



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**PROGRAMACIÓN DE LOS INTERVALOS DE LUBRICACIÓN DE
LA FLOTA DE MAQUINARIA PESADA DEL GAD MUNICIPAL
DE GUANO MEDIANTE ANÁLISIS TRIBOLÓGICO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

JEFFERSON ORLANDO VÁSCONEZ MORETA

JHONNY JAVIER ZUÑIGA OÑATE

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**PROGRAMACIÓN DE LOS INTERVALOS DE LUBRICACIÓN DE
LA FLOTA DE MAQUINARIA PESADA DEL GAD MUNICIPAL
DE GUANO MEDIANTE ANÁLISIS TRIBOLÓGICO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: JEFFERSON ORLANDO VÁSCONEZ MORETA

JHONNY JAVIER ZUÑIGA OÑATE

DIRECTOR: ING. CELIN ABAD PADILLA PADILLA

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Jefferson Orlando Vásquez Moreta & Jhonny Javier Zúñiga Oñate

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Jefferson Orlando Vásconez Moreta & Jhonny Javier Zúñiga Oñate, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autore asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 18 de enero de 2024



Jefferson Orlando Vásconez Moreta
1805026034



Jhonny Javier Zúñiga Oñate
1804779807

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
CARRERA INGENIERIA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **PROGRAMACIÓN DE LOS INTERVALOS DE LUBRICACIÓN DE LA FLOTA DE MAQUINARIA PESADA DEL GAD MUNICIPAL DE GUANO MEDIANTE ANÁLISIS TRIBOLÓGICO**, realizado por los señores: **JEFFERSON ORLANDO VÁSCONEZ MORETA y JHONNY JAVIER ZUÑIGA OÑATE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Milton Javier Solís Santamaría PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-01-18
Ing. Celin Abad Padilla Padilla DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-01-18
Dr. Olga Beatriz Barrera Cárdenas ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-01-18

DEDICATORIA

A Dios y mis padres por ayudarme y confiar en mí en esta gran etapa de mi vida quienes me han brindado apoyo, paciencia, y realizar un gran sacrificio para poder lograr y culminar uno de los acontecimientos más importantes de mi vida, como no a mi hermano quien con lo mínima situación supo ayudarme y apoyarme para decaer ni por un momento, también para mis amigos conocidos y familiares que siempre estuvieron ahí en las buenas y las malas siempre dándome palabras de aliento y momentos de mucha alegría contribuyendo para poder lograr esta gran travesía.

Jefferson

A Dios por darme la fuerza necesaria para esta travesía, gratitud a mis padres, quienes me han brindado su amor, apoyo y sacrificio a lo largo de este arduo proceso, a mis hermanos quienes siempre estuvieron ahí para animarme y recordarme que soy capaz de lograr cualquier cosa que me proponga, a mis amigos les estoy eternamente agradecido por ser esa fuente de alegría, distracción y compañía en todo momento finalmente a todos aquellos que directa o indirectamente contribuyeron en el cumplimiento de este sueño.

Jhonny

AGRADECIMIENTO

Un enorme agradecimiento a Dios quien no me desamparo por ningún momento, a mis grandiosos padres por ayudarme desde el primer momento que llegue a pertenecer a la prestigiosa carrera de Ingeniería Automotriz, siempre estuvieron ahí siendo mi fortaleza en cada uno de los acontecimientos que di, a mi hermano por tenerme fe dándome confianza, a mi familia por estar siempre confiando en que lo iba a lograr, también estoy bien agradecido los profesores que siempre estuvieron ahí guiándonos y así poder culminar este gran desafío.

Jefferson

Agradecimiento infinito a mi Dios por darme la oportunidad de pertenecer a esta prestigiosa carrera Ingeniería Automotriz y por darme unos padres maravillosos que estuvieron presentes en cada paso dado en mi formación educativa, a todos mis hermanos por confiar en mí, a toda mi familia por siempre estar pendientes de todo y como no agradecer a los docentes quienes fueron los intermediarios para poder llegar a culminar este proceso, de manera especial a mi asesora Dr. Olga Barrera y a mi tutor Ing. Celin Padilla. Gracias totales a todos.

Jhonny

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Limitaciones y delimitaciones.....	2
1.2.1 Limitaciones:.....	3
1.2.2 Delimitaciones.....	3
1.3 Problema general de investigación.....	3
1.4 Problemas específicos de investigación.....	4
1.5 Justificación.....	4
1.5.1 Justificación teórica.....	4
1.5.2 Justificación metodológica	5
1.5.3 Justificación práctica.....	5
1.6 Hipótesis.	6
1.6.1 Hipótesis alternativa.	6
1.6.2 Hipótesis nula.	6
1.7 Objetivos.....	6
1.7.1 Objetivo General	6
1.7.2 Objetivos Específicos	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Antecedentes de la investigación	8
2.2 Marco referencial	9
2.2.1 Motor diésel 4 tiempos	9
2.2.1.1 Reseña histórica	9
2.2.1.2 Diferencias entre motor diésel y gasolina	10

2.2.1.3	<i>Comparativa entre motor diésel y gasolina.....</i>	10
2.2.1.4	<i>Combustible diésel.....</i>	11
2.2.1.5	<i>Funcionamiento de un motor diésel.....</i>	12
2.2.1.6	<i>Ciclos de funcionamiento del motor diésel 4 tiempos.....</i>	12
2.2.2	Tribología.....	14
2.2.3	Lubricación y aceites.....	14
2.3	Métodos o regímenes de lubricación.....	15
2.3.1	Régimen de lubricación hidrodinámica.....	16
2.3.2	Régimen de lubricación limite.....	17
2.3.3	Régimen de lubricación mixta.....	17
2.4	Sistema de lubricación en los motores.....	18
2.4.1	El problema de la contaminación del aceite.....	18
2.5	Tipos de desgaste en los motores.....	19
2.5.1	Desgaste adhesivo o por contacto metal-metal.....	19
2.6	Aceite lubricante.....	20
2.6.1	Clasificación de los lubricantes.....	21
2.6.1.1	<i>Aceite semisintético.....</i>	21
2.6.1.2	<i>Aceite base mineral.....</i>	21
2.6.1.3	<i>Aceite tipo base sintética.....</i>	22
2.6.1.4	<i>Ventajas de los aceites de base sintéticas.....</i>	23
2.7	Aditivos de los aceites lubricantes.....	24
2.7.1	Aditivos por aplicación.....	25
2.7.2	Características de los aditivos.....	25
2.7.2.1	<i>Detergentes.....</i>	25
2.7.2.2	<i>Dispersantes sin Cenizas.....</i>	26
2.7.2.3	<i>Aditivos antioxidantes y anticorrosivos.....</i>	26
2.7.2.4	<i>Aditivo mejorador de viscosidad.....</i>	27
2.7.2.5	<i>Aditivo anti-desgaste.....</i>	28
2.7.2.6	<i>Antiespumante.....</i>	28
2.7.3	Clasificación de los aceites lubricantes para el MCI.....	28
2.7.3.1	<i>Clasificación de los lubricantes según el sistema SAE.....</i>	29
2.7.3.2	<i>Clasificación del lubricante según el sistema ISO.....</i>	30
2.7.3.3	<i>Clasificación del lubricante según el sistema API.....</i>	30
2.7.3.4	<i>Clasificación del lubricante según el sistema AGMA.....</i>	32
2.7.4	Propiedades generales de los lubricantes.....	33
2.7.4.1	<i>Propiedades físicas.....</i>	33

2.7.4.2	<i>Propiedades químicas</i>	35
2.7.4.3	<i>Propiedades fisicoquímicas</i>	36
2.7.5	<i>Norma técnica ecuatoriana INEN 2027</i>	38
2.7.5.1	<i>Definición de las normas técnicas ecuatoriana INEN 2027</i>	38
2.7.5.2	<i>Disposiciones generales de la norma INEN 2027</i>	39
2.7.5.3	<i>Requisitos específicos de la norma INEN 2027</i>	40
2.7.5.4	<i>Requisitos complementarios de la norma INEN 2027</i>	41
2.7.6	<i>Inspección de la norma INEN 2027</i>	41
2.7.6.1	<i>Muestreo</i>	41
2.7.6.2	<i>Identificación de muestreo</i>	41
2.7.6.3	<i>Aceptación o rechazo de la norma INEN 2027</i>	42
2.7.6.4	<i>Envasado de la norma INEN 2027</i>	42
2.7.6.5	<i>Etiquetado de la norma INEN 2027</i>	42
2.7.7	<i>Norma técnica ecuatoriana INEN 2029</i>	43
2.7.8	<i>Ensayos realizados en al NTE INEN 2029 determinación de la viscosidad</i>	43
2.7.8.1	<i>Determinación de la viscosidad</i>	43
2.7.8.2	<i>Determinación del índice de viscosidad</i>	43
2.7.8.3	<i>Determinación del punto de inflamación</i>	44
2.7.8.4	<i>Determinación del punto de escurrimiento</i>	44
2.7.8.5	<i>Determinación del color</i>	44
2.7.8.6	<i>Determinación de la acides total</i>	45
2.7.8.7	<i>Determinación del contenido de cenizas</i>	45
2.7.8.8	<i>Determinación del contenido de agua</i>	45

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	46
3.1	Enfoque de la investigación	46
3.2	Nivel de Investigación	46
3.3	Tipo de estudio	47
3.4	Población y muestra	48
3.4.1	<i>Selección de la maquinaria pesada para el estudio</i>	48
3.4.2	<i>Diseño de investigación</i>	50
3.4.3	<i>Planificación para la toma de muestras</i>	51
3.5	Coefficiente de correlación lineal de Pearson	52
3.5.1	<i>Variables que se usa en el estudio</i>	52

3.6	Instrumentos y técnicas de recolección de datos	53
3.6.1	<i>Viscosímetro Brookfield DV-I prime</i>	54
3.6.2	<i>Termómetro infrarrojo 42570</i>	55
3.6.3	<i>Full FluidScan</i>	56
3.6.4	<i>Density Mete DMA 35</i>	57
3.6.5	<i>OilView Quick Check QC</i>	58
3.6.6	<i>Lubricante Gulf Oil International</i>	59
3.6.7	<i>Protocolo para la obtención de muestras de aceite lubricante del motor</i>	60
3.6.7.1	<i>Toma de muestras desde el tapón de drenaje del motor</i>	61
3.6.7.2	<i>Toma de muestras con ayuda de la bomba de vacío o muestreo</i>	61
3.6.8	<i>Proceso para la evaluación de las muestras</i>	62
3.7	Datos obtenidos en os equipos del laboratorio	63
3.8	Limites condenatorios del lubricante	66

CAPITULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	68
4.1	Análisis e interpretación de resultados	68
4.2	Análisis de resultados del aceite Gulf 15W40 nuevo	68
4.3	Caracterización de resultados del aceite con el equipo Viscosímetro Brookfield DV-I prime	69
4.4	Caracterización de los resultados del aceite con el equipo Full FluidScan	69
4.4.1	<i>Porcentaje de aditivos anti-desgaste</i>	70
4.4.2	<i>Numero de base total (TBN)</i>	70
4.4.3	<i>Hollín</i>	71
4.4.4	<i>Agua</i>	72
4.4.5	<i>Glicol</i>	72
4.4.6	<i>Proceso de oxidación</i>	73
4.4.7	<i>Proceso de sulfatación</i>	73
4.5	Caracterización de resultados del aceite con el equipo Oil View Quick Check ...	74
4.5.1	<i>Rigidez dieléctrica</i>	74
4.6	Resultados de caracterización del aceite con el equipo Densímetro	75
4.7	Correlaciones entre propiedades y proceso del lubricante	76
4.7.1	<i>Análisis de la comparación del TBN vs oxidación</i>	76
4.7.2	<i>Análisis de la comparación del hollín vs oxidación</i>	78
4.8	Análisis de la comparación agua vs glicol	80

4.9	Resumen de resultados	81
4.10	Comprobación de hipótesis	82
4.11	Marco Propositivo	83
4.11.1	<i>Propuesta</i>	83

CAPITULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
5.1	Conclusiones	88
5.2	Recomendaciones	89

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Comparación entre motor diésel y gasolina	10
Tabla 2-2: Distribución de los esfuerzos de fricción en las mayores partes rozantes del motor según diversos autores.	18
Tabla 2-3: Aditivos del aceite lubricante sintético.....	24
Tabla 2-4: Especificaciones SAE.....	29
Tabla 2-5: Índice de viscosidad según ISO.....	30
Tabla 2-6: Motores diésel clasificación API.....	31
Tabla 2-7: Sistema AGMA índice de viscosidad.....	32
Tabla 2-8: Causas de contaminación en los lubricantes.....	37
Tabla 2-9: Ensayos de aceite clasificado el servicio API, basada en la norma SAE J183.....	39
Tabla 2-10: Requisitos de propiedades fisicoquímicos de los aceites lubricantes para motores de ciclo de Otto	40
Tabla 2-11: Clasificación de las bases lubricantes parafinas vírgenes y re-refinadas.....	43
Tabla 3-1: Maquinaria que posee el Gad municipal de Guano	49
Tabla 3-2: Especificaciones de las maquinarias seleccionadas	49
Tabla 3-3: Variables que se usan en el estudio	53
Tabla 3-4: Especificaciones generales del termómetro infrarrojo 42570	55
Tabla 3-5: Datos que se obtienen en el equipo FluidScan.	56
Tabla 3-6: Especificaciones del Density Meter DMA 35	57
Tabla 3-7: Datos que se obtiene en el equipo OilView Quick Check QC	59
Tabla 3-8: Especificaciones del aceite utilizado	59
Tabla 3-9: Fechas y tiempos en las que se tomó las muestras de las maquinarias.....	61
Tabla 3-10: Datos extraídos de la Retroexcavadora.....	64
Tabla 3-11: Datos extraídos de la Motoniveladora Komatsu.....	64
Tabla 3-12: Datos extraídos de la Mini cargadora.....	64
Tabla 3-13: Datos extraídos de la Motoniveladora CAT	65
Tabla 3-14: Datos extraídos de la Excavadora.....	65
Tabla 3-15: Limites condenatorios	66
Tabla 3-16: Limites por el Oilwiew Quick Check	66
Tabla 4-1: Análisis del aceite nuevo Gulf Oil International	68
Tabla 4-2: Rigidez dieléctrica.....	74
Tabla 4-3: Coeficientes de correlación	76
Tabla 4-4: Resumen de la degradación de los lubricantes	79

Tabla 4-5: Propuesta de plan de mantenimiento 82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Primer motor diésel.....	9
Ilustración 2-2:	Diferencia entre motor diésel y gasolina.	10
Ilustración 2-3:	Índice de cetano en el combustible Diesel	11
Ilustración 2-4:	Ciclos de funcionamiento de un motor Diesel	13
Ilustración 2-5:	Desgaste entre elementos con y sin lubricación.....	15
Ilustración 2-6:	Curva de Stribeck.....	16
Ilustración 2-7:	Lubricación hidrodinámica.	17
Ilustración 2-8:	Régimen de lubricación limite	17
Ilustración 2-9:	Régimen de lubricación mixta	18
Ilustración 2-10:	Componentes de los aceites lubricantes de motores.	20
Ilustración 2-11:	Refinación del petróleo para obtener.	22
Ilustración 2-12:	Comparativa sintético y mineral.	24
Ilustración 2-13:	Bases que conforman los aditivos en el aceite.	25
Ilustración 2-14:	Dispersante de lubricante para a corrosión.	27
Ilustración 2-15:	Mejoramiento del polímero del índice de viscosidad	27
Ilustración 2-16:	Aditivos anti desgaste esquema de actuación.....	28
Ilustración 2-17:	Funcionamiento del antiespumante.....	28
Ilustración 2-18:	Viscosidad de un lubricante.	33
Ilustración 2-19:	Determinación del color.....	44
Ilustración 2-20:	ASTM D-974, Acidez número de neutralización	45
Ilustración 3-1:	Etapas de la investigación.....	47
Ilustración 3-2:	Lugar donde se sitúa la población de estudio	48
Ilustración 3-3:	Maquinaria seleccionada para el estudio	48
Ilustración 3-4:	Metodología de investigación	50
Ilustración 3-5:	Toma de muestras de lubricante	51
Ilustración 3-6:	Muestras de los aceites lubricantes	51
Ilustración 3-7:	Viscosímetro Brookfield DV-I prime	55
Ilustración 3-8:	Termómetro Infrarrojo 42570	55
Ilustración 3-9:	Equipo FlidScan.....	56
Ilustración 3-10:	Density Meter DMA 35	57
Ilustración 3-11:	Equipo Oilwiew Quick Check QC.....	59
Ilustración 3-12:	Datos arrojados por el Full FluidScan	62
Ilustración 3-13:	Análisis en el viscosímetro de las muestras	62

Ilustración 3-14: Análisis de las muestras en el densímetro.....	63
Ilustración 3-15: Análisis de las muestras en el Oil View Quick Check.....	63
Ilustración 4-1: Viscosidad a 40 y 100 °C.....	69
Ilustración 4-2: Aditivos anti-desgaste vs distancia recorrida.....	70
Ilustración 4-3: TBN vs distancia recorrida	70
Ilustración 4-4: Hollín vs distancia	71
Ilustración 4-5: Agua vs distancia recorrida.....	72
Ilustración 4-6: Glicol vs distancia recorrida	72
Ilustración 4-7: Oxidación vs distancia recorrida.....	73
Ilustración 4-8: Sulfatación vs distancia recorrida	74
Ilustración 4-9: Densidad vs distancia recorrida	75
Ilustración 4-10: Correlación TBN y oxidación de la minicargadora	76
Ilustración 4-11: Correlación de TBN y oxidación de la motoniveladora Caterpillar.....	77
Ilustración 4-12: Correlación de TBN y oxidación de la retroexcavadora.....	78
Ilustración 4-13: Correlación de aditivos oxidación vs hollín de una minicargadora	79
Ilustración 4-14: Correlación de hollín y oxidación de la excavadora	79
Ilustración 4-15: Correlación de agua y glicol de la mini cargadora.....	80
Ilustración 4-16: Correlación de agua y glicol de la motoniveladora Caterpillar.....	81

RESUMEN

El objetivo de este proyecto de investigación fue evaluar los aceites utilizados en la maquinaria pesada para poder programar los intervalos de lubricación del GAD Municipal de GUANO, aplicando análisis tribológicos de la degradación del aceite de motor, se evaluó la atenuación del aceite de cada uno de los motores con una comparativa de las propiedades encontradas en cada muestra estudiada. Las muestras tomadas fueron planificadas a través de un cronograma conforme a la disponibilidad de los operarios, posteriormente fueron analizadas con cada uno de los equipos que dispone el laboratorio de tribología de la Facultad de Mecánica, una vez obtenido los resultados se realizó una exportación de datos a una plantilla de Excel para un respectivo tratamiento minucioso. Concluyendo que, debido a las horas de trabajo, cada maquinaria es sometida a diferentes esfuerzos y dependiendo del estado del motor cada maquinaria analizada tendrá resultados diferentes, se consideró 5 maquinarias en donde se logró evidenciar que la retroexcavadora tiene una criticidad considerable en comparación con las otras maquinarias, donde solo la motoniveladora y la excavadora están en condiciones considerables para trabajar. Estos acontecimientos se dieron debido a los malos mantenimientos que se da a la maquinaria pesada, no se realizan en los intervalos adecuados por eso produce una disminución de TBN considerablemente, el aumento de hollín, oxidación, y la mezcla del líquido refrigerante con el aceite, por otra parte, al momento de haber finalizado estos análisis se logró realizar una programación a los intervalos ya sea de recorte o ampliación a las horas de trabajo para su respectivo cambio.

Palabras clave: < LUBRICANTE DE MOTOR >, < MAQUINARIA PESADA >, < ANÁLISIS TRIBOLÓGICO >, < DEGRADACIÓN DE ACEITE >, < GUANO (CANTÓN) >.

0233-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

The objective of this research project was to evaluate the oils used in heavy machinery to program the lubrication intervals of GAD Municipal de GUANO, applying tribological analysis of the degradation of engine oil, the attenuation of the oil in each of the engines was evaluated with a comparison of the properties found in each sample studied. The samples taken were planned through a schedule according to the availability of the operators, then they were analyzed with each of the equipment available in the tribology laboratory at Mechanics School. Once the results were obtained, the data was exported to an Excel template for a detailed treatment. Concluding that, due to the work hours, each machinery is subjected to different efforts and depending on the state of the engine each analyzed machinery will have different results. It was considered 5 machineries where it was possible to evidence that the backhoe loader has a considerable criticality compared to the other machineries, where only the motor grader and the excavator are in considerable conditions to work. These events occurred due to poor maintenance of the heavy machinery, which is not performed at the appropriate intervals, thus producing a considerable decrease in TBN, an increase in soot, oxidation, and the mixing of coolant with the oil. On the other hand, when these analyses were completed, it was possible to program the intervals either by cutting back or extending the working hours for their respective change.

Keywords: < ENGINE LUBRICANT >, < HEAVY MACHINERY >, < TRIBOLOGICAL ANALYSIS >, < OIL DEGRADATION >, < GUANO (CANTON) >



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema MSc.

C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realizará un análisis tribológico en la maquinaria pesada del GAD Municipal de Guano que se le da como respuesta a la problemática de contar con una planificación de intervalos de lubricación mediante esto se realizará una comparativa entre los resultados obtenidos y las propiedades técnicas de distintos lubricantes a través de revisión bibliográfica de literatura científica para comprender las especificaciones de los lubricantes de maquinaria pesada.

Un programa de lubricación es el pilar fundamental del mantenimiento preventivo (planificado), el mantenimiento destinado a mantener un cierto nivel de servicio de los equipos, programando intervenciones en sus puntos vulnerables en los momentos más adecuados. La lubricación es una función importante en el mantenimiento de los procesos de producción y consiste en introducir una capa intermedia de materia extraña entre dos superficies relativamente móviles que están sujetas a fricción o desgaste. Las principales funciones de los aceites lubricantes son: reducir la fricción, reducir el desgaste, regular la temperatura, reducir la contaminación, reducir la corrosión y transmitir fuerza y movimiento (presión hidráulica). Cada una de estas funciones se ve afectada por las condiciones de falta de aceite lubricante.

Con la ayuda de los equipos que permitirán realizar los respectivos análisis ayudará a establecer criterios razonables o críticos que indiquen los intervalos que se debe tomar muestras para un buen análisis ya que mientras más datos obtengamos mejor será el análisis para una buena programación en la lubricación.

En el GAD Municipal del Cantón Guano mediante esta programación de intervalos de lubricación nos ayudará a mantener los motores más protegidos de la maquinaria pesada y de esta manera acortar costos a largo plazo ya sea en mantenimientos o reparaciones de motor, de esta forma que la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo aportará con el conocimiento en la materia para su mejor servicio con la maquinaria pesada.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Al emplear el análisis del aceite usado este revela la relación cantidad de dinero vs mantenimiento correctivo. Brindando un ahorro en el presupuesto por mantenimiento por cada maquinaria pesada, obteniendo también confiabilidad alta en los resultados acerca del estado real en el que se encuentra el motor, previniendo fallas y paradas.

El GAD Municipal de Guano actualmente no cuenta con un programa de lubricación establecido que documente puntos clave de la maquinaria pesada, tipo de lubricante, forma de lubricación, frecuencia, etiquetado, etc. La lubricación se desarrolla de manera empírica, surge la necesidad de establecer un programa de lubricación que cumpla con todos los requerimientos.

La problemática que se puede suscitar en el GAD Municipal de Guano al no contar con una programación de intervalos de mantenimiento de lubricación en la maquinaria pesada ocasiona problemas en el transcurso del tiempo de utilización de las maquinarias, desgaste prematuro de las piezas, fallos en los componentes, aumento de los costos de mantenimiento, reducción de la vida útil de la maquinaria, además de la paralización innecesaria por la mala utilización de los aceites esto conllevaría a elevar los presupuestos de mantenimiento al municipio ya que se deberá ocupar una parte de ello para la adquisición o alquiler de nueva maquinaria y no dar paralización a los proyectos programados, en si no contar con una programación de mantenimiento de lubricación es crucial para garantizar su rendimiento óptimo y prolongar su vida útil.

1.2 Limitaciones y delimitaciones

Un análisis tribológico de maquinaria pesada se enfoca en el estudio de la interacción entre superficies en movimiento relativo, con el objetivo de identificar problemas relacionados con el desgaste, la fricción y la lubricación. Sin embargo, este tipo de análisis tiene algunas limitaciones y delimitaciones que deben ser consideradas:

1.2.1 Limitaciones:

- La toma de muestras en el taller del GAD Municipal de Guano es un tanto restringida debido a que la maquinaria esta dispersa en todo el cantón realizando trabajos y son pocas las veces que se encuentra la maquinaria en el garaje.
- La precisión de los resultados del análisis tribológico puede verse afectada por factores como la calidad de los datos de entrada, el modelo utilizado para el análisis y las suposiciones realizadas durante el análisis.
- La interpretación de los resultados del análisis puede ser difícil debido a la complejidad de los procesos tribológicos y la interacción entre múltiples factores.
- El análisis tribológico no puede proporcionar una solución completa a los problemas de desgaste, fricción y lubricación, ya que estos problemas están inmersos en una buena o mala conducción, también pueden estar relacionados con otros factores como el diseño mecánico, el mantenimiento.

1.2.2 Delimitaciones

- El análisis tribológico de la maquinaria del GAD Municipal de Guano nos ayudara a la programación de los intervalos de lubricación si así fuere el caso.
- El análisis tribológico se enfoca principalmente en el estudio de los lubricantes de la maquinaria, y no considera otros aspectos importantes como el impacto ambiental o la seguridad del operador.
- El análisis tribológico se enfoca en el estudio de problemas existentes en la maquinaria en torno a la falta de intervalos de lubricación, y no proporciona una evaluación completa de la vida útil de los componentes ni de su desempeño futuro.
- El análisis tribológico se basa en suposiciones y modelos simplificados que pueden no reflejar completamente las condiciones reales de operación de la maquinaria.

1.3 Problema general de investigación.

¿Es factible la elaboración de un plan de intervalos de lubricación de los motores de la flota de maquinaria pesada del GAD Municipal de Guano mediante análisis tribológicos?

1.4 Problemas específicos de investigación.

- ¿Cómo saber si la flota de maquinaria pesada del GAD Municipal del cantón de Guano está utilizando el lubricante adecuado para el trabajo que realiza?
- ¿Es posible definir un protocolo para la toma de muestras de aceite lubricante de los motores de la maquinaria pesada en el cantón Guano, teniendo en cuenta los procedimientos de operación de los equipos de medición tribológica?
- ¿Qué importancia tienen las características de los lubricantes utilizados por el Gad Municipal del cantón Guano cuando inició operaciones?
- ¿Qué se debe hacer para descubrir el desgaste del aceite de los motores de la maquinaria pesada del GAD municipal del cantón Guano durante su vida útil?
- ¿Es factible la propuesta de un nuevo esquema de lubricación para los motores de la maquinaria pesada del GAD Municipal de Guano luego de obtener los resultados del análisis tribológico del desgaste del lubricante?

1.5 Justificación

1.5.1 Justificación teórica

En el mantenimiento predictivo de los motores Diésel, la herramienta utilizada es el análisis del aceite y más efectivo al momento de analizar fallas por desgaste al interior del motor donde no se puede observar a simple vista.

Esto nos brinda innumerables datos como: el estado del lubricante y el desgaste interno del motor, que son signos e indicadores de posibles daños. Al analizar el aceite usado de una flota de maquinaria pesada, el objetivo es determinar qué componentes mecánicos del motor están sujetos a desgaste. Utilizando los parámetros obtenidos de estos análisis, se desarrollará un plan de mantenimiento de la flota para evitar tiempos de inactividad no planificados. (Barrera Yáñez, 2021, pp. 17-25)

Para ello, la industria de la ingeniería automotriz propone un proyecto de encadenamientos en el que la industria pueda aplicar conocimientos técnicos a la comunidad y buscar optimizar los recursos de las entidades públicas para ayudarlas a mejorar los intervalos de cambio de aceite a través de asesorías técnicas y en respuesta a estas consideraciones ver si funcionarán después de la aplicación, o considere usar un lubricante diferente si es necesario.

Los equipos para realizar el estudio de lubricantes en la obtención de resultados técnicos en la muestra de maquinaria pesada del GAD Municipal de GUANO son parte del laboratorio de tribología de la carrera de Ingeniería Automotriz, mismo en el que se realizaran todas las pruebas.

1.5.2 Justificación metodológica

Este trabajo se realizó bajo un tipo de investigación mixta y combinada, eso quiere decir, a partir de la participación de la investigación bibliográfica y la investigación de campo, dónde y cuándo ocurre el fenómeno objeto de estudio, ya que este trabajo se realizará con muestreo en el municipio del GAD de Guano. Además, este estudio se considera aplicado porque uno de sus objetivos es recolectar y analizar muestras a través de pruebas tribológicas para desarrollar un plan de lubricación para abordar los problemas planteados.

Con los equipos proporcionados por el Laboratorio de tribología de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH para el análisis como son el viscosímetro centrifugo, decímetro, Oil View Quick Check, FluidScan, facilita información de las propiedades de los aceites que se ocupó en la flota de la maquinaria pesada del GAD Municipal de Guano gracias esos resultados se comprende la degradación del aceite en su tiempo de utilización.

1.5.3 Justificación práctica.

Con el motivo de verificar la correcta utilización del aceite y el desgaste que se produce al interior del motor se realiza el análisis de composición del aceite que se sustrae de los motores de la maquinaria pesada del GAD Municipal de Guano el cual están sometidos a diversos esfuerzos por ese motivo se procede a la utilización de los equipos de análisis como son viscosímetro centrifugo, decímetro, Oil View Quick Check, FluidScan.

Con los resultados obtenidos en el laboratorio de los diferentes equipos de diagnóstico y análisis de los aceites de la maquinaria pesada existentes en el GAD Municipal de Guano da como resultado, brindar información de una buena y correcta utilización de los aceites, y por ende reducir gastos innecesarios en la maquinaria por una mala programación de mantenimiento preventivo de motores.

1.6 Hipótesis.

1.6.1 Hipótesis alternativa.

El análisis tribológico de la degradación del aceite lubricante utilizado en la maquinaria pesada del GAD Municipal de Guano permite establecer el intervalo de lubricación para la programación del mantenimiento.

1.6.2 Hipótesis nula.

El análisis tribológico de la degradación del aceite lubricante utilizado en la maquinaria pesada del GAD Municipal de Guano no permite establecer el intervalo de lubricación para la programación del mantenimiento.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Implementar una programación de los intervalos de lubricación de la flota de maquinaria Pesada de GAD Municipal de GUANO mediante análisis Tribológicos para lograr mejores eficiencias al momento de realizar los mantenimientos.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Conocer sobre las propiedades técnicas de distintos lubricantes a través de revisión bibliográfica de literatura científica para comprender las propiedades específicas de los lubricantes de maquinaria pesada.
- Describir el aceite que está siendo aplicado en los motores por parte de la flota de maquinaria pesada del GAD Municipal de GUANO mediante los equipos disponibles en el Laboratorio de tribología de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH para conocer las propiedades físico químicas iniciales del aceite.
- Caracterizar el aceite lubricante usado en la maquinaria pesada del GAD Municipal de Guano mediante los análisis tribológicos para obtener una referencia inicial en el siguiente estudio.

- Establecer criterios razonables y protocolos de la manipulación de los aceites mediante las investigaciones que se hizo al momento de tomar una muestra para que no exista ningún contratiempo o deterioro de la mala utilización.
- Analizar los resultados de la investigación realizada en la maquinaria del GAD Municipal de GUANO para establecer criterios de mejora estableciendo tiempos y recomendaciones al momento de realizar un mantenimiento a la maquinaria pesada.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

En el seguimiento del análisis y conceptualización de los aceites lubricantes usados en la maquinaria pesada, que son motores encendidos por comprensión, ayuda a dar un mejor seguimiento al estado real del aceite según el trato y el mantenimiento preventivo y correctivo que se tiene en la maquinaria pesada, puesto que el lubricante se encuentra gravemente afectado por la quema de combustible al momento de generar energía y dar movimiento a las rudas, en ocasiones al trabajo que se somete la maquinaria tiende a adquirir contaminantes por los cual su composición se ve afectada.(Martínez Pérez y Barroso Moreno, 2008, p. 30).

(Martínez Pérez y Barroso Moreno 2008, pp. 1-5)Utilizando la herramienta de trabajo Root Cause Analysis (RCA) se utiliza para extraer conclusiones preliminares sobre las fallas de la guía de la válvula de unión de fricción de la tribología del motor de combustión interna, y luego encontrar la causa final y resolver el problema. Este método permite sacar conclusiones sobre la causa del problema. El análisis de causa raíz (RCA) es un proceso muy importante y técnicamente riguroso que se utiliza para determinar la verdadera causa de la falla de los componentes de la máquina, incluidos los pares de fricción. En el análisis presentado en este trabajo, el uso de un árbol lógico causal fue de gran utilidad para determinar la causa de una falla en el par cinemático piloto de las válvulas del sistema básico de distribución. Motor de combustión interna.

En el trabajo investigado “ANÁLISIS DE DESGASTE EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA A DIÉSEL” desarrollado por (Castillo Martín, 1998, pp. 1-11). El proyecto establece un estudio y análisis de la perdida de propiedades de las piezas en motores de combustión a diésel. Se considera que se utiliza con motores en línea de 4 tiempos y 6 cilindros porque este tipo de motor puede tener fácilmente una base de datos completa de estadísticas de desgaste desde el inicio de la operación. La información disponible se utilizará para abordar los problemas de desgaste que se encuentran en la mayoría de los equipos donde no se puede predecir la vida útil del equipo. Reducir los costos operativos en un 15% y aumentar el rendimiento de la maquinaria y/o equipo pesado en un 10%. En general, el desgaste juega un papel dominante en la vida útil de un motor de combustión interna. El desgaste es el enemigo de muchas industrias, ya que su comportamiento tiende a agotar los recursos de forma prematura. Los ingenieros han comenzado a combatirlo, utilizando análisis tecno económicos para tratar de no ser vencidos y evitar arrojar desechos al patio.

(Jaramillo et al., n.d, pp. 1-284.) Menciona que su investigación se realizó determinando el tipo de aceite usado y su periodo de cambio, de esta manera se planteó una encuesta para poder determinar el tipo de aceite más usado en los vehículos de servicios de taxis, eso lo realizo en flotas de taxis de cuenca porque están sometidos a periodos de funcionamiento más extensos y producen desechos automotrices sólidos y líquidos en corto tiempo.

Para el ESTUDIO DEL DESGASTE DEL MOTOR (Barrera Yáñez, 2021, pp. 17-90) establece una toma de muestras específicamente en los intervalos de cambio de aceite para tener un mejor concepto y resultados de la degradación del lubricante, para esta investigación se realizó en un vehículo específico Chevrolet Spark 2009 con lubricante Kendall 20w50, se evidencia una caída del TBN, además que la mayor degradación del aceite se produce durante los primeros 1000 kilómetros y una recuperación de propiedades en los últimos 1000 km de recorrido, se recomienda una reducción de tiempo de cambio de aceite.

2.2 Marco referencial

2.2.1 Motor diésel 4 tiempos

2.2.1.1 Reseña histórica

Muchos lo consideran un motor térmico de alto rendimiento y baja contaminación. Concebido por Rudolf Diesel, de quien he tomado el nombre genérico, este tipo de motor fue originalmente diseñado para ser fabricado a partir de carbón pulverizado.(Giovanni et al., 2011, p. 26).



Ilustración 2-1: Primer motor diésel

Fuente:(Viteri Bonilla y Jaramillo Hidalgo., 2011, p. 26)

El 28 de febrero de 1892, Rudolf Diesel recibió su primera patente de motor por la que se hizo famoso. De hecho, esto difiere de la gasolina en un pequeño detalle: no necesita una chispa para comenzar a arder. La búsqueda de Diesel de un motor de alto rendimiento tuvo en cuenta que,

según los principios de la termodinámica del físico N.L Sadi Carnot, uno de los padres de la termodinámica, una mezcla de aire y combustible tiene el potencial de explotar si se comprime lo suficiente como para que él se cumplen las siguientes condiciones. (Viteri Bonilla y Jaramillo Hidalgo., 2011, p. 26).

2.2.1.2 Diferencias entre motor diésel y gasolina

Diesel diseñó un motor de cuatro tiempos con una alta relación de compresión capaz de funcionar con varios tipos de combustibles pesados (líquidos y sólidos). El primer intento, patrocinado por Man Corporation, fracasó. El motor simplemente explotó y Diesel pasó otros tres años afinando el primer motor práctico de este tipo. En 1898, seis años después de registrar su patente, hizo una demostración de su primer motor práctico, un motor mono cilíndrico de cuatro tiempos refrigerado por agua en Múnich. Enólogo estadounidense. Adolphus Busch recibió una patente estadounidense y pronto una motocicleta de dos cilindros generaba electricidad para su fábrica. (Viteri Bonilla y Jaramillo Hidalgo., 2011, p. 27).

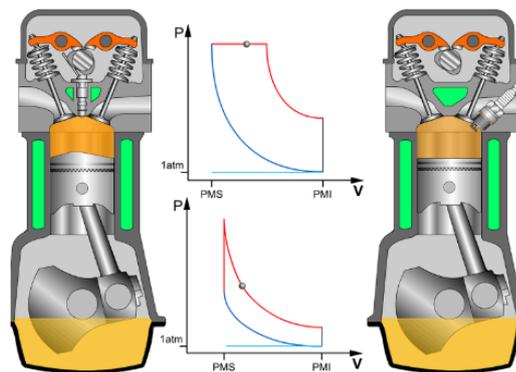


Ilustración 2-2: Diferencia entre motor diésel y gasolina.
Fuente:(Stefanelli, E., 2023)

2.2.1.3 Comparativa entre motor diésel y gasolina

Tabla 2-1: Comparación entre motor diésel y gasolina

	En contra	A favor
Gasolina	<p>Fuente de energía más cara por recorrido en kilómetro.</p> <p>Consumo más alto que el diésel.</p> <p>Menos recomendable que el diésel para hacer muchos viajes largos al año.</p>	<p>Más potencia que permite subir revoluciones.</p> <p>Motores silenciosos, más sencillos lo que ayuda a reducir las averías.</p> <p>Bajo costo en reparaciones, menor costo de adquisición</p>

	Consumo muy alto en coches grandes y pesados. Poco recomendable para hacer muchos kilómetros al año.	del vehículo no es ruidoso, optimo al arrancar en frio.
Diesel	Mayor durabilidad y larga vida. Reducen las probabilidades de que presenten fallas a través del tiempo, ganando confianza en los usuarios de este motor. Mayor economía de marcha	Los motores diésel, al ser robustos y realizar trabajos para mover cargas pesadas, son más pesados que los motores a gasolina. Menor consumo de combustible, menor consumo del carburante, mayor durabilidad del motor, alto precio al momento de vender el vehículo.

Fuente:(Viteri Bonilla y Jaramillo Hidalgo., 2011, p. 27)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

2.2.1.4 Combustible diésel.

A diferencia del combustible utilizado en los motores Otto, el combustible diésel debe quemarse de la manera más favorable posible para evitar la postcombustión. La inflamabilidad se define por el número de cetano CaZ. Cuantos más hidrocarburos con moléculas de estructura en cadena abarque un combustible diésel tanto más propicio es el encendido. El número de cetano de los combustibles para los automotores con motor diésel deben ser en lo posible superior a 45. (Viteri Bonilla y Jaramillo Hidalgo., 2011, p. 28).

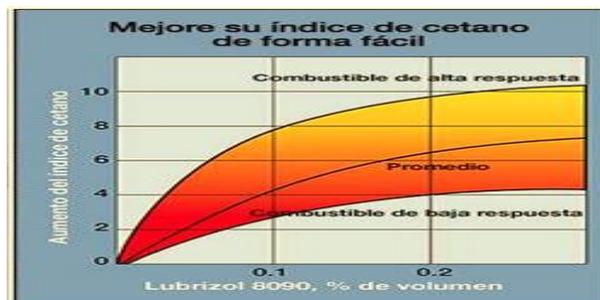


Ilustración 2-3: Índice de cetano en el combustible Diesel

Fuente: (Viteri Bonilla y Jaramillo Hidalgo., 2011, p. 28).

2.2.1.5 Funcionamiento de un motor diésel.

Los motores diésel, también conocidos como motores de encendido por compresión, consumen combustible pesado como el diésel, y la mezcla se lleva a cabo en la cámara de combustión. Cuando el combustible se inyecta en el aire calentado y se comprime fuertemente y se enciende, la presión que generan es muy de altura, y sus componentes deben ser fuertes y pesados, por lo que el número de revoluciones es limitado. Los motores diésel pueden llegar hasta los 5.000 rpm, considerando que el motor se volverá ineficiente si superas ese rango. (Luna Mora y Mier Cabezas. 2014, p. 60).

El funcionamiento de un motor diésel es funcionalmente igual y fundamentalmente diferente al de un motor Otto en la forma de mezcla, la forma de encendido y el desarrollo de la combustión. En este tipo de motor, la mezcla tiene lugar dentro del motor. Los cilindros y la combustión comienzan con autoencendido, y se requieren dos vueltas del cigüeñal para realizar 4 ciclos de trabajo.(Luna Mora y Mier Cabezas., 2014, p. 61).

Un motor diésel es un motor térmico o de combustión interna. En los puertos de admisión solo se introduce aire mezclado con combustible en el cilindro, cuentan con un sistema de inyección que introduce combustible pulverizado a la cámara de combustión. La presión en la cámara de combustión aumenta debido al contacto con el aire que ha adquirido una temperatura elevada (entre 7000°C y 9000°C), obteniendo así una temperatura que inicia el encendido del combustible, obteniendo así el pulso del combustible. El pistón se mueve hacia abajo, y su ciclo de trabajo se divide en admisión, compresión, combustión y escape se realizan cuatro veces.(Luna Mora y Mier Cabezas., 2014, p. 61).

Los motores diésel también consumen biodiésel, un grupo de combustibles oxigenados derivados de recursos biológicos renovables (aceites vegetales, aceites animales, aceites reciclados y grasas de desecho). Los motores diésel también consumen biodiésel, un grupo de combustibles oxigenados derivados de recursos biológicos renovables. (aceites vegetales, aceites animales, aceites reciclados y grasas usadas).(Luna Mora y Mier Cabezas., 2014, p. 61).

2.2.1.6 Ciclos de funcionamiento del motor diésel 4 tiempos.

El funcionamiento de un motor diésel de 4 tiempos es similar a un motor de gasolina de 4 tiempos en sus 4 ciclos, la diferencia es que la combustión en el ciclo diésel está dada por la presión desarrollada en la cámara de combustión, a diferencia del motor. La gasolina, que se inicia con

una reacción entre la mezcla (aire-combustible) y la chispa que produce la bujía, estos ciclos son:(Draghi y Filgueira, 2015, p. 3).

- 1er ciclo: admisión (aspiración)
- 2do ciclo: compresión
- 3er ciclo: combustión (expansión)
- 4to ciclo: escape

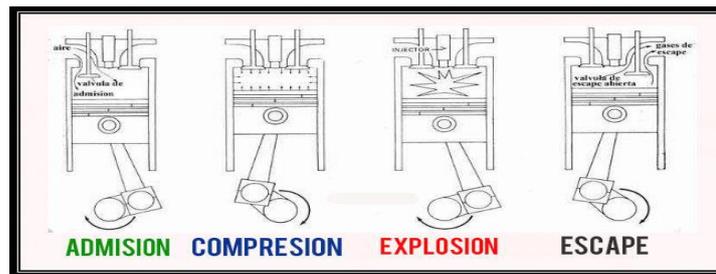


Ilustración 2-4: Ciclos de funcionamiento de un motor Diesel

Fuente: (Draghi, L. Filgueira, R., 2015, p. 4).

0-1.- Admisión (isobárica): La válvula de admisión se abre inmediatamente en PMS y cuando el pistón desciende a PMI, deja entrar aire exterior, por lo que la admisión asume que el cilindro está completamente lleno de aire, que circula parcialmente sin fricción. canales de consumo. Entonces se encuentra que la presión permanece constante e igual a la presión atmosférica. (Draghi y Filgueira, 2015, p. 4).

1-2.- Compresión (adiabática): cuando el pistón alcanza el PMI, la válvula de entrada se cierra y el pistón vuelve a subir. Durante esta carrera, el aire se comprime hasta llenar el volumen correspondiente de la cámara de combustión. Esta transformación es adiabática, es decir, sin intercambio de calor con el ambiente externo, porque ocurre en muy poco tiempo. La temperatura alcanzada al final de la compresión supera los 600 °C porque el volumen de aire entrante se reduce mucho y alcanza la temperatura necesaria para provocar la automatización del combustible sin chispa eléctrica. El aire se comprime desde el volumen V1, que contiene el movimiento y la cámara de combustión, hasta el volumen V2, que expresa sólo la cámara de combustión. (Draghi y Filgueira, 2015, p. 4).

2-3.- Inyección y combustión (isobárica): la inyección de combustible a muy alta presión y finamente repartida se produce cuando el pistón alcanza el PMS. El poder calorífico del combustible contribuye al calor de entrada (Q2) y la combustión se mantiene a una presión constante. El punto V3 es donde comienza la expansión real de los gases, lo que resulta en una caída significativa de la presión y un aumento significativo del volumen a medida que el pistón

desciende hacia el punto muerto inferior. La relación $V3/V2$ se denomina relación de inyección (RI). (Draghi y Filgueira, 2015, p. 4).

3-4.- Terminada la combustión, el pistón desciende hasta el PMI y la presión alcanzada incide en la superficie del pistón, generando la fuerza necesaria para realizar el trabajo. La expansión (3-4) es la única vez que el motor está activo. La presión interna disminuye a medida que aumenta el volumen del cilindro. (Draghi y Filgueira, 2015, p. 4).

4-1.- La primera fase de los gases de escape (Isócara): en el PMI (sección 4) la válvula de escape se abre inmediatamente y se supone que los gases quemados se extinguen tan rápido que el pistón no se mueve, se puede; descubrieron que el cambio que experimentan es uno de intensidad constante. La presión en el cilindro cae a la presión atmosférica y el calor $Q1$, que no se convierte en trabajo, se transfiere a la atmósfera. (Draghi y Filgueira, 2015, p. 4).

1-0.- La segunda fase de los gases de escape (isobárica): los gases residuales que quedan en el cilindro son expulsados por el pistón durante su recorrido (1-0) hasta el PMS. Una vez logrado esto, la válvula de escape debe cerrarse inmediatamente y la válvula de admisión se abre para iniciar un nuevo ciclo. Dado que se supone que la pérdida de carga por fricción de los gases quemados no desaparece cuando circulan por los tubos de escape, el cambio (1-0) puede considerarse isobárico. (Draghi y Filgueira, 2015, p. 4).

2.2.2 Tribología

Antes de introducimos a los conceptos de tribología debemos saber que se define con tribología **Tribología**: Es la ciencia de la fricción, el desgaste y la lubricación, entendiendo la interacción del movimiento relativo de superficies en sistemas naturales y artificiales. Esto incluye el diseño y la lubricación de los rodamientos.

En un principio, la tribología consistía únicamente en el estudio de la fricción (Tribos = fricción, Logos = sentido), actualmente, esta ciencia incluye no solo el estudio de la fricción, sino también la lubricación, el desgaste y otros puntos relacionados con la vida útil de los equipos. (INGENIERO INGENIERO MARINO, 2021).

2.2.3 Lubricación y aceites

El trabajo de disminuir la fricción entre dos partes móviles mediante la aplicación de un fluido para separar por una película diminuta de lubricante las dos superficies en contacto. El término grasa se utiliza cuando la grasa se utiliza como base lubricante. (ASELUBLE, 2014).

Debido a la lubricación, se realizan varias funciones:

- Reducir la fricción (fricción o deformación),
- Reducción del desgaste de las piezas
- Absorbe/mitiga el impacto,
- Reducir/controlar la temperatura,
- Prevenir la corrosión
- Aísle los componentes de la contaminación

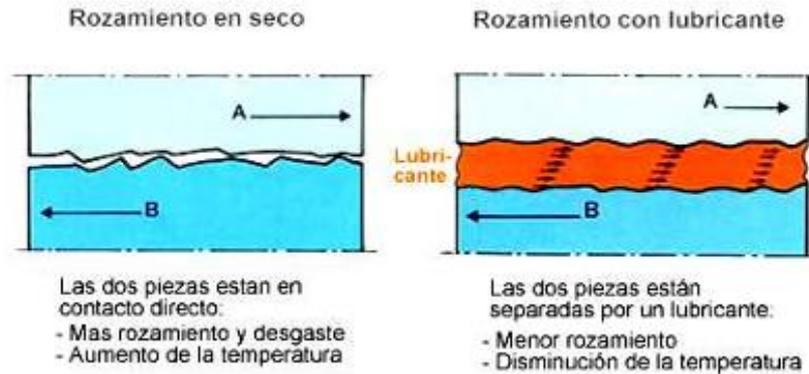


Ilustración 2-5: Desgaste entre elementos con y sin lubricación.
 Fuente: (Avila,J. 2017, p. 6)

La lubricación reduce la fricción entre las partes móviles evitando el desgaste y reduce la resistencia pasiva de las partes estacionarias sin dañar el material. Aceites lubricantes obtenidos por refinación de la fracción pesada del petróleo crudo (fracción de petróleo refinado no utilizada para hidrocarburos tipo gasolina/petróleo/queroseno). Los lubricantes pueden ser fluidos o líquidos (aceite), sólidos (grasa, silicona) o sólidos (PTFE, grafito). Las características y beneficios de un lubricante varían, pero es importante saber que todos tienen el mismo ingrediente principal, llamado "base lubricante", que constituye del 75% al 85% del lubricante y puede ser de origen mineral o sintético. (Avila, 2017, p. 6).

2.3 Métodos o regímenes de lubricación

Antes de introducirnos al tema de lubricación debemos conocer y estudiar la curva de Stribeck.

Curva de Stribeck:

A inicio de 1900 Stribeck describió y adopto la variación del coeficiente de fricción con el parámetro de Hersey.

$$H = \left(\frac{\mu u}{F_N} \right) \quad (2-1)$$

Donde:

μ = es la viscosidad dinámica

u = es la velocidad de deslizamiento

F_N = es la carga normal aplicada

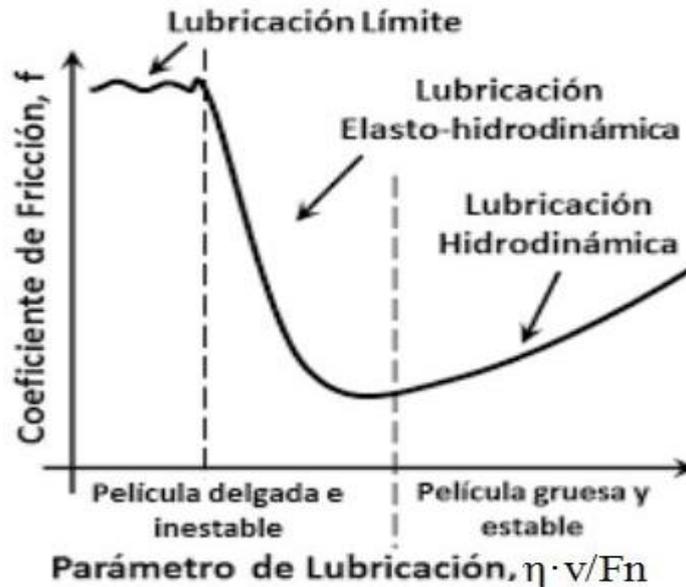


Ilustración 2-6: Curva de Stribeck

Fuente:(INGENIERO MARINO, 2021)

Si se aumenta el parámetro $[H]$ (parámetro de Hersey), el coeficiente de fricción $[f]$ aumenta relativamente poco, lo que significa que existe una película lubricante espesa y estable entre los elementos de contacto, lo que evita el contacto directo. (zona de lubricación hidrodinámica).

2.3.1 Régimen de lubricación hidrodinámica.

Considerando el caso (1) mencionado en el párrafo anterior, nos encontramos en el campo de la lubricación fluida o hidrodinámica, donde el lubricante es lo suficientemente espeso para evitar el contacto directo entre componentes o superficies. La lubricación hidrodinámica se estudia utilizando la mecánica de fluidos clásica y se considera ideal ya que proporciona una baja fricción y un desgaste mínimo.

En este caso, el comportamiento entre los dos materiales se caracteriza principalmente por las propiedades físicas del lubricante, principalmente su viscosidad, el valor del coeficiente de fricción que presenta y el esfuerzo cortante de la viscosidad del lubricante.(INGENIERO MARINO, 2021).

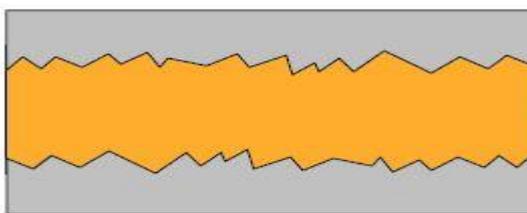


Ilustración 2-7: Lubricación hidrodinámica.
Fuente:(INGENIERO MARINO, 2021)

2.3.2 Régimen de lubricación límite

Considerando el caso (3), nos encontramos en la región de lubricación límite, donde se considera que las superficies no están completamente separadas por una película lubricante, por lo que el contacto entre elementos genera calor y desgaste por alta fricción.

El desgaste en esta zona depende más de las propiedades del material, como dureza, rugosidad, acabado, elasticidad, oxidación, etc. En menor medida, se tienen en cuenta pequeñas proporciones (proporciones moleculares) del lubricante que afectan el contacto de los componentes. La limitación del desgaste se puede mantener incluso sin lubricante si contiene aditivos específicos.(INGENIERO MARINO, 2021 p.).

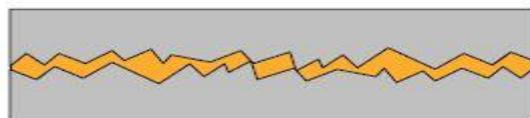


Ilustración 2-8: Régimen de lubricación límite
Fuente:(INGENIERO MARINO, 2021)

2.3.3 Régimen de lubricación mixta

Entre la zona fluida o hidrodinámica y la zona de lubricación límite, encontramos una zona de transición entre ambas, denominada zona mixta, en la que las características de contacto son una combinación de los efectos de la lubricación límite y la hidro lubricación.(Gonzales, 2015, p. 2).

Los patrones de lubricación pueden variar entre dos superficies en contacto dependiendo de las variables que las afectan, como la carga, la velocidad, la viscosidad del lubricante, el acabado de la superficie.

En la figura, la zona elastohidrodinámica se denomina zona mixta, lo cual es incorrecto porque la lubricación elastohidrodinámica se produce tanto en la zona de lubricación mixta como en la zona de lubricación hidrodinámica.(Gonzales, 2015, p. 2).



Ilustración 2-9: Régimen de lubricación mixta
Fuente: (Gonzales, 2015, p. 2)

2.4 Sistema de lubricación en los motores

En un motor de combustión interna alternativo, encontramos diferentes pares de fricción en sus diversos componentes, que a su vez se comportan de manera diferente desde el punto de vista de la lubricación. Debido a sus diversas condiciones de operación, obtenemos condiciones típicas de lubricación tanto desde el punto de vista de la velocidad y tipo de desplazamiento, como desde el punto de vista de las tensiones y temperaturas soportadas. (Payri y Desantes, 2011, pp. 124-150).

Tabla 2-2 Distribución de los esfuerzos de fricción en las mayores partes rozantes del motor según diversos autores.

	Taraza	Comfort	Pulkrabek
Sistemas de distribución	7-15%	7-15%	25%
Cojinetes del cigüeñal	20-30%	20-30%	10-25%
Pistón-segmentos-cilindro	40-50%	45-50%	50-75%

Fuente:(Payri y Desantes, 2011, pp. 124-150)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

2.4.1 El problema de la contaminación del aceite

En los motores de combustión interna, frente a otros sistemas de lubricación, la lubricación se ve dificultada por fenómenos más duros a los que hay que enfrentarse: altas temperaturas, productos y residuos de la combustión que pueden contaminar el lubricante, elevados esfuerzos cortantes, etc. El tipo y la calidad del combustible utilizado (presencia de aditivos, impurezas, etc.) son parámetros importantes relacionados con la forma en que se quema el combustible y, por lo tanto, también afectan su efecto sobre el lubricante. El tipo de ciclo del motor también es un determinante importante de la lubricación. La mayoría de los productos de la combustión se ventilan a la atmósfera a través del sistema de escape, pero una pequeña parte de ellos puede filtrarse a través del espacio entre el anillo y el manguito, contaminando el aceite y posiblemente causando efectos adversos. (Payri y Desantes, 2011, pp. 124-150).

2.5 Tipos de desgaste en los motores.

Una de las tareas principales de los lubricantes es reducir la fricción entre las superficies y el movimiento relativo entre ellas y reducir el desgaste al que están sometidas al valor más bajo posible. Evidentemente, las consecuencias de un desgaste excesivo son: avería total, y todo lo que de ella se deriva (inutilización, reparaciones, etc.), molestias para el usuario (aumento de los costes operativos: consumo excesivo, pérdida de satisfacción o comodidad: ruido). Siniestro, evento que afecta directamente la vida del vehículo. (Tormos, 2009, p. 42).

En cualquier caso, el efecto de prevención del desgaste no debe atribuirse únicamente al lubricante, ya que también inciden en él otros factores, tales como: la tecnología de montaje y la tecnología de cada componente considerada de forma independiente, la composición metalúrgica de este último, las condiciones de uso del motor y qué tan bien concuerda con las predicciones que debe tener el diseño, el combustible utilizado, la calidad de la combustión, etc.(Tormos, 2009, p. 42).

2.5.1 *Desgaste adhesivo o por contacto metal-metal*

Esto es lo que se denomina "rozamiento" en terminología anglosajona y se produce en todo rozamiento cuando las superficies no están completamente separadas por una película lubricante; este es probablemente el tipo de desgaste más importante y por lo tanto el menos deseable. Este desgaste se debe al hecho de que las superficies, incluso las mejores, contienen rugosidades superficiales del orden de muchas micras.(Tormos, 2009, p. 43).

En estas condiciones, cuando dos superficies están en contacto, la unión se efectúa únicamente por una serie de picos, sobre los cuales se aplica una presión muy alta para que el metal se deforme plásticamente hasta que la superficie de contacto real sea lo suficientemente grande para soportar el peso. En este punto, la presión de contacto local es comparable a la dureza del metal más blando.(Tormos, 2009, p. 43).

Debido a la presencia de altas presiones, a nivel de las superficies reales de contacto, las uniones metálicas son muy fuertes, en realidad se trata de soldaduras, el rozamiento se debe a la necesidad de romper estas soldaduras o adherencias para que el desplazamiento relativo de las superficies pueda ocurrir, el propio desgaste adhesivo es el resultado de este mecanismo. De este mecanismo se desprende que, según el tipo de material, la carga aplicada y la velocidad de deslizamiento, el proceso puede evolucionar de diferentes formas, desde la eliminación progresiva de rugosidades ("desgaste incipiente", rodaje) hasta la mejora degradación a través de un mecanismo de auto

aceleración. Eventualmente, el mecanismo se atascaría ("agarrotaría") y causaría una falla catastrófica. En los motores, esta forma de desgaste ocurre naturalmente en áreas de fricción mal lubricadas. (difícil acceso del aceite, viscosidad baja, volatilización elevada del aceite, dilución, etc.), o la presencia de cargas específicas elevadas o de velocidades lentas hacen imposible la correcta formación de la película de aceite.(Tormos, 2009, p. 43).

2.6 Aceite lubricante

Los lubricantes se crean a través del proceso de mezcla de lubricantes base con aditivos, ambos son productos producidos a partir del petróleo en las refinerías. Sus aplicaciones más habituales son la automoción y la industria en general (transmisiones mecánicas, aplicaciones hidráulicas, etc.). Sin embargo, su uso está limitado por una determinada vida útil, es decir, el tiempo que tarda el aceite en perder sus propiedades debido a la contaminación por partículas metálicas y la degradación natural de los aditivos. (Sosa, et al. 2013, p. 6).

Una vez finalizada la vida útil del aceite, se debe cambiar el aceite. El aceite usado se convierte automáticamente en un pasivo ambiental peligroso que requiere un procedimiento de disposición final aprobado, este es el problema que enfrentan los usuarios al comprar un producto.(Sosa et al., 2013, p. 6).

Un lubricante es cualquier sustancia que se coloca entre dos superficies en movimiento para reducir la fricción y el desgaste, es un lubricante que consiste en una mezcla de aceites, básicos y aditivos, que le confieren características especiales requeridas por una determinada aplicación.(Afton Chemical, 2018, p. 4).

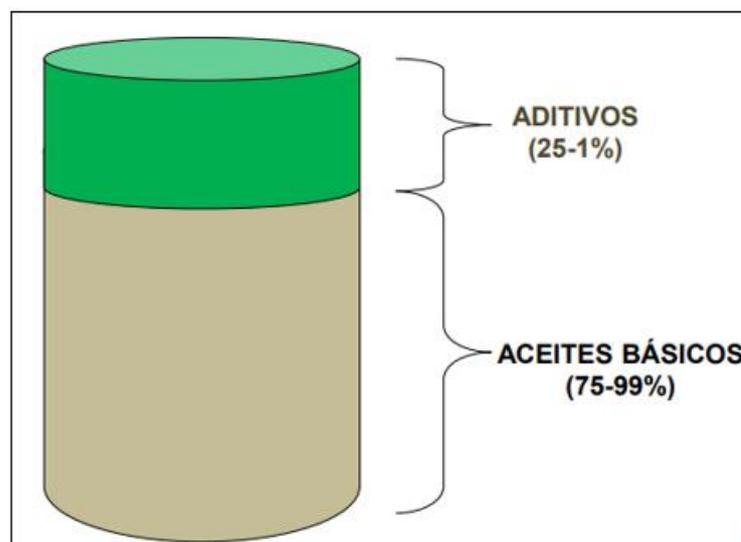


Ilustración 2-10: Componentes de los aceites lubricantes de motores.

Fuente: (Afton Chemical, 2018, p. 4)

2.6.1 Clasificación de los lubricantes.

Los lubricantes son una mezcla de dos componentes: aceite base y aditivos. Contienen aproximadamente un 70-90 % de aceite base y un 10-30 % de aditivos para mejorar la estabilidad y aumentar el rendimiento. El aceite base representa del 70% al 90% del aceite lubricante y es la base del aceite lubricante.(INGENIERO MARINO, 2021).

El aceite base determina la viscosidad o consistencia del lubricante, lo cual es una característica muy importante. El aceite lubricante debe ser lo suficientemente delgado para fluir en el motor, pero al mismo tiempo debe ser lo suficientemente espeso para garantizar la protección de las diversas partes metálicas del motor.(INGENIERO MARINO. 2021).

Hay tres tipos de aceites base:

- aceite base semi sintético
- aceite base mineral
- aceite base sintético

2.6.1.1 Aceite semisintético.

Los aceites semisintéticos, también conocidos como mezclas sintéticas, son una mezcla de aceites minerales tradicionales y aceites sintéticos. Los aceites semisintéticos ofrecen lo mejor de ambos mundos. Ofrecen un mejor rendimiento general que los aceites convencionales a un precio más bajo que los aceites totalmente sintéticos. (TOTAL ENERGIES, 2023).

2.6.1.2 Aceite base mineral.

La lubricación es tan antigua como el transporte. Los carros antiguos eran tirados por caballos y usaban restos de carne y sebo para lubricar las hachas de madera. Más tarde, el alquitrán de pino se mezclaba con manteca de cerdo y se usaba como lubricante. Con el tiempo, el aceite de linaza, desarrollado originalmente como conservante de la madera, se convirtió en el lubricante elegido por los carreteros.(Lee, 2018).

Los primeros motores de automóviles usaban aceites extraídos de la refinación del crudo, y nacieron los aceites base modernos. A medida que avanza la tecnología de los motores, los componentes complejos y de movimiento rápido y las altas temperaturas exigen una mejor

lubricación. Luego, se introducen aditivos para reducir la fricción y el desgaste, aumentar la viscosidad y mejorar la resistencia a la corrosión. (Lee, 2018).

El aceite base mineral se produce por medio del refinado del petróleo crudo. Un barril de petróleo crudo de 42 gal. normalmente puede producir casi 45 gal. de muestras derivados del petróleo, pero solo alrededor de 0.4 gal. o menos del 1% se destinan a la fabricación de lubricantes. Y el otro porcentaje se destina a gasolina, combustible diésel y combustibles para aviones de tipo queroseno. (Lee, 2018).

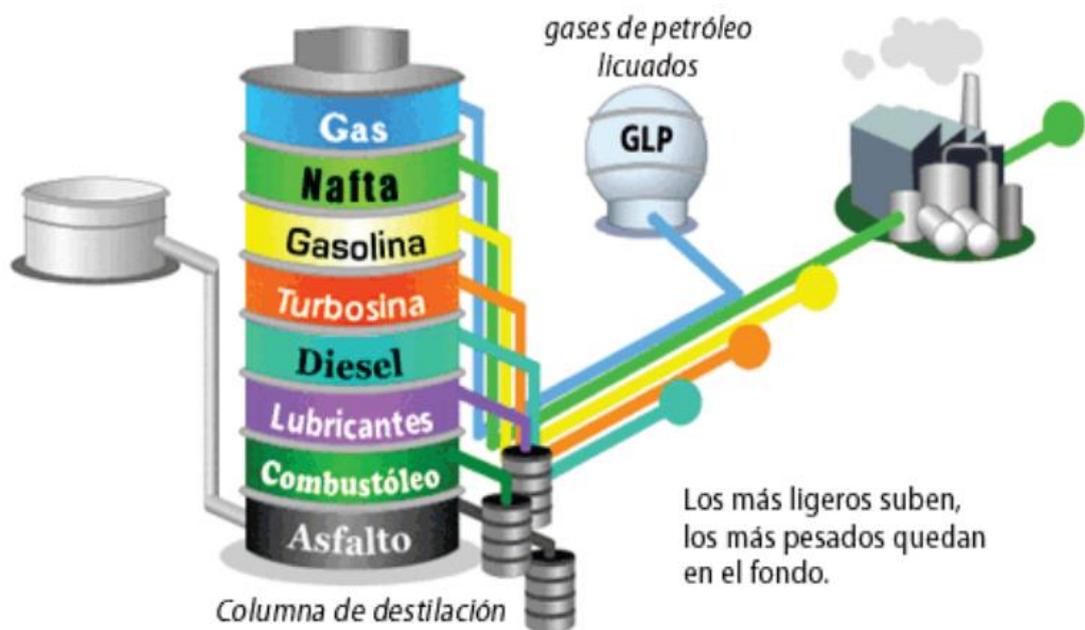


Ilustración 2-11: Refinación del petróleo para obtener.
Fuente:(ASELUBLE, 2014, p. 14)

2.6.1.3 Aceite tipo base sintética.

Los lubricantes sintéticos comúnmente se fabrican utilizando componentes de petróleo modificados alterando su consistencia químicamente en lugar de petróleo crudo completo, pero también se pueden sintetizar a partir de otras materias primas. Los aceites sintéticos se pueden utilizar como alternativa a los lubricantes de petróleo refinado cuando se opera a temperaturas extremas porque, en general, tienen propiedades mecánicas y químicas superiores a los aceites minerales convencionales. (TOTAL ENERGIES, 2023).

2.6.1.4 *Ventajas de los aceites de base sintéticas.*

Los aceites sintéticos ofrecen varias ventajas en comparación con los aceites convencionales o minerales. Aquí tienes algunas de las principales ventajas de los aceites sintéticos:

- **Mejor rendimiento a altas temperaturas:** Los aceites sintéticos tienen una estabilidad térmica superior, lo que significa que pueden soportar temperaturas más altas sin descomponerse. Esto los hace ideales para motores sometidos a condiciones extremas de calor, como en vehículos de alto rendimiento o en entornos de competición.
- **Mayor resistencia al desgaste:** Los aceites sintéticos tienen una mayor capacidad para lubricar las piezas móviles del motor, lo que reduce la fricción y el desgaste. Esto puede ayudar a prolongar la vida útil del motor y reducir los costos de mantenimiento a largo plazo.
- **Fluidez mejorada a bajas temperaturas:** Los aceites sintéticos mantienen su fluidez incluso en temperaturas muy bajas, lo que facilita el arranque en climas fríos. Esto es especialmente beneficioso para los motores durante el arranque en invierno, ya que proporcionan una lubricación inmediata y reducen el desgaste en los primeros segundos de funcionamiento.
- **Mayor intervalo de cambio de aceite:** Debido a su mayor resistencia a la degradación y su capacidad para mantener propiedades lubricantes estables durante más tiempo, los aceites sintéticos tienden a tener un intervalo de cambio de aceite más largo que los aceites minerales. Esto puede ser conveniente en términos de comodidad y ahorro de costos a largo plazo.
- **Mejor limpieza y control de depósitos:** Los aceites sintéticos suelen contener aditivos detergentes y dispersantes que ayudan a mantener limpio el motor al evitar la acumulación de depósitos y sedimentos. Esto contribuye a un mejor rendimiento del motor y reduce el riesgo de obstrucciones en los conductos de lubricación.

Es importante tener en cuenta que los beneficios específicos de los aceites sintéticos pueden variar según la marca y la formulación. Además, es fundamental seguir las recomendaciones del fabricante del vehículo en cuanto al tipo y viscosidad del aceite a utilizar. (TOTAL ENERGIES, 2023).

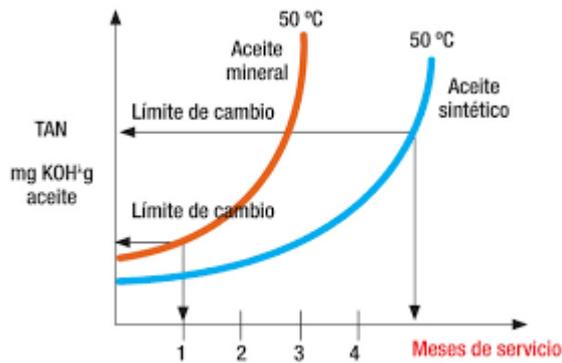


Ilustración 2-12: Comparativa sintético y mineral.
Fuente: (TOTAL ENERGIES, 2023)

2.7 Aditivos de los aceites lubricantes.

Los aditivos son elementos que mejoran las características específicas que necesita cada aceite lubricante, ya que por sí solo no puede brindar la protección adecuada que necesita un motor, como la estabilidad de la viscosidad y la protección de la superficie; las concentraciones en los aceites lubricantes rondan entre el 15% y el 25%. (Hurtado Jarrin, 2014, p. 4).

Tabla 2-3: Aditivos del aceite lubricante sintético.

Aditivos	Función
Antioxidantes	Elimina los fenómenos de oxidación del lubricante.
Anti-desgaste	Ayuda la acción anti-desgaste que ejerce un lubricante con relación a los elementos que lubrica
Mejora el índice de viscosidad	Permite que se mantenga lo suficientemente fluido en frío y que tenga viscosidad en caliente.
De Basicidad	Lubrica, neutraliza los residuos ácidos a medida que estos se van formando.
Detergentes	Prevenir la deformación de barnices sobre las partes más calientes del motor.
Antiespumantes	Estos aditivos tienen como objetivo limpiar el motor, pero tiende a formar espuma.
Anticongelantes	Mantiene al lubricante a una fluidez a baja temperatura (15°C a -45°C).
Anticorrosivos	Evitar la corrosividad en las partes metálicas de los conductores a la acción conjugada del

	agua, del oxígeno del aire y de los ciertos óxidos formados durante la combustión.
Dispersantes	Tienen en suspensión todas las impurezas solidas formadas durante el funcionamiento del motor.

Fuente:(Hurtado Jarrin, 2014, p. 4)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

2.7.1 Aditivos por aplicación.

Los lubricantes deben tener diferentes aditivos para lograr cubrir todas las diferentes necesidades para el que se le vaya a utilizar, en este punto se definirán los diferentes tipos de aditivos necesarios en las diferentes aplicaciones de uso de los aceites lubricantes. (García, 2020, pp. 1-6).

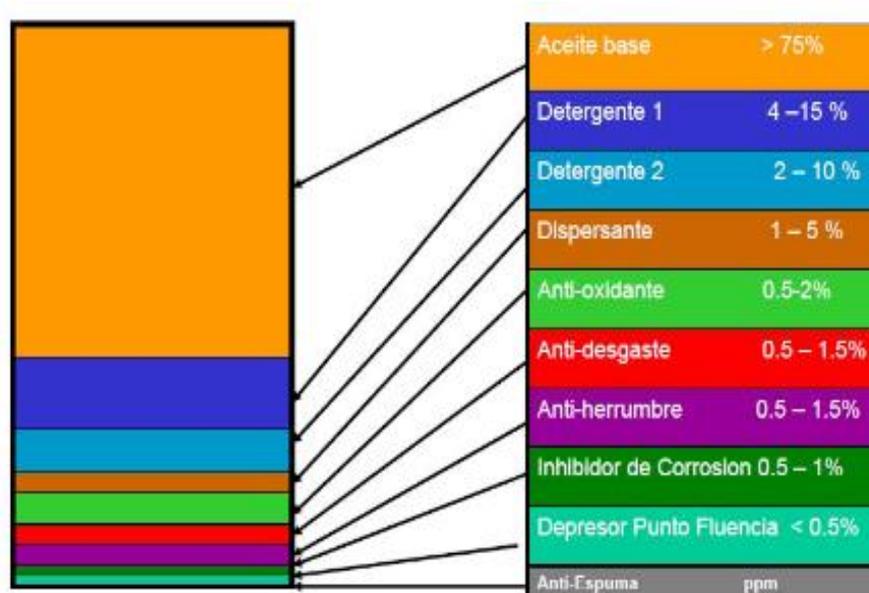


Ilustración 2-13: Bases que conforman los aditivos en el aceite.

Fuente:(García, 2020, pp. 1-6)

2.7.2 Características de los aditivos.

2.7.2.1 Detergentes

Funcionan como un jabón regular y pueden dispersar o péptica las partículas de suciedad. En los aceites lubricantes, los detergentes mantienen en suspensión las partículas contaminantes y evitan la formación de depósitos, como lacas, barnices, lodos y hollín, que son provocados por los productos de la combustión incompleta y la descomposición oxidativa del aceite en el motor.

Además, estos aditivos neutralizan los productos ácidos de los dos procesos mencionados: oxidación del aceite y combustión incompleta. (De Vita, 1995, p. 13).

2.7.2.2 *Dispersantes sin Cenizas.*

Suspende partículas limpiadas por aditivos detergentes y las divide en millones de partes más pequeñas, reduciendo el impacto en las áreas lubricadas. Usados cuando no se requieren cambios en la viscosidad del aceite lubricante, son más efectivos que los tipos metálicos para controlar los depósitos de barniz causados por el funcionamiento intermitente en frío de los motores de gasolina. Los grupos polares suelen contener uno o más de los siguientes elementos: oxígeno, nitrógeno y fósforo. El peso molecular de la cadena de solubilidad suele ser superior al de los aditivos de detergentes, pero en algunos casos son muy similares. (Bizol, 2020).

2.7.2.3 *Aditivos antioxidantes y anticorrosivos.*

La corrosión es el resultado del ataque químico a las superficies metálicas. Para los metales ferrosos, este tipo de corrosión se denomina oxidación y es el resultado del agua que ataca químicamente la superficie del hierro en presencia de aire. Los inhibidores de óxido se dividen en tres categorías: materiales alcalinos, neutros y ácidos. Los más utilizados son los ácidos carboxílicos de alto peso molecular tales como los ácidos alquil succínicos, ácidos sulfónicos y ácidos fosfóricos, sus respectivas sales y compuestos formados neutralizando estos ácidos con bases orgánicas tales como aminas.

El mecanismo de acción de estos aditivos se basa en la aplicación de lubricante dando la formación de una película hidrófoba, que se adhiere a la superficie metálica evitando la introducción de agua y evitando la corrosión. La eficacia de estos aditivos depende de varios factores: la fuerza del enlace polar entre el aditivo y el metal, la naturaleza de la monocapa formada, la temperatura y las propiedades del aceite base. La corrosión de los elementos metálicos para cojinetes interactúa con el ataque a los óxidos del metal con ayuda de los ácidos producidos, ya sea por la oxidación del aceite o por los elementos de combustión. Los materiales anticorrosivos que se utilizan más en el mercado son sustancias neutralizantes tales como detergentes-dispersantes básicos, los ditiofosfatos de metal, las olefinas y otros materiales. (De Vita, 1995, pp. 13-14).



Ilustración 2-14: Dispersante de lubricante para a corrosión.
Fuente:(Noria Corporation., 2020)

2.7.2.4 Aditivo mejorador de viscosidad

Los modificadores de viscosidad son moléculas poliméricas que son sensibles a la temperatura. A bajas temperaturas las cadenas se contraen y no impactan a la viscosidad del fluido. A altas temperaturas, las cadenas se relajan y se presenta un incremento en la viscosidad. Hay dos formas de explicar las características de estas cadenas de polímeros. La primera es comparar a los polímeros con la gente. Cuando una persona tiene frío, su reacción natural es colocar sus brazos lo más cerca posible de su cuerpo para retener el calor. (Noria Corporation., 2020).

Ahora imagine a una multitud de gente con frío con los brazos recogidos moviéndose uno al lado del otro en un vestíbulo congestionado. Seguro que allí hay una congestión, pero la gente aún puede moverse libremente. Ahora imagine lo opuesto. Cuando una persona tiene calor, tiende a relajarse. Imagine a una persona extendiendo sus brazos hacia los lados. Sería mucho más difícil transitar en un vestíbulo congestionado lleno de gente acalorada, con los brazos extendidos. Considere, en este ejemplo, que el flujo de gente está relacionado a la viscosidad de la multitud.(Noria Corporation., 2020).

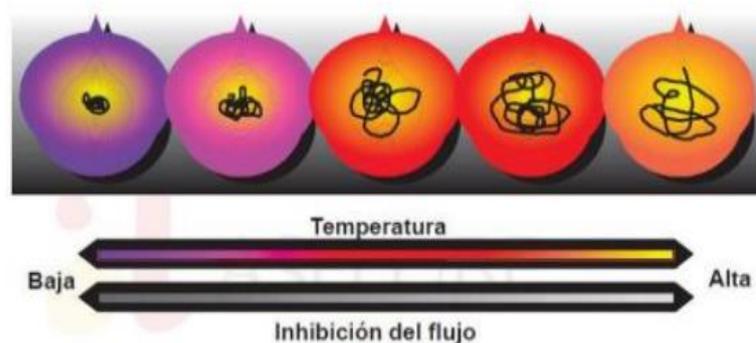


Ilustración 2-15: Mejoramiento del polímero del índice de viscosidad en función de la temperatura.

Fuente:(Vimos Pantoja y Coro Medina, 2021, pp. 11-31)

2.7.2.5 Aditivo anti-desgaste.

Los aditivos anti-desgaste funcionan porque forman una película sólida en la superficie de las piezas metálicas, evitando el contacto metal con metal, y estos aditivos son los encargados de evitar que se formen soldaduras en las piezas metálicas. Dos superficies, para evitar el gripado del motor 11, los compuestos presentes en estos aditivos son: compuestos orgánicos de fósforo y azufre, los más utilizados son el dialquilditiofosfato de zinc (ZDDP) y el ditiofosfato de molibdeno. (Vimos Pantoja y Coro Medina, 2021, pp. 11-34).



Ilustración 2-16: Aditivos anti desgaste esquema de actuación.

Fuente: (Vimos Pantoja y Coro Medina, 2021, pp. 11-34)

2.7.2.6 Antiespumante.

Estos aceites continúan formando espuma, lo que dificulta su uso como lubricantes, por lo que los aditivos antiespumantes son compuestos que evitan la formación de burbujas de aire o crean puntos débiles en las mismas, y se unen en un aceite que llega a la superficie de la burbuja. Además, los antiespumantes más utilizados son el polidimetilsiloxano y los derivados acetilénicos. (Noria Latín América, 2020).

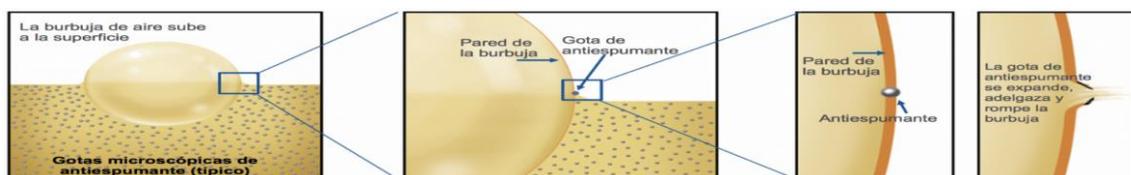


Ilustración 2-17: Funcionamiento del antiespumante.

Fuente: (Noria Latín América, 2020)

2.7.3 Clasificación de los aceites lubricantes para el MCI.

Por lo general los aceites lubricantes en los motores de combustión interna pueden clasificarse:

- SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices) (Society of Automotive Engineers)
- API (Instituto Americano del Petróleo) (American Petroleum Institute)
- ASTM (Sociedad Americana de Prueba de Materiales) (American Society for Testing Material)

2.7.3.1 Clasificación de los lubricantes según el sistema SAE

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) también tiene clasificaciones especiales para lubricantes en base a su rango de viscosidad en centistokes (cst), medida a 100°C, también para bajas temperaturas de 0°C, para clase W (invierno), se dividen en dos grupos: SAE J300d cubre los aceites lubricantes del cárter y SAE J306c cubre los aceites de transmisión. Para esta clasificación no intervienen consideraciones tales como: calidad, composición química o aditivos, únicamente su viscosidad con relación a su temperatura, por lo que encontramos los siguientes aceites:

- **Monogrado:** Son aceites lubricantes que trabajan a temperatura constante, por ejemplo, 5W o 10W son los más utilizados en países como Canadá y Escandinavia, donde los inviernos son muy duros a 40°C, utilizando aceite SAE 40. (ROSHFRANS, 2021).
- **Multigrado:** son aceites lubricantes que trabajan a dos grados de temperatura, si se superan estos límites de temperatura se pierden las propiedades presentes en la viscosidad del aceite, además estos aceites lubricantes son los más utilizados, por ejemplo, utilizar 15W40 o 15W50 en climas templados países de Europa occidental, use 20W40 o 20W50 en climas cálidos países de Medio Oriente y América del Sur. (Noria Global, 2021).

Según el sistema SAE la clasificación de los aceites de acuerdo con el trabajo que realizan ya sea a temperaturas bajas o altas se presenta en la tabla:

Tabla 2-4: Especificaciones SAE.

Viscosidad	Grado Viscosidad (SAE)	°CC.C.S Viscosidad Cp Max	°C Bombeo Viscosidad Cp Max	Viscosidad Dinámica cSt a 100 °C	HT/HS AT/AC VISC. Cp 150 °C
Alta Temperatura	20	.....	.....	5,6 a 9,3	2,6
	30	.....	.....	9,3 a 12,5	2,9
	40	.....	.....	12,5 a 16,3	2,9
	40	.....	.....	12,5 a 16,03	3,7
	50	.....	.....	16,3 a 21,9	3,7
	60	.....	.....	21,9 a 16,1	3,7
Baja Temperatura	0W	6200 a -35	60000 a -40	3,8	.....
	5W	6600 a -35	60000 a -35	3,8	.....
	10W	7000 a -25	60000 a -30	4,1	.....
	15W	7000 a -20	60000 a -25	5,6	.....

	20W	9500 a -15	60000 a -20	5,6	.....
	25W	13000 a -10	60000 a -15	5,6	.....

Fuente: (Vimos Pantoja y Coro Medina, 2021, pp. 11-35)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

2.7.3.2 Clasificación del lubricante según el sistema ISO

Al igual que el sistema SAE, el sistema ISO clasifica los lubricantes según su viscosidad en centistokes, pero a temperaturas tan bajas como 40 °C y tan altas como 100 °C y esta clasificación ISO consiste en un número seguido del nombre del lubricante para identificar. (SWISSOIL, 2012, pp. 1-6).

Se puede apreciar los grados de viscosidad en el sistema ISO en la siguiente tabla:

Tabla 2-5: Índice de viscosidad según ISO.

Grado ISO	Viscosidad mínima a 40° C (est)	Viscosidad máxima a 100° C (est)
15	13.5	16.5
22	19.8	24.2
37	33.3	40.7
46	41.4	50.4
68	61.2	74.8
100	90	110
150	135	165
220	198	242
320	288	352
460	414	504

Fuente: (Vimos Pantoja & Coro Medina, 2021, pp. 11-35)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

2.7.3.3 Clasificación del lubricante según el sistema API

El Instituto Americano del Petróleo (API) realizó una serie de pruebas basadas en la investigación de la correlación entre el uso real del motor y su uso diario. Dependiendo de su fabricación, se requieren varios requisitos. La API ha desarrollado un sistema que puede Requerido condiciones de servicio para seleccionar y recomendar aceites lubricantes, el sistema fue desarrollado en cooperación con las organizaciones SAE y ASTM para analizar pruebas para el uso real de motores de combustión interna, esta clasificación API se basa en las condiciones de servicio del motor y clasifica los lubricantes según su uso , cada clase de servicio se identifica con dos letras

de la siguiente manera: la abreviatura "C" para motores diésel comerciales y "S" para motores de gasolina. (Moyano, 2016, pp. 2-4).

Tabla 2-6: Motores diésel clasificación API

Nivel API	Características
CA (1940)	Utilizado en motores por aspiración natural tiene una mínima protección contra la corrosión, desgaste y depósitos. Obsoleta.
CB (1949)	Utilizado en motores por aspiración natural tiene un mejor control ante el desgaste y sobre los depósitos. Obsoleta.
CC (1961)	Utilizado en motores de aspiración natural, en motores modificados con turbo o sobrealimentado, a altas temperaturas tiene un gran control en depósitos y un gran control en la corrosión de los cojinetes. Obsoleto.
CD (1955)	Utilizado en motores de aspiración natural, en motores modificados con turbo o sobrealimentados los cuales requieren un mayor control efectivo de los depósitos y el desgaste. Obsoleta.
CD-II (1955)	Utilizado en motores de do tiempos diésel los cuales requieren un mayor control efectivo en el desgaste y los depósitos. Obsoleto.
CE (1983)	Utilizado en motor turbo o sobrealimentado para trabajos duros, tiene un gran control al consumo y espesamiento del aceite lubricante, desgaste, depósito y esta referenciada a multigrado. Obsoleta.
CF-4 (1990)	Utilizado en motores o sobrealimentados para trabajos duros, tiene un mejor control en el consumo de aceite y formación de depósitos en os pistones.
CF (1994)	Para motores de aspiración natural, turbo o sobrealimentados, se puede utilizar aceite diésel con diferente contenido de azufre, controlando eficazmente la formación de depósitos en los pistones y desgaste.
CF-2 (1994)	Para uso en motores diésel de dos tiempos donde se requiere un control efectivo del desgaste de anillos y cilindros y la formación de depósitos
CG-4 (1994)	Para los motores diésel de trabajo pesado, el contenido de azufre del diésel para carretera es tan bajo como 0,05 %, y el contenido máximo de azufre del diésel para uso fuera de carretera es 0,5 %, lo que controla eficazmente la deposición a alta temperatura, el desgaste, la corrosión.
CH-4 (1998)	Para los motores diésel de servicio pesado, que usan diésel con alto o bajo contenido de azufre que cumple con los estrictos estándares de control de emisiones, controle los modernos depósitos de pistón de dos piezas para evitar el desgaste y la oxidación.

C 1-4	En comparación con el CH-4, estos aceites generan una muy buena protección contra la oxidación, el óxido, reducen el desgaste, mantienen la estabilidad de la viscosidad debido a un mejor control del hollín formado por el aceite durante el uso y, por lo tanto, mejoran el consumo de combustible.
C1-4- “Plus” 2004	Fue realizado por los fabricantes Caterpillar, Mack y Cummins para cumplir con los requisitos de control de espesamiento, que es el hollín y la caída de la viscosidad debido al alto estrés mecánico generado en los aditivos que mejoran la viscosidad.

Fuente: (Vimos Pantoja & Coro Medina, 2021, pp. 11-35)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

2.7.3.4 Clasificación del lubricante según el sistema AGMA

El sistema AGMA (Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes), clasifica a los aceites mediante la designación de un número comprendido entre 1 y 13, donde estos rangos de viscosidad son medidos en SSU (Segundos Saybolt Universal) a 100°F de temperatura o en cSt a 37.8 °C y cuando se tiene un mayor número AGMA la viscosidad es mayor. (Albarracín, 2003, pp. 1-6).

Tabla 2-7: Sistema AGMA índice de viscosidad

Numero AGMA	eSt/37,8 °C		SSU7100 °F	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
1	41,4	50,6	193	235
2,2EP	61,2	74,8	284	47
3,3EP	90,0	110,0	417	510
4,4EP	135,0	165,0	626	765
5,5EP	198,0	242,0	918	1122
6,6EP	288,0	352,0	1335	1632
7,7EP	414,0	506,0	1919	2346
8,8EP	900,0	1100,0	2837	3467
9,9EP	-	-	6260	7650
10,10EP	-	-	13350	16320
11,11EP	-	-	19190	23460
12,12EP	-	-	28370	34670
13,13EP	-	-	850	1000

Fuente: (Albarracín, 2003, pp. 1-6)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

2.7.4 *Propiedades generales de los lubricantes*

Los principales fabricantes de maquinaria y equipo generalmente requieren que los lubricantes que se deben usar en sus productos cumplan con ciertas especificaciones y requisitos basados en el diseño de sus máquinas y la severidad de las condiciones de uso. Con el fin de armonizar los estándares, diferentes empresas y organizaciones han desarrollado procedimientos de prueba estandarizados capaces de medir propiedades de los lubricantes como calidad, identificación, detección de adulteración y contaminación y monitoreo de su comportamiento en uso. (López, 2014, pp. 15-18).

2.7.4.1 *Propiedades físicas.*

a) *Viscosidad.*

La viscosidad se define como la resistencia al movimiento que ofrece un fluido lubricante, expresada en grados SAE, la cual varía con la temperatura y depende del tipo de aceite. La viscosidad adecuada mantiene una película de aceite suficiente para separar las superficies y evitar la fricción. (Cabrera & Crespo, 2021, pp. 25-30).

La unidad física para expresar la viscosidad dinámica en el sistema internacional es el pascal por segundo ($\text{Pa}\cdot\text{s}$). En el sistema anglosajón (CGS), la unidad de medida es el poise (POISE) y su submúltiplo (CP), debido a que la viscosidad del agua a una temperatura de 20°C es 1.0029cp. Además: 1 poise = 100 centipoise = $1\text{g}/\text{s}$. (Cabrera & Crespo, 2021, pp. 25-30).



Ilustración 2-18: Viscosidad de un lubricante.

Fuente:(Cabrera & Crespo, 2021, pp. 25-30).

b) *Color.*

La observación del color del aceite lubricante a través de un recipiente transparente nos puede dar una idea de la pureza o grado de refinamiento que presenta, el aceite tiene un color claro que va del negro opaco al transparente, estos colores se deben a las diferencias en: crudo, viscosidad,

método de tratamiento y grado durante la refinación, y la cantidad y naturaleza de los aditivos utilizados, el color que presenta el aceite es de poca importancia para determinar su desempeño. (López, 2014, pp. 15-18).

c) Densidad.

La densidad es la relación entre la masa y el volumen, y la viscosidad es la resistencia del lubricante a fluir. Para ilustrar esta diferencia, se usan comúnmente agua y aceite lubricante. Generalmente, los lubricantes son menos densos que el agua, por lo que, si los mezcla y los asienta, el lubricante estará en la parte superior y el agua en la parte inferior. (Repsol, 2021).

d) Demulsibilidad.

La demulsibilidad es la capacidad de un fluido para separarse rápidamente del agua. Esta es una característica muy importante cuando el equipo está operando en climas húmedos o en fábricas con atmósferas húmedas o mojadas. (Noria, 2020).

e) Punto de infamación.

Es la temperatura a la cual los vapores emitidos por el aceite previamente calentado se expanden instantáneamente al contacto con una llama. Es un aditivo volátil para productos derivados del petróleo y es extremadamente importante para la lubricación de cilindros. En algunos casos, el aceite debe ser lo suficientemente no volátil para mantener una película delgada sobre las superficies del cilindro, mientras que en otros casos el aceite debe ser lo suficientemente volátil para evaporarse y quemarse en la cámara de combustión. (Cardona et al., 1998, pp. 30-33).

f) Rigidez dieléctrica.

Está determinado por la tensión a la que se crea un arco permanente entre dos electrodos sumergidos en aceite lubricante, en condiciones de prueba estandarizadas, utilizando un dispositivo denominado puntero indicador, expresado en KV/cm, que dirige la calidad de aislamiento eléctrico del lubricante, que se degrada con la presencia de contaminantes como agua, polvo y suciedad. Además, la rigidez dieléctrica también está presente en los aceites para compresores de refrigeración, donde esta propiedad se ve muy afectada por la presencia o cantidad de trazas de humedad. (Intec, 2004, p. 1_11).

g) Punto de congelación.

El punto de congelación es la temperatura más baja a la que se congela un lubricante y varía según su viscosidad. En los aceites de motor comerciales, el punto de congelación debe ser lo más bajo posible. A nivel nacional, el punto de congelación promedio de los aceites comerciales suele ser de -20°C. Lógicamente, los aditivos depresores del punto de congelación deben adaptarse a las

temperaturas más bajas previsibles en cada zona climática. Para los aceites lubricantes, es la temperatura más baja a la que el aceite conserva su fluidez. Para mejorar los arranques en frío, este punto debe ser lo más bajo posible. (Rodrigo, 2003, pp. 1-2).

h) Untuosidad.

Representa la mayor o menor adherencia de los aceites a las superficies metálicas a lubricar y se manifiesta cuando el espesor de la película de aceite se reduce al mínimo, sin llegar a la lubricación límite. Cuando tenemos una gran untuosidad podemos darnos cuenta de que tan bien cubre la superficie. También la fuerza de la capa que hace que aguante los rozamientos bruscos. (Salazar Pérez et al., 2015, pp. 1-7).

2.7.4.2 Propiedades químicas.

a) Oxidación.

Este es el proceso por el cual los materiales orgánicos presentes en los aceites lubricantes se degradan químicamente debido a la contaminación como el agua, la exposición a la luz y el trabajo a altas temperaturas, lo que reduce la capacidad de lubricación y afecta las superficies metálicas de los mecanismos. Los aceites lubricantes envejecen y cambian químicamente a través del proceso de oxidación. De hecho, la oxidación es el mecanismo principal por el cual los lubricantes se degradan con el tiempo en condiciones normales de funcionamiento. Por lo general, es el resultado del deterioro de las propiedades físicas y químicas de los aceites base y los aditivos. Comprender cómo se oxidan los lubricantes es fundamental para prevenir, retrasar y monitorear este proceso. (Vimos Pantoja y Coro Medina, 2021, pp. 11-35).

b) Acidez.

La acidez o alcalinidad se expresa en términos de número de neutralización, que es el número de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para neutralizar los ácidos en un gramo de aceite, y se denomina alcalinidad o número de acidez total (TAN) o la cantidad de ácido necesaria para neutralizar los componentes alcalinos. (Marín, 2019, pp. 17-34).

El índice de acidez total (TAN) es una medida de la acidez total en muestras de aceite y aceite usado. Esta medida representa el grado de degradación oxidativa, cuya interpretación requiere el conocimiento de las propiedades del aceite nuevo. Para la mayoría de los lubricantes industriales, el TAN inicial es relativamente bajo y comienza a aumentar debido a la presencia de ácidos débiles provenientes de la oxidación del aceite. (Marín, 2019, pp. 17-34).

c) Residuo carbonoso.

La composición de los lubricantes está determinada por la cantidad de residuo carbónico producido por la evaporación de los lubricantes, donde los lubricantes a base de minerales de petróleo dejan un residuo fino con baja pegajosidad y las bases minerales parafinas producen un residuo grueso y pegajoso, lo que significa que el mecanismo ha fallado en el momento en que se libera el aceite. (Vimos Pantoja y Coro Medina, 2021, pp. 11-35).

d) Tensión superficial.

La tensión superficial en un líquido es la presencia de una película similar a una piel en su superficie. La resistencia del fluido permite que los objetos rompan esta piel. Por ejemplo: el agua tiene suficiente tensión superficial para permitir que una aguja descansa sobre su superficie sin hundirse. Mientras que un lubricante nuevo tiene una tensión superficial alta, digamos 35 dinas/cm, a medida que el aceite envejece y se contamina con el uso, la tensión superficial caerá a aproximadamente 20 dinas/cm o menos. Esto puede tener un efecto dramático en el rendimiento del lubricante. Los efectos negativos de estos incluyen: problemas de formación de espuma, liberación de aire, resistencia a la demulsificación La oxidación y la contaminación por agua son probablemente las causas más comunes de pérdida de tensión superficial en los aceites lubricantes. (Vimos Pantoja y Coro Medina, 2021, pp. 11-35).

2.7.4.3 Propiedades fisicoquímicas.

a) Numero de ácidos totales (TAN)

Durante el uso, el valor TAN del aceite debe reducirse porque neutraliza los ácidos. Por lo tanto, al interpretar el análisis de aceite, se debe comparar el resultado del aceite usado con el aceite nuevo, y en base a la diferencia y los límites establecidos, se debe evaluar si el aceite se puede volver a utilizar o no. Esto se llama el factor de degradación del aceite. (BARDAHL, 2020).

- Acidez mineral, su origen proviene de la presencia de ácidos residuales generados durante la elaboración.
- Acidez orgánica, su origen se debe a productos de oxidación e impurezas.

Cuando ocurren altas temperaturas, el estrés mecánico del aceite lubricante provoca la descomposición de la composición del aceite y la oxidación gradual, lo que conduce a la formación de lodos, deposición de carbón, reducción de la viscosidad y desgaste de las partes metálicas de los mecanismos del motor, en el que la medición de este parámetro es muy importante para determinar el nivel de protección del aceite, además, el producto generalmente

se produce a base de lubricantes de hidrógeno, que producen lubricantes. códigos que son perjudiciales para el motor. (Vimos Pantoja y Coro Medina, 2021, pp. 11-35).

b) Número total de bases (TBN).

El TBN (Total Base Number) o Total Base Number es un valor que mide la capacidad del aceite de motor para neutralizar la alcalinidad o acidez de sus aditivos, lo que gracias al azufre de su composición le permite neutralizar el ácido sulfúrico generado durante la combustión del gasóleo. La alcalinidad del aceite proviene de los aditivos utilizados para lavarlo, cuya finalidad es mantener en suspensión las partículas contaminantes en el aceite, evitando así el contacto con las partes metálicas. (XYLEM, 2019, pp. 1-9).

El número base calcula la cantidad de base necesaria para neutralizar la base en 1 gramo de aceite de motor y convierte ese número en miligramos de hidróxido de potasio (KOH). Este número se expresa como mg.KOH/g. En pocas palabras, los aceites de motor deben tener un índice TBN alto para neutralizar el ácido sulfúrico que controla la corrosión del motor y la acidez interna que tiende a descomponer el lubricante. (XYLEM, 2019, pp. 1-9).

c) Contaminación.

El aceite presenta una contaminación de materias extrañas que están presentes en el mismo que se identifican en el siguiente grupo:

Tabla 2-8: Causas de contaminación en los lubricantes

GRUPO	CAUSA
Residuo del mecanizado	Agentes externos empleados para la limpieza de las partes después de su fabricación y por acciones de mantenimiento.
De contaminación externa	Cuando se produce un soplado y la ventilación en el cárter.

Fuente: (Vimos Pantoja & Coro Medina, 2021, pp. 11-35)

Realizado por: Váscquez J., Zúñiga J.,2023

d) Viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática es una medida de la resistencia interna de un fluido bajo la influencia de fuerzas gravitatorias. Se determina midiendo el tiempo, en segundos, requerido para que una cantidad fija de líquido fluya por gravedad sobre una distancia conocida a través de un capilar de

viscosímetro calibrado a una temperatura controlada con precisión. Este valor se convierte a unidades estándar como centistokes (cSt) o milímetros cuadrados por segundo. Un informe de viscosidad solo es válido si el informe también indica la temperatura a la que se realizó la prueba, por ejemplo, 23 cSt a 40 °C. De todas las pruebas utilizadas para analizar los lubricantes usados, ninguna proporciona mejor repetibilidad o consistencia que la viscosidad. (Mandores & Juanto, 2016, pp. 7-8).

e) Presencia de agua.

Actualmente, los planes de mantenimiento predictivo, junto con los estándares de limpieza ISO para sistemas hidráulicos y de lubricación, no solo tienen en cuenta los niveles de partículas permisibles medidos por contadores de partículas, sino que también determinan el contenido de agua de los aceites. Es imposible eliminar completamente el agua del sistema, pero es posible proporcionar métodos para minimizar el contenido de agua. El agua promueve la oxidación y aumenta la conductividad eléctrica del aceite, y también afecta negativamente las impurezas que se encuentran en el aceite. (Sandino Corbet, 2020, pp. 1-4).

2.7.5 Norma técnica ecuatoriana INEN 2027

Esta norma especifica los requisitos que deben cumplir los aceites lubricantes para motores de combustión interna de ciclo Otto. No se aplica a los aceites lubricantes para motores de dos tiempos, a los aceites lubricantes para motores que utilizan gas natural como combustible. (NTE INEN 2027: 2011).

2.7.5.1 Definición de las normas técnicas ecuatoriana INEN 2027

Se adoptan las siguientes definiciones para los efectos de esta norma:

- Aceites básicos minerales: Producto obtenido directamente de la refinación del aceite utilizado en la producción de lubricantes.
- Aceites base sintéticos: Los obtenidos por métodos petroquímicos
- Aceites base semisintéticos: Son productos obtenidos de la mezcla de aceites base minerales con aceites base sintéticos.
- Aceite de primer grado: Uno con un solo grado de viscosidad SAE.
- Aceite multigrado: Uno con dos grados de viscosidad SAE.
- Archivos adjuntos: Un compuesto que se agrega a los aceites base para dar nuevas propiedades o mejorar las existentes.

- API: Abreviatura en inglés del American Petroleum Institute, organismo con sede en los Estados Unidos que, entre otras cosas, determina la clasificación y nomenclatura de los aceites lubricantes según niveles de desempeño.
- ASTM: Abreviatura en inglés de la American Society for Testing and Materials, una organización con sede en los Estados Unidos que, entre otras cosas, determina los estándares de calidad y los métodos de prueba de laboratorio.
- Clasificación de API: Clasificación sistemática de categorías según diferentes niveles de rendimiento en pruebas estándar de motores de combustión interna Otto.
- Categoría API: Designaciones como SG, SH, SJ, SL, SM o superiores que definen el nivel de rendimiento del lubricante según la clasificación API.
 - Lote: Es una cantidad fija de producción de aceite lubricante con propiedades uniformes, que se controla como una unidad.
 - Muestra: Es una cantidad representativa de un lote de aceite lubricante extraído que se somete a un análisis de laboratorio, cuyos resultados permiten evaluar uno o más indicadores de calidad del lote. Ayuda a tomar decisiones sobre el artículo o su proceso de producción.
 - SAE: Abreviatura en inglés de la American Society of Automotive Engineers, organización con sede en los Estados Unidos que, entre otras cosas, determina la clasificación de los aceites lubricantes para motores de combustión interna según su viscosidad.

2.7.5.2 Disposiciones generales de la norma INEN 2027

Los aceites lubricantes para motores de combustión interna de ciclo Otto no deben contener materiales en suspensión, sedimentos, agua u otras impurezas extrañas. Pruebas especificadas por API para determinar el nivel de mantenimiento de los aceites lubricantes para motores de combustión interna de ciclo Otto. (NTE INEN 2027: 2011).

Tabla 2-9: Ensayos de aceite clasificado el servicio API, basada en la norma SAE J183.

Servicio API	Ensayos
SG	CRC L-38
	Secuencia IID
	Secuencia IIIE
	Secuencia VE
	Caterpillar 1H2

SH	CRC L-38
	Secuencia IID
	Secuencia IIIE
	Secuencia VE
SJ	CRC L-38
	Secuencia IID
	Secuencia IIIE
	Secuencia VE
SL	Secuencia IIIF
	Secuencia IVA
	Secuencia VG
	Secuencia VIII
SM	Secuencia IVA
	Secuencia IIIG
	Secuencia VG
	Secuencia VIII

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

2.7.5.3 Requisitos específicos de la norma INEN 2027

Requisitos para las propiedades fisicoquímicas de los aceites lubricantes. Las clases de viscosidad del aceite de motor Otto deben cumplir con los requisitos propuestos de esta norma. El método de ensayo para la determinación de la viscosidad es la NTE INEN 810 es uno de los requisitos para las propiedades fisicoquímicas de los aceites para motores Otto. (NTE INEN 2027: 2011).

Tabla 2-10: Requisitos de propiedades fisicoquímicos de los aceites lubricantes para motores de ciclo de Otto

No.	Requisitos	Unidad	Min.	Max.	Método de ensayo
1	Índice de Viscosidad	-	-	-	ASTM D 2270
	Aceite Monógrado		93,0	-	
	Aceite Multigrado		120,0	-	
2	Punto de Ecurrimiento	°C	-	-	ASTM D 97
	Aceite Monógrado		-	-6,0	
	Aceite Multigrado		-	-15,0	
3	Humedad	%		0	ASTM D 95
4	Punto de Inflamación	°C	190	-	ASTM D 92

5	Tendencia a la espuma	cm ³	-	-	ASTM D 892
	Secuencia I		-	20,0	-
	Secuencia II		-	50,0	-
	Secuencia III		-	20,0	-
6	Estabilidad a la espuma luego de 10 min de reposo Secuencias I, II y III	cm ³	-	0,0	ASTM D 892
7	TBN	-	5,5	-	ASTM D 2896
8	W cenizas sulfatadas	%	0,5	-	ASTM D 874

Fuente: (NTE INEN 2027: 2011)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

2.7.5.4 Requisitos complementarios de la norma INEN 2027

El transporte, almacenamiento y uso de los aceites lubricantes de la serie Otto debe realizarse de acuerdo con las normas de las autoridades de control y la comercialización se realiza en m³, sus múltiplos y fracciones (litros) de acuerdo con lo establecido en la Ley del Sistema Ecuatoriano de Calidad 2007-2076. (NTE INEN 2027: 2011).

2.7.6 Inspección de la norma INEN 2027

2.7.6.1 Muestreo

El lote debe estar compuesto por unidades de la misma clasificación, para verificar la conformidad del total del lote con los requisitos definidos en esta norma, se deben tomar dos muestras de un litro al azar y se deben presentar pruebas. El recipiente de la muestra deberá ser nuevo, limpio, seco y herméticamente cerrado, y además deberá ser de un material adecuado que no afecte las características del producto para ser muestra hasta por seis meses. (NTE INEN 2027:2011).

2.7.6.2 Identificación de muestreo

Para identificar las muestras se identifican de la siguiente manera:

- Número de la muestra
- Nombre del producto
- Identificación del lote
- Lugar, fecha y hora en que se toma la muestra
- Nombre y firma del muestreador.

2.7.6.3 Aceptación o rechazo de la norma INEN 2027

Con base en la muestra obtenida, se determinan los requisitos para el producto, que se confirman en esta norma. Si la muestra analizada no cumple con uno o más requisitos de esta norma, se evalúa la muestra. Si la próxima muestra no cumple con uno o más de los requisitos definidos en esta norma, el lote correspondiente será rechazado. (NTE INEN 2027:2011).

2.7.6.4 Envasado de la norma INEN 2027

En el proceso de envasado del lubricante, los aceites de combustión interna deben estar en recipientes con materiales adecuados que no degraden su calidad ni cambien las propiedades del aceite lubricante durante el transporte y almacenamiento. (NTE INEN 2027:2011).

2.7.6.5 Etiquetado de la norma INEN 2027

De acuerdo con la norma, cada contenedor debe tener una etiqueta totalmente legible en la etiqueta, y si el aceite lubricante obtenido es de un proceso de reciclaje, entonces también está en la etiqueta, entonces el paquete debe tener instrucciones que están en la etiqueta del paquete (NTE INEN 2027:2011).

- Nombre o denominación del producto.
- Marca comercial del producto.
- Número de lote del producto.
- Contenido neto en unidades del SI.
- nombre y Dirección de la empresa productora o comercializadora del aceite lubricante.
- País de fabricación del producto.
- Grado de viscosidad SAE.
- Clasificación del servicio API destacada en el envase.
- Aceite reciclado.
- Advertencia de riesgo que está presente por contacto del aceite lubricante con la piel.
- Advertencia de riesgo que genera en el ambiente por mal uso del aceite lubricante usado.
- Aplicación del producto para motores ciclo de Otto.
- Fecha máxima de uso.
- Condiciones de conservación.
- La información que debe contener en el envase debe estar en español sin perjuicio alguno que pueda afectar a otros idiomas adicionales como el inglés.

2.7.7 Norma técnica ecuatoriana INEN 2029

Esta norma INEN 2029 establece una serie de requisitos y normas físico-químicas a seguir en diversos ensayos de bases grasas parafínicas primarias y refinadas que deben cumplir los requisitos. (INEN, 2018, pp. 1-4).

Tabla 2-11: Clasificación de las bases lubricantes parafinas vírgenes y re-refinadas

Especificación	Unidad	Liviana		Media		Pesada		Cilindro parafínico		Método de ensayo
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	
Viscosidad cinemática 100 °C	cSt	2	6,1	>6,1	21,1	>21,1	40,1	>40,1	55	NTE INEN 810
Índice de viscosidad		92	-	95		95	-	70	-	ASTM D 2270
Punto de inflamación	°C	185	-	210		250	-	250	-	NTE INEN 808
Punto de escurrimiento	°C	-	-12		-8		-8	-	-	NTE INEN 1982
Color ASTM	-	-	2		3,5		6,5	-	-	ASTM D 1500
Acidez total	Mg KOH	-	0,06		0,06		0,06	-	0,1	ASTM D 974
Contenido d cenizas	% m/m	-	0,1		0,1		0,1	-	0,1	ASTMD 482
Contenido de Agua	% V	-	0,01		0,01		0,01	-	0,01	ASTM D 95
Policíclicos Aromáticos	%P	-	3		3		3	-	3	IP 346

Fuente: (INEN, 2018, pp. 1-4)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

2.7.8 Ensayos realizados en al NTE INEN 2029 determinación de la viscosidad

2.7.8.1 Determinación de la viscosidad

Al realizar el ensayo de acuerdo con lo establecido en la NTE INEN 810, esta norma establece el método para la determinación de la viscosidad cinemática de los productos líquidos relacionados con petróleo, tanto su opacidad y transparencia, además la viscosidad dinámica que presenta un aceite lubricante se la obtiene realizando la multiplicación de la viscosidad cinemática y la densidad de la muestra analizada. (NTE INEN 810:2013).

2.7.8.2 Determinación del índice de viscosidad

Realizando un ensayo de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM D 2270, muchas industrias utilizan características de viscosidad en sus procesos industriales y las integran en sus estándares de producción, y si se menciona la viscosidad del aceite, entonces es necesario especificar la temperatura a la que se midió, debido a que el índice de viscosidad se presenta como una cantidad de referencia, donde la viscosidad afecta dos distintas temperaturas a 40 °C a la temperatura a 100 °C. (Mandores & Juanto, 2016, pp. 1-13).

2.7.8.3 *Determinación del punto de inflamación*

Al realizar el ensayo de acuerdo con lo establecido en la NTE INEN 808, esta norma establece el método para determinar los puntos de inflamación y combustión de todos los productos que contengan petróleo, excepto los aceites combustibles y todos aquellos productos que contengan un punto de inflamación que sea inferior a una temperatura de 79 °C. (NTE INEN 808:2013.).

2.7.8.4 *Determinación del punto de escurrimiento*

Según las normas de la NTE INEN 1982, cuando se realiza un ensayo en base a un lubricante en su estado natural, sin aditivos, el punto de fluidez de una muestra de aceite indica la temperatura más baja a la que se puede utilizar en determinadas aplicaciones, esta norma define un método de ensayo que nos permite determinar el punto de fluidez de los derivados del petróleo. (NTE INEN 1982.).

2.7.8.5 *Determinación del color*

Realizando la prueba de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM D 1500, este método de prueba cubre la determinación visual del color de varios productos derivados del petróleo tales como: aceites lubricantes, aceites combustibles, aceites diésel y ceras de aceite, además, este método de prueba proporciona resultados específicos del método de prueba realizado y está registrado con el nombre de color ASTM. (ASTM D 1500).

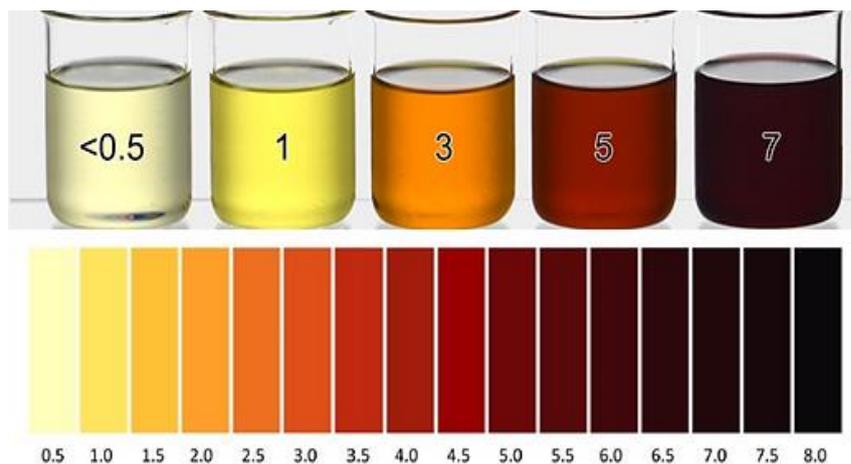


Ilustración 2-19: Determinación del color
Fuente: (Noria, 2023)

2.7.8.6 Determinación de la acidez total

La prueba del número de neutralización, también conocida como índice de acidez o simplemente acidez, es un análisis químico que permite medir la concentración de ácidos producidos por la oxidación del aceite, incluso los ácidos que se encuentran en los aceites nuevos son considerados residuos del proceso de refinación del aceite lubricante, la cantidad máxima permitida es de 0,03mg/KOH/g cuando la prueba se realiza de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM D 974. (SI ANALYTICS, 2019, pp. 1-6).

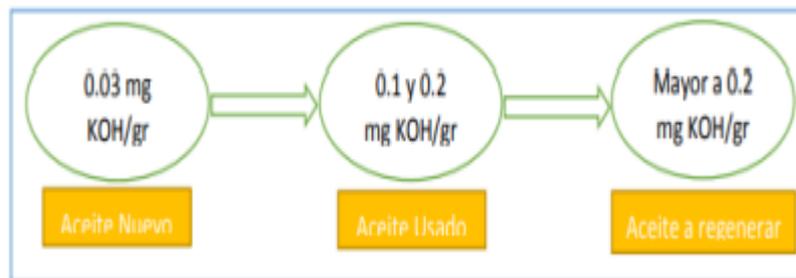


Ilustración 2-20: ASTM D-974, Acidez número de neutralización

Fuente: (Alarcón Sandoval y Peña Figueroa, 2015, p. 45)

2.7.8.7 Determinación del contenido de cenizas

Cuando la prueba se realiza de acuerdo con las disposiciones de la norma ASTM D 1492, este método pretende describir los pasos involucrados en la determinación del contenido de cenizas de los combustibles líquidos, y el método puede usarse para cualquier combustible líquido o producto derivado del petróleo que no contenga aditivos que cambien las cenizas (ASTM D 1492).

2.7.8.8 Determinación del contenido de agua

Cuando se prueba de acuerdo con las disposiciones de la norma ASTM D 95, este método está diseñado para determinar el contenido de agua de productos derivados del petróleo, como aceite lubricante, aceite diésel, también es adecuado para aceites y combustibles líquidos utilizados en centrales eléctricas, y también puede determinar cualquier contenido de agua que proporcione la medida de volumen correcta de la muestra para que el agua dispersada no exceda el volumen del colector. (ASTM-D 95)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este estudio se utilizó una serie de toma de muestras de aceite lubricante correspondiente a la flota de maquinaria pesada del GAD Municipal de Guano, teniendo como finalidad evaluar sus propiedades, esto les permite ser utilizados para análisis posteriores en equipos de laboratorio, y los datos generales brindan una imagen clara de la degradación del aceite durante el uso. Una vez obtenidos los resultados, serán una parte importante del desarrollo de mantener o ampliar un nuevo plan de mantenimiento. Como dicta nuestro cronograma las muestras se recolectó desde la semana tres a la semana quince en los patios del GAD Municipal de guano y posteriormente se realizó pruebas en las instalaciones del laboratorio de tribología de la facultad de Mecánica de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. (MUNICIPALIDAD GUANO, 2023).

3.1 Enfoque de la investigación.

Se utilizo métodos cuantitativos, los más adecuados para el estudio de parámetros, características y variables disponibles para el desarrollo, para recoger datos reales obtenidos en equipos de laboratorio tras el análisis de muestras de aceite, a partir de los cuales se podrá estudiar su comportamiento de degradación para responder con precisión a diversas cuestiones de investigación. Y probar la hipótesis de que con base en los resultados mostrados por el equipo de laboratorio y utilizando datos estadísticos para comparar y observar la relación entre la degradación por envejecimiento del lubricante, será posible identificar patrones utilizando datos de investigación. (Sampieri et al., 2004, p. 3).

Desde un enfoque cuantitativo, se utilizó técnicas de "recopilación de datos" y se identificó las variables que se pueden utilizar para observar la degradación del lubricante a lo largo del tiempo, se tabularon los datos y se generaron gráficos para el análisis para determinar el rendimiento, degradación del lubricante en las condiciones de operación anteriores y, en última instancia, este enfoque ayudo a comprender las causas y los efectos de la perdida de propiedades. (Sampieri et al., 2004, p. 3).

3.2 Nivel de Investigación.

La investigación que se realizó es de nivel de aplicación ya que se propuso abordar los problemas que se han presentado en la flota de maquinaria pesada del GAD Municipal de Guano, para saber, el envejecimiento prematuro de los motores, las técnicas estadísticas, con marcadores vía gráficos

de líneas ayudó obteniendo las propiedades del lubricante en el proceso de degradación, afectando con ello los métodos de mantenimiento en el taller del GAD Municipal de Guano. (Cauas, 2015).

También se utilizó niveles de predicción, con los análisis de los resultados obtenidos en el laboratorio, se pudo determinar la vida útil del lubricante y así desarrollar un plan de lubricación del motor. Otro nivel utilizado es el nivel explicativo, que detalla el comportamiento de las variables que tiene el aceite que pueden determinar si el estado del aceite lubricante es bueno o malo. (Cauas, 2015).



Ilustración 3-1: Etapas de la investigación

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

3.3 Tipo de estudio

Se aplicó el tipo de estudio correlacional o explicativo a su desglose causal, como el fenómeno del enunciado condicional, “El lubricante ya no será apto para brindar una buena y correcta lubricación a la flota de maquinaria pesada por la pérdida de sus propiedades fisicoquímicas”. (Sampieri et al., 2004, pp. 180-195)

Para ello, se evaluó el impacto de los cambios en sus criterios iniciales para contrastar las hipótesis propuestas, observando el comportamiento y las interacciones entre las variables, a partir de los criterios iniciales, para contrastar las hipótesis propuestas. (Sampieri et al., 2004, pp. 180-195).

3.4 Población y muestra

Los cambios climáticos bruscos el aumento de población el deterioro de estructuras en la municipalidad del cantón Guano y de sus alrededores aumenta la demanda de reparaciones construcciones de vías, infraestructuras, alcantarillados, servicios básicos entre otros.

Por ese motivo el Gad de Guano dispone de máquinas y vehículos de trabajo la cual están involucrados livianos, semi livianos y maquinaria pesada para la utilización en los distintos trabajos que se desarrollen en el cantón.



Ilustración 3-2: Lugar donde se sitúa la población de estudio
Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

3.4.1 Selección de la maquinaria pesada para el estudio

Considerando lo planteado dentro de este capítulo se consideró el análisis de 5 maquinarias ya que son las más utilizadas dentro del rango de tiempo que se propuso para realizar los análisis de tribología de los lubricantes utilizados.



Ilustración 3-3: Maquinaria seleccionada para el estudio
Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

Tabla 3-1: Maquinaria que posee el Gad municipal de Guano

MAQUINARIA DEL GAD MUNICIPAL DE GUANO	ESTADO DE LA MAQUINARIA
MOTONIVELADORA KOMATZU	OPERANDO Y DISPONIBLE
BARREDORA	OPERANDO, PERO NO DISPONIBLE
MOTONIVELADORA CATERPILLAR	OPERANDO Y DISPONIBLE
EXCVADORA CATERPILLAR	OPERANDO Y DISPONIBLE
RODILLO BOMAC	OPERANDO, PERO NO DISPONIBLE
RETROEXCAVADORA KOMATZU	OPERANDO Y DISPONIBLE
MINI CARGADORA CATERPILLAR	OPERANDO Y DISPONIBLE
ORUGA	NO OPERANDO

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

En la Tabla 3-1 se muestra el total de maquinaria por parte del GAD Municipal de Guano de las cuales se realizó un estudio de las maquinarias que están en operación regular y las que están disponibles en ese momento lo cual se llegó a la conclusión de la utilización de 5 maquinarias disponibles y en operación las cuales están reflejadas en la Tabla 3-2 que está a continuación.

Tabla 3-2: Especificaciones de las maquinarias seleccionadas

Numero	Maquinaria	Estado actual
23	TIPO: MOTONIVELADORA MARCA: KOMATZU AÑO: 2008 No. MOTOR: 6D102- 26439801 COLOR: AMARILLO	OPERANDO
44	TIPO: MINI CARGADORA MARCA: CATERPELLAR AÑO: 2017 No. MOTOR: 8HS1468	OPERANDO
21	TIPO: MOTONIVELADORA MARCA: CATERPILLAR AÑO: 2008 No. MOTOR: V8800-T-8L2965 COLOR: AMARILLO	OPERANDO
39	TIPO: EXCVADORA MARCA: CATERPILLAR AÑO: 2014 No. MOTOR: D7A03563 COLOR: AMARILLO	OPERANDO
26	TIPO: RETROEXCAVADORA MARCA: KOMATSU AÑO: 2015 No. MOTOR: KMTW9024HMUF904Z24 COLOR: AMARILLO	OPERANDO

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

3.4.2 Diseño de investigación

Se aplico un diseño de investigación no experimental por que se cuenta con diversas variables que no son manipuladas, mientras avanza el estudio se evidencio los cambios que ocurrieron naturalmente con el lubricante debido al trabajo que está realizando.

Una investigación inductiva-deductiva es el método aplicado ya que gracias a los estudios realizados en el laboratorio de tribología se constató la degradación del aceite de la maquinaria pesada por el medio se generó un plan de mantenimiento de lubricación del motor.

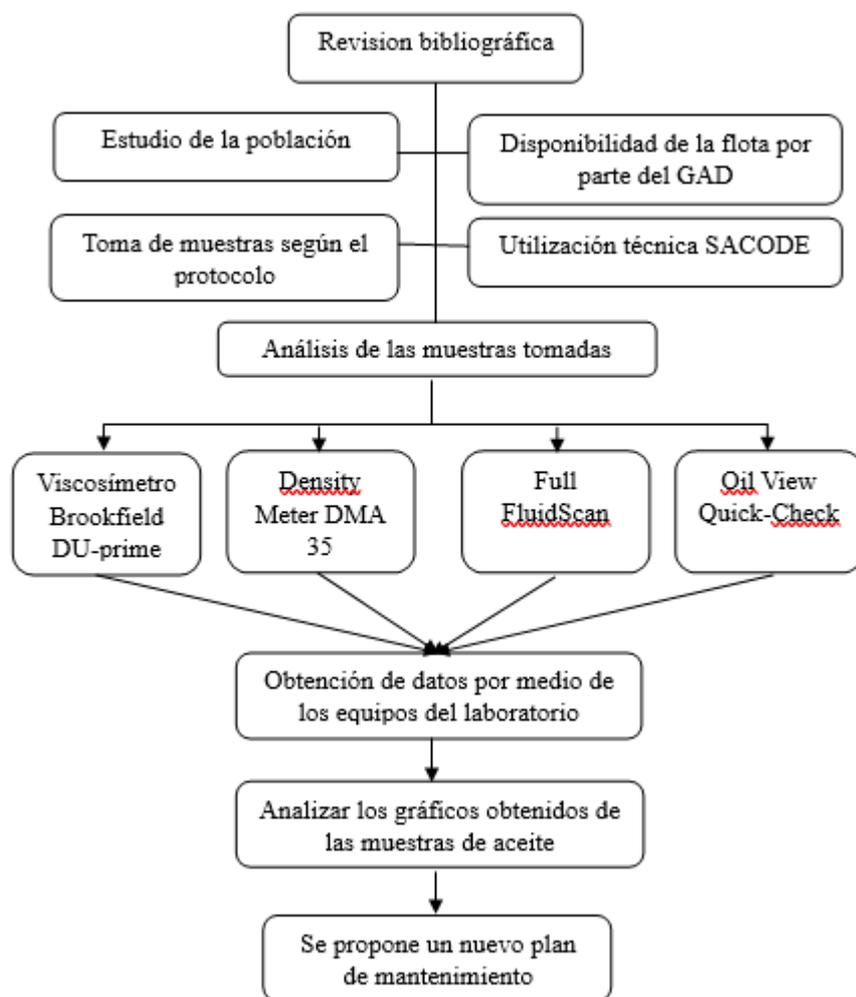


Ilustración 3-4: Metodología de investigación

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

3.4.3 Planificación para la toma de muestras

El proceso para a toma de muestras debe ser idónea para evitar datos erróneos de los resultados y no se pueda tomar un diagnóstico exacto del estado del lubricante y sus cambios de propiedades.



Ilustración 3-5: Toma de muestras de lubricante
Realizado por: Váscquez J., Zúñiga J.,2023

Con el motor apagado, mida la manguera nueva y córtela del largo de la varilla medidora o bayoneta. Si el compartimento que está tomando las muestras no tiene una varilla medidora, corte la manguera para que esté a la mitad de la profundidad del aceite. El muestreo se realizará con una jeringa de 60 ml, la manguera de goma debe tener una longitud recomendada de 1/8" 6 pulgadas, completamente esterilizada, construya una bomba de vacío casera. (Aguado, 2020).

Una vez obtenido las muestras se realizó pruebas en el laboratorio de tribología de la ESPOCH donde nos proporcionaron los diferentes equipos para realizar los respectivos análisis para conocer las propiedades iniciales de cada una de las muestras obtenidas.



Ilustración 3-6: Muestras de los aceites lubricantes
Realizado por: Váscquez J., Zúñiga J.,2023

Para realizar el estudio final de la caracterización se debe esperar que el lubricante termine su ciclo útil de utilización, con los valores arrojados por los equipos se realiza una comparación de las propiedades iniciales con las propiedades finales con las tolerancias que debería tener el aceite

y determinar si el aceite utilizado en la flota de maquinaria pesada es el adecuado o se debe acortar los periodos de mantenimiento preventivo.

Teniendo los resultados de los distintos equipos que se realizó los análisis se procede a realizar una tabulación con los distintos datos arrojados y los datos de cada una de las maquinarias que se seleccionó para el estudio, teniendo los datos en orden se procede hacer un análisis para determinar los índices de degradación de los lubricantes de las diferentes unidades.

3.5 Coeficiente de correlación lineal de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson es un parámetro que mide la magnitud de la relación entre dos variables de tipo continuos. Si la correlación entre las partes no es plana, entonces el parámetro no se encuentra exhibido de manera correcta. (Camacho, 2007, pp. 2-20).

El grado de correlación puede oscilar entre + 1 y - 1. Un número de 0 significa que la correlación entre las dos variables no existe. Un número mayor a 0 implica una correlación positiva. En otras palabras, cuanto más grande es una variable, también lo es su contraparte. Un número más bajo que 0 implica una correlación negativa; esto es, mientras más grande sea el valor de una variable, el valor de la otra se achica. (Camacho, 2007, pp. 2-20).

Con el fin de hacer la correlación de Pearson, es obligatorio acatar lo siguiente:

- El escalafón de medida debe ser un escalafón de oposición o relación.
- Las cifras deben ser esparcidas en un rango similar.
- La correlación debe ser lógica.
- Los datos no pueden tener valores atípicos.

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

3.5.1 Variables que se usa en el estudio

Para una mejor interpretación de los datos se estableció los índices o variables que se analizó, se definió una nomenclatura para la identificación en los diferentes párrafos, cuadros e ilustraciones también se señaló cual son las variables dependientes o independientes.

Tabla 3-3: Variables que se usan en el estudio

Variabales de la hipótesis	Dimensiones	Variable	Tipo de variable	Nomenclatura
Programación de intervalos de lubricación	Permite realizar una estructura organizada programando adecuadamente los periodos de mantenimiento	Intervalo de lubricación	Dependiente	Horas(h)
Análisis tribológico de aceite utilizado en los motores de la flota de maquinaria pesada	Análisis que se realiza con un significativo número de muestras de lubricante tomadas a ciertas horas de trabajo para determinar el desgaste de este	Viscosidad	Independiente	V
		Índice ferroso		If
		Rigidez dieléctrica		Rd
		Densidad		-
		Numero de base total		D
		Agua		TBN
		Aditivos anti-desgaste		Ag
		Hollín		AW
		Índice químico		H
		Glicol		Iq
		Proceso de sulfatación		Gl
		Proceso de oxidación		Sf
			Ox	

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

3.6 Instrumentos y técnicas de recolección de datos

Uno de los métodos para la investigación es revisar manuales catálogos artículos de las marcas, modelos de la maquinaria que cuenta el GAD Municipal de Guano esto se lo realiza con el fin de conocer a fondo las características y saber el lubricante que sería adecuado para la utilización en la maquinaria.

Se realizará un registro de los lubricantes que se recolectan donde indiquen el tiempo de uso, los intervalos entre la primera muestra y al siguiente, de la maquinaria que se recolecto para una mejor especificación, se crearon etiquetas donde se especifique todo lo mencionado anteriormente.

La habilidad denominada SACODE pone a disposición de los usuarios las herramientas fundamentales para entender la correcta resolución de los datos del estudio de aceite, a través del monitoreo constante. Esta sigla denota la secuencia en la que se examinarán los 3 componentes del análisis: SA para salud, CO para contaminación y DE para desgaste. (Pozo Morejón et al., 2014).

A continuación, se da conocer los conceptos:

Salud: Son las alteraciones en relación con la sustancia en cuestión, por ejemplo: la viscosidad, el (TBN), la oxidación, la sulfatación, la nitración, el contenido de aditivos (P, Zn, Ca, Mg), el punto de inflamación y el índice de la viscosidad. (Pozo Morejón et al., 2014).

Contaminación: son los contaminantes que se encuentran presentes en el aceite como las partículas de polvo, solventes combustibles etc. (Pozo Morejón et al., 2014).

Desgaste: A los desechos del vehículo se le considera desgaste cuando están suspendidos dentro del aceite, por ejemplo: Fe, Cu, Pb, Cr, Al, Sn, Ni, etc. (Pozo Morejón et al., 2014).

3.6.1 Viscosímetro Brookfield DV-I prime

Instrumento para medir la viscosidad de un fluido de una determinada proporción. Funciona al conducir una aguja a través de un resorte calibrado. La viscosidad del fluido crea una resistencia a la aguja, que se mide por la desviación del resorte calculada por el sensor de rotación.

Para la utilización correcta de este instrumento se debe tomar en cuenta un parámetro muy importante, después de medir la viscosidad de cada muestra se debe limpiar cuidadosamente el instrumento para que el aceite nuevo no tenga contacto con el anterior para que no arrojen medidas distorsionadas y erróneas.

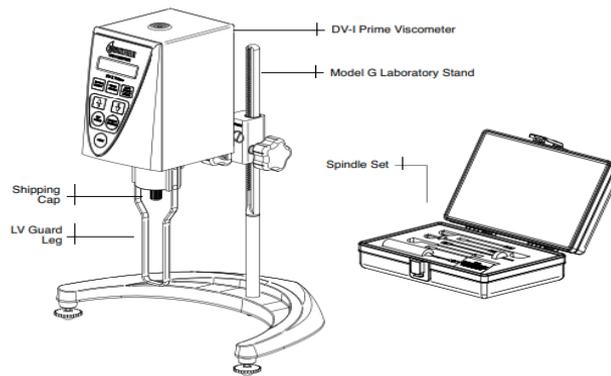


Ilustración 3-7: Viscosímetro Brookfield DV-I prime
Fuente:(BROOKFIELD, 2022, pp. 8-15)

Los parámetros que permite encontrar son la viscosidad del lubricante y la temperatura a la que se realiza la medición. Se dan valores de precisión de $\pm 1,0\%$ de la escala completa.

3.6.2 Termómetro infrarrojo 42570

El diseño más básico de un termómetro infrarrojo consiste en una lente que enfoca la energía infrarroja (IR) en un pirómetro, que convierte la energía en una señal eléctrica que se puede mostrar en unidades de temperatura después de compensar los cambios de temperatura.



Ilustración 3-8: Termómetro Infrarrojo 42570
Fuente:(EXTECH INSTRUMENTS, 2016, pp. 1-9)

Tabla 3-4: Especificaciones generales del termómetro infrarrojo 42570

Especificaciones generales	
Pantalla	Pantalla LCD con retroiluminación e indicadores de función
Tiempo de respuesta	100 ms
Temperatura de operación	0°C a 50°C (32°F a 122°F)
Humedad de operación	10% a 90%HR operación, <80% HR almacenamiento.

Temp. almacenamiento	-10 a 60°C (14 a 140°F)
Fuente de energía	Batería 9V
Apagado automático	7 segundos, con traba para desactivar
Peso	320 g / 11.3 oz.
Dimensiones	204 x 155 x 52 mm (8 x 6.1 x 2")

Fuente: (EXTECH INSTRUMENTS, 2016, pp. 1-9)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

3.6.3 Full FluidScan

La serie Spectro Scientific FluidScan 1000 es equivalente a un conjunto de analizadores infrarrojos portátiles para el control de la contaminación en lubricantes y aceites, proporcionando mediciones cuantitativas directas.



Ilustración 3-9: Equipo FluidScan

Fuente:(SPECTRO SCIENTIFIC, 2018, pp. 1-4)

Este dispositivo es de gran ayuda en el monitoreo de máquinas industriales y flotas de trabajo para el mantenimiento predictivo en los cronogramas de mantenimiento. Una vez que se analiza el aceite, se puede determinar la degradación de las propiedades químicas y la contaminación o contaminación de fluidos como el agua para determinar cuándo es necesario cambiar el aceite. (SPECTRO SCIENTIFIC, 2018, pp. 1-4).

Tabla 3-5: datos que se obtienen en el equipo FluidScan.

Resultados	Unidades	Método
Oxidación	Abs/0.1mm	D7889-D7414
Glicol	%	E2412
TBN	mg KOH/g	D4739-D2896
Hollín	% wt	D7889
Agua	ppm	D6304
Aditivos anti-desgaste	%	D7889
Sulfatación	Abs/0.1mm	D7889-D7415

Fuente: (SPECTRO SCIENTIFIC, 2018, pp. 1-4)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

3.6.4 Density Meter DMA 35

El DMA 35 Basic es un densímetro portátil básico para tomar muestras directamente de contenedores de almacenamiento y realizar mediciones en el sitio con la ayuda de una bomba integrada. Los resultados se dan en densidad o concentración, por ejemplo, en °Brix, %v/v de alcohol o %p/p de H₂SO₄. Gracias a su diseño plano y liviano, se pueden medir fácilmente muestras difíciles de alcanzar, como baterías de automóviles almacenadas en estantes estrechos o muestras de vino en barriles de vino apilados. (Anton Paar, 2023, pp. 1-4).



Ilustración 3-10: Density Meter DMA 35
Fuente: (Anton Paar, 2023, pp. 1-4)

Tabla 3-6: Especificaciones del Density Meter DMA 35

Especificaciones Técnicas	
Rango de medición	Densidad: 0 g/cm ³ a 3 g/cm ³ Temperatura: 0 °C a 40 °C (32 °F a 104 °F) *
Exactitud	Densidad: 0,001 g/cm ³ ** Temperatura: 0,2 °C (0,4 °F)
Repetibilidad	Densidad: 0,0005 g/cm ³ Temperatura: 0,1 °C (0,2 °F)
Reproducibilidad	Densidad: 0,0007 g/cm ³
Resolución	Densidad: 0,0015 g/cm ³ Temperatura: 0,1 °C (0,1 °F)
Volumen de la muestra	2 ml
Temperatura ambiente	-10 °C a +50 °C (14 °F a 122 °F)
memoria de datos	1024 resultados medidos, 20 métodos de medición, 100 ID de muestra
Dimensiones (L x An x Al)	140 mm x 138 mm x 27 mm (5,5 x 5,4 x 1,0 pulgadas)
Peso	345 (12,2 onzas)
Fuente de alimentación	Dos pilas alcalinas AA LR06 de 1,5 V

Unidades de medida admitidas	Gravedad específica Tablas de alcohol Tablas de azúcar/extracto Funciones API H 2 SO 4 mesas Diez funciones personalizadas programables (por ejemplo, H 2 O 2, HCl, CH 2 O)
Interfaces	IrDA OBEX/LPT
Clase de protección	IP54
Industrias	Bebidas Industria química Cosméticos, cuidado personal Educación, investigación Electrónica Ambiental Industria de alimentos Farmacia, medicina, biotecnología
Opciones Disponibles	tubo de llenado alargado Impresora térmica portátil con interfaz IrDA Adaptador USB IrDA Pulsera Calibración ISO

Fuente: (Anton Paar, 2023, pp. 1-4)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

3.6.5 *OilView Quick Check QC*

Es un dispositivo versátil para el análisis de fluidos industriales para determinar la condición química, la contaminación y el desgaste de los componentes mecánicos. Localiza la degradación de los aceites lubricantes y es adecuado para el análisis de aceites automotrices minerales y sintéticos, brindando resultados en una variedad de formas. poco tiempo. Estime tres áreas clave: desgaste de la máquina, contaminación del sistema, química del aceite. (MJR Technologies LLC, 2010, pp. 1-13).



Ilustración 3-11: Equipo Oilview Quick Check QC
Fuente:(MJR Technologies LLC, 2010, pp. 1-13)

Tabla 3-7: Datos que se obtiene en el equipo OilView Quick Check QC

Variable	Descripción
Ferrosos grandes	Partículas ferrosas superior a 60 micrones.
No ferrosos grandes	Superior a 60 micrones.
Índice ferroso	Se muestra cuando las partículas son mayores a 5 micrómetros.
Medición dieléctrica	Compara la información registrada del aceite limpio con los datos que se obtiene de los aceites que han sufrido degradación.
Agua	Se muestra en porcentaje.

Fuente: (MJR Technologies LLC, 2010, pp. 1-13)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

3.6.6 Lubricante Gulf Oil International

Se realizó el estudio, análisis del lubricante utilizado en la flota de maquinaria pesada que nos proporcionó el GAD Municipal de Guano, esto es necesario para una investigación detallada del aceite para conocer más detallado de las características y límites que tiene para garantizar una lubricación óptima y también indagar sobre los programas, manuales de lubricación que proporciona la ficha técnica del mismo. (GULF OIL INTERNATIONAL, 2011, pp. 1-3).

Tabla 3-8: Especificaciones del aceite utilizado

CUMPLE LAS SIGUIENTES ESPECIFICACIONES	15W-40
API CI-4, ACEA E7, Global DHD-1	X
API CH-4, CG-4, CF-4, SL	X
ACEA E5, A3/B3, A3/B4	X

Daimler Chrysler MB 229.1, Cummins CES 20071, 20072, 20076		X
Volvo VDS-3, Renault Trucks RLD, Mack EO-M Plus, Cummins CES 20077, 20078		X
Caterpillar ECF-2		X
Aprobaciones		X
API CI-4, ACEA E7, Global DHD-1		X
Daimler Chrysler MB 228.3		X
MAN M 3275		X
MTU Oil Category 2		X
Volvo VDS-3		X
Cummins CES 20078/77/76/75		X
Parámetros	Método ASTM	Valores Típicos
Viscosidad @ 40°C, cSt	D-445	110
Viscosidad @ 100°C, cSt.	D-445	14,5
Índice de Viscosidad	D-2270	142
Punto de inflamación °C	D-92	230
Punto de congelación °C	D-97	-33
TBN mgKHO/g	D-2896	10
Densidad @ 15°C, kg/l	D-1296	0,89
Cenizas sulfatadas, wt%	D-874	1,45
Color	-	Rojo

Fuente:(GULF OIL INTERNATIONAL, 2011, pp. 1-3)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

Para validar los datos extraídos de la ficha técnica se procedió a realizar el análisis tribológico en el aceite nuevo y así tener la caracterización de sus propiedades iniciales esto se lo realizó mediante la utilización de los equipos propuestos anteriormente para lo cual se debe conocer perfectamente funcionamiento y así poder extraer los datos que se requieren.

3.6.7 Protocolo para la obtención de muestras de aceite lubricante del motor

Como paso inicial para el análisis se consideró varios aspectos que se deben tomar muy en cuenta como es el debido proceso para la extracción de muestras para que no sea contaminadas y tener en cuenta los intervalos en los cuales se extrajo las muestras.

Para un buen análisis se debe realizar una toma de muestras representativa para lo cual se tiene dos métodos.

3.6.7.1 Toma de muestras desde el tapón de drenaje del motor

Este proceso se lo considero por el momento, pero no es muy adecuad ya que al momento de aflojar el tapón en la parte inferir del motor se puede llegar a salir todo el aceite y causaríamos un daño económico, pero también se debe considera la contaminación que se le dará a las muestras y ya no serviría.

3.6.7.2 Toma de muestras con ayuda de la bomba de vacío o muestreo

El muestreo al vacío es un método utilizado en diversos campos como la química, la biología, la microbiología y la calidad del aire. Este proceso consiste en utilizar una bomba de vacío para aspirar una muestra de aceite, líquido u otro material de interés para analizar sus componentes, propiedades o contenidos.

En el muestreo con bomba de vacío, la bomba está conectada a un dispositivo de muestreo, como un filtro, recipiente o tubo de muestreo. La bomba crea un vacío o presión negativa que permite que el material fluya desde la fuente hasta el dispositivo de recolección. Esto es especialmente útil cuando necesita recolectar muestras de aceite de lugares a los que no se puede acceder directamente.

Para la realización de los resultados se tomó 7 muestras más la muestra del aceite nuevo por cada maquina seleccionada anteriormente, las cuales se tomaron cuando las máquinas estaban detenidas por horas libres para no interrumpir el trabajo de las máquinas y no molestar a los operadores.

Tabla 3-9: Fechas y tiempos en las que se tomó las muestras de las maquinarias

M	Retroexcavador komatzu		Motoniveladora komatzu		Motoniveladora Caterpillar		Mini cargadora		Excavadora	
	Fecha	Horas	Fecha	Horas	Fecha	Horas	Fecha	Horas	Fecha	Horas
1	02/05	13531	05/05	12959	19/05	15952	24/05	8788	19/05	19011
2	20/05	13628	16/05	13014	30/05	16027	04/06	8964	30/05	19163
3	07/06	13710	29/05	13034	16/06	16047	14/06	9004	19/06	19226
4	20/06	13746	03/06	13054	29/06	16077	20/06	9023	02/07	19246
5	01/07	13820	19/06	13084	11/07	16207	05/07	9063	21/07	19261
6	15/07	13876	28/06	13254	20/07	16247	20/07	9086	30/08	19281
7	23/07	13900	14/07	13274	28/07	16267	28/07	9114	17/08	19298

Realizado por: Váscquez J., Zúñiga J.,2023

3.6.8 Proceso para la evaluación de las muestras

Teniendo las muestras se procedió a realizar las pruebas en el Full FluidScan para lo cual no se necesitó mayor cantidad de muestra con dos gotas de este sería suficiente para que el equipo nos bote las características de cada muestra.

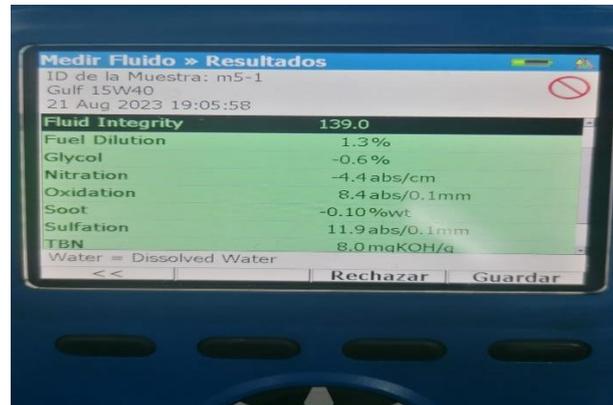


Ilustración 3-12: Datos arrojados por el Full FluidScan
Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

El segundo equipo que se utilizó Ilustración 3-13 el viscosímetro a lo contrario del anterior equipo en este si necesitamos 500ml de aceite, para sacar los resultados en ese equipo se consideró dos temperaturas de 40 °C y de 100 °C al ser estas las temperaturas a las que se encuentra la maquinaria al arrancar en frio y temperatura de funcionamiento.



Ilustración 3-13: Análisis en el viscosímetro de las muestras
Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

A continuación, se utilizó el densímetro Ilustración 3-14, que al igual que el primer equipo no se necesitó gran cantidad de la muestra, para la utilización de este equipo se debe cerciorar que esté completamente limpios para que no salga resultados erróneos, el artefacto funciona como una bomba de succión la cual solo se debe presionar un botón que se encuentra en el aparte superior de la máquina para que pueda absorber el lubricante y así arrojarlos los datos requeridos.



Ilustración 3-14: Análisis de las muestras en el densímetro
Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

Por último, se utilizó el equipo Oil View Quick Check Ilustración 3-15, para su utilización se debe contar con un software dl mismo equipo esto nos sirve para la calibración de los instrumentos con los fluidos denominados 220 y 300 estos datos son especificados por el fabricante, una vez calibrado se procede a realizar los análisis de las muestras siguiendo las respectivas indicaciones como se muestra en el manual.



Ilustración 3-15: Análisis de las muestras en el Oil View Quick Check
Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

Con los resultados obtenidos se continua con la interpretación de los resultados para luego de tener los datos, se realizó la nueva programación de intervalos de lubricación de la flota me maquinaria pesada con el fin de mejorar las condiciones de uso y evitar el desgaste prematuro del mismo.

3.7 Datos obtenidos en os equipos del laboratorio

En las tablas que se visualizan a continuación se muestra los daos extraídos por los equipos proporcionados por el laboratorio de tribología de la facultad de mecánica, en la cual se expresa los valores inéditos y exactos correspondientes a los análisis de cada una de las muestras extraídas

de la maquinaria del GAD municipal del Cantón Guano, se puede dar cuenta que los datos se obtuvo en base a rangos desde que se realizó el cambio hasta el final del periodo de utilización para una mejor exactitud se tomó como mínimo 7 muestras de cada maquina y asi poder valorar el cambio de sus propiedades en cada una de ellas.

Tabla 3-10: Datos extraídos de la Retroexcavadora

Máquina 1 Retroexcavadora								
Intervalo Horas (h)	Aglomeración de aditivos	TBN mgKOH/g	Integridad de fluido (%)	Glicol (%)	Oxidación (abs/0,1mm)	Hollin (% wt)	Sulfatación (abs/0,1mm)	Agua (ppm)
0	45,73081	11,203	100,35206	0,000	9,987	0,000	16,222	76,640
59	37,01777	9,665	99,91613	0,000	11,887	0,000	17,166	85,371
97	32,10060	9,441	99,57120	0,000	13,182	0,000	17,522	190,649
179	25,82522	9,421	101,28505	0,000	13,353	0,000	17,611	178,188
215	8,097	9,356	113,854	0,000	13,414	0,015	17,711	220,129
289	6,640	9,324	117,606	0,031	13,423	0,036	17,981	361,817
345	1,837	9,225	135,396	0,195	16,307	0,045	20,227	5332,138
369	18,556	0,000	743,689	1,314	32,045	0,371	23,622	31409,67

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

Tabla 3-11: Datos extraídos de la Motoniveladora Komatsu

Máquina 2 Motoniveladora Komatsu								
Intervalo Horas (h)	Aglomeración de aditivos	TBN mgKOH/g	Integridad de fluido (%)	Glicol (%)	Oxidación (abs/0,1m m)	Hollin (% wt)	Sulfatación (abs/0,1m m)	Agua (ppm)
0	45,731	10,203	100,35206	0,000	9,987	0,000	16,222	76,640
55	29,491	10,102	98,629	0,000	10,475	0,000	16,364	102,848
75	21,496	9,995	102,555	0,000	10,925	0,000	16,602	105,991
95	20,103	9,598	105,529	0,000	11,455	0,000	16,828	109,794
125	18,176	9,105	112,295	0,000	12,205	0,000	16,852	102,790
255	15,961	8,659	115,553	0,000	13,579	0,021	17,126	106,010
295	14,908	7,995	115,719	0,001	14,888	0,078	17,508	105,438
315	13,831	7,955	120,894	0,005	15,345	0,097	17,541	156,7598

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

Tabla 3-12: Datos extraídos de la Mini cargadora

Máquina 3 Mini Cargadora								
Intervalo Horas (h)	Aglomeración de aditivos	TBN mgKOH/g	Integridad de fluido (%)	Glicol (%)	Oxidación (abs/0,1mm)	Hollin (% wt)	Sulfatación (abs/0,1mm)	Agua (ppm)

0	45,73081	10,003	100,3520 6	0,00 0	9,987	0,00 0	16,222	76,640
88	33,372	9,598	98,610	0,00 0	10,282	0,00 0	16,249	85,769
176	30,101	9,335	99,408	0,00 0	10,253	0,00 0	18,337	64,799
216	26,825	9,295	100,277	0,00 0	10,314	0,00 0	16,371	73,987
235	25,281	9,195	102,299	0,00 0	10,223	0,00 0	16,541	81,349
275	23,809	9,125	102,916	0,01	10,237	0,00 0	16,890	105,951
298	22,257	9,335	102,571	0,01 5	10,687	0,01 4	16,859	133,988
326	21,254	9,125	107,285	0,017	11,070	0,02 2	16,859	140,491

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

Tabla 3-13: Datos extraídos de la Motoniveladora CAT

Máquina 4 Motoniveladora CAT								
Intervalo Horas (h)	Aglomeración de aditivos	TBN mgKOH/g	Integridad de fluido (%)	Glicol (%)	Oxidación (abs/0,1mm)	Hollin (%wt)	Sulfatación (abs/0,1mm)	Agua (ppm)
0	45,73081	10,203	100,3520 6	0,00 0	9,987	0,00 0	16,222	76,640
55	30,555	10,102	95,279	0,00 0	10,475	0,00 0	16,364	52,279
75	26,496	9,995	98,207	0,00 0	10,925	0,00 0	16,602	99,792
95	21,103	9,598	105,153	0,00 0	11,455	0,00 0	16,828	116,303
125	18,176	9,105	109,971	0,00 1	12,205	0,00 0	16,852	258,418
255	15,961	8,659	115,719	0,01 2	13,579	0,02 1	17,126	273,087
295	14,908	7,995	120,894	0,01 6	14,888	0,07 8	17,508	2018,331
315	9,114	6,558	125,168	0,17	15,316	0,09 7	18,990	2745,437

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

Tabla 3-14: Datos extraídos de la Excavadora

Máquina 5 Excavadora								
Intervalo Horas (h)	Aglomeración de aditivos	TBN mgKOH/g	Integridad de fluido (%)	Glicol (%)	Oxidación (abs/0,1mm)	Hollin (%wt)	Sulfatación (abs/0,1mm)	Agua (ppm)
0	45,73081	10,203	100,3520 6	0,00 0	9,987	0,00 0	16,222	76,640
72	46,363	8,588	101,335	0,00 0	10,625	0,00 0	16,249	47,785

152	30,631	8,145	111,108	0,00 0	10,566	0,00 0	16,337	72,612
215	26,904	7,792	113,651	0,00 0	10,397	0,00 0	16,378	88,214
235	31,588	7,631	113,854	0,00 0	10,441	0,00 0	16,505	104,201
250	27,264	7,488	107,640	0,00 0	10,627	0,00 0	16,668	113,059
270	25,980	7,235	107,654	0,00 0	11,251	0,14 2	17,071	168,544
287	14,785	6,588	157,221	0,20 7	11,412	0,23 7	17,215	223,957

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

3.8 Límites condenatorios del lubricante

En la tabla que se representara a continuación Tabla 3-15 se da a conocer los límites condenatorios que las propiedades de los lubricantes no deberían sobrepasar según el método “SACODE”.

Tabla 3-15: Límites condenatorios

Indicador	Detalle	Unidad	Alerta	Critico	Inaceptable
Contaminación	Glicol	%	-	-	0,02
	Rigidez dieléctrica	-	-	-	<2, 15o>2,35
	Agua	ppm	-	-	>500,00
	Hollín	%wt	>0,20	>0,30	>2,00
Salud	Sulfatación	abs/0,1mm	>20,00	>25,00	>30,00
	Oxidación	abs/0,1mm	>15,00	>18,00	>25,00
	TBN	mgKOH/g	<7,00	<5,00	-
	Viscosidad	Cst	<12,70	<11,70	<10,00
			o >16,50	o >17,20	o >20,00

Fuente: (Pozo Morejón et al., 2014)

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

Límites dispuestos por el Oilwiew Quick Check QC donde se encuentran las distintas alertas como se muestra en la siguiente Tabla 3-16.

Tabla 3-16: Límites por el Oilwiew Quick Check

Indicador	Parámetros	Alertas		Fallo	
		Baja	Alta	Bajo	Alto
Desgaste	Índice ferroso	2	4	6	13
	Índice químico	5	8	12	24

Fuente: (MJR Technologies LLC, 2010 pp1-13)

Realizado por: Vásquez J., Zúñiga J.,2023

CAPITULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis e interpretación de resultados

Mediante el análisis del lubricante proporcionado por el GAD Municipal de Guano que es el aceite GULF OIL INTERNATIONAL que se realizó en los diferentes equipos para este análisis se aplica la técnica de “SACODE” que nos permitió realizar la comparación de los datos del fabricante y los valores que se obtiene, con estos datos nos ayudó a valorar si será o no necesario crear un nuevo plan de mantenimiento.

Mas adelante se vera la interpretación de los datos de las muestras sustraídas de la maquinaria pesada donde se muestra las características con las que cuenta el lubricante y también se presenta una comparación en ilustraciones de sus resultados de la maquinaria pesada, esto ayuda de mejor manera para apreciar la degradación que tiene cada una de las muestras.

4.2 Análisis de resultados del aceite Gulf 15W40 nuevo

Se analizo el aceite nuevo que nos proporcionó el Gad municipal de Guano y se caracterizó las propiedades, para obtener un análisis completo y precisa de los resultados del aceite Gulf 15W40, se deben llevar a cabo pruebas en los laboratorios especializados y en condiciones reales de operación.

Tabla 4-1: Análisis del aceite nuevo Gulf Oil International

Propiedades	Catalogo	Nuevo	Unidades
Viscosidad a 100 °C	14,200	14,200	cSt
Viscosidad a 40 °C	103,000	102,700	cSt
Agua	0,000	76,639	ppm
Hollín	0,000	0,000	% wt
TBN	10,500	10,203	mgKOH/g
Dieléctrico	2,250	2,220	-
Aditivos antidesgaste	-	44,731	%
Glicol	-	0	%
Sulfatación	-	16,222	0,100mm ⁻¹
Oxidación	-	9,987	0,100mm ⁻¹

Fuente: (Ruiz y Vásquez, 2023, p. 51)

Realizado por: Vásquez J., Zúñiga J.,2023

Los análisis del lubricante nuevo que se aprecia en la Tabla 4-1 se puede comparar los resultados que se obtuvieron en el laboratorio con los valores que entrego el fabricante, se muestra que la viscosidad del lubricante a 40 °C varia 0,300 cSt, asi como también en el TBN una variación de 0,297 mgKOH/g y 0,03 de variación en dieléctrico, también se pudo observar que ya hay una contaminación representativa de agua por el tiempo que se tenía en confinamiento en diversas condiciones ambientales.

4.3 Caracterización de resultados del aceite con el equipo Viscosímetro Brookfield DV-I prime

La viscosidad es el resultado más representativo que da a conocer el estado de aceite la cual está en constante variación por el tiempo que se va usando también tiene una variación al interactuar con los procesos químicos que se produce con las diferentes propiedades del aceite.

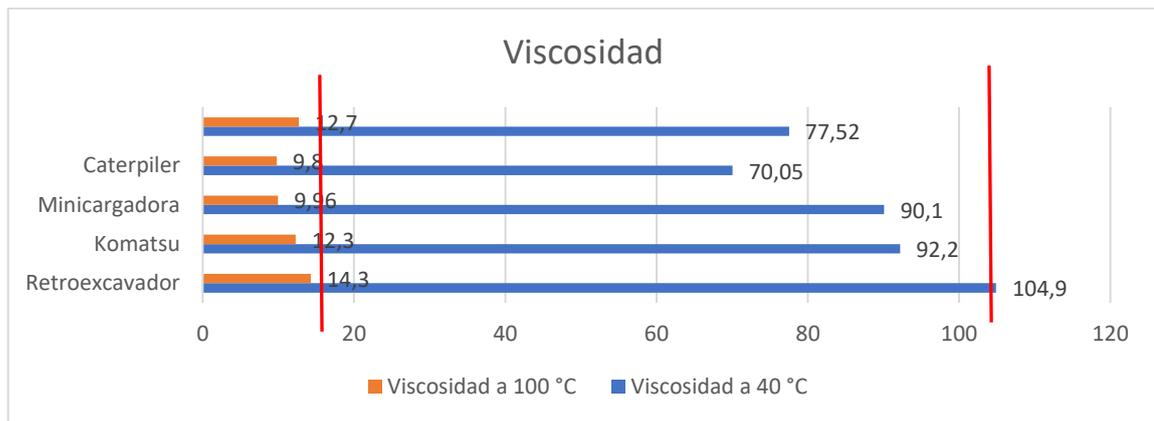


Ilustración 4-1: Viscosidad a 40 y 100 °C

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

En la Ilustración 4-1, se observa los índices de viscosidad del aceite nuevo a dos temperaturas diferente 40 y 100 °C mostrándose los limites superior e inferior del rango aceptable de la viscosidad del lubricante 102,7 y 14,2 cSt, en la gráfica se puede observar que la minicargadora y la motoniveladora Caterpillar tienen un descenso del límite de lo establecido a 40 °C lo cual pertenecerían los valores de inaceptable y la motoniveladora Komatsu se encuentra en un rango de alerta.

4.4 Caracterización de los resultados del aceite con el equipo Full FluidScan

Con este equipo se realizó el estudio de las muestras del lubricante 15W40 por medio de análisis infrarrojo, una vez extraído estos resultados cuantitativos de los estados del lubricante por

maquinaria pesada y se expresa en una ilustración con sus respectivas ilustraciones par poder el comportamiento de cada uno de ellos.

4.4.1 Porcentaje de aditivos anti-desgaste

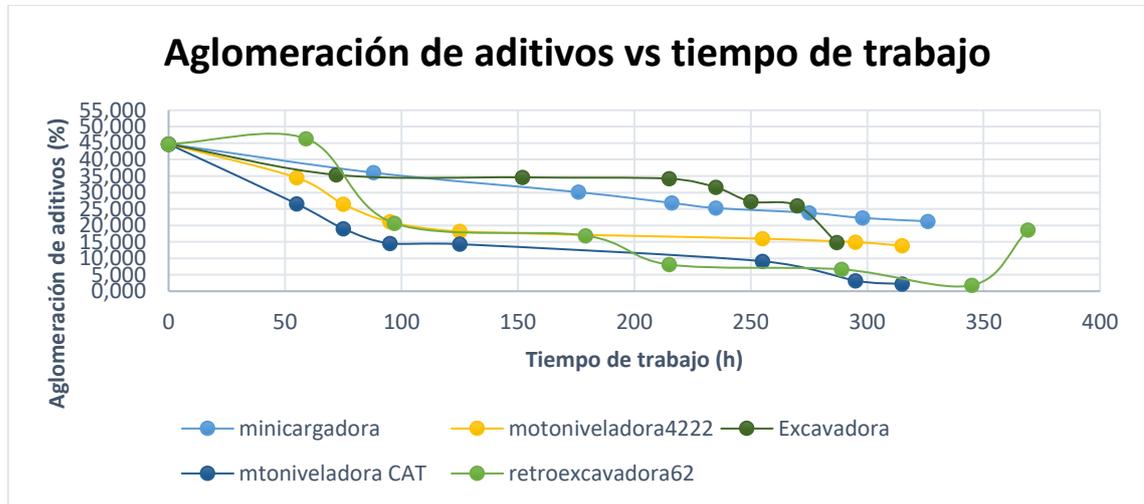


Ilustración 4-2: Aditivos anti-desgaste vs distancia recorrida

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

Se conoce que el fin del anti-desgaste es evitar la fricción entre dos componentes por medio de una película fina de lubricante se muestra en la Ilustración 4-2 que el porcentaje del aditivo está en 45% esto se da por que el lubricante está en perfectas condiciones siendo este aceite nuevo, pero si notamos a la progresión del tiempo recorrido el porcentaje de aditivos va variando, dependiendo la máquina.

4.4.2 Numero de base total (TBN)

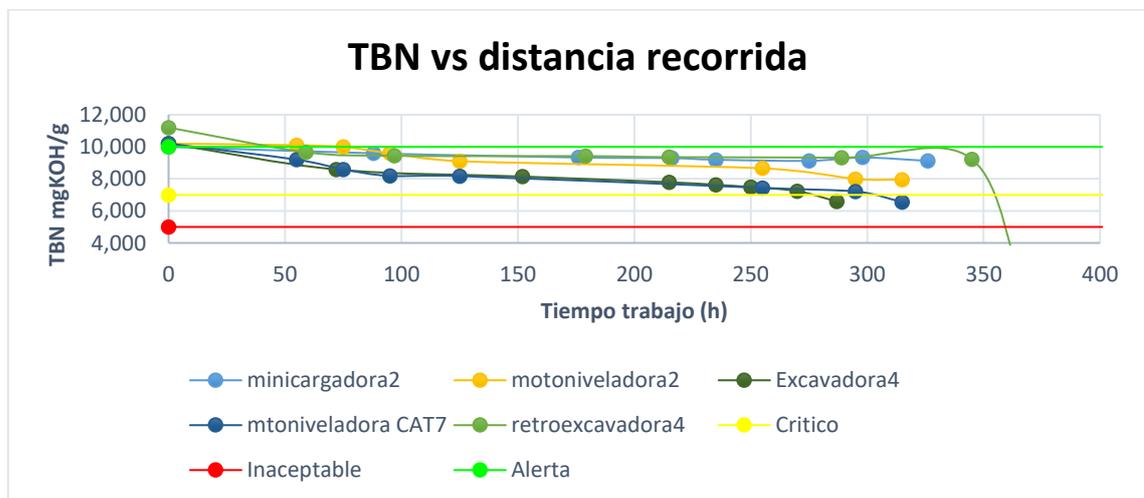


Ilustración 4-3: TBN vs distancia recorrida

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

Con este análisis se puede constatar la capacidad que tiene para neutralizar los ácidos que se van generando por la combustión y según el tiempo transcurrido como se observa en la Ilustración 4-3 muestra que cuando el lubricante es nuevo es un perfecto neutralizador pero al pasar el tiempo se nota que toda las maquinas a excepción de la mini cargadora y la motoniveladora pasan a un nivel de alerta y la retro excavadora ya pasa casi al finalizar el periodo a un nivel crítico que sería de consideración que tiene 3 mgKOH/g a las 369 horas de trabajo estos valores se dan por que el mantenimiento ya se estaría pasando del límite de tiempo y estaría en una corrosión elevada estando perdiendo en totalidad esta propiedad.

4.4.3 Hollín

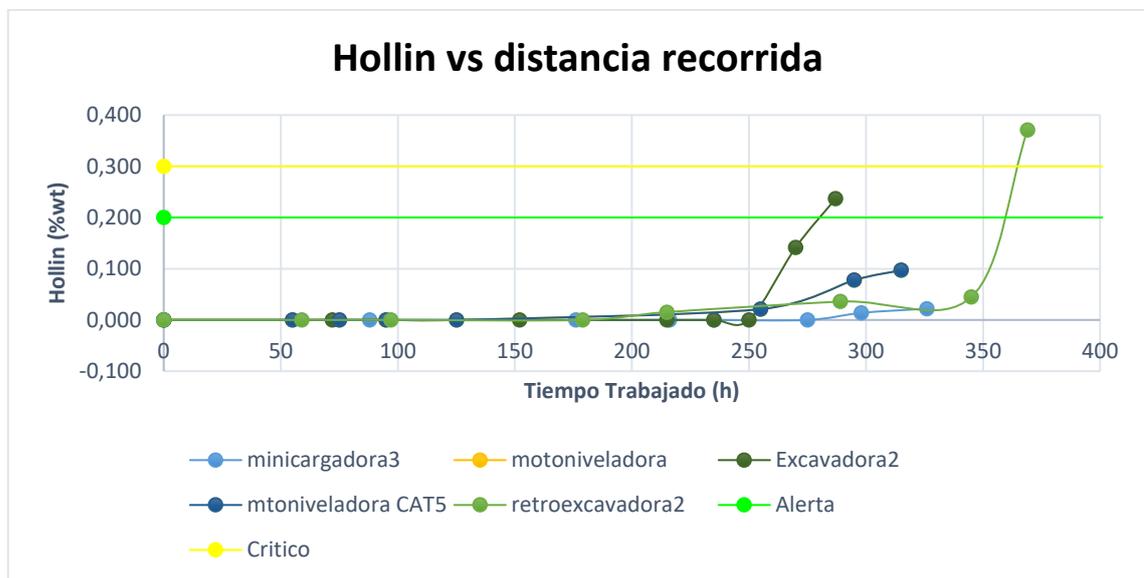


Ilustración 4-4: Hollín vs distancia

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

El hollín hace referencia a las cenizas sulfatadas no combustible que ese encuentra el lubricante cuando este ya es usado en un lapso de tiempo como se puede observar en la Ilustración 4-4 donde se aprecia que todos las maquinarias pesadas empiezan con una contaminación mínima de hollín, pero mientras transcurre el tiempo todos van perdiendo esta propiedad, pero la maquinaria que tiene un análisis crítico es la retroexcavadora que tiene valores de 0,3 %wt de hollín superioere a las 369 horas de trabajo.

4.4.4 Agua

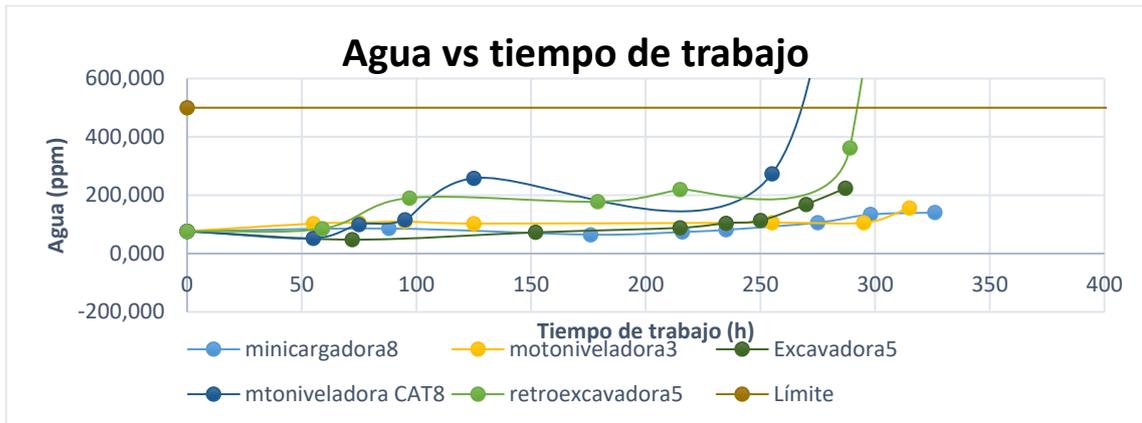


Ilustración 4-5: Agua vs distancia recorrida

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

El agua ya es un factor que está presente en este lubricante a causa del mal almacenamiento esto es un agente degradante que si no es muy significativo pero es los inicios del degradación, en la Ilustración 4-5 se observa que la motoniveladora Caterpillar, excavadora, minicargadora, están en un rango aceptable pero la retroexcavadora y la motoniveladora Komatsu se encuentra sobrepasando el límite que 500ppm a unas 250 horas de trabajo siendo un indicativo que las dos maquinarias sufren un desperfecto y se deberían considerar un mantenimiento correctivo.

4.4.5 Glicol

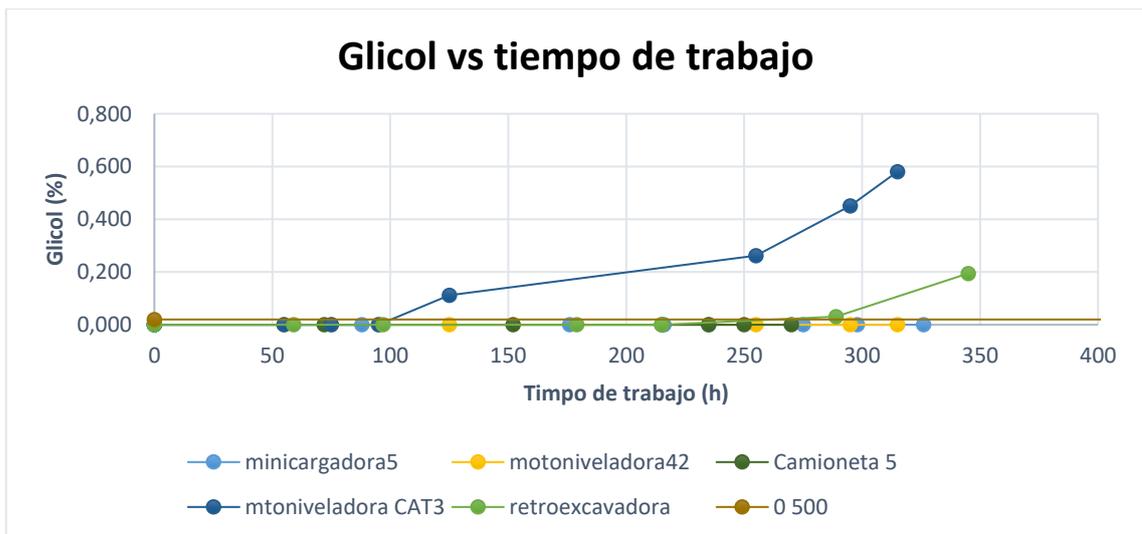


Ilustración 4-6: Glicol vs distancia recorrida

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

La presencia de glicol en el lubricante es un indicativo de que está fallando los empaques por que estaría filtrando refrigerante al sistema de lubricación los datos se evidencian en la Ilustración 4-6 se nota que la motoniveladora Caterpillar, excavadora, minicargadora se encuentran en perfectas condiciones porque no sobrepasan el rango moderado permitido mientras que la retroexcavadora y la motoniveladora Komatsu a 0,12 % de glicol y en un rango de 300 a 350 horas de trabajo ya se sobrepasa el límite permitido eso quiere decir que tienen fallas de empaques.

4.4.6 Proceso de oxidación

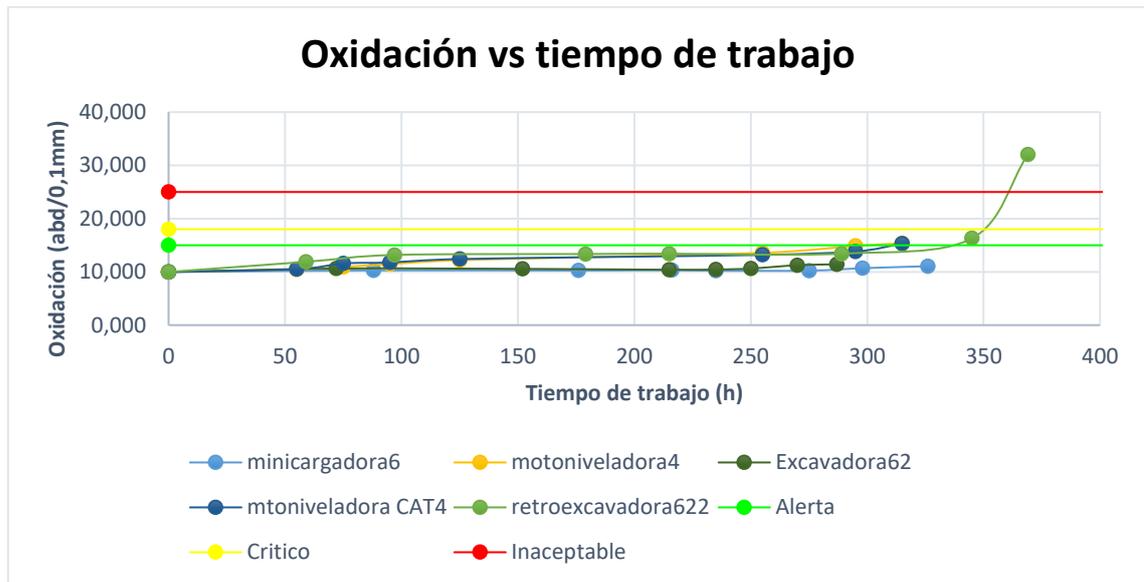


Ilustración 4-7: Oxidación vs distancia recorrida

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

En la Ilustración 4-7, se puede observar que empieza en un índice de oxidación de 9,98 abs/0,1mm que no sobreesa el límite estipulado, pero al continuar con el tiempo de trabajo la degradación es notoria que se llegan a degradar hasta un valor de 15,03 en todas las maquinas pro cabe recalcar que la retroexcavadora ya venía teniendo fallas y por ende sobrepasa por mucho el índice de oxidación llegando a sobrepasar el índice inaceptable con un valor de 25,346 abs/0,1mm.

4.4.7 Proceso de sulfatación

En la Ilustración 4-8 se puede apreciar que el lubricante se encuentra en buen estado para todas las maquinarias se indica que el lubricante está en un rango de valor inicial de 16859 abs/0,1mm, a 17,541 abs/0,1mm la única maquinaria que tendría problemas es la retroexcavadora ya que sobrepasa a 21 abs/0,1mm sobre el límite, pero eso se debe a que ya venía teniendo inconvenientes en anteriores estudios y eso quiere decir que la maquinaria esta defectuosa.

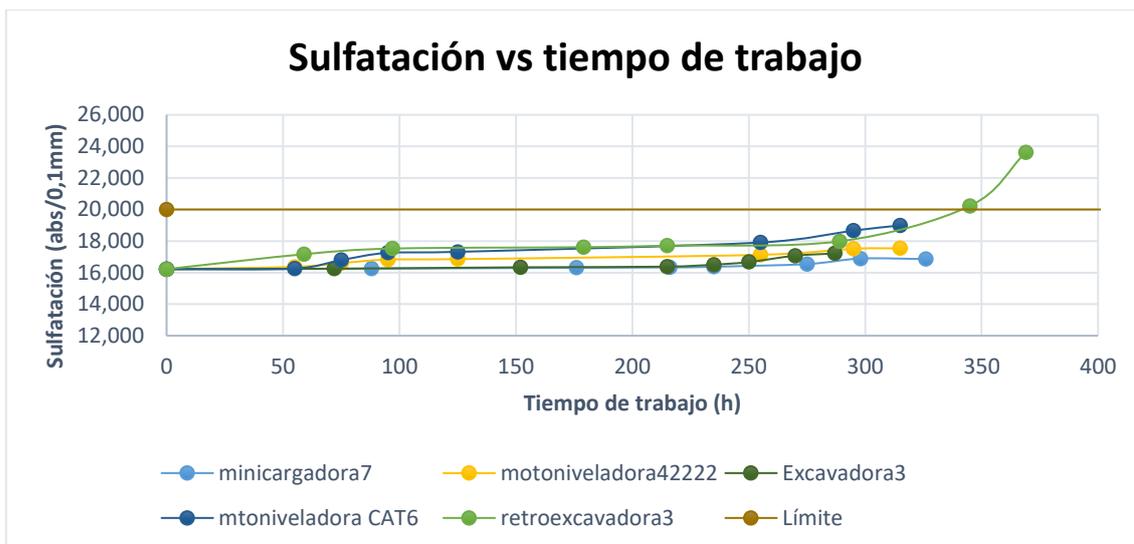


Ilustración 4-8: Sulfatación vs distancia recorrida

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

4.5 Caracterización de resultados del aceite con el equipo Oil View Quick Check

Como se había indicado en la Tabla 3-7 nos muestra resultados con índices de deterioro del lubricante con sus límites admisibles.

4.5.1 Rigidez dieléctrica

La rigidez dieléctrica es importante como propiedad en un lubricante ya que ayuda a estabilizar cuando está a altas temperatura el rango de fluctuación es de 2,15 y 2,35 si algún valor es elevado hay a posibilidad de que exista contaminantes como limallas, partículas de tierra, agua.

Tabla 4-2: Rigidez dieléctrica

Gulf 15W40	Ref.	Retro excavadora		M Komatsu		Mini cargadora		M Caterpillar		Excavadora	
		Rd	Horas	Rd	H	Rd	H	Rd	H	Rd	H
Nuevo	2,25	0,00	2,22	0,00	2,22	0,00	2,22	0,00	2,22	0,00	2,22
1	2,25	13531	2,13	12959	2,24	8788	2,22	15952	2,24	19011	2,23
2	2,25	13628	2,13	13014	2,24	8964	2,23	16027	2,24	19163	2,24
3	2,25	13710	2,14	13034	2,24	9004	2,23	16047	2,25	19226	2,25
4	2,25	13746	2,17	13054	2,23	9023	2,22	16077	2,26	19246	2,23
5	2,25	13820	2,23	13084	2,24	9063	2,23	16207	2,26	19261	2,22
6	2,25	13876	2,5	13254	2,24	9086	2,23	16247	2,26	19281	2,22
7	2,25	13900	2,84	13274	2,34	9114	2,23	16267	2,26	19298	2,23

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

Al analizar muestras de todos los dispositivos en función del horómetro con la función Oil View Quick Check, uno de los valores detectados por el dispositivo es el aislamiento de aceite, el cual se encontró que aumenta o disminuye según el tipo de contaminante que contiene. Esto muestra que el valor aislado dado por el fabricante es 2,25, pero al analizar una nueva muestra de aceite, el valor de retorno es 2,22, donde comienza y los valores aumentan en todas las muestras, para los lubricantes cabe señalar que las máquinas retroexcavadora y motoniveladora Komatsu presentan un aumento exagerado, el primero por la cantidad de oxidación comprobada en las curvas vistas anteriormente, y el segundo por la excesiva cantidad de agua en la que se encuentran las muestras. se encuentra, lo que provoca un aumento considerable del aislamiento hasta llegar a 2,84.

4.6 Resultados de caracterización del aceite con el equipo Densímetro

Estos dispositivos permitieron recolectar datos de densidad y temperatura de diferentes muestras recolectadas a intervalos de las cinco maquinarias pesadas de la flota del GAD Municipal de Guano. La variación en la densidad es señal de que el lubricante está contaminado debido a que estas impurezas tienen diferentes densidades, la principal es el agua con una densidad de 0.998 g/ml, las demás maquinarias se encuentra en valores normales pendiente de mantenimiento. La retroexcavadora es mayor, alcanzando 0,883 g/ml, lo que permite confirmar la contaminación del lubricante.

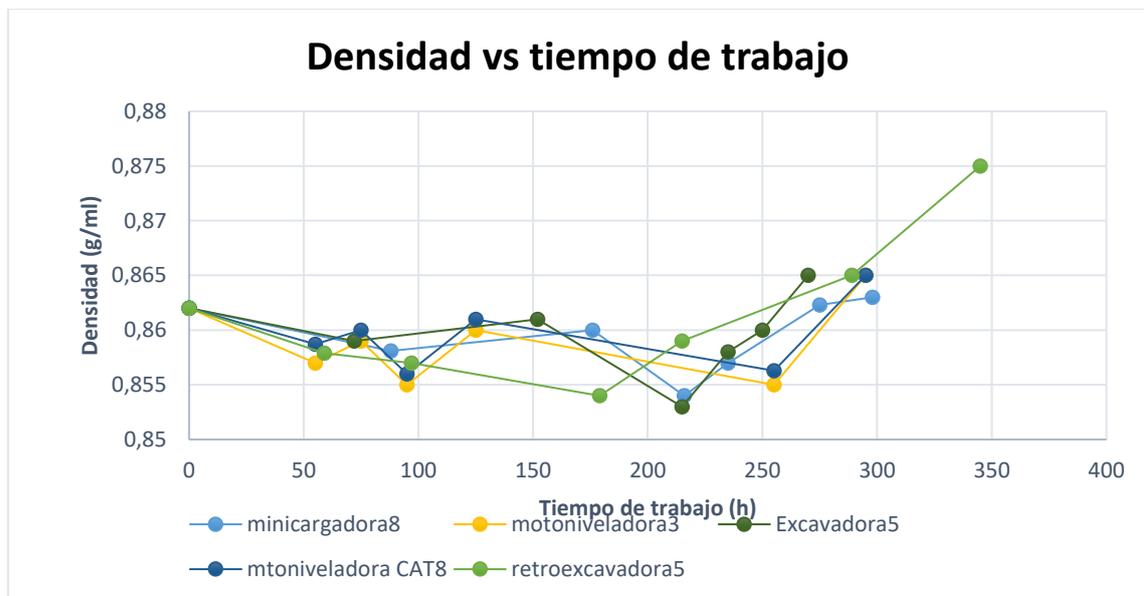


Ilustración 4-9: Densidad vs distancia recorrida
 Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

4.7 Correlaciones entre propiedades y proceso del lubricante

Después de estudiar el comportamiento de cada lubricante y confirmar las investigaciones realizadas sobre lo que le sucede al aceite cuando se descompone durante su uso, se realizan pruebas de correlación entre el deterioro de las propiedades y el proceso de oxidación. Ocurre en los aceites debido a las condiciones de funcionamiento de los motores de combustión interna.

Tabla 4-3: Coeficientes de correlación

Correlaciones	Maquinaria				
	RE	MNK	MC	MNC	EXC
Agua/Glicol	-0,886	-0,905	-0,995	-0,917	-0,150
TBN/Oxidación	-0,758	-0,902	-0,964	-0,936	-0,954
Hollín/oxidación	0,920	0,950	0,96	0,957	0,668
Oxidación/Aditivos	0,896	0,995	0,973	0,856	0,962

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

4.7.1 Análisis de la comparación del TBN vs oxidación

La Ilustración 4-10 muestra los datos de TBN mgKOH/g contenidos en las muestras tomadas de la retroexcavadora y la cantidad de óxido formado durante el uso del lubricante medido en abs/0,1 mm. Se hizo una correlación entre estas dos propiedades porque cuando el indicador TBN muestra una reducción en la cantidad de reserva de aditivo disponible para neutralizar los ácidos del aceite, como en el caso de los ácidos producidos durante la combustión, esto conduce a un proceso de oxidación, aumenta como consecuencia del cambio en las propiedades originales del aceite según su uso, lo cual confirma lo mencionado en (Noria Latín América, 2013).

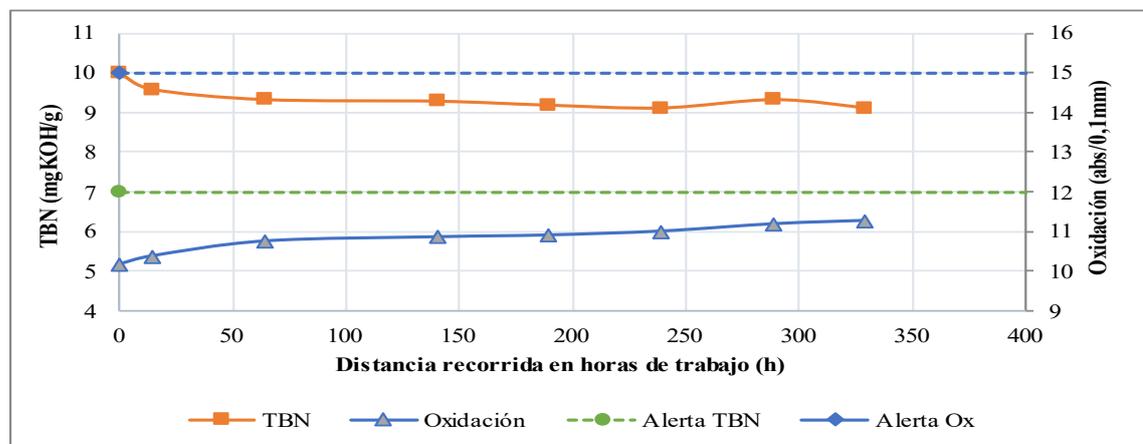


Ilustración 4-10: Correlación TBN y oxidación de la minicargadora

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

La Ilustración 4-10 muestra cómo el TBN cuando es nuevo, es decir, a 0 horas tiene un valor de 10.203 mgKOH/g, conduciendo un determinado tiempo se observó como pierde sus propiedades hasta 326 horas después de recorrerlo alcanzó un valor de 9,15 mgKOH/g indicando una reducción de TBN de 1,13 mgKOH /g, aunque el TBN disminuye, no alcanza el límite de alarma.

En la Ilustración 4-10, queda clara la correlación entre esta propiedad y el proceso, observándose que aun cuando la propiedad TBN disminuye la oxidación aumenta, lo cual los parámetros indican la degradación del lubricante. Los resultados para la minicargadora muestran unos valores similares que las otras máquinas exceptuando la retroexcavadora, como se puede ver, los valores de TBN y óxido no alcanzan los límites de alarma de 7 mgKOH/g y 15 abs/0,1 mm tras el cambio de lubricante.

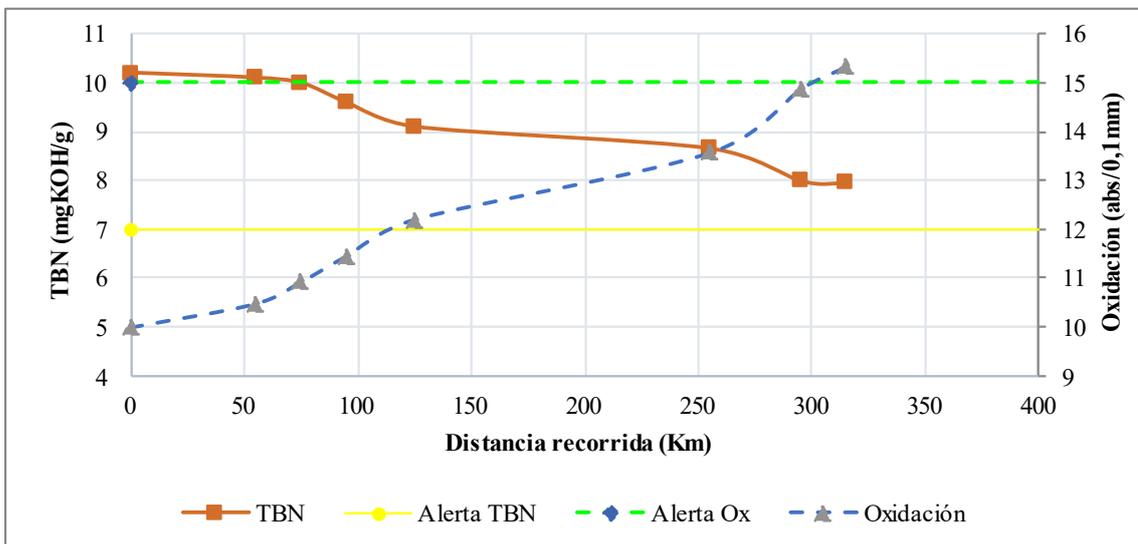


Ilustración 4-11: Correlación de TBN y oxidación de la motoniveladora Caterpillar
Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

El TBN cuando el aceite está en perfectas condiciones su valor es 10,203 mgKOH/g para la motoniveladora Ilustración 4-11 el índice de oxidación es de 9,987 abs/0,1mm, podemos darnos cuenta con la ilustración que a medida que baja el TBN aumenta el índice de oxidación, al tener un tiempo recorrido entre 4380 y 4880 horas la oxidación sobrepasa la aleta del TBN y a un tiempo de 315 horas tiene una elevación máxima de 15abs/0.

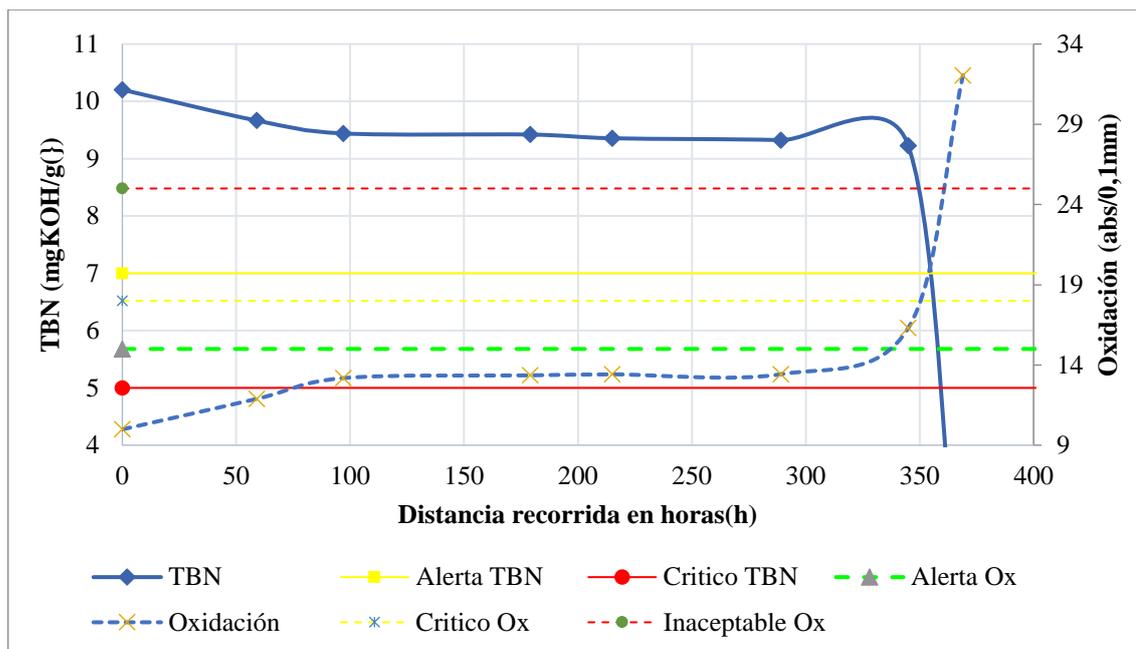


Ilustración 4-12: Correlación de TBN y oxidación de la retroexcavadora

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

Teniendo en cuenta que el TBN es la reserva de alcalinos se puede observar de inicio que cuando nuestro aceite sale de fábrica tiene un valor de 10.203 mgKOH/g, dado esto podemos apreciar en la gráfica que tenemos una degradación uniforme desde las 100 a 300 horas de trabajo y de igual la oxidación se va manteniendo, pero se puede apreciar ya un cambio alrededor de las 350 horas a medida que el TBN decrece la oxidación empieza a elevarse. Siendo así de una manera exponencial que llega al punto en que sobrepasa el rango inaceptable de oxidación, esto se debe a muchos factores en el que primordialmente es la sobrecarga de esfuerzos y una conducción inadecuada en nuestra maquinaria que a lo largo del tiempo nos podría repercutir en gastos mayores.

4.7.2 Análisis de la comparación del hollín vs oxidación

Debido al deterioro normal de los aceites lubricantes, el proceso de oxidación suele ser lento y gradual, y el proceso de oxidación se produce en tres etapas como se puede observar que la oxidación del aceite está en periodo de inhibición, las propiedades del aceite son relativamente estables Ilustración 4-13 y no hay cambios significativos en la oxidación, lo que también permite predecir que aún permanece cierta concentración en la composición del aceite. El aceite lubricante y también la cantidad de hollín se muestran en una curva que aumenta al aumentar la oxidación. Pero podemos observar que no sobrepasa de las alertas establecidas (15-0.18) llegando a la conclusión que el aceite aun tiene agentes antioxidantes y reacciona bien ante el hollín.



Ilustración 4-13: Correlación de aditivos oxidación vs hollín de una minicargadora
 Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

Para la siguiente grafica con lo que ya explicamos anteriormente en la ilustración en cuanto a la oxidación y al hollín tenemos unas alertas (15-0.20) Para este caso que corresponde a una excavadora Ilustración 4-14 en la que se observa que el hollín sobre pasa de la alerta llegando a un valor de aproximadamente 0.28 lo que concluimos que ya no está actuando correctamente al momento de llegar a las 287 horas de trabajo.

En caso de presentarse este tipo de problemas, se realiza un análisis para determinar la presencia de anomalías tales como, partículas provenientes de la oxidación del aceite, de combustible, agua, etc., la presencia de estos contaminantes puede ocasionar problemas a futuro en el motor.

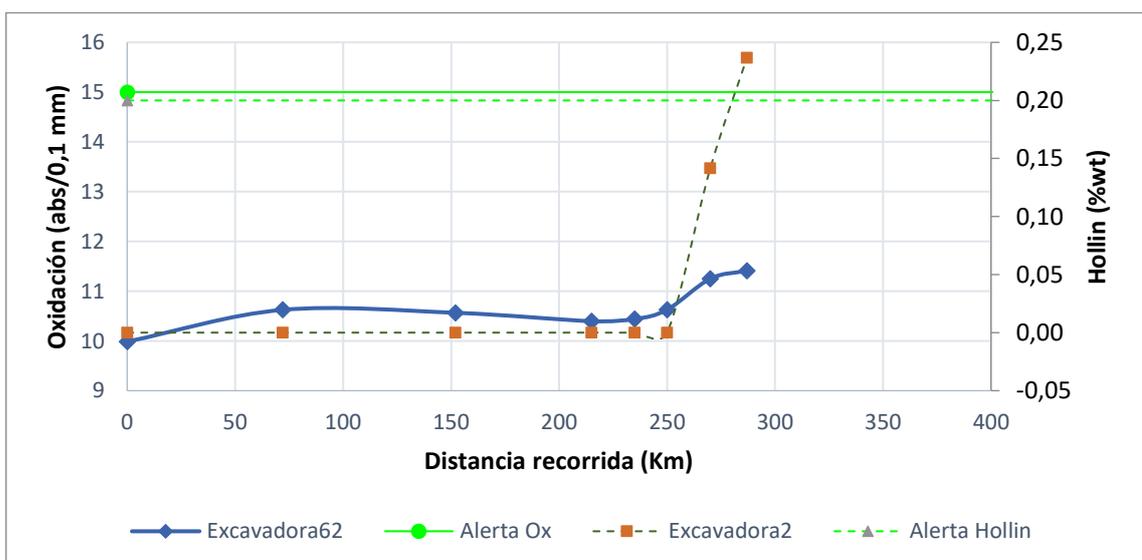


Ilustración 4-14: Correlación de hollín y oxidación de la excavadora
 Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

4.8 Análisis de la comparación agua vs glicol

Luego de realizar los cálculos correspondientes mostrando la relación que tienen estos dos compuestos en el lubricante, se obtuvo el análisis de la excavadora el cual observamos la presencia de cierta cantidad de agua y etilenglicol en el aceite, las curvas muestran que esta relación es correcta porque ambos suben al mismo tiempo, y si el agua sube, también lo hace el etilenglicol. Se podría decir que a mayor concentración de glicol se obtendrá una mayor temperatura es importante que el glicol se mantenga en estado líquido para que pueda realizar su función de forma adecuada.

Cabe señalar que, según los estudios de muestra realizados, el nuevo aceite tiene un contenido de agua de 76.640 ppm y un valor de glicol del 0%, que es un valor de cero, lo que indica que no es perjudicial para la salud, ya que su nivel permitido es de hasta 0,02% y el de agua hasta 500 ppm, nivel que no se superó en esta máquina por lo que incluso después de 326 horas de trabajo el aceite todavía tiene buenas propiedades y puede seguir utilizándose.

Tiene componentes que ayudan a regular la temperatura, de igual manera los aditivos estabilizan el producto y ayuda a identificar los puntos de fuga a diferencia del agua no tiene elementos dañinos para la refrigeración del auto.

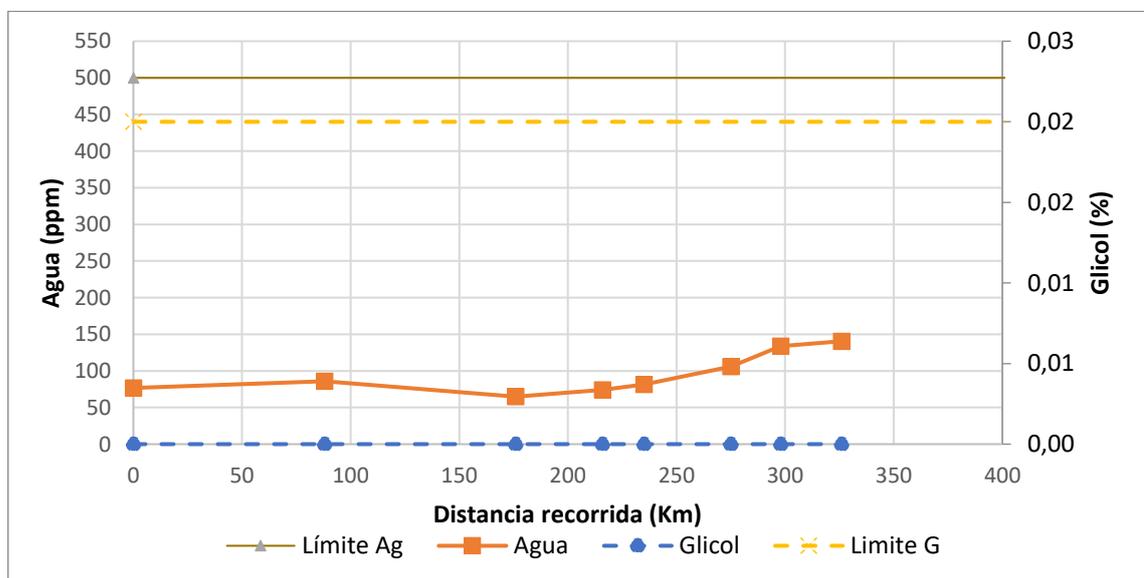


Ilustración 4-15: Correlación de agua y glicol de la mini cargadora

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

En el caso de la motoniveladora Caterpillar Ilustración 4-16 podemos observar un incremento tanto del Glicol como del agua a las 315 Horas de trabajo este puede ser efecto del esfuerzo al

que está siendo sometido a mucho esfuerzo en el campo que este trabajando, he incluso se puede observar que ya sobrepasa el límite G.

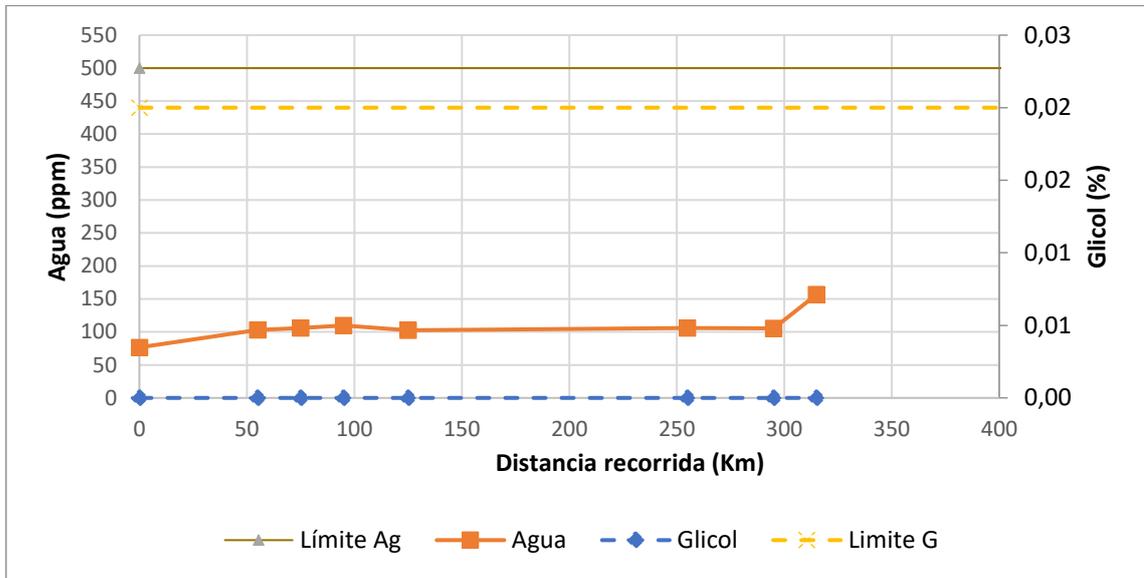


Ilustración 4-16: Correlación de agua y glicol de la motoniveladora Caterpillar
 Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

4.9 Resumen de resultados

Una vez analizadas todas las muestras tomadas y sus respectivas propiedades, características y procesos del lubricante, se realiza una comparación general para determinar el estado general del lubricante.

En la siguiente tabla se muestra de una forma resumida las características de cada muestra determinando el estado de cada una de las muestras del aceite con respecto a cada una de las maquinarias.

Tabla 4-4: Resumen de la degradación de los lubricantes

		DE	CO					SA		
Maquina	Nivel de degradación	Índice ferroso	Proceso de sulfatación	Proceso de oxidación	Glicol	Agua	Hollín	TBN	Aditivos anti-desgaste	Viscosidad
Retroexcavadora	Inaceptable	Alerta	Tiene un límite de alerta	Llego a un límite crítico se debe considerar mantenimiento correctivo	Contaminación por refrigerante por daños en los empaques	Contaminación excesiva	Llega al límite crítico	Sobrepasa el límite mínimo de TBN	Existe una considerable índice de desgaste por perdida de propiedades	Perdida de sus propiedades del lubricante nivel crítico
Motoniveladora. Komatsu	Crítico	Normal	Se mantienen en el rango dentro del limite	Sobrepasa el rango limite	Sobrepasa del límite da indicio de daños pequeños		Rango moderado		Hay una disminución de TBN considerable	Desciende normalmente las propiedades de los lubricantes	Viscosidad en un rango cerca del limite
Mini cargadora	Alerta			Se encuentran dentro del rango limite	Mínima contaminación	No existe contaminación que cause mayor daño		No existe contaminación		
Motoniveladora Caterpillar	Alerta									
Excavadora	Degradación normal					Cero contaminaciones		Se encuentra en el rango normal	Índice normal	

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

4.10 Comprobación de hipótesis

La hipótesis sugiere que al realizar un análisis detallado de cómo se degrada el aceite lubricante en la maquinaria pesada del GAD Municipal de Guano utilizando enfoques tribológicos, se pudo determinar cuándo es necesario realizar el mantenimiento pero una vez que se obtuvo los resultados se dedujo que se debe cumplir el mantenimiento de 250 horas, sin importar que la mayoría de las maquinarias este en un ámbito moderado de sus propiedades no significa que no se volverán defectuosas por malos intervalos de mantenimiento, para la máquina que no cumplía con los requisitos se estableció un mantenimiento correctivo de las piezas que están deterioradas para que vuelva cumplir el mantenimiento de 250 horas. Esto pudo contribuir para un mantenimiento más efectivo y a la prolongación de la vida útil de la maquinaria.

En resumen, la validación de esta hipótesis requería una investigación detallada que involucre análisis tribológicos, correlaciones entre la degradación del aceite, la necesidad de mantenimiento, y la aplicación práctica del intervalo de lubricación establecido.

Tabla 4-5: Propuesta de plan de mantenimiento

Maquinaria	Mantenimiento actual		Mantenimiento recomendado		Comentario
	horómetro	km	kilómetros	horas	
Retroexcavadora	369,45	7389	4000	200	Caída del considerable de las propiedades del aceite como TBN a las 200 horas de trabajo, hollín elevado brusco a partir de las 200 horas, aumento de agua desde el inicio por falla de los empaques.
Motoniveladora Komatsu	345,679	6913	4600	230	Baja en TBN a partir de las 230 horas de trabajo, exposición de agua desde el inicio por falla de los empaques

Mini cargadora	326,567	6531	4500	225	Elevación moderada de hollín a partir de las 225 horas de trabajo, presencia de glicol si no se realiza el mantenimiento a tiempo
Motoniveladora Caterpillar	315,457	6309	5000	250	Rangos normales de propiedades del lubricante
excavadora	287,347	5746	5000	250	Rangos normales de propiedades del lubricante

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

4.11 Marco Propositivo

En el último capítulo se dan recomendaciones para la futura aplicación del trabajo de investigación realizado. Estudios tribológicos similares con otros equipos han producido algunas ideas para ayudar a determinar si se utilizó el lubricante correcto y si ha sufrido el aceite.

4.11.1 Propuesta

Una vez desarrollado ya el procedimiento de recolección de datos para llegar a una conclusión, gracias a las muestras obtenidas se puede realizar un sinnúmero de análisis en base a la tribología de estos aceites, que sería también importante implementar en los talleres automotrices para dar una asesoría y un seguimiento sobre el estado de nuestros motores y así obtener fieles clientes a nuestros establecimientos.

Por otra parte, el enfoque de este tipo de investigaciones es apoyar a las entidades públicas y privadas en este caso al GAD Municipal de Guano, para de esta manera tengan un panorama claro sobre la reacción del lubricante en cada una de las maquinarias y se podría aplicar planes correctivos para según la evaluación de cada maquina reprogramar los intervalos de lubricación y garantizar una vida útil mejor.

Teniendo un enfoque claro del campo de Análisis tribológicos se podría crear una empresa la cual brindé servicios de análisis de estados de motor, reprogramación de intervalos de lubricación, tratamiento de aceites usados y capacitaciones de normas técnicas de cuidado ambiental

relacionado a aceites usados. De esta manera podrá brindar soporte y evaluar a flotas de taxis, buses urbanos, flotas de maquinaria pesada, etc.

Elaboración de la propuesta de plan de mantenimiento de la flota de maquinaria del GAD Municipal del Cantón Guano

Objetivo general

Permitir que la flota de maquinaria pesada este en óptimas condiciones y disponibles para su uso en los momentos requeridos con un buen rendimiento y mínimos costos.

Objetivos específicos

- Garantizar la disponibilidad de la maquinaria pesada para realizar sus actividades.
- Reparación de las averías en menor tiempo y coste.
- Reducir los costos del mantenimiento.
- Mantener el stock de repuestos en bodega para disminuir los tiempos de parada de cada maquinaria.
- Proporcionar un plan de mantenimiento seguro y confiable.

Gestión de mantenimiento propuesta

Para la elaboración de la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para a maquinaria pesada del GAD Municipal del Canto Guano se debe tener en cuenta todos los resultados obtenidos por parte de los equipos del laboratorio donde nos da a conocer el estado de cada una de las maquinarias llegando a una comparación, que maquinaria se está deteriorando más rápido por un mal mantenimiento que se le esta dando

Capacitaciones del personal

Se debe tener en cuenta que para aumentar el desempeño y las destrezas del personal de mantenimiento se sugiere que existan capacitaciones recurrentes enfocadas primordialmente en nuevas tecnologías que permitan realizar un buen diagnóstico y reparaciones más eficientes.

Se debe tener en cuenta también:

- Capacitación en primeros auxilios
 - Quemaduras a la piel
 - Contaminación por los químicos
 - Cortaduras en la manipulación de los equipos
- Capacitación en normas de seguridad
 - La utilización de correctos lubricantes que estén bajo la norma
 - Equipos de trabajo normalizados
 - Estación destinados para el trabajo
- Conocimientos de las maquinarias que se están utilizando.
 - Especificaciones de la maquinaria
 - Rangos de revisión técnica
 - Conducción correcta de la maquinaria

Programación del mantenimiento

A continuación, se presenta todos los parámetros que se deben tener en cuenta para un buen mantenimiento preventivo en la maquinaria pesada.

Nomenclatura asignando para cada actividad descrita en el programa de mantenimiento:

NOMENCLATURA	ACTIVIDAD
C	Cambiar
D	Drenar
I	Inspeccionar
L	Lubricar
P	Limpiar
V	Verificar

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

Actividades designadas para un buen mantenimiento de las maquinarias y puedan funcionar en perfectas condiciones.

Actividad programada	Realizar en horas											
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Líquido refrigerante	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V

Aceite hidráulico	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Nivel de combustible	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Aceite de transmisión	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Ruidos en el motor	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Estado de neumáticos	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Bandas	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Sistema de frenos	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Estructura de la maquina	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Partes móviles(crucetas, rotulas, etc.)	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
Filtros de aire	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Cambio de aceite del motor					C					C		
Filtro de aceite					C					C		
Filtro de combustible					C					C		
Anclajes del motor	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Estado del motor	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J.,2023

Programación de mantenimiento rutinario

El mantenimiento está a cargo del personal del departamento del taller de maquinaria pesada debido a que ellos están a cargo del abastecimiento diario de las maquinas tanto dentro de la superficie como fuera de ellas.

GAD MUNICIPAL DE GUANO						
FICHA DE MAQUINARIA PARA MANTENIMIENTO RUTINARIO						
N° de maquina:			Maquina:			
Marca:			Tipo de motor:			
Modelo:			Ubicación de la maquina:			
Fecha:			Horómetro:		N° de ficha:	
	Estado		Requiere			
	OK	Malo	Ajustar	Limpiar/ sustituir	lubricar	Observ.
Verificar nivel de aceite						
Verificar que no exista anormales en el motor						
Verificar que fugas en el motor						
Verificar filtro del aire						
Verificar nivel de fluidos hidráulicos						
Verificar nivel de combustible						
Verificar fugas de aceite en las cañerías de la maquina						
Verificar estado de los neumáticos						
Verificar niveles de fluidos						
Verificar bandas						
Verificar sistema de alumbrado						
verificar estados de los frenos						
Verificar equipo de primeros auxilios						
Verificar estructura de toda la maquina						
Revisado por:						
Tiempo en realizar el mantenimiento:						
Materiales y equipos empleados:						
Observaciones:						

Realizado por: Vásconez J., Zúñiga J., 2023

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Mediante una exhaustiva revisión bibliográfica de literatura científica, se logró adquirir un conocimiento detallado sobre las propiedades técnicas de diversos lubricantes utilizados en maquinaria pesada. Esto nos permitió comprender a fondo las características específicas de estos lubricantes, con un enfoque mayor en el aceite utilizado en la maquinaria pesada del Gad Municipal de Guano como es el GULF 15W40 en sus condiciones iniciales, teniendo valores de TBN de 10,50 mgKOH/g, viscosidad a 40°C de 103 cSt, a 100°C de 14,2 cSt, un hollín de 0,970 % wt. L y una densidad de 0,861 g/cm³.

Utilizando los equipos disponibles en la ESPOCH, se llevó a cabo una descripción completa del aceite utilizado por la flota de maquinaria pesada del GAD Municipal de Guano. Se realizaron pruebas físico químicas de 8 muestras por cada máquina con el objetivo de obtener información precisa sobre las propiedades físicas y químicas iniciales del aceite.

Para obtener una referencia inicial para futuros estudios, se procedió a caracterizar el aceite lubricante utilizado en la maquinaria pesada mediante análisis tribológicos. Estos análisis nos brindaron información valiosa sobre el desgaste y el comportamiento del aceite en condiciones de funcionamiento reales. Llegando a una deducción que la Retroexcavadora tiene unos valores críticos o que sobre pasa los niveles de alerta de cada uno de los parámetros esto debido al sobrecarga de esfuerzos y una conducción errónea de la maquinaria.

Con el fin de garantizar la correcta toma de muestras y evitar cualquier contratiempo o deterioro causado por un mal manejo, se establecieron criterios razonables y protocolos precisos. Esto aseguró la integridad de las muestras y la confiabilidad de los resultados obtenidos sin embargo al momento de tomar la muestra puede generarse contaminación debido a las partículas que están en el ambiente por lo que es importante contar con las medidas de seguridad necesarias.

Tras analizar detenidamente los resultados de la investigación realizada en el GAD Municipal de Guano, se pudieron establecer recomendaciones de mejora para optimizar los tiempos y los procedimientos durante el mantenimiento de la maquinaria pesada. Estas recomendaciones contribuirán a mejorar la eficiencia y prolongar la vida útil de los equipos.

5.2 Recomendaciones

Analiza y compara las propiedades técnicas de los lubricantes para maquinaria pesada que encuentres en tu revisión bibliográfica y enfocándote en las propiedades técnicas más relevantes para tu contexto específico.

Implementa pruebas fisicoquímicas en la ESPOCH para caracterizar el aceite utilizado por la flota de maquinaria pesada del GAD Municipal de Guano y se recomienda utilizar el aceite lubricante suministrado por el fabricante para de esta manera obtener resultados que sean favorables o aplicables a ese tipo de motores.

Realiza análisis tribológicos detallados y de manera ordenada evitando toda contaminación para obtener una referencia inicial sobre el desempeño del aceite lubricante usado en la maquinaria pesada, considerando factores como hollín, TBN, viscosidad, densidad, etc.

Establece criterios y protocolos rigurosos para tomar muestras de manera adecuada, asegurando que sean representativas y evitando cualquier tipo de contaminación o deterioro durante el proceso. Utiliza los resultados obtenidos en tu investigación para formular recomendaciones concretas y específicas que permitan mejorar el mantenimiento de la maquinaria pesada, incluyendo intervalos óptimos de cambio de aceite, adopción de mejores prácticas de lubricación y selección adecuada de lubricantes en base a las propiedades técnicas evaluadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AFTON CHEMICAL.** *Aceites Lubricantes* [En línea]. Virginia: 2018. [Consulta: 15 mayo 2023] Disponible en: <https://www.aftonchemical.com/es-es/products/lubricant-components/>
2. **AGUADO, Nain.** *Toma de muestra para análisis de aceite.* [En línea]. Colombia: 2020. [Consulta: 5 noviembre 2023] Disponible en: <https://esp.cbmconnect.com/toma-de-muestra-para-analisis-de-aceite/>
3. **ALARCON SANDOVAL, Francisco Antonio & PEÑA FIGUEROA, Edgar Armando.** *Memoria de labores: Facultad De Ingeniería y Arquitectura 2015* [En línea]. San Salvador- El Salvador: Universidad de El Salvador, 2015. [Consulta: 25 mayo 2023] Disponible en: <https://www.fia.ues.edu.sv/informacion/archivos/3%20GESTI%C3%93N%20ESTRATEGICA/2%20MEMORIA%20DE%20LABORES%20FIA%202015-Final.pdf>
4. **ALBARRACÍN, Pedro.** *Selección Correcta de un Aceite Industrial.* [En línea]. 2003. [Consulta: 10 octubre 2023] Disponible en: https://www.academia.edu/33973908/SELECCION_CORRECTA_DE_UN_ACEITE_INDUSTRIAL
5. **ANTON PAAR.** *DMA 35 Basic.* [En línea]. Austria: 2023. [Consulta: 15 mayo 2023] Disponible en: <https://www.anton-paar.com/corp-en/products/details/portable-density-meter-dmatm-35-basic/>
6. **ASELUBLE.** *Lubricación y Lubricantes.* [En línea]. Madrid: 2014. [Consulta: 20 mayo 2023] Disponible en: <https://aselube.net/sobre-luricantes/>
7. **ASTM D 1492.** *Standard Test Method for Bromine Index of Aromatic Hydrocarbons by Coulometric Titration.*
8. **ASTM D 1500.** *Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale).*
9. **ASTM-D 95.** *Standard Test Method for Water in Petroleum Products and Bituminous Materials by Distillation -- eLearning Course.*
10. **AVILA, Juan.** Determinación del desgaste de los elementos mecánicos del motor mediante el análisis del aceite. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Maestría). Universidad del Azuay, Departamento de Posgrados, Maestría en Sistemas Vehiculares. Cuenca-Ecuador. 2017. Pág. 6. [Consulta: 16 mayo 2023] Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8281/1/14004.pdf>
11. **BARDAHL.** *¿Qué es el número de ácido total y por qué influye en la degradación del aceite?* [En línea]. Quito: 2020. [Consulta: 16 mayo 2023] Disponible en:

<https://www.bardahlindustria.com/que-es-el-numero-de-acido-total-y-por-que-influye-en-la-degradacion-del-aceite/>

12. **BARRERA YÁNEZ, Ricardo Gabriel.** Estudio del desgaste del motor en función del análisis de la composición del aceite lubricante. [En línea]. (Trabajo de Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba- Ecuador. 2021. Pág.17-90. [Consulta: 30 junio 2023] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16041/1/65T00418.pdf>
13. **BIZOL.** *El aceite con bajo contenido de cenizas y la relevancia para el GPF y el DPF – BIZOL.* [En línea]. Cuenca: 2020. [Consulta: 16 mayo 2023] Disponible en: <https://www.bizol.com/blog/es/la-importancia-de-los-filtros-de-particulas/>
14. **BROOKFIELD.** *BROOKFIELD DV-1 PRIME: Digital Viscometer.* [En línea]. Middleboro- USA: Brookfield Engineering Laboratories, Inc. 2022. [Consulta: 16 mayo 2023] Disponible en: <http://www.brookfieldengineering.com>
15. **CABRERA OJEDA, Oscar Isaac & CRESPO MONTAÑO, Fredy Andrés.** Análisis de la viscosidad del lubricante sobre las emisiones contaminantes y consumo de combustible de un motor de combustión interna a gasolina. [En línea]. (Trabajo de Titulación) Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Carrera de Mecánica Automotriz. Cuenca- Ecuador. 2021. [Consulta: 16 mayo 2023] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20126/1/UPS-CT009050.pdf>
16. **CAMACHO, Carlos.** *Coefficiente de Correlación Lineal de Pearson.* [En línea]. Sevilla: Universidad de Sevilla. 2007. Págs. 2-20. [Consulta: 16 mayo 2023] Disponible en: <https://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>
17. **CARDONA, Alberto; et al.** *Criterios para la selección y aplicación de lubricantes* [En línea]. Medellín- Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 1998. [Consulta: 10 junio 2023] Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9311>
18. **CASTILLO MARTÍN, Karl.** Estudio y Análisis del desgaste en motores de combustión interna a diésel. [En línea]. (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil- Ecuador. 1998. Págs. 1-11. [Consulta: 16 mayo 2023] Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/46255>
19. **CAUAS, Daniel.** *Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación.* [En línea]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2015. [Consulta: 16 mayo 2023] Disponible en: <https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24762w/Definiciondelasvariables,enfoqueytipodeinvestigacion.pdf>

20. **DE VITA, Yiovanina.** *ADITIVOS para LUBRICANTES de MOTORES a GASOLINA Contenido.* [En línea]. Mérida- Venezuela: 1995. [Consulta: 25 junio 2023] Disponible en: <https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2020/04/S381.pdf>
21. **DRAGHI, Laura & FILGUEIRA, Roberto.** *Motores Diesel: Ciclo Ideal y Diagrama Indicado* [En línea]. La Plata- Argentina: Universidad Nacional de La Plata, 2015. [Consulta: 20 mayo 2023] Disponible en: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/145380/mod_resource/content/0/Guia%20te%C3%B3rica.%20Ciclo%20Diesel%20Ideal%20y%20Diagrama%20Indicado.pdf
22. **EXTECH INSTRUMENTS.** *Termómetro infrarrojo (IR), doble láser MODELO 42570.* [En línea]. 2016. [Consulta: 25 mayo 2023] Disponible en: <https://www.extech-online.com/>
23. **GARCÍA, Soutullo.** *Análisis de Lubricantes Detección de Partículas Metálicas.* [En línea]. 2020. [Consulta: 25 junio 2023] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/443092577/Analisis-de-Lubricantes-Deteccion-de-Particulas-Metalicas#>
24. **GONZALES, Raúl.** *Lubricación y lubricantes (página 2).* [En línea].: 2015. [Consulta: 5 octubre 2023] Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos94/lubricacion-y-lubricantes/lubricacion-y-lubricantes2>
25. **GULF OIL INTERNATIONAL.** *Gulf Superfleet Supreme SAE 15W-40 API CI-4/SL Aceite Lubricante multigrado para Motores Diesel de última generación.* [En línea]. Canadá: 2011. [Consulta: 25 mayo 2023] Disponible en: <http://www.lubricantesgulf.com/downloads/productos/DIESEL/2/Gulf%20Superfleet%20Supreme%20SAE%2015W40%20API%20CI-4%20SL.pdf>
26. **HURTADO JARRIN, Williams Patricio.** *Análisis del envejecimiento de aceites lubricantes de automotores.* [En línea]. (Trabajo de Titulación) Universidad Central del Ecuador, Facultad De Ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química. Quito-Ecuador. 2014. Pág. 4. [Consulta: 30 mayo 2023] Disponible en: <https://docplayer.es/46997836-Universidad-central-del-ecuador-facultad-de-ingenieria-quimica-carrera-de-ingenieria-quimica.html>
27. **INEN.** *Instituto Ecuatoriano de Normalización.* [Blog]. Ecuador: 2018. [Consulta: 20 mayo 2023] Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/>
28. **INGENIERO MARINO.** *La Composición De Un Lubricante: Tribología de los aceites.* [En línea]. Canadá: 2021. [Consulta: 25 mayo 2023] Disponible en: <https://ingenieromarino.com/lubricantes-tribologia/>
29. **INTEC.** *Prueba de rigidez dieléctrica del aceite.* [En línea]. 2004. [Consulta: 10 mayo 2023] Disponible en: https://www.tecsaqro.com/tecsa/Pruebas_subestaciones/aceite.pdf

30. **JARAMILLO, Diego; et al.** Análisis técnico de la vida útil de un lubricante de aceite mineral para motores de combustión interna a gasolina de los vehículos de servicio de taxis de la ciudad de Cuenca. [En línea]. (Trabajo de Titulación) Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Facultad De Ingenierías, Carrera de Mecánica Automotriz. Cuenca- Ecuador. 2011. [Consulta: 16 mayo 2023] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1500/14/UPS-CT002022.pdf>
31. **LEE, David.** *Conceptos básicos del aceite base: la calidad comienza en la base.* [En línea]. Usa: 2018. [Consulta: 20 mayo 2023] Disponible en: https://latinamerica.chevronlubricants.com/es_mx/home/learning/from-chevron/personal-rec-vehicules-and-equipment/base-oil-basics-quality-starts-at-the-base.html
32. **LOPEZ, Cristian.** *Propiedades de los Lubricantes.* [En línea] Quito: 2014. [Consulta: 18 mayo 2023] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/249700786/propiedades-de-los-lubricantes>
33. **LUNA MORA, Pablo Daniel & MIER CABEZAS, Juan Francisco.** Medición y evaluación de los niveles de opacidad generados por los vehículos con motor de combustible diésel. [En línea]. (Trabajo de Titulación). Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ingeniería Automotriz. Quito- Ecuador. 2014. Pág. 50-65. [Consulta: 20 mayo 2023] Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/881/1/T-UIDE-0746.pdf>
34. **MANDORES, Lucas & JUANTO, Susana.** *Medida de viscosidad* [En línea]. 2016. [Consulta: 25 mayo 2023] Disponible en: <https://docplayer.es/67750151-Laboratorio-medida-de-viscosidad.html>
35. **MARÍN, Juan.** Medida de la acidez (TAN) mediante espectrometría infrarroja (FTIR) en aceites lubricantes de MCIA. [En línea]. (Trabajo de Titulación) Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, Ingeniería Aeroespacial. Valencia- España. 2019. Pág.17-34. [Consulta: 30 mayo 2023] Disponible en: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/130604/Mar%C3%ADn%20-%20Medida%20de%20la%20acidez%20%20%28TAN%29%20mediante%20espectrometr%C3%ADa%20infrarroja%20%28FTIR%29%20en%20aceites%20lubricant....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
36. **MARTÍNEZ PÉREZ, F. & BARROSO MORENO A.** (2008). “Aplicación de la tribología y el análisis de la causa raíz (RCA) en motores de combustión interna”. *Ingeniería Mecánica* [En línea], 2008, (Cuba) vol. 3, págs. 53- 56. [Consulta: 25 mayo 2023] Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2251/225115162008.pdf>

37. **MJR TECHNOLOGIES LLC.** *OilView® Quick-Check User Manual*. [En línea]. Lexington: 2010. [Consulta: 25 mayo 2023] Disponible en: <https://site.jjstech.com/pdf/OilView/OilViewQuickCheckManual.pdf>
38. **MOYANO, Azael.** *Tablas de Normas API Y SAE*. [En línea]. Latacunga: 2016. [Consulta: 16 mayo 2023] Disponible en: https://www.academia.edu/18299448/Normas_SAE_API
39. **MUNICIPALIDAD GUANO.** *Como obtener un turno para los servicios de la dirección de tránsito de Guano*. [En línea]. Guano: 2023. [Consulta: 5 noviembre 2023] Disponible en: <https://municipiodeguano.gob.ec/wpguano/>
40. **NORIA.** *La importancia de la demulsibilidad en el aceite*. [En línea]. León Guanajuato: 2020. [Consulta: 5 octubre 2023] Disponible en: <https://noria.mx/lublearn/la-importancia-de-la-demulsibilidad-en-el-aceite/>
41. **NORIA.** *Utilizando el color como una prueba de campo* [En línea]. León Guanajuato: 2023. [Consulta: 5 octubre 2023] Disponible en: <https://noria.mx/uncategorized/utilizando-el-color-como-una-prueba-de-campo/>
42. **NORIA CORPORATION.** *Aditivos para el aceite: Guía práctica*. [En línea]. León Guanajuato: 2020. [Consulta: 5 octubre 2023] Disponible en: <https://noria.mx/lublearn/aditivos-para-el-aceite-guia-practica/>
43. **NORIA GLOBAL.** *¿Cómo funciona un Aceite Multigrado?* [En línea]. León Guanajuato: 2021. [Consulta: 5 octubre 2023] Disponible en: <https://noria.mx/uncategorized/los-aceites-de-motor-y-sus-filtros-2/>
44. **NORIA LATÍN AMÉRICA.** *Q & A: ¿Qué es el TBN y qué Indica en el Análisis de Aceite? - Noria Latín América*. [En línea]. León Guanajuato: 2013. [Consulta: 5 octubre 2023] Disponible en: <https://noria.mx/lublearn/q-a-que-es-el-tbn-y-que-indica-en-el-analisis-de-aceite/>
45. **NORIA LATÍN AMÉRICA.** *¿Pueden ser filtrados los aditivos antiespumantes?* [En línea]. León Guanajuato: 2020. [Consulta: 5 octubre 2023] Disponible en: <https://noria.mx/lube-learn/control-contaminacion/evite-la-filtracion-excesiva-la-importancia-de-la-optimizacion/>
46. **NTE INEN 2027:2011.** *2R Aceites Lubricantes para motores de combustión interna de ciclo de Otto*
47. **NTE INEN 808:2013.** *Primera revisión Productos derivados del petróleo. Determinación del punto de inflamación y fuego en copa abierta*
48. **NTE INEN 810:2013.** *Productos derivados del petróleo. Determinación de la viscosidad Cinemática y Dinámica*
49. *en líquidos transparentes y opacos.*

50. **NTE INEN 1982.** *Productos derivados del petróleo. Determinación del punto de escurrimiento.*
51. **PAYRI, F., & DESANTES, J. M.** *Motores de combustión interna alternativos.* [En línea]. 5ª Edición. Valencia – España: Editorial Reverté, S. A., 2011. [Consulta: 1 octubre 2023] ISBN: 978-84-291-4802-2. Disponible en: https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/130ad267-fe67-4ec7-8363-51b16ffe11a6/TOC_0809_04_01.pdf?guest=true
52. **POZO MOREJÓN, Juan A.; et al.** “Análisis de aceite en motores de combustión interna estacionarios de planta de generación de energía eléctrica”. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia.* [En línea], 2014, Venezuela, vol. 37(3), págs. 206-212. [Consulta: 1 octubre 2023] ISSN 0254-0770. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702014000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
53. **REPSOL.** *¿Qué es la densidad de un aceite o lubricante?* [En línea]. Madrid: 2021. [Consulta: 5 octubre 2023] Disponible en: <https://www.repsol.es/particulares/faqs/mantenimiento-del-vehiculo/que-es-la-densidad-de-un-aceite-o-lubricante/>
54. **RODRIGO, José Ángel.** *Lubricantes de motor Aditivos.* [En línea]. Zaragoza: 2003. [Consulta: 25 mayo 2023] Disponible en: www.centro-zaragoza.com
55. **ROSHFRANS.** *Diferencias entre el aceite monogrado y el multigrado.* [En línea]. 2021. [Consulta: 25 mayo 2023] Disponible en: https://www.roshfrans.com/blog/diferencias_multigrado_monogrado
56. **RUIZ, Belén & VÁSQUEZ, Alejandro.** *Elaboración del plan de lubricación de la flota de camionetas del Gad municipal de Guano mediante análisis tribológicos de la degradación.* [En línea]. (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera Ingeniería Automotriz. Riobamba- Ecuador. 2023. Págs. 50-52. [Consulta: 16 mayo 2023] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/19224/1/65T00499.pdf>
57. **SALAZAR PÉREZ, D.; et al.** *El ciclo de evolución de los lubricantes.* [En línea]. Veracruz: 2015. [Consulta: 15 mayo 2023] Disponible en: <https://docplayer.es/56904558-El-ciclo-de-evolucion-de-los-lubricantes.html>
58. **SAMPIERI, Roberto; et al.** *Metodología de La Investigación.* [En línea]. 5ª Edición. México: McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. 2004. [Consulta: 15 mayo 2023] ISBN: 978-607-15-0291-9. Disponible en: <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>

59. **SANDINO CORBET, Alejandro.** “Agua en el aceite”. Revista de Marina [En línea], 2020, (Chile). vol. 1(99), págs. 1-4. [Consulta: 15 mayo 2023] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/656761331/Agua-en-aceite-hidraulico>
60. **SI ANALYTICS.** *Determination of Acid Number by Color-Indicator Titration (ASTM D 974).* [En línea]. 2019. [Consulta: 25 junio 2023] Disponible en: <https://www.xylemanalytics.com/en/File%20Library/Resource%20Library/SIA/09%20Application%20Papers/UK/TAN-ASTM-D-974--EN.pdf>
61. **SOSA, Edison; et al.** Producción y comercialización de bases y aceites lubricantes partiendo de aceite usado. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Maestría). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Escuela de Postgrado en Administración de Empresas, Maestría En Administración de Empresas. Guayaquil- Ecuador. 2013. Pág. 6. [Consulta: 16 mayo 2023] Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/30356/D-P11766.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
62. **SPECTRO SCIENTIFIC.** *Datasheet FluidScan 1000 Series 1.* [En línea]. 2018. [Consulta: 25 junio 2023] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/471956953/Datasheet-FluidScan-1000-Series>
63. **STEFANELLI, Eduardo.** *Comparación del Ciclo Diesel con Otto en el motor de cuatro tiempos.* [En línea]. 2023. [Consulta: 25 mayo 2023] Disponible en: <https://www.stefanelli.eng.br/es/comparacion-ciclo-diesel-otto-motor/>
64. **SWISSOIL.** *Grados de Viscosidad ISO Contenido del Boletín.* [En línea]. Guayaquil: 2012. [Consulta: 16 junio 2023] Disponible en: https://www.swissoil.com.ec/boletines/SO_Boletin05_viscosidad%20ISO.pdf
65. **TORMOS, Bernardo.** *Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado.* [En línea]. Barcelona- España: Editorial Reverte, 2009. [Consulta: 16 junio 2023] Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=DqJuqL_UzjkC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Diagn%C3%B3stico+de+motores+diesel+mediante+el+an%C3%A1lisis+del+aceite+usado&ots=kJ7HmjmBs-&sig=IGIirBD2D2DySxKe4D1UuJGSExg#v=onepage&q&f=false
66. **TOTAL ENERGIES.** (2023). *Aceites sintéticos.* [En línea]. Colombia: 2023. [Consulta: 25 mayo 2023] Disponible en: <https://totalenergies.co/blog/todo-sobre-aceites/aceite-sintetico>
67. **VIMOS PANTOJA, Luis Javier & CORO MEDINA, Oscar Xavier.** Estudio comparativo de la composición y propiedades fisicoquímicas de aceites lubricantes automotrices comercializados en Riobamba. [En línea]. (Trabajo de Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería

Automotriz. Riobamba- Ecuador. 2021. Pág.11-35. [Consulta: 30 mayo 2023] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16017>

68. **VITERI BONILLA, Luis Giovanni & JARAMILLO HIDALGO, Juan Carlos.** Análisis de la degradación de aceites lubricantes y propuesta de planes de mejora para el mantenimiento del equipo pesado del ilustre municipio del cantón Archidona. [En línea]. (Trabajo de Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba- Ecuador. 2011. Pág. 26-28. [Consulta: 16 mayo 2023] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/947/1/65T00018.pdf>
69. **XYLEM.** *Determination of Total Base Number (TBN) according to ISO 3771.* [En línea]. Washington: 2019. [Consulta: 25 mayo 2023] Disponible en: https://www.xylemanalytics.com/en/File%20Library/Resource%20Library/SIA/09%20Application%20Papers/UK/TBN-ISO-3771_EN.pdf





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 06/02/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Jefferson Orlando Vásquez Moreta Jhonny Javier Zúñiga Oñate
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería Automotriz
Título a optar: Ingeniero Automotriz
 Ing. Celín Abad Padilla Padilla Director del Trabajo de Integración Curricular
 Dra. Olga Beatriz Barrera Cárdenas Asesora del Trabajo de Integración Curricular