



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**Influencia de las propiedades tribológicas del lubricante en el
desgaste de pistones en motores marca CUMMINS**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Anticona Rios, Deivy (orcid.org/0000-0001-7157-435X)

Tanta Mantilla, Walter (orcid.org/0000-0001-6444-6923)

ASESORA:

Mg. Serrepe Ranno, Miriam Marcela (orcid.org/0000-0001-9342-1717)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento

LÍNEA DE ACCIÓN DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2023

Dedicatoria

Gracias a mis padres por ser pacientes conmigo y animarme a seguir mi carrera. Gracias a mi mamá, quien llena de amor y motivación me acompañó durante todo este proceso y nunca dudó de mi capacidad para hacer realidad mi sueño. Gracias a mi papá por sus consejos y palabras de aliento que me han hecho una mejor persona y han estado ahí para lograr todos mis sueños y metas. Por último, me gustaría dedicarme este trabajo por no rendirme en esta etapa de mi vida.

Deivy Anticona Rios

Primeramente, a Dios por haberme dado la fuerza necesaria y sabiduría para poder resolver todas las adversidades que se presentaron en este largo camino, a mi esposa Sarita Chávez Julca, por su paciencia y apoyo incondicional desde el inicio hasta el final de mi formación, a mi hija Etywar Salairt Tanta Chavez, por no estar mucho tiempo a su lado y no poder compartir momentos hermosos de su infancia. A cada uno de mis hermanos, por sus sabios consejos y buenos deseos, a mi padre, José Santos Tanta Cortez, por haberme criado con buenos valores y en especial a mi madre María Justa Mantilla Rodríguez, por sus oraciones incansables y por confiar en mí día tras día.

Walter Tanta Mantilla

Agradecimiento

Gracias a nuestras familias, porque son la base en la que nos apoyamos durante todo el proceso de formación profesional. Sus consejos y aliento son fundamentales en todas las etapas de nuestra vida y son nuestra fuerza y motivación para seguir adelante. Y poder lograr un objetivo más.

Gracias a la Universidad Cesar Vallejo por siempre acogernos en sus clases y ayudarnos a desarrollar todos los conocimientos que utilizaremos en nuestra vida profesional. Gracias a nuestros profesores. Cada experiencia académica con colegas ha contribuido a que los profesionales escriban hoy estas palabras.

Los autores.

Declaratoria de autenticidad del asesor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, MIRIAM MARCELA SERREPE RANNO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis Completa titulada: "Influencia de las propiedades tribológicas del lubricante en el desgaste de pistones en motores marca CUMMINS", cuyos autores son TANTA MANTILLA WALTER, ANTICONA RIOS DEIVY, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 12 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
MIRIAM MARCELA SERREPE RANNO DNI: 06437594 ORCID: 0000-0001-9342-1717	Firmado electrónicamente por: SRANNOMM el 14- 12-2023 09:41:05

Código documento Trilce: TRI - 0694077

Declaratoria de originalidad de los autores



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, ANTICONA RIOS DEIVY, TANTA MANTILLA WALTER estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Influencia de las propiedades tribológicas del lubricante en el desgaste de pistones en motores marca CUMMINS", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
TANTA MANTILLA WALTER DNI: 46081668 ORCID: 0000-0001-6444-6923	Firmado electrónicamente por: WTANTAMA el 22-12- 2023 17:23:42
ANTICONA RIOS DEIVY DNI: 70603515 ORCID: 0000-0001-7157-435X	Firmado electrónicamente por: DANTICONAR el 22- 12-2023 17:15:13

Código documento Trilce: INV - 1480591

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Declaratoria de autenticidad del asesor.....	iii
Declaratoria de originalidad de los autores.....	iv
Índice de contenidos.....	v
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
III. METODOLOGÍA.....	8
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	8
3.2. Variables y operacionalización.....	9
3.3. Población, muestra, muestreo.....	9
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	10
3.5. Procedimientos.....	10
3.6. Método de análisis de datos.....	11
3.7. Aspectos éticos.....	11
IV. RESULTADOS.....	12
V. DISCUSIÓN.....	18
VI. CONCLUSIONES.....	20
VII. RECOMENDACIONES.....	20
REFERENCIAS.....	21
ANEXOS.....	25

Índice de tablas

Tabla 1 Propiedades de lubricantes usados en el motor	12
Tabla 2 Valores de PQI con lubricante DELVAC 1 ESP (CK-4)	13
Tabla 3 Valores de PQI con lubricante DELVAC MX ESP (CK-4).....	13
Tabla 4 Condiciones de frontera de la simulación	16
Tabla 5 Presupuesto de la investigación	17
Tabla 6 Tabla de Operacionalización de variables	25
Tabla 7 Ficha de registro.....	26

Índice de figuras

Figura 1 Esquema de diseño de investigación	9
Figura 2 Curva de Desgaste en función de los meses	15
Figura 3 Curva de desgaste en función de los meses.....	15
Figura 4 Modelado de sistema pin on disk	16
Figura 5 Uso del lubricante en el sistema de desgaste	17

Resumen

La investigación consistió en el cálculo del desgaste en los pistones de motores CUMMINS en función de las propiedades del lubricante.

Para ello se inició con la toma de datos de las propiedades del lubricante y el historial del desgaste en función de los meses luego se realizó una predicción con redes neuronales para luego poder hacer la contrastación de los datos con un software de simulación.

Finalmente, se realizó el análisis de costo para la implementación.

Palabras clave: Cuckoo, lubricante, pistones, tribología.

Abstract

The research consisted of calculating wear on CUMMINS engine pistons based on the properties of the lubricant.

To do this, it began by collecting data on the properties of the lubricant and the wear history based on the months, then a prediction was made with neural networks to then be able to compare the data with simulation software.

Finally, the cost analysis for the implementation was carried out.

Keywords: Cuckoo, lubricant, pistons, tribology.

I. INTRODUCCIÓN

Los motores de combustión son una de las tecnologías más utilizadas en la industria del transporte y de servicios varios. El uso continuo de ellos es mermado por la fricción y el desgaste de sus componentes, que son problemas comunes que puede llevar a fallas mecánicas y disminución del rendimiento (Ramadhan et al. 2021).

El desgaste en los motores de combustión es causado por una combinación de factores, como la calidad del aceite lubricante, la temperatura y la presión de contacto. Los aceites lubricantes son cruciales para reducir la fricción y el desgaste, ya que crean una capa protectora entre las piezas móviles. Los aceites que cumplen con la norma API SN, por ejemplo, tienen propiedades que ayudan a reducir el desgaste y prolongar la vida útil del motor (Alqahtani et al. 2022).

El desgaste en sistemas de lubricación de motores es un fenómeno complejo que puede tener un impacto significativo en el desempeño y la vida útil del motor. Este desgaste puede ser causado por diferentes factores, como la calidad del aceite lubricante, la temperatura de operación, la presión de contacto y la carga (Kumar et al. 2022).

Otros métodos pueden ayudar a reducir el desgaste en los motores de combustión. Los recubrimientos de protección pueden reducir la fricción y el desgaste en las superficies de contacto, mientras que la modificación de la geometría de las piezas puede reducir los puntos de contacto y la presión. La selección de materiales también es importante para reducir el desgaste, ya que algunos materiales tienen una mayor resistencia a la deformación y el desgaste (Lyu et al. 2022).

La principal problemática que existe en los motores es el gran desgaste que se visualiza en sus pistones el cual se observa a través de un exhaustivo análisis de aceite, este fenómeno no sólo se da en los pistones sino también en diversos componentes de todo el motor (Dziubak y Dziubak 2022).

De no combatir este fenómeno, el desgaste en los componentes del motor, como los pistones, los anillos, los cojinetes y las válvulas, puede llevar a una disminución en el rendimiento del motor, visualizado en su potencia de trabajo (Shcherban, Mazur y Mazur 2022). Además, también puede visualizarse en pérdidas

económicas debido a fallas de las piezas mecánicas y en un mayor consumo de combustible (Rahimi et al. 2022).

Por lo anterior mencionado se plantea el siguiente problema, ¿Cuál es la influencia de las propiedades tribológicas del lubricante en el desgaste del motor CUMMINS? y a su vez las preguntas específicas: ¿Cuáles son las propiedades tribológicas del lubricante?, ¿Cuáles son las condiciones de trabajo del motor CUMMINS?, ¿Cuál es el desgaste de los pistones del motor CUMMINS en condiciones de servicio?, y ¿Cuál es el costo del análisis tribológico?

El proyecto, como justificación teórica, estudia la tribología, como disciplina que estudia la interacción entre las superficies en movimiento relativo, desempeña un papel crucial en la eficiencia y durabilidad de los motores. En el caso específico de los motores de combustión interna, como los producidos por la marca CUMMINS, el desgaste de los pistones es un fenómeno crítico que puede afectar significativamente su rendimiento y vida útil.

La justificación técnica de esta investigación rehace en la necesidad de desarrollar lubricantes más avanzados y adaptados a las condiciones específicas de los motores CUMMINS. Un lubricante con propiedades tribológicas óptimas puede reducir significativamente el desgaste de los pistones, minimizar la fricción interna y mejorar la eficiencia general del motor. La comprensión técnica detallada de cómo ciertos aditivos, viscosidades y formulaciones afectan a las propiedades tribológicas del lubricante permitirá la formulación de productos más efectivos y eficientes desde el punto de vista técnico.

La investigación sobre las propiedades tribológicas del lubricante en los motores CUMMINS tiene implicaciones económicas sustanciales. Un lubricante diseñado específicamente para minimizar el desgaste de los pistones puede llevar a una reducción en los costos de mantenimiento, aumentar la vida útil de los componentes y mejorar la eficiencia del combustible. Estos factores, en conjunto, contribuyen a un menor costo total de propiedad para los propietarios de vehículos equipados con motores CUMMINS. Además, el desarrollo de lubricantes especializados puede generar oportunidades económicas para la industria del lubricante, tanto a nivel local como global.

El objetivo general del proyecto es evaluar la influencia de las propiedades tribológicas del lubricante en el desgaste de los pistones del motor CUMMINS. Para llegar a este objetivo general se ha planteado los siguientes objetivos específicos: Determinar propiedades tribológicas del lubricante, determinar las condiciones de trabajo del motor CUMMINS, determinar el desgaste en los pistones del motor CUMMINS a condiciones de trabajo y elaborar un presupuesto para el análisis tribológico.

Por lo descrito, esta investigación se centra en determinar la resistencia al desgaste del motor CUMMINS variando las distintas propiedades tribológicas que puede tener el lubricante, esto es debido a que la temperatura de la cámara de combustión disminuye la viscosidad del lubricante haciendo que la resistencia al desgaste también disminuya.

Para obtener una respuesta al problema de investigación se tiene la siguiente hipótesis: Las propiedades del lubricante influyen de manera directa al desgaste del pistón, siendo el factor primordial de la vida de este.

II. MARCO TEÓRICO

Se inició la revisión de artículos relacionados con las variables de estudio en revistas indexadas de las bases de datos científicas que se mencionaron anteriormente. Se inició con el artículo de Shahabuddin *et al.* (2022), quienes desarrollaron un biolubricante a base de aceite de jatropha no comestible e investigaron las propiedades tribológicas considerando los materiales de acero inoxidable y hierro fundido para camisas de cilindros y anillos de pistón de uso común. El biolubricante se preparó mezclando diferentes porcentajes de aceite vegetal con lubricantes comerciales. Se midieron diferentes propiedades de los biolubricantes antes y después de la prueba HFRR utilizando varios instrumentos analíticos. La morfología de las superficies del material desgastado fue examinada mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) de alta resolución con emisión de campo frío Hitachi S-4700 FE-SEM. El resultado mostró que la adición de lubricante de aceite vegetal hasta una concentración de 7.5 % se puede comparar con el lubricante comercial en el caso de

que la tasa de desgaste y el coeficiente de desgaste se reduzcan significativamente. Se observó un cambio mínimo en la viscosidad con la adición de 7.5 % de biolubricante. El análisis de la morfología de la superficie confirmó un menor daño de la superficie del metal cuando el análisis tribológico se realizó en condiciones de lubricación mixta.

En el artículo de Deepika (2020) que se refiere a los beneficios y ventajas de los nanomateriales como aditivos lubricantes y sus aplicaciones en varios aceites automotrices de motor industriales. Además, analizan los principales tipos de aceites industriales y sus propiedades y funciones clave y los diferentes nanomateriales que actualmente se están explorando como aditivos para lubricantes, su estabilidad térmica y desafíos técnicos.

En el artículo investigado por Dassenoy (2019) describieron el rendimiento de las nanopartículas cuando se utilizan como aditivos, con especial atención a las nanopartículas de disulfuro metálico. Además, se analizó la influencia de parámetros clave en el rendimiento de los aceites que contienen nanopartículas y presentó en detalle los mecanismos de lubricación de las nanopartículas de disulfuro metálico. También se analizó los problemas que quedan por resolver antes de desarrollar nuevos lubricantes que contengan nanopartículas. Finalmente, mostró cómo se comportan los lubricantes completamente formulados que contienen nanopartículas cuando se prueban en condiciones cercanas a la aplicación final (motor automotriz y cajas de cambios).

Continuando tenemos la investigación de Elagouz et al. (2019) quienes revisaron resumidamente las técnicas utilizadas para mejorar el desempeño tribológico para el contacto entre el anillo del pistón y la camisa del cilindro y evaluaron su efectividad para proporcionar los enfoques más seguros para reducir la fricción y el desgaste. Su objetivo fue explorar las áreas donde existen aperturas para futuras contribuciones de investigación para lograr una mejora en el contacto cilindro-anillo del pistón en motores automotrices.

Luego tenemos la investigación de Farfán-Cabrera et al. (2019), quienes analizaron el efecto de la termo-oxidación del aceite de *Jatropha* (*Jatropha oil*, JO), un aceite mineral de motor (*engine mineral oil*, EMO) y una mezcla compuesta por 80%vol. EMO y

20%vol. JO (B20) sobre el comportamiento tribológico de una interfaz simulada de anillo de pistón/revestimiento de cilindro de motor se estudió en pruebas de fricción recíproca a 26 y 100 °C. Los aceites se oxidaron térmicamente y se caracterizaron en términos de compuestos carbonílicos, agotamiento de aditivos ZDDP, cambios en la viscosidad cinemática y el índice de viscosidad. Se evaluaron los coeficientes de fricción, las tasas de desgaste y las morfologías de las cicatrices. La termo oxidación resultó en aumentos significativos de la viscosidad en JO en comparación con EMO y B₂O. Además, generó mayores coeficientes de fricción para JO y B₂O. Sin embargo, fueron inferiores a los del EMO fresco y añejo. EMO aumentó la tasa de desgaste después de la termo oxidación en contraste con JO. Las manchas se generaron utilizando la mayoría de las muestras de aceite, mientras que las raspaduras severas solo se produjeron utilizando JO fresco a 100 °C.

Como siguiente investigación, tenemos el artículo de Szabó et al. (2022) quienes presentaron el resultado de la investigación tribológica experimental de una mezcla cerámica nanométrica de itria-zirconio como aditivo para lubricantes de motores. La nanopartícula de zirconio estabilizada con itria (YSZ) se utilizó como base para la proporción de la mezcla cerámica, de modo que se determinó que la proporción en peso de itria-zirconio en la mezcla resultante era 11:69. Después de la evaluación de las medidas tribológicas de bola sobre disco, se logró demostrar que la concentración óptima fue de 0,4 % en peso, lo que redujo el diámetro de desgaste en un 30 % y el volumen de desgaste en un 90 % con el mismo coeficiente de fricción. El análisis SEM de alta resolución mostró una cantidad significativa de zirconio en la superficie, pero no se encontró itria.

En el ámbito de diagnóstico de fallas y redes neuronales, la investigación Molodan et al. (2022) quienes presentaron un análisis detallado de las peculiaridades del uso de redes neuronales artificiales en las tareas de diagnóstico y predicción del estado técnico de los elementos de la central eléctrica de los buques. Consideraron las perspectivas y peculiaridades del uso de redes neuronales artificiales para determinar el nivel de desgaste del grupo cilindro-pistón de un motor de barco. El modelo de red neuronal de pronóstico formalizado en el artículo logró determinar el nivel de desgaste de un grupo cilindro-pistón de un motor de barco sobre la base de un predictor

neuronal. Además, permitieron analizar relaciones funcionales entre parámetros y sacar conclusiones sobre la capacidad de servicio de los elementos diagnosticados. Además, especificaron el algoritmo de aprendizaje de la red neuronal, cuya base es la regla del mínimo cuadrado medio normalizado.

En la investigación de Kahraman *et al.* (2023) se comparó el comportamiento de fricción y desgaste del combustible biodiesel, que es ampliamente utilizado como combustible alternativo en los motores Diésel, entre el par cilindro-anillo con el combustible Diésel. El estudio constó de tres etapas; en la primera etapa del estudio determinaron los parámetros experimentales que dan las condiciones óptimas de fricción y características de desgaste utilizando el método de Taguchi. En la segunda etapa, investigaron las propiedades tribológicas del combustible diésel y biodiesel mediante la realización de un estudio experimental. En la última etapa del estudio, modelaron el mecanismo de desgaste entre el par anillo-cilindro con redes neuronales artificiales (RNA).

Tapacov *et al.* (2022) identificó la influencia del desperdicio de aceite lubricante en el desgaste y la formación de carbono de partes del grupo de pistones de un motor diésel marino. El experimento de laboratorio tuvo como objetivo identificar la relación entre las características operativas de los combustibles y lubricantes utilizados y el forzamiento del proceso de trabajo de un motor diésel con su estado. Se consideraron la interacción de estos componentes, provocada por el desperdicio de aceite y manifestada a través del intercambio de aceite en el cilindro y en el sistema de lubricación del motor troncal. Demostraron que los residuos de aceite pueden caracterizar la perfección del diseño y el nivel técnico del motor, a través de los cuales se manifiesta la interacción tribológica y quimiotoxicológica de los eslabones del complejo "diésel - combustible - aceite - residuos" durante la formación de desgaste y formación de carbono.

Finalmente, Tapacov *et al.* (2022) mostraron que el factor principal que afecta la tensión de contacto máxima es el ángulo del cono del cuerpo de la válvula de aguja, seguido por el filete de la superficie del asiento de sellado de la válvula de aguja, y la diferencia del ángulo del cono entre la válvula de aguja y el cuerpo de la válvula de aguja tiene la menor influencia.

Para entrar en detalles con respecto a la definición de las variables encontramos que se definen como las propiedades tribológicas del lubricante se refieren a las características físicas y químicas que determinan su desempeño y su capacidad para reducir la fricción, el desgaste y la corrosión en las superficies en movimiento (Rahman *et al.* 2021). También se tiene que las propiedades del lubricante son atributos medibles que describen las características físicas, químicas y térmicas de un lubricante (Chen *et al.* 2020). Estas propiedades son clave para evaluar y seleccionar el lubricante adecuado para una aplicación específica, así como para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema de lubricación (Md Alias, Abdollah y Amiruddin 2019).

Las dimensiones de esta variable tenemos que según (Prasannakumar *et al.* 2022) tenemos la viscosidad, la densidad y el factor de fricción (Coefficient of friction, COF) siendo este último lo que nos permitirá dilucidar el desempeño de un buen lubricante. Además, se tiene que dentro de las propiedades tribológicas se tiene la conductividad térmica y el coeficiente de fricción del lubricante (Ismail *et al.* 2023). Finalmente, para el caso de (Sharma *et al.* 2019) tiene el parámetro WSD (Working stress design) que es una indicación del grado de desgaste cuando se produce un contacto deslizante. Como variable de salida tenemos al desgaste del motor se refiere al proceso gradual de deterioro de las partes internas del motor debido al uso continuo y la fricción. Con el tiempo, las superficies metálicas en movimiento, como los cilindros, pistones, árboles de levas y cojinetes pueden desgastarse y perder su capacidad de funcionar correctamente. Esto puede resultar en una disminución del rendimiento del motor, pérdida de potencia, consumo excesivo de combustible y posible falla del motor. (Yin *et al.* 2023). También se puede definir como el consumo de los componentes del motor, como el aceite y los fluidos de enfriamiento. A medida que el motor funciona, se quema una pequeña cantidad de aceite y se producen residuos que pueden acumularse y afectar negativamente el rendimiento del motor. Además, los fluidos de enfriamiento también pueden perder sus propiedades con el tiempo, lo que puede provocar un sobrecalentamiento del motor y un mayor desgaste de las piezas (Salek 2020). Finalmente, tenemos el caso de Bogdanovich *et al.* (2021) que lo define como al desgaste de las partes externas del motor, como la pintura, los componentes

plásticos y las cubiertas protectoras. Estos elementos están expuestos a condiciones ambientales adversas, como el sol, la humedad y la suciedad, que pueden provocar una decoloración, corrosión y deterioro general. Si no se realiza un mantenimiento adecuado, el desgaste externo del motor puede afectar la apariencia y la integridad estructural del mismo.

Dentro del desgaste del motor la primera dimensión es el desgaste adhesivo que se define como un cambio no deseado en la separación de pequeñas partículas debido a factores mecánicos que actúan sobre la superficie del material (Maleque et al. 2022). Luego tenemos que para (Cetin, Maleque y Masjuki 2022) la deformación y eliminación de las superficies causada por la acción mecánica se denomina fenómeno de desgaste.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

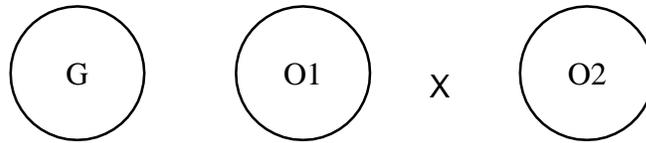
Tipo de investigación

Según la finalidad, la investigación es tipo aplicada porque busca la solución de un problema a través de la aplicación de los conocimientos adquiridos en un desarrollo teórico Coelho (2020). Además, se considerará un enfoque cuantitativo debido a que el análisis de la información será numérico con datos que se obtendrán del análisis Vásquez (2020).

Diseño de investigación

El diseño de la investigación es experimental ya que se manipulará la variable como en el caso de los parámetros del lubricante; es de tipo longitudinal ya que se analizará en dos tiempos al iniciar el diseño y al terminar el cálculo. Por su alcance es explicativa, debido a que se analiza las causas que originan los cambios en la variable de salida, en este caso la resistencia al desgaste. (Hernández Mendoza y Samperio Monroy 2018)

Figura 1 Esquema de diseño de investigación



Dónde:

G: Motor

X: Propiedades tribológicas del lubricante.

O1: Desgaste del motor (pre-estímulo)

O2: Desgaste del motor (post estímulo)

3.2. Variables y operacionalización

Variable 1: Propiedades tribológicas del lubricante

Son cada una de las características físicas y químicas que determinan su desempeño y su capacidad para reducir la fricción, el desgaste y la corrosión en las superficies en movimiento (Rahman et al. 2021).

Variable 2: Desgaste del pistón

Se refiere al proceso gradual de deterioro de las partes internas del pistón debido al uso continuo y la fricción (Yin et al. 2023).

3.3. Población, muestra, muestreo

Población:

La población de la investigación analiza cada uno los elementos que tienen las mismas características técnicas que están relacionadas con las variables.

La **población** de nuestro estudio son cinco motores CUMMINS 6BT que son utilizados en unidades mineras.

- **Criterios de inclusión:** se trabajará con los motores pertenecientes a equipos mineros y que poseen mayor índice de falla por desgaste.
- **Criterios de exclusión:** se excluyen los motores que no han tenido fallas por desgaste o que sean de equipos nuevos.

Muestra: Pistones del Motor CUMMINS 6BT, debido que es el equipo que más fallas por contaminación del aceite se tiene.

Muestreo: No probabilístico por conveniencia

Unidad de análisis: Pistones del motor CUMMINS 6BT.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

La investigación utilizó como técnica el análisis documental, para la toma de datos de las propiedades del lubricante. Como segunda técnica tuvo la encuesta que se realizó a los técnicos encargados del mantenimiento para ver el desgaste en pistones.

Instrumentos de recolección de datos

En primer lugar, se utilizó una ficha de registro donde se ingresaron los datos de cada una de las propiedades tribológicas del lubricante. En segundo lugar, se elaboró un cuestionario de opción abierta con 05 preguntas sobre las principales fallas en pistones.

3.5. Procedimientos

- El estudio se inició con el levantamiento de información en campo de cada uno de los pistones del motor, para este caso se tomaron muestras del lubricante del motor en uso. Además, de realizar medidas generales de diámetros y carrera de dicho pistón. Se obtuvo una muestra de aceite

lubricante en condición de suministro para corroborar sus propiedades tribológicas las cuales sirvieron como parámetro de entrada para nuestro análisis. Así mismo, se anexó el análisis de aceite que se ha venido realizando a medida de historial de fallas de dicho motor.

- En la segunda etapa correspondiente al desarrollo del proyecto con el manejo de la data obtenida para poder realizar el algoritmo y predicción de los valores de desgaste.

En primer lugar, se realizó un modelo de predicción utilizando la metodología de Búsqueda Cuckoo para obtener los valores a futuro del desgaste. Luego, para contrastación, se realizó un modelado del proceso de desgaste de través de un software de elementos finitos (ANSYS) con el cual se pudo obtener el desgaste en cada zona del pistón y predecir las zonas críticas de él.

3.6. Método de análisis de datos

En la investigación se planteó el tratamiento de la información de hojas de cálculo de Microsoft Excel y las gráficas serán elaboradas en el software Matlab. Para el modelado de la inteligencia artificial se realizó en software de programación Matlab. Para el modelado del sistema de lubricación se utilizó el software ANSYS con licencia educativa.

3.7. Aspectos éticos

La investigación contempla las buenas prácticas de ética en la investigación donde todos los antecedentes han sido citados según Norma ISO. También se ha respetado la normativa vigente de la Universidad César Vallejo para el desarrollo del Proyecto. Los porcentajes de similitud no son mayores al 20% con los filtros necesarios.

IV. RESULTADOS

En primer lugar, se realizó toma de datos de las propiedades de los lubricantes más utilizados en los motores a analizar. Tal como se visualiza en la Tabla 1, podemos observar que el aceite DELVAC MXX ESP (CK-4) tiene mejores prestaciones que el otro

Tabla 1. *Propiedades de lubricantes usados en el motor*

Propiedad	DELVAC 1 ESP (CK-4)	DELVAC MX ESP (CK-4)
Grado	SAE 5W-40	SAE 15W-40
Viscosidad cinemática @ 40 C, mm²/s, ASTM D445	84	109
Viscosidad cinemática @ 100 C, mm²/s, ASTM D445	13.8	14.1
CCS, cP, ASTM D 5293	6510	6600
MRV, cP, ASTM D 4684	16800	17500
HTHS @150°C, cP, ASTM D4683	3.8	4.1
Índice de viscosidad, ASTM D2270	150	130
Cenizas, sulfatadas, % masa, ASTM D874	1	0.9
Numero de base total, mg KOH/g, ASTM D2896	12	9.8
Punto de fluidez, °C, ASTM D97	-48	-33
Punto de inflamación, copa abierta Cleveland, °C, ASTM D92	233	225
Densidad, 15.6 C, g/cm³, ASTM D4052	0.852	0.874

Como segundo punto se recolectó el historial de cómo ha ido comportándose el Índice de concentración de partículas ferrosas (PQI) a través de los meses para cada uno de los lubricantes como se observa en la Tabla 2 y Tabla 3. Estos datos mencionan los valores de desgaste de los pistones de nuestro motor a través del tiempo por lo que podemos determinar la vida útil de cada uno de los pistones con los distintos valores de propiedades de lubricante.

Tabla 2. Valores de PQI con lubricante DELVAC 1 ESP (CK-4)

Meses	PQI
Diciembre 2022	159
Enero 2023	108
Febrero 2023	111
Marzo2023	102

Tabla 3. Valores de PQI con lubricante DELVAC MX ESP (CK-4)

Meses (2022)	PQI
Enero	87
Febrero	209
Marzo	123
Abril	122
Mayo	120
Junio	122
Julio	196
Agosto	118
Setiembre	79
Octubre	197
Noviembre	160
Diciembre	109

Con los datos obtenidos en las tablas 2 y 3, se realizó el seudocódigo de búsqueda Cuckoo que consistirá de 12 pasos:

Tabla 4. Pseudocódigo por búsqueda de Cuckoo

P1. Iniciar el proceso
P2. Inicializar la población aleatoria
P3. Obtener un cuco de manera desigual por cola pesada.
P4. Calcular el valor de la aptitud.
P5. Elige el refugio o nido en medio de forma desigual
P6. Si Fitness es menor que la solución nido, entonces

P7. Reemplácelo con otra mejor solución.
P8. Usa el nido como solución.
P9. function [bestsol,fval]=cuckoo_search_spring(time)
P10. format long;
P11. if nargin<1, % Number of iterations
P12. time=2000;
P13. end
P14. disp('Computing ... it may take a few minutes.');
P15. n=25;
P16. % Discovery rate of alien eggs/solutions
P17. pa=0.25;
P18. % Simple bounds of the search domain, Lower bounds and upper bounds
P19. Lb=[0.05 0.25 2.0];
P20. Ub=[2.0 1.3 15.0];
P21. % Random initial solutions
P22. for i=1:n,
P23. nest(i,:)=Lb+(Ub-Lb).*rand(size(Lb));
P24. end
P25. % Get the current best
P26. fitness=10^10*ones(n,1);
P27. [fmin,bestnest,nest,fitness]=get_best_nest(nest,nest,fitness);
P28. N_iter=0;
P9. Para ambos pasos, 7 y 8, luego abandone una fracción del peor nido y cree un nuevo nido con cola pesada.
P10. Almacene la mejor solución actual
P11. Si no. del nido es menor o igual que el máximo de iteraciones, luego encuentre el mejor nido; de lo contrario, vaya al paso 3
P12. Finalizar el proceso

Con los datos obtenidos en esta tabla se logró optimizar cada uno de los datos de entrada del PQI el cual es nuestro parámetro de análisis del desgaste.

Adicionalmente, se realizó una curva de predicción de los datos de PQI para cada uno de los lubricantes que se tuvieron así poder verificar la vida de los pistones, estas gráficas se pueden observar en la Figura 2 y 3.

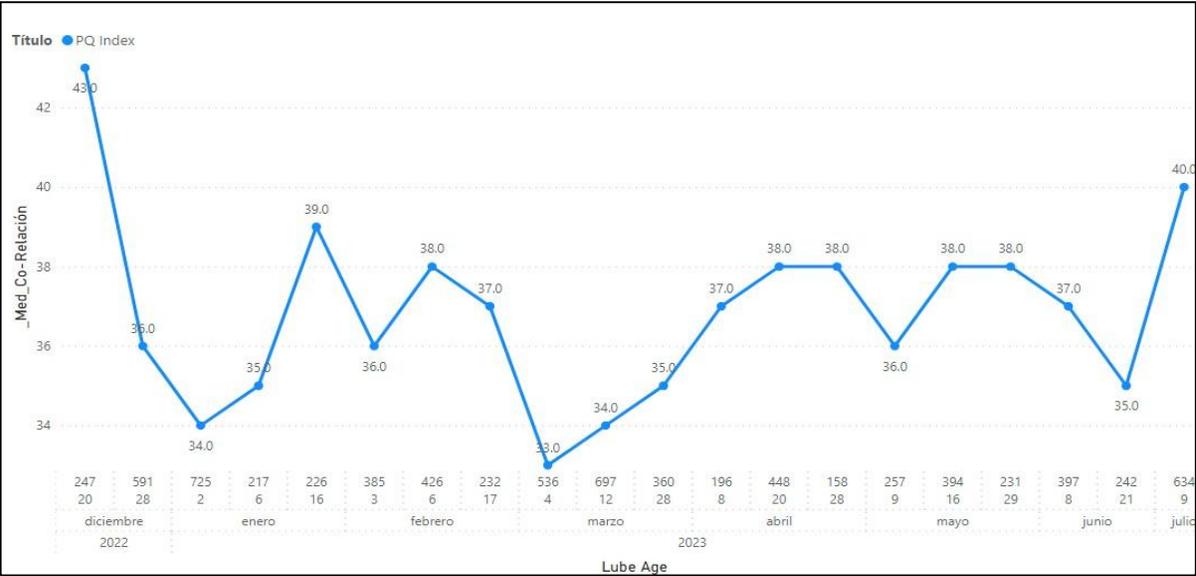


Figura 2. Curva de Desgaste en función de los meses.

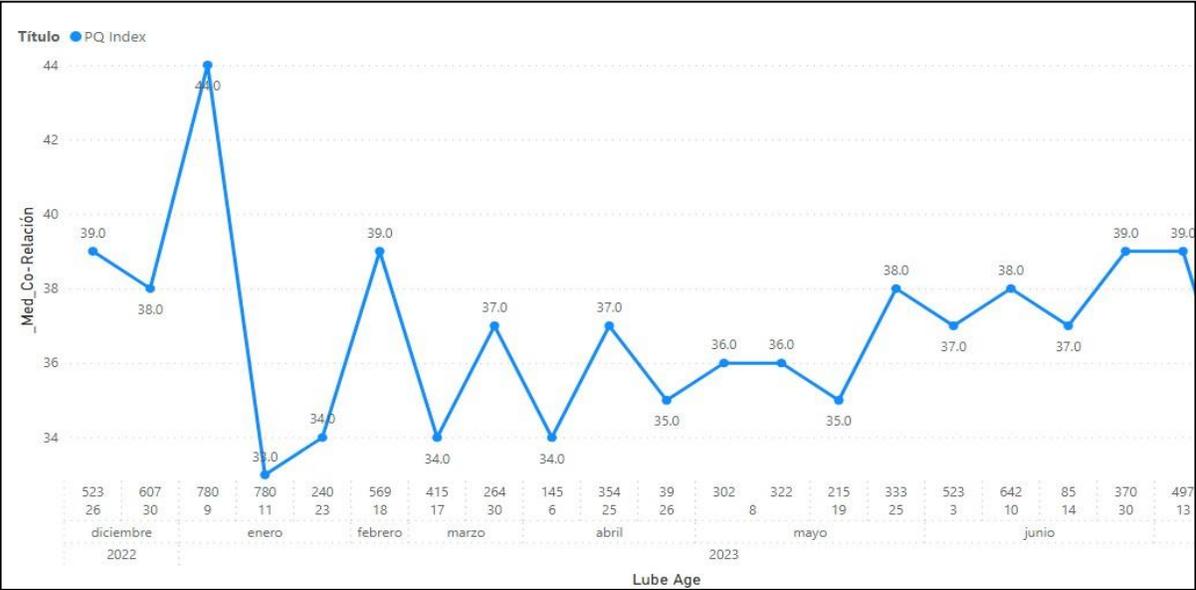


Figura 3. Curva de desgaste en función de los meses.

Para poder contrastar los datos obtenidos se ha utilizado una simulación en ANSYS educativo, para lo cual se realizó un modelo de una máquina de ensayo por desgaste (pin on disk) tal como se ve en la Figura 04, utilizando un medio de lubricante acorde a lo usado en campo.

Se utilizarán las condiciones de frontera de la Tabla 5 para ingresar al software de elementos finitos

Tabla 5. *Condiciones de frontera de la simulación*

Condición de frontera	Valor
Temperatura dl lubricante (°C)	98
Díámetro del cilindro (mm)	102
Carrera del pistón (mm)	120
Material	Fundición gris

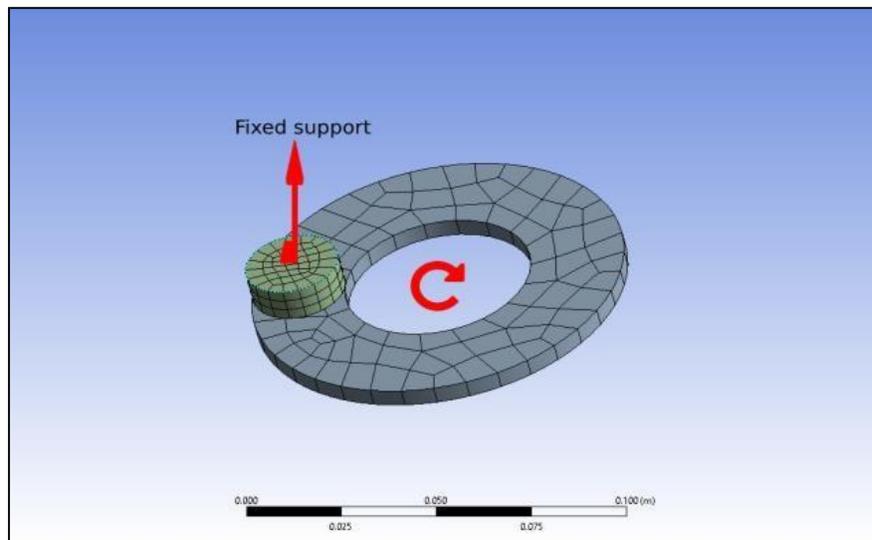


Figura 4. Modelado de sistema pin on disk

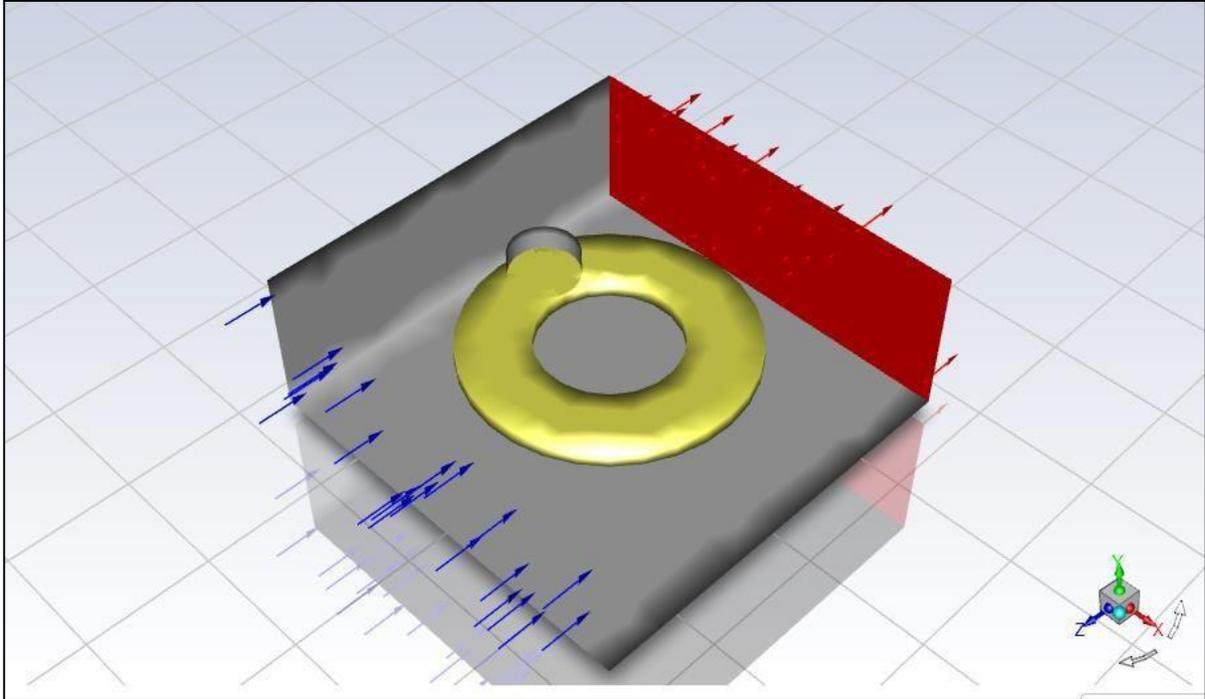


Figura 5. Uso del lubricante en el sistema de desgaste

Finalmente se realizó un presupuesto para poder verificar la viabilidad de nuestra propuesta, indicando que no se realizará pruebas periódicas del lubricante por lo que el gasto en ensayos de laboratorio disminuirá y solo se realizará cuando el modelo nos indique que ya está cerca de una vida baja.

Tabla 6. Presupuesto de la investigación

Alternativa	PEM	VAN	TIR
1	2.15 M soles	3 822 892 soles	13.5%
2	1.83 M soles	4 285 815 soles	16.6%

V. DISCUSIÓN

En primer lugar, al determinar propiedades tribológicas del lubricante, determinar las condiciones de trabajo del motor CUMMINS, se analizaron dos tipos de lubricante, DELVAC 1 ESP y DELVAC MX ESP, donde el primero de los es menos viscoso, en la tabla presentada se observaron que las propiedades tribológicas de DELVAC MX ESP son mucho mejores, y según el análisis por observación se analizó que esa fue la razón por la que se planteó el cambio a este lubricante, que es un aceite de tipo sintético. Dentro del punto de vista teórico, nos da un mayor refuerzo a lo importante de la selección del lubricante en base a las prestaciones que se va a dar en el trabajo, lo que verificando con la hipótesis si influye el análisis tribológico del lubricante en el desgaste de cada una las piezas del pistón que se trabajará.

Con respecto a nuestra investigación se centraron en las propiedades físicas y tribológicas, a diferencia de (Yu et al. 2023) quienes realizaron el análisis de los grupos funcionales que forman químicamente a los lubricantes que toman como muestra, otro punto diferente que tenemos con respecto a la investigación es el caso de que nuestra muestra de lubricantes consisten en sólo dos, debido que se considera el lubricante que siempre se ha estado utilizando y el lubricante que se ha propuesto para su cambio, sin embargo en el artículo de antecedente tomaron nueve muestras debido que son los más utilizados en las investigaciones que se están tomando. Por tanto, tanto el antecedente como nuestro objetivo demuestran que las propiedades tribológicas varían de un lubricante a otro y es influencia para el desgaste.

Además, considerando que las propiedades tribológicas solo se centran en la viscosidad se determina la relación que guarda la viscosidad con cada uno de las condiciones de trabajo del lubricante. Así mismo, la viscosidad de ambos lubricantes sirve como indicador de rendimiento y adicionalmente demuestra al usuario cuál es el lubricante óptimo para su trabajo.

En segundo lugar, al determinar el desgaste en los pistones del motor CUMMINS a condiciones de trabajo, se realizaron dos análisis el primer análisis a través de una optimización de la data a través de búsqueda Cuckoo en función del PQI, para poder ver el desgaste en función del tiempo, donde pudimos observar una línea de tendencia del desgaste del pistón en función del tiempo. Esta metodología tiene una base distinta a lo realizado por (Li et al. 2022) quienes realizaron un manejo de datos a través de modelos de meta aprendizaje, además para nuestro caso se usó datos reales medidos en campo, por el contrario este artículo trabajó un modelado físico a raíz de ecuaciones empíricas para obtener los valores. También tenemos diferencias con (Xu et al. 2021) quienes propusieron un método con aprendizaje profundo para mejorar la precisión del desgaste en herramientas de corte, además en igualdad a nuestra investigación si realizaron ensayos de laboratorio para obtener los datos de desgaste. Como se realizaron las pruebas para cada uno de los lubricantes se puede corroborar la hipótesis que si existe influencia de las propiedades tribológicas del lubricante con respecto al desgaste del pistón.

En tercer lugar, al realizar la simulación del modelo de desgaste en el pistón se obtuvieron los mapas de desgaste para cada uno de los medios lubricantes y se visualiza la influencia de las propiedades tribológicas de ellos. A diferencia de nuestro caso (Maier, Pusterhofer y Grün 2023) quienes utilizaron un estudio de variantes para determinar la influencia de la deformación elástica, el modelo de cavitación y la consideración de la topografía de la superficie dependiente del desgaste. Además, a diferencia de nuestros resultados, ellos realizaron ensayos de laboratorio para corroborar su modelo de simulación. Además

VI. CONCLUSIONES

1. Se realizaron la toma de medidas de las propiedades tribológicas a través de la toma de datos en el campo, lo cual podemos obtener la viscosidad de ambos lubricantes que se utilizan en el motor.
2. Se realizó un algoritmo de predicción del desgaste en el motor a través de un algoritmo de búsqueda Cuckoo optimizando los datos obtenidos.
3. Se realizó una simulación en ANSYS para poder obtener el mapa de desgaste de nuestro pistón del motor CUMMINS y poder corroborar los datos obtenido en el punto anterior
4. Se realizó un análisis de costos para poder analizar cuanto nos costará la implementación de nuestro algoritmo

VII.RECOMENDACIONES

1. Se debe realizar un algoritmo híbrido de nuestro sistema con varios tipos de redes neuronales y verificar el rango de error y así encontrar el más óptimo
2. Se debe realizar un modelo matemático propio para modelar el sistema de desgaste en pistones de motores

REFERENCIAS

- Alqahtani, B., Hoziefa, W., Moneam, H.M.A., Hamoud, M., Salunkhe, S., Elshalakany, A.B., Abdel-Mottaleb, M. Y Davim, J.P., 2022. Tribological Performance And Rheological Properties Of Engine Oil With Graphene Nano-Additives. *Lubricants*, Vol. 10, No. 7, Issn 20754442. Doi 10.3390/Lubricants10070137.
- Bogdanovich, A. V., Sosnovskiy, L.A., Sherbakov, S.S. Y Khonsari, M.M., 2021. From Fatigue And Tribology To Tribo-Fatigue. *International Journal Of Materials And Structural Integrity*, Vol. 14, No. 2/3/4, Issn 1745-0055. Doi 10.1504/Ijmsi.2021.10050854.
- Cetin, S.Y., Maleque, M.A. Y Masjuki, H.H., 2022. Simulation Of Wear Map For Biodiesel Interacted Automotive Materials. *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, Vol. 1244, No. 1, Issn 1757-8981. Doi 10.1088/1757-899x/1244/1/012008.
- Chen, Y., Jha, S., Raut, A., Zhang, W. Y Liang, H., 2020. Performance Characteristics Of Lubricants In Electric And Hybrid Vehicles: A Review Of Current And Future Needs. *Frontiers In Mechanical Engineering*, Vol. 6, Issn 22973079. Doi 10.3389/Fmech.2020.571464.
- Coelho, F., 2020. Metodología De La Investigación. *Significados.Com*, No. September,
- Dassenoy, F., 2019. Nanoparticles As Additives For The Development Of High Performance And Environmentally Friendly Engine Lubricants. *Tribology Online*, Vol. 14, No. 5, Issn 18812198. Doi 10.2474/Trol.14.237.
- Deepika, 2020. *Nanotechnology Implications For High Performance Lubricants*. 2020. S.L.: S.N.
- Dziubak, T. Y Dziubak, S.D., 2022. *A Study On The Effect Of Inlet Air Pollution On The Engine Component Wear And Operation*. 2022. S.L.: S.N.
- Elagouz, A., Ahmed Ali, M.K., Xianjun, H. Y Abdelkareem, M.A.A., 2019. Techniques Used To Improve The Tribological Performance Of The Piston Ring-

Cylinder Liner Contact. *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*. S.L.: S.N., Vol. 563. Doi 10.1088/1757-899x/563/2/022024.

Farfan-Cabrera, L.I., Gallardo-Hernández, E.A., Pérez-González, J., Marín-Santibáñez, B.M. Y Lewis, R., 2019. Effects Of Jatropha Lubricant Thermo-Oxidation On The Tribological Behaviour Of Engine Cylinder Liners As Measured By A Reciprocating Friction Test. *Wear*, Vol. 426-427, Issn 00431648. Doi 10.1016/J.Wear.2019.02.028.

Hernández Mendoza, S.L. Y Samperio Monroy, T.I., 2018. Enfoques De La Investigación. *Boletín Científico De Las Ciencias Económico Administrativas Del Icea*, Vol. 7, No. 13, Doi 10.29057/Icea.V7i13.3519.

Ismail, M.F., Azmi, W.H., Mamat, R. Y Ali, H.M., 2023. Thermal And Tribological Properties Enhancement Of Pve Lubricant Modified With Sio₂ And Tio₂ Nanoparticles Additive. *Nanomaterials*, Vol. 13, No. 1, Issn 20794991. Doi 10.3390/Nano13010042.

Kahraman, H., Cesur, İ., Eren, B. Y Çoban, A., 2023. Biyodizel Yakıt Kullanan İçten Yanmalı Motorlarda Aşınma-Sürtünme Optimizasyonu Ve Tahmini İçin Taguchi Ve Yapay Sinir Ağı Uygulaması. *Journal Of Polytechnic*, Issn 1302-0900. Doi 10.2339/Politeknik.1216411.

Kumar, R., Hussainova, I., Rahmani, R. Y Antonov, M., 2022. *Solid Lubrication At High-Temperatures—A Review*. 2022. S.L.: S.N.

Li, Y., Wang, J., Huang, Z. Y Gao, R.X., 2022. Physics-Informed Meta Learning For Machining Tool Wear Prediction. *Journal Of Manufacturing Systems*, Vol. 62, Issn 02786125. Doi 10.1016/J.Jmsy.2021.10.013.

Lyu, Y.J., Luo, H.B., Zhang, Y.F., Kang, J.X. Y Li, P.Z., 2022. *Research Progress Of Surface Technology In Piston Assembly-Cylinder Liner System Of Internal Combustion Engines*. 2022. S.L.: S.N.

Maier, M., Pusterhofer, M. Y Grün, F., 2023. Wear Simulation In Lubricated Contacts Considering Wear-Dependent Surface Topography Changes. *Materials Today: Proceedings*, Issn 22147853. Doi 10.1016/J.Matpr.2023.01.424.

Maleque, A., Cetin, S.Y., Masjuki, H.H. Y Hamdani, A., 2022. Wear Simulation Of Automotive Engine Component Materials Under Biodiesel. *Journal Of Mechanical*

Engineering And Sciences, Issn 2289-4659. Doi 10.15282/Jmes.16.4.2022.02.0726.

Md Alias, M.A., Abdollah, M.F. Bin Y Amiruddin, H., 2019. Lubricant And Tribological Properties Of Zinc Compound In Palm Oil. *Industrial Lubrication And Tribology*, Vol. 71, No. 10, Issn 00368792. Doi 10.1108/Ilt-01-2019-0030.

Molodan, A., Abramov, D., Tarasov, Y. Y Potapov, M., 2022. Application Of An Artificial Neural Network For Determination Of The Cylinder-Piston Group Wear Level Of The Automobile-Tractor Engine. *Journal Of Mechanical Engineering And Transport*, Vol. 14, No. 2, Issn 24153486. Doi 10.31649/2413-4503-2021-14-2-62-71.

Prasannakumar, P., Edla, S., Thampi, A.D., Arif, M. Y Santhakumari, R., 2022. A Comparative Study On The Lubricant Properties Of Chemically Modified Calophyllum Inophyllum Oils For Bio-Lubricant Applications. *Journal Of Cleaner Production*, Vol. 339, Issn 09596526. Doi 10.1016/J.Jclepro.2022.130733.

Rahimi, M., Pourramezan, M.R. Y Rohani, A., 2022. Modeling And Classifying The In-Operando Effects Of Wear And Metal Contaminations Of Lubricating Oil On Diesel Engine: A Machine Learning Approach. *Expert Systems With Applications*, Vol. 203, Issn 09574174. Doi 10.1016/J.Eswa.2022.117494.

Rahman, M.H., Warneke, H., Webbert, H., Rodriguez, J., Austin, E., Tokunaga, K., Rajak, D.K. Y Menezes, P.L., 2021. *Water-Based Lubricants: Development, Properties, And Performances*. 1 Agosto 2021. S.L.: Mdpi Ag.

Ramadhan, M.I., Sumarjo, J., Suci, F.C. Y Santoso, D.T., 2021. Analisis Kerusakan Mesin Ahu Menggunakan Pendekatan Metode Failure Mode And Effect Analysis. *Rotor*, Vol. 14, No. 2, Issn 1979-018x. Doi 10.19184/Rotor.V14i2.26460.

Salek, E.P.C.A.E., 2020. Tribology Takes Center Stage. *Tribology & Lubrication Technology*, Vol. 76, No. 6, Issn 1545858x.

Shahabuddin, M., Mofijur, M., Rizwanul Fattah, I.M., Kalam, M.A., Masjuki, H.H., Chowdhury, M.A. Y Hossain, N., 2022. Study On The Tribological Characteristics Of Plant Oil-Based Bio-Lubricant With Automotive Liner-Piston Ring Materials.

Current Research In Green And Sustainable Chemistry, Vol. 5, Issn 26660865. Doi 10.1016/J.Crgsc.2022.100262.

Sharma, A.K., Katiyar, J.K., Bhaumik, S. Y Roy, S., 2019. Influence Of Alumina/Mwcnt Hybrid Nanoparticle Additives On Tribological Properties Of Lubricants In Turning Operations. *Friction*, Vol. 7, No. 2, Issn 22237704. Doi 10.1007/S40544-018-0199-5.

Shcherban, P.S., Mazur, E. V. Y Mazur, S.N., 2022. The Process Parameter Matrix Method In Controlling Marine Engine Wear Dynamics. *Industrial Laboratory. Materials Diagnostics*, Vol. 88, No. 9, Issn 25880187. Doi 10.26896/1028-6861-2022-88-9-47-52.

Szabó, Á.I., Tóth, Á.D., Leskó, M.Z. Y Hargitai, H., 2022. Investigation Of The Applicability Of Y₂o₃–Zro₂ Spherical Nanoparticles As Tribological Lubricant Additives. *Lubricants*, Vol. 10, No. 7, Issn 20754442. Doi 10.3390/Lubricants10070152.

Vásquez, W., 2020. Metodología De La Investigación, Manual De Estudiante. *Universidad San Martín De Porres*,

Xu, X., Wang, J., Zhong, B., Ming, W. Y Chen, M., 2021. Deep Learning-Based Tool Wear Prediction And Its Application For Machining Process Using Multi-Scale Feature Fusion And Channel Attention Mechanism. *Measurement: Journal Of The International Measurement Confederation*, Vol. 177, Issn 02632241. Doi 10.1016/J.Measurement.2021.109254.

Yin, N., Xing, Z., He, K. Y Zhang, Z., 2023. *Tribo-Informatics Approaches In Tribology Research: A Review*. 2023. S.L.: S.N.

Yu, H., Chen, H., Zheng, Z., Qiao, D., Feng, D., Gong, Z. Y Dong, G., 2023. Effect Of Functional Groups On Tribological Properties Of Lubricants And Mechanism Investigation. *Friction*, Vol. 11, No. 6, Issn 22237704. Doi 10.1007/S40544-022-0630-9.

Тарасов, М.И., Кича, Г.П. Y Надежкин, А.В., 2022. Computational And Experimental Modeling Of The Influence Of Lubricating Oil Waste On The State Of A Ship Trunk Diesel Engine. *Morskie Intellektual`Nye Tehnologii*</Msg>, No. 3(57), Issn 20737173. Doi 10.37220/Mit.2022.57.3.018.

ANEXOS:

Anexo 1.

Tabla 7. *Tabla de Operacionalización de variables*

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable Independiente: Propiedades tribológicas del lubricante	Son cada una de las características físicas y químicas que determinan su desempeño y su capacidad para reducir la fricción, el desgaste y la corrosión en las superficies en movimiento (Rahman et al. 2021).	La variable tiene como muestra un solo cargador frontal con distintos tipos de lubricante.	Viscosidad	cSt	Razón
			Densidad	Valor de densidad	Razón
			Factor de fricción	COF	Razón
Variable Independiente: Desgaste del pistón	Se refiere al proceso gradual de deterioro de las partes internas del pistón (Yin et al. 2023).	La variable se analizará para poder determinar el desgaste principal del motor por efecto de temperatura o lubricación	Desgaste.	Pérdida en gramos.	Razón
			Deformación	Deformación unitaria.	Razón
			Eliminación de superficies.	Pérdida de material	Razón

Anexo 2. Instrumento de recolección de datos

Tabla 8. *Ficha de registro*

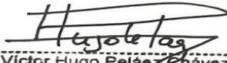
Maquinaria	Lubricante	Fecha	PQI

Cuestionario

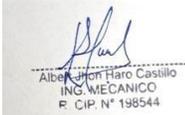
1. ¿Cuáles son las principales fallas de los motores del cargador?
2. ¿Qué data de fallas se detectan en los motores?
3. ¿Qué métodos de análisis predictivo se ha usado?
4. ¿Realiza el mantenimiento automatizado?
5. ¿Cuánto mejoraría un mejor control del mantenimiento?

Anexo 3. Matriz de evaluación por juicio de expertos

Ficha para validación de instrumentos.

Nombre del instrumento	Guía de observación / Encuesta
Objetivo del instrumento	Evaluación de flujos
Apellidos y nombres del experto	Peláez Chávez Víctor Hugo
Documento de identificación	47026994
Tiempo de experiencia profesional	5 años
Grado académico	Master en Ciencias e Ingeniería de Materiales
Nacionalidad	Peruano
Institución de estudios	Universidad Nacional de Trujillo
Cargo	Docente
Número de teléfono	951603668
Firma y sello	 Víctor Hugo Peláez Chávez ING. MECANICO R. CIP. N° 197130
Fecha de validación	10-12-2023

Ficha para validación de instrumentos.

Nombre del instrumento	Guía de observación / Encuesta
Objetivo del instrumento	Evaluar los datos de flujo del gas
Apellidos y nombres del experto	Haro Castillo Albert Jhon
Documento de identificación	46430091
Tiempo de experiencia profesional	5 años
Grado académico	Master en Gestión de Proyectos
Nacionalidad	Peruano
Institución de estudios	Universidad Nacional de Trujillo
Cargo	Jefe de Proyectos
Número de teléfono	997859605
Firma y sello	 Albert Jhon Haro Castillo ING. MECANICO R. C.I.P. N° 198544
Fecha de validación	10-12-2023

Ficha para validación de instrumentos.

Nombre del instrumento	Guía de observación / Encuesta
Objetivo del instrumento	Evaluar los datos de flujo del gas
Apellidos y nombres del experto	Acosta Horna Juan Elí David
Documento de identificación	18156999
Tiempo de experiencia profesional	22 años
Grado académico	Ingeniero Mecánico
Nacionalidad	Peruano
Institución de estudios	Universidad Nacional de Trujillo
Cargo	Docente
Número de teléfono	931728539
Firma y sello	 
Fecha de validación	10-12-2023

Anexo 5. Autorización de uso de información.

AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA

Yo, **Roque Berty Tovar Garcia**, identificado con DNI N° 42828268, en mi calidad de **Jefe de Oficina Técnica** del área de INGENIERÍA de la empresa **GRUPO CORPORATIVO GOLDEN SA** con R.U.C N° 20602687555, ubicada en la ciudad de Huamachuco – La Libertad

OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

Al señor **Walter Tanta Mantilla / Deivy Anticona Rios** Identificado(s) con DNI N°46081668 / 70603515, de la Carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, para que utilice la siguiente información de la empresa:

- Datos de los resultados de las propiedades de lubricantes utilizados en los motores de cargadores frontales del año 2022 y 2023.
- Datos históricos de la empresa y del área de mantenimiento.

Con la finalidad de que pueda desarrollar su () Informe estadístico, () Trabajo de Investigación, (X) Tesis para optar el Título Profesional. (X) Publique los resultados de la investigación en el repositorio institucional de la UCV.

Indicar si el Representante que autoriza la información de la empresa, solicita mantener el nombre o cualquier distintivo de la empresa en reserva, marcando con una "X" la opción seleccionada.

(X) Mantener en reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o () Mencionar el nombre de la empresa.

Logo of GRUPO CORPORATIVO GOLDEN S.A. with a signature over it. Below the signature, the text reads: "Roque Tovar Garcia, Jefe de Oficina Técnica".

Firma y sello del Representante Legal

DNI: 42828268

El Estudiante declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el Estudiante será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.

Handwritten signature of Walter Tanta Mantilla in blue ink.

Walter Tanta Mantilla
DNI: 46081668

Handwritten signature of Deivy Anticona Rios in blue ink.

Deivy Anticona Rios
DNI: 70603515