



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Físicas
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Análisis tribológico en la aplicación de diésel
convencional y biodiesel en motor de retroexcavadora
420-Caterpillar – Lima Perú 2022**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Alexander Pablo CHÁVEZ MANCO

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Chávez, A. (2022). *Análisis tribológico en la aplicación de diésel convencional y biodiesel en motor de retroexcavadora 420-Caterpillar – Lima Perú 2022*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Alexander Pablo Chávez Manco
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70141350
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-5923-4109
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	-
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	-
URL de ORCID	-
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	JUAN JOSÉ GUILLERMO NAVARRO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10350242
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	JAIRO PINEDO TAQUIA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	44754057
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	ADOLFO CARLOS LOZADA PEDRAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09383020
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.2.5.1. Energética
Grupo de investigación	
Agencia de financiamiento	PROPIA
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Callao Provincia: Callao Distrito: Callao Latitud: -11°57'34.40" Longitud: -77°07'42.54"
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería mecánica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
(Universidad del PERÚ, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

XIII CAP DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

**ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE LA MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS, MODALIDAD DE
TITULACIÓN M-3 – POR SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Siendo las 12:00 m. del día viernes 30 de diciembre de 2022, en la Sala de Sesión Virtual de la Facultad de Ciencias Físicas, bajo la presidencia del Mg. Ing. JUAN JOSÉ GUILLERMO NAVARRO y con la asistencia de los miembros Mg. Ing. JAIRO PINEDO TAQUIA y el Mg. Ing. ADOLFO CARLOS LOZADA PEDRAZA, se dio inicio a la Sesión Pública Virtual de Sustentación de la Monografía Técnica para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, mediante la Modalidad de Titulación M-3 Por Suficiencia Profesional, del Bachiller:

ALEXANDER PABLO CHÁVEZ MANCO

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente, e invitó al Bachiller ALEXANDER PABLO CHÁVEZ MANCO, a realizar la Exposición del trabajo de la Monografía Técnica titulada “ANÁLISIS TRIBOLÓGICO EN LA APLICACIÓN DE DIESEL CONVENCIONAL Y BIODIESEL EN MOTOR DE RETROEXCAVADORA 420-CATERPILLAR – LIMA PERÚ 2022”.

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado Examinador, el Presidente invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la sala de sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado. Se procedió a promediar la nota final del curso de actualización y la nota de la sustentación para obtener la calificación final.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó al candidato a regresar a la sala de sesión para dar lectura a la calificación final obtenida por el Bachiller, la misma que fue:

..... CATORCE .. 14

El Presidente del Jurado Mg. Ing. JUAN JOSÉ GUILLERMO NAVARRO, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller ALEXANDER PABLO CHÁVEZ MANCO Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 12:59 horas, del mismo día, se levantó la sesión.

Mg. Ing. JUAN JOSÉ GUILLERMO NAVARRO
PRESIDENTE DEL JURADO



Jairo Pinedo T
DNI: 44754057

Mg. Ing. JAIRO PINEDO TAQUIA
MIEMBRO DEL JURADO

Mg. Ing. ADOLFO CARLOS LOZADA PEDRAZA
MIEMBRO DEL JURADO



Firmado digitalmente por LOZANO
BARTRA Whualkuer Enrique FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.12.2022 21:21:03 -05:00

DR. WHUALKUER ENRIQUE LOZANO BARTRA
VICEDECANO ACADÉMICO FCF

Datos de la plataforma virtual institucional del acto de sustentación:

<https://us06web.zoom.us/j/82651202843?pwd=QTBlZHgwYXhRQUtJQmNDZmxvSGsxZz09>

ID de reunión: 826 5120 2843

Código de acceso: 207103

Grabación archivada en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/file/d/1LAmc3P6L8Rkyi3ouYgM05vfU4U5y9Bfs/view?usp=share_link

Anexo 1

Informe de evaluación de Originalidad

1. Facultad de Ciencias Físicas
2. Escuela/Unidad de Posgrado
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos
3. Autoridad Académica que emite el informe de originalidad
El Director de la EPIMF
4. Apellidos y nombres de la autoridad académica
Sarango Julca Douglas Donal
5. Operador del programa Informático de similitudes
Dr. Ing. Douglas Sarango Julca
6. Documento evaluado ⁽¹⁾
“ANÁLISIS TRIBOLÓGICO EN LA APLICACIÓN DE DIESEL CONVENCIONAL Y BIODIESEL EN MOTOR DE RETROEXCAVADORA 420-CATERPILLAR – LIMA PERÚ 2022”
7. Autor del documento ⁽²⁾
ALEXANDER PABLO CHÁVEZ MANCO
8. Fecha de recepción del documento 18/12/22
9. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes 18/12/22
10. Software utilizado
 - Turnitin (X)
 - Ithenticate
 - Otro (especificar)
11. Configuración del programa detector de similitudes
 - Excluye textos entrecomillados
 - Incluye Bibliografía
 - Excluye cadenas menores a 40 palabras
12. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes³
2%
13. Fuentes originales de las similitudes encontradas⁴
14. Observaciones
Ninguna
15. Calificación de originalidad
 - Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones (X)
 - Documento cumple criterios de originalidad, con observaciones
 - Documento no cumple criterios de originalidad
16. Fecha del Informe 30 /12 /22



Firmado digitalmente por SARANGO
JULCA Douglas Donal FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.01.2023 12:10:55 -05:00

DR. ING. Douglas Sarango Julca
DIRECTOR (e) DE LA EPIMF

-
- 1 Otro (especificar) Monografía Técnica Modalidad de Titulación M-3
Suficiencia Profesional
 - 2 Apellidos y Nombres completos
 - 3 En letras y números
 - 4 Indicarlas en orden decreciente y su respectivo porcentaje

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
CAPITULO I: GENERALIDADES	5
1.1. Introducción	5
1.2. Importancia del tema.....	7
1.3. Identificación del problema.....	7
1.4. Propuesta de solución.....	8
1.5. Objetivos: General y específicos.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	10
2.1. ANTECEDENTES	10
2.2. BASES TEORICAS	14
2.2.1. Motores diésel:	14
2.2.2. Clasificación de los motores diésel:	14
2.2.3. Constitución del motor diésel:	16
2.2.4. Retroexcavadora Modelo 420 F	18
2.2.5. Motor 3054CDIT Diesel de retroexcavadora 420 F	18
2.2.6. Aceites para motores diésel:.....	20
2.2.7. Clasificación de los aceites de acuerdo a su composición.....	21
2.2.8. Detección de elementos de desgaste	22
2.2.9. Prueba Físicas.....	22
2.2.10. Conteo de Partículas.....	22
2.2.11. Viscosidad	22
2.2.12. Índice PQ.....	23
2.2.13. Análisis de elementos:.....	23
2.2.14. Limites condenatorios de fabricantes.....	25
2.2.15. Combustibles biodiesel (B100):	26
CAPÍTULO III DESARROLLO METODOLÓGICO	29
3.1. Tipo y Diseño del proyecto	29
3.1.1. Tipo de proyecto:	29
3.1.2. Diseño de investigación:	29
3.2. Instrumentos y recolección de datos	29
3.3. Población, Muestra y Muestreo.....	30
3.3.1. Confiabilidad.....	31
3.3.2. Disponibilidad	32
3.3.3. Disponibilidad contractual (DC):.....	32
3.3.4. Disponibilidad física (DF):	32

3.3.5. Utilización (UT):.....	33
3.3.6. Tiempo promedio entre fallas (MTBF).....	33
3.3.7. Tiempo promedio por reparación (MTTR).....	34
3.3.8. Tiempo promedio entre reparación (MTBS).....	34
3.3.9. Concepto desviación de mantenimiento preventivo.....	35
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1. Presentación, análisis e interpretación de datos	36
4.2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFÍA	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de motores diésel.....	15
Tabla 2 Constitución de los motores diésel.....	16
Tabla 3 Características/especificaciones de motor de retroexcavadora modelo 420F...	20
Tabla 4 Metales en partes del motor	23
Tabla 5 Tipos de metales en el motor	24
Tabla 6 Clasificación de partes del motor por tipo de metal.....	24
Tabla 7 Límites Máximos Permisibles de metales en motor CAT	25
Tabla 8 Categorías según la concentración del análisis	25
Tabla 9 Especificaciones de biodiésel B100.....	28
Tabla 10 Diseño de aplicación del diésel 100% vs biodiésel 10% + diésel 90%	36

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Medición de desgaste por diferencia de peso	12
Figura 2 Retroexcavadora 420F	18
Figura 3 Proceso de aplicación de diésel y biodiésel.....	27
Figura 4 Especificaciones de motor de retroexcavadora.....	31
Figura 5 Componentes iniciales tribológico diésel 100% vs biodiésel (B100) 10% + diésel 90%	37
Figura 6 Componentes secundarios tribológico diésel 100% vs biodiésel B(100) 10% + diesel 90%	39
Figura 7 Componentes terceros tribológico diésel 100% vs biodiésel B100 10% + diésel 90%	40

RESUMEN

La presente monografía técnica se detalla e interpreta los metales Fe, Cu, Cr, Pb, Al, Sn, Na, Si, B, K, Mo, Ag, Ni, Tl analizados de las muestras de aceite y comparados con la aplicación de diésel al 90% + biodiésel al 10% vs diésel 100%. En el presente análisis de datos se tomaron muestras de retroexcavadoras con series LTG02269 y LBS02123 con modelo 420 F puestas a prueba en las operaciones rutinarias durante 4 meses para determinar la tribología del motor 3054C CAT.

Se realizó la evaluación tribológica de motor de retroexcavadora modelo 420 F con la aplicación de diésel y biodiésel para las series LTG02269 y LBS02123 para determinar la acción tribológica con los horómetro iniciales de 5452 y 4314 respectivamente, partiendo desde las características de la ficha técnica del diésel utilizado y características del biodiésel B100, variando su porcentaje a un 10% de la totalidad de combustible en el tanque ya que las mezclas con porcentajes mayores al 5% de biodiésel B100 debe satisfacer con las características dadas por la entidad nacional competente PERUPETRO para el presente estudio.

Los resultados obtenidos, de los metales como el Cu de retroexcavadora con serie LTG02269 se observó un aumento de partículas por millón (ppm) con respecto al último mes de prueba de 1 ppm a 3 ppm en comparación con el uso de B100 al 10% + diésel al 90% de 10 ppm a 2 ppm detallando una significativa reducción de desgaste. Se identificó que los elementos con mayor afección en el equipo fue el Fe con la aplicación de diésel convencional en el equipo con serie LTG02269 se observó la cantidad de 14 ppm con respecto al Mes 4 de 51 ppm determinando que se encuentra con valores medios con respecto a los parámetros de los límites máximos permisibles (LMP) de 100 ppm significando efectos de desgaste en los cilindros, engranajes, cigüeñal, segmentos, tren de válvula y presencia de óxido. Sin embargo,

las mejoras en la reducción del desgaste con el equipo de serie LBS02123 con la aplicación del biodiésel B100 al 10% + diésel al 90%. Por otro lado, se concluyó que el Ca en la aplicación del 100% de diésel se detectó presencia de aditivos, aire contaminado y/o agua contaminada en el motor CAT del equipo con serie LTG02269. Sin embargo, la aplicación del 10% de biodiésel + 90% de diésel muestran valores durante el Mes 1 en el equipo LBS02123 con un horómetro de 4314 h de trabajo una reducción en presencia de aditivos de 1666 ppm a 1470 ppm durante el último mes de prueba.

Durante la aplicación de diésel al 90% + biodiésel al 10% en el primer mes de prueba en comparación con la aplicación del 100% de diésel del equipo con serie LTG02269 se evaluó que los resultados en el mes 1 de 8 ppm y 9 ppm para la oxidación y la aplicación del diésel al 100% de 10 ppm en el mes 2 y un descenso en el mes 4 de 8 ppm y con biodiésel 10% + 90% para el equipo con serie LBS02123 diésel mantenido los datos iguales e 9 ppm con respecto al mes 1 se observó filtros de aceite tapados, incremento en la viscosidad del aceite, corrosión de partes del motor y reducción en el desempeño del motor.

Así mismo, se analizó que las muestras mostraron un descenso en los niveles con la aplicación del diésel al 100% de 7 ppm en el mes 2 y mes 4 para la nitración y la sulfatación un incremento de 16 ppm y con biodiesel 10% + 90% para el equipo con serie LBS02123 diésel se aprecia un aumento a 6 ppm en la nitración y 16 ppm de sulfatación con respecto al mes 1 evidenciando que se su mayor concentración se debe al proceso de combustión cuando los subproductos entran en el motor acelerando la oxidación del aceite.

Palabras claves: Biodiésel, diésel, ppm (partículas por millón), retroexcavadoras, motor, aceite.

ABSTRACT

This technical monograph details and interprets the metals Fe, Cu, Cr, Pb, Al, Si, Sn, K, B, Na, Mo, Ag, Ni, Tl analyzed from the oil samples and compared with the Diesel application. 90% + 10% Biodiesel vs 100% Diesel. For data analysis, samples were taken from backhoe loaders with LTG02269 and LBS02123 series with model 420 F put to the test in routine operations for 4 months to determine the tribology of the 3054C CAT engine.

The tribological evaluation of the model 420 F backhoe engine was carried out with the application of diesel and biodiesel for the LTG02269 and LBS02123 series to determine the tribological action with the initial hour meters of 5452 and 4314 respectively, starting from the characteristics of the Diesel technical sheet. used and characteristics of biodiesel B100, varying its percentage to 10% of the total fuel in the tank, since mixtures with percentages greater than 5% of biodiesel B100 must comply with the specifications given by the competent national entity PERUPETRO for the present study.

The results obtained, of metals such as Cu of the backhoe with the LTG02269 series, an increase in particles per million (ppm) was observed with respect to the last month of testing from 1 ppm to 3 ppm compared to the use of 10% B100 + diesel at 90% from 10 ppm to 2 ppm detailing a significant reduction in wear. It was identified that the elements with the greatest affectation in the equipment was Fe with the application of conventional diesel in the equipment with LTG02269 series, the amount of 14 ppm was observed with respect to Month 4 of 51 ppm, determining that it is found with average values with respect to the parameters of the maximum permissible limits (LMP) of 100 ppm meaning effects of wear on the cylinders, gears, crankshaft, segments, valve train and presence of rust. However, the improvements in the reduction of wear with the LBS02123 series equipment with the application of 10% B100 biodiesel + 90% Diesel. On the other hand, it was

concluded that the Ca in the application of 100% diesel was detected in the presence of additives, contaminated air and/or contaminated water in the CAT engine of the equipment with the LTG02269 series. However, the application of 10% biodiesel + 90% diesel show values during Month 1 in the LBS02123 equipment with an hour meter of 4314 hours of work, a reduction in the presence of additives from 1666 ppm to 1470 ppm during the last month of Test.

During the application of 90% Diesel + 10% Biodiesel in the first month of the test in comparison with the application of 100% Diesel of the equipment with the LTG02269 series, it was evaluated that the results in Month 1 of 8 ppm and 9 ppm for the Oxidation and the application of 100% diesel of 10ppm in Month 2 and a decrease in Month 4 of 8 ppm and with biodiesel 10% + 90% for the equipment with series LBS02123 diesel maintained the same data and 9 ppm with respect to Month 1 Clogged oil filters, increased oil viscosity, corrosion of engine parts and reduction in engine performance were observed.

Likewise, it was analyzed that the samples showed a decrease in levels with the application of 100% diesel of 7 ppm in Month 2 and Month 4 for nitration and sulfation, an increase of 16 ppm and with biodiesel 10% + 90%. For the equipment with the LBS02123 diesel series, an increase of 6 ppm in nitration and 16 ppm in sulfation is observed with respect to Month 1, evidencing that its higher concentration is due to the combustion process when the by-products enter the engine, accelerating the oxidation of the oil.

Keywords: Biodiesel, diesel, ppm (particles per million), backhoes, engine, oil.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción

El consumo global de energía ha aumentado enormemente y ahora se sitúa en unos 400 exajulios (10^8) (EJ) al año. El total de diésel procedente del petróleo aumentó en una década, lo que supone 3,5 millones de toneladas en 2010 y 3,9 millones de toneladas en 2019. (Suzihaque et al, 2022, pág. 1) Gran parte de la energía que se produce hoy todavía se basa en combustibles fósiles. Sin embargo, es cierto que esto ha tenido un impacto adverso significativo en nuestro medio ambiente, el 30% de toda la energía producida hoy en día es consumida solo por los vehículos de transporte, y de eso, alrededor de un tercio todavía se pierde por fricción y desgaste en muchas partes móviles de automóviles, autobuses y maquinaria pesada de los cuales depende en gran medida nuestra movilidad como también los trabajos en pequeña y gran escala. (Holmberga y Erdemirb, 2019, pág. 389).

A nivel nacional se han realizado análisis y evaluación de diésel para revelar los mecanismos de desgaste que se producen en una máquina en condiciones normales de operación, los datos precisos sobre las características de desgaste son relevantes para evaluar el estado de la maquinaria y la confiabilidad en los sistemas mecánicos (Lara et al, 2015, pág. 36). Los análisis y pruebas pueden evitar muchas fallas futuras, así como la mejora del diseño, la selección de materiales, el proceso de fabricación y también el bajo costo de mantenimiento. Por lo tanto, el estudio de la falla y el conocimiento de su historial operativo son imprescindibles para determinar las causas o factores que conducen a una pérdida no deseada de funcionalidad. (Fonte et al, 2015, pág. 314).

Se sabe ampliamente que la fricción y el desgaste provocan fallas en los equipos mecánicos y una enorme disipación de recursos energéticos. Entre las pérdidas de maquinaria del motor diésel, el desgaste y la fricción de los componentes internos de la transmisión de un motor son aproximadamente del 75%. Por otro lado, el aditivo anti-desgaste juega un papel clave en las propiedades tribológicas del aceite para motores diésel que llega a controlar en un porcentaje la fricción y reducir el desgaste en los componentes mecánicos del motor. (Bo Wu et al, 2019, vol.141).

Sin embargo, la configuración de los atributos de la máquina (es decir, la profundidad máxima de excavación, la capacidad del motor en caballos de fuerza (HP) y el tamaño del cucharón, etc.) de un paquete de movimiento de tierras (por ejemplo, el precio unitario puesta en servicio, duración prevista, horas de trabajo diarias, volumen total de trabajo (Hong et al, 2018, pág. 138) del motor de un vehículo pesado, hace que los aditivos lubricantes tradicionales apenas cumplan con las demandas de los nuevos equipos de motores diésel de alta velocidad, alta temperatura y condiciones de operación de carga, lo que urge desarrollar nuevos tipos de recursos energéticos con buena resistencia al desgaste y alta capacidad de carga para satisfacer las demandas de los equipos pesados en condiciones de servicio severas (Bo Wu et al, 2019, vol.141).

La fabricación del biodiésel a partir de materias primas de grasa de origen vegetal o de desecho, muchos consideran que las mezclas del presente recurso es la opción que más respeta al medio ambiente que el combustible diésel del petróleo (Nathan et al, 2019, pág. 908) El biodiésel se produce a través de una reacción entre los triglicéridos y el alcohol, siendo los triglicéridos una materia prima que se encuentra principalmente en plantas y animales. La transesterificación es el proceso popular de producción de biodiésel con bajo costo y condiciones de reacción suaves. Muchos investigadores

sugirieron que el biodiésel es la mejor alternativa para sustituir el diésel a base de petróleo. Esto se debe principalmente a que es un oxigenado, renovable, biodegradable, económicamente viable y amigable con el medio ambiente. A diferencia del diésel a base de petróleo, las características y propiedades del biodiésel ayudan a disminuir la dispersión de monóxido de carbono, hidrocarburos y partículas en los gases de escape. El costo de producción de biodiésel se puede reducir cuando se utiliza aceite usado como materia prima, ya que el costo de aceite usado contribuye aproximadamente entre el 70 y el 95 % del costo total de producción de biodiésel (Suzihaque et al, 2022, pág. 1)

1.2. Importancia del tema

Estos resultados obtenidos en la presente monografía técnica permitirán conocer las condiciones y la influencia en el tiempo de vida del equipo como también en el desarrollo de la actividad mecánica con el uso de diésel para sus operaciones, comparada con el uso de biodiésel buscando disminuir las pérdidas por fricción y la reducción de emisiones que causan condiciones de salud severas para garantizar la continuidad sin alterar la fuente principal de desarrollo económico y la salud de las personas.

1.3. Identificación del problema

El uso de los motores de retroexcavadoras 420 F con diésel tiene un impacto no solo en el tiempo de vida del equipo y en el desarrollo de la actividad mecánica, generando muchas fallas catastróficas. Sino que también, pueden llevar a la pérdida de vidas y costos. Un ejemplo claro son las partículas de dióxido de nitrógeno (NO₂) que son particularmente nocivas que causan situaciones de salud severas, como la

inflamación a los pulmones pudiendo desencadenar el asma, bronquitis e incrementar el riesgo de ataques cardíacos y/o accidentes cerebrovasculares. (Fonte et al, 2016, pág. 314)

1.4. Propuesta de solución

Un estudio previo de Traviss et al. (2012) demuestra lo imprescindible de ejecutar un análisis tribológico ya que, nos brinda la información para establecer o desarrollar nuevos recursos como la aplicación del biodiésel, obteniendo una reducción de pérdidas por fricción en un 18 % a corto plazo (5 a 10 años) y a largo plazo un 61 % (15 a 25 años). A corto plazo, esto supondría un ahorro mundial de 174.000 millones de euros, 117.000 millones en litros de combustible y 290 millones de toneladas de emisiones de CO₂. A largo plazo, supondría un ahorro de 576.000 millones de euros, 385.000 millones en litros de combustible y 960 millones de toneladas en emisiones de CO₂ de acuerdo con el estudio realizado por Holmberga y Erdemirb, (2019, pág. 390).

1.5. Objetivos: General y específicos

➤ **Objetivo general:**

- Evaluación tribológica de motor de retroexcavadora modelo 420 F con la aplicación de diésel y biodiésel, Lima - Perú.2022

➤ **Objetivos específicos:**

- Analizar la concentración tribológica del motor de retroexcavadora modelo 420 F con Serie LTG02269 con la aplicación de diésel y biodiésel.

- Analizar la concentración tribológica del motor de retroexcavadora modelo 420 F con Serie LBS02123 con la aplicación de diésel y biodiésel.
- Determinar las características tribológicas con la aplicación de diésel y biodiésel en las partes del motor de la retroexcavadora modelo 420 F Serie LTG02269
- Determinar las características tribológicas con la aplicación de diésel y biodiésel en las partes del motor de la retroexcavadora modelo 420 F Serie LBS02123

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Inicialmente abordaremos unas cuantas investigaciones relevantes para este estudio:

El autor Temizer (2020) realizó un “Análisis de combustión y el efecto de desgaste del combustible biodiésel utilizado en un motor diésel”, los combustibles que utilizaron son combustibles diésel (D100), éster metílico de aceite de canola (COME), éster metílico de aceite de girasol (SOME) y agregaron las mezclas SOME y COME en proporciones de 10%, 20% y 30% (en volumen) al combustible diésel.

El investigador analizó los efectos tribológicos como también detectó y evaluó las variaciones con el uso de diferentes combustibles mediante pruebas de resistencia a largo plazo. El motor diésel se operó a 1250, 1750 y 2250 rpm y se registraron los resultados. Cuando el autor examinó las regiones superiores del anillo del pistón del motor alimentado con combustible COME, se encontraron 95 % Fe, 3,84 % Si ve 0,76 % Mn elementos. Encontraron al elemento carbón predominantemente en la superficie inferior del anillo del pistón.

En esta región, los resultados son aproximadamente 60 % C, 28 % O, 4,4 % Fe, 3 % Zn, 1,7 % P, 0,8 % S. Cuando se examinaron las regiones superiores del anillo del pistón del motor alimentado con combustible D100, se encontró 96% Fe, 3,8% Si, 0,7 % Mn elementos. El Carbón se encontró predominantemente en la superficie inferior del anillo del pistón. En esta región, los resultados son alrededor de 60,3 % Fe, 18 % O, 15 % C, 5 % Zn, 1 % P, 0,8 % S. Sin embargo, detalló que el porcentaje de carbón aumentó gradualmente hasta la parte inferior del anillo desde la parte superior del anillo del pistón. El autor menciona que este aumento también refleja la presencia de combustible no quemado y aceite lubricante depositado en la superficie. (p. 2-7)

Por otro lado, Los investigadores Manieniyan et al (2016), realizaron un análisis de elementos de desgaste mediante redes neuronales de un motor diésel utilizando biodiésel con recirculación de gases de escape en los cuales establecieron modelos para predecir la eficiencia del motor, como el desgaste del motor diésel, utilizando una mezcla B20 de Metil Ester de Mahua (MEOM) y diésel. Se realizaron pruebas de rendimiento, combustión y emisiones en el motor usando mezclas de varias concentraciones (20%, 40%, 60%, 80% y 100%) de biodiésel (MEOM) a diferente carga (20%, 40%, 60%, 80% y 100%). La mezcla óptima de biodiésel (B20) fue seleccionado sobre la base del rendimiento, la combustión y las emisiones. Los investigadores determinaron que las características de emisión tales como la densidad del humo, HC y CO de B20 fue menor en comparación con otras mezclas de biodiésel y diésel. El aceite lubricante del motor fue analizado para adición de metal después de cada intervalo de 25 h.

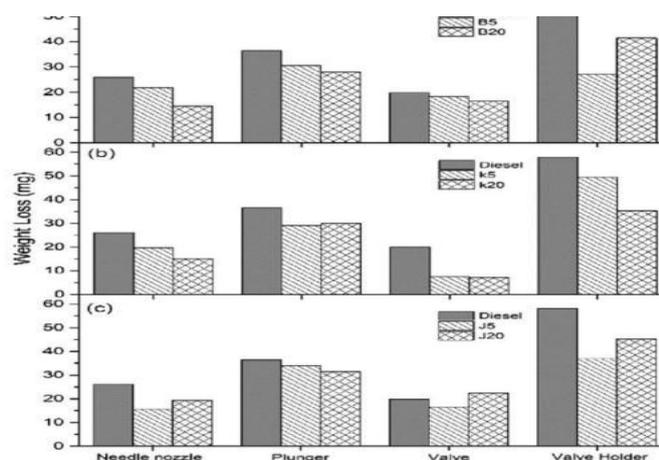
Para B20, la concentración fue menor en 21 ppm para Fe, 9 ppm para Cu, 1 ppm para Mg, Zn y 2 ppm para Pb, Co en comparación con el diésel sin EGR. También se observaron variaciones similares para varias concentraciones de metal cuando se utilizó EGR frío y caliente al 15 % con B20 y diésel. Así mismo los investigadores revelaron que la mezcla de biodiésel al 20 % es la mezcla óptima en términos de rendimiento, emisiones y características de combustión. (p. 604 - 611)

Así mismo, Reddy et al (2016) analizaron el Efecto de mezclas de aceite vegetal puro y mezclas de biodiésel en el desgaste del equipo mecánico de inyección de combustible en un motor diésel a velocidad constante, los investigadores determinaron el desgaste midiendo la diferencia de peso (Fig. N° 1). Las mezclas de biodiésel (B5 y B20) mostraron una menor pérdida de peso para la aguja de la boquilla,

el purgador, la válvula y el soporte de la válvula en comparación con el diésel mineral de referencia. Esto se debió a la presencia de componentes FFA, fracciones oxigenadas y moléculas de hidrocarburos insaturados en el biodiésel. Una mayor concentración de biodiésel en la mezcla de prueba aumenta su lubricidad. El aumento de la lubricidad reduce la fricción entre los componentes FIE de acoplamiento, la eliminación de estos componentes fue mayor para B5 que para B20, excepto el portaválvulas. El soporte de válvula exhibió una remoción de material marginalmente menor para B5 en comparación con B20

Los combustibles de prueba fueron mezclados al 5 % y al 20 % (v/v) de aceites de *Jatropha* y *Karanja* y biodiésel de *Karanja* con diésel mineral y diésel mineral de referencia. El daño/desgaste de los componentes FIE fue menor en el caso de las mezclas de biodiésel, especialmente B20. El diésel mineral mostró la máxima pérdida dimensional y de peso de los componentes FIE en comparación con las mezclas de biodiésel y SVO. El desgaste de los componentes FIE se debió principalmente a tensiones mecánicas, tensiones térmicas y reactividad química de los combustibles de prueba. (p. 115-118)

Figura 1 Medición de desgaste por diferencia de peso



Fuente: Reddy et al (2016)

Por otro lado, los investigadores Karishma et al (2022) Realizaron una evaluación de las características de rendimiento y emisiones en el motor encendido por compresión alimentado con las mezclas del nuevo biodiésel antioxidante catecol-daok en el cual realizaron pruebas con este tipo de biodiésel en porcentajes de 10, 20, 40, 60 y 100% a cargas variables del motor. En primera instancia llevaron a cabo varios experimentos piloto entre las mezclas de biodiésel-diésel. A una velocidad nominal de 1500 rpm, para la mezcla B20 los investigadores identificaron un mejor (rendimiento y emisión) PEC del motor. Luego, mezclaron 0,5, 1,5 y 2,5 % de aditivo de catecol antioxidante (CAT) con B20 para posteriormente investigar la PEC. Las mezclas de combustible probadas indicaron que el 2,5 % de CAT en la mezcla B20 produjo un mejor rendimiento, mientras que el 1,5 % de CAT en la mezcla B20 disminuyó la dispersión de monóxido de carbono CO y las emanaciones de HC en un 26,08 % y un 18,75 % respectivamente en comparación con la mezcla B20. También se demostró que la adición de CAT a una concentración de 0,5%-2,5% en una mezcla de biodiésel B20 es suficiente para una mejora considerable en la estabilidad a la oxidación sin afectar las cualidades fisicoquímicas. (p. 238-240)

Así mismo, Zafar et al (2022) realizaron una Optimización de las características de combustión, rendimiento y emisiones en el motor diésel de combustible dual alimentado con mezclas de biodiésel/diésel a base de microalgas donde experimentaron con las características de combustión y escape de un motor diésel de tamaño medio que funciona en modo tri-combustible utilizando mezclas de éster metílico de aceite de microalgas y diésel como combustible inyectado. Los investigadores utilizaron el diseño de Box-Behnken (BBD) para reducir el número de

pruebas.

Los parámetros y atributos propuestos lo calcularon utilizando técnicas de superficie de respuesta y modelos cuadráticos generados por BBD. El rendimiento y la combustión del estudio fue de 30,8 % de eficiencia térmica del freno (BTE), 0,3 kg/kWh de consumo específico de combustible del freno (BSFC) y 65,6 bar de presión máxima del cilindro (PCP). En el frente de emisiones, la emisión de CO fue de 0.0107 %, UHC fue de 26 ppm y NOx era 853 ppm. Los valores optimizados se validaron mediante pruebas experimentales y todos los resultados estuvieron dentro del 7 % de la salida prevista por el modelo. (p.126 - 136)

2.2. BASES TEORICAS

A continuación, mostramos aquellas teorías relacionadas con el estudio, que contribuyeron a la redacción de esta monografía técnica.

2.2.1. Motores diésel:

Los motores diésel tienen ventajas como buena potencia de salida, eficiencia térmica, confiabilidad y dinámica económica. Son ampliamente utilizados en vehículos comerciales, maquinaria de construcción, maquinaria agrícola, maquinaria naval y otra maquinaria no vial. La maquinaria fuera de carretera tiende a tener requisitos de par, potencia y durabilidad extremadamente altos (Feng et al 2022, pág. 1). Un motor diésel es aquel tipo de motor de encendido por compresión que usa combustible diésel. Los motores diésel se pueden clasificar en categorías

2.2.2. Clasificación de los motores diésel:

Un motor diésel es aquel tipo de motor de encendido por compresión que usa combustible diésel. Los motores diésel se pueden clasificar en varias categorías (Tabla

Nº 1). Comprender las diferencias y las características únicas de cada categoría de motores diésel es importante para el diseño de sistemas de motores diésel. Según el número de revoluciones del cigüeñal por ciclo de trabajo, los motores diésel se clasifican en motores de cuatro tiempos (dos revoluciones por ciclo) y motores de dos tiempos (Xing, 2013, pág. 3 - 4)

Tabla 1 *Clasificación de motores diésel*

Criterios de clasificación	Variante	Variante	Variante
Número de tiempos	Cuatro tiempos	De dos tiempos	
Estándar de emisiones	En la carretera	Fuera del camino	
Solicitud	En carretera (camiones, autobuses, automóviles)	Todoterreno (marino, industrial, equipos de construcción, agrícola, locomotora)	Estacionario
Método de certificación de emisiones para vehículos	Servicio pesado pesado, servicio pesado medio, servicio pesado ligero	Trabajo ligero	
Peso del vehículo	Tarea pesada	Trabajos de tipo medio	Trabajo ligero
Clasificación del cigüeñal velocidad	Alta velocidad (NE > 1000 rpm o vmp > 9 m/s)	Velocidad media (NE = 300 – 1000 rpm o vmp = 6 – 9 m/s)	Baja velocidad (NE < 300 rpm o vmp < 6 m/s)
Inyección de combustible	Inyección directa	Inyección indirecta	
Carga de aire	Turbocargado (con o sin enfriamiento posterior)	Mecánicamente Sobrealimentado naturalmente (aspirado) sin enfriamiento posterior)	
Medio refrigerante	Refrigerado por agua	Aire enfriado	
NOx en cilindro control de emisiones	EGR	Sin EGR	
Control de postratamiento de NOx	Sin SCR	RCS	
Número de cilindros	Solo cilindro	multicilindro	
Característica de diseño o configuración	OHC frente a OHV, etc.	Cabecial de cuatro válvulas frente a cabecial de dos válvulas	En línea, Vee, pistón opuesto, etc.
Combustible utilizado	Combustible de líquido ligero	De combustible líquido pesado	Multicombustible (p. ej., biodiésel, combustible dual: gas natural y diésel)

Fuente: Xing, 2013, pag. 3 – 4

2.2.3. Constitución del motor diésel:

Tabla 2 Constitución de los motores diésel

CONSTITUCIÓN DEL MOTOR DIÉSEL	
Componente	Funciones
Segmentos	<p>Es un anillo con un orificio que encaja en la ranura de la superficie exterior del pistón en el motor. Tiene 3 funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none">- Cerrar la cámara de combustión- Cooperar en el intercambio de calor entre el pistón y el cilindro- Regula alternativamente el consumo de aceite
Bloque del motor	<p>También llamado bloque de cilindros es aquella pieza de hierro o aluminio donde encontramos los cilindros del motor, de igual manera los soportes de apoyo del cigüeñal. La medida en diámetro de los cilindros y el transcurso del pistón detallan la cilindrada del motor. Por otro lado, si observamos la ausencia del árbol de levas en la culata en el caso de algunos motores OHV, existe la presencia de apoyo de las válvulas. Este bloque tiene conexiones donde la rotación del cigüeñal acciona varios dispositivos auxiliares, como por ejemplo la bomba de combustible y bomba de aceite.</p>
Culata:	<p>También conocida como la tapa del bloque de cilindros, se encuentra en la parte alta del motor permitiendo cerrar la cámara de combustión. Según el tipo de motor, las explosiones que se producen en la configuración de la culata son diferentes, según la característica del motor.</p>

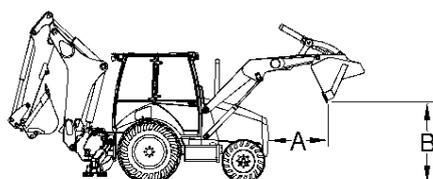
<p>Cigüeñal:</p>	<p>Es aquel eje, con codos y contrapesos contenido en algunas maquinarias que convierte el MRU (Movimiento rectilíneo alternativo) en un movimiento circular uniforme y viceversa.</p>
<p>Volante:</p>	<p>Es un volante de inercia, porque su movimiento continúa al cesar el par del motor que lo impulsa. De esta forma, es resistente a aceleraciones bruscas durante la rotación. De tal manera que el volante se usa para disminuir la energía fluida entre la fuente de potencia y su carga.</p> <p>Existen nuevas aplicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absorción de la energía de frenado - Buen funcionamiento en instalaciones generadoras de energía eléctrica
<p>Pistón:</p>	<p>Tiene como función transmitir la energía de aquellos gases de combustión a la biela a través de un movimiento alterno en el cilindro, este movimiento se copia en la parte inferior de la biela, transformándolo a lo largo de la biela hasta llegar hasta el muñón del cigüeñal para que la energía utilizada movilice al cigüeñal. El motor controla la apertura y cierre de válvulas lo que corresponde a la misma cantidad de levas como válvulas.</p>
<p>Válvulas:</p>	<p>Es un dispositivo mecánico con el cual inicia, detiene y regula la circulación de líquidos o gases, hasta los más corrosivos o tóxicos. Trabajan con presiones desde el vacío hasta llegar a más de 140 Mpa y T° desde las criogénicas hasta llegar a los 1100 K°.</p> <p>Árbol de levas: Es aquel mecanismo formado por un eje donde se determinan distintas levas, de diferentes formas y tamaños.</p>

Cárter:	Pieza fundamental de un motor, la carcasa de metal, en la que se encuentran los mecanismos de trabajo del motor. Que cierra el bloque de abajo hacia arriba, lo protege y además actúa como depósito de aceite.
----------------	---

FUENTE: SISCAT – RETROEXCAVADORA 420F, 2022

2.2.4. Retroexcavadora Modelo 420 F

Figura 2 *Retroexcavadora 420F*



Fuente: SISCAT 2022

Es un equipo de construcción que se utiliza para realizar trabajos de excavación, tiene una pala adicional en la parte delantera, además de la cuchara para excavar al final del brazo articulado trasero. Esta máquina se usa generalmente para excavar tierras, para abrir zanjas, etc. El chasis se puede montar sobre cadenas o sobre neumáticos. Siendo en este último caso equipados con estabilizadores para asegurar la máquina al suelo.

2.2.5. Motor 3054C CAT Diesel de retroexcavadora 420 F

Las clasificaciones de potencia se basan en condiciones estándar SAE J1995 a 25 °C y 100 kPa (temperatura y presión del ingreso de aire). Potencia según norma ISO/TR 14396, DIN6271 y BS5514 y condiciones estándar: 100 kPa, 27°C y 30% de humedad relativa. El consumo de combustible se basa en combustible diésel, con una clasificación PCI de 42.780 kJ/kg y una densidad entre 845 y 850 g/l. La potencia nominal tiene un margen de error del 5% y corresponde a la de un motor equipado con

camisa diésel, aceite y refrigeración, pero sin ventilador. Se determina que la potencia del motor indicada está disponible cuando el motor ha estado funcionando durante 1 hora. seguido de una hora de funcionamiento a una capacidad igual o inferior a la alcanzada durante el funcionamiento continuo.

Características de retroexcavadora modelo 420 F

- **INDUCCIÓN:**
 - Caudal aire comburente 6,1 m³ /min

- **FRÍO:**
 - Volumen agua 7 litros sin radiador

- **ELEMENTO:**
 - Caudal aire escape 15,6 m³ /min
 - Temperatura escape 573 °C
 - Descarga gas contrapresión hasta 15 kPa

- **LUBRICACIÓN:**
 - Depósito aceite capacidad 7 litros
 - Se recomienda el tipo de aceite API CH-4 y el estándar Caterpillar ECF-1

- **ACCESORIOS:**
 - Cubierta del volante SAE 3

- **ARRANQUE:**
 - Voltaje de la batería 24 Vcc

Tabla 3 Características/especificaciones de motor de retroexcavadora modelo 420F

Especificaciones		
Motor		
Modelo de motor	Cat 3054C mecánico con turbocompresor	
Potencia bruta		
SAE J1995	75 kW	101 hp
ISO 14396	74 kW	100 hp
Potencia neta nominal a 2.200 rpm		
SAE J1349	70 kW	94 hp
ISO 9240	71 kW	95 hp
EEC 80/1269	71 kW	95 hp
Potencia máxima neta a 2.200 rpm		
SAE J1349	70 kW	94 hp
ISO 9249	71 kW	95 hp
EEC 80/1269	71 kW	95 hp
Calibre	105 mm	4,13"
Carrera	127 mm	5"
Cilindrada	4,4 L	268 pulg ³
Reserva de par neta a 1.400 rpm	31 %	
Par máximo neto SAE J1349	397 N-m	293 lbf-pie
<ul style="list-style-type: none"> • El motor cumple con los estándares de emisiones Tier 2 de la EPA de EE.UU. y Stage II de la UE. 		

Fuente: SISCAT RETROEXACAVADORA 420F, 2022

2.2.6. Aceites para motores diésel:

Los lubricantes para motores diésel tienen varias características.

El combustible diésel tiene un cierto contenido de azufre, lo que puede dar lugar a la formación de ácido sulfúrico, que debe neutralizarse. Además, la combustión del diésel produce grandes cantidades de depósitos de carbón que deben mantenerse en suspensión para evitar que se asienten en diversas partes del motor. La lubricación del motor de combustión interna requiere el uso de aceite en condiciones extremas, tales como:

- Alta presión y temperatura.
- Exposición a contaminantes como polvo, oxígeno, agua, etc. Hay tres características principales en los aceites de motor que resultan de estas condiciones severas de operación.
- Viscosidad (anteriormente mencionada).
- Solidez térmica y de oxidación.
- Protección y cuidado del motor.
- Protección y cuidado del equipo.

Las fuentes de contaminantes son diversas: aceites degradados térmicamente, subproductos de oxidación, partículas de productos de combustión de combustible, polvo, partículas abrasivas de metal y más. Estos contaminantes tienden a depositarse en muchos lugares del motor, formando depósitos tales como depósitos de pintura y carbonilla en las zonas calientes, suciedad y sedimentos en las zonas frías, o depósitos de carbonilla en los anillos y pistones. Para contrarrestar estos depósitos, requerimos ciertos aditivos para mantener los contaminantes en suspensión, evitando que se aglomeren y se asienten dentro del motor. Estos aquellos aditivos son detergentes y dispersantes.

2.2.7. Clasificación de los aceites de acuerdo con su composición.

- **Aceites Sintéticos:** Estos son aceites lubricantes producidos por reacción química en lugar de extracción y refinación.
- **Aceites Minerales:** Estos son aceites que se derivan de productos minerales como el petróleo.

2.2.8. Detectar elementos de desgaste.

Esto se lleva a cabo usando el equipo Plasma ICP (Plasma de Acoplamiento Inductivo). El cual detecta 22 elementos metálicos, contaminantes, desgastes y aditivos. Fe, Cu, Cr, Ti, Ni, V, Cd, Si, Na, K, Ag, Sn, Pb, Al, B, Mo, Ba, Ca, Mg, P, Mn y Zn.

2.2.9. Prueba Físicas

Las pruebas físicas reafirman la presencia de combustible, agua y glicol en los aceites.

- **Agua:** Aquella presencia y cantidad de agua aproximada se determina mediante la denominada "Prueba de Chisporroteo"
- **Combustible (Fuel):** La contaminación de combustible se prueba mediante la denominada "Prueba de Destello".
- **Glicol (Anticongelante):** Aquella existencia de anticongelante es comprobada por una prueba química (agregar reactivo químico sobre la muestra). Cambiando el color durante la prueba química.

2.2.10. Conteo de Partículas

Se usa como dispositivo el contador de partículas. El cual categoriza y cuantifica por tamaño, número de partículas en aceite hasta 50 micras o más, así como partículas metálicas y no metálicas.

2.2.11. Viscosidad

Hay dos escalas de medición:

- A 40°C (Representando la temperatura ambiental)
- A 100°C (Representando la temperatura operacional)

2.2.12. Índice PQ

El PQ es el dispositivo automatizado que cuantifica la cantidad de partículas ferromagnéticas halladas en muestras de aceites usados. Aquellas partículas ferrosas provienen de hierro, acero o algunas aleaciones ferrosas y tienen un tamaño mayor a 10 micras.

2.2.13. Análisis de elementos:

Tabla 4 Metales en partes del motor

	Motor
Aluminio (Al)	Pistones, Cojinetes, Bloques, Cáster, Bujes, Ventiladores, Cojinetes de empuje.
Cadmio (Cd)	Cojinetes de apoyo
Cromo (Cr)	Segmentos, Cojinetes de rodillos cónicos, Camisas, Válvulas de escape
Cobre (Cu)	Bujes de bulón, Cojinetes, Bujes de leva, Enfriador de aceite, Bujes de tren de válvulas, Arandelas de empuje, Regulador, Bomba de aceite.
Hierro (Fe)	Cilindros, Bloque, Engranajes, Cigüeñal, Bulones, Segmentos, Árbol de levas, Tren de válvulas, Forros de bomba de aceite, Óxido.
Plomo (Pb)	Cojinetes
Plata (Ag)	Cojinetes, Buje de bulón (EMD)
Estaño (Sn)	Pistones, Revestimiento de cojinetes, Bujes
Titanio (Ti)	

FUENTE: SISCAT, 2022

Tabla 5 Tipos de metales en el motor

Metales Contaminantes		Metales Múltiples		Metales Aditivos	
Metal	Motores	Metal	Motores	Metal	Motores
Silicio	Suciedad y sellos, selladores inhibidores de refrigerante, aditivo de lubricantes (15 ppm o menos).	Boro	Anillo chapado, aditivo lubricante, inhibidor de refrigerante	Magnesio	Detergente aditivo dispersantes, Contaminantes de aire
Sodio	Aditivo lubricante, Inhibidor de refrigerante, Contaminación del agua salada, Detergentes de lavado	Antimonio	Aditivo lubricante	Calcio	Detergente aditivo dispersantes, Contaminantes de aire Contaminantes del agua
Litio	Inhibidor de refrigerante, Contaminantes del aire	Magnesio	Aleación de acero	Bario	Aditivo lubricante
		Litio		Fosforo	Aditivo Antidesgaste (ZDP)
				Zinc	Aditivo Antidesgaste (ZDP)

FUENTE: SISCAT, 2022

Tabla 6 Clasificación de partes del motor por tipo de metal

MOTOR	Hierro	cobre	Plomo	Aluminio	Silicio	Cromo	Estaño	Sodio	Potasio
Cojinetes		X	X	X			X		
Bujes		X		X			X		
Árbol de levas	X								
Refrigerante					X	X		X	X
Cigüeñal	X								
Camisa	X					X			
Válvula de escape	X					X			
Cojinetes antifricción	X					X			
Empaquetaduras					X				
Gasolina			X					X	
Carcasa	X			X					
Tierra					X				
Aditivo					X				
Enfriador de aceite		X							
Bujes de bomba de aceite				X					
Bomba de aceite	X			X					
Pistones	X			X					
Anillos	X					X			
Volandas de empuje		X	X	X			X		
Engranajes de cadena	X								
Turbo	X			X					
Guías de válvula	X	X							
Tren de válvulas	X								
Bujes de biela		X	X	X			X		
Bielas	X								

FUENTE: SISCAT, 2022

2.2.14. Límites condenatorios de fabricantes

Tabla 7 Límites Máximos Permisibles de metales en motor CAT

	Caterpillar (todos)	Cummins (todos)	Detroit Diésel (todos)
Hierro	100 ppm	84 ppm	150 ppm
Cobre	45 ppm	20 ppm	90 ppm
Plomo	100 ppm	100 ppm	No específica
Aluminio	15 ppm	15 ppm	No específica
Cromo	15 ppm	15 ppm	No específica
Estaño	20 ppm	20 ppm	No específica
Sodio	40 ppm	20 ppm	50 ppm
Boro	20 ppm	25 ppm	20 ppm
Silicio	10 ppm	15 ppm	No específica
Viscosidad	+20% to -10% of nominal SAE Grade	+/- SAE grade or 4 Cst From new oil (Visc @ 100°C)	+40% to -15% of nominal grade (Visc @ 40°C)
Agua	0.25% max	0.2 % max	0.3% max
TBN	1.0 mg KOH/g min value.	2.0 mg KOH/g min, or one-half of new oil value, or equal to TAN	1.0 mg KOH/g min value.
Combustible	5% máx.	5% máx.	2.5% máx.
Glicol	0.1 % máx.	0.1% máx.	0.1 % máx.

FUENTE: SISCAT. 2022

Tabla 8 Categorías según la concentración del análisis

Elemento	Normal	Anormal	Crítico
Hierro (Fe)	<100	100 - 200	>200
Plomo (Pb)	<30	30 - 75	>75
Cobre (Cu)	<30	30 - 75	>75
Cromo (Cr)	<10	-----	>25
Aluminio (Al)	<20	20 - 30	>30
Níquel (Ni)	<10	-----	>20
Plata (Ag)	<3	-----	>15
Estaño (Sn)	<20	20 - 30	>30
Sodio (Na)	<50	50 - 200	>200
Sílice (Si)	<20	20 - 50	>50
Dilución por combustible	<2	-----	>6
Hollín % (Soot%)	<2	-----	>6

FUENTE: SISCAT, 2022

2.2.15. Combustibles biodiésel (B100):

Los combustibles biodiésel pueden reemplazar parcialmente al diésel de petróleo. Las principales razones son el buen uso de estos combustibles en los motores y su contribución a la mejora de algunas emisiones. Existen estudios a corto plazo que confirman el futuro prometedor de los combustibles biodiésel. Muchos estudios han examinado los resultados de las emisiones del motor y los resultados de las características. En todos estos estudios se ha destacado que los combustibles biodiésel tienen efectos positivos sobre algunos valores de emisión como el CO y los HC.

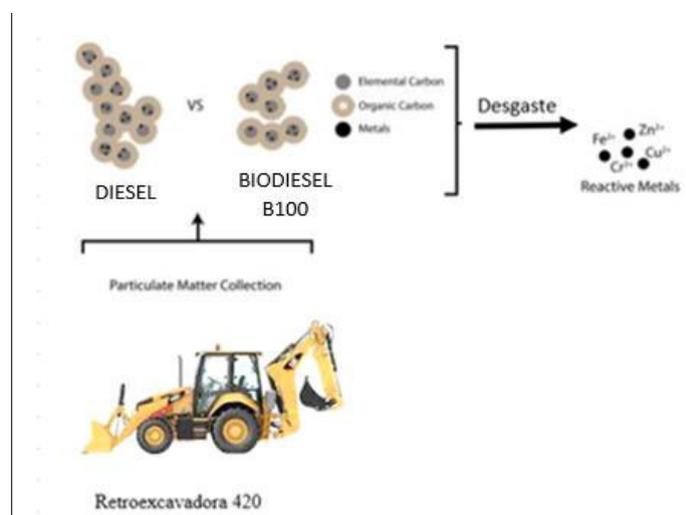
Además del rendimiento del motor y los valores de emisión, deben examinarse los numerosos parámetros de combustión, como el cambio de presión/cigüeñal, las tasas de liberación de calor y la relación de combustión másica. Contiene algunos resultados numéricos y experimentales en varios estudios. Ananthakumar et al (2017). determinó en un estudio que las características de rendimiento, combustión y emisiones de relación de compresión variable con diferentes combustibles. El aceite de desecho plástico se ha agregado en proporciones de 2,5%, 7,5% y 12,5% al combustible diésel. También se enfatiza que las propiedades como el número de cetano, la densidad, la capacidad de evaporación y la viscosidad del combustible son muy importantes en los parámetros de combustión del motor (p. 19-28).

Es importante conocer las propiedades fisicoquímicas del aceite mineral, ya que de ello depende su calidad. Las características físicas, son: viscosidad, densidad, punto de congelación, punto de inflamación, color e índice de cetano; dentro de las propiedades químicas, se menciona la acidez y la oxidación. Para esto se tomó en cuenta rangos con valores establecidos de cada propiedad en el aceite nuevo y el usado.

Es importante mencionar que el aceite mineral reciclado puede reemplazar

satisfactoriamente los aceites derivados del petróleo mediante un tratamiento adecuado que elimine todos sus contaminantes. Los aceites reciclados tienen propiedades oxidantes más altas que los aceites vírgenes ya que los compuestos que se oxidan más fácilmente reaccionan durante su uso primario y son eliminados en el proceso de reciclado. (Tormos, 2005, p. 55).

Figura 3 *Proceso de aplicación de diésel y biodiésel*



FUENTE: Martin, 2019.

En la región de Centroamérica, se puede definir la utilización de biodiésel (B100) en los motores diésel fabricados o acondicionados para usarlo con su 100% de pureza o como componente de mezcla con combustible diésel. El B100 puede tener mezcla hasta un 0.05 de su volumen con respecto al volumen del diésel de las cuales debe seguir con las especificaciones mostradas en RTCA “PRODUCTOS DE PETROLEO, ACEITE COMBUSTIBLE DIESEL, ESPECIFICACIONES”

Además, las mezclas que superen el 5% de biodiésel B100 deben seguir las condiciones establecidas por la autoridad nacional en cada región.

Tabla 9 Especificaciones de BIODIÉSEL B100

Características	Unidades	Método de Análisis	Valores
Aditivos	---	---	Reportar
Contenido de ésteres	fracción de masa (% masa)	EN 14103	0,965 (96,5) mín.
Gravedad API a 15,56 °C (60 °F) o Densidad a 15 °C	°API kg/m ³	ASTM D-287 ASTM D-1298	Reportar
Estabilidad a la oxidación, 110 °C	H	EN 14112	6,0 mín.
Punto de inflamación ("Flash point")	°C	ASTM D 93	130,0 mín. ^C
Agua y sedimentos	fracción de volumen (% volumen)	ASTM D 2709	0,00050 (0,050) máx.
Viscosidad cinemática a 40 °C.	mm ² /s	ASTM-D 445	1,9 – 6,5 ^D
Ceniza sulfatada	fracción de masa (% masa)	ASTM D 874	0,00020 (0,020) máx.
Contenido de azufre total ^E	mg/kg	ASTM D 5453	15 máx.
Corrosión tira de cobre, 3 h, 50 °C	-----	ASTM D 130	Nº 3 máx.
Número de cetano	-----	ASTM D 613	47 mín.
Punto de enturbamiento ^F	°C	ASTM D 2500	Reportar
Residuo de carbón ^G	fracción de masa (% masa)	ASTM D 4530	0,00050 (0,050) máx.
Número ácido	mg KOH / g	ASTM D 664	0,50 máx.
Glicerina libre	fracción de masa (% masa)	ASTM D 6584	0,00020 (0,020) máx.
Glicerina total	fracción de masa (% masa)	ASTM D 6584	0,00240 (0,240) máx.
Contenido de fósforo	fracción de masa (% masa)	ASTM D 4951	0,00001 (0,001) máx.
Temperatura de destilación, temperatura equivalente atmosférica, 90% recuperado	°C	ASTM D 1160	360 máx.
Sodio (Na) y potasio (K) combinados	mg/kg	EN 14538	5 máx.
Calcio (Ca) y magnesio (Mg) combinados	mg/kg	EN 14538	5 máx.

FUENTE: PERUPETRO, 2022

CAPÍTULO III DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y Diseño del proyecto

3.1.1. Tipo de proyecto:

Este proyecto es aplicativo operacional, puede ser realizado en análisis de vehículos automotores donde puede brindar resultados beneficiosos. El autor Sabey (2019) menciona que mediante la investigación aplicada se obtiene evidencia importante para poder desarrollar habilidades, evaluación y operación de lo estudiado. (p.64)

3.1.2. Diseño de investigación:

Este diseño desarrollado es descriptivo ya que se analizarán los resultados de acuerdo con los informes mecánicos que determinen el estado del motor de combustión interna. Los autores Burns and Grove (2004) nos direcciona que el diseño de lo investigado tiene dominio sobre la utilización del análisis, con referencia al entorno o selección de las muestras (p.30).

3.2. Instrumentos y recolección de datos

El método empleado es observación aplicativo experimental, el investigador Chen (2019) nos menciona que dicha técnica tiene un importante factor para la verificación de cambios en la composición, debido a que los resultados se analizan. Los medios por usar durante el desarrollo del estudio, es la ficha de datos que consta de cuadros con puntos esenciales y que guían el comportamiento del proceso de desgaste. Cuadro de datos de desgaste mostradas en la Tabla N°. (p.547). Además, con el uso del equipo Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP), analiza los 22 elementos metálicos para identificar tendencias en el desgaste interno, la contaminación y los aditivos.

Tipo de pruebas desarrollado fue por:

- **Análisis de Conteo de Partículas:** Bajo las especificaciones de la Norma ISO 4406 se analiza la muestra de aceite. Esta interpretación también considera los Códigos ISO de limpieza en los fluidos para certificar el control de contaminación de 5 estrellas, el mismo código que recibió Ferreyros en 2003 y que se verifica continuamente para conservar su vigencia.
- **Análisis Ferromagnético PQ:** Nos ayuda a determinar la cantidad de partículas ferromagnéticas halladas en cada aceite. Su propósito específico es estimar el desgaste interno en los componentes del equipo.

3.3. Población, Muestra y Muestreo

La población en este estudio hace referencia a las retroexcavadoras modelo 420 F de la empresa ITRADE S.A.C

- **Criterios de selección**

Se fijaron en aquellas causas que influyen y cambian los resultados de la investigación.

- **Criterios de inclusión:**

Retroexcavadoras en condiciones óptimas.

- **Criterios de exclusión:**

Retroexcavadoras en malas condiciones

Mayor al 90% de su tiempo de vida

Se tomó una muestra aleatoria simple, considerando a Berenson et al (2006, p.221) que nos dice que cualquier elemento de toda población poseen igual probabilidad de

estar seleccionado y participar de la muestra. Para cualquier muestra de tamaño y forma fijos, posee igual probabilidad de selección.

- RETROEXCAVADORA MODELO 420 F – SERIE **LTG02269**
- RETROEXCAVADORA MODELO 420 F – SERIE **LBS02123**

3.4. Confiabilidad

Se realizó el análisis de fluidos en el laboratorio de FERREYROS S.A.A – Laboratorio S.O.S teniendo en cuenta el reporte (ver anexo 4) y los resultados del estudio realizado.

La confiabilidad del equipo es muy importante para los análisis de desgaste

- Menos fallas no necesariamente significa alta confiabilidad, en muchos casos es debido a la alta intensidad de repuestos y mando de obra.
- Mayor disponibilidad no significa mayor confiabilidad, sin embargo, mayor confiabilidad nos asegura una mayor disponibilidad y seguridad.

3.5. Desarrollo del caso

Para el desarrollo del trabajo se seleccionó:

- RETROEXCAVADORA MODELO 420 F – SERIE **LTG02269**
- RETROEXCAVADORA MODELO 420 F – SERIE **LBS02123**

con motor de las siguientes características: 3054C CAT

Figura 4 Especificaciones de motor de Retroexcavadora

Motor		
Modelo del motor	3054C DIT	
Potencia bruta – SAE J1995	69 kW	93 hp
Potencia bruta – ISO 14396	68 kW	92 hp
Potencia neta – SAE J1349	66 kW	89 hp
Potencia neta – ISO 9249	67 kW	90 hp
Potencia neta – EEC 80/1269	67 kW	90 hp
Calibre	105 mm	4,13 pulg
Carrera	127 mm	5 pulg
Cilindrada	4,4 L	268 pulg ³
Reserva de par neta a 1.400 rpm	37%	
Par máximo neto a 1.400 rpm – SAE J1349	386 N•m	285 lb pie

Fuente: SISCAT - Especificaciones Técnicas CAT, 2020

3.6. Disponibilidad

En el desarrollo de la monografía técnica, para el muestreo durante el tiempo de operación del equipo en campo, se tomó en consideración para la disponibilidad, utilización, tiempos promedios y mantenimiento del equipo, la siguiente metodología:

3.6.1. Disponibilidad contractual (DC):

Este es un porcentual de horas teóricas considerando únicamente los sistemas (mantenimiento mecánico, eléctrico y preventivo), incluyendo tanto el tiempo de inactividad como las horas de reparación imprevistas. Para la intervención programada, consideramos solo las paradas superiores a las 8 horas de mantenimiento. Esto significa la exclusión de todas las que son del cliente

$$\text{Disponibilidad Contractual} = \frac{\sum \text{HrstipoRI}_{(Flota)} + \sum \text{Hrstipo[MP-8]}_{(Flota)}}{\text{Total Horas}} \quad ; \quad \text{MP} > 8 \text{ horas.} \quad (1)$$

3.6.2. Disponibilidad física (DF):

La Disponibilidad Física en adelante DF, Determina el porcentaje de las horas nominales que la maquinaria está disponible, en función del 100% de las horas que los equipos están inactivos, incluidas las horas de mantenimiento programado (MP), durante el tiempo de inactividad.

- Reparación inesperada (RI),
- Reparación prevista (RP)
- Externo (EX).

La medida de la disponibilidad física está estandarizada a nivel mundial, nos permite medir el rendimiento de la maquinaria, por ende, a menudo se usa para comparar grupos en diferentes contratos.

$$\% \text{ Disp. Física} = \frac{\text{Horas nominal total} - \sum \text{Hr stipo RI} - \sum \text{Hr stipo MP} - \sum \text{Hr stipo RP} - \sum \text{Hr stipo EXT}}{\text{Horas nominal total}} \quad (2)$$

3.6.3. Utilización (UT):

La utilización en adelante UT, nos indica el porcentaje de horas disponibles de los equipos que se encuentran realizando operaciones. La utilización mide el desgaste de los equipos, determinando principalmente las apreciaciones de HH, componentes, repuestos, etc.

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Horas totales de operación de la flota de camiones}}{\text{Horas totales del mes de la flota de camiones}} \quad (3)$$

3.6.4. Tiempo promedio entre fallas (MTBF)

El MTBF nos indica el promedio del tiempo entre 2 fallas inesperadas consecutivas, teniendo en cuenta el tiempo de actividad total y la cantidad de veces que ha ocurrido la falla inesperada. De igual manera, permite tener en cuenta la frecuencia de las caídas, con relación a la confiabilidad de equipo, en definitiva, se calcula como el número de horas de funcionamiento dividido por la cantidad o total en el sistema, flota, equipo u otros, durante el período que se mide el tiempo de trabajo.

Este indicador brinda la medida de Confiabilidad y la capacidad del equipo para operar sin problemas imprevistos.

$$MTBF = \frac{\text{Hrs Operacionales}}{\sum \text{Detenciones}} \quad (4)$$

Dónde: $\sum \text{Detenciones} = \sum \text{cantidades reparaciones imprevistas}$

3.6.5. Tiempo promedio por reparación (MTTR)

El MTTR nos brinda una medida de efectividad y definición de calidad de reparación, lo que nos permite calcular aquel tiempo de inactividad asociado a una falla inesperada en particular, ya sea un sistema, flota, equipo u otra cosa; basado en la cantidad total de las horas usadas para reparaciones imprevistas divididas por la cantidad o la cantidad total de sistemas, equipos, flotas u otro tiempo de inactividad durante el período de medición del tiempo de trabajo.

$$MTTR = \frac{\sum \text{HoratipoRi}}{\sum \text{Detenciones}} \quad (4)$$

Dónde: $\sum \text{Detenciones} = \sum$ cantidades reparaciones imprevistas

3.6.6. Tiempo promedio entre reparación (MTBS)

El MTBS determina la media del tiempo entre intervenciones no programadas. Nos brinda el rendimiento y la calidad entre revisiones. Le que permite determinar el tiempo promedio entre fallas inesperadas.

$$MTBS = \frac{\text{Hrs Operacionales}}{\# MP + \# RP + \# RI} \quad (5)$$

Dónde:

Hrs Operacionales: Horas trabajadas de la flota en el mes.

MP: Cantidad de mantenimientos preventivos en el mes.

RP: Cantidad de reparaciones programadas en el mes.

RI: Cantidad de reparaciones imprevistas.

3.6.7. Concepto desviación de mantenimiento preventivo

%Δ MP: Es el porcentaje de diferencia entre 2 mantenimientos preventivos consecutivos sobre el horario nominal de cada 250 Hrs.

El método de cálculo es el siguiente:

$$\% \Delta MP = \frac{HrsMpReal - 250}{250}; \quad HrsMP \text{ Real} \geq 250 \quad (6)$$

% **Programado:** Nos indica aquella relación durante el tiempo esperado de intervención programada en el sistema, (tiempo de intervención programada + tiempo de intervención inesperada).

$$\% Prog = \frac{\Sigma HorastipoMp + HorastipoRp}{\Sigma HorastipoRi + HorastipoMp + HorastipoRp} \quad (7)$$

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación, análisis e interpretación de datos

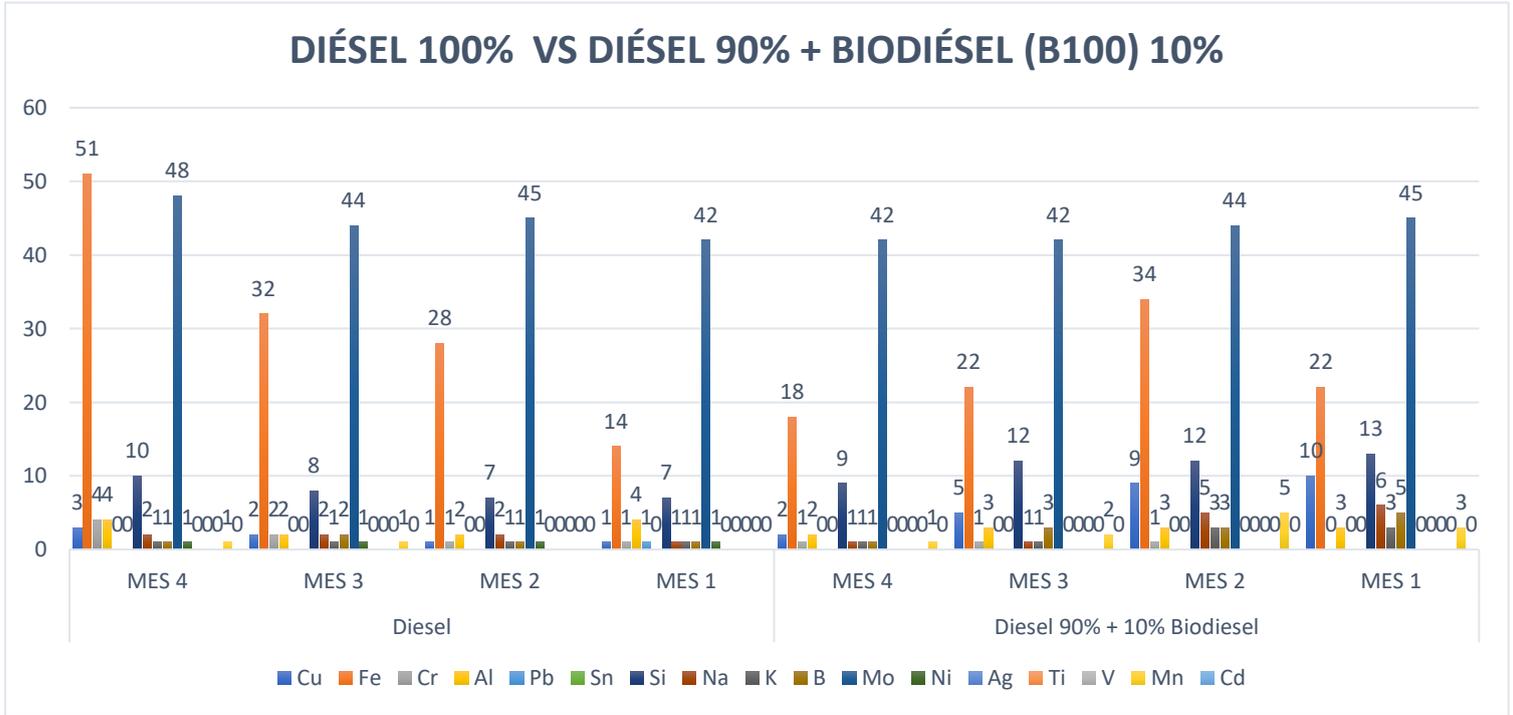
Tabla 10 *Diseño de aplicación del diésel 100% vs biodiésel 10% + diésel 90%*

TIPO DE COMBUSTIBLE	Fecha	Serie	Horómetro	Horas Aceite	ELEMENTOS DE DESGASTE (ppm)																				condición de aceite / Conteo de Partículas									
					Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	B	Mo	Ni	Ag	Ti	V	Mn	Cd	Ca	Mg	Zn	P	Ba	ST	OXI	NIT	SUL	W	A	F	V100
Diésel 100 %	MES 4	LTG02269	6236	265	3	51	4	4	0	0	10	2	1	1	48	1	0	0	0	1	0	1470	1147	1294	1088	0	36	8	6	16	N	N	N	13.8
	MES 3	LTG02269	5971	258	2	32	2	2	0	0	8	2	1	2	44	1	0	0	0	1	0	1444	1098	1281	1076	0	35	8	6	15	T	N	N	13.9
	MES 2	LTG02269	5713	261	1	28	1	2	0	0	7	2	1	1	45	1	0	0	0	0	0	1392	1018	1289	1056	0	26	10	5	14	N	N	N	14.1
	MES 1	LTG02269	5452	250	1	14	1	4	1	0	7	1	1	1	42	1	0	0	0	0	0	1347	1001	1258	1054	0	28	9	7	18	N	N	N	14.8
Diésel 90% + 10% Biodiesel	MES 4	LBS02123	5112	278	2	18	1	2	0	0	9	1	1	1	42	0	0	0	0	1	0	1470	1075	1369	1111	0	11	9	6	16	N	N	N	14
	MES 3	LBS02123	4834	262	5	22	1	3	0	0	12	1	1	3	42	0	0	0	0	2	0	1589	1125	1323	1125	1	28	8	6	16	N	N	N	14.2
	MES 2	LBS02123	4572	258	9	34	1	3	0	0	12	5	3	3	44	0	0	0	0	5	0	1606	1036	1240	1128	4	5	9	5	15	N	N	N	14.1
	MES 1	LBS02123	4314	252	10	22	0	3	0	0	13	6	3	5	45	0	0	0	0	3	0	1666	933	1307	1088	3	29	8	4	13	T	N	N	13.9

FUENTE: Propia, 2022

INTERPRETACIÓN: Se detalla el porcentaje de inyección de combustible diésel vs el biodiésel B100 con un porcentaje al 10% de la capacidad del tanque a operar durante las horas de prueba, la información obtenida a partir de los análisis de desgaste de las muestras tomadas del funcionamiento del motor de las retroexcavadoras 420F con series LTG02269 y LBS02123, esta evaluación se realizó mediante un periodo de tiempo de 4 meses de funcionamiento del equipo por cada 250h, obteniendo datos con un horómetro inicial en el Mes 1 de 5452h para la serie LTG02269 y 4314h en el Mes 1 de 4314 para la serie LBS02123. Así mismo, datos en ppm (partículas por millón) de los 22 metales analizados en las muestras, como las condiciones de las muestras de aceite según **Tabla**

Figura 5 Componentes iniciales tribológico diésel 100% vs biodiésel (B100) 10% + diésel 90%



FUENTE: Propia

INTERPRETACIÓN: Se detalla en la Figura 6. los metales Fe, Cu, Al, Cr, Pb, Na, Si, Sn, K, Mo, B, Ag, Ni, Ti analizados y comparándolos con la aplicación de diésel al 90% + biodiésel al 10% vs diésel 100%. En el primer mes de prueba en comparación, con la aplicación del 100% de diésel se describe los niveles desgaste de Cu con la retroexcavadora con serie LTG02269 se observa un aumento de ppm de 1 ppm a 3 ppm con respecto al mes 4. Sin embargo, con la aplicación del B100 al 10% + diésel al 90% se observa una significativa reducción en el mes 1 de 10 ppm a 2 ppm con respecto al mes 4 observando posibles mejoras en los bujes, reguladores y/o en la bomba de aceite del motor de la serie LBS02123.

Así mismo, se describes el nivel de muestreo del conteo de partículas del metal Fe observando que durante el mes 1 con la aplicación de diésel al 100% en el equipo con serie LTG02269 observamos la cantidad de 14 ppm con respecto al mes 4

de 51 ppm determinando que se encuentra con valores medios con respecto a los parámetros de los LMP (límites máximos permisibles) de 100 ppm significando efectos de desgaste en los cilindros, engranajes, cigüeñal, segmentos, tren de válvula y presencia de oxido. Mientras que con la aplicación del 10% de B100 y 90% de diésel observamos que durante el mes 1 tenemos 22 ppm y un ascenso en mes 2 con 34 ppm; obteniendo mejoras en el mes 4 de desgaste en Fe de 18 ppm con el equipo de serie LBS02123.

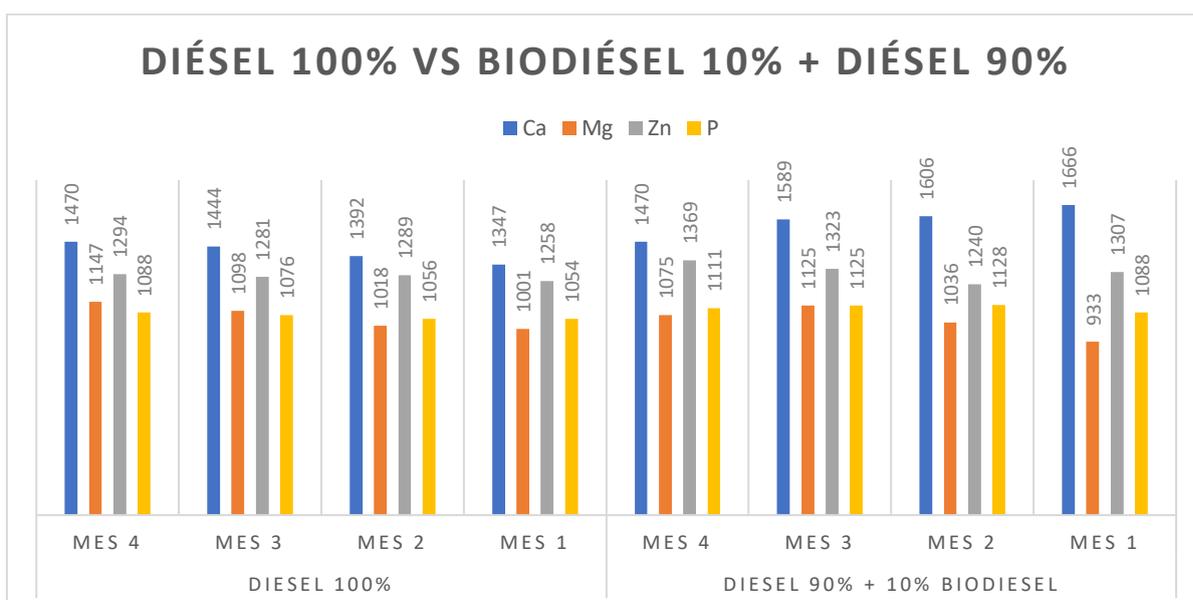
Los siguientes metales analizado son el Cr (Cromo) y Al (Aluminio) obteniendo valores en Mes 1 con el 100% de diésel valores de 1 ppm y 4 ppm respectivamente, mostrando un aumento en el cobre de 4ppm en el mes 4, mientras que el aluminio mostro un descenso en el mes 2 y 3 donde se mantuvo en el mismo nivel de desgaste en el mes 4, evidenciando la presencia de cromo con un aumento menor de desgaste en los segmentos, cojinetes de rodillos cónicos camisas válvulas de escape con poca presencia de partículas de cromo. Con la aplicación del 10% B100 y el 90% de diésel, el cromo muestra valores de 0 ppm y un aumento de 1 ppm, mientras que el aluminio un descenso de 3 ppm a 2 ppm observando mejoras en los trabajos internos en tribología para las partes de pistones, cojinetes, bloques, ventiladores.

En los casos que presentaron Si, Na, B, Mo Mn; se analiza que encontró un incremento de 7 a 10 ppm encontrándose por la mitad de su límite permisible de partículas por millón del mes 1 al mes 4 indicando presencia suciedad, selladores inhibidores de refrigerante y aditivo de lubricantes presentes en el motor Cat mientras que con la aplicación del 10% de B100 se analiza un descenso desde el mes inicial al final con 13 ppm a 9 ppm indicando la reducción de suciedad y/o aditivos.

Mientras que los análisis de Sodio, Potasio y Boro en pruebas con diésel al

100% durante el mes 1, muestran datos > 2ppm mostrando mismos resultados en el mes 4 para el quipo con serie LTG02269. Por otro lado, los análisis para el equipo con serie LBS02123 con 10% de biodiésel B100, se encuentran valores iniciales en el mes 1 con un horómetro de 4314 > 6 ppm, mientras que en el mes 4 se reducen a valores de 1 ppm con poca presencia de aditivos de lubricantes, detergentes en el lavado del equipo.

Figura 6 Componentes secundarios tribológico diésel 100% vs biodiésel B(100) 10% + diésel 90%



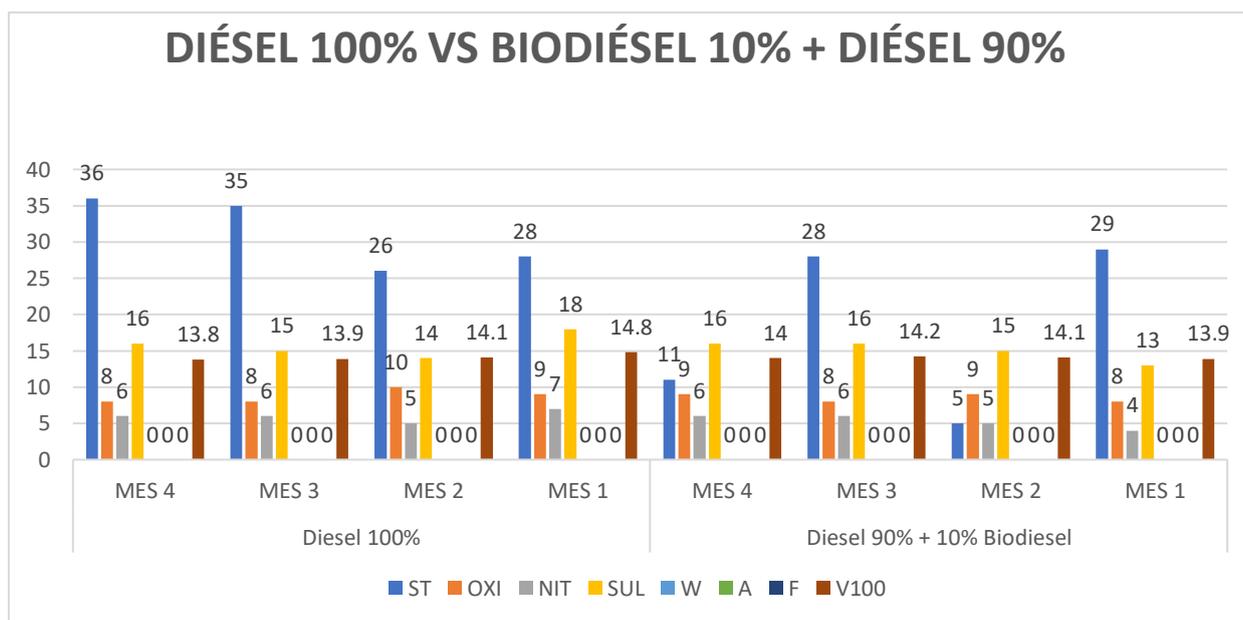
FUENTE: Propia

INTERPRETACIÓN: Se detalla en la Figura 7. los metales Ca, Mg, Zn, P, analizados comparados con las aplicaciones de diésel al 90% + biodiésel al 10% vs diésel 100%. En el primer mes de prueba en comparación, con la aplicación del 100% de diésel se describe el metal como el Ca muestra valores de 1347 ppm en el mes 1 de Prueba y un incremento de 1470 ppm en el mes 2 indicando un aumento de presencia de aditivos, aire contaminado y/o agua contaminada en el motor CAT del quipo con serie LTG02269. Por otro lado, la aplicación del 10% de biodiésel + 90% de diésel

muestran valores durante el mes 1 en el equipo LBS02123 con un horómetro de 4314 h de trabajo una reducción en presencia de aditivos de 1666 ppm a 1470 ppm en el mes 4.

Mientras que con los elementos Mg, Zn y P durante el mes 1 con la aplicación del 100% de diésel detallamos valores de 1001 ppm, 1258 ppm, 1054 ppm y un incremento de 1147 ppm, 1294 ppm y 1088 ppm para el mes 4 del quipo con serie LTG02269. evidenciando presencia de aleación de acero y aditivos anti-desgaste respectivamente. Y con la aplicación de 10% de biodiésel B100 + 90% de diésel se obtuvieron valores para el equipo con serie LBS02123 en el Mes 1 de 933 ppm, 1307 ppm y 1088 ppm; detectando disminución de las partículas en cantidades de 1470 ppm, 1075 ppm y 1369 ppm respectivamente.

Figura 7 Componentes terceros tribológico diésel 100% vs biodiésel B100 10% + diésel 90%



INTERPRETACIÓN: Se detalla en la Figura 8, que en la aplicación de diésel al 90% + biodiésel al 10% en el primer mes de prueba en comparación con la aplicación del 100% de diésel se evalúa que los resultados en el mes 1 de 28 ppm y

29ppm para el Estaño (St) respectivamente muestra un ascenso en los niveles con la aplicación del diésel al 100% de 36 ppm y con biodiésel 10% + 90% diésel un descenso al 11 ppm determinando menor desgaste tribológico en los pistones y revestimiento de cojinetes.

Por otro lado, en la aplicación de diésel al 90% + biodiésel al 10% en el primer mes de prueba en comparación con la aplicación del 100% de diésel del quipo con serie LTG02269 se evalúa que los resultados en el mes 1 de 8 ppm y 9 ppm para la oxidación respectivamente. Sin embargo, muestra un ascenso en los niveles con la aplicación del diésel al 100% de 10 ppm en el mes 2 y un descenso en el mes 4 de 8ppm y con biodiésel 10% + 90% para el equipo con serie LBS02123 diésel mantienen los datos iguales e 9 ppm con respecto al mes 1 de determinando sus causas posibles de filtros de aceite tapados, incremento en la viscosidad del aceite, corrosión de partes del motor y el desempeño del motor.

Mientras que, en la aplicación de diésel al 90% + biodiésel al 10% en el primer mes de prueba en comparación con la aplicación del 100% de diésel del quipo con serie LTG02269 se evalúa que los resultados en el mes 1 de 4 ppm y 7 ppm / 13 ppm y 18 ppm de nitración y sulfatación en el motor respectivamente. Sin embargo, muestra un descenso en los niveles con la aplicación del diésel al 100% de 7 ppm en el mes 2 y mes 4 para la nitración y la sulfatación un incremento de 16 ppm y con biodiésel 10% + 90% para el equipo con serie LBS02123 diésel se aprecia un aumento a 6 ppm en la nitración y 16ppm de sulfatación con respecto al mes 1 ya que estos productos se forman durante el proceso de combustión cuando los subproductos entran en el motor acelerando la oxidación del aceite.

4.2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

En la evaluación tribológica de motor de retroexcavadora modelo 420 F con la aplicación de diésel y biodiésel para las series LTG02269 y LBS02123, se obtuvo mejoras en las diferentes áreas del motor por acción tribológica en el funcionamiento de los equipos con horómetro inicial de 5452 y 4314. Se analizó las características en la ficha técnica del diésel (Anexo 6) utilizado y características del biodiésel B100 (Anexo 2), variando su porcentaje a un 10% de la totalidad de combustible en el tanque, ya que las mezclas con porcentajes mayores al 5% de biodiésel B100 cumplía con aquellas especificaciones dadas por la entidad nacional competente para el presente estudio. En comparación con el autor Temizer (2020) que realizó un Análisis de combustión y el efecto de desgaste del combustible biodiesel utilizado en un motor diésel, los combustibles que utilizaron son combustibles diésel (D100), éster metílico de aceite de canola (COME), éster metílico de aceite de girasol (SOME) y agregaron las mezclas SOME y COME en proporciones de 10%, 20% y 30% (en volumen) con respecto a la capacidad del tanque de combustible diésel, obteniendo los efectos tribológicos como las variaciones con el uso de diferentes porcentajes de biocombustible mediante pruebas de resistencia a largo plazo.

Se obtuvieron resultados de las muestras de aceite de motor demostrando que el Cu con la retroexcavadora con serie LTG02269 se observó un aumento de ppm (partículas por millón) con respecto al último mes de prueba de 1ppm a 3ppm en comparación con el uso de B100 al 10 % + diésel al 90% de 10ppm a 2ppm detallando una significativa reducción de desgaste en comparación con el uso de B100 al 10 % + diésel al 90% significando una reducción con respecto al último mes de prueba. Sin

embargo, los investigadores Manieniyan et al (2016), realizaron un análisis de elementos de desgaste mediante redes neuronales de un motor diésel utilizando biodiésel B20, la concentración fue menor en 21 ppm para Fe, 9 ppm para Cu, 1 ppm para Mg, Zn y 2 ppm para Pb, Co en comparación con el diésel sin EGR. observando variaciones similares para varias concentraciones, los investigadores revelaron que la mezcla de biodiésel al 20 % es la mezcla óptima en términos de rendimiento, emisiones y características de combustión. (p. 604 - 611), determinando que realizando pruebas a mayores porcentajes de biodiésel se pueden obtener un menor desgaste tribológico en Bujes, cojinetes, enfriador de aceite, bomba de aceite, reguladores

Se obtuvo que los elementos con mayor afección en el equipo fue el Fe con la aplicación de diésel convencional en el equipo con serie LTG02269 se observó la cantidad de 14 ppm con respecto al Mes 4 de 51 ppm determinando que se encuentra con valores medios con respecto a los parámetros de los LMP (límites máximos permisibles) de 100 ppm, mientras que con el uso de 10% de biodiésel B100 + 90% de diésel se obtuvo resultados de 22 ppm el primer mes a 18 ppm en el cuarto mes significando una disminución de efectos de desgaste en los cilindros, engranajes, cigüeñal, segmentos, tren de válvula y presencia de óxido. Mientras que los resultados de los investigadores Manieniyan et al (2016), analizaron el aceite lubricante del motor después de cada intervalo de 25 h. con biodiésel B20, la concentración fue menor en 21 ppm para Fe, defiriendo de las horas de muestreo de la presente monografía técnica por cada 250h.

Por otro lado, se concluyó que el Ca en la aplicación del 100% de diésel se detecto presencia de aditivos, aire contaminado y/o agua contaminada en el motor CAT del quipo con serie LTG02269. Sin embargo, la aplicación del 10% de biodiésel

+ 90% de diésel muestran valores durante el mes 1 en el equipo LBS02123 con un horómetro de 4314 h de trabajo una reducción en presencia de aditivos de 1666 ppm a 1470 ppm durante el último mes de prueba.

Durante la aplicación de diésel al 90% + biodiésel al 10% en el primer mes de prueba en comparación con la aplicación del 100% de diésel del equipo con serie LTG02269 se evaluó que los resultados en el mes 1 de 8 ppm y 9 ppm para la oxidación y la aplicación del diésel al 100% de 10 ppm en el mes 2 y un descenso en el mes 4 de 8 ppm y con biodiésel 10% + 90% para el equipo con serie LBS02123 diésel mantenido los datos iguales en 9 ppm con respecto al mes 1 se observó filtros de aceite tapados, incremento en la viscosidad del aceite, corrosión de partes del motor y reducción en el desempeño del motor. Por otro lado, los investigadores Zafar et al (2022) realizaron una optimización de las características de combustión, rendimiento y emisiones del motor diésel de combustible dual alimentado con mezclas de biodiésel generaron NOx con valores de 853 ppm monitoreando emisiones de combustión del motor diésel puesto a prueba.

Así mismo, se analizó que las muestras mostraron un descenso en los niveles con la aplicación del diésel al 100% de 7 ppm en el mes 2 y mes 4 para la nitración y la sulfatación un incremento de 16 ppm y con biodiésel 10% + 90% para el equipo con serie LBS02123 diésel se aprecia un aumento a 6ppm en la nitración y 16ppm de sulfatación con respecto al mes 1 evidenciando que se su mayor concentración se debe al proceso de combustión cuando los subproductos entran en el motor acelerando la oxidación del aceite.

En conclusión, el daño/desgaste de los componentes determinados a partir de los análisis realizados fue menor en el caso de las mezclas de biodiésel,

especialmente B100. El diésel mineral mostró mejor funcionamiento en la operación de combustión y desarrollo de componentes de la retroexcavadora.

RECOMENDACIONES

- Tener en consideración los datos y resultados de la presente monografía técnica como base para futuros análisis en aplicación de combustibles minerales con menos efectos nocivos para la salud y con menos presencia de metales como Nitratos, sulfatos que puedan generar daño potencial al motor y al tiempo de vida útil del equipo.
- Realizar operaciones con tiempos y variaciones monitoreando los cambios de temperatura y análisis de falla para tener óptimos resultados y mayor evidencia sobre cómo influye las condiciones del equipo que se pondrá a prueba.
- Realizar un análisis con mayores repeticiones y en tiempos extendidos para un mayor análisis de las mejoras y beneficios de los combustibles minerales.
- Realizar pruebas de biodiésel con porcentajes mayores a lo ensayado en la presente monografía técnica para evidencia de la factibilidad del uso del presente combustible con menor impacto ambiental, salud y mejora a largo plazo de los diferentes equipos para operaciones civiles.

BIBLIOGRAFÍA

Ananthakumar S, Jayabal SP y Thirumal (2017), Investigación sobre rendimiento, emisión y características de combustión del motor de compresión variable alimentado con diésel, mezclas de aceite de plásticos de desecho.

Revista: Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers Volume 97, April 2019, Pages 297-304

<https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.02.022>

Enlace: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876107019300860>

Berenson, M. Levine, D. Krehbiel, T. (2006) Estadística para administración [en línea].

México: Pearson Educación [Fecha de consulta:

02 de Mayo de 2020].

ISBN: 9789702608028

Disponible en:

https://books.google.com.pe/books?id=Aw2NKbDJZoC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Feng et al (2022). El impacto del estado térmico en las emisiones de un motor diésel no de carretera equipado con un sistema de postratamiento en funcionamiento transitorio

Revista: Thermal Engineering Volumen 36 , 102- 244

<https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102244>

ISSN: 2214-157X

Enlace: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X22004907>

Fonte, M. Infante, V. Freitas, M. Reis, L. (2015) Análisis del modo de falla de dos cigüeñales de motores diésel.

Revista: Engineering Failure Analysis [Volume 56](#), October 2015, Pages 185-193

ISSN: 1350-6307

<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.02.014>

Enlace: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630715000709>

Holmberga, K. Erdemirb, A. (2019) El impacto de la tribología en el uso de energía y las emisiones de CO2 a nivel mundial y en motor de combustión y coches eléctricos.

Revista: Trybology International pág. 389 – 396

ISSN: 0301-679X

<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.03.024>

Enlace:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301679X19301446?via%3Dihub>

Karishma, S. Rajak B. Naik, k. Dasore, A. Konijeti R. (2022) Evaluación de las características de rendimiento y emisiones de un motor de encendido por compresión alimentado con las mezclas del nuevo biodiésel antioxidante catecol-daok

Revista: Volumen 245, P. 123-304

ISSN: 0360-5442

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123304>

Enlace: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148116306875>

Lara, R et al (2015) Control de calidad del lubricante: un enfoque químico métrico para evaluar el desgaste del motor en máquinas pesadas.

Revista: Tribology International Vol.179 páginas 14-16

ISSN: 0301-679X

<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2015.01.009>

Enlace: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301679X15000195?via%3Dihub>

Manienyan V. Vinodhini, G. Senthilkumar, R. Sivaprakasam, S. (2016) Análisis de elementos de desgaste mediante redes neuronales de un motor diésel DI utilizando biodiésel con recirculación de gases de escape

Revista: Energy, Volumen 114 , P. 603-61

ISSN: 0360-5442

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.040>

Enlace: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544216311537>

Martin, R. Kelley, P. Klaski, R. Bosco, A. Moore, B. Travis, N. (2019) Caracterización y comparación del potencial oxidativo del mundo real partículas de

biodiésel y diésel de petróleo emitidas por un motor diésel de servicio pesado fuera de carretera.

Revista: Science of the Total Environment Volume 655, Pages 908-914

ISSN: 0048-9697

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.292>

Link:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718346485?via%3>

Dihub

Sarveshwar, R. Sharma, N. Kumar A (2016) Efecto de mezclas de aceite vegetal puro y mezclas de biodiesel en el desgaste del equipo mecánico de inyección de combustible de un motor diésel de velocidad constante

Revista: Renewable energy, Volumen 99 , páginas 1008-1018

ISSN: 0960-1481

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.072>

Enlace:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148116306875>

Suzihaque, M. Alwi, H. Ibrahim, U. Abdala, S. Haron, N. (2022) Producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado: una breve revisión.

Revista: Materialstoday proceedings Volumen 63, Suplemento 1 , 2022 , Páginas

S490-S495

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.527>

Enlace:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718346485?via%3>

[Dihub](#)

Temizer, I (2020) El análisis de combustión y el efecto de desgaste del combustible biodiesel utilizado en un motor diésel.

Revista: Fuel, Volumen 270, P. 2-7

ISSN: 0016-2361

<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117571>

Enlace: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236120305664>

Wu, B. Song, H. Li, Ch. Song, R. Zhang, T. Hu, X. (2019) Propiedades tribológicas mejoradas del aceite de motor diésel con Nano-Lanthanum compuestos de hidróxido/óxido de grafeno reducido

Revista: Tribology International vol.141

<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.105951>

ISSN: ISSN: 0301-679X

Link:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301679X19304700?via%3>

[Dihub](#)

Xin, Q. (2013). El proceso de diseño analítico y el diseño del sistema del motor diésel

Libro: Diesel Engine System Design

<https://doi.org/10.1533/9780857090836.1.3>

ISBN: 978-1-84569-715-0

Link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845697150500017>

Zafar S. Et al (2022). Optimización de las características de combustión, rendimiento y emisiones de un motor diésel de combustible dual alimentado con mezclas de biodiésel/diésel a base de microalgas y oxihidrógeno

Revista: Fuel Volumen 326 , P. 124 - 987

<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124987>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236122018294>

ISSN: 0016-2361

ANEXOS

ANEXO 1: HOJA MSDS DE BIODIESEL B100



MSDS - BIODIESEL B100

SECCION 1 - DATOS DE IDENTIFICACIÓN

Nombre General del producto: Biodiesel
Nombre químico: Esteres metílicos de ácidos grasos
Formula: C14 - C24 Ester metílico
Familia química: CAS Nº: 67784-80-9

SECCION 2 - INGREDIENTES Y CLASIFICACIÓN PELIGROSA

Este producto no contiene materiales peligrosos.

SECCION 3 - IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

Efectos potenciales para la salud:

INHALACIÓN: Leve a menos que se caliente para producir vapores. Los vapores pueden irritar las membranas mucosas y causar irritación, mareos y náuseas. Salga al aire fresco.

CONTACTO CON LOS OJOS: Puede causar irritación. Lavar los ojos con abundante agua por lo menos durante 15 a 20 minutos. Busque atención médica si los síntomas persisten.

CONTACTO CON LA PIEL: El contacto prolongado o repetido no es susceptible de provocar importantes irritaciones en la piel. El material es peligroso a temperaturas elevadas. Las quemaduras térmicas son posibles. Lave con agua y jabón.

INGESTIÓN: No se prevé los peligros de la ingestión incidental para la exposición industrial. Enjuagar la boca con agua.

SECCION 4 - MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

OJOS: Lavar los ojos con abundante agua por lo menos durante 15 a 20 minutos.

PIEL: Lave las áreas expuestas del cuerpo con agua y jabón.

INHALACIÓN: Sacar de la zona de exposición, busque atención médica si los síntomas persisten.

INGESTIÓN: Dé uno o dos vasos de agua para beber. En caso de desarrollar síntomas gastrointestinales, consultar con el médico. (No dar nada por boca a una persona inconsciente).

SECCION 5 - MEDIDAS DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS

Punto de inflamación (método usado): 130,0° C. min (ASTM 93).

Límites de inflamabilidad: Ninguno conocido.

NFPA Rating: Health: 0 Fire: 1 Reactivity: 0 Special: N/A

MEDIOS DE EXTINCIÓN: Polvo químico, espuma, halones, CO2, agua pulverizada (niebla). Agua en chorro puede expandir el combustible y propagar el incendio.

PROCEDIMIENTOS ESPECIALES DE LUCHA CONTRA INCENDIOS: Utilizar agua pulverizada para enfriar los bidones expuestos al fuego.

RIESGOS INUSUALES DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN: Trapos empapados de Biodiesel puede causar combustión espontánea si no se manejan adecuadamente. Antes de su eliminación, lavar los trapos con agua y jabón y secar en áreas bien ventiladas. Los bomberos deben usar aparato de respiración autónomo para evitar la exposición a humos y vapores.

Oficina: Calle Manuel Segundo Ballón 113 - Arequipa
Planta: Urb. José Luis Bustamante y Rivero Mz. 10, Lote 11, Sector 2, Pachacutec - C.C.
Teléfono: +51 54 285260, E-mail: ventas@aldecoperu.com

SECCION 6 - MEDIDAS PARA DERRAMES ACCIDENTALES Y PROCEDIMIENTOS DE LIMPIEZA

Eliminar todas las fuentes de ignición, contener los derrames de superficies pequeñas. Detenga la fuga si es posible.
Recoger los derrames pequeños con material absorbente como toallas de papel, "Oil Dry", arena, o tierra.
Recuperar grandes derrames para salvar o eliminar. Lave las superficies duras con disolventes seguros o detergente para quitar la película de aceite restante. La grasa natural se traducirá en una superficie resbaladiza.

SECCION 7 - MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Almacenar en contenedores cerrados entre 10° C. y 48° C.
Mantener alejado de agentes oxidantes, calor excesivo, y fuentes de ignición.
Almacenar y utilizar en lugares bien ventilados.
No almacene ni utilice cerca del calor, chispas o llamas, almacene alejado del sol.
No perforo, arrastre, o deslice el contenedor.
El contenedor no es un recipiente a presión, nunca utilizar presión para vaciar.

SECCION 8 - CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

PROTECCIÓN RESPIRATORIA: Si los vapores o nieblas se generan, usar mascararas certificadas para vapores orgánicos/nieblas.
ROPA PROTECTORA: Gafas de seguridad, gafas protectoras, escudo para la cara son recomendadas para proteger los ojos de la niebla o salpicaduras. Guantes de PVC con revestimiento es recomendado para prevenir el contacto con la piel.
OTRAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Los empleados deben practicar una buena higiene personal, el lavado de las áreas expuestas de la piel varias veces al día y el lavado de la ropa contaminada antes de volver a usarla.

SECCION 9 - PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Punto de ebullición, 760 mm de Hg: > 200° C. Volátiles, % por volumen: <2
Peso específico (H₂O = 1): 0.88 Solubilidad en H₂O, % por volumen: Insoluble
Presión de Vapor, mm Hg: <2 de evaporación, acetato de butilo = 1: <1.
Densidad de vapor, aire = 1: >1.
Poder Calorífico, 37.2 - 38.02 MJ/kg
Apariencia y Olor: líquido amarillo pálido, de olor suave.

SECCION 10 - ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

GENERAL: Este producto es estable y no hay peligro por polimerización.
MATERIALES INCOMPATIBLES Y CONDICIONES QUE SE DEBE EVITAR: Agentes oxidantes fuertes.
PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN PELIGROSOS: La combustión produce monóxido de carbono, dióxido de carbono junto con el humo.

SECCION 11 - CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN

ELIMINACIÓN DE RESIDUOS: Los residuos podrán ser eliminados por una empresa de eliminación de residuos autorizada. Material absorbente contaminado puede eliminarse en un vertedero autorizado. Siga los reglamentos locales, estatales.



SECCION 12 - INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE

- CLASIFICACION DE RIESGO UN: N/A
- NOMBRE ADECUADO DE ENVÍO: Esteres de ácidos grasos.
- NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 144920
- CLASIFICACIÓN DE ENVÍO: 65

SECCION 13 - INFORMACIÓN NORMATIVA

POSICION OSHA: Este producto no es peligroso según los criterios de la Federal OSHA Hazard Communication Standard 29 CFR 1910.1200. Sin embargo, del proceso de descomposición y los vapores de este producto pueden ser peligrosos, como se señala en las secciones 2 y 3.

Es responsabilidad del usuario a fin de determinar en el momento de la eliminación, si un material que contenga el producto o derivados del producto deben ser clasificados como residuos peligrosos.

Este producto no contiene productos químicos como causantes de cáncer.

SECCION 14 - OTRA INFORMACIÓN

Esta información sólo se refiere a este producto y puede no ser válida para este tipo de material utilizado en combinación con otros materiales o en cualquier otro proceso. Esta información es el mejor conocimiento que posee la compañía y se considera precisa y fiable a partir de la fecha indicada. Sin embargo, ninguna representación, garantía o garantía de ningún tipo, expresa o implícita, se hace en cuanto a su exactitud, fiabilidad y exhaustividad y no asumimos ninguna responsabilidad de cualquier pérdida, daños o gastos, directos o indirectos, derivados de su uso. El usuario es responsable de asegurarse del uso adecuado y oportuno de dicha información. ALDECO no se responsabiliza por actividades fuera de su control.

Fuente: Biodiesel Handling and Use Guide (Fourth Edition), NREL/TP-540-43672, Revised January 2009



¿El biodiesel es una mercancía peligrosa para el transporte?

El Biodiesel o también llamado ester ó FAME por la sigla en inglés "Fatty Acids Metil Ester" que describe su composición química, es una mezcla de Esteres Metílicos de Ácidos Grasos provenientes de su elaboración a partir de aceites vegetales como materias primas.

Analizando la ficha de seguridad de un Biodiesel (MSDS, no ficha de intervención) en inglés, en su ítem 12. "Información sobre el Transporte" allí se expresa:

"Clasificación de Riesgo UN: N/A" Clasificación de Naciones Unidas de acuerdo a su peligrosidad: N/A. Esto significa "non available" o sea que no está disponible o sea no tiene Número de Naciones Unidas que es un requisito para ser producto peligroso para el transporte.

Resumiendo el biodiesel no tiene número de Naciones Unidas o sea no es peligroso para el transporte.

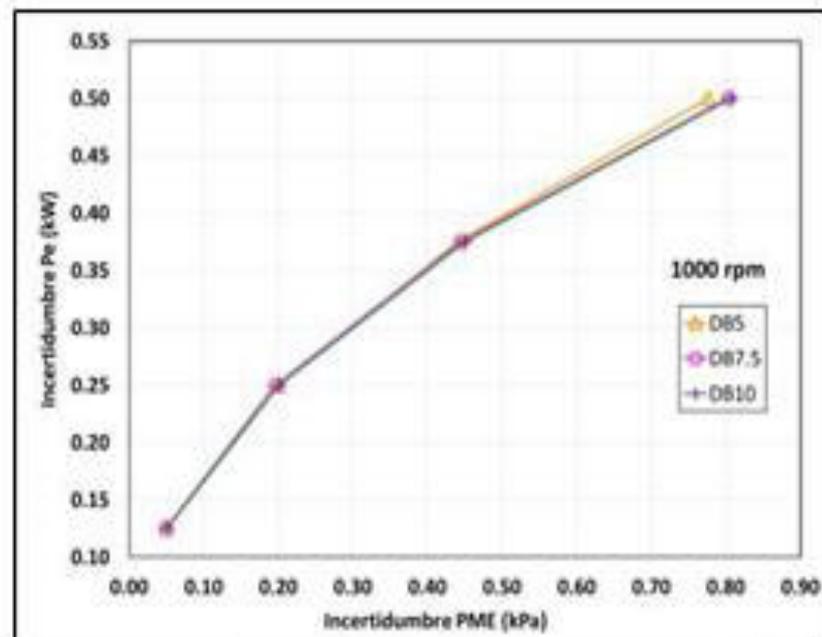
Esto es válido solo para el Biodiesel y no para las mezclas de biodiesel (FAME) con Diesel proveniente de la destilación del petróleo que sería el combustible mezcla elaborado al que hay que considerarlo como mercancía peligrosa para el transporte con Número de ONU 1202 cuyo riesgo principal es ser un líquido inflamable y su ficha de intervención es la del gasoil o dieseloil.

El proceso mediante el cual se elabora Biodiesel produce también como subproducto Glicerina otro producto químico no peligroso para el transporte.

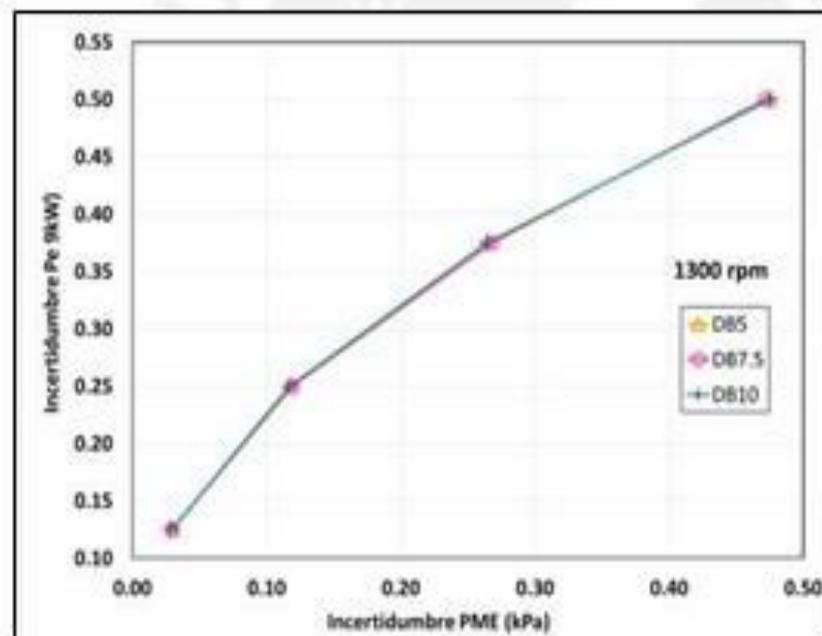
Fuente: Ing. Oscar Bourquin, Coordinador General - CIPET (Centro de Información para Emergencias en el Transporte – Argentina); CATAMP (Cámara Argentina de Transporte Automotor de Mercancías y Residuos Peligrosos)

ANEXO 2: INCERTIDUMBRES

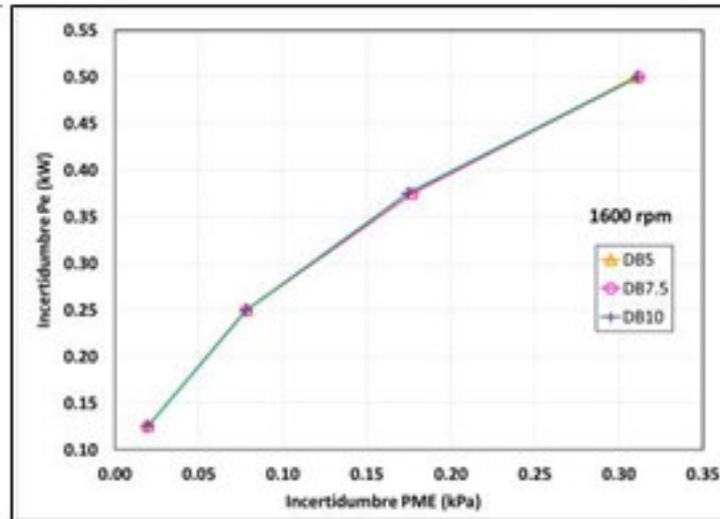
A2.1: INCERTIDUMBRE POTENCIA EFECTIVA VS INCERTIDUMBRE PRESIÓN MEDIA EFECTIVA



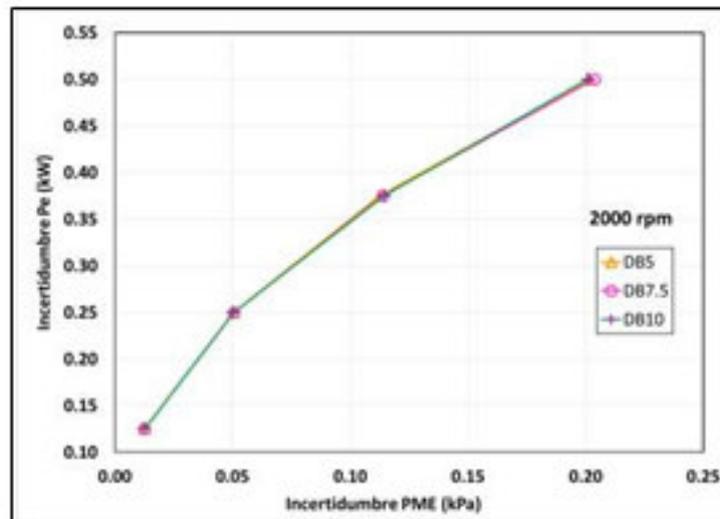
Incertidumbre Potencia efectiva vs Incertidumbre Presión Media Efectiva @ 1000rpm



Incertidumbre Potencia efectiva vs Incertidumbre Presión Media Efectiva @ 1300rpm



Incertidumbre Potencia efectiva vs Incertidumbre Presión Media Efectiva @ 1600rpm



Incertidumbre Potencia efectiva vs Incertidumbre Presión Media Efectiva @ 2000rpm

ANEXO 3: RESULTADOS DE ANALISIS DE ACEITE DE MOTOR PARA DE RETROEXCAVADORA CON SERIE LTG02269

ITRADE S.A.C. - LIMA
Alexander Chávez Manco

CLIENTE: ITRADE S.A.C.
NÚMERO DE EQUIPO: LTG02269
COMPONENTE: MOTOR
NÚMERO DE SERIE: LTG02269
MARCA: CATERPILLAR
MODELO: 420F
LUGAR DE TRABAJO: UNIMAQ
NÚMERO DE GARANTÍA EXTENDIDA:

ORDEN DE TRABAJO: TRU
SERIE COMPONENTE: CR580116
MODELO DEL COMP.: 3054C_CAT
FABRICANTE DEL COMP.: CAT
CONTROL LAB: 549769
MARCA/GRADO ACEITE: CAT/15W-40
TIPO DE FLUIDO: CI-4
FECHA DE TERMINO
NUMERO GARANTIA EXT:



Laboratorio S.O.S. Analisis de Fluidos
Av. Industrial 675 - LIMA - PERU
6265197, 6264762, 6264209
www.ferreyros.com.pe

#CONTROL LABORATORIO	FECHA MUESTREO	FECHA PROCESO	HORÓMETRO	HORAS	¿CAMBIO ACEITE?	RELLENO	UNIDADES DEL RELLENO	¿CAMBIO FILTRO?
R080-51084-0548 Seguimiento	06-Jun-2022	14-Jun-2022	6236.0 HR	265.0 HR	SI			SI
TENDENCIA DEL HIERRO ESTARÍA LIG. ALTO. REVISAR CONSUMO DE ACEITE. Evaluar las Condiciones De Operación Del Equipo. Revisar Temperaturas Del Motor/Sobrecargas. CORTEE INSPECCIONEL OS FILTROS DE ACEITE PARA VERIFICAR LA POSIBLE PRESENCIA DE PARTICULAS. ENVIAR SIGUIENTE MUESTRA A LAS 100 HORAS POSTERIORES AL CAMBIO DE ACEITE.								
R080-51098-0210 Seguimiento	04-May-2022	08-May-2022	5971.0 HR	258.0 HR	SI			SI
Se Detecta Trazas De Agua. Inspeccionar Posibles Fuentes De Contaminación.(Agua). Posible Contaminación Externa. Verifique Posible Condensación De Aire Humedo. Evaluar Condición De Los Sellos. Revise Estado/ Ajuste/Limpieza De SistiAdmisión. Enviar Siguiente Muestra A Las 100 Horas Posteriores Al Cambio De Aceite.								
R080-50279-0538 Normal	04-Abr-2022	12-Abr-2022	5713.0 HR	261.0 HR	SI			SI
Por horas de operación de aceite. Aparentemente los rangos de desgaste son Normales. Rango de Viscosidad Aceptable.								
R080-48325-1157 Normal	04-Mar-2022	09-Mar-2022	5452 HR	250 HR	SI			SI
POR HORAS DE OPERACIÓN DE ACEITE, RANGO DE DESGASTE ACEPTABLES. CONDICION DEL ACEITE ACEPTABLE. RANGO DE VISCOSIDAD ACEPTABLE.								

Elementos de desgaste (ppm)	Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	S	Mo	Ni	Ag	Ti	V	Mn	Cd	Ca	Mg	Zn	P	Ba
R080-51084-0548	3	51	4	4	0	0	10	2	1	1	48	1	0	0	0	1	0	1470	1147	1294	1088	0
R080-51098-0210	2	32	2	2	0	0	8	2	1	2	44	1	0	0	0	1	0	1444	1098	1281	1076	0
R080-50279-0538	1	28	1	2	0	0	7	2	1	1	45	1	0	0	0	0	0	1392	1018	1289	1056	0
R080-48325-1157	1	14	1	4	1	0	7	1	1	1	42	1	0	0	0	0	0	1347	1001	1258	1054	0

Condición de aceite / Conteo Partículas	ST	OXI	NT	SUL	W	A	F	V100
R080-51084-0548	36	8	8	16	N	N	N	13.8
R080-51098-0210	35	8	8	15	T	N	N	13.9
R080-50279-0538	26	10	5	14	N	N	N	14.1
R080-48325-1157	28	9	7	18	N	N	N	14.8

Ag = Plata, Al = Aluminio, B = Boro, Ca = Calcio, Cr = Cromo, Cu = Cobre, Fe = Hierro, P = Fósforo, K = Potasio, Mg = Magnesio, Mo04 or Moly = Molibdeno, Na = Sodio, Ni = Níquel, Pb = Plomo, S = Sulphur, Si = Silicio, Sn = Estaño, Ti = Titanio, Zn = Zinc, A = Anticongelante, F = Combustible, W = Agua, P = Reactivo, N = Negativo, E = Excesivo, NT = Nitación, OX = Oxidación, ST = Heltin, SUL = Sulfatación, ISO = Nivel de limpieza, PV = Indicador de Volumen de Partículas, PQI = Índice de Cuantificador de Partícula, NaW = Agua salada, FL Pt = Punto álgido, TAN = Número Total Ácido, TBN = Número Total Básico, HQO = Kafi Fisher, V100 = Viscosidad a100C, V40 = Viscosidad a 40C, VI = Índice de Viscosidad
Nota: El propósito de este análisis es únicamente para detectar desgastes mecánicos. No debe entenderse como garantía expresa o implícita de que no ocurra una falla del equipo o alguno de sus componentes.

ANEXO 4: RESULTADOS DE ANALISIS DE ACEITE DE MOTOR PARA DE RETROEXCAVADORA CON SERIE LBS02123

ITRADE S.A.C. - LIMA
Alexander Chávez Manco

FAX:
FONO:
TIPO DE MUESTRA: **ACEITE**
TIEMPO DE ENVIO: 5

CLIENTE: ITRADE S.A.C.
NÚMERO DE EQUIPO: LBS02123
COMPONENTE: MOTOR
NÚMERO DE SERIE: LBS02123
MARCA: CATERPILLAR
MODELO: 420F2
LUGAR DE TRABAJO: UNIMAQ
NÚMERO DE GARANTÍA:
EXTENDIDA:

ORDEN DE TRABAJO: ARE
SERIE COMPONENTE: G4D62620
MODELO DEL COMP.: 3054C_CAT
FABRICANTE DEL COMP.: CAT
CONTROL LAB: 8000055484
MARCA/GRADO ACEITE: CAT/15W-40
TIPO DE FLUIDO: CI-4
FECHA DE TERMINO
NÚMERO GARANTÍA EXT:



Laboratorio S.O.S. Análisis de Fluidos
Av. Industrial 675 - LIMA - PERU
6265197, 6264762, 6264209

www.ferreyros.com.pe

#CONTROLLABORATORIO	FECHA MUESTREO	FECHA PROCESO	HORÓMETRO	HORAS	¿CAMBIO ACEITE?	RELLENO	UNIDADES DEL RELLENO	¿CAMBIO FILTRO?
R080-51090-0264	06-Jun-2022	11-Mar-2022	5112 HR	278 HR	SI			SI
Normal	Por horas de operación d aceite. Aparentemente los rangos de desgaste son Normales. Rango de Viscosidad Aceptable..							
R080-51035-0170	04-May-2022	14-May-2022	4834 HR	262 HR	SI			SI
Normal	POR HRS/OPERAC/ACEITE, RANGO DE DESGASTE ACEPTABLES. CONDICION DEL ACEITE ACEPTABLE. RANGO DE VISCOSIDAD ACEPTABLE.							
R080-50274-0210	04-Abr-2022	12-Abr-2022	4572 HR	258 HR	SI			SI
Normal	Por Hrs/Operaci/Aceite, Rango/desgaste aceptables. Cond/Aceite Aceptable. Rango de Viscosidad Aceptable. Seguir Muestreando Para Desarrollar Tendencias.							
R080-50248-0268	04-Mar-2022	09-Mar-2022	4314 HR	252 HR	SI			SI
Normal	SE DETECTA TRAZAS DE AGUA. INSPECCIONAR POSIBLES FUENTES DE CONTAMINACIÓN. (AGUA). POSIBLE CONTAMINACION EXTERIOR. ENVIAR SIGUIENTE MUESTRA PARA CONFIRMAR PRESENCIA DE AGUA.							

Elementos de desgaste (ppm)	Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	B	Mo	Ni	Ag	Ti	V	Mn	Cd	Ca	Mg	Zn	P	Ba
R080-51090-0264	2	18	1	2	0	0	9	1	1	1	42	0	0	0	0	1	0	140	1075	1389	1011	0
R080-51035-0170	5	22	1	3	0	0	12	1	1	3	42	0	0	0	0	2	0	158	1125	1329	1125	1
R080-50274-0210	9	34	1	3	0	0	12	5	3	3	44	0	0	0	0	5	0	168	1038	1240	1128	4
R080-50248-0268	10	22	0	3	0	0	13	8	3	5	45	0	0	0	0	3	0	188	933	1307	1088	3

Condiciones de aceite / Conteo Partículas	ST	OB	NT	SUL	W	A	F	V100
R080-51090-0264	11	9	8	18	N	N	N	14.0
R080-51035-0170	28	8	8	18	N	N	N	14.2
R080-50274-0210	5	9	5	15	N	N	N	14.1
R080-50248-0268	29	8	4	13	T	N	N	13.9

Ag = Plata, Al = Aluminio, B = Boro, Ca = Calcio, Cr = Cromo, Cu = Cobre, Fe = Hierro, F = Fósforo, K = Potasio, Mg = Magnesio, Mo/4 or Moly = Molibdeno, Na = Sodio, Ni = Níquel, Pb = Plomo, S = Sulfuro, Si = Silicio, Sn = Estaño, Ti = Titanio, Zn = Zinc, A = Anticongelante, W = Agua, P = Positivo, N = Negativo, E = Escoria, NT = Nitración, OX = Oxidación, ST = Hollín, SUL = Sulfatación, ISO = Nivel de Impureza, PVI = Indicador de Volumen de Partículas, PQI = Índice de Cuantificación de Partículas, NaW = Agua salada, FL Pt = Punto Álgido, TAN = Número Total Ácido, TBN = Número Total Básico, FDO = Karl Fisher, V100 = Viscosidad a 100C, V40 = Viscosidad a 40C, VI = Índice de Viscosidad

Note: El propósito de este análisis es únicamente para detectar desgastes mecánicos. No debe entenderse como garantía expresa o implícita de que no ocurre una falla del equipo o alguno de sus componentes.

ANEXO 5: MUESTREO DE ACEITE Y ROTULADO PARA ANÁLISIS



FUENTE: Propia



FUENTE: Propia



FUENTE: Propia



FUENTE: Propia

"TOME LA MUESTRA CON EL ACEITE CALIENTE"	Ferreyros CAT		Av. Industrial 675 Apartado 150 - Lima		S-O-S		Telf.: 626-4000 Anexos: 4209 - 4721 - 4762 4763 - 5197 laboratorio@ferreyros.com.pe		ANÁLISIS PERIÓDICO DE FLUIDO	
	UNA EMPRESA FERREYROCOP Piura-Tumbes-Talara-Cajamarca-Lambayeque-Trujillo-Chimbote-Arequipa-Ica-Tacna-Puno-Cusco-Espinar-Chalhuancho Huancayo-Huaraz-Cerro de Pasco-Ayacucho-Yauli-Pucará-Iquitos-Tarapoto-Pucallpa-Bagua-Huánuco-Madre de Dios									
	CLIENTE ITRADE SAC		FECHA (dd/mm/aa) 06-06-22		MARCA/API /SAE DEL FLUIDO 15W 40		<input type="checkbox"/> SIST. HIDRÁULICO		<input type="checkbox"/> TORNAMESA	
	LUGAR DE TRABAJO LINI MAQ		HORÓMETRO/KILOMETRAJE 5112 HR		HORAS/Km DEL FLUIDO 278		<input checked="" type="checkbox"/> MOTOR		<input type="checkbox"/> TANDEM DERECHO	
MODELO 420F2		SERIE LBS02123		MARCA DE LA MÁQUINA CAT		FLUIDO AGREGADO - galones(gal.)		<input type="checkbox"/> COMPRESOR		
NÚM. MÁQUINA -		ORDEN DE TRABAJO -		CAPAC. DEL COMPART. - galones(gal.)		<input type="checkbox"/> EJE/DIF. DELANTERO		<input type="checkbox"/> ROLA		
Después de tomar la muestra? Cambio Fluido? SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		Cambio Filtros? SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		Horómetro / Kilometraje del Compartimento: NOTA:		<input type="checkbox"/> EJE/DIF. POSTERIOR		<input type="checkbox"/> CÍRCULO DE GIRO		
						<input type="checkbox"/> M.F.D.D.		<input type="checkbox"/> CAB. DE ROTACIÓN		
						<input type="checkbox"/> M.F.D.I.		<input type="checkbox"/> CAJA MARINA		
						<input type="checkbox"/> M.F.P.D.		<input type="checkbox"/> TANQUE DE COMBUSTIBLE		
						<input type="checkbox"/> M.F.P.I.		<input type="checkbox"/> RADIADOR		
						<input type="checkbox"/> M.F. DERECHO				
						<input type="checkbox"/> M.F. IZQDO.				

FUENTE: Propia

ANEXO 6: FICHA TECNICA DE DIESEL

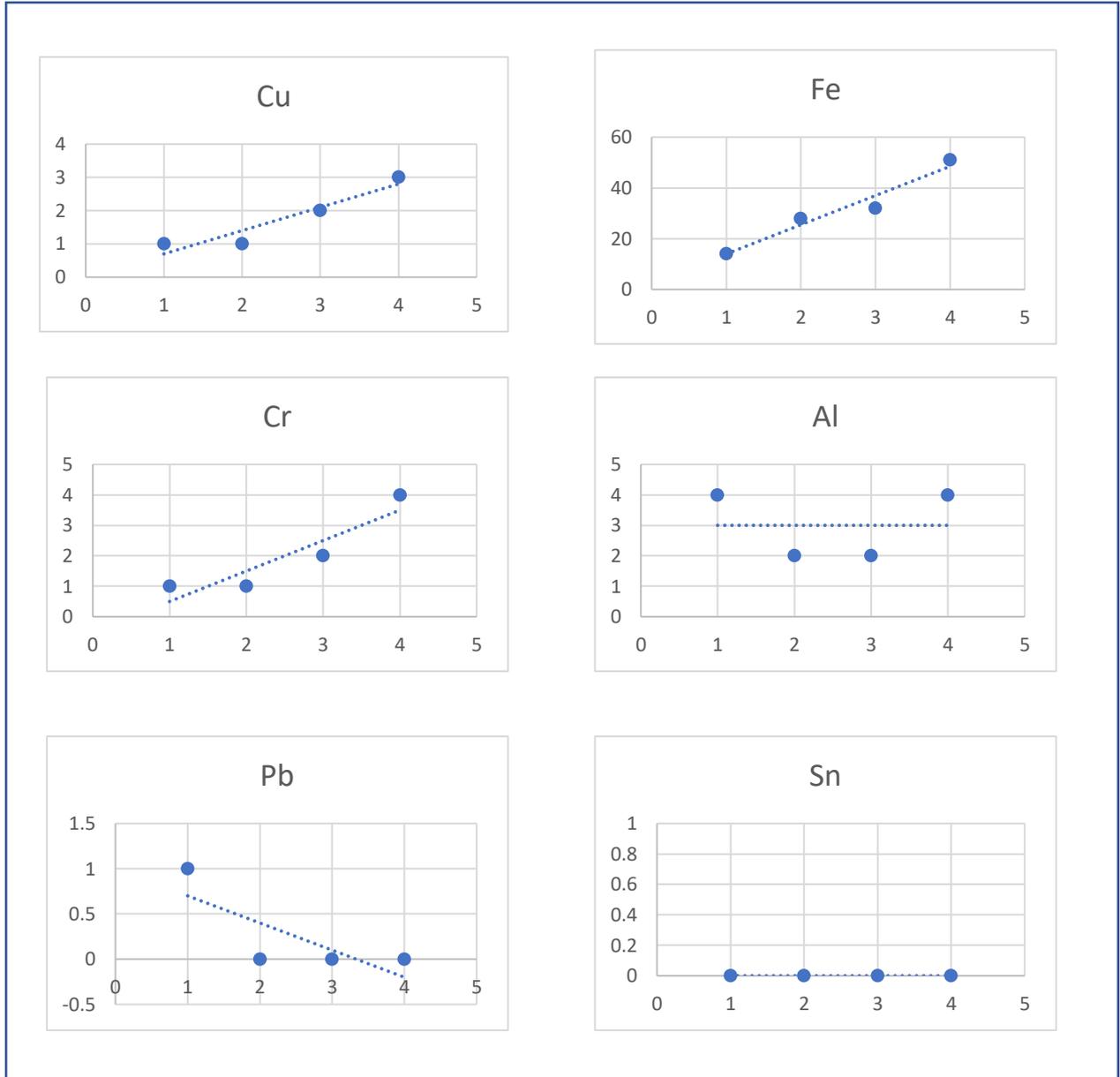
Petróleos del Perú - PETROPERÚ S.A.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ

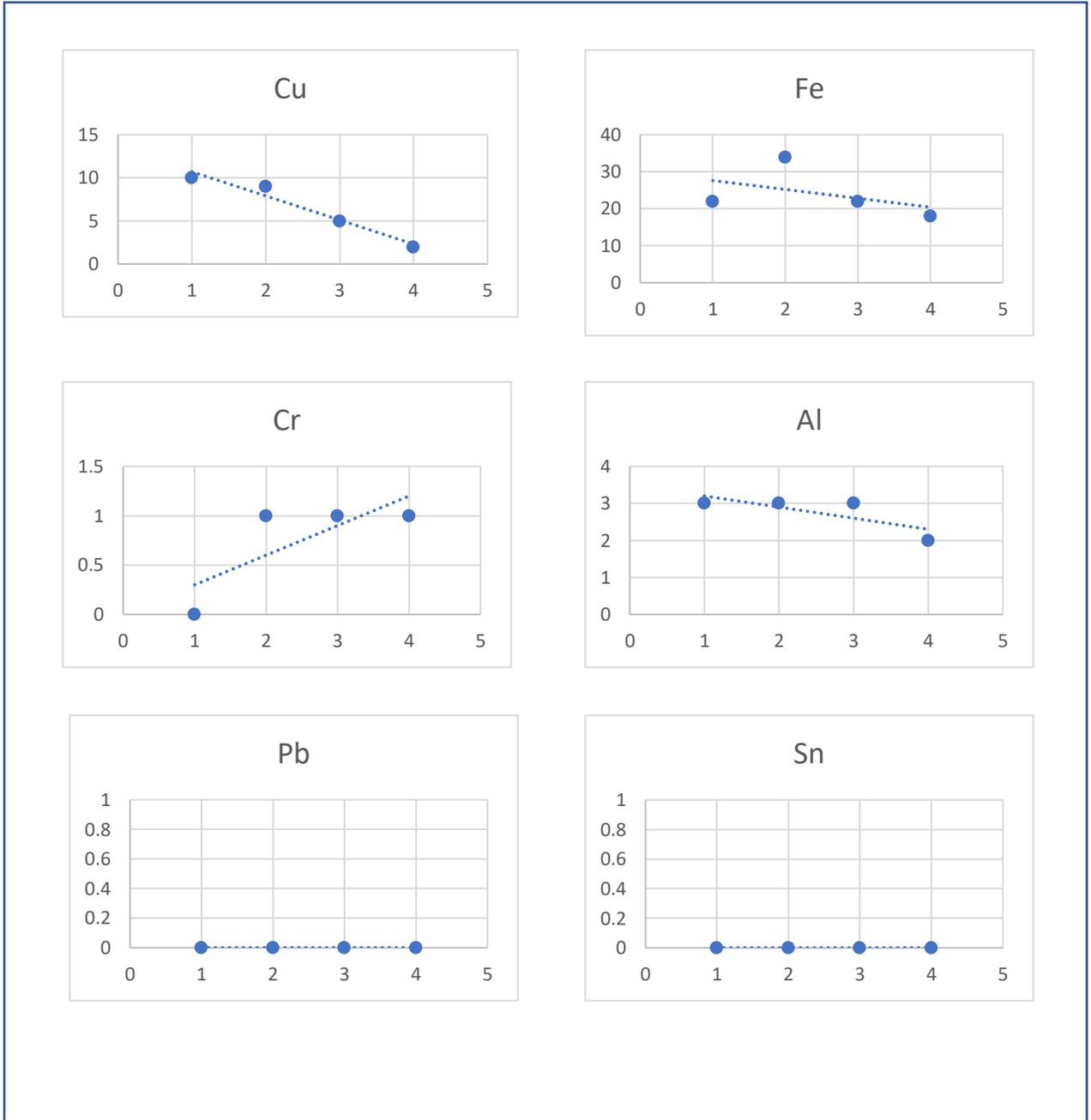
CLASE DE PRODUCTO COMBUSTIBLE		Fecha efectiva: Enero 2019	
TIPO DE PRODUCTO DESTILADO MEDIO		Reemplaza edición de: Enero 2014	
NOMBRE DE PRODUCTO DIESEL N°2 - USO MILITAR			
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO
	MIN.	MAX.	ASTM OTROS
APARIENCIA	Clara y brillante; libre de partículas en suspensión		D-4176 Visual
Color ASTM	3		D-1500, D-6045
VOLATILIDAD			
Destilación, °C (a 760 mm Hg)			D-86, D-2887
Punto inicial de ebullición			
10%V recuperado	Reportar		
50%V recuperado	Reportar		
90%V recuperado	357		
Punto final de ebullición	385		
Residuo + pérdida, %V	3.0		
Punto de inflamación, °C	60.0		D-93, D-6450, D-3828
Densidad a 15°C, Kg/m ³	800	876	D-1298, D-4052, D-7777
FLUIDEZ			
Viscosidad cinemática a 40 °C, cSt	1.7	4.3	D-445
Punto de escurrimiento, °C	-6		D-97, D-5949, D-5950, D-5985
Punto de nube, °C	-1		D-2500, D-5771, D-5772 D-5773
CALIDAD DE IGNICIÓN			
Número de cetano ó	42		D-613
Índice de cetano	43		D-976, D-4737
COMPOSICIÓN			
Número de acidez, mg KOH/Kg	0.30		D-974, D-664
Azufre total, mg/Kg	50		D-5453, D-2622, D-7039, D-7220
Cenizas, % masa	0.005		D-482
Residuo carbón, 10% fondos, %masa (b)	0.20		D-524
	0.14		D-4530, D-189
Contenido de Hidrógeno, % masa	12.5		D-4808, D-5291, D-7171
CORROSIVIDAD			
Corrosión lámina de cobre, 3h, 100°C, N°	1		D-130
ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN			
Total insolubles, mg/100 mL	3.0		D-5304
	1.5		D-2274
CONTAMINANTES			
Partículas contaminantes, mg/L	10		D-6217, D-5452
Trazas de metales:			
Vanadio, mg/Kg	0.5		D-7111, D-3605
Sodio + potasio, mg/Kg	1.0		D-7111, D-3605
Calcio, mg/Kg	1.0		D-7111, D-3605
Plomo, mg/Kg	0.5		D-7111, D-3605
LUBRICIDAD, a 60°C, µm	460		D-6079, D7688
DEMULSIFICACIÓN, a 25°C, minutos	10		D-1401
OBSERVACIONES:			
(a) En concordancia con la Norma Militar MIL-DTL-16884 y con la Norma Técnica Peruana NTP 321.135.			

**ANEXO 7: TENDENCIA DE ELEMENTOS DE DESGASTE EN
RETROEXCAVADORA LTG02269**



FUENTE: Propia

**ANEXO 8: TENDENCIA DE ELEMENTOS DE DESGASTE EN
RETROEXCAVADORA LBS02123**



FUENTE: Propia