológicos se evitan gastos innecesarios de materiales y lubricantes, además de evitar costosos trabajos de reparación y tiempos improductivos en las industrias (p.15).

De acuerdo a Granizo (2010) los beneficios económicos que se obtienen de una correcta aplicación y conocimiento de fenómenos y procesos tribológicos son indiscutibles. Los ahorros de los costos directos se aprecian de forma evidente en dos áreas: ahorro de energía por disminución de fricción en las máquinas y el ahorro de materiales y materias primas (p.66).

De acuerdo a Esquivel (2023) considera que las investigaciones desarrolladas sobre la tribología juegan un papel fundamental en el desarrollo de la sociedad actual, ya que están presentes en todas las actividades que realiza el hombre, en cuanto al deslizamiento y los costos de mantenimiento para el incremento de los beneficios económicos (p.109).

De acuerdo a Linares (2003) resume el mantenimiento proactivo sobre bases tribológicas, como el medio por el cual, se puede controlar el desgaste en equipos y maquinarias industriales, disminuyendo la influencia de los indicadores de operación, en el consumo de energía, en la preservación del medio ambiente y principalmente en la economía de las empresas (p.39).

La tribología se ocupa de encontrar soluciones para mitigar los efectos negativos, evitando el desgaste y reducir o aumentar la fricción, desde el punto de vista más fundamental en el origen de la fricción y el desgaste.

Por otro lado, el análisis tribológico garantiza una lubricación adecuada que reduce el desgaste temprano en los componentes internos de un sistema dinámico, ya sea porque se mueven o se deslizan. Hay que tener en cuenta que no todo es acero, sino metales como el bronce y el aluminio, que tienen diferentes tiempos de desgaste.

Por lo tanto, es fundamental realizar un análisis tribológico efectivo antes de realizar un cambio de aceite en el uso de la máquina para garantizar la estabilidad, untuosidad y otros beneficios del aceite si se usa correctamente.

2.2.4. Interpretación del Análisis de Aceite

Salud del aceite: Evalúa la capacidad del lubricante de mantener sus propiedades protectoras en un sistema de transmisión, para ello podemos analizar varios elementos (Holdmeyer, s/f):

Viscosidad, indica la resistencia del aceite al flujo, asegura que el lubricante genere una barrera entre las superficies de contacto.

Bario (Ba), indican la presencia de aditivos detergentes y dispersantes que ayudan a mantener la transmisión limpia, evitando que se acumulen partículas de desgaste.

Calcio (Ca), indican la presencia de aditivos detergentes y dispersantes que ayudan a mantener la transmisión limpia, evitando que se acumulen partículas de desgaste.

Magnesio (Mg), indican la presencia de aditivos detergentes y dispersantes que ayudan a mantener la transmisión limpia, evitando que se acumulen partículas de desgaste.

Fósforo (P), indican la presencia de aditivos detergentes y dispersantes que ayudan a mantener la transmisión limpia, evitando que se acumulen partículas de desgaste.

Molibdeno (Mo), indican la presencia de aditivos detergentes y dispersantes que ayudan a mantener la transmisión limpia, evitando que se acumulen partículas de desgaste.

Boro (B), indica la presencia o ingreso de agua a la transmisión.

Contaminación del aceite: Indica que hay problemas que pueden afectar el rendimiento y la vida útil del sistema de transmisión, para ello podemos analizar los siguientes elementos (Montes de Oca, 2016):

Sodio (Na), indica la presencia o ingreso de agua a la transmisión, detectarlo es importante porque su presencia puede formar compuestos corrosivos.

Litio (Li), indica la presencia de grasas a base de litio que se mezclaron con el aceite, determina una contaminación cruzada que afecta las propiedades del aceite y su rendimiento.

Silicio (Si), indica la presencia de polvo o tierra, su presencia puede conllevar a desgaste prematuro en las partes internas de la transmisión.

Elementos de desgaste: se refiere a la presencia de partículas metálicas u otros elementos internos de la transmisión, pueden tener diferentes orígenes (NORIA, 2024):

Aluminio (AL), indica desdate interno de componentes fabricados con este elemento en la transmisión.

Cromo (Cr), indica desdate interno de componentes fabricados con este elemento en la transmisión.

Cobre (Cu), indica desdate interno como cojinetes o bujes fabricados con este elemento en la transmisión.

Plomo (Pb), indica desdate interno como cojinetes o bujes fabricados con este elemento en la transmisión.

Estaño (Sn), indica desdate interno de componentes fabricados con este elemento en la transmisión.

Fierro (Fe), indica desdate interno como engranes o planetarios fabricados con este elemento en la transmisión.

Níquel (Ni), indica desdate interno de componentes fabricados con este elemento en la transmisión.

Particle Quantifier Index (PQI), indica la cantidad de partículas ferromagnéticas que están presentes en el aceite, un alto valor indica un desgaste significativo.

2.3. Costos de Mantenimiento

Son los costos incurridos al realizar tareas para mantener o restaurar un activo o producto a una condición específica. Pueden ser considerados como un gasto o como una inversión en la protección del equipo físico (EasyMaint 2016).

Para tomar decisiones con base en la estructura de costos y recordar que para un gerente una de sus principales tareas es minimizar costos, es importante conocer sus componentes.

Los costos generalmente se pueden agrupar en dos categorías:

Costos directamente relacionados con las actividades de mantenimiento, tales como: costos administrativos, costos de mano de obra, costos de materiales, costos de repuestos, costos de subcontratación, costos de almacenamiento y costos de inversión.

Costo de pérdidas de producción por fallas de equipos, reducción de velocidad de producción y pérdidas por errores de calidad del producto por mal funcionamiento de equipos.

En general, los costos de mantenimiento se expresan como la suma de los costos fijos y variables necesarios para mantener el equipo. Si bien buscamos optimizar estos costos, la atención no debe centrarse en omitir el mantenimiento sino en prevenir fallas continuas del equipo, de esta forma solo se deberá hacer mantenimiento cada dos meses y anualmente.

2.3.1. Tipos de Costos de Mantenimiento

a. Costo de materiales. En estos costos incluimos el costo de mano de obra y materiales necesarios para realizar el mantenimiento programado (mantenimiento preventivo y predictivo).

Adicionalmente, dependiendo del tipo de industria, se deben considerar costos tales como: alquiler de equipos, servicios enfocados al mantenimiento programado, seguros e insumos para lubricación preventiva de maquinaria y activos.

Este coste asegura el estado operativo de la máquina a medio y largo plazo. En muchas empresas tienden a reducirlo porque creen que generará ahorro, pero ese ahorro significa que en el futuro habrá menos máquinas para producir; genera mucha inestabilidad y pérdidas para la empresa (Valbor Soluciones 2024).

b. Costo de mano de obra. A diferencia de los costos anteriores, estos costos dependen completamente de la producción y las ventas. En los costos variables de mantenimiento, vemos la mano de obra y los materiales necesarios para realizar el mantenimiento correctivo.

Este mantenimiento correctivo es el resultado de problemas imprevistos o también el resultado de inspecciones realizadas por otros tipos de mantenimiento. En muchos casos, con los recursos humanos con los que cuentan las fábricas, es imposible hacer frente a todos los trabajos urgentes, lo que obliga a algunas empresas a depender de servicios externos.

Cuanto mayor sea el volumen de producción, mayores serán las posibilidades de que la maquinaria se averíe. Este tipo de costo de mantenimiento se puede reducir poniendo más énfasis en el mantenimiento preventivo o predictivo; para detectar y prevenir que se produzcan incidentes no deseados (Valbor Soluciones 2024).

c. Costo de servicios. Los costos administrativos relacionados con el mantenimiento se deben a los costos de almacenar repuestos y de tenerlos en stand by o reemplazar las máquinas para garantizar que la producción no se detenga.

La utilización de repuestos del stock genera costos que reducen la liquidez de la empresa. Si los repuestos almacenados en el almacén tienen una alta rotación, este costo no se considera un problema porque contribuye a la producción.

Sin embargo, cuando los repuestos no se utilizan regularmente, incurrimos en costos que no benefician a la empresa; y deberá pagar impuesto sobre el importe total de este inventario.

Tener equipos o maquinaria en *stand by* o reemplazo genera costos de depreciación no contabilizados en muchas empresas. Dichas maquinas son adquiridas con el objetivo de tener una disponibilidad del 100%, y el encargado de la disponibilidad de las maquinas es mantenimiento (Valbor Soluciones 2024).

d. Costo de por falla de equipos. Son los costos que se generan en una empresa a causa de problemas en el mantenimiento, este tipo puede superar ampliamente a los costos anteriores, es por ello que muchas veces no son considerados (Valbor Soluciones 2024).

Generalmente se asocian a:

La pérdida de materia prima que se produce por fugas.

La pérdida de energía que se genera por reparaciones mal hechas.

Averías que causan daños al medio ambiente.

Productos de mala calidad por deficiencia de las maquinas.

Fallas que generan riesgo para los colaboradores y la operación.

2.4. Taxonomía de los Activos Físicos

Las empresas poseen o al menos utilizan una variedad de activos físicos, que van desde pequeñas bombas hasta plantas laminadoras de acero, portaaviones y edificios de oficinas. Algunos de estos activos serán móviles mientras que otros estarán fijos; pueden estar concentrados en un lugar pequeño o dispersos en miles de kilómetros cuadrados.

Según la norma ISO 14224, la taxonomía de activos es la clasificación sistemática de las partes, componentes, dispositivos, subsistemas, unidades funcionales, activos o sistemas en grupos genéricos basados en factores comunes. La taxonomía de activos juega un papel importante dentro de la gestión de activos porque permite saber a cualquier nivel de la empresa, qué activos se tienen, dónde se encuentran y cómo están, permitiendo obtener beneficios al momento de invertir dinero, determinar la vida útil de los activos y mejorar la planificación de los recursos. La taxonomía permite optimizar la inversión, los gastos operativos y de ciclo de vida, así como reducir los costos de las pólizas. Las pólizas no serán analizadas o serán tan complejas que serán analizadas por separado. Cuando se aplica el RCM a cualquier sistema o activo, es fundamental definir claramente dónde comienza o termina el sistema que se va a analizar, según los límites del sistema Moubray (1997). Si se ha diseñado una jerarquía comprensiva de activos y se ha tomado la decisión de analizarla en un nivel específico, el sistema suele incluir todos los activos que se encuentran por debajo de ese sistema en la jerarquía de activos de manera automática (ISO 55002, 2014).

2.4.1. Definición de Taxonomía o Árbol de Equipos

La palabra taxonomía se define de la siguiente manera por la Real Academia Española: La ciencia de la clasificación estudia los principios, métodos y objetivos. Se utiliza principalmente para ordenar sistemáticamente y jerárquicamente los activos y sistemas físicos con sus nombres, grupos de equipos y componentes.

La piedra angular para resolver los cuestionamientos más críticos a la hora de resolver problemas y tomar decisiones es identificar y registrar sistemáticamente los activos de los cuales una empresa es responsable o que posee (Novillo, 2013).

La taxonomía descrita en la norma ISO-14224:2016 es la técnica utilizada actualmente para la clasificación de las instalaciones en 13 niveles taxonómicos relacionados con el uso, localización y subdivisión de equipos. Esta es una de las metodologías para la jerarquización de activos físicos que se desarrollaron entre 1970 y 2017 (ISO 14224, 2016).

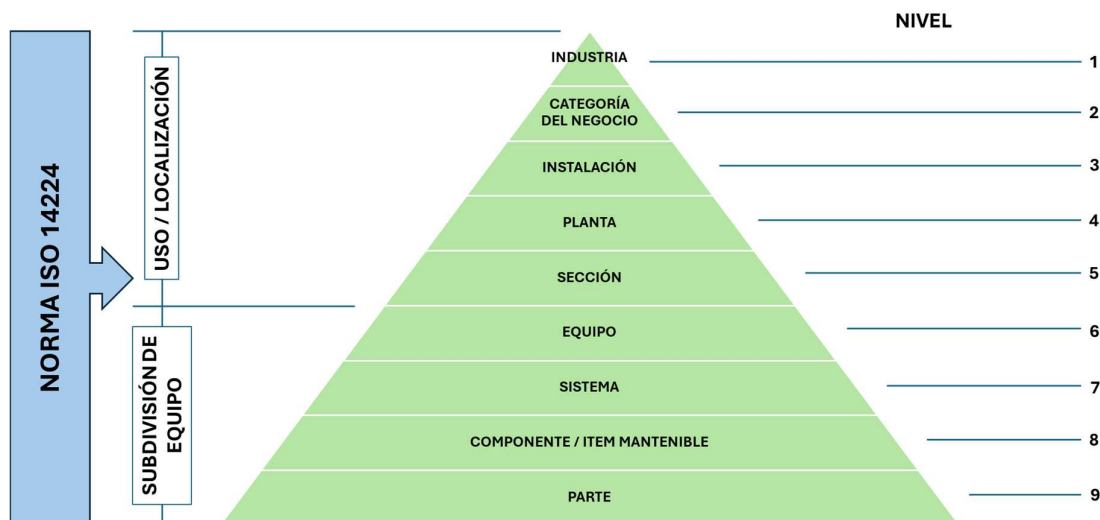
2.5. Norma ISO 14224

La norma ISO 14224 de 2016 de la Organización Internacional para la Estandarización Las industrias del petróleo, la petroquímica y el gas natural requieren la recopilación y el intercambio de información confiable, así como el mantenimiento de equipos.

La taxonomía ISO 14224 clasifica los ítems en grupos genéricos basados en factores que pueden ser comunes a varios ítems (ubicación, uso, subdivisión de equipos, etc.). La figura 1 muestra una jerarquía que representa una clasificación de datos pertinentes a recopilar de acuerdo con este Estándar Internacional. El cuadro 1 muestra ejemplos de varios flujos comerciales y tipos de equipos, así como las definiciones para cada segmento (ISO 14224, 2016).

Figura 1

Nivel de Taxonomía Activos Físicos Norma ISO 14224

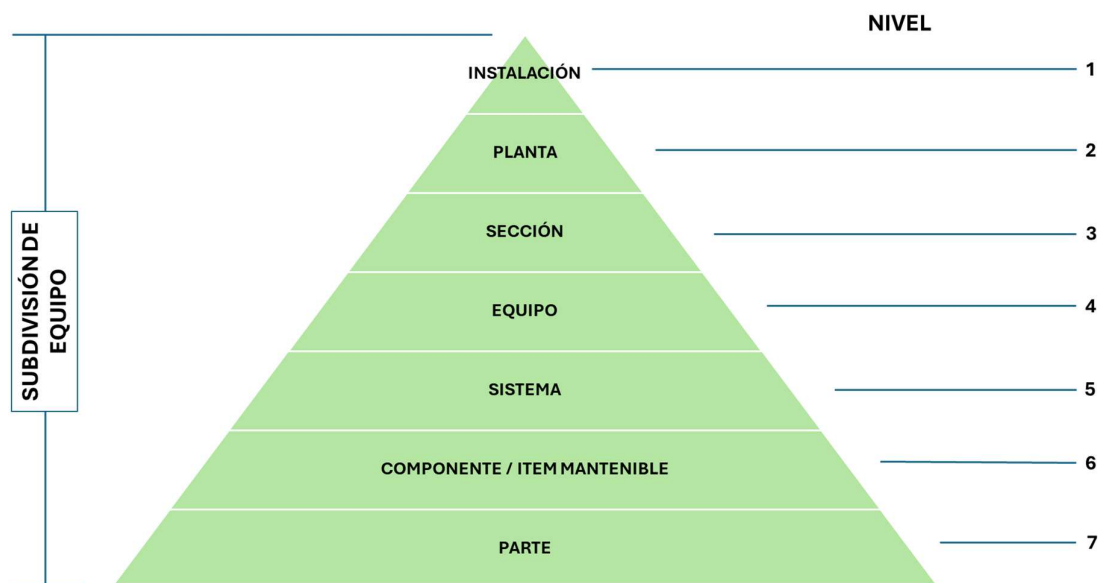


Nota: (ISO 14224, 2016).

La taxonomía ISO 14224 habla sobre la clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basándose en factores que pueden ser comunes a varios elementos, como la ubicación, el uso y el equipo de subdivisión. Dado que su estructura jerárquica desglosa cada una de las partes o componentes del equipo, se les conoce comúnmente como arboles de equipos. Como se muestra en la figura 2, hemos modificado la Norma ISO 14224 para el tema según el caso de estudio del equipo mecánico en cuatro o cinco niveles.

Figura 2

Taxonomía Subdivisión Equipo Mecánico Siete Niveles Adaptado. 2016)



Nota: (ISO 14224, 2016)

A continuación, se muestra una tabla con la clasificación completa de la pala de mina:

Tabla 3

Taxonomía de la Pala A (componente tema de estudio caja de levante)

NIVEL 1 - INSTALACIÓN	UNIDAD MINERA DEL SUR DEL PERÚ						
NIVEL 2 - PLANTA	MINA						
NIVEL 3 - SECCIÓN	CARGUÍO						
NIVEL 4 - EQUIPO	PALA ELÉCTRICA P&H 4100X						
NIVEL 5 - SISTEMA	PALA A						
NIVEL 6 - COMPONENTE	PLUMA	CARBODY	CUCHARON	BRAZO	CABINA DE OPERADOR	SISTEMAS, CONTROL Y COMUNICACIÓN	SISTEMA AUXILIAR
NIVEL 7 - PARTE	PLUMA	BUJE DE PIN CENTRAL	ARCO DE CUCHARÓN	BRAZO DE EMPUJE	BOOMJACKING	SISTEMA DE DESPACHO	COMPRESOR
	CABLE DE SUSPENSIÓN	ENGRANAJE DE GIRO	BARRETÓN DE COMPUERTA DE CUCHARÓN	MONTURA IZQUIERDA	CIRCUIT BREAKER DE CABINA DEL OPERADOR	RADIO MOVIL	ESCALERA AUXILIAR
	POLEA DE PLUMA DERECHA	PIN CENTRAL	FRENO DE COMPUERTA IZQUIERDO	MONTURA DERECHA	AIRE ACONDICIONADO	RED DE COMUNICACIÓN	DIPPER TRIP
	POLEA DE PLUMA IZQUIERDA	RODILLOS DE TORNAMESA	FRENO DE COMPUERTA DERECHO		CONSOLA DEL OPERADOR		SISTEMA DE ILUMINACIÓN GENERAL
			BOCINA ARCO CUCHARÓN IZQUIERDO				CONTROL ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN
			BOCINA ARCO CUCHARÓN DERECHO				SISTEMA ELÉCTRICO - NEUMÁTICO
			COMPUERTA DE CUCHARÓN				BOMBAS DE GRASA 1
			CUCHARÓN				BOMBAS DE GRASA 2
			ECUALIZADOR DE ARCO DE CUCHARÓN				BOMBAS DE GRASA 3
			ESPADA DE COMPUERTA				ESCALERA PRINCIPAL
			PIN ARCO CUCHARÓN IZQUIERDO				LIMPIA PARABRISAS
			PIN ARCO CUCHARÓN DERECHO				

NIVEL 1 - UNIDAD MINERA	UNIDAD MINERA DEL SUR DEL PERÚ						
NIVEL 2 - ÁREA	MINA						
NIVEL 3 - FUNCIÓN DEL EQUIPO	CARGUÍO						
NIVEL 4 - EQUIPO	PALA ELÉCTRICA P&H 4100X						
NIVEL 5 - CÓDIGO DEL EQUIPO	PALA A						
NIVEL 6 - SISTEMA	SISTEMA DE CONTROL Y POTENCIA	SISTEMA DE EMPUJE	SISTEMA DE LEVANTE	SISTEMA DE PROPULSIÓN IZQUIERDO	SISTEMA DE PROPULSIÓN DERECHO	SISTEMA DE GIRO FRONTAL	SISTEMA DE GIRO POSTERIOR
NIVEL 7 - COMPONENTE	TRANSFORMADOR AUXILIAR	BLOWER DE MOTOR EMPUJE	BLOWER DE MOTOR DE IZAR FRONTAL	FRENO DE AVANCE IZQUIERDO	FRENO DE AVANCE DERECHO	FRENO DE GIRO FRONTAL	FRENO DE GIRO POSTERIOR
	BLOWER CONVERTIDOR DE HOSIT - LH - 2	FAJA DE TRANSMISIÓN SISTEMA EMPUJE	BLOWER DE MOTOR DE IZAR POSTERIOR	ACOPLE MOTOR DE AVANCE IZQUIERDO	ACOPLE MOTOR DE AVANCE DERECHO	ACOPLE MOTOR DE GIRO FRONTAL	ACOPLE MOTOR DE GIRO POSTERIOR
	BLOWER CONVERTIDOR GIRO/EMPUE - RH - 1	ENGRANAJE DE EMPUJE	FRENO DE IZAR FRONTAL	BASTIDOR DE ORUGAS IZQUIERDO	BASTIDOR DE ORUGAS DERECHO	EJE DE GIRO PALA FRONTAL	EJE DE GIRO PALA POSTERIOR
	VENTILADOR DE GABINETE CENTURION	FRENO DE EMPUJE	FRENO DE IZAR POSTERIOR	BLOWER DE MOTOR DE AVANCE IZQUIERDO	BLOWER DE MOTOR DE AVANCE DERECHO	BLOWER DE MOTOR DE GIRO FRONTAL	BLOWER DE MOTOR DE GIRO POSTERIOR
	GABINETE DE CENTURION	MOTOR DE EMPUJE	CABLE DE IZAR	MOTOR DE AVANCE IZQUIERDO	MOTOR DE AVANCE DERECHO	MOTOR DE GIRO FRONTAL	MOTOR DE GIRO POSTERIOR
	GABINETE DE CONVERTIDOR	PIÑÓN EMPUJE PRIMERA REDUCCIÓN	ACOPLE MOTOR IZAR FRONTAL	RODILLO AUXILIAR IZQUIERDO	RODILLO AUXILIAR DERECHO	CAJA DE GIRO FRONTAL	CAJA DE GIRO POSTERIOR
	GABINETE DE ALTO VOLTAJE	PIÑÓN EMPUJE SEGUNDA REDUCCIÓN	ACOPLE MOTOR IZAR POSTERIOR	RUEDA GUÍA IZQUIERDA	RUEDA GUÍA IZQUIERDA		
	VENTILADOR MOTOR SALA MÁQUINAS IZQUIERDO	CAJA DE EMPUJE	RODAMIENTO DE TAMBOR DE IZAR IZQUIERDO	RODILLO INFERIORES DE BASTIDOR IZQUIERDO	RODILLO INFERIORES DE BASTIDOR DERECHO		
	VENTILADOR MOTOR SALA MÁQUINAS DERECHO	RESOLVER DE EMPUJE	RODAMIENTO DE TAMBOR DE IZAR DERECHO	EJE DE AVANCE IZQUIERDO	EJE DE AVANCE DERECHO		
	TRANSFORMADOR PRINCIPAL	EJE DE EMPUJE	TAMBOR DE IZAR	ORUGA IZQUIERDO	ORUGA DERECHO		
	GABINETE MCC		CAJA DE LEVANTE	CAJA DE AVANCE IZQUIERDA	CAJA DE AVANCE IZQUIERDA		
	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE		MOTOR DE IZAR FRONTAL	TUMBLER IZQUIERDO	TUMBLER DERECHO		
	ANILLOS DE ALTA TENSIÓN		MOTOR DE IZAR POSTERIOR				
	ANILLOS DE BAJA TENSIÓN		BOMBA RECIRCULACIÓN ACEITE IZAR				
	BLOWER DE RPC DEL BANCO 1 Y 1/2		RESOLVER DE IZAR				
	BLOWER DE RPC DEL BANCO SCR 'S		WINCHE DE CABLE DE IZAR IZQUIERDO				
	GABINETE DE TRANSFERENCIA		WINCHE DE CABLE DE IZAR DERECHO				

Nota: Elaboración propia

2.5.1. Definición de Equipo

Un equipo mecánico es un conjunto de sistemas, componentes y partes móviles o fijos que tienen la capacidad de aprovechar, dirigir, regular o transformar energía o realizar una función de trabajo con un propósito específico.

2.5.2. Definición de Sistema

Un conjunto de componentes o partes interdependientes que pueden ser identificados y tratados. Las entradas, los procesos y las salidas de un sistema permiten establecer relaciones de intercambio entre energía y materia.

Los sistemas mecánicos se componen principalmente de subsistemas interdependientes que se pueden identificar y tratar como un conjunto. Su objetivo específico es transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo producen mediante la transformación de diferentes tipos de energía.

2.5.3. Definición de Subsistema

Subconjunto de elementos de un sistema según el criterio de clasificación o petición de separación, compuesto fundamentalmente por componentes interdependientes que pueden ser identificados y tratados como un conjunto, cuya función específica es transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan mediante la transformación de diferentes tipos de energía.

2.5.4. Definición de Componente/Ítem Mantenible

Un componente mecánico es un componente que forma o integra un sistema o subsistema. Cada componente cumple una función específica dentro de un sistema y, si falla, se debe reemplazar o arreglar para que el sistema pueda continuar funcionando. El componente mecánico de los equipos que requiere mantenimiento para alcanzar la confiabilidad deseada. Una falla importante, incipiente o por degradación causa la pérdida de la capacidad del sistema para funcionar dentro de las condiciones especificadas durante el proceso.

2.5.5. Definición de Parte

Una pieza de material metálico o no metálico que tiene funciones eléctricas, electrónicas o electromecánicas y que cumple una función simple o parte de una función, y que no se puede desmontar sin dañar su capacidad.

2.6. Pala eléctrica 4100XPC

Es un equipo electromecánico de cables, es un tipo de excavadora frontal que tiene un accionamiento electromecánico, es autopropulsada por motores de accionamiento que se encuentran sobre orugas para que se pueda desplazar, adicionalmente tiene sistemas y cables metálicos que le dan movimiento al cucharón.

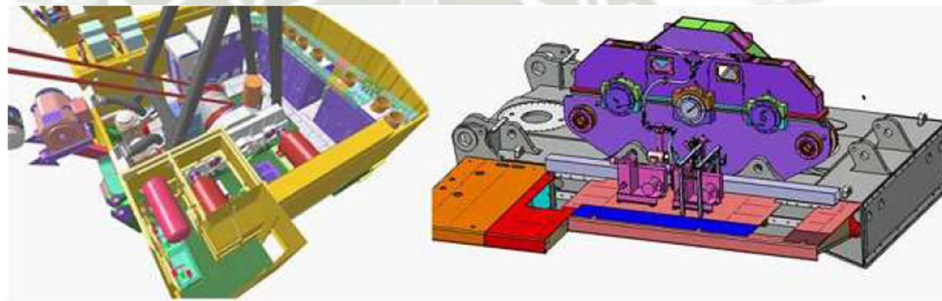
Para que este equipo pueda realizar los movimientos requeridos desde la mina y depositarlos en camiones mineros se utilizan distintas transmisiones.

Entre los principales tenemos:

Transmisión de levante: hace que el cucharón suba o baje en el tajo de trabajo durante el proceso de excavación.

Figura 3

Transmisión de levante

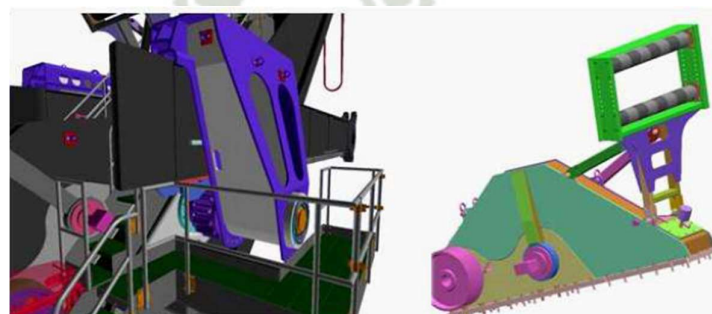


Nota: Manual de mantención mecánica P&H 4100XPC

Transmisión de empuje: realiza el movimiento del mango hacia fuera o dentro para controlar la profundidad de corte, además posiciona el cucharón para vaciar la carga en el camión.

Figura 4

Transmisión de empuje



Nota: Manual de mantención mecánica P&H 4100XPC

Transmisión de giro: realiza el giro de la pala entre la excavación y descarga.

Figura 5

Transmisión de giro

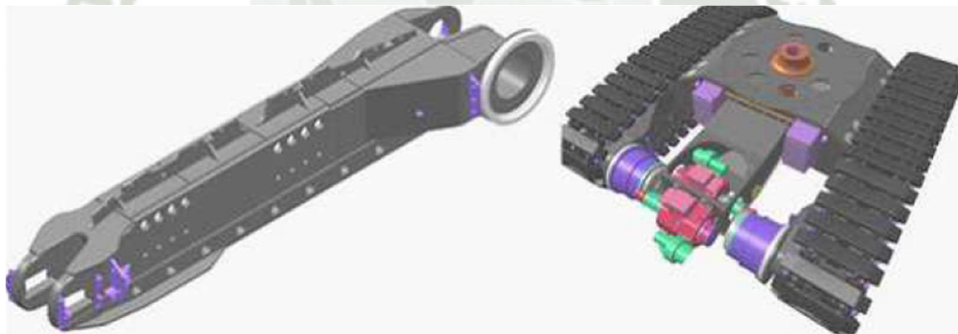


Nota: Manual de mantención mecánica P&H 4100XPC

Transmisión de propulsión: realiza el movimiento de una posición a otra durante la excavación.

Figura 6

Transmisión de propulsión



Nota: Manual de mantención mecánica P&H 4100XPC

2.7. Definición de Términos Básicos

Tribología: Considerada una disciplina técnica-científica multidisciplinaria, se encarga del estudio del macro y microproceso que ocurre en las superficies en contacto durante su movimiento relativo, y en los últimos tiempos se ha convertido en una de las ciencias de más rápido desarrollo (Granizo, 2010).

Particle Quantifier Index: Es una medida relativa de la concentración de partículas de desgaste ferrosas en grasas y aceites. En los programas de monitoreo de máquinas, es una

herramienta muy efectiva para la detección de partículas ferrosas. Produce valores relativos, que tienen sus propias unidades. Es un método importante de mantenimiento predictivo porque determina la complejidad y el tipo de desgaste de las máquinas (ALS Oil & Lubricants LATAM, 2022).

Lubricación: Proceso que se realiza para disminuir el desgaste por el deslizamiento entre superficies sólidas, para ello se utilizan compuestos que principalmente son grasas (Linares, 2003).

Desgaste: Es el proceso de remoción de material debido al movimiento relativo de esta superficie respecto otra en contacto. En dicho proceso el material puede ser removido de la superficie y expulsado fuera de la región de contacto (Luengo, 2008).

Fricción: La fricción es la fuerza tangencial a una superficie que impide que un objeto se deslice sobre la superficie adyacente con la que entra en contacto. La fricción es paralela a la superficie y opuesta a ella (Anaya et al., 2013).

Costos de Mantenimiento: Son los gastos relacionados con la conservación, reparación y mejora de los activos de una empresa, como maquinaria, equipos, edificios e infraestructura. Estos gastos son cruciales para garantizar que las operaciones funcionen correctamente y evitar interrupciones costosas. La forma en que se manejan estos gastos puede ser la diferencia entre el éxito y el fracaso (Contabilidad y Finanzas, s/f).

Pala eléctrica: Son equipos gigantes que se utilizan para transportar materiales excavados en camiones u otros sistemas de transporte. La carga rápida y eficiente de estas máquinas reduce los tiempos de espera y optimiza la cadena de producción. Las palas cargadoras modernas mejoran aún más la eficiencia en la mina con características avanzadas como sistemas de pesaje integrados y controles ergonómicos (MADISA, 2023).

Reductor de velocidad: es un mecanismo mediante el cual la velocidad de rotación del motor de la máquina se puede ajustar para que funcione a una determinada velocidad. Es una cadena de componentes que aplican diferentes velocidades a las partes giratorias de la máquina (García, 2023).

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipos de Investigación

La investigación es aplicada, puesto que se caracteriza en buscar la aplicación de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar la práctica basada en investigación (Vargas, 2009, pág. 159), se centra en encontrar soluciones a problemas específicos, utiliza herramientas científicas poniéndolas en práctica con el fin de encontrar respuestas.

Tipo de investigación es no experimental. “Es la que se realiza sin manipular deliberadamente las variables independientes; se basa en categorías, conceptos, variables, sucesos, fenómenos o contextos que ya ocurrieron o se dieron sin la intervención directa del investigador. También se conoce como investigación ex post-facto (los hechos y variables ya ocurrieron), y observa variables y relaciones entre éstas en su contexto natural” (Hernández et al., 2014, p.165).

Nivel de investigación: Correlacional. Según, Hernández et al. (2014). “Su finalidad es conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto específico.” (p.97). Por ello la presente investigación tiene como objetivo general relacionar el análisis tribológico y los costos de mantenimiento.

Enfoque: Cuantitativo, Hernández et al. (2014). “Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías (p.4).

3.2. Unidad y Objeto de Investigación

La unidad de estudio se centra en los componentes más importantes de los equipos de producción, específicamente en una unidad minera del sur del Perú.

El impacto de estos resultados se refleja en el aumento de los costos de mantenimiento preventivo (programado) y de mantenimiento correctivo (no programado).

El objeto de investigación es la transmisión de levante de la pala eléctrica P&H 4100, que es básicamente mecanismos mediante el cual la velocidad de ingreso de la máquina se ajusta para que funcione a una determinada velocidad.

3.3. Tipo de Información

3.3.1. Fuente de Información Primaria

Las fuentes de información primarias son el personal de mantenimiento de los equipos, el personal que inspecciona los equipos, el personal del laboratorio de análisis de lubricantes y el personal de los procesos de ejecución y planificación del mantenimiento. Estos son los principales involucrados con los datos vinculados a la presente investigación.

3.3.2. Fuentes de Información Secundaria

Las fuentes de información secundarias utilizadas para esta investigación incluyen libros, artículos, revistas, diarios, documentos, textos, tesis e informes técnicos. Estos materiales están relacionados con la tribología, fricción, desgaste y lubricación, así como con el mantenimiento y la teoría de costos.

3.4 Población y Muestra

3.4.1. Población

Se entiende como la totalidad de un fenómeno de estudio. Por lo tanto, la población estará conformada por todo el personal de mantenimiento de la empresa minera.

Tabla 4

Personal de mantenimiento de la empresa minera

Personal de mantenimiento de la empresa minera	
Supervisor	35
Empleado Líder	35
Trabajador	317
Total	387

Nota: SUNAT-MINTRA.

3.4.2. Muestra

Es el subconjunto de la población. Por otro lado, Hernández et al. (2014), mencionan que “muestra es un subgrupo del universo o población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de ésta” (p.173).

En el estudio para determinar el tamaño de la muestra se va a considerar una muestra por conveniencia (no a todos sino a los que trabajan con estos equipos, que tienen años de experiencia y conocen la problemática de los lubricantes) también llamado análisis de expertos:

Supervisor	:	6
Empleado Líder	:	6
Trabajador	:	4

Por lo tanto:

$$n= 16$$

Por ello se va a considerar a 16 colaboradores de mantenimiento de la empresa minera.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.5.1. Técnicas

Encuesta, de acuerdo a Arias (2012) “la entrevista, más que un simple interrogatorio, es una técnica basada en un diálogo o conversación “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida” (p. 72).

3.5.2. Instrumento

El instrumento que se utilizará para la recopilación de datos será el cuestionario para ambas variables, con una escala de Likert, para ello se establecerá los niveles de respuesta de los colaboradores de la unidad minera, por escala numérica del 1 al 5 para cada ítem, los cuestionarios que se aplicaran están constituidos para la variable análisis tribológico 22 ítems y para la variable riesgos de mantenimiento 8 ítems cuyas opciones son: totalmente en desacuerdo (1), en desacuerdo (2), ni de acuerdo ni en desacuerdo (3), de acuerdo (4) y totalmente de acuerdo (5).

3.6. Técnicas de Procedimiento y Análisis de Datos

Para el procesamiento y análisis de los datos los instrumentos para ambas variables, luego de ello se aplicará la encuesta al personal de mantenimiento de la unidad minera y se procederá a tabular en sistemas tecnológicos, como el Excel v2407, en el cual se obtendrá la prueba estadística de Rho de Spearman con la finalidad de medir el grado de asociación entre la variable independiente y la dependiente.

4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Presentación de Resultados

Tabla 5

Resultados de la dimensión PQI

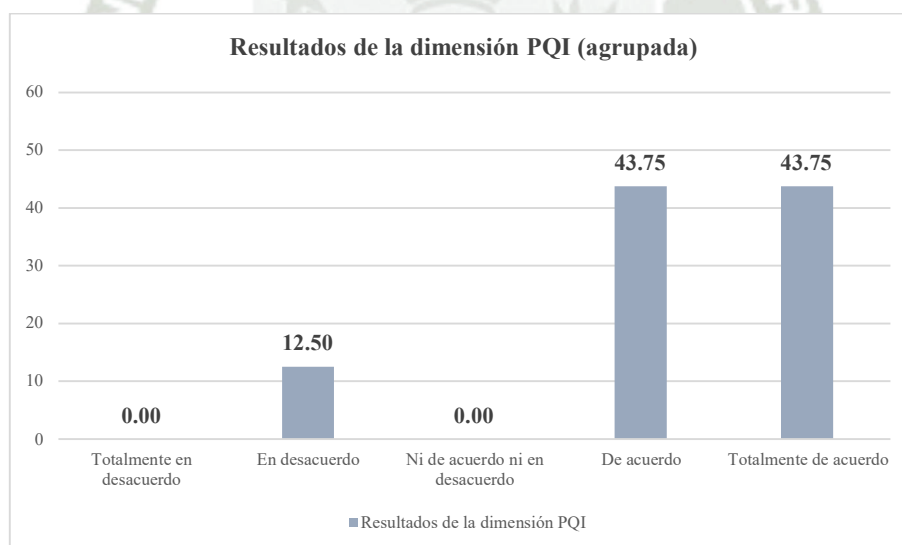
	Frecuencia absoluta	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Totalmente en desacuerdo	0	0.00	0.00
En desacuerdo	2	12.50	12.50
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	0	0.00	12.50
De acuerdo	7	43.75	56.25
Totalmente de acuerdo	7	43.75	100.00
Total	16	100.00	

Nota: Cuestionario

Elaboración: Microsoft Excel v2407

Figura 7

Resultados de la dimensión PQI



Nota: Cuestionario

Elaboración: Microsoft Excel v2407

Interpretación: el personal de mantenimiento de la Unidad Minera está de acuerdo que la dimensión PQI influye positivamente dentro del análisis tribológico por medio de la información presentada en la tabla 5 y figura 7.

Tabla 6

Resultados de la dimensión fricción

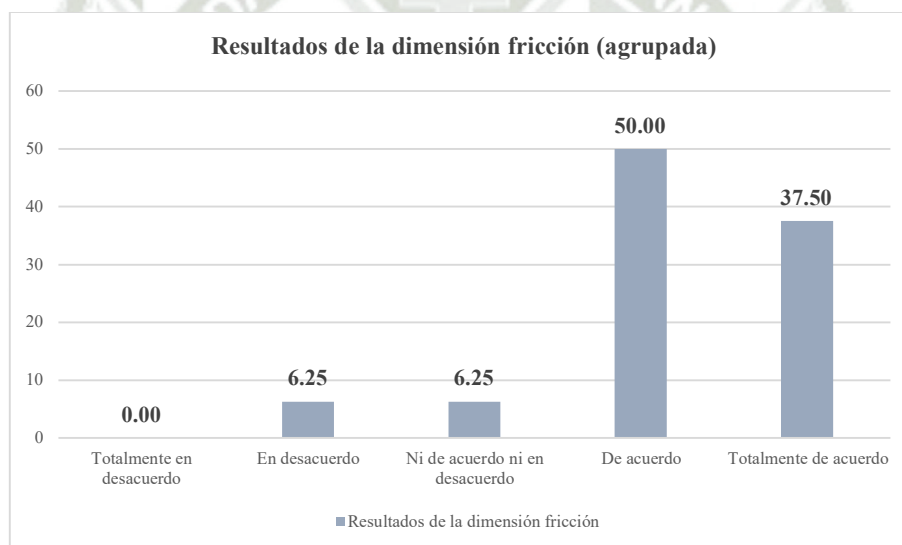
	Frecuencia absoluta	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Totalmente en desacuerdo	0	0.00	0.00
En desacuerdo	1	6.25	6.25
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	6.25	12.50
De acuerdo	8	50.00	62.50
Totalmente de acuerdo	6	37.50	100.00
Total	16	100.00	

Nota: Cuestionario

Elaboración: Microsoft Excel v2407

Figura 8

Resultados de la dimensión fricción



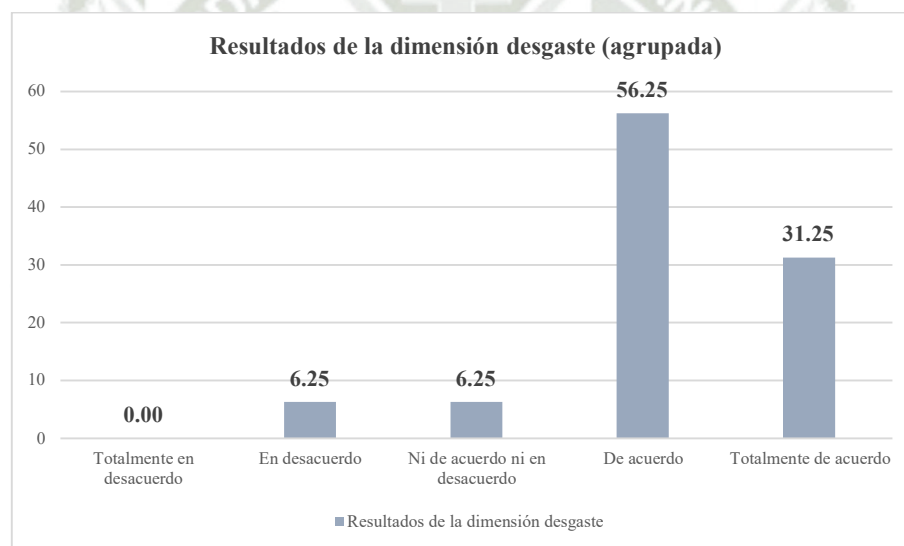
Nota: Cuestionario

Elaboración: Microsoft Excel v2407

Interpretación: el personal de mantenimiento de la Unidad Minera está de acuerdo que la dimensión fricción influye positivamente dentro del análisis tribológico por medio de la información presentada en la tabla 6 y figura 8.

Tabla 7
Resultados de la dimensión desgaste

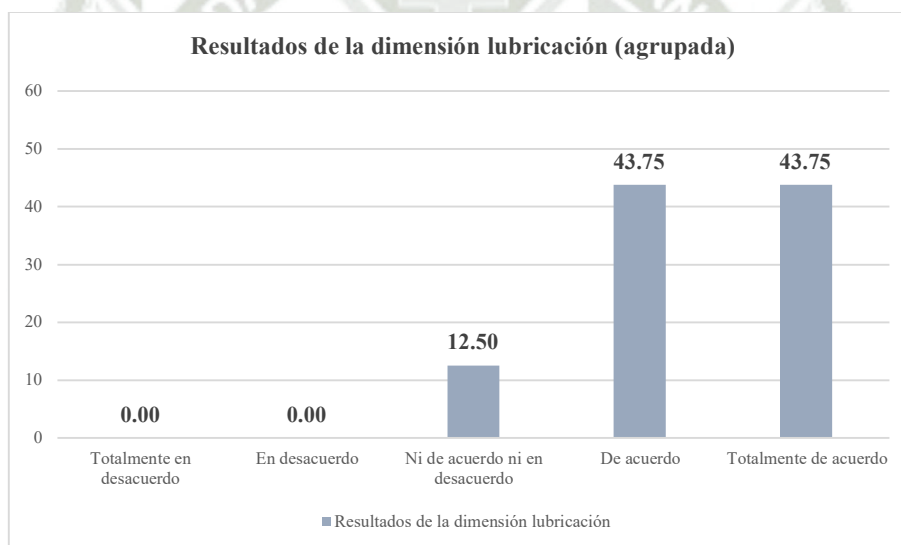
	Frecuencia absoluta	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Totalmente en desacuerdo	0	0.00	0.00
En desacuerdo	1	6.25	6.25
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	6.25	12.50
De acuerdo	9	56.25	68.75
Totalmente de acuerdo	5	31.25	100.00
Total	16	100.00	

Nota: Cuestionario
Elaboración: Microsoft Excel v2407
Figura 9
Resultados de la dimensión desgaste

Nota: Cuestionario
Elaboración: Microsoft Excel v2407

Interpretación: el personal de mantenimiento de la Unidad Minera está de acuerdo que la dimensión desgaste influye de forma positiva dentro del análisis tribológico por medio de la información presentada en la tabla 7 y figura 9.

Tabla 8
Resultados de la dimensión lubricación

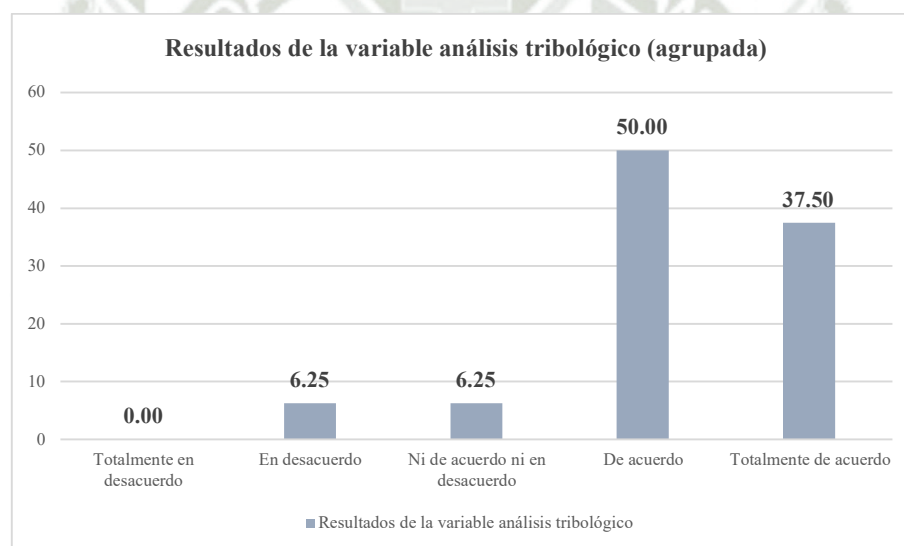
	Frecuencia absoluta	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Totalmente en desacuerdo	0	0.00	0.00
En desacuerdo	0	0.00	0.00
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	2	12.50	12.50
De acuerdo	7	43.75	56.25
Totalmente de acuerdo	7	43.75	100.00
Total	16	100.00	

Nota: Cuestionario
Elaboración: Microsoft Excel v2407
Figura 10
Resultados de la dimensión lubricación

Nota: Cuestionario
Elaboración: Microsoft Excel v2407

Interpretación: el personal de mantenimiento de la Unidad Minera está de acuerdo que la dimensión lubricación influye positivamente dentro del análisis tribológico por medio de la información presentada en la tabla 8 y figura 10.

Tabla 9
Resultados de la variable análisis tribológico

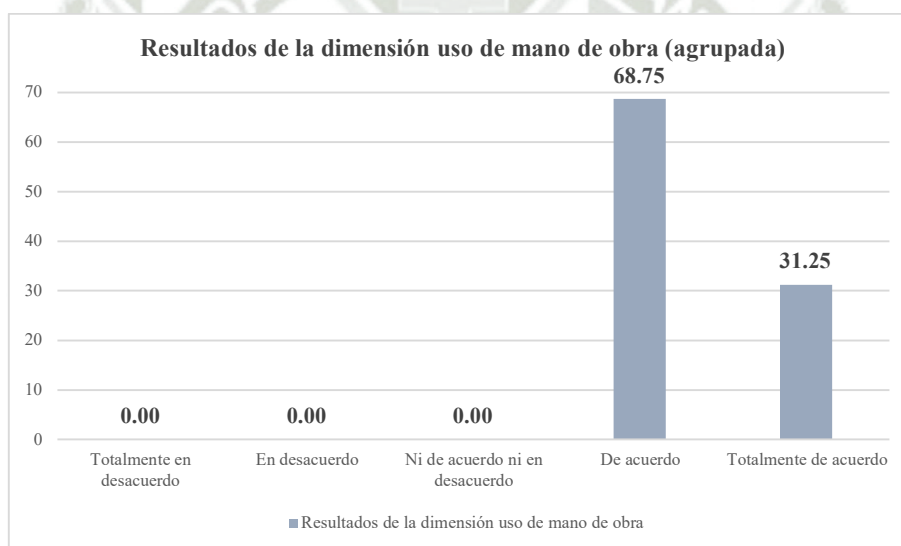
	Frecuencia absoluta	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Totalmente en desacuerdo	0	0.00	0.00
En desacuerdo	1	6.25	6.25
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	6.25	12.50
De acuerdo	8	50.00	62.50
Totalmente de acuerdo	6	37.50	100.00
Total	16	100.00	

Nota: Cuestionario
Elaboración: Microsoft Excel v2407
Figura 11
Resultados de la variable análisis tribológico

Nota: Cuestionario
Elaboración: Microsoft Excel v2407

Interpretación: el personal de mantenimiento de la Unidad Minera está de acuerdo que el análisis tribológico realizado es muy bueno por medio de la información presentada en la tabla 9 y figura 11.

Tabla 10
Resultados de la dimensión mano de obra

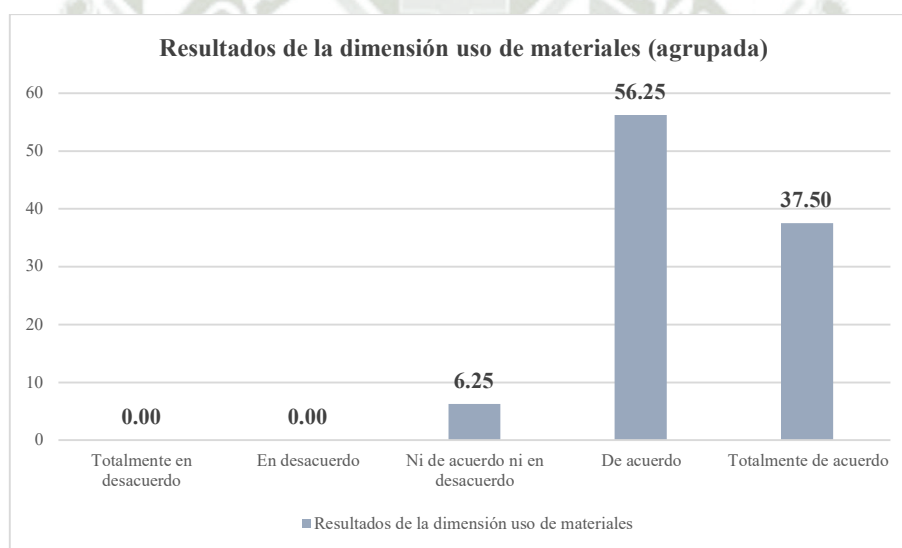
	Frecuencia absoluta	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Totalmente en desacuerdo	0	0.00	0.00
En desacuerdo	0	0.00	0.00
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	0	0.00	0.00
De acuerdo	11	68.75	68.75
Totalmente de acuerdo	5	31.25	100.00
Total	16	100.00	

Nota: Cuestionario
Elaboración: Microsoft Excel v2407
Figura 12
Resultados de la dimensión mano de obra

Nota: Cuestionario
Elaboración: Microsoft Excel v2407

Interpretación: el personal de mantenimiento de la Unidad Minera está totalmente de acuerdo que la dimensión uso de mano de obra influye positivamente en los costos de mantenimiento por medio de la información presentada en la tabla 10 y figura 12.

Tabla 11
Resultados de la dimensión uso de materiales

	Frecuencia absoluta	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Totalmente en desacuerdo	0	0.00	0.00
En desacuerdo	0	0.00	0.00
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	6.25	6.25
De acuerdo	9	56.25	62.50
Totalmente de acuerdo	6	37.50	100.00
Total	16	100.00	

Nota: Cuestionario
Elaboración: Microsoft Excel v2407
Figura 13
Resultados de la dimensión uso de materiales

Nota: Cuestionario
Elaboración: Microsoft Excel v2407

Interpretación: el personal de mantenimiento de la Unidad Minera está de acuerdo que la dimensión uso de materiales influye de forma positiva en los costos de mantenimiento por medio de la información presentada en la tabla 11 y figura 13.

Tabla 12

Resultados de la dimensión uso de servicios

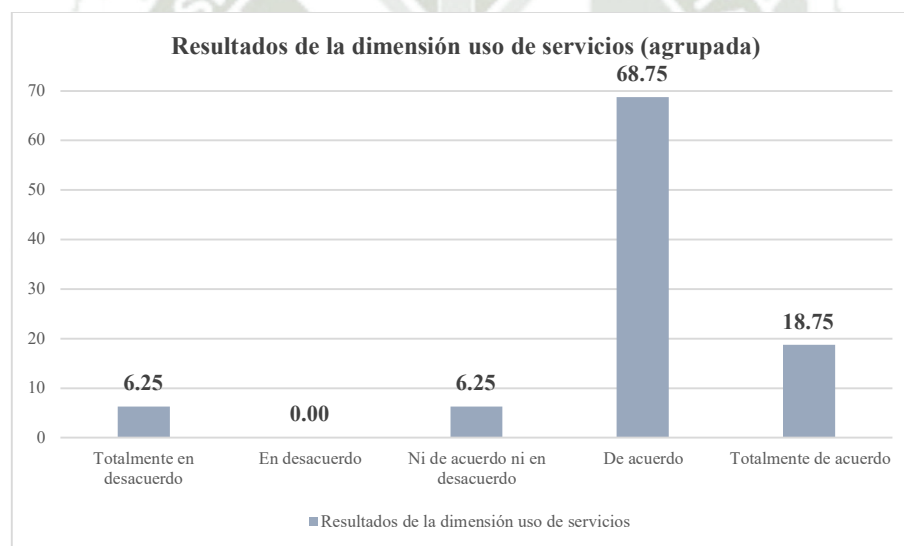
	Frecuencia absoluta	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Totalmente en desacuerdo	1	6.25	6.25
En desacuerdo	0	0.00	6.25
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	6.25	12.50
De acuerdo	11	68.75	81.25
Totalmente de acuerdo	3	18.75	100.00
Total	16	100.00	

Nota: Cuestionario

Elaboración: Microsoft Excel v2407

Figura 14

Resultados de la dimensión uso de servicios



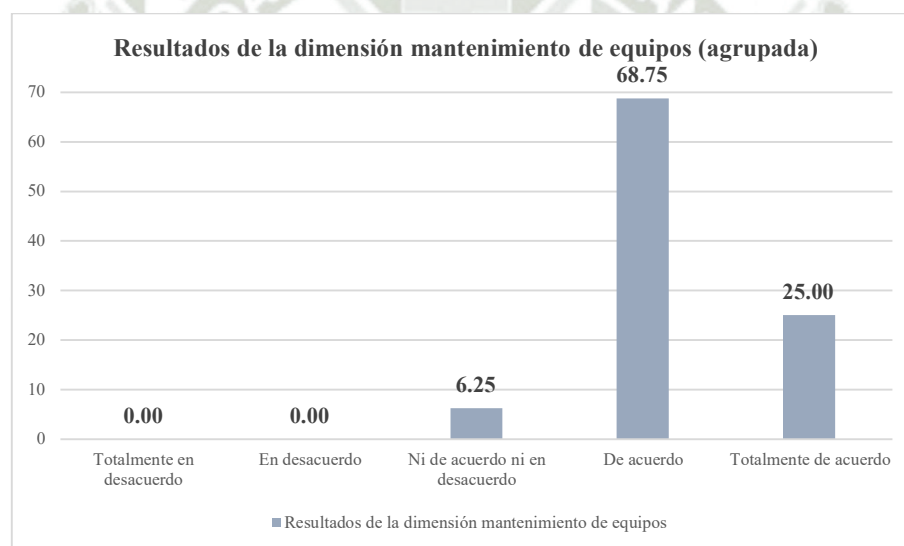
Nota: Cuestionario

Elaboración: Microsoft Excel v2407

Interpretación: el personal de mantenimiento de la Unidad Minera está de acuerdo que la dimensión uso de servicios influye positivamente en los costos de mantenimiento por medio de la información presentada en la tabla 12 y figura 14.

Tabla 13
Resultados de la dimensión mantenimiento de equipos

	Frecuencia absoluta	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Totalmente en desacuerdo	0	0.00	0.00
En desacuerdo	0	0.00	0.00
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	6.25	6.25
De acuerdo	11	68.75	75.00
Totalmente de acuerdo	4	25.00	100.00
Total	16	100.00	

Nota: Cuestionario
Elaboración: Microsoft Excel v2407
Figura 15
Resultados de la dimensión mantenimiento de equipos

Nota: Cuestionario
Elaboración: Microsoft Excel v2407

Interpretación: el personal de mantenimiento de la Unidad Minera está de acuerdo que la dimensión mantenimiento de equipos influye de forma positiva en los costos de mantenimiento por medio de la información presentada en la tabla 13 y figura 15.

Tabla 14

Resultados de la variable costos de mantenimiento

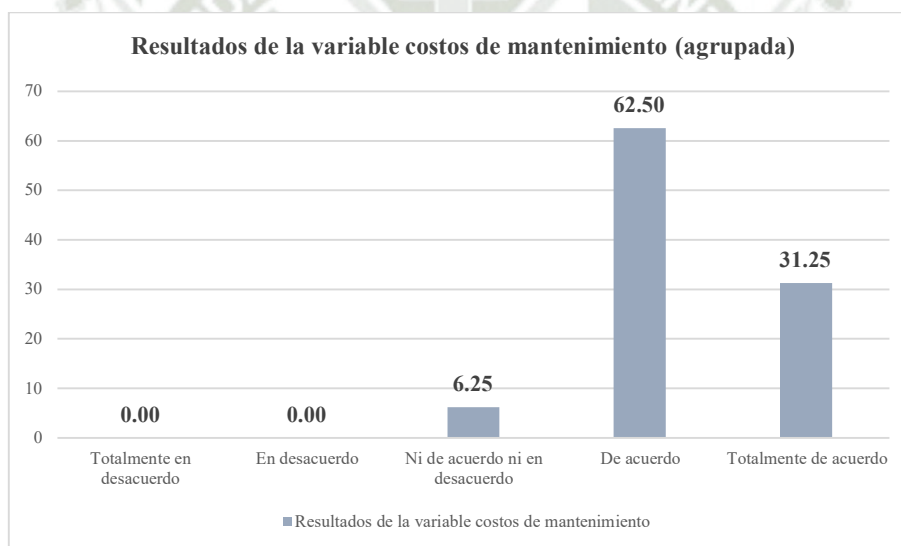
	Frecuencia absoluta	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Totalmente en desacuerdo	0	0.00	0.00
En desacuerdo	0	0.00	0.00
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	6.25	6.25
De acuerdo	10	62.50	68.75
Totalmente de acuerdo	5	31.25	100.00
Total	16	100.00	

Nota: Cuestionario

Elaboración: Microsoft Excel v2407

Figura 16

Resultados de la variable costos de mantenimiento



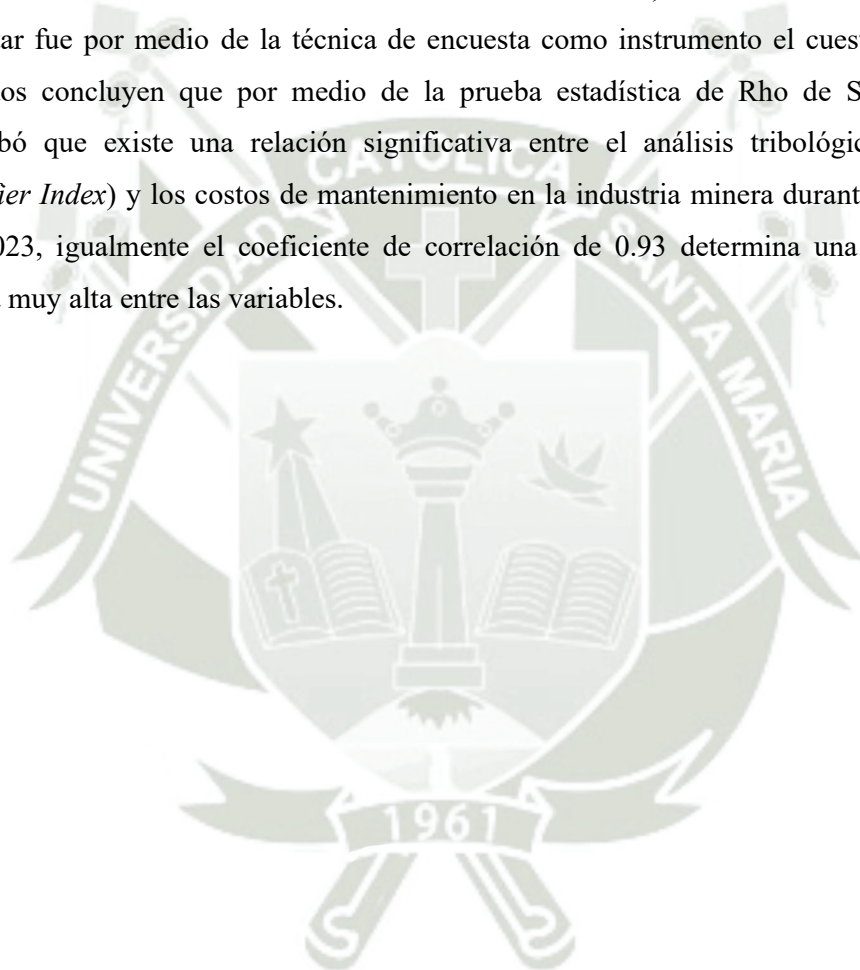
Nota: Cuestionario

Elaboración: Microsoft Excel v2407

Interpretación: el personal de mantenimiento de la Unidad Minera está de acuerdo que la variable costos de mantenimiento influye positivamente por medio de la información presentada en la tabla 14 y figura 16.

4.2 Presentación y Discusión de los Resultados

La investigación se enfoca en determinar la relación que existe entre el análisis tribológico (*Particle Quantifier Index*) y los costos de mantenimiento en los equipos de extracción minera, para el caso de una empresa minera del sur del Perú durante el período 2021-2023, el objeto de investigación son las transmisiones de levante de la pala P&H 4100 que básicamente es un mecanismo que permite hacer el movimiento que permite levantar la carga de mineral extraído en el tajo de la mina. Se analizará de acuerdo a la perspectiva de los expertos del área de mantenimiento de la Unidad Minera, la información que se pudo recolectar fue por medio de la técnica de encuesta como instrumento el cuestionario, los resultados concluyen que por medio de la prueba estadística de Rho de Spearman se comprobó que existe una relación significativa entre el análisis tribológico (*Particle Quantifier Index*) y los costos de mantenimiento en la industria minera durante el período 2021-2023, igualmente el coeficiente de correlación de 0.93 determina una correlación positiva muy alta entre las variables.



4.3 Reportes en Análisis Tribológico

Los resultados que se muestran no son secuenciales, son tomados de monitoreo o mantenimiento programado, por ello es que no se tiene una frecuencia constante.

4.3.1. Reporte de Resultados de Análisis de Lubricante (I)

Tabla 15

Ensayos de laboratorio

Ensayo	Equipo	Norma
Espectrometría de Emisión Atómica	Spectroil Q120	ASTM D6595
Viscosidad Cinemática	ISL Huoillon	ASTM D7279
Análisis Infrarrojo	Spectro Fluid Scan Q100	ASTM E2412
Conteo de Partículas	Laser Net Fines Q220	ISO 4406
Conteo de Partículas ferrosas (PQI)	Analex pqL	ASTM D8184

Nota: referido al reporte de resultados de análisis de lubricante (I)

Tabla 16

Datos generales del reporte (I)

Fecha De Reporte	03/02/2022
Flota	Pala minera
Equipo	Pala A
Componente	Caja de levante
Modelo	--
Estado Componente	Seguimiento
Horas actuales	8293
PCR Componente	25000
Lubricante	Mobilgear 600 XP 460
Viscosidad a 40°C	460 centistoke (Min: 400 cSt - Max: 530 cSt)
Base	Mineral
PCR Aceite	3500
Severidad	SEGUIMIENTO
Aviso	1000219561
Tipo de Aviso	Z1

Nota: referido al reporte de resultados de análisis de lubricante (I)

Tabla 17

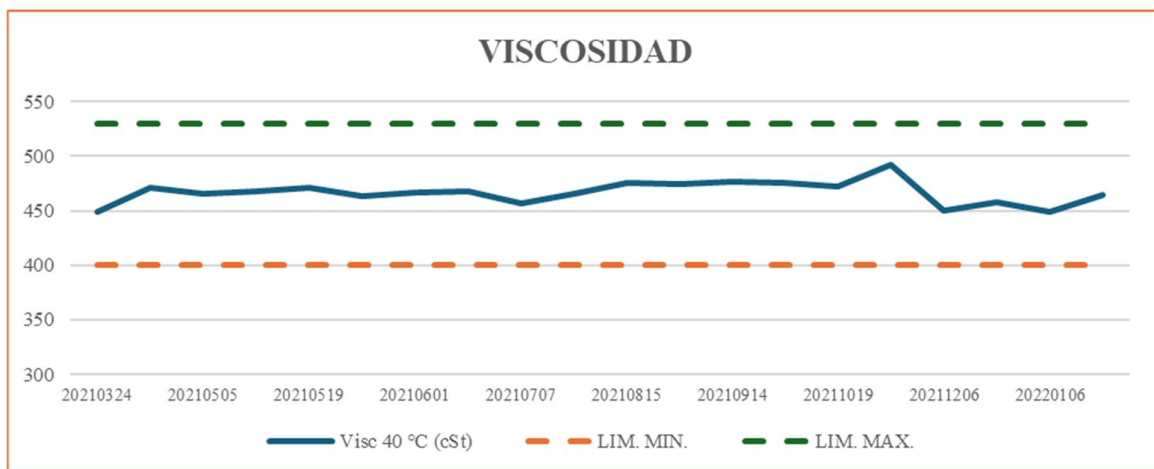
Resultados de la salud del combustible (normal)

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					SALUD							
FECHA MUESTRA	TIPO MUESTRA	CAMBIO ACEITE	AAHACEITE (h)	AAHCOMP (h)	Visc 40 °C (cSt)	ADITIVOS						
						Ba (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	P (ppm)	B (ppm)	Mo (ppm)
20210324	PM	NO	263	818	449.60	0.02	1.55	0.47	3.08	294.80	28.06	0.00
20210405	PM	NO	436	991	471.00	0.04	2.17	0.09	11.13	263.80	27.93	0.00
20210505	MONITOREO	NO	835	1,390	466.20	0.01	2.94	0.21	16.06	310.60	28.01	0.00
20210512	MONITOREO	NO	946	1,501	467.40	0.06	2.67	0.44	14.57	273.20	26.71	0.00
20210519	MONITOREO	NO	1,071	1,626	470.90	0.05	3.36	0.33	13.78	262.10	26.00	0.00
20210526	MONITOREO	NO	1,180	1,735	463.40	0.00	1.16	0.22	4.30	265.20	26.35	0.00
20210601	MONITOREO	NO	1,289	1,844	466.60	0.09	3.98	0.55	16.22	287.80	27.51	0.00
20210615	MONITOREO	NO	1,503	2,058	467.70	0.11	4.10	0.38	16.55	281.10	27.18	0.00
20210707	MONITOREO	NO	1,839	2,394	457.00	0.02	4.27	0.51	16.34	207.40	23.02	0.00
20210729	MONITOREO	NO	2,195	2,750	466.20	0.05	6.01	1.15	22.50	269.50	25.96	0.04
20210815	MONITOREO	SI	168	3,002	475.80	0.00	0.56	0.16	8.04	281.10	27.52	0.00
20210831	MONITOREO	NO	440	3,274	474.90	0.00	1.74	0.26	10.20	298.40	28.97	0.00
20210914	MONITOREO	NO	693	3,527	476.90	0.00	2.05	0.33	10.22	304.60	27.57	0.00
20211004	MONITOREO	NO	1,025	3,859	475.80	0.00	2.06	0.43	12.39	261.40	26.59	0.00
20211019	MONITOREO	NO	1,298	4,132	471.90	0.00	2.60	0.90	20.87	292.60	26.77	1.10
20211121	MONITOREO	NO	1,679	4,513	491.80	0.00	4.73	1.24	19.64	260.50	26.10	0.00
20211206	MONITOREO	SI	243	4,756	450.40	0.00	3.20	0.00	3.94	302.90	28.42	0.00
20211222	MONITOREO	NO	466	4,979	458.20	0.00	2.66	0.37	14.39	284.40	25.72	0.00
20220106	MONITOREO	NO	731	5,244	449.20	0.00	0.59	0.12	3.21	216.00	24.77	0.12
20220203	MONITOREO	NO	1,172	5,685	464.20	0.00	1.83	0.54	4.57	226.20	23.39	0.54

Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (I)

Figura 17

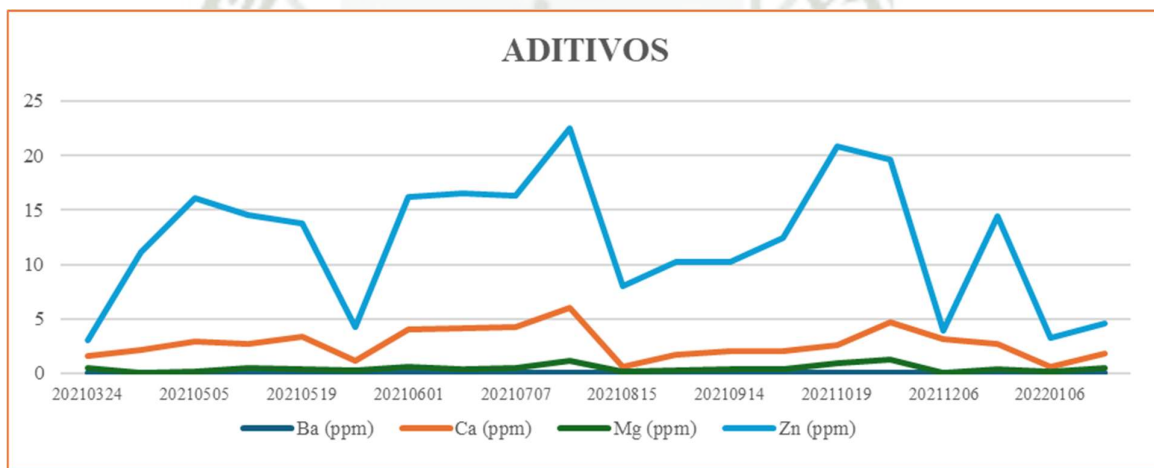
Gráfico de viscosidad (normal)



Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (I)

Figura 18

Gráfico de aditivos (normal)



Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (I)

Tabla 18

Resultados de la contaminación del combustible (alarma)

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					CONTAMINACIÓN		
FECHA MUESTRA	TIPO MUESTRA	CAMBIO ACEITE	AAHACEITE (h)	AAHCOMP (h)	Na (ppm)	Li (ppm)	Si (ppm)
20210324	PM	NO	263	818	0.20	0.81	4.10
20210405	PM	NO	436	991	0.30	8.31	4.50
20210505	MONITOREO	NO	835	1,390	0.50	8.76	6.10
20210512	MONITOREO	NO	946	1,501	0.80	10.00	6.00
20210519	MONITOREO	NO	1,071	1,626	0.80	9.73	6.90
20210526	MONITOREO	NO	1,180	1,735	0.50	2.82	3.40
20210601	MONITOREO	NO	1,289	1,844	0.70	9.18	7.10
20210615	MONITOREO	NO	1,503	2,058	0.80	9.82	8.40
20210707	MONITOREO	NO	1,839	2,394	0.80	12.67	8.10
20210729	MONITOREO	NO	2,195	2,750	1.40	16.36	11.90
20210815	MONITOREO	SI	168	3,002	0.10	4.35	1.20
20210831	MONITOREO	NO	440	3,274	0.40	7.56	3.00
20210914	MONITOREO	NO	693	3,527	0.50	7.05	3.40
20211004	MONITOREO	NO	1,025	3,859	0.50	8.94	3.70
20211019	MONITOREO	NO	1,298	4,132	0.80	14.66	5.50
20211121	MONITOREO	NO	1,679	4,513	1.30	14.84	8.00
20211206	MONITOREO	SI	243	4,756	0.00	0.82	1.10
20211222	MONITOREO	NO	466	4,979	1.10	9.81	7.60
20220106	MONITOREO	NO	731	5,244	0.10	1.06	2.40
20220203	MONITOREO	NO	1,172	5,685	0.40	1.96	5.70

Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (I)

Figura 19

Gráfico de contaminación por Silicio y Sodio (seguimiento)



Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (I)

Figura 20

Gráfico de contaminación por Litio (normal)



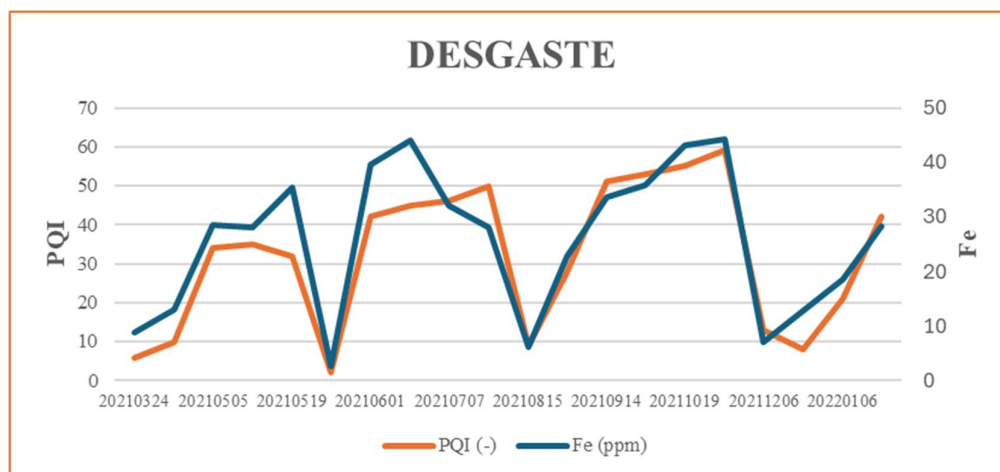
Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (I)

Tabla 19

Resultados del desgaste del combustible (regular)

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					DESGASTE							
FECHA MUESTRA	TIPO MUESTRA	CAMBIO ACEITE	AAHACEITE (h)	AAHCOMP (h)	Al (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	Fe (ppm)	Ni (ppm)	PQI (-)
20210324	PM	NO	263	818	0.20	0.10	0.10	0.00	0.00	8.90	0.11	6
20210405	PM	NO	436	991	0.10	0.00	0.10	0.10	0.60	13.00	0.00	10
20210505	MONITOREO	NO	835	1,390	0.50	0.10	0.20	0.00	0.00	28.60	0.02	34
20210512	MONITOREO	NO	946	1,501	0.60	0.00	0.30	1.30	1.30	28.10	0.17	35
20210519	MONITOREO	NO	1,071	1,626	0.60	0.20	0.30	0.00	0.00	35.50	0.23	32
20210526	MONITOREO	NO	1,180	1,735	0.40	0.00	0.60	0.10	0.50	2.60	0.19	2
20210601	MONITOREO	NO	1,289	1,844	0.70	0.10	0.30	0.00	0.40	39.60	0.09	42
20210615	MONITOREO	NO	1,503	2,058	0.80	0.10	0.40	0.00	0.30	44.00	0.25	45
20210707	MONITOREO	NO	1,839	2,394	0.70	0.00	0.40	0.50	0.60	32.00	0.56	46
20210729	MONITOREO	NO	2,195	2,750	1.40	0.20	0.50	0.00	0.60	28.00	0.11	50
20210815	MONITOREO	SI	168	3,002	0.10	0.00	0.00	0.30	2.80	6.10	0.47	9
20210831	MONITOREO	NO	440	3,274	0.80	0.00	0.20	0.10	1.40	22.80	0.02	28
20210914	MONITOREO	NO	693	3,527	0.70	0.00	0.20	0.50	0.80	33.60	0.14	51
20211004	MONITOREO	NO	1,025	3,859	0.50	0.00	0.30	0.00	1.00	35.90	0.27	53
20211019	MONITOREO	NO	1,298	4,132	0.60	0.10	0.30	0.00	0.00	43.20	0.00	55
20211121	MONITOREO	NO	1,679	4,513	1.10	0.20	0.60	0.00	0.00	44.20	0.27	59
20211206	MONITOREO	SI	243	4,756	0.00	0.00	0.00	1.00	2.30	7.10	0.06	13
20211222	MONITOREO	NO	466	4,979	0.50	0.00	2.90	0.80	0.10	12.70	0.12	8
20220106	MONITOREO	NO	731	5,244	0.60	0.00	0.10	0.60	1.10	18.50	0.89	21
20220203	MONITOREO	NO	1,172	5,685	0.60	0.00	0.20	0.00	0.00	28.30	0.41	42

Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (I)

Figura 21
Gráfico de desgaste (regular)


Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (I)

Diagnóstico - pronóstico

Se observa un ligero incremento de partículas de fierro y ligera presencia de PQI., hay una ligera tendencia de contaminación con silicio. Ligero desgaste de engranes y rodamientos por asentamiento del componente. Se observa ligera tendencia de silicio con 5.7ppm y un ligero incremento de fierro con 28.3ppm, PQI 42. Probable desgaste de engranes y rodamientos producto del asentamiento del componente. Se recomienda hacer seguimiento y cambiar el aceite de manera preventiva.

4.3.2. Reporte de Resultados de Análisis de Lubricante (II)

Tabla 20

Ensayos de laboratorio

Ensayo	Equipo	Norma
Espectrometría de Emisión Atómica	Spectroil Q120	ASTM D6595
Viscosidad Cinemática	ISL Huoillon	ASTM D7279
Análisis Infrarrojo	Spectro Fluid Scan Q100	ASTM E2412
Conteo de Partículas	Laser Net Fines Q220	ISO 4406
Conteo de Partículas ferrosas (PQI)	Analex pqL	ASTM D8184

Nota: referido al reporte de resultados de análisis de lubricante (II)

Tabla 21

Datos generales del reporte (II)

Fecha De Reporte	16/12/2022
Flota	Pala minera
Equipo	Pala A
Componente	Caja de levante
Modelo	--
Estado Componente	Seguimiento
Horas actuales	10969
PCR Componente	25000
Lubricante	Mobilgear 600 XP 460
Viscosidad a 40°C	460 centistoke (Min: 400 cSt - Max: 530 cSt)
Base	Mineral
PCR Aceite	3500
Severidad	ALERTA
Aviso	1000258493
Tipo de Aviso	Z1

Nota: referido al reporte de resultados de análisis de lubricante (II)

Tabla 22

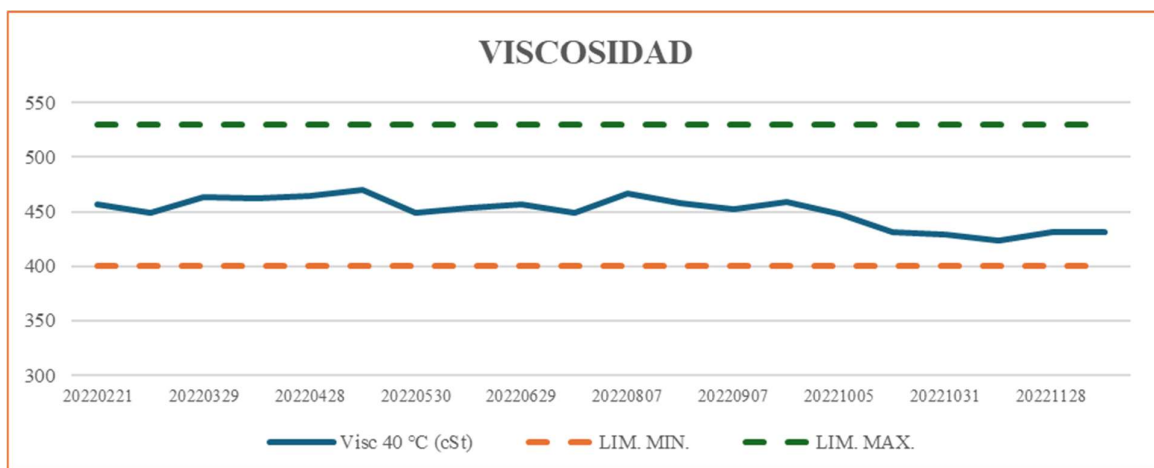
Resultados de la salud del combustible (normal)

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					SALUD							
FECHA MUESTRA	TIPO MUESTRA	CAMBIO ACEITE	AAHACEITE (h)	AAHCOMP (h)	Visc 40 °C (cSt)	ADITIVOS						
						Ba (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	P (ppm)	B (ppm)	Mo (ppm)
20220221	MONITOREO	SI	101	5,952	456.90	0.00	0.30	0.06	5.51	201.90	19.96	0.00
20220311	MONITOREO	NO	335	6,186	448.50	0.00	0.98	0.41	6.86	215.70	21.86	0.00
20220329	MONITOREO	NO	603	6,454	463.40	0.00	2.29	0.65	20.79	273.60	27.76	0.00
20220412	MONITOREO	NO	797	6,648	462.30	0.00	3.02	0.40	21.64	246.50	27.58	0.00
20220428	MONITOREO	NO	1,056	6,907	464.20	0.06	4.87	0.53	28.27	312.60	28.63	0.00
20220516	MONITOREO	NO	1,385	7,236	470.30	0.20	5.59	0.68	18.28	237.50	26.28	0.62
20220530	MONITOREO	SI	122	7,494	448.80	0.26	0.47	0.09	2.95	216.70	23.63	0.00
20220616	MONITOREO	NO	461	7,833	453.10	0.23	0.42	0.16	3.76	243.90	24.36	2.12
20220629	MONITOREO	NO	678	8,050	457.00	0.02	3.08	0.86	13.49	272.30	26.97	0.00
20220713	MONITOREO	NO	921	8,293	449.20	0.00	2.06	0.09	10.38	249.00	25.05	0.00
20220807	MONITOREO	NO	1,239	8,611	467.00	0.02	5.86	0.48	25.70	325.00	27.94	1.28
20220824	MONITOREO	NO	1,552	8,924	458.10	0.04	5.57	0.55	28.38	307.40	27.01	1.26
20220907	MONITOREO	SI	122	9,170	452.00	0.00	0.69	0.02	4.95	181.50	20.64	0.08
20220923	MONITOREO	NO	399	9,447	459.00	0.00	1.31	0.09	3.96	94.80	14.46	0.00
20221005	MONITOREO	NO	613	9,661	447.40	0.00	2.01	0.11	18.79	304.70	27.53	0.08
20221019	MONITOREO	SI	105	9,921	431.60	0.01	10.75	1.33	4.96	220.80	4.42	0.00
20221031	MONITOREO	NO	324	10,140	429.30	0.00	10.11	1.49	6.06	174.30	1.91	0.00
20221115	MONITOREO	NO	595	10,411	424.00	0.00	10.82	1.41	5.61	225.70	6.66	0.73
20221128	MONITOREO	NO	839	10,655	431.80	0.00	10.85	1.26	4.55	168.80	1.75	0.00
20221216	MONITOREO	NO	1,153	10,969	431.10	0.00	12.61	1.94	9.34	234.20	2.62	0.00

Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (II)

Figura 22

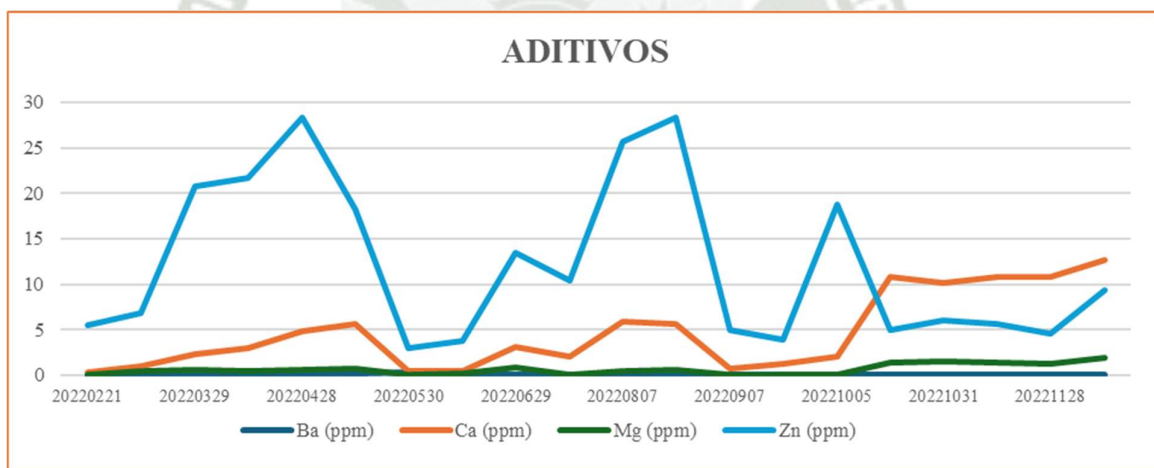
Gráfico de viscosidad (normal)



Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (II)

Figura 23

Gráfico de aditivos (normal)



Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (II)

Tabla 23

Resultados de la contaminación del combustible (alarma)

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					CONTAMINACIÓN		
FECHA MUESTRA	TIPO MUESTRA	CAMBIO ACEITE	AAHACEITE (h)	AAHCOMP (h)	Na (ppm)	Li (ppm)	Si (ppm)
20220221	MONITOREO	SI	101	5,952	0.10	4.26	0.90
20220311	MONITOREO	NO	335	6,186	0.20	6.51	2.20
20220329	MONITOREO	NO	603	6,454	0.40	12.68	4.70
20220412	MONITOREO	NO	797	6,648	0.60	14.82	6.20
20220428	MONITOREO	NO	1,056	6,907	1.20	17.62	10.10
20220516	MONITOREO	NO	1,385	7,236	1.30	18.71	9.80
20220530	MONITOREO	SI	122	7,494	0.20	3.13	1.00
20220616	MONITOREO	NO	461	7,833	0.10	2.57	2.00
20220629	MONITOREO	NO	678	8,050	0.30	9.95	3.60
20220713	MONITOREO	NO	921	8,293	0.20	8.56	3.40
20220807	MONITOREO	NO	1,239	8,611	0.70	20.41	4.70
20220824	MONITOREO	NO	1,552	8,924	0.80	18.94	5.80
20220907	MONITOREO	SI	122	9,170	0.20	5.46	0.90
20220923	MONITOREO	NO	399	9,447	0.40	6.76	1.80
20221005	MONITOREO	NO	613	9,661	0.20	11.17	3.40
20221019	MONITOREO	SI	105	9,921	0.10	2.88	3.50
20221031	MONITOREO	NO	324	10,140	0.00	2.73	1.40
20221115	MONITOREO	NO	595	10,411	0.10	2.69	3.00
20221128	MONITOREO	NO	839	10,655	0.00	3.21	1.70
20221216	MONITOREO	NO	1,153	10,969	0.20	3.64	3.90

Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (II)

Figura 24

Gráfico de contaminación por Silicio y Sodio (normal)



Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (II)

Figura 25

Gráfico de contaminación por Litio (normal)



Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (II)

Tabla 24

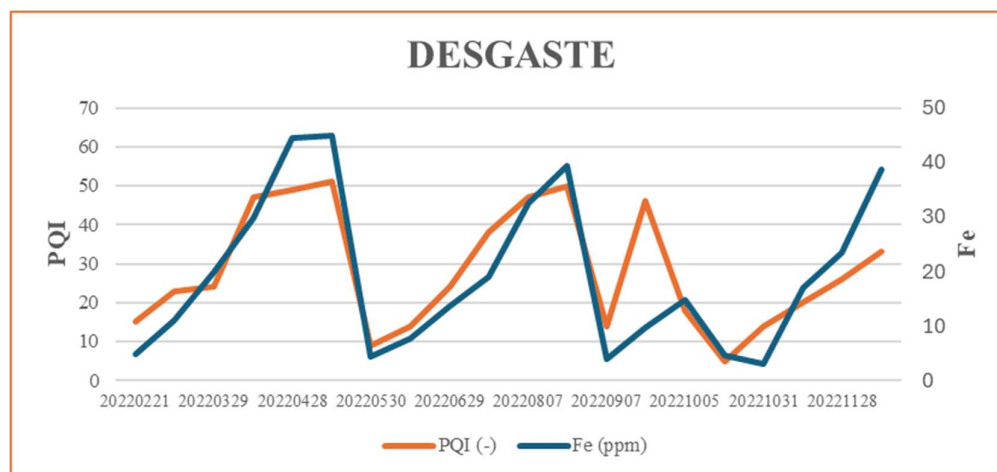
Resultados del desgaste del combustible (crítico)

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					DESGASTE							
FECHA MUESTRA	TIPO MUESTRA	CAMBIO ACEITE	AAHACEITE (h)	AAHCOMP (h)	Al (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Su (ppm)	Fe (ppm)	Ni (ppm)	PQI (-)
20220221	MONITOREO	SI	101	5,952	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	4.80	0.30	15
20220311	MONITOREO	NO	335	6,186	0.00	0.00	0.10	0.00	2.50	11.10	0.33	23
20220329	MONITOREO	NO	603	6,454	0.60	0.10	0.20	1.20	0.00	20.00	0.31	24
20220412	MONITOREO	NO	797	6,648	0.70	0.10	0.50	0.00	0.00	29.80	0.39	47
20220428	MONITOREO	NO	1,056	6,907	1.30	0.30	0.80	0.00	0.00	44.50	0.00	49
20220516	MONITOREO	NO	1,385	7,236	1.30	0.20	0.70	0.70	0.70	45.00	0.18	51
20220530	MONITOREO	SI	122	7,494	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	4.30	0.21	9
20220616	MONITOREO	NO	461	7,833	0.10	0.10	0.10	0.00	0.30	7.80	0.00	14
20220629	MONITOREO	NO	678	8,050	0.10	0.00	0.20	1.30	0.60	13.60	0.03	24
20220713	MONITOREO	NO	921	8,293	0.10	0.00	0.20	1.00	0.30	19.00	0.13	38
20220807	MONITOREO	NO	1,239	8,611	0.70	0.30	0.40	1.20	0.00	32.60	0.00	47
20220824	MONITOREO	NO	1,552	8,924	0.90	0.30	0.70	0.60	0.20	39.40	0.14	50
20220907	MONITOREO	SI	122	9,170	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	4.00	0.49	14
20220923	MONITOREO	NO	399	9,447	0.00	0.00	0.20	1.30	0.00	9.80	0.66	46
20221005	MONITOREO	NO	613	9,661	0.30	0.10	0.20	0.00	0.90	14.70	0.00	18
20221019	MONITOREO	SI	105	9,921	0.30	0.10	0.10	0.00	0.00	4.70	0.00	5
20221031	MONITOREO	NO	324	10,140	0.50	0.00	0.20	0.00	0.20	3.10	0.42	14
20221115	MONITOREO	NO	595	10,411	0.50	0.00	0.20	0.00	1.20	17.00	0.10	20
20221128	MONITOREO	NO	839	10,655	0.00	0.00	0.30	0.00	1.50	23.50	0.47	26
20221216	MONITOREO	NO	1,153	10,969	0.70	0.00	0.40	0.00	2.20	38.70	0.30	33

Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (II)

Figura 26

Gráfico de contaminación (crítico)



Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (II)

Diagnóstico - pronóstico

Se observa un incremento de hierro y del PQI., no hay incremento de contaminación con silicio. Probable desgaste de engranes y rodamientos No hay tendencia creciente de silicio y el desgaste ferroso está en 38.7ppm, PQI 33. Desgaste creciente de engranes y rodamientos. Se recomienda revisar los tapones magnéticos, hacer videoscopia para comprobar desgaste, realizar flushing a la transmisión y cambiar el aceite.

4.3.3. Reporte de Resultados de Análisis de Lubricante (III)

Tabla 25

Ensayos de laboratorio

Ensayo	Equipo	Norma
Espectrometría de Emisión Atómica	Spectroil Q120	ASTM D6595
Viscosidad Cinemática	ISL Huoillon	ASTM D7279
Análisis Infrarrojo	Spectro Fluid Scan Q100	ASTM E2412
Conteo de Partículas	Laser Net Fines Q220	ISO 4406
Conteo de Partículas ferrosas (PQI)	Analex pqL	ASTM D8184

Nota: referido al reporte de resultados de análisis de lubricante (III)

Tabla 26

Datos generales del reporte (III)

Fecha De Reporte	24/10/2023
Flota	Pala minera
Equipo	Pala A
Componente	Caja de levante
Modelo	--
Estado Componente	Seguimiento
Horas actuales	16469
PCR Componente	25000
Lubricante	Mobilgear 600 XP 460
Viscosidad a 40°C	460 centistoke (Min: 400 cSt - Max: 530 cSt)
Base	Mineral
PCR Aceite	3500
Severidad	CRÍTICO
Aviso	1000467797
Tipo de Aviso	Z2

Nota: referido al reporte de resultados de análisis de lubricante (III)

Tabla 27

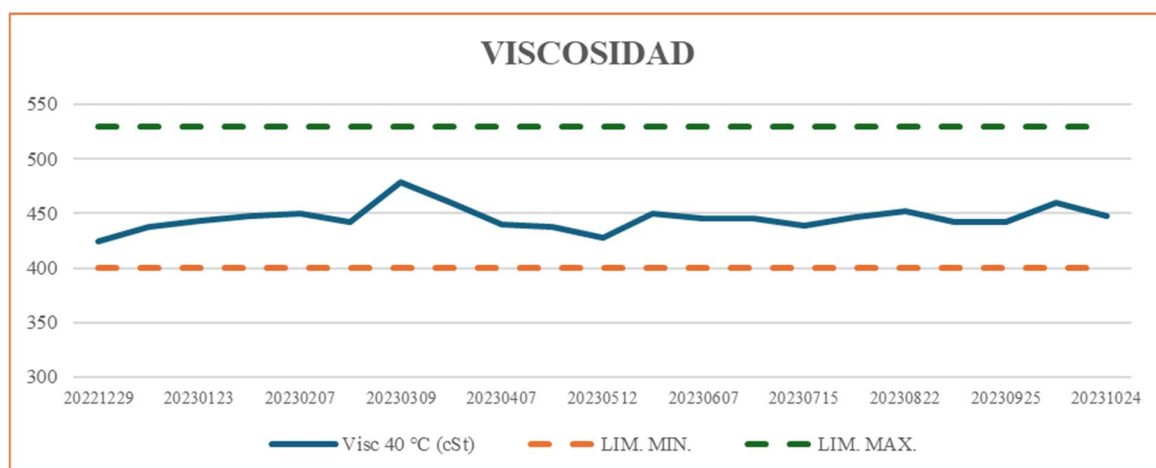
Resultados de la salud del combustible (normal)

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					SALUD							
FECHA MUESTRA	TIPO MUESTRA	CAMBIO ACEITE	AAHACEITE (h)	AAHCOMP (h)	Visc 40 °C (cSt)	ADITIVOS						
						Ba (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	P (ppm)	B (ppm)	Mo (ppm)
20221229	MONITOREO	NO	1,394	11,210	424.60	0.00	13.14	1.65	12.37	238.50	2.72	0.00
20230109	MONITOREO	SI	84	11,381	437.90	0.00	11.97	0.86	2.20	190.60	1.14	0.00
20230123	MONITOREO	NO	341	11,638	443.40	0.00	10.50	0.25	4.30	130.10	1.89	0.00
20230129	MONITOREO	NO	439	11,736	447.10	0.00	11.50	0.35	6.40	185.20	2.91	0.00
20230207	MONITOREO	NO	586	11,883	450.20	0.00	11.65	0.32	4.15	118.20	2.14	0.00
20230221	MONITOREO	NO	837	12,134	441.80	0.00	13.86	0.70	7.04	171.80	3.38	0.00
20230309	MONITOREO	NO	1,130	12,427	479.00	0.00	15.79	0.60	9.51	169.00	4.35	0.00
20230323	MONITOREO	NO	1,388	12,685	459.30	0.08	13.30	0.00	8.91	150.90	5.26	0.00
20230407	MONITOREO	SI	102	12,946	440.00	0.14	6.01	0.00	3.00	147.10	6.12	0.00
20230424	MONITOREO	NO	374	13,218	437.70	0.00	4.53	0.00	4.21	164.20	6.01	0.00
20230512	MONITOREO	NO	651	13,495	428.10	0.00	9.09	0.48	8.68	211.10	1.16	1.93
20230524	MONITOREO	NO	868	13,712	450.00	0.00	8.62	0.26	8.39	168.20	0.86	0.00
20230607	MONITOREO	NO	1,121	13,965	445.20	0.00	9.62	0.50	14.33	220.20	1.21	0.00
20230619	MONITOREO	NO	1,342	14,186	445.60	0.00	8.98	0.51	10.55	158.30	0.90	0.00
20230715	MONITOREO	NO	1,791	14,635	438.80	0.00	10.38	0.46	11.89	197.50	8.89	0.00
20230801	MONITOREO	NO	2,079	14,923	446.40	0.00	13.95	0.45	11.02	176.00	7.31	0.00
20230822	MONITOREO	NO	2,487	15,331	452.00	0.00	2.74	0.41	2.47	194.50	24.28	1.59
20230910	MONITOREO	NO	2,825	15,669	442.00	0.00	3.24	0.39	3.87	171.40	23.82	0.84
20230925	MONITOREO	NO	3,104	15,948	442.30	0.00	2.50	0.27	7.21	156.10	18.47	0.00
20231010	MONITOREO	NO	3,360	16,204	460.00	0.00	3.05	0.31	9.04	162.40	19.32	0.00
20231024	MONITOREO	NO	3,625	16,469	448.00	0.00	2.93	0.33	11.87	204.70	18.28	0.00

Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (III)

Figura 27

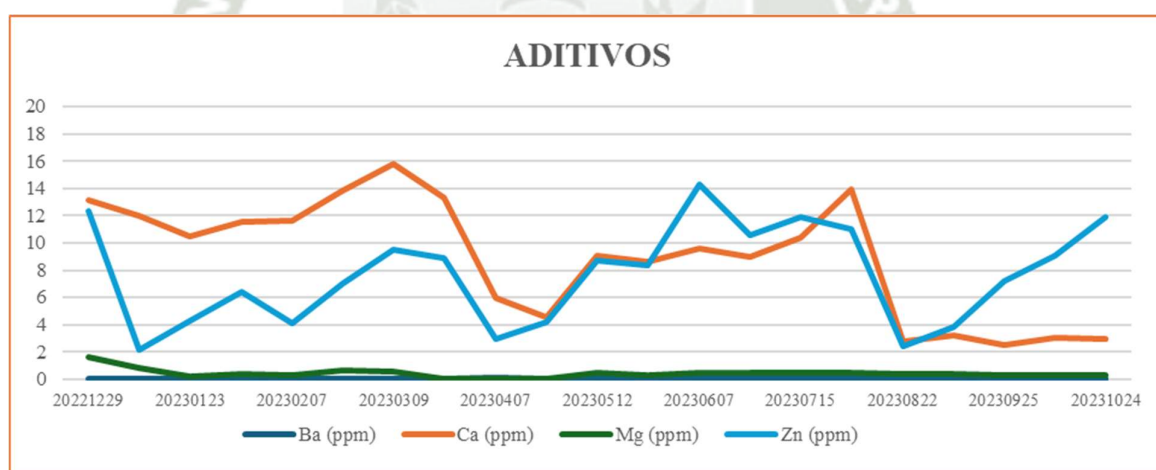
Gráfico de viscosidad (normal)



Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (III)

Figura 28

Gráfico de aditivos (normal)



Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (III)

Tabla 28

Resultados de la contaminación del combustible (alarma)

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					CONTAMINACIÓN		
FECHA MUESTRA	TIPO MUESTRA	CAMBIO ACEITE	AAHACEITE (h)	AAHCOMP (h)	Na (ppm)	Li (ppm)	Si (ppm)
20221229	MONITOREO	NO	1,394	11,210	0.50	7.04	4.60
20230109	MONITOREO	SI	84	11,381	0.00	0.71	1.90
20230123	MONITOREO	NO	341	11,638	0.00	4.86	1.90
20230129	MONITOREO	NO	439	11,736	0.00	4.98	3.20
20230207	MONITOREO	NO	586	11,883	0.00	5.81	3.00
20230221	MONITOREO	NO	837	12,134	0.20	6.90	5.30
20230309	MONITOREO	NO	1,130	12,427	0.70	13.21	6.90
20230323	MONITOREO	NO	1,388	12,685	0.90	12.96	7.60
20230407	MONITOREO	SI	102	12,946	0.00	4.16	2.50
20230424	MONITOREO	NO	374	13,218	0.00	3.80	2.20
20230512	MONITOREO	NO	651	13,495	0.20	4.01	2.90
20230524	MONITOREO	NO	868	13,712	0.10	6.69	3.40
20230607	MONITOREO	NO	1,121	13,965	0.20	6.92	3.90
20230619	MONITOREO	NO	1,342	14,186	0.10	8.73	2.80
20230715	MONITOREO	NO	1,791	14,635	0.30	9.71	3.10
20230801	MONITOREO	NO	2,079	14,923	0.40	17.55	4.00
20230822	MONITOREO	NO	2,487	15,331	0.00	0.70	3.80
20230910	MONITOREO	NO	2,825	15,669	0.00	2.43	4.70
20230925	MONITOREO	NO	3,104	15,948	0.00	7.53	3.80
20231010	MONITOREO	NO	3,360	16,204	0.00	8.76	4.40
20231024	MONITOREO	NO	3,625	16,469	0.10	8.41	4.40

Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (III)

Figura 29

Gráfico de contaminación por Silicio y Sodio (normal)



Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (III)

Figura 30

Gráfico de contaminación por Litio (normal)



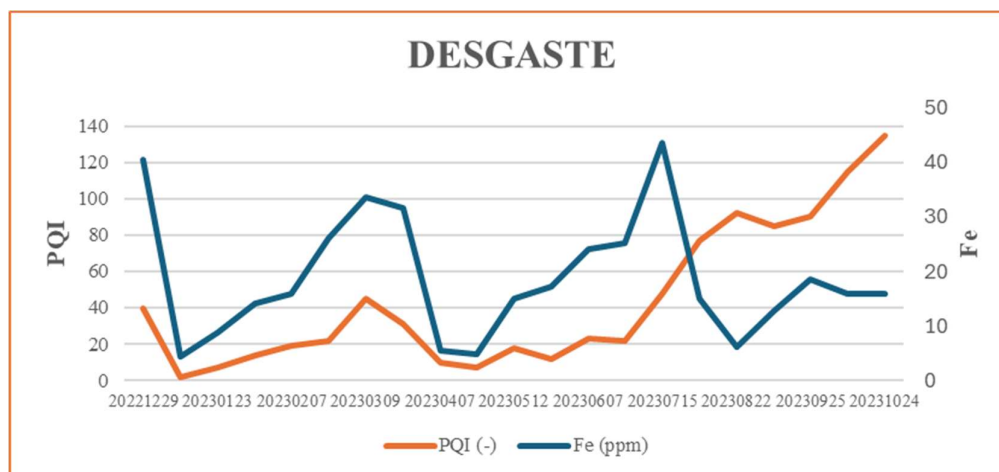
Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (III)

Tabla 29

Resultados del desgaste del combustible (crítico)

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					DESGASTE							
FECHA MUESTRA	TIPO MUESTRA	CAMBIO ACEITE	AAHACEITE (h)	AAHCOMP (h)	Al (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	Fe (ppm)	Ni (ppm)	PQI (-)
20221229	MONITOREO	NO	1,394	11,210	0.60	0.00	0.40	0.00	1.50	40.40	0.50	40
20230109	MONITOREO	SI	84	11,381	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	4.50	0.00	2
20230123	MONITOREO	NO	341	11,638	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.90	0.00	7
20230129	MONITOREO	NO	439	11,736	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	14.20	0.00	14
20230207	MONITOREO	NO	586	11,883	0.00	0.00	0.00	0.60	1.10	15.90	0.00	19
20230221	MONITOREO	NO	837	12,134	0.10	0.00	0.00	0.00	0.60	26.10	0.00	22
20230309	MONITOREO	NO	1,130	12,427	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.60	0.00	45
20230323	MONITOREO	NO	1,388	12,685	0.10	0.40	0.60	0.00	0.00	31.60	0.17	31
20230407	MONITOREO	SI	102	12,946	0.00	0.10	0.10	1.30	0.00	5.60	0.18	10
20230424	MONITOREO	NO	374	13,218	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	4.80	0.39	7
20230512	MONITOREO	NO	651	13,495	0.50	0.00	0.20	0.00	0.00	15.00	0.12	18
20230524	MONITOREO	NO	868	13,712	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	17.20	0.14	12
20230607	MONITOREO	NO	1,121	13,965	0.20	0.00	0.30	0.00	0.00	24.20	0.00	23
20230619	MONITOREO	NO	1,342	14,186	0.00	0.00	0.30	0.00	0.10	25.20	0.54	22
20230715	MONITOREO	NO	1,791	14,635	0.20	0.00	0.60	0.00	0.50	43.60	0.45	48
20230801	MONITOREO	NO	2,079	14,923	0.10	0.00	0.60	0.00	0.70	15.00	0.52	77
20230822	MONITOREO	NO	2,487	15,331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.20	0.00	92
20230910	MONITOREO	NO	2,825	15,669	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	12.80	0.00	85
20230925	MONITOREO	NO	3,104	15,948	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.60	0.43	90
20231010	MONITOREO	NO	3,360	16,204	0.00	0.00	0.10	0.00	0.70	16.00	0.75	115
20231024	MONITOREO	NO	3,625	16,469	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	15.80	0.35	135

Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (III)

Figura 31
Gráfico de contaminación (crítico)


Nota. referido del Reporte de resultados de análisis de lubricante (III)

Diagnóstico - pronóstico

Se observa un incremento anormal y excesivo de del PQI., no hay incremento de contaminación con silicio. Desgaste elevado de componentes internos. No hay tendencia creciente de silicio y el desgaste ferroso en 15.8ppm, PQI 135. Se recomienda parar el equipo y evaluar el componente para cambio, evitar mayores daños.

4.4 Beneficios

4.4.1. Beneficios Directos

Se evita una pérdida de aproximadamente \$100,000 por hora debido a la inoperatividad del equipo, lo que se traduce en un ahorro de \$1,200,000 por 12 horas de inactividad. Por lo que se da confiabilidad al equipo en la operación.

Se evita el costo de reparación del componente, que es de aproximadamente \$280,000, al detectar un problema en su etapa incipiente evitamos que se convierta en una posible falla, por lo que se puede prolongar su vida útil.

Se puede planificar el cambio del componente, cuyo costo es de aproximadamente \$1,200,000. Con ello aseguramos que los recursos se utilicen de forma eficiente lo que evitaría mantenimientos correctivos que no han sido planificados.

El análisis tribológico PQI (*Particle Quantifier Index*) demostró ser más eficiente que la espectrometría de absorción atómica, puesto que evidencio mayor asertividad para demostrar un desgaste interno elevado del componente, esto conlleva a la toma de decisión de cambio del componente antes que se produzca una falla catastrófica.

Realizando un seguimiento a los resultados del análisis tribológico PQI (*Particle Quantifier Index*) podemos ampliar la vida útil del componente, puesto que el fabricante por PCR (*Planned Component Replacement*) recomienda el reemplazo a una cantidad de horas de trabajo. Esto genera un beneficio económico ya que se puede planificar los cambios con antelación.

4.4.2. Beneficios indirectos

La parada de la planta debido al equipo detenido equivale aproximadamente a \$120,000 por hora, lo que se traduce en una pérdida de \$1,440,000 en una jornada de 12 horas.

Se deja de producir 10,000TM por hora, lo que se traduce en dejar de procesar 120,000TM en una jornada de 12 horas.

Cuando no se alcanza la producción esperada, el desempeño de la planta disminuye considerablemente y no se puede recuperar. Esto afecta el cumplimiento de las metas operativas, impidiendo que se cumplan los compromisos pactados con los compradores externos.

Podemos reducir los tiempos asociados a la inactividad del equipo, por lo que se puede mejorar su disponibilidad.

Se mejora el inventario en la empresa porque evitaríamos tener en stock un componente costoso que ocupa mucho espacio en los almacenes, además se debe almacenar adecuadamente para evitar su deterioro.

Las decisiones de cambio o reparación son más optimas ya que con la información llevaría a tener mejores estrategias de mantenimiento.

CONCLUSIONES

PRIMERA

Los resultados de la investigación demuestran que existe evidencia de la relación que hay entre el análisis tribológico (*Particle Quantifier Index*) y los costos de mantenimiento, la tabla 26 evidencia la intervención del componente gracias al reporte de condición del componente, así también un 87.50% de los colaboradores de mantenimiento de la unidad minera considera que el análisis tribológico (*Particle Quantifier Index*) realizado es bueno; también un 93.75% considera que los costos de mantenimiento se gestionan de forma correcta dado que existe un plan de conservación de equipos y el área de mantenimiento cuenta con un plan de trabajo debidamente estructurado, se garantiza la presencia del personal de mantenimiento cuando se requiera de sus servicios; también se reconoce que la empresa asigna un presupuesto para el mantenimiento de equipos y se lleva un control adecuado de los mismos en las diversas áreas.

SEGUNDA

Los resultados de la investigación demuestran que existe evidencia de la relación que hay entre la fricción y los costos de mantenimiento, la tabla 27 muestra estadísticamente la intervención del componente gracias a los resultados de tribología, así también un 87.50% de los colaboradores de mantenimiento de la unidad minera considera que la fricción es un factor importante del análisis tribológico, debido a que dentro del mantenimiento y operación de las maquinarias, se considera que la rugosidad de la superficie influye en la fricción; también se reconoce que la lubricación utilizada disminuye la fricción y evita la pérdida de potencia. Finalmente, se considera que el uso de lubricante disminuye el calentamiento.

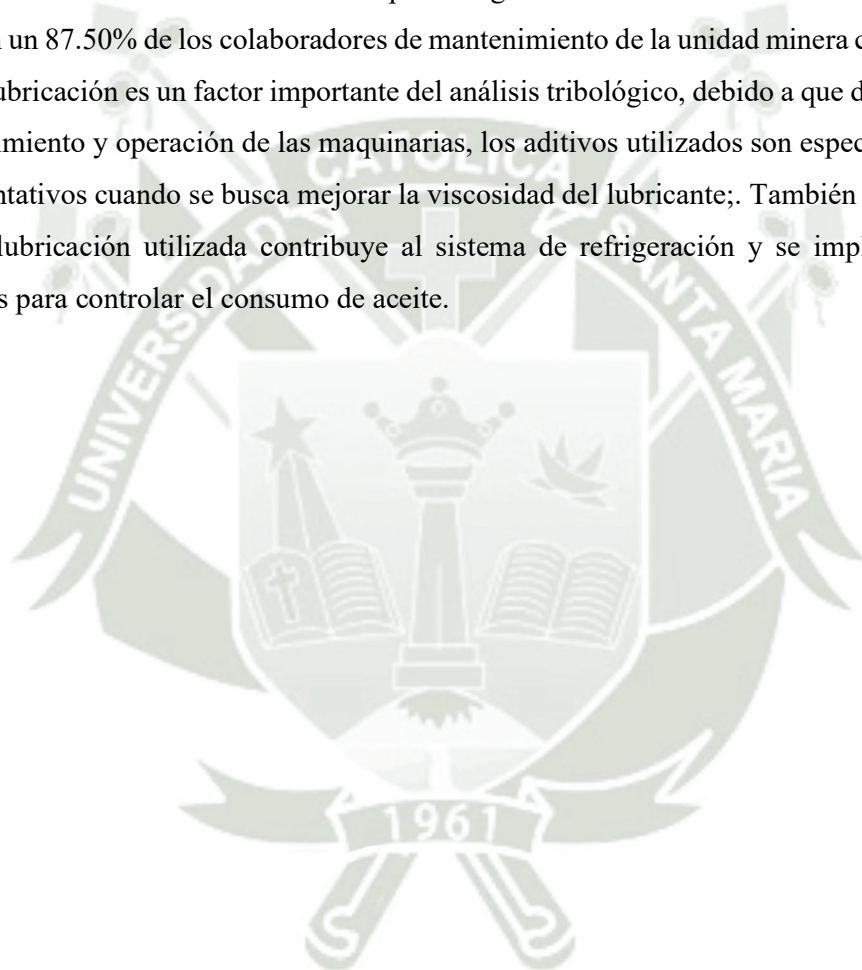
TERCERA

Los resultados de la investigación demuestran que existe evidencia de la relación que hay entre el desgaste y los costos de mantenimiento, la tabla 28 muestra estadísticamente la intervención del componente gracias a los resultados de tribología, así también un 87.50% de los colaboradores de mantenimiento de la unidad minera considera que el desgaste es un factor importante del análisis tribológico, debido a que dentro del

mantenimiento y operación de las maquinarias el sistema de lubricación reduce el desgaste de las piezas y mantiene el aceite lubricante circulando a presión; también se sostiene que los lubricantes utilizados protegen contra la corrosión y el desgaste.

CUARTA

Los resultados de la investigación demuestran que existe evidencia de la relación que hay entre la lubricación y los costos de mantenimiento, la tabla 29 muestra estadísticamente la intervención del componente gracias a los resultados de tribología, así también un 87.50% de los colaboradores de mantenimiento de la unidad minera considera que la lubricación es un factor importante del análisis tribológico, debido a que dentro del mantenimiento y operación de las maquinarias, los aditivos utilizados son especialmente representativos cuando se busca mejorar la viscosidad del lubricante;. También se indica que la lubricación utilizada contribuye al sistema de refrigeración y se implementan acciones para controlar el consumo de aceite.



RECOMENDACIONES

PRIMERA

Utilizar la tecnología para tener equipos de alta precisión con resultados confiables que sean traceables y permitan anticiparnos a las fallas además la capacitación constante al personal siempre debe ir de forma paralela. Con la finalidad de reducir el riesgo de averías durante el proceso de operación minera, también es importante no perder el enfoque del mantenimiento preventivo para disminuir el desgaste o la necesidad de cambiar piezas.

SEGUNDA

La implementación de un programa de mantenimiento acorde a la realidad y características de la operación es importante para identificar problemas incipientes que se pueden convertir en costosos o catastróficos sin una intervención adecuada, se debe identificar la criticidad de los equipos.

TERCERA

Si bien es esencial respetar y seguir las recomendaciones de uso y mantenimiento del fabricante, también es importante realizar un análisis tribológico en los equipos para incrementar las horas de trabajo del lubricante y del componente.

CUARTA

Darle importancia al proceso de mantenimiento de las transmisiones y a la selección del aceite adecuado; también es crucial medir su desempeño y evitar la mezcla de lubricantes, ya que esto puede provocar corrosión y un mayor desgaste mecánico.

QUINTA

Crear e implementar un programa de lubricación para cada máquina o equipo, con la finalidad de incrementar la vida útil de las piezas de las transmisiones y mejorar su operatividad; esto permitirá lograr un mayor rendimiento en la operación minera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera D., García S., y Moreno K. (2020). *Tribología verde: efecto de los biolubricantes y su impacto ecológico*. Elementos 117, 9 – 14. <https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000004200.pdf>
- Alvarez C. (2015, 9 de marzo). *Indice PQ - Particle Quantifier Index [PQI]*. Hidroneumática Aplicada. <https://hidroneumaticaaplicada.blogspot.com/2015/03/indice-pq-particle-quantifier-index-pqi.html>
- ALS Oil & Lubricants LATAM (2022, 2 de agosto). *¿Cuáles son las ventajas del PQI?*. <https://www.linkedin.com/pulse/cu%C3%A1les-son-las-ventajas-del-pqi-alstribologylatam/>
- Anaya A., Cauich G., Funabazama O., y Gracia V. (2013). *Un día sin fricción*. Educación Química, 25(1), 60 – 61. <https://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v25n1/v25n1a10.pdf>
- Arias F. (2012). *El Proyecto de Investigación*. <https://www.researchgate.net/publication/301894369>
- Castillo y Toapanta (2019). *Principios de tribología aplicados en la ingeniería mecánica*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=779863>
- Chura F. (2019). *Optimización del consumo de aceite y mayor disponibilidad en camiones de acarreo de mineral con análisis de aceite en la unidad económica de cobre en la región Moquegua* [Tesis de Bachiller, Universidad Continental]. Repositorio Institucional – Universidad Continental. <http://repositoriodemo.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7205>
- Ciria J. (s.f.). *Determinación de las partículas ferromagnéticas de desgaste mediante el PQ*. www.wearcheckiberica.es
- Contabilidad y Finanzas (s.f.). *Costos de Mantenimiento: Control y Gestión*. <https://contabilidadfinanzas.com/contabilidad-de-costos/costos-de-mantenimiento/>
- Cuellar M. (2022). *Diseño tribológico y análisis de costo de un sistema de purificación de lubricante SAE para motores General Electric de 3,5MW* [Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional – Universidad de San Carlos de Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/17739>
- Díaz F. (2007). *Lecturas de Ingeniería 2: tribología: fricción, desgaste y lubricación*. https://www.academia.edu/5205269/FACULTAD_DE_ESTUDIOS_SUPERIORE

S_CUAUTITL%C3%81N_TRIBOLOG%C3%8DA_FRICCI%C3%93N_DESGAS
TE_Y?rhid=28077339100&swp=rr-rw-wc-39270348

- EasyMaint Maintance (2016, 13 de julio). *Costo de Mantenimiento*. https://easymaint.net/blog_easymaint/2016/07/13/costo-de-mantenimiento/
- Echávarri J., Franco F., De la Guerra E., y Chacón E. (2022). Los cojinetes de fricción, arquetipo del progreso histórico de la Tribología. XV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Madrid, España. http://espacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:congresoCIBIM-2022UPMEspana-Jechavarri/Abs_247_185238.pdf
- Espinosa T. (2011). *Estudio del comportamiento tribológico y de las interacciones de superficie de nuevos nanofluidos iónicos* [Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio Digital – Universidad Politécnica de Cartagena. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/2057>
- Esquivel C. (2023). *La tribología y los costos de mantenimiento: una alternativa para el incremento de los beneficios económicos*. *Universidad & ciencia*, 12(1), 106 – 117. <https://revistas.unica.cu/uciencia/index.php>
- García A., Muñoz M., Díaz A., Gámez B., Penabad L., y Tamayo J. (2019). *Evaluación de la gestión de la lubricación y los lubricantes*. *Ingeniería Mecánica*, 22(3), 121 – 126. <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu>
- García, E. (2023, junio 16). *Definición de un motorreductor y cómo funciona*. Todo para la industria. <https://todoparalaindustria.com/blogs/blog/definicion-de-un-motorreductor-y-como-funciona?srsId=AfmBOookBVUGWv11McGniM-X1dFDjCLHWtNdAhjs5J0d7nS0C9WyrwHm>
- Granizo J. (2010). *La Tribología y sus aplicaciones en la industria*. *Revista Ciencia Unemi*, 3(4), 64 – 71. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=582663869009>
- Hernández E., Guevara R., Tapia F., y Mendoza C. (2020). *Aumento de la vida útil del rodamiento para un tupi de banco mediante análisis tribológico*. *Polo de conocimiento*, 5(3), 120 - 139. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7398413>
- Hernández R., Fernández C., y Baptista P. (2014). *Metodología de la investigación*. https://www.academia.edu/32697156/Hern%C3%A1ndez_R_2014_Metodologia_de_la_Investigacion

- Holdmeyer D. (s/f). *Interpretando el análisis de aceite: ¿Qué le dice?*.
https://latinamerica.chevronlubricants.com/es_mx/home/learning/from-chevron/industrial-machinery/interpreting-oil-analysis.html
- Lazo B. y Huatuco M. (2011). Metodología para evaluar el desgaste tribológico de maquinaria pesada en el sector minero. *Prospectiva Universitaria*, 8(1), 151 – 160.
<https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/1260>
- Linares O. (2003). *La tribología; fricción, desgaste y lubricación*. *Revista Tecnológica*, 1(3), 39 – 46. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/1607/RT-v1n3.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=40>
- Linares O. (2010). *Tribología y mantenimiento proactivo*. Widman International SRL.
<https://www.widman.biz/boletines/19.php>
- López A. (2017). *La Tribología: Ciencia sustentable*. *Revista RECITIUTM*, 3(2), 88 - 111.
<http://recitiutm.iutm.edu.ve/index.php/recitiutm/article/view/87>
- Luengo O. (2008). *Estudio tribológico de fricción y desgaste de capas de aleación NiP mediante el método de Ball On Disk* [Tesis de Grado, Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio Institucional - Universitat Politècnica de Catalunya.
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6299>
- MADISA (2023, 1 de setiembre). *Equipos mineros más utilizados en la minería de superficie*. <https://blog.madisa.com/equipos-mineros-utilizados-en-mineria-de-superficie#:~:text=Equipos%20mineros%20m%C3%A1s%20utilizados%20en%20la%20miner%C3%ADa%20de,Palas%20mineras%20...%205%205.%20Motonivela%20minera%20>
- Martínez E., Gorritxategi E, Miró G., Pérez A., y Romo A. (2018). *El papel de la tribología en el mantenimiento de la industria 4.0*. <https://atten2.com/ebook-el-papel-de-la-tribologia-en-el-mantenimiento-de-la-industria-4-0/>
- Martínez F. (2002). *La Tribología: Ciencia y Técnica Para el Mantenimiento*.
https://books.google.com.pe/books/about/La_tribolog%C3%ADa.html?id=ht0KP_IscosC&redir_esc=y
- Marzal I. (2023). *Estudio del impacto de la tribología en el ahorro del consumo energético*. [Tesis de Grado, Universidad Politècnica de Cartagena]. Repositorio Digital – Universidad Politècnica de Cartagena.
<https://repositorio.upct.es/handle/10317/12515>

- Mauricio D. (2017). *Análisis de desgastes mecánicos por tribología para reducir costos de mantenimiento del motor de tractor sobre orugas D6T-Caterpillar*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Digital – Universidad Nacional del Centro del Perú. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1646/TESIS%20FINAL%20OBED%20MAURICIO_EMPASTAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Minería Moderna (s.f.). *Claves para una eficiente gestión financiera en minería*. <https://mineriamoderna.net/economia-y-mercado/claves-eficiente-gestion-financiera-mineria/>
- Montes de Oca R. (2016, 14 de marzo). *Interpretación de los resultados del análisis de aceite*. <https://www.mobil.com.mx/es-mx/lubricantes/industrial/lubricant-expertise/resources/oil-analysis-result-interpretation>
- NORIA (2023, 11 de junio). *Mejora del desempeño de la maquinaria: El rol del análisis de aceite y el conteo de partículas*. <https://noria.mx/lube-learn/lubricacion-maquinaria-lube-learn/certificacion-mlti/mejora-del-desempeno-de-la-maquinaria-el-rol-del-analisis-de-aceite-y-el-conteo-de-particulas/>
- NORIA (2023, 23 de octubre). *Tribología*. <https://noria.mx/lube-learn/lubricacion-maquinaria-lube-learn/certificacion-mlti/tribologia/>
- NORIA (2024, 3 de mayo). *¿Cómo interpretar los resultados del análisis de aceite?*. <https://noria.mx/lube-learn/analisis-de-aceite/como-interpretar-los-resultados-del-analisis-de-aceite/>
- Novillo, A. (2013). *Análisis de las Especificaciones PAS-55: 2008 como aporte a la Gestión de Activos Físicos en las ensambladoras automotrices del Ecuador*. [Tesis de Maestría]. Repositorio Institucional – Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6401/6/UPS-QT04923.pdf>
- Organización Internacional para la Estandarización -ISO. (2016). ISO 14224 Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural-recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. Bruselas.Belgica: Editorial BSI Standards Limited
- Organización Internacional para la Estandarización-ISO. (2015). ISO 55000-1 Sistema de Gestión de Activos. Berna, Suiza: Published in Switzerland

- Pérez S y Cruz M. (2014). *Aplicación de una metodología para desarrollar el razonamiento hipotético deductivo, desde los contenidos estadísticos*. Educación Médica, 18(1), 100 – 107. <http://scielo.sld.cu/pdf/ccm/v18n1/ccm12114.pdf>
- PerúContable (2017, 19 de octubre). *¿Qué son los costos de mantenimiento?*. <https://www.perucontable.com/contabilidad/que-son-los-costos-de-mantenimiento/>
- Piloto N., Perdomo L., Rodríguez P., y Lavado C. (2020). *Gestión de riesgos en la lubricación y lubricantes de una flota de transporte*. Ingeniería Mecánica, 23(2), 1 – 6. <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu>
- Remache A. (2017). *Análisis tribológico en un motor de gasolina con dos marcas de lubricantes y la misma especificación*. INNOVA Research Journal, 2(3), 139 – 155. https://www.researchgate.net/publication/315707145_Analisis_tribologico_en_un_motor_de_gasolina_con_dos_marcas_de_lubricantes_y_la_misma_especificacion
- Tapia E. (2023). *Análisis de la migración y extensión del periodo de cambio del lubricante en el tren posterior de camiones mineros CAT 797F* [Tesis de Maestría, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional – Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12875>
- Tribologik (2014, 31 de octubre). *Índice cuantificador de partículas (PQ): un ensayo complementario*. http://www.tribologik.com/newsletters/nl_2014oct_es.pdf
- Tribylab (s.f.). *ANÁLISIS DE PQ*. <https://www.tribylab.com.ar/analisis-individuales.html>
- Valbor Soluciones (s.f.). *Costos del Mantenimiento Industrial y su Clasificación*. <https://www.valborsoluciones.com/mantenimiento/costos-mantenimiento/>
- Vargas Z. (2009). *La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Revista Educación, 33(1), 155 – 165. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44015082010>
- Vega L. (2024). *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo basado en la tribología de lubricante en motores diésel Mitsubishi modelo 4M50 de 174HP para una altitud de 4100msnm* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/8715>

ANEXOS

Para la recolección de datos se utilizará la técnica de encuesta que permitirá acceder a los datos necesarios para la investigación.

Cuestionario de Análisis Tribológico y Costos de Mantenimiento

Estimado Trabajador: El presente cuestionario es parte de una investigación académica, cuya finalidad es la obtención de información, sobre la opinión que tiene Usted sobre el análisis tribológico y los costos de mantenimiento de una empresa minera del sur del Perú, responda de la manera más sincera, a fin de mostrar la realidad problemática. Sírvase leer las siguientes expresiones y responder, marcando una “X” en el recuadro correspondiente de cada pregunta, según la respuesta que considere conveniente, los ítems que se presentan a continuación.

La escala de valoración es la siguiente:

Totalmente en desacuerdo (1)	En desacuerdo (2)	Ni de acuerdo ni en desacuerdo (3)	De acuerdo (4)	Totalmente de acuerdo (5)
------------------------------------	-------------------------	--	----------------------	---------------------------------

Cuestionario de Análisis Tribológico

Nº	ÍTEMS	Opción de respuesta				
<i>PARTICLE QUANTIFIER INDEX (PQI)</i>		1	2	3	4	5
1	Existe relación entre un PQI y la vida útil esperada de un componente					
2	Los cambios en el PQI pueden indicar un aumento en el desgaste normal de un componente					
3	La fatiga puede afectar al PQI en el desgaste de un componente					
4	El PQI puede proporcionar información sobre la resistencia a la fatiga de un componente					
5	Puede el monitoreo regular del PQI ayudar a prevenir el desgaste acelerado en los componentes					
6	Puede un PQI alto contribuir a prolongar la vida útil de los componentes y reducir los costos de reemplazo					
FRICCIÓN		1	2	3	4	5
7	Influye la rugosidad de las superficies en la fricción					
8	Influye la lubricación en la relación entre la rugosidad y la fricción					
9	La velocidad relativa afecta la vida útil y el desgaste de los componentes					
10	Existe relación entre la velocidad relativa y la generación de calor debido a la fricción					
11	Influye la forma y el perfil de las superficies en la distribución de la fricción					
12	Existe relación entre la geometría de superficies y la estabilidad de la película lubricante					
13	Una buena lubricación afecta la fricción entre dos superficies en contacto					
14	La viscosidad del lubricante ayuda a reducir la fricción					
DESGASTE		1	2	3	4	5
15	Afecta el deslizamiento a la tasa de desgaste de los materiales					
16	La lubricación influye en reducir el desgaste durante el deslizamiento de las superficies					
17	El lubricante tiene influencia en la reducción del desgaste por abrasión					
18	Existe relación entre la abrasión, la vida útil y el rendimiento de los componentes en la industria					
19	La temperatura ambiente puede afectar la resistencia al desgaste por erosión de los materiales					
20	Existe relación entre la erosión la vida útil y el rendimiento de los componentes en la industria					
21	Afecta la presencia de óxidos producto de corrosión al proceso de desgaste					
22	La humedad y temperatura afecta al proceso de oxidación/corrosión					

LUBRICACIÓN		1	2	3	4	5
23	Afecta la viscosidad del lubricante a su capacidad para lubricar adecuadamente					
24	La temperatura afecta a la viscosidad y la eficiencia del lubricante					
25	La resistencia de la película lubricante varía con la carga aplicada					
26	Existe relación entre la carga aplicada y la eficiencia energética de los equipos					
27	Tiene influencia la velocidad de deslizamiento con la formación de la película lubricante					
28	El grosor y estabilidad de la película lubricante puede variar con la velocidad de deslizamiento					

Cuestionario de Costos de Mantenimiento

Nº	ÍTEMS	Opción de respuesta				
COSTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		1	2	3	4	5
29	Tenemos un plan de mantenimiento anual					
30	Tenemos presupuesto para el mantenimiento de maquinarias anualmente					
31	Tenemos control de los equipos de las diferentes áreas					
32	Invertimos en equipos sofisticados para la detección de fallas					
COSTO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO		1	2	3	4	5
33	Tomamos medidas para evitar ocurran este tipo de mantenimientos					
34	Nuestro presupuesto de mantenimiento incluye los correctivos					
35	Nuestros mantenimientos correctivos se realizan con personal propio o externo					
36	Los componentes que utilizamos para este mantenimiento son propios					