



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Estudio comparativo de uso de aditivos de lubricantes para  
disminuir desgaste en motor a combustión interna de  
grupos electrógenos**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTORES:**

Chávez Romero, Hugo Martín ([orcid.org/0000-0002-7584-8749](https://orcid.org/0000-0002-7584-8749))

Reyna Arteaga, Marcos Eder ([orcid.org/0000-0003-0393-1727](https://orcid.org/0000-0003-0393-1727))

**ASESORES:**

Dr. Luján López, Jorge Eduardo ([orcid.org/0000-0003-1208-1242](https://orcid.org/0000-0003-1208-1242))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Sistemas y Planes de Mantenimiento

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

## Dedicatoria

Este proyecto de investigación está dedicado para nuestros padres, por el apoyo incondicional desde el inicio de nuestra carrera. A nuestros compañeros por el apoyo brindado a lo largo de la carrera universitaria.

## Agradecimiento

Agradecer a todas las personas que estuvieron apoyándonos en diferentes ámbitos, así mismo a nuestros docentes y asesor del proyecto para poder culminarlo. Y sobre todo un agradecimiento a Dios por darnos salud y sabiduría para poder afrontar este largo camino universitario.

## Índice de contenidos

Carátula .....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de gráficos y figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA.....	9
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	9
3.2. Variables y operacionalización .....	9
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	10
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	11
3.5. Procedimientos .....	11
3.6. Método de análisis de datos .....	12
3.7. Aspectos éticos.....	12
IV. RESULTADOS .....	13
V. DISCUSIÓN .....	26
VI. CONCLUSIONES.....	28
VII. RECOMENDACIONES .....	29
REFERENCIAS.....	30
ANEXOS .....	32

## Índice de tablas

Tabla 1 Variable independiente: Aditivos de lubricantes .....	9
Tabla 2: Variable dependiente: Desgaste de motor de combustión interna .....	10
Tabla 3: Descripción de motores de los generadores .....	13
Tabla 4: Características del motor 01 usado para la muestra .....	13
Tabla 5: Características del motor 02 usado para la muestra .....	14
Tabla 6: Límites permisibles de partículas de desgaste que debe tener un motor.....	14
Tabla 7: Cuadro comparativo del análisis de aceite con y sin aditivo durante 110 horas .....	19
Tabla 8: Cuadro comparativo del análisis de aceite con y sin aditivo durante 250 horas .....	20
Tabla 9: Costo de Kit de equipo para toma de muestra de aceite .....	21
Tabla 10: Costo del aditivo usado en el aceite de motor .....	21
Tabla 11: Costo de aceite de motor 15w40 .....	21
Tabla 12: Costo de análisis de aceite.....	22
Tabla 13: Gastos de viaje para toma de muestra de aceite por persona .....	22
Tabla 14: Cuadro comparativo de aceite con y sin aditivo 110 horas de funcionamiento.....	23
Tabla 15: Cuadro comparativo de aceite con y sin aditivo 250 horas de funcionamiento.....	24

## Índice de gráficos y figuras

Figura 1: Comportamiento de la Viscosidad del aceite sin la adición del aditivo.....	15
Figura 2: Partículas metálicas de desgaste en el aceite durante 110 - 250 horas sin aditivo.....	16
Figura 3: Partículas contaminantes del aceite.....	16
Figura 4: Comportamiento de Viscosidad de aceite más el aditivo en determinado tiempo .....	17
Figura 5: Partículas metálicas de desgaste encontradas en el aceite más aditivo durante un periodo de 110 – 250 horas. ....	18
Figura 6: Partículas Contaminantes encontradas en el aceite más el aditivo .....	18
Figura 7: Grafica estadística del análisis de aceite con y sin aditivo en 110 horas ...	23
Figura 8: Grafica estadística del análisis de aceite con y sin aditivo en 250 horas. ...	24

## **Resumen**

Nuestra investigación tuvo como objetivo general, realizar un estudio comparativo entre un aceite con aditivo y un aceite normal que son usados en el funcionamiento del motor de grupos electrógenos, la muestra utilizada fueron dos motores con el mismo esfuerzo de trabajo. Así mismo en los resultados del reporte de análisis de aceite, nos podemos dar cuenta que el aceite con aditivo nos ayuda a disminuir el desgaste de las piezas internas del motor y alargar la vida útil. Finalmente podemos tener una alternativa para que el motor pueda trabajar un poco más de sus horas de lo que indica el fabricante, ampliando los intervalos de mantenimiento de los motores.

**Palabras clave:** Aceite, Mantenimiento, Análisis de aceite, Aditivos y Desgaste.

## **Abstract**

Our investigation had as general objective, to carry out a comparative study between an oil with an additive and a normal oil that are used in the operation of the engine of generator sets, the sample used were two engines with the same work effort. equally, in the results of the oil analysis report, we can realize that oil with an additive helps us to reduce the wear of the internal parts of the engine and extend its useful life. Finally, we can have an alternative so that the engine can work a little more than its hours than what the manufacturer indicates, extending the maintenance intervals of the engines.

Keywords: Oil, Maintenance, Oil analysis, Additives and Wear.

## I. INTRODUCCIÓN

Los avances sobre estudios realizados a los diferentes tipos de lubricantes existentes son clave para lograr el desarrollo sostenible y la eficiencia energética dentro de la industria automotriz. La naturaleza de dicho compuesto principalmente son los aditivos que conforman su composición química, en determinados casos estos compuestos cumplen la función de antidesgaste y antifricción. Actualmente un novedoso nanomaterial ha logrado expectativas crecientes en las ciencias químicas y de materiales, por sus propiedades extraordinarias, desde su descubrimiento ha logrado un gran potencial en muchas aplicaciones, una de ellas es la tribología (Tang, Zhang y Li 2021).

Por su parte, el lubricante tiene la capacidad de separar las superficies en contacto manteniendo una película fluida, disminuyendo así las posibilidades de contacto de metal con metal. El rendimiento de estos lubricantes depende de varios factores que incluyen el índice de viscosidad, el punto de fluidez, la estabilidad térmica y la resistencia a la oxidación (Shafi, Raina y Ul Haq 2018). Por otra parte, los lubricantes se involucrados en la medición de factores como lo son la fricción y el desgaste; sin embargo, un mal lubricantes o algún factor de su composición puede dar como resultado una disminución significativa en la energía, pérdidas de material y una vida más corta de las piezas móviles dentro de los sistemas mecánicos (Wang et al. 2021). Un estudio experimental, indicó que la viscosidad del híbrido óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ) en un aceite SAE 40, se comporta como nano lubricante, aumenta la concentración de nanopartículas y disminuye la temperatura. Los resultados de viscosidad relativa, presentaron un incremento máximo de la viscosidad, fue de alrededor del 46% y tuvo un comportamiento newtoniano (Hatami, Hasanpour y Jing 2020a).

En los últimos años, los motores industriales de combustión interna, usan un tanque de aceite lubricante con la finalidad de lograr un punto adecuado de refrigeración, así mismo, poder disminuir el desgaste de las partes internas del motor; por lo cual, esto se limita a una adecuada selección de aceites y aditivos tomando como punto principal aquel componente que puede lograr un adecuado rendimiento del aceite en el subsistema del motor. La refrigeración, el desgaste, la fricción son factores que

necesariamente deben cambiarse en relación con el manejo del sistema del vehículo por lo cual la composición debe ser acorde con los aspectos que debemos mejorar tomando en cuenta las consideraciones técnicas del vehículo para poder así generar un alargamiento de la vida.(Marcucci Pico et al., 2020).

En los resultados de una muestra de aceite podremos tener información sobre el estado físico y químico de los aceites, así como también la cuantificación de las partículas de metal desgastado que se encuentra en el lubricante analizado(Sejkorova & Hurtova, 2019). A partir de estos resultados podríamos tomar medidas correctivas para evitar paradas inesperadas del equipo.

Mediante esta investigación podremos determinar qué tan beneficioso resulta la incorporación de nanopartículas, para mejorar el sistema de lubricación de los motores de combustión interna. Así mismo se identificará que tipo de metales y sus respectivas cantidades encontramos en el aceite del motor, el comportamiento de la viscosidad del mismo, por lo cual para llegar al resultado se realizará un análisis de aceite. Al cabo de ello cabe reconocer que la aplicación de un lubricante adecuado puede generar el alargamiento de la vida del motor de un grupo electrógeno, de igual manera reduciría el desgaste en las piezas de las unidades automotoras produciendo así un beneficio económico para los operarios en un largo plazo.

Después de revisar e investigar nuestro tema, tenemos como pregunta principal ¿En qué medida el uso de aditivos en lubricantes disminuye el desgaste de los componentes del motor de combustión interna de grupos electrógenos? Así mismo de manera más específica se plantea: ¿Cuál es el desgaste de los componentes del motor de combustión interna de grupos electrógenos utilizando lubricantes sin adición de aditivos?, ¿Cuál es el desgaste de los componentes del motor de combustión interna de grupos electrógenos utilizando lubricantes con aditivos?, ¿Cuál son las ventajas y desventajas del uso de lubricantes con aditivos con relación al desgaste de los componentes de los motores de combustión interna de grupos electrógenos?, ¿Cuál es el costo - beneficio del uso de aditivos en lubricantes de los componentes de motor de combustión interna de grupos electrógenos?.

Por lo tanto, se plantea como objetivo general: Evaluar el uso de aditivos en lubricantes para disminuir el desgaste de los componentes de motor de combustión

interna de grupos electrógenos. Teniendo como objetivos específicos: Determinar el desgaste de los componentes del motor de combustión interna de grupos electrógenos sin la adición de aditivo lubricantes. Determinar el desgaste de los componentes del motor de combustión interna de grupos electrógenos utilizando lubricantes con aditivos. Elaborar un cuadro comparativo del uso de lubricantes con y sin aditivos con relación al desgaste de los componentes de los motores de combustión interna de grupos electrógenos. Evaluar el costo - beneficio del uso de aditivos en lubricantes de los componentes de motor de combustión interna de grupos electrógenos.

La hipótesis general tenemos que el uso de aditivos en lubricantes disminuye el desgaste de los componentes del motor de combustión interna, este caso de estudio de los grupos electrógenos que son sometidos a fuertes cargas de trabajo en operaciones de minería artesanal.

## II. MARCO TEÓRICO

Dentro de las investigaciones preliminares encontramos Hatami, et al (2020) cuya investigación se realizó en la India. Para esta investigación se utilizó los nanolubricantes en motores de combustión interna, para ello se recopila información de estudios de nanolubricantes y su efecto contra el desgaste y daño en frío de los motores. Siendo el objetivo encontrar cuál de las nanopartículas tienen el mayor porcentaje adecuado para tener máximos beneficios de los aspectos de eficiencia tribológica y térmica.

Por su parte Nikolakopoulos, Mavroudis y Zavos (2018) evaluaron los cambios debidos de temperatura y la presión en la viscosidad del aceite de motor a lo largo de su vida útil y realizaron un análisis de incertidumbre de los valores medidos en la investigación, se tuvo como objetivo hablar sobre la relación entre los sistemas automotores y la relación con la fricción de sus componentes, señalando que los principales características de los lubricantes son la reología y sus propiedades, las cuales pueden cambiar a medida que la maquina envejece, la investigación de tipo experimental presenta resultados obtenidos en condiciones de laboratorio, el cual evalúan el envejecimiento de aceites comerciales de motor con diferentes tipos de rendimiento, concluyendo que aquellos puntos claves para el envejecimiento del aceite de motor, provoca cambios en la viscosidad dinámica, siendo aspectos claves la presión y la temperatura.

También encontramos a Zhao, et al. (2020) por medio de la revisión sistemática, tuvieron como objetivo resumir las categorías de aditivos nanolubricantes e ilustrar cuales son las propiedades de los mismos frente a la tribología de cada uno de ellos, reconociendo que la división de los mismos se da en aditivos basados en nanometales, nanocarbonos y nanocompuestos. Además, la revisión resume los mecanismos de lubricación de los aditivos de nanolubricantes, incluida la formación de tribopelículas, el efecto de microcojinetes, el rendimiento de autorreparación y el efecto sinérgico.

Por su parte, Wang, et al. (2021) en su artículo de investigación detallan cual es el desempeño tribológico de una serie de nano adictivos inorgánicos de fluidos lubricantes, específicamente aquellas que contiene partículas de plata, cobre, zinc y óxidos metálicos, todo ello en contraste con los mecanismos de lubricación, reconociendo cuales son aquellos que afectan su desempeño tribológico, tomando en cuenta sus aplicaciones prácticas.

Stump, et al. (2019) en su investigación estudia la viabilidad de usar líquidos iónicos (IL) de fosfato, esta investigación de tipo experimental obtuvo como resultados que este tipo de compuestos tiene una buena facilidad de uso en sistema de aceite de motor, dando un resultado positivo en cuanto al aumento del tiempo de vida útil de las piezas y por consiguiente una mejora en la productividad del motor de dichos grupos electrógenos.

Según Raposo et al. (2019) en su artículo muestran el problema que presenta la condición del combustible Diesel y el aceite de motor que se degrada de forma rápida. En este caso el usuario final debe leer las indicaciones dadas por el fabricante, para poder identificar los periodos de cambio de aceite. Se obtiene como resultados aumentar la disponibilidad de los motores de los generadores.

Por su parte Azevedo, et al. (2018), en su artículo tuvo como problema las fallas de la cantidad de motores en sus primeras horas de trabajo durante el 2010 – 2015 en América latina, su objetivo fue aplicar un modelado de riesgo para identificar, cuantificar, y priorizar los riesgos de costos que implican en el motor Diesel. Como variables de estudio: combustible y medio ambiente. Como resultado de la investigación se concluye que la cantidad de azufre que compone el Diesel y la calidad del mismo, son los riesgos que está sometido cualquier maquinaria.

Según Sejkorova y Hurtova (2019), en su artículo recalca que la operación de la maquinaria depende de su condición térmica, donde la fuga de aceite puede ser dañino para el suelo, agua y contaminación del suelo. Tuvo como objetivo monitorear los componentes individuales del motor y predecir fallas en el equipo. Por ello las

variables fueron análisis de aceite y nivel de desgaste del motor. Como resultado se tuvo que el TORQ-GARD aceite ha desarrollado, satisfactoriamente la demanda de alto rendimiento en el motor.

En las principales teorías encontramos que el lubricante tiene la capacidad de separar las superficies en contacto manteniendo una película fluida, disminuyendo así las posibilidades de contacto de metal con metal. El rendimiento de estos lubricantes depende de varios factores que incluyen el índice de viscosidad, el punto de fluidez, la estabilidad térmica y la resistencia a la oxidación (Shafi, Raina y Ul-Haq, 2018).

La fricción es un tipo más frecuente de desgaste. Hay muchos materiales que al tener contacto sobre una superficie en movimiento provocan daños importantes, las pérdidas mecánicas producidas por el desgaste, al ser el caso de los principales componentes internos del motor de combustión interna, entre los principales tenemos lo siguiente: el conjunto de cilindro – pistón y el mecanismo del cigüeñal, los cuales son las partes principales móviles del motor (Muratov et al. 2022).

Los motores de combustión interna, usan un tanque de aceite lubricante con la finalidad de lograr un punto adecuado de refrigeración y lubricación. El lubricante tiene el poder disminuir el desgaste de los componentes internos del motor; por lo cual, esto se limita a una adecuada selección de aceites y aditivos tomando como punto principal aquel componente que puede lograr un adecuado rendimiento del aceite en el subsistema del motor.

La refrigeración, el desgaste, la fricción son factores que necesariamente deben cambiarse en relación con el manejo del sistema del vehículo por lo cual la composición debe ser acorde con los aspectos que debemos mejorar tomando en cuenta las consideraciones técnicas del vehículo para poder así generar un alargamiento de la vida (Marcucci Pico et al. 2020).

Los denominados aditivos en los lubricantes son los que ayudan a reducir la fricción en los motores, lo cual se realiza en situaciones de altas temperaturas y de acuerdo a la carga sometida que sufren cada motor. En estos existen constante fricción y

rozaduras entre piezas móviles, por ello se añaden aditivos, preparados a base de compuestos químicos, al aceite del motor para mejorar su rendimiento. Uno de los tantos aditivos cuenta con la función de reducir la fricción, cierta manera que prolonga la vida útil del motor (Criollo-yanchatipan et al. 2021).

Los aditivos que mejoran el índice de viscosidad del aceite son generalmente de gran rendimiento con altas defensas frente a las pérdidas de metales debido a cizallamientos mecánicos existentes dentro del funcionamiento de motor y por la función que tienen los aditivos, las pérdidas disminuyen, y el aceite mejora sus propiedades inclusive en situaciones extremas (Gutiérrez Espinoza 2022).

La temperatura máxima que debe trabajar un motor de combustión interna está en un rango de 70°C – 85°C, lo cual el aceite debe de mantener su grado de viscosidad en relación a la temperatura.

El desgaste es el daño superficial que sufren cualquier objeto mecánico a la largo de su vida útil. En el motor las piezas móviles internas sufren mayor desgaste, cuando la lubricación es deficiente, sumado a esto el trabajo que realiza el motor constantemente (Saraguro Ontaneda 2021).

Las pérdidas mecánicas producidas por el desgaste, son perjudiciales para los principales componentes internos del motor a combustión interna, para ello se debe realizar un análisis de aceite de motor de forma periódica, de lo cual, el laboratorio proporcionará los resultados, donde podremos ver e identificar partículas de los distintos metales de las piezas internas del motor. Se detallará el porcentaje de desgaste y la cantidad de partículas metálicas encontradas en cada muestra, lo cual nos permitirá comparando cantidades en cada análisis de aceite.

En los sistemas mecánicos, se utilizan lubricantes para reducir la fricción y desgaste y así poder minimizar la pérdida de energía. Para ellos se utiliza aditivos antidesgaste para mejorar las propiedades de los lubricantes. Por ello se sabe que el uso de las nanopartículas como aditivo ha dado gran impacto por sus excelentes características mecánicas y tribológicas (Ajay Vardhaman et al. 2018).

La norma ISO 4406 es conocida internacionalmente por establecer parámetros técnicos que expresan el nivel de contaminación de aceites y fluidos, así como por especificar el nivel de limpieza del aceite requerido para los componentes del sistema hidráulico, lubricante y de combustión.

Muchas veces los planes de mantenimiento practicadas en las zonas mineras artesanales no toman en consideración la importancia que tiene el análisis de aceite, el cual nos permitirá realizar el seguimiento del desprendimiento de partículas metálicas del interior del motor, todo esto producido por la alta exigencia de los grupos electrógenos de 16 a 20 horas continuas de trabajo, incrementando la temperatura y así hacer que las propiedades del aceite se modifiquen con el pasar del tiempo.

Bajo algunas condiciones, cualquier lubricante puede deteriorarse dejando de cumplir con su función, generalmente es una función relacionada a la duración del servicio, la temperatura, condiciones ambientales o el estrés mismo que sufre por motivo de la suciedad o agua, acidez, caudal insuficiente o niveles de viscosidad inadecuados (Raposo et al.2019).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo aplicada, nivel explicativo, diseño experimental en donde por medio de un sistema de contraste se estable que tipo de aditivo tiene un mejor rendimiento en cuanto a la reducción de desgaste de los motores.

#### 3.2. Variables y operacionalización

Tabla 1 Variable independiente: Aditivos de lubricantes

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
<b>Variable Independiente:</b> Aditivos de lubricantes	La especialidad de estos compuestos de aditivos mejora las propiedades del aceite y disminuyen los factores como lo son la fricción y el desgaste dentro de los motores de combustión interna (Zhao, et al (2020)	Los aditivos ayudan a mejorar la viscosidad y se evaluará el comportamiento durante la variación de temperatura de motor.	Magnitudes	Viscosidad  Temperatura de motor	La Razón  Intervalo

Fuente: El autor

Tabla 2: Variable dependiente: Desgaste de motor de combustión interna

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<b>Variable Dependiente:</b> Desgaste de motor de combustión interna	Las pérdidas mecánicas producidas por el desgaste de los principales componentes internos del motor a combustión internas (Muratov et al. 2022).	El desgaste se medirá analizando la cantidad de metales que se obtendrá en los resultados del laboratorio.	Desgaste (%)	Cantidad de partículas metálicas  Horómetro	La Razón

Fuente: El autor

### 3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

**Población:** Grupos electrógenos para uso en sector minero

- **Criterios de inclusión:** Contar con un tiempo de trabajo entre 16 A 20 horas diarias en zonas mineras.
- **Criterios de exclusión:** Motores con inferior y superior a horas de trabajo mencionados y encontrarse en lugares diversos.

**Muestra:** Esta constituida por dos grupos electrógenos que tengan el mismo horario de trabajo y sometido a la misma carga.

**Muestreo:** El muestreo se realizará por conveniencia

**Unidad de análisis:** Un grupo electrógeno

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

En esta investigación la técnica que se utilizará es de análisis documental porque se revisaran los informes del laboratorio. Así mismo el instrumento utilizado es la ficha de recolección de datos.

### **3.5. Procedimientos**

- El motor tiene que estar operando, “sometido a carga” por lo que tenemos que extraer la muestra con una temperatura de 40C°
- El muestreo se debe realizar en zona de trabajo; lugar donde se encuentra la máquina.
- El lugar que se utilizó para sacar la muestra es el conducto por donde se encuentra la varilla de aceite.
- Para tomar la muestra, se procedió a limpiar la zona externa de conducto de la varilla, así misma limpieza de la válvula, manguera y fresco que se utilizó para la toma de muestra. La herramienta utilizada es llamada VAMPIRO, compuesta de bomba manual, manguera de 6mm exterior y 4mm de interior y frasco de 160ml. (Anexo 01).
- Muestreo se tomó con una frecuencia determinada, las horas de muestreo de aceite dependerá del nivel de criticidad del equipo, para esta investigación se realizó a la hora que se cambia el aceite, según lo que indica el fabricante, por ejemplo, a 250horas.(Tormos Martínez et al. 2016). Pero realmente se realizará con intervalo de 110 – 250 horas a criterio ya que en este caso de grupos electrógenos en minería se hace el mantenimiento cada 250horas. Y demandaría mayor tiempo de resultados.
- Se realizó una ficha donde se registró la cantidad de horas que sirvieron para la toma de muestra del aceite en el intervalo de horas.
- Las muestras extraídas, fueron enviadas de inmediato al laboratorio según los protocolos recomendados.

### **3.6. Método de análisis de datos**

Las muestras obtenidas fueron analizadas en laboratorio especializado, lo cual nos emitió un informe detallado sobre la muestra. También se utilizó un Excel para realizar los cuadros de estadísticas descriptivas sobre los resultados del análisis de aceite.

### **3.7. Aspectos éticos**

Esta investigación se realizó en motores de grupos electrógenos de zonas mineras, lo cual se tuvo la aceptación por parte de los usuarios con el fin de saber el estado de su motor y contribuir con el desarrollo de sus operaciones en minería. Así mismo la investigación ha sido elaborada con información fiables, con toma de muestras auténticas y resultados de un laboratorio confiable, se menciona las fuentes bibliográficas que se usó como guías para desarrollar el tema de esta investigación.

#### IV. RESULTADOS

Nuestro trabajo de investigación fue realizado en dos unidades de motores de grupos electrógenos, teniendo en cuenta que los motores son sometidos al mismo esfuerzo con un jornal diario de 20 horas. Donde ambos utilizan aceite sintético 15w40. Sabiendo que uno de los motores utilizó un aditivo de la marca Liqui Moly – Ceratec. En las tablas siguientes encontraremos información sobre los motores:

*Tabla 3: Descripción de motores de los generadores*

Equipo	Marca	Modelo	Aceite	Aditivo Ceratec
Motor 01	Perkins	1103A - 33T	Aceite Cat 15w40	si
Motor 02	Genpack	R4105 - ZD1	Aceite Cat 15w40	

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 4: Características del motor 01 usado para la muestra*

INFORMACIÓN DEL MOTOR 01	
MARCA	PERKINS
MODELO	1103A-33T
NUMERO DE CILINDROS	3 en Línea
CARRERA	105 mm
ASPIRACION	Turbocargador de aspiración natural
RELACION DE COMPRESION	19.25:1 /18.25:1
CILINDRADA	3.3L
ORDEN DE ENCENDIDO	1 2 3
ROTACION DE VOLANTE	Hacia la Izquierda
CAPACIDAD DE ACEITE	8.3L
CAPACIDAD DE REFRIGERANTE	10.2L

Fuente: Manual del motor Perkins 1103T – 33T

*Tabla 5: Características del motor 02 usado para la muestra*

INFORMACIÓN DEL MOTOR 02	
MARCA	GENPACK
MODELO	R4105 - ZD1
CILINDRADA	4.33 L
POTENCIA NOMINAL	62kW/1800rpm
RELACION DE COMPRESION	17:1/16:1
ORDEN DE ENCENDIDO	1 3 4 2
ROTACION DE VOLANTE	Hacia la Izquierda
ASPIRACION	Turbocargador de aspiración natural
CAPACIDAD DE ACEITE	11.4L
CAPACIDAD DE REFRIGERANTE	13L

Fuente: Manual del motor Genpack R4105 – ZD1

**Objetivo específico 01:** Determinar el desgaste de los componentes del motor de combustión interna de grupos electrógenos sin la adición de aditivo lubricantes.

A continuación, en la Tabla 06, encontramos los límites permisibles a que se puede llevar los motores en partículas de desgaste según, Widman (2019).

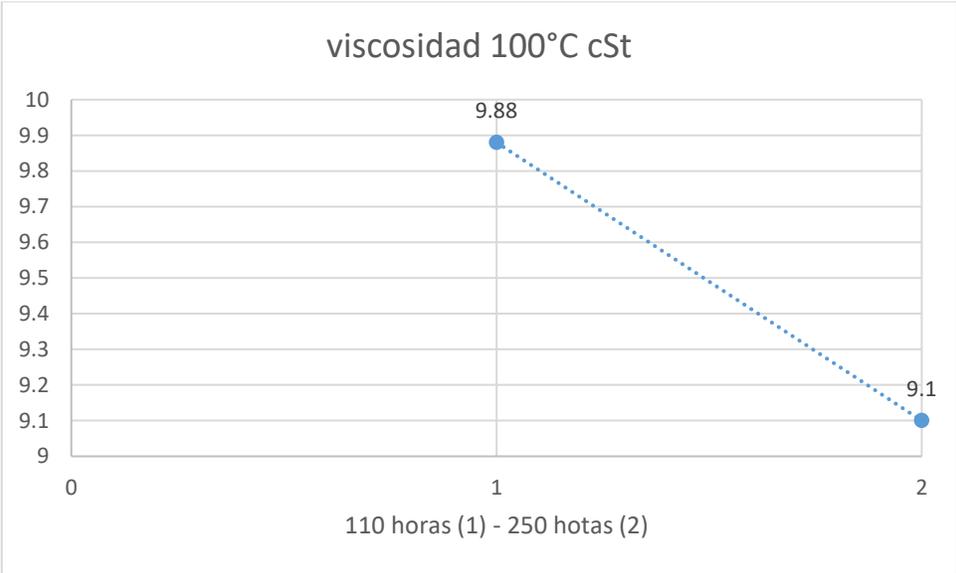
*Tabla 6: Límites permisibles de partículas de desgaste que debe tener un motor*

Metal	Normal	Anormal	Critico
Hierro	<110 ppm	100 a 200 ppm	>200 ppm
Plomo	<30 ppm	30 a 75 ppm	>75 ppm
Cobre	<30 ppm	30 a 75 ppm	>75 ppm
Cromo	<10 ppm	10 a 25 ppm	>25 ppm
Aluminio	<20 ppm	20 a 30 ppm	>30 ppm
Níquel	<10 ppm	10 a 20 ppm	>20 ppm
Plata	<3 ppm	3 a 15 ppm	>15 ppm
Estaño	<20 ppm	20 a 30 ppm	>30 ppm
Sodio	<50 ppm	50 a 200 ppm	>200 ppm
Silicio	<20 ppm	20 a 50 ppm	> 50 ppm
Hollín	<2%	2 a 6 %	>6 %

Fuente: Pagina web, Widman International SRL.(Widman Richard 2019)

En la figura 01 se mostrará los resultados del comportamiento de viscosidad en el pasar del tiempo de (110 horas – 250 horas), por lógica la viscosidad ira disminuyendo con el pasar de tiempo y el funcionamiento del aceite.

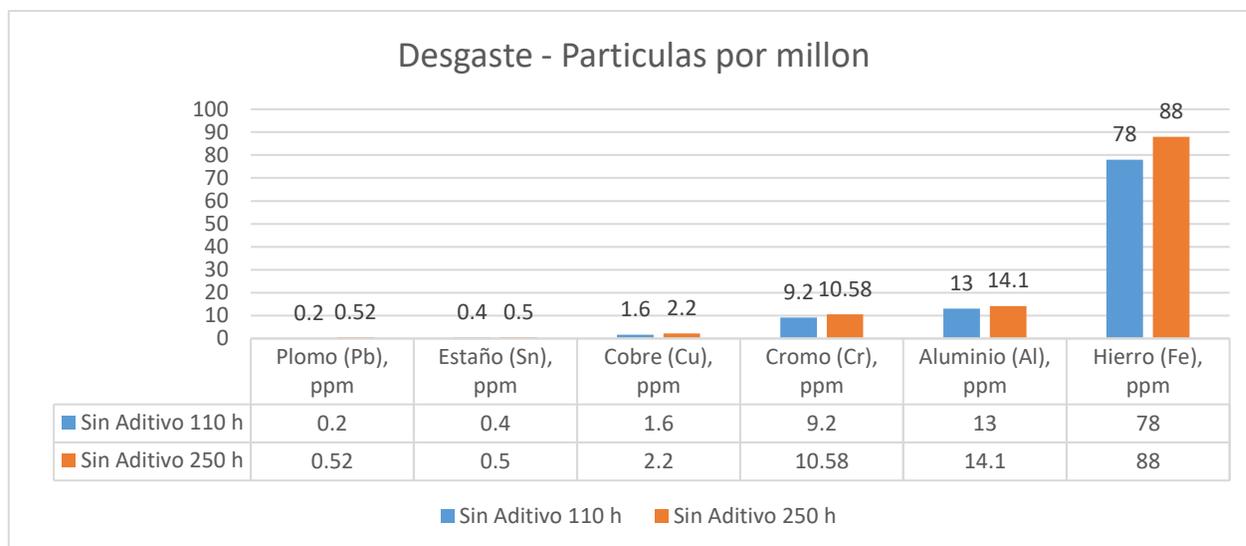
Figura 1: Comportamiento de la Viscosidad del aceite sin la adición del aditivo



Fuente: Laboratorio SGS del Perú Sac

En la figura 02, se puede observar el desgaste a través de la identificación de partículas metálicas, que se encontró en el análisis de aceite, durante un intervalo de funcionamiento de 110 – 250 horas.

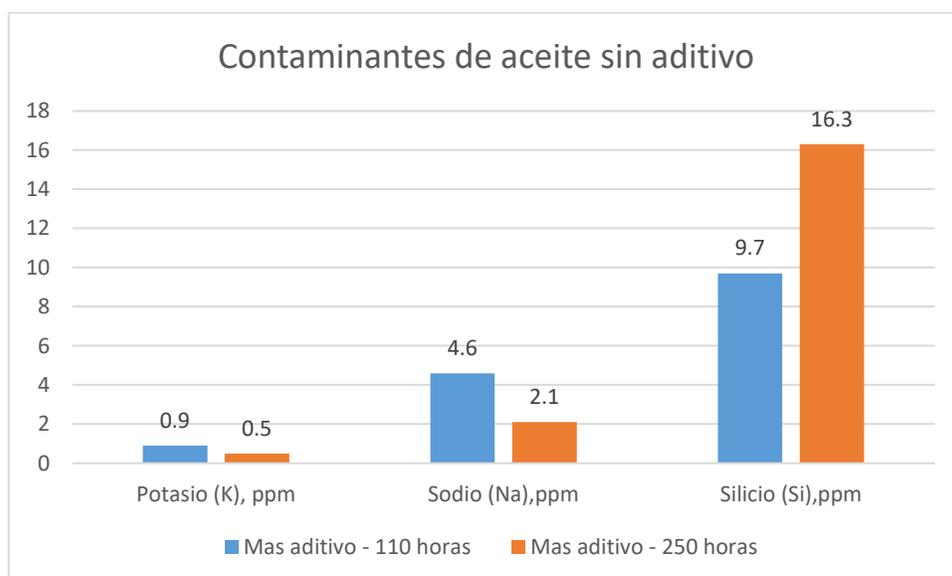
Figura 2: Partículas metálicas de desgaste en el aceite durante 110 - 250 horas sin aditivo



Fuente: Laboratorio SGS del Perú Sac

En la figura 03, se mostrará las partículas contaminantes que se encontró en el análisis de aceite, durante un intervalo de horas de funcionamiento de 110h – 250 h.

Figura 3: Partículas contaminantes del aceite



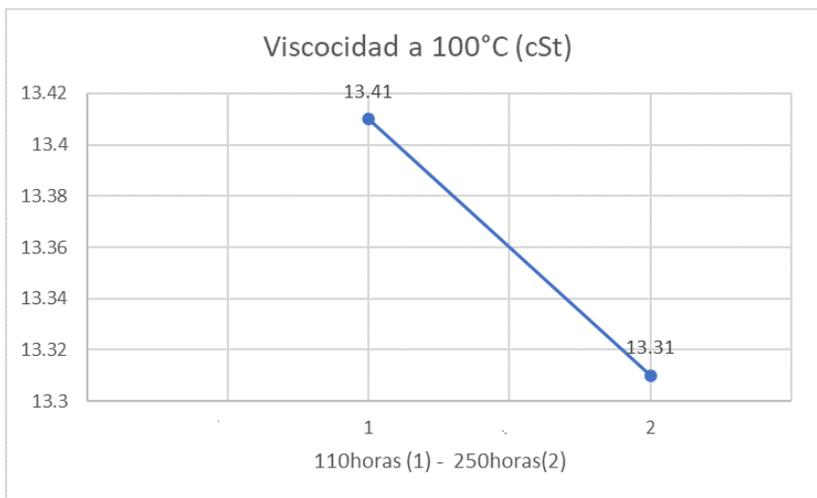
Fuente: Laboratorio SGS del Perú Sac

**Objetivo específico 02:** Determinar el desgaste de los componentes del motor de combustión interna de grupos electrógenos utilizando lubricantes con aditivos.

Para desarrollar este objetivo se utilizó el aditivo Ceratec de Liqui Moly, compuesto especialmente por nitruro de boro (BN). Las características estarán en anexos 02.

En la siguiente figura 04, se mostrará los cambios de viscosidad que ha tenido el aceite 15w40 a través del tiempo. Por ende, el aceite perderá su viscosidad mientras más tiempo esté en funcionamiento dentro del motor.

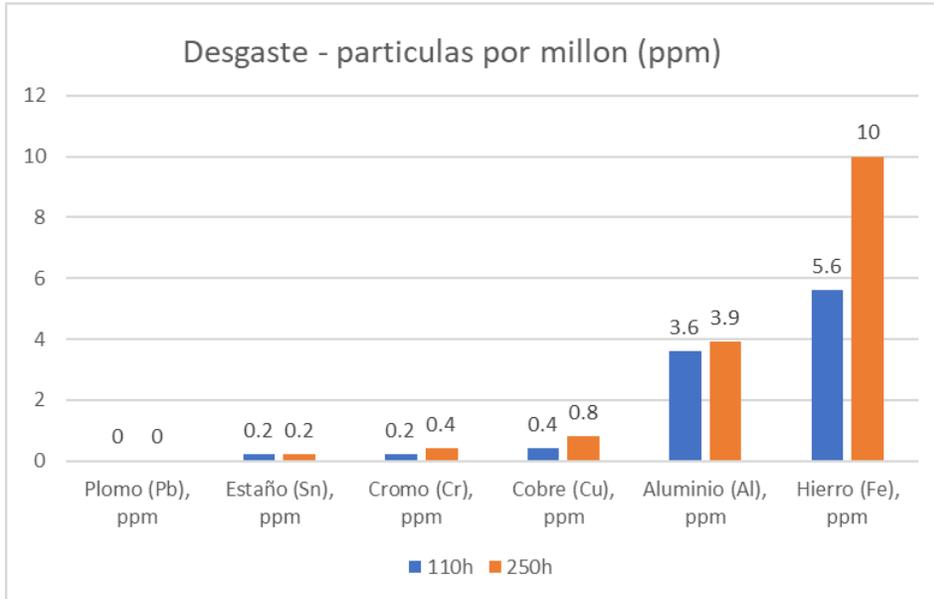
*Figura 4: Comportamiento de Viscosidad de aceite más el aditivo en determinado tiempo*



Fuente: Laboratorio SGS del Perú Sac

A continuación, en la figura 05, se puede identificar las partículas de desgaste encontradas en las muestras de aceite en un periodo de (110 – 250) horas de funcionamiento.

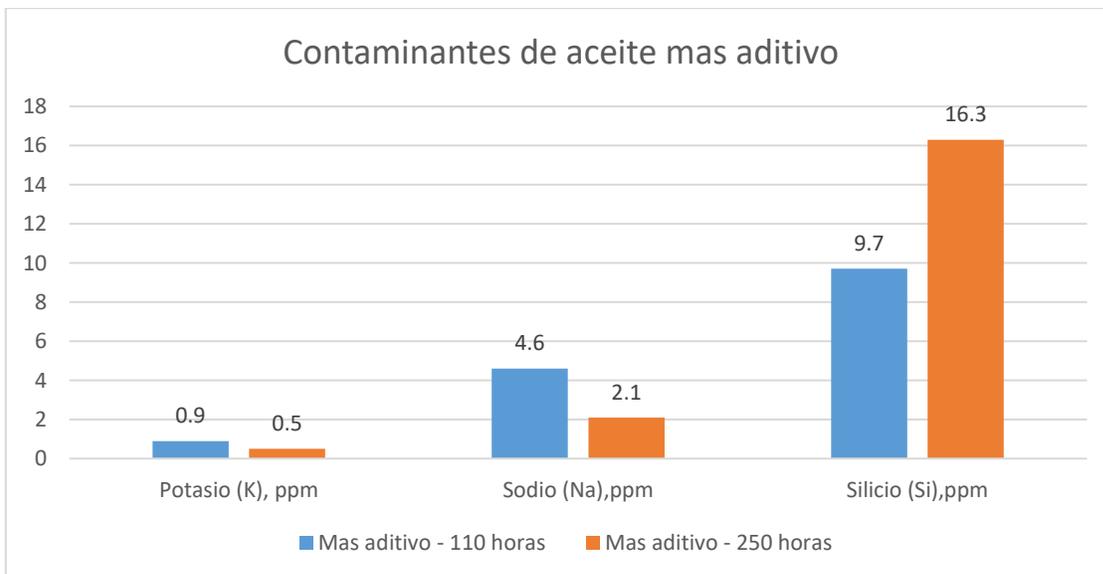
**Figura 5: Partículas metálicas de desgaste encontradas en el aceite más aditivo durante un periodo de 110 – 250 horas.**



Fuente: Laboratorio SGS del Perú Sac.

En la figura 06 se mostrará las partículas contaminantes que se encontró en el análisis de aceite, durante un intervalo de horas de funcionamiento de 110 – 250 horas.

**Figura 6: Partículas Contaminantes encontradas en el aceite más el aditivo**



Fuente: Laboratorio SGS del Perú Sac

**Objetivo específico 03:** Elaborar un cuadro comparativo del uso de lubricantes con y sin aditivos con relación al desgaste de los componentes de los motores de combustión interna de grupos electrógenos. En la tabla 07 y 08 encontramos los resultados del análisis de aceite con y sin aditivo en un rango de toma de muestra de 110 y 250 horas.

*Tabla 7: Cuadro comparativo del análisis de aceite con y si aditivo durante 110horas*

FICHA DE REGISTRO DE ANÁLISIS DE ACEITE DE MOTOR					
Equipo	Motor 01 (Con aditivo) motor 02 (Sin aditivo)	Marca/Modelo	Perkins / 1103A - 33T Genpack/ R4105 - ZD1		
Horómetro / inicial	4952.59h - Motor 01 3304.1 h - Motor 02	horómetro de toma de muestra	5064.33 h - Motor 01 3414.1 h - Motor 02		
Gado de aceite	15W40				
REPORTE DEL ANÁLISIS			Motor 01 ACEITE + CERATEC	Motor 02 ACEITE NORMAL	OBSERVACIONES
viscosidad cinemática 100°C (cst)			13.43	9.88	
TBN (Numero de base) (mg KOH/g)			10.24	5.62	
<b>Metales por ASTM D5185 - 18</b>					
Hierro (Fe), ppm			5.6	78	
Cromo (Cr), ppm			0.2	9.2	
Plomo (Pb), ppm			0	0.2	
Cobre (Cu), ppm			0.4	1.6	
Estaño (Sn), ppm			0.2	0.4	
Aluminio (Al), ppm			3.6	13	
Níquel (Ni), ppm			0	0.2	
Plata (Ag), ppm			0	0	
Silicio (Si), ppm			9.7	15	
Boro (B), ppm			240	94	
Sodio (Na), ppm			4.6	2.2	
Magnesio (Mg), ppm			1060	212	
Molibdeno (Mo), ppm			250	0	
Titanio (Ti), ppm			0	25	
Vanadio (V), ppm			0	0.2	
Manganeso (Mn), ppm			0.2	0.8	
Potasio (K), ppm			0.9	0.8	
Cadmio (Cd), ppm			0	0.1	
Fosforo (P), ppm			1050	581	
Zinc (Zn), ppm			1230	635	
Calcio (Ca), ppm			1550	2580	
Bario (Ba), ppm			0	0.26	

Fuente: Laboratorio SGS del Perú Sac

Tabla 8: Cuadro comparativo del análisis de aceite con y sin aditivo durante 250 horas

<b>FICHA DE REGISTRO DE ANÁLISIS DE ACEITE DE MOTOR</b>				
Equipo	Motor 01 motor 02	Marca/Modelo	Perkins / 1103A - 33T Genpack/ R4105 - ZD1	
Horómetro / inicial	5064.33 h - Motor 01 3414.1 h - Motor 02	horómetro de toma de muestra	5204.3h - Motor 01 3554 h - Motor 02	
Gado de aceite	15W40			
<b>REPORTE DEL ANÁLISIS</b>		<b>ACEITE + CERATEC</b>	<b>ACEITE NORMAL</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
viscosidad cinemática 100°C (cst)		13.31	9.1	
TBN (Numero de base) (mg KOH/g)		9.91	5.1	
<b>Metales por ASTM D5185 - 18</b>				
Hierro (Fe), ppm		10	88	
Cromo (Cr), ppm		0.4	10.58	
Plomo (Pb), ppm		0	0.52	
Cobre (Cu), ppm		0.8	2.2	
Estaño (Sn), ppm		0.2	0.5	
Aluminio (Al), ppm		3.9	14.1	
Níquel (Ni), ppm		0.2	0.45	
Plata (Ag), ppm		0	0	
Silicio (Si), ppm		11	16.3	
Boro (B), ppm		230	93	
Sodio (Na), ppm		4.4	2.1	
Magnesio (Mg), ppm		1080	235	
Molibdeno (Mo), ppm		250	0	
Titanio (Ti), ppm		0	25.7	
Vanadio (V), ppm		0	0.28	
Manganeso (Mn), ppm		0.3	1.1	
Potasio (K), ppm		0.6	0.5	
Cadmio (Cd), ppm		0.1	0.2	
Fosforo (P), ppm		1050	582	
Zinc (Zn), ppm		1250	655	
Calcio (Ca), ppm		1580	2615	
Bario (Ba), ppm		0	0.28	

Fuente: Laboratorio SGS del Perú Sac

**Objetivo específico 04:** Evaluar el costo - beneficio del uso de aditivos en lubricantes de los componentes de motor de combustión interna de grupos electrógenos.

1. Costos de investigación: en las siguientes tablas podemos ver los gastos que empleamos para desarrollar nuestro trabajo, lo cual nuestro gasto total es de S/1760,62.

*Tabla 9: Costo de Kit de equipo para toma de muestra de aceite*

<b>Gastos de compra de bomba tipo vampiro</b>	<b>cantidad</b>	<b>Costo</b>	
Kit de bomba tipo vampiro	1 und.	S/	397.07
Costo de envío	1	S/	12.00
Taxi recojo	1	S/	15.00
	<b>total</b>	<b>S/</b>	<b>424.07</b>

Fuente: El autor

*Tabla 10: Costo del aditivo usado en el aceite de motor*

<b>Productos - Aditivo CeraTec</b>	<b>S/.</b>	<b>Und</b>	<b>S/.</b>
Aditivo Ceratec - Liqui Moly	S/ 31.00	2	S/ 62.00
		<b>Total</b>	<b>S/ 62.00</b>

Fuente: El autor

*Tabla 11: Costo de aceite de motor 15w40*

<b>Productos - Aceite para Motor</b>	<b>S/.</b>	<b>Und</b>	<b>S/.</b>
Aceite 15w40 por Balde	S/ 330.00	2	S/ 660.00
		<b>Total</b>	<b>S/ 660.00</b>

Fuente: El autor

Tabla 12: Costo de análisis de aceite

Producto / muestra	P. dólares	IGV	P. total	T. Cambio	P. soles	C. embarque	C. de envío	costo total
muestra 01	\$ 25.00	0.18	\$ 29.50	4.01	S/ 118.30	S/ 8.00	S/ 10.00	S/ 136.30
muestra 02	\$ 30.00	0.18	\$ 35.40	3.962	S/ 140.25	S/ 8.00	S/ 10.00	S/ 158.25
-								
<b>Total</b>								<b>S/ 294.55</b>

Fuente: El autor

Tabla 13: Gastos de viaje para toma de muestra de aceite por persona

Gastos viaje toma de muestra	Costo	viajes	costo total
Trujillo - Quiruvilca	S/ 35.00	4	S/ 140.00
Viáticos	S/ 10.00	4	S/ 40.00
Quiruvilca - Trujillo	S/ 35.00	4	S/ 140.00
<b>S/</b>			<b>320.00</b>

Fuente: El autor

- Costos de alternativos: Nuestra investigación puede ser una alternativa para el propietario para cuidar y alargar la vida útil del motor, lo cual seguiría manteniendo el costo de los insumos utilizados en su mantenimiento, y solo se añadiría el aditivo que el costo se detalla en la tabla 09.

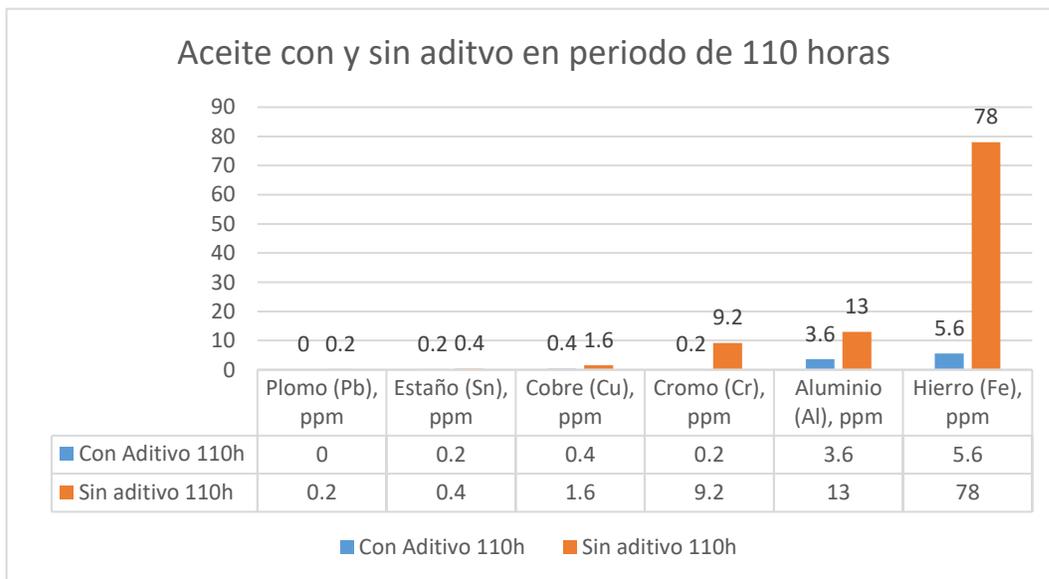
**Objetivo general:** Evaluar el uso de aditivos en lubricantes para disminuir el desgaste de los componentes de motor de combustión interna de grupos electrógenos.

Tabla 14: Cuadro comparativo de aceite con y sin aditivo 110 horas de funcionamiento.

CUADRO COMPARATIVO DEL ACEITE CON Y SIN ADITIVOS EN 110 HORAS		
Partículas encontradas	Aceite con CeraTec (110 h)	Aceite solo (110 h)
Plomo (Pb), ppm	No se encontró este tipo de partícula	Se encontró esta partícula con un valor de 0.2 ppm
Estaño (Sn), ppm	Se encontró 0.2 ppm de esta partícula	Aumentó la partícula de 0.2 a 0.4 ppm
Cobre (Cu), ppm	Se encontró una cantidad de 0.4 ppm de cobre	Se encontró un valor mayor, de 1.6 ppm
Cromo (Cr), ppm	Se encontró 0.2 ppm de esta partícula	Contiene más de 9.2 ppm de partículas
Aluminio (Al), ppm	Aquí se encontró 3.6 ppm de la partícula	Aquí aumentó la cantidad de Aluminio en 13 ppm
Hierro (Fe), ppm	El hierro es el metal de desgaste que se encontró en mayor cantidad de 5.6 ppm	Aquí las cantidades del metal son de mayor preocupación por tener 78 ppm

Fuente: El Autor

Figura 7: Grafica estadística del análisis de aceite con y sin aditivo en 110 horas



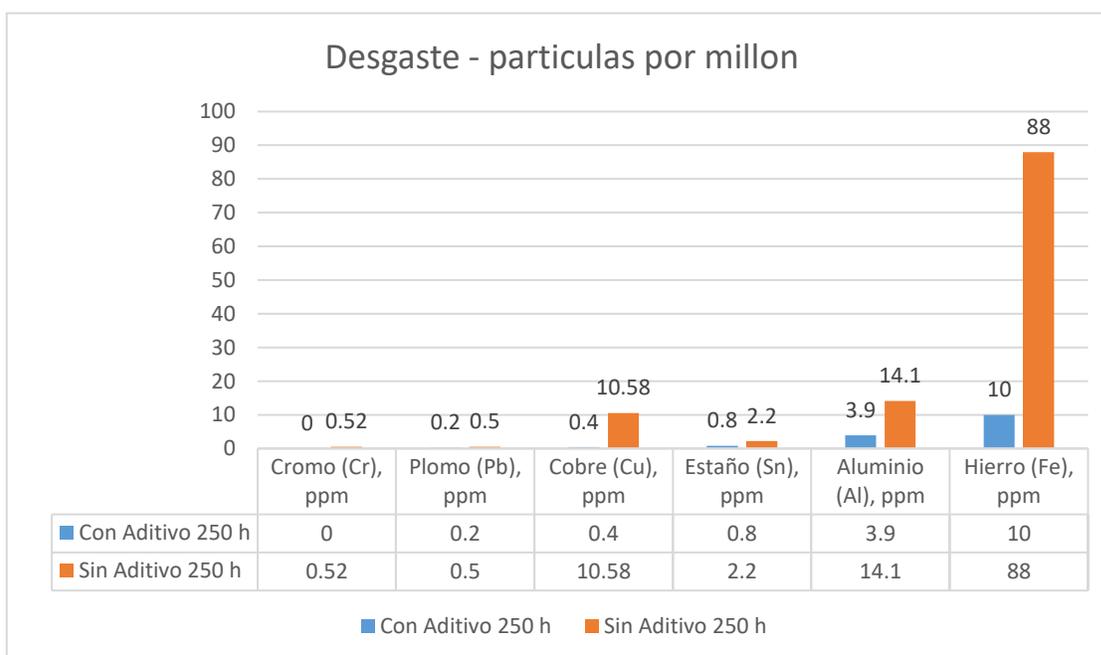
Fuente: El Autor

Tabla 15: Cuadro comparativo de aceite con y sin aditivo 250 horas de funcionamiento.

CUADRO COMPARATIVO DEL ACEITE CON Y SIN ADITIVOS EN 250 HORAS		
Partículas encontradas	Aceite con Ceratec (250 h)	Aceite solo (250 h)
Cromo (Cr), ppm	No se encontró este tipo de partícula	Se encontró 0.52 ppm
Plomo (Pb), ppm	Se encontró 0.2 ppm de esta partícula	Se encontró 0.5 ppm de esta partícula
Cobre (Cu), ppm	Se encontró una cantidad de 0.4 ppm de cobre	Se encontró un aumento de 10.58 ppm
Estaño (Sn), ppm	Se encontró 0.8 ppm de esta partícula	Aumentó a 2.2 ppm
Aluminio (Al), ppm	Aquí se encontró 3.9 ppm de la partícula	Aquí se encontró 14.1 ppm
Hierro (Fe), ppm	El hierro es el metal de desgaste que se encontró en mayor cantidad de 10 ppm	Aquí hubo un aumento significativo hasta 88 ppm

Fuente: El Autor

Figura 8: Grafica estadística del análisis de aceite con y sin aditivo en 250 horas.



Fuente: El Autor

A través del cuadro comparativo, tabla 13, nos podemos dar cuenta que el aceite sin aditivo, presenta partículas metálicas en mayor cantidad, en comparación del aceite con el aditivo CeraTec. La unidad de medida es partículas por millón (ppm).

Por ello se determina que el uso de aditivos si, traería buenos beneficios al aceite de los motores, aumentando sus propiedades tribológicas. Lo cual ayudaría disminuir el desgaste y alargar la vida útil del motor de los grupos electrógenos que trabajan en operaciones mineras.

## V. DISCUSIÓN

En esta investigación tenemos como primer objetivo específico determinar el desgaste de los componentes del motor de combustión interna de grupos electrógenos, en este caso solo se usó el mismo aceite que usan los motores de zona minera de grado 15w40, donde el motor trabajó durante un periodo de 250 horas, y durante este rango se obtuvo dos muestras de aceite, donde se observó una variación de desgaste entre ambas muestras. Esto nos lleva a buscar opciones que puedan minimizar el desgaste del motor, lo cual creímos conveniente plantearnos el siguiente objetivo específico.

El segundo objetivo específico fue determinar el desgaste de los componentes del motor de combustión interna de grupos electrógenos utilizando lubricantes con aditivos. Para desarrollar este objetivo se añadió un aditivo (Cera Tec), al aceite del motor, donde funciono una totalidad de horas (250 h) y durante ese rango trabajado se realizó dos muestras de aceite, lo cual encontramos que no fue mucha la diferencia entre la primera con la segunda muestra, según los resultados analizados nos damos cuenta que el aditivo si ayuda a alargar la vida útil del motor. Según los autores Singh et al. (2021), Stump, et al. (2019), en su investigación utilizaron un compuesto químico, como aditivo, donde el aceite mejora sus propiedades de desgaste y de fricción. Así mismo los autores Hatami, et al (2020) usaron nanolubricantes contra el efecto de desgaste y así determinar que nanopartícula tiene mayor beneficio para mejorar el eficiencia tribológica del aceite. Pero para los autores Nikolakopoulos, Mavroudis y Zavos, (2018) concluyeron que el envejecimiento de los componentes internos del motor, son generados por los cambios de viscosidad dinámica del aceite a través de la variación del tiempo y temperatura.

Por último, el objetivo general es evaluar el uso de aditivos en lubricantes para disminuir el desgaste de los componentes de motor de combustión interna de grupos electrógenos. Para ellos consideramos los datos obtenidos del reporte de análisis de aceite, tanto con aditivo y sin aditivo, y se vio reflejado que el aditivo adicional si ayuda mejorar las propiedades del aceite, disminuyendo el desgaste y fricción del en las partes internas de un motor a combustión interna de los grupos electrógenos de zonas mineras, así como a los autores mencionados le dio buenos resultados el uso de aditivos por compuestos químicos. Teniendo en cuenta a estos autores Shafi, Raina y

Ul Haq, (2018) determinaron que el rendimiento del aceite depende también del índice de viscosidad, el punto de fluidez y resistencia térmica, lo cual fue evaluado en tiempo de uso y temperatura a lo largo de un determinado tiempo. Para mantener estas propiedades sería necesario el uso de aditivos que son encontrados ya en el mercado local.

## **VI. CONCLUSIONES**

Se utilizó un motor sometido a carga un promedio de 20 horas de trabajo, lo cual se realizó dos muestras de aceite en un intervalo de tiempo (110 – 250) horas, donde analizamos la cantidad de partículas metálicas de desgaste encontradas en el reporte de análisis de aceite.

Utilizando otro motor con la misma carga de trabajo, añadimos un aditivo químico al aceite de motor, donde se realizaron dos muestras de aceite en un rango de 110 y 250 horas, con ayuda de los reportes de análisis de aceite, se verificó una variación en las cantidades de los metales de desgaste, mejorando así, las propiedades del aceite.

Concluimos que, añadiendo un aditivo al aceite de motor de grupos electrógenos, nos puede mejorar sus propiedades tribológicas, lo cual ayudaría a reducir el desgaste de las partes internas y alargar la vida útil del motor.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Luego de haber obtenido los resultados podemos indicar las siguientes recomendaciones:

Realizar un mantenimiento basado en la condición, teniendo en cuenta el análisis de aceite, lugar de trabajo y el esfuerzo que realiza el grupo electrógeno en su jornada diaria para llevar un control de mantenimiento de forma periódica.

Se podría añadir un aditivo químico al aceite del motor para disminuir el desgaste e incrementar la vida útil las partes internas móviles del motor, con esto se podría alargar los intervalos de mantenimiento.

Se podría llevar un control del comportamiento de sus propiedades del aceite, a través de un análisis para prevenir algún problema mayor en el equipo y a consecuencia de esto se tenga que reemplazar por otro o provocar pérdidas en la producción por alguna falla imprevista del motor.

## REFERENCIAS

- AJAY VARDHAMAN, B.S., AMARNATH, M., RAMKUMAR, J. y RAI, P.K., 2018. Experimental Investigations to Enhance the Tribological Performance of Engine Oil by Using Nano-Boric Acid and Functionalized Multiwalled Carbon Nanotubes: A Comparative Study to Assess Wear in Bronze Alloy. *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 27, no. 6, pp. 2782-2795. ISSN 15441024. DOI 10.1007/S11665-018-3384-9.
- AZEVEDO, K. y OLSEN, D.B., 2018. System engineering risk analysis of diesel engine durability in Latin America. *Systems Engineering*, vol. 21, no. 4, pp. 345-357. ISSN 15206858. DOI 10.1002/SYS.21440.
- CRIOLLO-YANCHATIPAN, L.P., GUASUMBA-MAILA, J.E., SEGARRA-PLAZA, E.J. y INVESTIGADOR, D., 2021. 2021CaracterizacionTribologicaEnCombinacionConVariosAc-8383890. , vol. 7, pp. 1844-1868.
- GUTIÉRREZ ESPINOZA, D.G., 2022. Análisis de la influencia de los aditivos mejoradores del índice de viscosidad sobre las emisiones contaminantes y torque de un motor de combustión interna alternativo. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- MARCUCCI PICO, D.F., DA SILVA, L.R.R., HERNANDEZ MENDOZA, O.S. y BANDARRA FILHO, E.P., 2020. Experimental study on thermal and tribological performance of diamond nanolubricants applied to a refrigeration system using R32. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 152. ISSN 00179310. DOI 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119493.
- MURATOV, A. v. y LYASHENKO, V. v., 2022. Estimating the Level of Friction and Wear in Gas-Powered Diesel Engines. *Lecture Notes in Mechanical Engineering* [en línea], pp. 784-790. [Consulta: 11 julio 2022]. ISSN 21954364. DOI 10.1007/978-3-030-85233-7\_91/COVER/. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-85233-7\\_91](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-85233-7_91).
- RAPOSO, H., FARINHA, J.T., FONSECA, I. y FERREIRA, L. Andrade, 2019. Condition monitoring with prediction based on diesel engine oil analysis: A case study for urban buses. *Actuators*, vol. 8, no. 1. ISSN 20760825. DOI 10.3390/ACT8010014.
- SARAGURO ONTANEDA, Á.R., 2021. Análisis y medición del desgaste de elementos móviles en motores MEP de cilindrada de 1400 CC.
- SEJKOROVA, M. y HURTOVA, I., 2019b. Engine oil analysis - Effective instrument to evaluate reliability of tractor engines. *Engineering for Rural Development*, vol. 18, pp. 971-976. ISSN 16915976. DOI 10.22616/ERDEV2019.18. N059.
- TORMOS MARTÍNEZ, B., MIRÓ MEZQUITA, G., PÉREZ GUTIÉRREZ, T. y DE-DIEGO PARDO, J., 2016. Aceites de motor de baja viscosidad: Ahorro de combustible y ensayos en condiciones reales. *Dyna (Spain)*, vol. 91, no. 6, pp. 668-674. ISSN 19891490. DOI 10.6036/7974.
- HATAMI, M., HASANPOUR, M. y JING, D., 2020a. Recent developments of nanoparticles additives to the consumables liquids in internal combustion engines: Part I: Nano-fuels. *Journal of Molecular Liquids*, vol. 318. ISSN

01677322. DOI 10.1016/j.molliq.2020.114250.
- HATAMI, M., HASANPOUR, M. y JING, D., 2020b. Recent developments of nanoparticles additives to the consumables liquids in internal combustion engines: Part III: Nano-coolants. *Journal of Molecular Liquids*, vol. 319. ISSN 01677322. DOI 10.1016/j.molliq.2020.114131.
- NIKOLAKOPOULOS, P.G., MAVROUDIS, S. y ZAVOS, A., 2018. Lubrication performance of engine commercial oils with different performance levels: The effect of engine synthetic oil aging on piston ring tribology under real engine conditions. *Lubricants*, vol. 6, no. 4. ISSN 20754442. DOI 10.3390/lubricants6040090.
- SEJKOROVA, M. y HURTOVA, I., 2019. Engine oil analysis - Effective instrument to evaluate reliability of tractor engines. *Engineering for Rural Development*, vol. 18, pp. 971-976. ISSN 16915976. DOI 10.22616/ERDEV2019.18.N059.
- SHAFI, W.K., RAINA, A. y UL HAQ, M.I., 2018. Friction and wear characteristics of vegetable oils using nanoparticles for sustainable lubrication. *Tribology - Materials, Surfaces and Interfaces* [en línea], vol. 12, no. 1, pp. 27-43. ISSN 1751584X. DOI 10.1080/17515831.2018.1435343. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/17515831.2018.1435343>.
- SINGH, J.P., SINGH, S., NANDI, T. y GHOSH, S.K., 2021. Development of graphitic lubricant nanoparticles based nanolubricant for automotive applications: Thermophysical and tribological properties followed by IC engine performance. , vol. 387, pp. 31-47. ISSN 1873328X. DOI 10.1016/j.powtec.2021.04.010.
- STUMP, B.C., ZHOU, Y., LUO, H., LEONARD, D.N., VIOLA, M.B. y QU, J., 2019. New Functionality of Ionic Liquids as Lubricant Additives: Mitigating Rolling Contact Fatigue. *ACS Applied Materials and Interfaces*, vol. 11, no. 33, pp. 30484-30492. ISSN 19448252. DOI 10.1021/acsami.9b10001.
- TANG, W., ZHANG, Z. y LI, Y., 2021. Applications of carbon quantum dots in lubricant additives: a review. *Journal of Materials Science* [en línea], vol. 56, no. 21, pp. 12061-12092. ISSN 0022-2461. DOI 10.1007/s10853-021-06032-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10853-021-06032-8>.
- WANG, J., ZHUANG, W., LIANG, W., YAN, T., LI, T., ZHANG, L. y LI, S., 2021. Inorganic nanomaterial lubricant additives for base fluids, to improve tribological performance: Recent developments. *Friction*, vol. 10, no. 5, pp. 645-676. ISSN 2223-7690. DOI 10.1007/s40544-021-0511-7.
- WIDMAN RICHARD, 2019. Boletín 46 | Widman International SRL. [en línea]. [Consulta: 27 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.widman.biz/boletines/46.php>.
- ZHAO, J., HUANG, Y., HE, Y. y SHI, Y., 2020. Nanolubricant additives: A review. *Friction*, vol. 9, no. 5, pp. 891-917. ISSN 22237704. DOI 10.1007/s40544-020-0450-8.

## ANEXOS

### Anexo 01 : Herramienta para toma de muestra del aceite

Herramienta para sacar la muestra de aceite “bomba de vacío tipo Vampiro”



# Cat® DEO™

---

**Aceite de motor de rendimiento óptimo para motores diesel Caterpillar® para aplicaciones de movimiento de tierras, comerciales, marinas y de camiones de transporte por carretera<sup>1</sup>.**

**SAE 15W-40, SAE 10W-30**

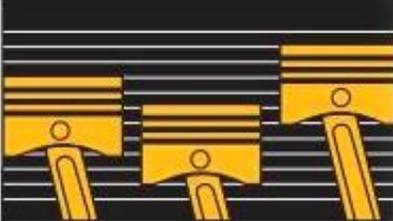
---

**Fórmula exclusiva que proporciona un rendimiento, una protección y una duración máximos**

El aceite Cat DEO combina una base de alta calidad con un sistema equilibrado de aditivos que contiene detergentes, dispersantes e inhibidores de uso múltiple—una formulación precisa que produce un aceite superior para los motores diesel Cat. Este aceite asegura un control excelente del espesamiento del aceite causado por la acumulación de hollín y la oxidación a altas temperaturas, y proporciona una resistencia extraordinaria a los depósitos de barniz, depósitos de carbón y corrosión.

Las características multigrado del aceite Cat DEO proporcionan capacidades de arranque en frío de hasta -25° C (-13° F) y una capacidad de bombeo de aceite a temperaturas de hasta -30° C (-22° F).

Sus características multigrado también producen un menor consumo de aceite que los aceites monogrado. Cat DEO se mezcla con mejoradores de viscosidad muy estables que mantienen el espesor de la película de aceite en aplicaciones rigurosas a altas temperaturas y de servicio ampliado. Además, se recomienda Cat DEO para programas de drenaje de aceite optimizados porque tiene un control de desgaste excelente demostrado y una resistencia superior a la oxidación en pruebas controladas en la obra. Cuando se administra debidamente con los servicios Cat S-O-S<sup>SM</sup>, el aceite Cat DEO proporciona una capacidad de drenaje de aceite larga.



**Aplicación**

Cat DEO es el aceite de llenado de fábrica para motores diesel Cat, incluidos los motores diesel de bajas emisiones, así como de los talleres de servicio de distribuidores Cat, y se recomienda su empleo en motores diesel Cat. También se recomienda aceite Cat DEO para lo siguiente:

- Motores de gasolina automotrices, que requieran aceites de la última clasificación API SL
- Motores diesel de servicio pesado de fabricantes originales, incluidos los diseños de bajas emisiones para camiones de transporte por carretera que recomiendan el uso de aceites de clasificación API CI-4, CH-4 o CG-4
- Otros motores diesel de servicio pesado que requieran los niveles de rendimiento de los equipos originales especificados en la tabla de Características típicas de este formulario

---

**Compatibilidad de combustibles**

El aceite Cat DEO proporciona un rendimiento y una protección CI-4 para motores Cat que funcionen con estas concentraciones de azufre en el combustible o menores:

<u>Método de inyección de combustible</u>	<u>% de azufre en el combustible</u>
Inyección directa	1,06%
Combustión preliminar	0,53%

Para un mayor contenido de azufre en el combustible, se recomienda un análisis de aceite S-O-S a fin de optimizar los intervalos de drenaje de aceite.

**Servicios S-O-S para detectar pronto los problemas**

Recomendamos proteger su inversión usando los servicios S-O-S. Nuestro programa de servicios S-O-S es la última herramienta de detección y diagnóstico para sus equipos que le permite detectar problemas potenciales antes de que pueden ocasionar fallas importantes y costosos tiempos de inactividad no programados.

**Caterpillar.**  
**La diferencia es lo que cuenta.™**

Los Distribuidores Cat proporcionan un respaldo al producto de calidad mundial. Ofrecemos soluciones de piezas y servicio apropiadas, cuando y donde las necesite.

Los expertos sumamente cualificados de los distribuidores Cat pueden mantener toda su flota lista y en funcionamiento para aumentar al máximo las inversiones de sus equipos.



## Información del producto

### Cera Tec

PI 28/08/11/2018



#### Descripción

Suspensión de lubricante sólido de microcerámica a base de nitruro de boro (BN) hexagonal en aceites base seleccionados. La estructura laminar similar al grafito reduce la fricción y el desgaste y evita el contacto directo entre piezas de metal. El tamaño de las partículas < 0,5 µm garantiza una filtrabilidad máxima y previene la sedimentación de partículas de lubricante sólido.

#### Propiedades

- disminuye las pérdidas por fricción
- apto para filtros de partículas diésel
- se puede mezclar con los aceites para motores usuales en el comercio
- aumenta la suavidad de marcha
- máxima estabilidad térmica
- excelente comportamiento térmico con altas y bajas temperaturas
- probado en catalizadores
- extremadamente resistente a la presión
- pasa por filtros finos
- no sedimenta
- larga vida útil del motor
- químicamente inerte
- disminuye el consumo de combustible

#### Datos técnicos

Base	BN Mikrokeramik / BN micro ceramic
Color / Aspecto	orange
Tamaño de partícula	Mehrheit < 0,5 / Majority < 0.5 µm
estabilidad frente a la temperatura de las partículas de cerámica	bis +1200 / up to 1200 °C
Densidad a 20 °C	0,893 g/cm <sup>3</sup> DIN 51757
Viscosidad a 20 °C	-250 mPas DIN 51398
Punto de combustión	>100 °C DIN ISO 2592
Punto de fluidez	-20 °C DIN ISO 3016
Forma	flüssig / liquid
Olor	charakteristisch / characteristic



#### Campos de aplicación

Adición al aceite lubricante de motores, compresores, bombas y engranajes. Idóneo para motores de turismos y vehículos industriales (de gasolina y diésel). Apto para mezclar con todos los aceites del motor de uso corriente.

#### Aplicación

300 ml son suficientes para hasta 5 litros de aceite de motor. Acción prolongada hasta 50 000 km. Agitar antes de usar.

#### Nota

**No apto para la utilización con em bragues en baño de aceite.**

#### Envases disponibles

300 ml Botella de aluminio 3721  
D-GB-I-E-P-NL-F-ARAB-RUS

**Nuestra información se basa en exámenes exhaustivos y puede calificarse de fiable, no obstante solo debe servir de referencia sin responsabilidad alguna.**

# Anexo 04: Resultados de análisis de aceite



**SGS VERNOLAB - DIAGNOSTICS**  
**MORE THAN OIL ANALYSIS**



---

**CONTACTOS**

**Administración**  
OGC COMERCIAL  
Teléfono: (511)5171900 Ext1371

**Técnico**  
Lic. Jesenia Alvarado

**Venta**  
Karla Carquin .  
Teléfono: +51015171900

**Resultados Online**  
<https://sofia.sgs.com>

Contraseña Internet: VPSP77

SYNTHEC SOLUTIONS  
Mr OGC COMERCIAL  
AV ARAMBURÚ 878 - SURQUILLO  
LIMA

01 LIMA  
PERÚ

**EQUIPO**

N° Registro	02071333/AMOT
Descripción Equipo	GRUPO ELECTROGENO / GENPACK
Descripción Componente	MOTOR
N° flota	QUIRUVILCA
Ref ID	21010029

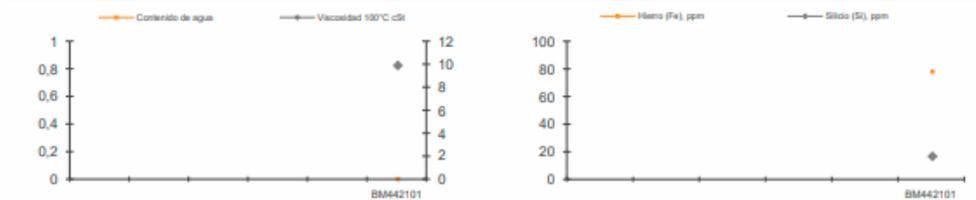
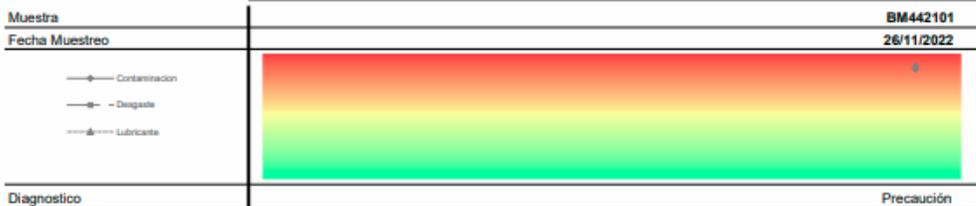
**MUESTRA**

Muestra	BM442101
Fecha Muestreo	26/11/2022
Fecha de recepción	02/12/2022
Lubricante	SAE 15W40
Conjunto de ensayos	ELPE+WPI+SAWS

**Diagnostico 06/12/2022**

1. SALUD: Viscosidad a 100°C baja en estado crítico para el lubricante informado. IMP: no se realiza el análisis de FTIR porque no se especifica el nombre completo del aceite lubricante. 2. CONTAMINACIÓN: Presencia de diluyente/combustible en estado crítico. Podría haber reducido la viscosidad. 3. DESGASTES: Desgaste de hierro y titanio en estado de precaución, e índice de PQ en estado crítico. Investigar posibles orígenes. 4. RECOMENDACIONES: Informar el nombre completo del aceite lubricante para una correcta interpretación de los resultados. Revisar inyectores y/o bomba de inyección de combustibles. Inspeccionar el componente para determinar posibles orígenes del desgaste. Renovar la carga del aceite asegurándose de limpiar bien el sistema. Continuar con el envío de muestra para monitoreo de resultados.

**Evolución**



Este documento es emitido por la Compañía bajo las condiciones generales de servicio accesible en <http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx>. Se llama la atención a la limitación de las cuestiones de responsabilidad, indemnización y jurisdicción definidas en el mismo.  
Se notifica a todo titular de este documento que la información contenida en adelante refleja los resultados de la Compañía solo en el momento y dentro de los límites de las instrucciones de intervención del Cliente, si los hubiere. La Responsabilidad de la empresa es exclusiva a su cliente y este documento no exime a las partes de una transacción a ejercer todos sus derechos y obligaciones bajo los documentos de la transacción. Cualquier modificación no autorizada, la falsificación del contenido o del aspecto de este documento es ilegal y los infractores pueden ser procesados con todo el peso de la ley.

## Reporte de la primera muestra de aceite

### RESULTADOS

Orden	1
Muestra	BM442101
Fecha Muestreo	26/11/2022
Fecha de recepción	02/12/2022
Fecha Diagnóstico	06/12/2022
Vida del Equipo, Horas	3414
Vida del Aceite, Horas	110
Cambio Aceite / Filtro	/ / / / /
Rellenado	-
Lubricante	SAE 15W40
<b>Viscosidad 100°C ASTM D7279-18</b>	
Viscosidad 100°C cSt	9.880
<b>Agua ANA-MET-OGC.1</b>	
Agua	NEGATIVO
<b>Spot test ANA-MET-OGC.2</b>	
IC- Índice de contaminación	0.3
Dispersancia	REGULAR
<b>TBN ANA-MET-OGC.3</b>	
TBN mg KOH/g	5.62
<b>Metales por ASTM D5185-18</b>	
Hierro (Fe), ppm	78
Cromo (Cr), ppm	9.2
Plomo (Pb), ppm	0.2
Cobre (Cu), ppm	1.6
Estaño (Sn), ppm	0.4
Aluminio (Al), ppm	13
Niquel (Ni), ppm	0.2
Plata (Ag), ppm	0.0
Silicio (Si), ppm	15
Boro (B), ppm	94
Sodio (Na), ppm	2.2
Magnesio (Mg), ppm	212
Molibdeno (Mo), ppm	0.0
Titanio (Ti), ppm	25
Vanadio (V), ppm	0.2
Manganeso (Mn), ppm	0.8
Potasio (K), ppm	0.8
Cadmio (Cd), ppm	0.1
Fósforo (P), ppm	581
Zinc (Zn), ppm	635
Calcio (Ca), ppm	2580
Bario (Ba), ppm	0.26
<b>FTIR ASTM E2412-10(2018)</b>	
Hollin %	IMP
Oxidación A/0.1 mm	IMP
Nitración A/0.1 mm	IMP
Sulfatación A/0.1 mm	IMP
Hollin A/0.1 mm	IMP
<b>Densidad Ferrosa ASTM D6184-18</b>	
Índice PQ	80
<b>Porcentaje dilución por masa</b>	
Dilution by mass % m/m	7.50



Anexo 05: Resultado de análisis de aceite más aditivo Ceratec.



SGS VERNOLAB - DIAGNOSTICS  
MORE THAN OIL ANALYSIS



**CONTACTOS**

**Administración**  
OGC COMERCIAL  
Teléfono: (511)5171900 Ext1371  
**Técnico**  
Lic. Jesenia Alvarado  
**Venta**  
Karin Carquin  
Teléfono: +51015171900

SYNTHEC SOLUTIONS  
Mr OGC COMERCIAL  
AV ARAMBURÚ 878 - SURQUILLO  
LIMA

01 LIMA  
PERÚ

**Resultados Online**

<https://sofia.sgs.com>

Contraseña internet: VPSPF77

Diagnostico 11/11/2022

**EQUIPO**

Nº Registro	020848971AMOT
Descripción Equipo	Grupo electrógeno / grupel / G0051PKL50
Descripción Componente	MOTOR
Nº flota	
Ref ID	20018132

**MUESTRA**

Muestra	BM177601
Fecha Muestreo	02/11/2022
Fecha de recepción	09/11/2022
Lubricante	CAT 15W40
Conjunto de ensayos	ELPE+WPI

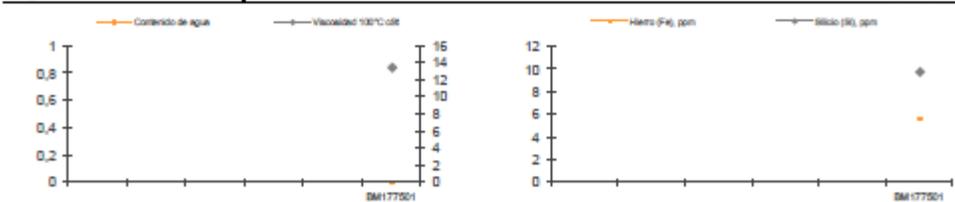
1. SALUD: Viscosidad dentro del rango de servicio. 2. CONTAMINACIÓN: Presencia elevada de boro y molibdeno, en estado crítico. Identificar posibles accesos. 3. DESGASTES: Desgastes normales. 4. RECOMENDACIONES: Continuar con el envío de muestra para monitoreo de resultados.

**Evolución**

Muestra	BM177601
Fecha Muestreo	02/11/2022



Diagnostico **Precaución**



Este documento es emitido por la Compañía bajo las condiciones generales de servicio accesible en <http://www.sgs.com/ver/Terms-and-Conditions.aspx>. Se llama la atención a la limitación de las cuestiones de responsabilidad, indemnización y jurisdicción definidas en el mismo. Se notifica a todo titular de este documento que la información contenida en adelante refleja los resultados de la Compañía solo en el momento y dentro de los límites de las instrucciones de intervención del Cliente, si los hubiere. La Responsabilidad de la empresa es exclusiva a su cliente y este documento no sustra a las partes de una transacción a ejercer todos sus derechos y obligaciones bajo los documentos de la transacción. Cualquier modificación no autorizada, la falsificación del contenido o del aspecto de este documento es ilegal y los infractores pueden ser procesados con todo el peso de la ley.

## Reporte de la primera muestra de aceite con aditivo Ceratec.

### RESULTADOS

Orden	1
Muestra	BM177601
Fecha Muestreo	02/11/2022
Fecha de recepción	09/11/2022
Fecha Diagnostico	11/11/2022
Vida del Equipo, Horas	606433
Vida del Aceite, Horas	110
Cambio Aceite / Filtro	/ / / / /
Relenado	-
Lubricante	CAT 15W40
<b>Viscosidad 100°C ASTM D7278-18</b>	
Viscosidad 100°C cSt	13.43
<b>Agua ANA-MET-OGC.1</b>	
Agua	NEGATIVO
<b>Spot test ANA-MET-OGC.2</b>	
IC- Índice de contaminación	0.4
Dispersancia	REGULAR
<b>TBN ANA-MET-OGC.3</b>	
TBN mg KOH/g	10.24
<b>Metales por ASTM D6186-18</b>	
Hierro (Fe), ppm	5.8
Cromo (Cr), ppm	0.2
Plomo (Pb), ppm	0.0
Cobre (Cu), ppm	0.4
Estaño (Sn), ppm	0.2
Aluminio (Al), ppm	3.8
Niquel (Ni), ppm	0.0
Plata (Ag), ppm	0.0
Silicio (Si), ppm	8.7
Boro (B), ppm	240
Sodio (Na), ppm	4.8
Magnesio (Mg), ppm	1080
Molibdeno (Mo), ppm	260
Titanio (Ti), ppm	0.0
Vanadio (V), ppm	0.0
Manganeso (Mn), ppm	0.2
Potasio (K), ppm	0.8
Cadmio (Cd), ppm	0.0
Fósforo (P), ppm	1060
Zinc (Zn), ppm	1230
Calcio (Ca), ppm	1660
Bario (Ba), ppm	0.00
<b>FTIR ASTM E2412-10(2018)</b>	
Hollín %	0.00
Oxidación A/0.1 mm	0.100
Nitración A/0.1 mm	0.082
Sulfetación A/0.1 mm	0.068
Hollín A/0.1 mm	0.053
<b>Densidad Ferrosa ASTM D6184-18</b>	
Índice FQ	6

Reporte de la segunda Muestra de aceite con aditivo Ceratec.

## RESULTADOS

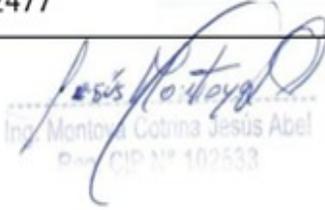
Orden	1	2
Muestra	BM177501	BM318701
Fecha Muestreo	02/11/2022	08/11/2022
Fecha de recepción	09/11/2022	18/11/2022
Fecha Diagnóstico	11/11/2022	22/11/2022
Vida del Equipo, Horas	5064,3	6204,3
Vida del Aceite, Horas	110	260
Cambio Aceite / Filtro	/ / / /	NO / NO
Rellenado	-	-
Lubricante	CAT 15W40	CAT 15W40
<b>Viscosidad 100°C ASTM D7278-18</b>		
Viscosidad 100°C cSt	13.43	13.31
<b>Agua ANA-MET-OGC.1</b>		
Agua	NEGATIVO	NEGATIVO
<b>Spot test ANA-MET-OGC.2</b>		
IC- Índice de contaminación	0.4	0.6
Dispersancia	REGULAR	REGULAR
<b>TBN ANA-MET-OGC.3</b>		
TBN mg KOH/g	10.24	8.81
<b>Metales por ASTM D6185-18</b>		
Hierro (Fe), ppm	5.6	10
Cromo (Cr), ppm	0.2	0.4
Plomo (Pb), ppm	0.0	0.0
Cobre (Cu), ppm	0.4	0.8
Estaño (Sn), ppm	0.2	0.2
Aluminio (Al), ppm	3.6	3.9
Níquel (Ni), ppm	0.0	0.2
Plata (Ag), ppm	0.0	0.0
Silicio (Si), ppm	9.7	11
Boro (B), ppm	240	230
Sodio (Na), ppm	4.6	4.4
Magnesio (Mg), ppm	1060	1080
Molibdeno (Mo), ppm	250	260
Titanio (Ti), ppm	0.0	0.0
Vanadio (V), ppm	0.0	0.0
Manganeso (Mn), ppm	0.2	0.3
Potasio (K), ppm	0.9	0.8
Cadmio (Cd), ppm	0.0	0.1
Fósforo (P), ppm	1050	1050
Zinc (Zn), ppm	1230	1250
Calcio (Ca), ppm	1550	1680
Bario (Ba), ppm	0.00	0.00
<b>FTIR ASTM E2412-10(2018)</b>		
Hollín %	0.00	0.10
Oxidación A/0.1 mm	0.100	0.180
Nitración A/0.1 mm	0.082	0.122
Sulfatación A/0.1 mm	0.056	0.082
Hollín A/0.1 mm	0.053	0.100
<b>Densidad Ferrosa ASTM D8184-18</b>		
Índice PQ	5	8

Anexo 06: Validación de instrumento

**FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO**

Nombre del instrumento	Ficha de Registro
Objetivo del instrumento	Contabilizar cantidad de metales para identificar el desgaste de motor de combustión interna de grupos electrógenos.
Nombres y apellidos del experto	Víctor Hugo Peláez Chávez
Documento de identidad	47026994
Años de experiencia en el área	8 años de experiencia
Máximo Grado Académico	Master en ciencias e ingeniería de materiales
Nacionalidad	Peruana
Institución	Universidad Cesar Vallejo
Cargo	Docente Universitario
Número telefónico	951603668
Firma	 Víctor Hugo Peláez Chávez ING.-MECANICO R. CIP. N° 197130
Fecha	22/09/2022

## FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Ficha de Registro
Objetivo del instrumento	Contabilizar cantidad de metales para identificar el desgaste de motor de combustión interna de grupos electrógenos.
Nombres y apellidos del experto	Jesús Abel Montoya Cotrina
Documento de identidad	18176283
Años de experiencia en el área	9 años de experiencia
Máximo Grado Académico	Ingeniero Mecánico
Nacionalidad	Peruana
Institución	CITV San Cristóbal
Cargo	Ingeniero Supervisor
Número telefónico	948922477
Firma	 Ing. Montoya Cotrina Jesús Abel CIP N° 102533
Fecha	22/09/2022

Nombre del instrumento	Ficha de Registro
Objetivo del instrumento	Contabilizar cantidad de metales para identificar el desgaste de motor de combustión interna de grupos electrógenos.
Nombres y apellidos del experto	Miguel Ángel Orellano Inca
Documento de identidad	47808622
Años de experiencia en el área	3 años de experiencia
Máximo Grado Académico	Ingeniero mecánico electricista
Nacionalidad	Peruana
Institución	Casa Grande S.A.A
Cargo	Ingeniero de Mantenimiento
Número telefónico	947375450
Firma	
Fecha	22/09/2022



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, JORGE EDUARDO LUJÁN LÓPEZ, 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 titulada: "Estudio comparativo de uso de aditivos de lubricantes para disminuir desgaste en motor de combustión interna de grupos electrógenos", cuyos autores son REYNA ARTEAGA MARCOS EDER, CHAVEZ ROMERO HUGO MARTIN, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 13.00%, 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 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, 06 de Diciembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
JORGE EDUARDO LUJÁN LÓPEZ <b>DNI:</b> 17897692 <b>ORCID:</b> 0000-0003-1208-1242	Firmado electrónicamente por: JLUJAN el 15-12- 2022 08:34:33

Código documento Trilce: TRI - 0475639