



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
División Académica de Ciencias Biológicas
“Estudio en la duda. Acción en la fe”



**“REFINACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES USADOS CON
DIFERENTES NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO
SULFÚRICO Y NONILFENOL”**

Trabajo recepcional, en la modalidad de:

Tesis de Doctorado

Para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias en Ecología y Manejo de
Sistemas Tropicales

Presenta:

Mtro. José Abisenas Álvarez Rivera

Directores:

Dr. Guillermo Castañón Nájera
Dr. Juan Manuel Urrieta Saltijeral



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 04 de Agosto de 2023

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. JOSÉ ABISENAS ÁLVAREZ RIVERA** egresado del Doctorado en **CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Doctorado denominado: **"REFINACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES USADOS CON DIFERENTES NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO Y NONILFENOL"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E


**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado

**U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

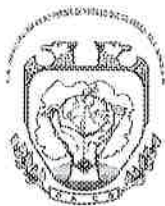


DIRECCIÓN



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

AGOSTO 04 DE 2023

**C. JOSÉ ABISENAS ÁLVAREZ RIVERA
PAS. DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y
MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales titulado: **"REFINACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES USADOS CON DIFERENTES NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO Y NONILFENOL"**, asesorado por Dr. Guillermo Castañón Nájera y Dr. Juan Manuel Urrieta Saltijeral, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por el Dr. José Ramón Laines Canepa, Dr. José Roberto Hernández Barajas, Dr. Guillermo Castañón Nájera, Dra. Liliana Pampillón González, Dr. Carlos Mario Morales Bautista, Dr. Miguel Ángel Palomeque de la Cruz y Dr. Gaspar López Ocaña.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR**

**U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo

CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de doctorado denominado: **“REFINACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES USADOS CON DIFERENTES NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO Y NONILFENOL”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los 04 días del mes de agosto de dos mil veintitrés.

AUTORIZO



JOSÉ ABISENAS ÁLVAREZ RIVERA



Villahermosa, Tabasco a 29 de junio de 2023

C. JOSÉ ABISENAS ALVAREZ RIVERA

ESTUDIANTE DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA

Y MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES

PRESENTE

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad, y por instrucciones de la Dirección de Posgrado, se implementó la revisión de los documentos recepcionales (tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad, el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Código Institucional de Ética para la Investigación y con los requerimientos para los posgrados en el SNP-CONAHcyT.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones y el reporte de originalidad de su documento de tesis. Con el objetivo de fortalecer y enriquecer el programa de posgrado, la responsable del programa realizó la revisión del documento en la plataforma iThenticate, obteniendo el reporte de originalidad, el índice de similitud y emitió las siguientes sugerencias y recomendaciones para dar seguimiento en el documento de tesis del proyecto de investigación: **'Refinación de aceites lubricantes usados con diferentes niveles de concentración de ácido sulfúrico y nonilfenol'**.

OBSERVACIONES:

1. **El índice de similitud obtenido fue de 06%**, el cual se ubica dentro del estándar de tolerancia de acuerdo a las Políticas y Lineamientos para el uso y manejo del Software Antiplagio de la UJAT. Se demuestra el nivel de originalidad del documento y de la investigación.

C.c.p. ARCHIVO





UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División Académica
de Ciencias Biológicas.

Jefatura de Posgrado.



2. El índice de similitud del 6%, se distribuye en: 1% en artículos citados del Journal of the Serbian Tribology Society, revista especializada en los aspectos de la ciencia de la fricción, el desgaste y la lubricación, -1% de DOAJ Open Global Trusted y el resto <1% de citación de fuentes primarias de buscadores especializados de internet específicamente, Hidawi, Tandfonline, Springer, NCBI Centro Nacional de Información Biotecnológica, International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology (IJEA), entre otros.
3. **Se adjunta el informe de originalidad de la tesis** obtenido a través de la herramienta Turnitin iThenticate.
4. Finalmente, se le solicita al C. JOSÉ ABISENAS ALVAREZ RIVERA, integrar en la versión final del documento de tesis, este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DACBIOL

C.C.P. Dr. Guillermo Castañón Nájera. Director de Tesis.
C.c.p. ARCHIVO

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA

Tel. (993) 358-1500 Ext. 6407. Correo e: posgrado.dacbiol@ujat.mx



Refinación de aceites lubricantes usados con diferentes niveles de concentración de ácido sulfúrico y nonilfenol

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	www.tribology.rs Internet	180 palabras — 1%
2	doaj.org Internet	147 palabras — 1%
3	www.hindawi.com Internet	79 palabras — < 1%
4	www.tandfonline.com Internet	31 palabras — < 1%
5	link.springer.com Internet	30 palabras — < 1%
6	www.ncbi.nlm.nih.gov Internet	30 palabras — < 1%
7	rep.ksu.kz Internet	29 palabras — < 1%
8	www.ijeast.com Internet	29 palabras — < 1%
9	Mohamed Mohamed, Mohamed Hussien, Amer Shaier. "Study on the Amount of N-Methyl-2-Pyrrolidone Decreasing by Butanol as a Solvent in Re-	27 palabras — < 1%

*Muy cerca de mi ocaso, yo te bendigo, vida,
porque nunca me diste ni esperanza fallida,
ni trabajos injustos, ni pena inmerecida;*

*Hallé sin duda largas las noches de mis penas;
mas no me prometiste tan sólo noches buenas;
y en cambio tuve algunas santamente serenas...*

*Amé, fui amado, el sol acarició mi faz.
¡Vida, nada me debes! ¡Vida, estamos en paz!
Amado Nervo.*

Agradecimientos

A mi comité tutorial conformado por los Doctores: José Ramón Laínes Canepa, José Roberto Hernández Barajas, Guillermo Castañón Nájera, Liliana Pampillón González y Carlos Mario Morales Bautista, quienes me acompañaron durante este proceso con valiosos comentarios y observaciones, gracias a ustedes este grado salió en tiempo y forma.

A mis asesores

Agradezco mucho a mis asesores Dr. Guillermo Castañón Nájera y al Dr. Juan Manuel Urrieta Saltigeral por su valioso apoyo en la realización de este documento.

En especial a mi amigo, el Dr. Guillermo Castañón Nájera, no solo en el apoyo incondicional, en observaciones y redacción en la tesis y los artículos, sino también por su lealtad, cualidad difícil de conseguir en estos tiempos, gracias amigo.

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y a mi hermosa División Académica de Ciencias Biológicas la cual ha sido mi inspiración; solo podría pagarle, con defenderla en cualquier lugar, con cualquier gente.

Dedicatoria:

A mi padre José del Carmen Álvarez García:

Un día te platique de este proyecto, y aunque ya no te encuentres en este planeta, con alegría puedo decirte que lo terminé; sin embargo, una nostalgia invade mi mente, me hubiese gustado compartirlo contigo. Padre he aquí tu hijo. Hijo he aquí tu padre.

Este trabajo fue realizado con mucho sacrificio y esfuerzo, basado en el amor fecundado

de mis tres hermosas hijas: Nissa, Grecia y Kenia, y el gran amor que siento por mi esposa Elena.

Nissa, Grecia y Kenia, ustedes han sido como la espada de Demócrito para cortar aquellos obstáculos, basado en nuestro amor encerrado en este cuerpo, sepan que ninguna fuerza podrá romperlo.

A ti mi esposa, a ti mujer guerrera que has librado grandes batallas, has caído y te has levantado muchas veces, tus manos han usurpado los olores y sabores de cada mañana, me has visto llorar y reír, has pasado cada noche conmigo y solo la luna es testigo de nuestro amor, me has confiado tu inseguridad, cariño, amor y algunas ignorancias del comportamiento humano, hemos aprendido juntos que de la boca pueden salir muchas palabras, pero los hechos hablan mejor.

En este camino sentí que mis pies cansados cada vez pesaban más, mi rostro reflejaba la nostalgia de los sacrificios de las personas que amo, pero todo esto cambiaba cuando veía aquellas caritas felices. Mi hambre fue saciada por esas sonrisas y mi cansancio por aquellos besos.

“Ay de ustedes Escribas y Fariseos hipócritas, porque cierras el reino de los cielos delante de los hombres, que ni ustedes entran ni a los que están afuera dejan entrar”. Jesús hijo de María.

Índice	Páginas
Capítulo 1	1
1.1. Introducción	1
Capítulo 2	2
2.1. Antecedentes	2
2.1.1. Técnicas de refinación de Aceites lubricantes usados (ALU) más empleadas por región geográfica del mundo	3
a) Continente Asiático	4
b) Continente Africano	6
c) América del sur	8
d) América del norte	9
e) Continente europeo	9
2.1.2. Situación actual de la refinación de los aceites lubricantes usados (ALU) en México	10
2.1.3. Referencias	13
Capítulo 3	18
3.1. Objetivos	18
3.1.1. Objetivo General	18
3.1.1.1. Evaluar los procesos de refinación de los aceites lubricantes usados generados en Tabasco, para incorporarlos en fluidos de perforación.	18
3.1.2. Objetivos particulares	18
3.1.2.1. Determinar el manejo de los aceites lubricantes usados en 10 municipios de Tabasco, México	18
3.1.2.2. Evaluar los procesos de refinación con diferentes concentraciones de H ₂ SO ₄ y C ₁₅ H ₂₄ O en aceites lubricantes usados.	18
3.1.2.3. Optimizar la mezcla de aceite lubricante usado refinado y el diésel para incorporarlo en fluidos de perforación.	18
Capítulo 4	19
Handling of Used Lubricating Oil in Tabasco, Mexico	19
Astract	19
4.1. Introduction	19
4.2 Materials and methods	20
4.2.1 <i>Census of generators of used lubricating oils (ULOs) in 10 municipalities of Tabasco</i>	20
4.2.2 <i>Assessment of the oil's physical properties</i>	20
4.3. Results	20
4.3.1 <i>Repair shop census by study área</i>	20
4.3.2 <i>Collection, transportation and storage of used lubricating oils in Tabasco</i>	21
4.3.3 <i>Final disposal of used lubricating oils in Tabasco</i>	21
	iii

4.4 Discussion	23
4.5 Conclusions	24
4.6 References	24
Capítulo 5	26
Refining Used Lubricant Oils with Different Concentration Levels of Sulfuric Acid and Nonylphenol	26
Abstract	26
5.1. Introduction	27
5.2. Materials and methods	28
5.2.1 Treatment with temperature and proportion of reagents	30
5.3. Results and discussion	30
5.3.1. ULOs density	30
5.3.2. ULOs viscosity	31
5.3.3. ULOs Flash point	31
5.3.4. Electrical stability	32
5.3.5. Saturated, Aromatic, Resins and Asphaltenes (SARA)	33
5.3.6. Percentage of solids, oil and moisture	34
5.4. Conclusions	34
5.5. References	35
Capítulo 6	39
Optimización de la mezcla aceite lubricante usado refinado/diésel para incorporarlo en fluidos de perforación.	39
Resumen	39
6.1 Introducción	40
6.2 Materiales y métodos	41
6.2.1 Análisis de las muestras	43
6.2.2 Análisis del contenido de humedad, sólidos y aceite por el método API RP 13B2.	43
6.2.3 Análisis de densidad	43
6.2.4 Análisis de viscosidad a 300 RPM	44
6.2.5 Análisis de Estabilidad eléctrica	44
6.2.6 Análisis de Punto de inflamabilidad	44
6.3 Resultados y Discusión	44
6.3.1 Densidad de la mezcla ALUR/Diésel	44
6.3.2 Viscosidad de la mezcla ALUR/Diésel	45
6.3.3 Estabilidad eléctrica de la mezcla ALUR/Diésel	47
6.3.4 Punto de inflamabilidad de la mezcla ALUR/Diesel	48
6.3.5 Porcentaje de sólidos, aceite y humedad de la mezcla ALUR/Diésel	49
6.4 Discusión	50
	iv

6.5 Conclusiones	51
6.6 Referencias	52
Capítulo 7	55
7.1. Conclusiones generales	55

Índice de Tablas y Figuras

Índice	Página
Capítulo 2	
Tabla 1. Investigaciones realizadas en Aceites lubricantes usados (ALU) en Asia.	5
Tabla 2. Investigaciones realizadas en Aceites Lubricantes Usados (ALU) en África	8
Tabla 3. Investigaciones realizadas en Aceites Lubricantes Usados en América del Sur.	9
Tabla 4. Investigaciones realizadas en Aceites lubricantes usados en América del Norte.	9
Tabla 5. Investigaciones realizadas en Aceites Lubricantes Usados en Europa.	10
Tabla 6. Número de empresas por entidad federativa dedicadas a la refinación de aceites lubricantes usados en México.	12
Capítulo 4	
Figure 1. Distribution of 10 municipalities in the state of Tabasco where ULO was collected	22
Figure 2. Dendrogram with the Euclidean distance of 10 municipalities in the state of Tabasco in which ULO was collected.	22
Figure 3. Distribution of the 10 municipalities in which four variables of the ULO collected in the state of Tabasco were evaluated.	22
Figure 4. Dendrogram with the Euclidean distance of 10 municipalities in the state of Tabasco in which the quality of ULO was evaluated, based on four quantitative variables.	23
Table 1. Number of repair shops generating used lubricating oils (ULO) in the 10 municipalities sampled in the state of Tabasco.	20
Table 2. Companies that collect and transport used lubricating oil (ULO) in the 10 municipalities sampled in the state of Tabasco.	21
Table 3. Eigenvalues, eigenvectors, and variance explained by each principal component (PC) in the four stages of ULO collection in automotive repair shops in 10 municipalities of Tabasco.	21

Table 4. Eigenvalues, eigenvectors, and variance explained by each principal components (PC) in four variables measured in the oils collected in five repair shops in each of the 10 municipalities in Tabasco.	22
---	----

Capítulo 5

Fig. 1. ULO leachates, after the application of sulfuric acid and nonylphenol.	29
Fig. 2. Stove with knobs to regulate the proposed temperatures with a 250 C mercury thermometer	30
Fig. 3. Behavior of the density of the refined ULOs in each treatment. Equal letters indicate that there are no statistically significant differences.	30
Fig. 4. Behavior of the viscosity of the refined oil in the different treatments.	31
Fig. 5. Behavior of the Flash Point of the refined oil in the different treatments.	32
Fig. 6. Behavior of the electrical stability of the refined oil in the different treatments.	33
Fig. 7. Behavior of saturates, aromatics, resins and asphaltenes in the refined oil in the different selected treatments. The amounts on the bars represent the percentage of each one of the fractions.	33
Fig. 8. Behavior of the % solids, % oil and % moisture of the refined oil in the different treatments.	34
Table 1. Description of the treatments for the refining of the ULOs evaluated.	29
Table 2. Summary of results obtained with the most efficient ULOs refining treatments.	34
Table 3. Summary of results obtained with the most efficient ULO refining treatments in flash point and electrical stability.	34

Capítulo 6

Fig. 1. Comparación de los resultados de densidad de las mezclas de ALU refinado/Diésel. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Kruskal-Wallis + Bonferroni $p < 0.05$).	45
Fig. 2. Comparación de los resultados de viscosidad de las mezclas de ALU refinado/Diésel. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Kruskal-Wallis + Bonferroni $p < 0.05$).	46
Fig. 3. Comparación de los resultados de Estabilidad eléctrica de las mezclas de ALUR/Diésel. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Kruskal-Wallis + Bonferroni $p < 0.05$).	47
Fig. 4. Comparación de los resultados de Punto de inflamabilidad de las mezclas de ALU refinado/Diésel. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Kruskal-Wallis + Bonferroni $p < 0.05$).	48
Figura 5. Comportamiento del % de sólidos, % de aceite y % en los diferentes tratamientos.	49

Tabla 1. Proporciones de la mezcla entre el aceite refinado y el diésel en cada tratamiento.	42
Tabla 2. Parámetros analizados a las muestras de cada tratamiento de refinación propuesto.	43

CAPITULO 1

1.1. Introducción

Es importante reconocer que una considerable cantidad de Aceites Lubricantes Usados (ALU), se genera a diario en todo el mundo. Para su aprovechamiento, en la mayoría de los ALU colectados se emplea un sistema de gestión que incluye la recolección por personal especializado, el procesamiento de tratamiento, el almacenamiento de este tipo de aceites en la fuente, y la disposición final. También habría que agregarle otros componentes indirectos como el pago de tarifas y la implementación de sistema de información (Muharemi, 2012).

En este sentido, durante la Sexta Conferencia de las Partes (COP6), Bamiro y Osibanjo (2013) presentaron el programa de trabajo integral de la Asociación Global para el ALU en África. En esta conferencia, se dieron a conocer el diagnóstico actual de las principales fuentes de generación de aceites usados, la generación total, los tipos de aceites usados que se producen, el almacenamiento, eliminación y el tratamiento que se le está dando a estos aceites. Los autores mencionados encontraron que la mayor parte de los ALU se generan en Nigeria ($0.006 \text{ m}^3/\text{s}$), las principales fuentes que los producen son la industria y el transporte.

De acuerdo con la literatura revisada, este no es un hecho aislado, por lo que en los últimos años, muchos países han mejorado los sistemas de manejo de los ALU, especialmente porque diferentes regiones se considera a los componentes de estos aceites como peligrosos (según el CRETI, los ALU pueden tener características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad). Por lo anterior, los ALU representan un riesgo para el medio ambiente y la salud humana principalmente. No obstante, existe evidencia que se han creado diversas alternativas para reducir tales efectos adversos mediante la reducción, reaprovechamiento o transformación de los ALU. Sin embargo, se siguen presentando grandes problemáticas como la reducción desde la fuente de generación, especialmente, porque esta define el tipo de tratamiento y sus condiciones de operación.

En México, el manejo de los ALU es poco conocido, por un lado, los generadores solo tienen un contenedor donde lo almacenan sin llevar una bitácora de cuáles son las características de los aceites colectados, y por otro, las empresas que se ocupan de la recolección solo realizan caracterizaciones generales normadas, como densidad y acidez, dejando fuera parámetros importantes como fracciones de hidrocarburos presentes, las cuales, pueden definir las condiciones de tratamiento de algunas tecnologías innovadoras como la refinación. También, aunque a nivel mundial esta técnica ha

demostrado ser una de las mejores alternativas para el tratamiento de los ALU, pero en México se conoce muy poco de ella.

El objetivo del presente estudio consistió en aplicar diferentes tratamientos de refinación a los aceites lubricantes usados (ALU), mediante la aplicación de ácido sulfúrico y nonilfenol a diferentes proporciones. Se fijó como valores de referencia para cuantificar la eficiencia de los ALU, aquellos parámetros utilizados para evaluar la calidad del aceite base en la formulación de fluidos de perforación base aceite.

CAPITULO 2

2.1. Antecedentes

Algunos reportes han evidenciado que los componentes de los ALU pueden ser tóxicos (bifenilos policlorados, metales pesados, aditivos degradados, compuestos halógenos e hidrocarburos poli cíclicos cancerígenos) para la salud humana y otros organismos si son vertidos al medio ambiente (Kanokkantapong et al., 2009). Boughton y Horvath (2004) encontraron que el Zn y Pb son generados durante la combustión de aproximadamente $1\ 893\ m^3$ de aceite, de sus resultados reportan que se generan al aire cada año concentraciones de hasta $2.14\ mol/m^3$ de Zn y $0.02\ mol/m^3$ de Pb.

En otros trabajos, encontraron que las emisiones de Zn y Pb causaron potenciales impactos de toxicidad terrestre en humanos que se calcularon en 150 y 5 veces mayores, respectivamente, para el aceite usado como combustible en combustión usado en la refinación o destilación; por su impacto al ambiente, estas emisiones se clasifican como de: Potencial de calentamiento global, potencial de acidificación, potencial de eutrofización y metales pesados (Kanokkantapong et al., 2009); también, se tiene registro de que el aceite se retiene en las partículas de polvo en el aire, y que las emisiones contienen altas concentraciones de metales pesados, producto de la combustión incompleta que pueden llegar a ser cancerígenos (Beiring, 1993).

Algunos ejemplos del inadecuado manejo de los ALU es cuando se vierten éstos en las alcantarillas y pasa de forma directa al agua residual, lo que afecta el buen funcionamiento de las plantas de tratamiento (Lengyel y Cvengroš, 2009). También, algunos ALU se vierten en el suelo para el control de la maleza o son mezclados con los residuos urbanos, en diversos casos son dispuestos a cielo abierto, pueden contaminar aguas superficiales. Así mismo, en muchas regiones los ALU son arrojados ilegalmente en vías fluviales, en suelos o en vertederos (Yang et al., 2016). Por lo anterior, se ha

enfaticado que la eliminación de ALU en el sistema ecológico es un peligro potencial para el medio ambiente, ya que no solo representa toxicidad para los organismos, también se ha evidenciado que algunos de sus componentes orgánicos pueden interrumpir procesos biogeoquímicos (Katiyar y Husain, 2010a; Manzanarez e Ibarra-Ceceña, 2012).

En Nigeria, por ejemplo, se generan alrededor de 75709 m³ de aceite de motor, los que son descargados al medio ambiente (Oluwapelumi y Omotayo, 2012), se tienen estudios que muestran que cuando un ALU es derramado, aunque los hidrocarburos totales (TPH) no sean superiores a 0.5 kg/m³, los niveles de BETX no representan un riesgo si y solo si están por debajo de 0.003 mol/m³ de benceno, 1.88 mol/m³ de etilbenceno, 1.85 mol/m³ de tolueno y 17.89 mol/m³ de xilenos totales. Así mismo, las fracciones difíciles de degradar como los polinucleares aromáticos o HAP (benzoantraceno, benzopireno y policlorobifenilo o PCB), el suelo suele retenerlos, cuya disponibilidad y biodegradación natural depende mucho de las condiciones ambientales y de las plantas que se encuentren creciendo en el sitio (Pawlak et al., 2008).

Un dato preocupante es que, en la última década, la demanda mundial de lubricantes fue de alrededor de 1 141.55 kg/m³, de los que más de la mitad se pierde en la explotación, y solo el resto es aceite residual potencialmente re-colectable (Rac y Vencl, 2012).

2.1.1. Técnicas de refinación de Aceites lubricantes usados (ALU) más empleadas por región geográfica del mundo

Existen diferentes técnicas de refinación de aceites lubricantes usados en el mundo, cumpliendo con su propósito, cada una de ellas emplea desde el calentamiento, la extracción por distintos solventes, la destilación, hasta la implementación de reactivos químicos, acompañándose de métodos de filtración como son los diferentes tipos de arcillas que se pueden encontrar, junto al carbón activado. El objetivo de utilizar estas técnicas, es obtener una base mineral que pueda ser reutilizada con otros propósitos como las ya conocidas que son: base de aceite mineral (Yash, 2015), para luego agregarle un aditivo e incorporarlos como aceite nuevo para motor, aceite base para mezclas con solventes (Hourieh, 2020), y/o poderlos utilizar como combustible alternativo, en la destilación de aceite para producir diésel marino o biodiésel, aceite para mezclas con asfaltos y emulsiones asfálticas (Baladincz et al., 2008).

En los Estados Unidos de América, Boughton y Horvath (2004), mencionan que se generan alrededor de 3795 412 m³ de aceite usado cada año, estos aceites son tratados de tres formas diferentes. Un tercio del aceite lubricante usado es refinado para tenerlo como aceite base para su reutilización, otra tercera parte es destilado en combustible diésel marino y la tercera parte restante es comercializada como

aceite combustible sin tratar.

a) Continente Asiático

La refinación del aceite lubricante usado (ALU) en Asia, es un tema que en años recientes ha adquirido gran importancia, sobre todo por los diferentes métodos que se han utilizado (Katiyar y Husain, 2010b). Jafari y Hassanpour (2015) en Irán (Tabla 1), revisaron varias técnicas de refinación incluyendo las patentadas (principalmente de Estados Unidos de América, EUA), que se encuentran en diferentes partes del mundo, donde el mejor proceso resultó ser el ácido/arcilla, coincidiendo con Qayoom et al. (2018), en Pakistán (Tabla 1) utilizaron la arcilla caolinita como adsorbente ecológico y de bajo costo para el re-refinado de ALU. El proceso dio un rendimiento del 95 % de aceite transparente de color amarillo pálido de buena calidad con un índice de color de 2 y 99 % de reducción de metal. Bridjanian y Sattarin (2006) implementaron la combinación de técnicas, usaron un tratamiento con temperatura y catalizador; los resultados indicaron que el proceso ácido/arcilla tiene el menor costo y menor riesgo ambiental en comparación con las otras tecnologías de regeneración, lo cual coincide con otros trabajos en los que se señala que la extracción con solventes y la filtración utilizando arcillas es una de las técnicas más económicas probadas (Mehrkesh et al., 2015); Hani y Al-Wedyan (2011); Rahman et al. (2008) en Bangladesh, evaluaron a escala piloto una técnica en la que, si se aplica aceite lubricante usado y arcilla ácida, se recupera aceite base regenerado en 62 y 66 %.

Por otro lado, Durrani et al. (2011), al usar la técnica de extracción con solventes encontró que el aceite usado después del tratamiento puede presentar características similares a las del aceite nuevo, además de ser ambientalmente controlable, pero de alto costo y bajo rendimiento. Oladimeji et al. (2018); Daham et al. (2017). Mehrkesh et al. (2015) en Irán, propusieron combinar técnicas de extracción con solvente y arcilla, de su investigación reportaron que 3 600 s de sedimentación y 45.03 rad/s la velocidad de agitación fueron los parámetros óptimos del proceso de extracción. En este sentido, Joseph et al. (2016), probaron el disolvente 1-butanol, 2-propanol y metil-etil-cetona en 75 kg de aceite usado, la conclusión de su trabajo es que el proceso fue rentable y eficiente con una recuperación del 75.6 % de aceite y 95 % del solvente. En Iraq, Hamawand et al. (2013) usaron ácido acético en una muestra de aceite usado, observaron una separación en dos capas, una capa de aceite transparente de color rojo oscuro y otra de lodo negro oscuro ubicada en el fondo del recipiente.

Vural et al. (2020), refinaron ALU en Turquía (Tabla 1) las técnicas usadas en su estudio fueron: la desmetalización y decoloración. En sus resultados obtuvieron parámetros equivalentes a los aceites base. Hourieh (2020) en Siria, aplicó hidrocrqueo catalítico a los ALU, los productos obtenidos fueron gas, nafta, queroseno, gasóleo, y fueloil, de alta calidad, los que se pueden comercializar sin

tratamiento adicional. En Iraq, Hussein et al. (2017) investigaron el efecto de las variables operativas sobre el porcentaje de lodo eliminado (PSR) durante el re-refinado de ALU con el método de tratamiento de extracción con solvente-floculación. Encontraron que las mejores condiciones de proceso para los PSR máximos fueron (1 800 s, 94.24 rad/s, 303.15 K), (2 700 s, 73.30 rad/s, 308.15 K) y (1 800 s, 700 rad/s, 308.15 K) para N: MEK, N: n -Pero, y N: Iso-Butanol.

Tabla 1. Investigaciones realizadas en Aceites lubricantes usados (ALU) en Asia.

Autores	Año	País	Método(s) usados	Producto obtenido
Yee y col.	2002	Malasia	Arcilla	Aceite base
Bridjanian y Sattarin	2006	Irán	Ácido/Arcilla	Aceite refinado
Rahman y col.	2008	Bangladesh	Ácido/Arcilla	Aceite base
Durrani y col.	2011	Pakistán	Extracción con solventes	Aceite nuevo
Hani y Al-Wedyan	2011	Jordania	Ácido/Arcilla	Aceite base
Diphare y col.	2013	Malasia	Destilación	Aceite refinado
Hamawand y col.	2013	Irak	Ácido	Aceite refinado
Jafari y Hassanpour	2015	Irán	Ácido/Arcilla	Aceite refinado
Mehrkesht y col.	2015	Irán	Extracción con solventes	Aceite refinado
Hussein y col.	2017	Irak	Extracción con solventes	Aceite refinado
Daham y col.	2017	Irán	Extracción con solventes	Aceite refinado
Qayoom y col	2018	Pakistán	Arcilla	Aceite refinado
Hourieh	2020	Siria	Hidrocraqueo catalítico	Hidrocarburos ligeros
Vural y col.	2020	Turquía	Destilación	Aceite base

En Corea, Kim y Kim (2000) llevaron a cabo pruebas mediante un micro-reactor de la bomba de tubos a una temperatura de 693.15 K a 713.15 K y tiempos de reacción de 3 000 s, para este experimento se usó sal eutéctica de KNO_3 (59 % en peso) y $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (41 % en peso). Yee et al. (2002), también en Malasia (Tabla 1), construyeron en el simulador Aspen Plus un modelo de simulación, los resultados mostraron que una gran cantidad de Mg se adsorbe en la arcilla activada en comparación con otros tipos de metales, encontrándose una ligera diferencia (en masa) de 1.14 %, en comparación con el Pb que mostró una diferencia de 2.51 %, mientras que la del Na fue de 1.00 % entre el laboratorio y los resultados de la simulación, también el Fe y Zn contribuyeron con el menor contenido de Fe (1.61×10

mol/kg) y Zn (1.37×10 mol/kg) en el aceite lubricante usado; en otro estudio en Malasia, Diphare et al. (2013) encontraron que el reciclaje de los aceites lubricantes de desecho puede lograrse mediante el Reprocesamiento, refinado y destrucción, y que la refinación es la técnica más efectiva, ya que el aceite producido presentó valores de viscosidad (Pa's) de 85.8, cercano al 92.8 del aceite virgen en comparación con el 80.2 del de reprocesamiento, en este estudio se encontró que el contenido de azufre fue de 0.042 y 0.13 % en peso con el refinado y el reprocesamiento; también, la gravedad específica del aceite virgen fue mayor que la de los aceites tratados y menor que la del aceite usado, así mismo, los resultados de densidad para los aceites usados, refinados y reprocesados fueron de 910 kg/m^3 , 860 kg/m^3 y 890 kg/m^3 .

b) Continente Africano

En Argelia, Danane et al. (2014) realizaron el análisis y tratamiento del aceite de motor usado, con un pretratamiento y una filtración a través de la bentonita, este proceso permitió eliminar la mayoría de las impurezas y la optimización de diferentes parámetros, el aceite de motor obtenido al final del proceso es un aceite básico listo para volver a ser usado. En este sentido, Kwakye-Awuah et al. (2018), utilizaron diferentes arcillas conocidas como zeolitas LTA y LSX. La zeolita LTA eliminó con éxito los metales pesados, particularmente plomo, cobre y hierro que estaban en el aceite gastado, se obtuvo una eficiencia de eliminación de 23.40 % Fe, 96.76 % Zn, 19.05 % Cu y 12 % Cr para Zeolita A con un rendimiento de 62 %, mientras que se obtuvo 32.81 % Fe, 39.00 % Zn, 47.61 % Cu y 24 % Cr para Zeolita LSX con un rendimiento del 67 %; el índice de viscosidad de los aceites vírgenes, tratados con Zeolita LTA y Zeolita LSX fueron 115, 121 y 115 respectivamente.

Adewole et al. (2019) en Nigeria (Tabla 2) estudiaron las características del aceite regenerado obtenido por una extracción con solventes. El índice de viscosidad y la viscosidad cinemática a 313.15 K y 373.15 K se encuentran por encima de las especificaciones SAE. El punto de fluidez del aceite recuperado se encuentra por debajo de los valores estándar, mientras que la gravedad específica coincide con los estándares SAE. En Nigeria Araromi y col. (2016), utilizaron los disolventes etanol y 1-butanol y 1-butanol-etanol para refinar ALU a 308.15 K, 318.15 K y 323.15 K. Los rendimientos de los disolventes se investigaron a una relación de aceite disolvente (SOR) de 1:1 a 7:1: el estudio reveló que el 1-butanol produjo el mejor rendimiento para regenerar ALU y que el 1-butanol-etanol posee un alto potencial para regenerar ALU. En Nigeria, Epelle y col. (2017) analizaron los disolventes Fenol, Furfural y N-Metilpirrolidona-NMP en la absorción selectiva de los aromáticos residuales, así como de los contaminantes presentes en una muestra de ALU para mejorar su índice de viscosidad (VI). El NMP mostró ser el mejor disolvente sobre Furfural y Fenol en términos de mejora de VI dando el

valor más alto de 105. El Furfural dio el mejor rendimiento sobre NMP y Fenol, en términos de rendimiento de refinado fue del 90 %.

De acuerdo con Abu-Elella et al. (2015) en Egipto (Tabla 3), se realizó un tratamiento de aceites lubricantes usados (ALU), se usaron diferentes ácidos y tierra arcillosa. Los resultados mostraron que el tratamiento con ácido fórmico-arcilla mejoraba el punto de inflamación del ALU y lo hacía comparable con el aceite de motor fresco mientras que el ácido sulfúrico, el ácido acético y ácido fórmico filtrado con arcilla, mejoró la viscosidad del ALU.

En Egipto, Hassanain et al. (2016), emplearon el reciclaje por reencendido y recuperación por co-cocción, observaron que en la combustión se generan grandes cantidades de CO₂ (293 T equivalentes de CO₂/100 T ALU) y NO_x (14.1 T equivalentes de CO₂/100 T de ALU), también que al aumentar la proporción de reciclaje del 50 % al 90 % en el escenario de co-combustión redujo la cantidad de dióxido y monóxido de carbono de 180 T de equivalentes de CO₂/100 T de ALU a 88 T de equivalentes de CO₂/100 T de ALU y de 12 600 kg equivalentes de CO₂/100 T de ALU a 2 520 kg equivalentes de CO₂/100 T de ALU, respectivamente. Los escenarios de refinación emitieron solo 66 T de equivalentes de CO₂/100 T de ALU en comparación con 293 T equivalentes de CO₂/100 T de ALU evolucionado. En Ghana, Mensah-Brown (2013; 2015), indican que en un tratamiento cáustico y posterior destilación al vacío se presentan niveles óptimos cuando se emplean 0.99 % de inhibidor de oxidación/corrosión, 1.33 % de detergente y 3.0 % de dispersante por cada m³ de material tratado, este último fue una mezcla de aceite lubricante usado refinado y material lubricante virgen brillante en la proporción 3:1 obteniendo un aceite lubricante de grado SAE 40 adecuado para motores de gasolina automotrices.

También, de una entrevista a 20 mecánicos de automóviles en Nigeria, el 60 % de ellos admitieron que vierten el aceite usado en el suelo, el 30 % que lo venden y el 10 % que lo reutiliza. Sobre el tema de la conciencia sobre el reciclaje, el 50 % admitió que están al tanto, el 30 % afirmó ignorar dicha sugerencia, mientras que el 20 % no ve la necesidad de reciclar aceite usado (Zitte et al., 2016). Aunque no existen estudios de encuestas a talleres en México, no se descarta que este mismo comportamiento esté ocurriendo con la mayor parte de los generadores (principalmente talleres automotrices) de aceites lubricantes usados (ALU) de los 32 estados que conforman la República Mexicana, la mayor parte de los generadores de aceite lubricantes en México, son clasificados como pequeños generadores (arriba de 0.000 1 m³/s a 0.002 7 m³/s).

Tabla 2. Investigaciones realizadas en Aceites Lubricantes Usados (ALU) en África

Autores	Año	País	Método(s) usado	Producto obtenido
Mensah-Brown	2013	Ghana	Destilación	Aceite para motor
Danane et al.,	2014	Argelia	Extracción/Arcilla	Aceite refinado
Abu-Elella et al.,	2015	Egipto	Ácido/Arcilla	Aceite refinado
Hassanain et al.,	2016	Egipto	Co-cocción	Aceite refinado
Araromi et al.,	2016	Nigeria	Extracción con solventes	Aceite refinado
Adeyemi et al.,	2017	Nigeria	Reactor/Arcilla	Aceite refinado
Epelle et al.,	2017	Nigeria	Extracción con solventes	Aceite refinado
Oladimeji et al.,	2018	Nigeria	Extracción con solventes	Aceite refinado
Kwaky-Awuah et al.,	2018	Ghana	Ácido/Arcilla	Aceite refinado
Adeniyi et al.,	2018	Nigeria	Pirólisis	Aceite refinado
Adewole et al.,	2019	Nigeria	Extracción con solventes	Aceite refinado

En otro estudio Adeniyi et al., (2018) mencionan que el pirólisis de aceite lubricante usado (ALU) es una técnica interesante para convertir materiales de desecho en productos útiles. Se utilizó Aspen HYSYS 2006 para desarrollar un modelo computacional de estado estable para simular la pirólisis de ALU y analizar su desempeño. A una temperatura de 3 773.15 K, se obtuvo un rendimiento de líquido del 77.92 %, lo que demuestra que la pirólisis de aceite lubricante residual puede dar un buen rendimiento del producto líquido y es una técnica de reciclaje viable. En Nigeria, Adeyemi et al. (2017) fabricaron un reactor de lecho compacto (PBR) y evaluaron su desempeño para mejorar las propiedades físico-químicas de los ALU. El filtro usado fue un compuesto de bentonita, piedra caliza, diatomita, cuarzo y carbón vegetal en la misma proporción en masa. Los resultados generales establecieron la alta efectividad del PBR fabricado para el tratamiento de ALU.

c) América del sur

Cepeda et al. (2017) en Ecuador (Tabla 3), analizaron el aprovechamiento energético de los aceites usados y su contribución a la sustentabilidad ambiental mediante el co-procesamiento en hornos cementeros. Los resultados evidenciaron una mezcla óptima que cumple con propiedades físico-químicas ante la propuesta de co-procesamiento al horno rotatorio de clínker de UCEM; así mismo, los resultados obtenidos confirman una demanda total de aceite usado generado por la ciudad de

Riobamba, al 100 % de su requerimiento ante un co-procesamiento. Da-Silva et al. (2018), examinaron la posibilidad y la potencial aplicación de procesos fisicoquímicos (coagulación y floculación) (Tabla 3) y procesos oxidativos avanzados (Proceso Fenton) en el tratamiento y refinación de aceites lubricantes usados (ALU). Este proceso de tratamiento logró un porcentaje de remoción de 26.8 % y 99.6 % para los parámetros DQO (mol/m^3) y turbidez (kg/m^3), respectivamente, cuando se utilizó el Aquafloc 19 como coagulante. El tiempo de reacción en pH inicial fue 3.0 (H^+), la remoción de DQO en el ALU por el proceso Fenton, mostró una eficiencia de eliminación de 65.9 % en condiciones ideales.

Tabla 3. Investigaciones realizadas en Aceites Lubricantes Usados en América del Sur.

Autores	Año	País	Método(s) usado	Producto obtenido
Cepeda et al.,	2017	Ecuador	Co-procesamiento	Combustible alternativo
Da-Silva et al.,	2018	Brasil	Coagulación/Floculación	Aceite refinado

d) América del norte

En México, Hernández-Reyes et al. (2017) (Tabla 4) diseñaron un sistema termo solar de concentración de disco parabólico (CDP) para sustituir el uso de combustible fósil para el proceso de separación de contaminantes de los aceites lubricantes usados (ALU), el índice de acidez de un ALU presentó 148.39 mol, indicios de formación de ácidos orgánicos o descomposición a bajas concentraciones, en las pruebas de destilación, se obtuvo $7 \times 10^7 \text{ m}^3$ de agua a temperaturas de 373.16 K a 393.15 K y densidad de 890.6 kg/m^3 (a 288.15 K).

Tabla 4. Investigaciones realizadas en Aceites lubricantes usados en América del Norte.

Autores	Año	País	Método(s) usado	Producto obtenido
Hernández-Reyes et al.,	2017	México	Destilación	Aceite refinado

e) Continente Europeo

Simic et al. (2018) en Bosnia (Tabla 5), encontraron que en los procesos de refinado de aceite lubricante usado con ácido sulfúrico se generan residuos (gudron) que se deben eliminar de forma amigable con el ambiente. Los resultados obtenidos mostraron que los residuos generados durante el re-refinado de ALU se pueden incinerar. La planta diseñada demostró que el contenido de

componentes contaminantes en los gases de combustión en su salida es ambientalmente aceptable, excepto los óxidos de azufre que deben ser eliminados posteriormente mediante un tratamiento adecuado. Santos et al. (2019) en Hungría (Tabla 5) manejaron ALU a base de minerales de dos motores con el mismo tipo de aceite. De sus resultados se recuperó el aceite base del lubricante usando disolventes orgánicos polares 1-butanol, 2-propanol y metil-etil-cetona. Los mejores rendimientos fueron metil-etil-cetona, alrededor del 80 % y 1-butanol, que superó el 70 % de recuperación.

Tabla 5. Investigaciones realizadas en Aceites Lubricantes Usados en Europa.

Autores	Año	País	Método(s) usado	Producto obtenido
Simic et al.	2018	Bosnia	Ácido	Aceite refinado
Santos et al.	2019	Hungría	Extracción con solventes	Aceite refinado

2.1.2. Situación actual de la refinación de los aceites lubricantes usados (ALU) en México

Aunque se encontraron varios trabajos publicados a nivel mundial en los que se presentan los diferentes tratamientos de refinación de aceites lubricantes usados, la mayoría de ellos no reporta el uso que se les da a los aceites después de haber sido refinados; sin embargo, Hidayah et al. (2013) y Shafiq et al. (2006), consideraron la aplicación de aceite residual de motor en los materiales del pavimento para reducir el efecto de rigidez del pavimento de asfalto recuperado en el rendimiento de la mezcla de aglutinante y asfalto; aunque es importante reconocer que la reformulación del aceite de motor refinado puede producir niveles más bajos de elementos peligrosos en los aceites usados (Pawlak et al., 2010).

Por otro lado, se plantea la necesidad de implementar los procesos de reciclaje y conversión que no solo son rentables, sino que también pueden ayudar a reducir el riesgo ambiental a un gran nivel, utilizando nuevas técnicas limpias, por ejemplo si se aditiva los aceites lubricantes refinados se podrían utilizar éstos como materia prima para la generación de productos bituminosos económicamente valiosos (Unnisa y Hassanpour, 2017); también, se ha demostrado con éxito que la combinación de técnicas de tratamiento, las cuáles podrían ser la extracción con solventes y la filtración con arcilla o carbón activado, se pudiera eliminar la mayor parte de los contaminantes en el aceite lubricante usado, esto sería un paso importante para evitar la contaminación, como es anotado por investigadores como Boadu et al. (2019).

En México (Tabla 6), se ha realizado poca investigación sobre los métodos de refinación mencionados renglones arriba. Por lo tanto, la regeneración, recuperación o reciclaje de los ALU se ha convertido en una importante industria de procesos, adoptando diversas técnicas para la purificación de aceites.

De 1988 a la fecha, en México se ha dado mayor importancia a los residuos peligrosos que se generan en el sector automotriz, especialmente a los ALU. Esto a raíz de la implementación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente (LGEEPA); pero más aún cuando se estableció en 2003 la Ley General para Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPEGIR). De 2003 a la fecha, los ALU se empezaron a almacenar, valorizar y reutilizar en la industria, es ahí donde se empieza a conocer los términos de reciclado y Co-procesamiento.

Existen aproximadamente 57 empresas que se dedican a la refinación de ALU en México (Tabla 6). El mayor número de estas empresas se distribuyen en 18 de los 32 estados que conforman la República Mexicana, localizándose el mayor número de empresas en el Centro y Norte, y solo 10 empresas de las 57, se encuentran ubicadas en el Sureste. La mayor parte de estas empresas si no es que todas, implementan tecnologías de refinación utilizando reactores sometiendo a altas temperaturas a los ALU, buscando con esto, la disminución del % de agua, sólidos y viscosidad, obteniendo una base mineral de aceite que pueda ser utilizada como materia prima para producir combustibles alternos y una pequeña parte del aceite refinado se emplea como aditivos y volverlos a usar en vehículos de modelos antiguos. Solo 2 empresas, una de ellas se encuentra en el estado de Querétaro y la otra en Nuevo León, están refinando aceites lubricantes usados mediante la destilación, produciendo diésel marino.

Lo que se puede deducir de lo anterior, es que la mayor parte de los ALU que se generan en los talleres y agencias automotrices de la República Mexicana, están siendo aprovechados y refinados por todas estas empresas, aportando una importante derrama económica en el sector industrial y por ende al país. Otras empresas se están beneficiando con esta materia prima (aceite refinado) encontrándole un uso; disminuyendo el deterioro del medio ambiente, principalmente en la atmosfera. La mayor parte de los combustibles alternos que se producen a partir de la refinación de los ALU, son utilizados en empresas que se dedican a la fabricación de asfaltos para caminos, otra parte es utilizada en la fabricación de emulsión para asfaltos y una pequeña parte se utiliza en empresas que producen alimento, celulosas, fabricación de tabiques, entre otras.

En esta revisión de técnicas de refinación de ALU, se plantea un nuevo tratamiento químico con ácido sulfúrico al 98 % (H_2SO_4) y ácido Nonil fenol etoxilado ($C_{15}H_{24}O$) a diferentes niveles de concentración (mol/m^3) para la refinación de ALU. Los resultados del uso de este nuevo tratamiento, permitirán utilizar al aceite lubricante refinado para un nuevo uso, el cual podría ser en la fabricación

de los fluidos de perforación. Con este nuevo uso se busca disminuir por un lado el consumo de grandes cantidades de diésel con costos muy altos, beneficiando a la industria petrolera y Petróleos Mexicanos (PEMEX), y por otro lado disminuir el impacto que se ocasiona cuando el aceite refinado es utilizado como combustible alterno, lo que aumenta las emisiones de contaminantes a la atmósfera trayendo como consecuencia una degradación del medio ambiente.

Tabla 6. Número de empresas por entidad federativa dedicadas a la refinación de aceites lubricantes usados en México.

Entidad Federativa	Número de Empresas refinadoras	Método de refinación	Posible uso del aceite refinado
Estado de México	7	Reactor	Combustible alterno
Jalisco	5	Reactor	Combustible alterno
Sinaloa	2	Reactor	Combustible alterno
Yucatán	2	Reactor	Combustible alterno
Baja California	5	Reactor	Combustible alterno
Nuevo León	10	Reactor	Combustible alterno
Sonora	1	Reactor	Combustible alterno
Zacatecas	1	Reactor	Combustible alterno
Estado de Hidalgo	3	Reactor	Combustible alterno
Tabasco	3	Reactor	Combustible alterno
Coahuila	3	Reactor	Combustible alterno
Ciudad de México	3	Reactor	Combustible alterno
Puebla	1	Reactor	Combustible alterno
Veracruz	4	Reactor	Combustible alterno
Oaxaca	1	Reactor	Combustible alterno
Querétaro	1	Reactor	Combustible alterno
San Luis Potosí	4	Reactor	Combustible alterno
Chihuahua	1	Reactor	Combustible alterno

Fuente: modificado a partir de SEMARNAT, 2019.

2.1.3. Referencias

- Abu-Ellella, R., Ossman, M. E., Farouq, R., and Abd-Elfatah, M. (2015). Used motor oil treatment: Turning waste oil into valuable products. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*. 7: 57-67.
- Adeyemi, A. F., Adebisi, F. M., and Koya, O. A. (2017). Evaluation of physico-chemical properties of re-refined lubricating oils obtained from fabricated packed bed reactor. *Petroleum Science and Technology*. 35(16): 1712-1723.
- Adeniyi, A. G., Adewoye, L. T., and Ighalo, J. O. (2018). Computer Aided Simulation of the Pyrolysis of Waste Lubricating Oil Using Aspen Hysys. *Environmental Research, Engineering and Management*. 74(2): 52-57.
- Adewole, B. Z., Olojede, J. O., Owolabi, H. A., and Obisesan, O. R. (2019). Characterization and Suitability of Reclaimed Automotive Lubricating Oils Reprocessed by Solvent Extraction Technology. *Recycling*. 4(31): 1-11.
- Araromi, D. O., Aremu, M. O., and Gbolahan, O. O. (2016). Application of Solvent Extraction Process for Revivification of Used Lubricating Engine Oil. *American Chemical Science Journal*. 10(4): 1-7.
- Baladincz, J., Szabó, L., Nagy, G., and Hancsók, J. (2008). Possibilities for processing for used lubricating oils. *MOL Scientific Magazine*. 3: 81-86.
- Bamiro, O. A. and Osibanjo, O. (2013). Pilot study of used oils in Nigeria. *International Journal of Mathematics and Computer Sciences*. 15: 100-165.
- Beiring, E. A. (1993). Used Oil in the United States: Environmental Impact, Regulation, and Management. *Buffalo Law Review*. 41: 157-204.
- Boadu, K. O., Joel, O. F., Essumang, D. K., and Evbuomwan, B. O. (2019). A Review of Methods for Removal of Contaminants in Used Lubricating Oil. *Chemical Science International Journal*. 26(4): 1-11.
- Boughton, B. and Horvath, A. (2004). Environmental Assessment of Used Oil Management Methods. *Environmental Science & Technology*. 38(2): 353-358.
- Bridjanian, H. and Sattarin, M. (2006). Modern Recovery Methods in used Oil Re-refining. *Petroleum & Coal*. 48(1): 40-43.
- Cepeda, C., Chuquin, C., Bastidas, F., Chuquin, D., Chuquin, N. y Andrade, F. (2017). El aprovechamiento energético de aceites usados y su contribución a la economía circular mediante el procesamiento en hornos cementeros. *Revista DELOS*. 10(30): 2-31.

- Daham, G. R., AbdulJabbar, A. A., Hamadi, A. S., and Mohammed, A. A. (2017). Re-refining of used lubricant oil by solvent extraction using central composite design method. *Korean Journal Chemical Engineering*. 34(9): 2435-2444.
- Danane, F., Ahmia, A., Bakiri, A., and Lalaoui, N. (2014). Experimental regeneration process of used motor oils. *Revue des Energies Renouvelables*. 17(2): 345-351.
- Da-Silva, L. P., Taffarel, S. R., Da-Silveira, F. R., Campos-de-Sá, F. T., Silva, O. L. F. (2018). Treatment of effluent from re-refined lubricating oils by combined processes of coagulation, flocculation, and Fenton process. *Environ Qual Manage*. 27: 135-141.
- Diphare, M. J., Muzenda, E., Pilusa, T. J., and Mollagee, M. (2013). A Comparison of Waste Lubricating Oil Treatment Techniques. *2nd International Conference on Environment, Agriculture and Food Sciences*. 106-109 Pp. [En línea]. Disponible en: <https://ujcontent.uj.ac.za/vital/access/services/Download/uj:4967/CONTENT1?view=true>. Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2020.
- Durrani, H. A., Panhwar, M. I., and Kazi, R. A. (2011). Re-Refining of Waste Lubricating Oil by Solvent Extraction. *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*. 30(2): 237-246.
- Epelle, E. I., Otaru, A. J., Zubair, Y. O., and Awele, O. J. (2017). Improving the Viscosity Index of Used Lubricating Oil by Solvent Extraction. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 4(12): 1581-1585.
- Hamawand, I., Yusaf, T., and Rafat, S. (2013). Recycling of Waste Engine Oils Using a New Washing Agent. *Energies*. 6: 1023-1049.
- Hani, F. B. and Al-Wedyan, H. (2011). Regeneration of base-oil from waste-oil under different conditions and variables. *African Journal of Biotechnology*. 10(7): 1150-1153.
- Hassanain, E. M., Yacout, D. M. M., Metwally, M. A., and Hassouna, M. S. (2016). Life cycle assessment of waste strategies for used lubricating oil. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 22: 1232-1240.
- Hernández-Reyes, I., Lugo-Chávez, D., Abatal, M., Díaz-Méndez, S. E., Anguebes-Franseschi, F., Bassam, A. y Escalante-Soberanis, M. A. (2017). Modelación térmica de un colector solar de disco parabólico mediante elementos finitos para la extracción de agua en aceites lubricantes usados. *Ingeniería Revista Académica*. 21(3): 27-43.
- Hidayah, N., Rosli, M., Norhidayah, M., and Ezree, M. (2013). A short review of waste oil application in pavement materials. *GEOCON (International Conference on Geotechnical and transportation*

- Engineering and Construction and Building Engineering*. 11 Pp. [En línea]. Disponible en: <http://eprints.uthm.edu.my/id/eprint/4566/>. Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2020.
- Hourieh, Y. (2020). Fuel Obtained from Used Lubricating Motor-Oils by Utilizing Mild Catalytic Hydro-Cracking Process. *Chemistry Research Journal*. 5(3):155-164.
- Hussein, H. Q. and Abdulkarim, A. L. (2017). A Study of Parameters Affecting the Solvent Extraction-Flocculation Process of Used Lubricating Oil. *Journal of Engineering*. 23(6): 63-73.
- Jafari, A. J. and Hassanpour, M. (2015). Analysis and comparison of used lubricants, regenerative technologies in the world. *Resources, Conservation and Recycling*. 103: 179-191.
- Joseph, E., Pai, G., Modak, A., Awatramani, Y., and Pawar, P. (2016). Design of a Batch process for Re-refining of used Lube oil using Composite Solvent Technique. *International Journal of Latest Engineering Research and Applications*. 1(5): 49-52.
- Kanokkantapong, V., Kiatkittipong, W., Panyapinyopol, B., Wongsuchoto, P., and Pavasant, P. (2009). Used lubricating oil management options based on life cycle thinking. *Resources, Conservation and Recycling*. 53: 294-299.
- Katiyar, V. and Husain, S. (2010a). Environmental impacts of used oil. *Material Science Research India*. 1: 245-248.
- Katiyar, V. and Husain, S. (2010b). Recycling of used lubricating oil using 1-butanol. *International Journal Chemistry Science*. 8(3): 1999-2012.
- Kim, S. S. and Kim, S. H. (2000). Pyrolysis kinetics of waste automobile lubricating oil. *Fuel*. 79: 1943-1949.
- Kwakyee-Awuah, B., Kwakyee, R., Sefa-Ntiri, B., Nkrumah, I., Von-Kiti, E., and Craig, W. (2018). Comparison of the Recycling Efficiency of Metakaolin and Laboratory-Synthesized Zeolite Types LTA and LSX on Used Lubricant Engine Oil. *Applied Physics Research*. 10(4): 11-23.
- Lengyel, J. and Cvengroš, J. (2009). Non-lubricant Related Compounds in Used Mineral Oils. *Petroleum and Coal*. 51(4): 237-243.
- Manzanarez, J. L. A. y Ibarra-Ceceña, M. G. (2012). Diagnóstico del uso y manejo de los residuos de aceite automotriz en el municipio del fuerte, Sinaloa. *Ra Ximhai*. 8(2): 129-137.
- Mehrkes, A., Tavakoli, T., and Hatamipour, M. S. (2015). Effect of Operating Conditions of the Extraction Process on the Physical Properties of Lubricating Oil. *Journal of Applied Solution Chemistry and Modeling*. 4: 1-6.
- Mensah-Brown, H. (2013). Optimization of the production of lubricating oil from re-refined used lubricating oil using response surface methodology. *ARP Journal of Engineering and Applied*

Sciences. 8(9): 749-756.

- Mensah-Brown, H. (2015). Re-refining and recycling of used lubricating oil: an option for foreign exchange and natural resource conservation in Ghana. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 10(2): 797-801.
- Muharemi, S. (2012). Experiences in the last three years of waste lubricating oil collection system. *Gospodarenje otpadnim mazivim uljima*. 51(3): 227-238.
- Qayoom, A., Talha, M., Kamal, A., Siddiqui, M. N., and Viqar, A. R. (2018). Indigenous kaolinite ore as cost effective adsorbent for re-refining of used lubricating oil. *Revue des Energies Renouvelables*. 21(3): 473-485.
- Oladimeji, T. E., Sonibare, J. A., Omoleye, J. A., Emeteri, M. E., and Elehinfafe, F. B. (2018). A Review on Treatment Methods of Used Lubricating Oil. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. 9(12): 506-514.
- Oluwapelumi, O. O. and Omotayo, O. O. (2012). Modeling Used Engine Oil Impact on the Compaction and Strength Characteristics of a Lateritic Soil. *EJGE*. 17: 3491-3501.
- Pawlak, Z., Rauckyte, T., and Oloyede, A. (2008). Oil, grease and used petroleum oil management and environmental economic issues. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 26: 11-17.
- Pawlak, Z., Urbaniak, W., Kaldonski, T., and Styp-Rekowski, M. (2010). Energy conservation through recycling of used oil. *Ecological Engineering*. 36: 1761-1764.
- Rac, A. and Vencl, A. (2012). Ecological and Technical Aspects of the Waste Oils Influence on environment. *The 3rd International Conference on Diagnosis and Prediction in Mechanical Engineering Systems*. 1-7 Pp. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Aleksandar_Vencl/publication/269690889_Ecological_and_technical_aspects_of_the_waste_oils_influence_on_environment/links/5491b30b0cf269b048616a4c.pdf. Fecha de consulta: 23 de agosto de 2020.
- Rahman, M. M., Siddiquee, T. A., Samdani, S., and Kabir, K. B. (2008). Effect of operating variables on regeneration of base-oil from waste oil by conventional acid-clay method. *Chemical Engineering Research Bulletin*. 12: 24-27.
- Santos, J. C. O., Almeida, R. A., Carvalho, M. W. N. C., Lima, A. E. A., and Souza, A. G. (2019). Recycling of lubricating oils used in gasoline/alcohol engines. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 137: 1463-1470.
- Simic, S. T., Kovac, P., Sovilj-Nikic, S., Kandeve, M., Kalitchin, Z. H., Jesic, D., and Golubovic, D.

- (2018). Research About Possibility for Incineration in Fluidised Bed of Waste Materials Produced by Processing of Used Lubricating Oils. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 19(1): 272-280
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de la república. México (2019). Empresas autorizadas para el manejo de residuos peligrosos. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/empresas-autorizadas-para-el-manejo-de-residuos-peligrosos>. Fecha de consulta: 22 de agosto de 2020.
- Shafiq, N., Nuruddin, M. F., and Kamaruddin, I. (2006). Effectiveness of used engine oil on improvement of properties of fresh and hardened concrete. *Proceedings of the 6th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference*. 159 -166 Pp. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/11777178.pdf>. Fecha de consulta: 13 agosto de 2020.
- Vural, U. S. (2020). Waste mineral oils re-refining with physicochemical methods. *Turkish Journal of Engineering (TUJE)*. 4(2): 62-69.
- Unnisa, S. A. and Hassanpour, M. (2017). Development circumstances of four recycling industries (used motor oil, acidic sludge, plastic wastes and blown bitumen) in the world. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 72: 605-624.
- Yang, C., Yang, Z., Zhang, G., Hollebone, B., Landriault, M., Wang, Z., Lambert, P., and Brown, C. E. (2016). Characterization and differentiation of chemical fingerprints of virgin and used lubricating oils for identification of contamination or adulteration sources. *Fuel*. 163: 271-281.
- Yash, P. M. (2015). Re-refining of used lubricating oil. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 6(3): 329- 332.
- Yee, F. C., Yunus, R. M., and Sin, T. S. (2002). Modeling and Simulation of Used Lubricant Oil Re-refining Process. *2nd World Engineering Congress Sarawak, Malaysia*. 1-6 Pp.
- Zitte, L. F., Awi-Waadu, G. D. B., and Okorodike, C. G. (2016). Used-Oil Generation and Its Disposal along East-West Road, Port Harcourt Nigeria. *International Journal of Waste Resources*. 6: 2-6.

CAPITULO 3

3.1. OBJETIVOS

3.1.1. Objetivo General

3.1.1.1. Evaluar los procesos de refinación de los aceites lubricantes usados generados en Tabasco, para incorporarlos en fluidos de perforación.

3.1.2. Objetivos particulares

3.1.2.1. Determinar el manejo de los aceites lubricantes usados en 10 municipios de Tabasco, México

3.1.2.2. Evaluar los procesos de refinación con diferentes cocentraciones de H_2SO_4 y $C_{15}H_{24}O$ en aceites lubricantes usados.

3.1.2.3. Optimizar la mezcla de aceite lubricante usado refinado y el diésel para incorporarlo en fluidos de perforación.

CAPITULO 4

Handling of Used Lubricating Oil in Tabasco, Mexico

Manejo de Aceites Lubricantes Usados en Tabasco, México

José Abisenas Alvarez-Rivera ^{a*}, Guillermo Castañón-Nájera ^a, Juan Manuel Urrieta-Saltijeral ^b, José Ramón Láinez-Canepa ^a, José Roberto Hernández-Barajas ^a, Liliana Pampillón-González ^a & Carlos Mario Morales-Bautista ^c

^aAcademic Division of Biological Sciences. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (Juárez Autonomous University of Tabasco, México). abisenas@gmail.com, guillermo_corazon_valiente@hotmail.com, Josra_2001@yahoo.com.mx, Roberto.hernandez@ujat.mx, lilianapg@hotmail.com

^bInstituto Tecnológico Nacional de México (National Technological Institute of Mexico) Tabasco, México. urieta@ivillahermosa.edu.mx

^cAcademic Division of Biological Sciences. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (Juárez Autonomous University of Tabasco, México). carlos.morales@ujat.mx

*Corresponding author: abisenas@gmail.com

Abstract

The improper handling of used lubricating oil (ULO) in Tabasco, Mexico, and worldwide is a serious problem posing a high risk of soil and water pollution. Therefore, this study evaluated the handling of ULO in 10 municipalities in the state of Tabasco. Collection sites were chosen by simple random sampling. The ULO collected was assessed for solids, water, oil and density. The results show that small generators have the greatest potential to generate ULO in Tabasco. Huimanguillo, Comalcalco and Cardenas were the municipalities with the highest ULO generation. The ULO with the highest quality for its low water and solids content was collected in Jalpa de Méndez, Comalcalco and Car Dealerships. 1,287 automotive repair shops were tested in the 10 municipalities that were included.

Keywords: collection; collection center; refining; comprehensive management.

Resumen

El mal manejo de los aceites lubricantes usados (ALU) en Tabasco, México, y en el mundo es un problema serio que genera un alto riesgo de contaminación de suelo y agua. Por lo anterior, en el presente estudio se evaluó el manejo que reciben los ALU en 10 municipios del estado de Tabasco. Los sitios de recolecta se eligieron mediante muestreo simple aleatorio. A los ALU colectados se les determinó el contenido de sólidos, agua, aceite y densidad. Por los resultados encontrados se concluye que el mayor potencial de generación de ALU en Tabasco se debe a los pequeños generadores. Los municipios con mayor generación de ALU fueron Huimanguillo, Comalcalco y Cárdenas. El ALU de mejor calidad por el bajo contenido de agua y sólidos, se colectó en Jalpa de Méndez, Comalcalco y Agencias Automotrices. Se cuantificó un total de 1,287 talleres automotrices en los 10 municipios evaluados.

Palabras clave: colección; centro de acopio; refinación; manejo integral.

4.1. Introduction

The handling of used lubricating oil (ULO) consists of its collection, transportation and final disposal [3]. There are three types of companies in charge of handling ULO in Mexico; according to [1], there are companies that collect and transport it, others that store it, and others that refine and co-process it. The latter include refined ULO in certain production chains in the state of Tabasco and a large part of Mexico [1].

ULO is hazardous waste, as it is toxic and flammable, and is produced in large quantities, mostly

in clandestine automotive repair shops [1]. These types of repair shops are not registered in the registry of hazardous waste generators of Mexico Ministry of the Environment and Natural Resources (SEMARNAT) [1]. Apparently there is a lack of registration of this type of repair shop in some parts of the world, where there is an attempt to identify gaps in environmental policies, as ULO contains hazardous heavy metals such as lead (Pb), mercury (Hg), and organic substances persistent in the environment, which according to Ahmed et al. [2], have a high potential to pollute water sources and soils. ULO should be collected and recycled to avoid

environmental pollution and preserve natural resources [3].

The purpose of this study was to evaluate the handling and physical characteristics of used lubricating oil (ULO) during a four-month period in 10 municipalities in the state of Tabasco.

4.2 Materials and methods

4.2.1 Census of generators of used lubricating oils (ULOs) in 10 municipalities of Tabasco

10 municipalities were selected based on their location in the four regions comprising the state of Tabasco: Centro, Nacajuca and Jalpa de Mendez (Centro region), Cardenas, Comalcalco, Cunduacan, Paraiso and Huimanguillo (Chontalpa region), Macuspana (Pantanos region), and Teapa (Sierra region). Another selection criterion was the higher population density found in these municipalities [4].

Visits were made to urban areas to identify the location of automotive repair shops generating used lubricating oil (ULO). Collection routes were then mapped and at the same time, personnel from each selected repair shop as well as collection, transportation and final disposal companies located in the aforementioned municipalities were surveyed. The purpose of the survey was to prepare a census of the existing repair shops and, based on this, to select five oil-generating automotive repair shops offering maintenance services in each municipality.

The selected automotive repair shops in each municipality were visited and the major oil activity in each of them was taken as a selection criterion (Table 1) and the ULO collected was measured and its physical properties were assessed. Mastrack software was used to track and locate the vehicles used to collect and transport the ULO. The database used in this work was created with the information obtained in the field (volume of collected ULO in liters).

Table 1. Number of repair shops generating used lubricating oils (ULO) in the 10 municipalities sampled in the state of Tabasco.

Region	Municipality	Generador Number	Generador		SRS
			I	F	
	Centro	931	60	991	5
Centro	Nacajuca	44	1	45	5
	Jalpa de Mendez	10	0	10	5

	Cardenas	73	9	82	5
	Comalcalco	38	2	40	5
Chontalpa	Cunduacan	43	0	43	5
	Paraiso	9	1	10	5
	Huimanguillo	11	0	11	5
Pantanos	Macuspana	23	9	32	5
	Sierra Teapa	21	2	23	5

I: Informal, Used Lubricating Oil generators that do not have an Environmental Registration Number

F: Formal, Used Lubricating Oil generators that have an Environmental

SRS: Selected repair shops

Source: Self made.

4.2.2 Assessment of the oil's physical properties

A sample of 1 L of ULO was taken from each selected repair shop and a small generator was considered to be a repair shop that produces 400 L to 10,000 L annually [1] from each of the 10 municipalities visited between January and April 2019. The water, solids and oil content of each oil sample was determined using the API RP 13B2 method [18], and its density was determined using the ASTM-D854 method [17].

The four measured variables (water content, solids, oil and density) on the four oil collection dates were analyzed with multivariate statistics of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis by the UPGMA method (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Averages), which standardizes the information of each variable to $\mu=0$ and $\sigma^2=1$, so that the measured variables are more proportional to the similarity estimate [6] of the Euclidean distance. Statistical analyses (Principal Components and Cluster) were performed with the SAS package [7].

4.3. Results

4.3.1 Repair shop census by study area

1,287 automotive repair shops (generators) were tested. The Central region has the largest number of ULO generators with 1,046 repair shops; of these, 985 (94.2%) are informal, as they are not registered with SEMARNAT, while the remaining 61 (5.8%) are formally registered [1]. The municipality of Centro, in the central region, has the largest number of ULO generators, with 991 repair shops. Moreover, the Chontalpa region has 186 generators, of which 174 (93.5%) are informal automotive repair shops, and only 12 of them (6.5%) are registered with SEMARNAT. In contrast, the municipality of

Macuspana, in the Pantanos region, has 32 ULO generators, 23 (71.9%) are informal repair shops and 9 (28.1%) are formal. The municipality of Teapa, in the Sierra region, has 23 repair shops, 21 (91.3%) are informal and only 2 (8.7%) are registered in [1] (Table 1).

4.3.2. Collection, transportation and storage of used lubricating oils in Tabasco

The ULO generated in the formal repair shops in Tabasco is collected and transported to collection centers authorized by SEMARNAT (Table 2). Nine companies that collect and transport ULO were identified in the municipalities studied; seven are located in the city of Villahermosa, which is part of the municipality of Centro, and the other two are located in the municipality of Nacajuca. In addition, seven of these companies are used as collection centers where all of the ULO generated in the state of Tabasco is stored.

Table 2. Companies that collect and transport used lubricating oil (ULO) in the 10 municipalities sampled in the state of Tabasco.

Company Number	Municipality	Type of waste	Authorization number
1	Centro	ULO	27-I-144D-2013
2	Centro	ULO	27-I-148D-2013
3	Nacajuca	ULO	27-I-156D-2014
4	Centro	ULO	27-I-158D-2014
5	Nacajuca	ULO	27-I-163D-2014
6	Centro	ULO	27-I-167D-2016
7	Centro	ULO	27-I-176D-2017
8	Centro	ULO	27-I-184D-2019
9	Centro	ULO	27-I-186D-2019

Source: Self made.

4.3.3 Final disposal of used lubricating oils in Tabasco

The used lubricating oils generated and collected in Tabasco are disposed of in two southeastern Mexican states: the state of Veracruz has four refineries and the state of Tabasco has three.

The collection results show that all ULO generated in the state of Tabasco is mainly used to produce alternative fuels; no other post-refining uses were reported, which opens up the possibility of including ULO in other activities within the industrial sector.

The main problem in the handling of ULO is attributable to the generators, since a large number of them are not regulated by [1], which can cause serious environmental damage (water and soil), given that they are not monitored by SEMARNAT and therefore are not required to comply with waste regulations.

The municipalities of Comalcalco, Jalpa de Mendez and Nacajuca generated the most used lubricating oil (ULO). The samples with the highest water content were collected in Comalcalco, Teapa, Paraiso and Centro. The municipalities with the highest percentage of oil were Comalcalco, Jalpa de Mendez and Nacajuca, ranging from 86.33% to 88.78%, while the car dealerships had 96% oil. The highest percentages of solids were in the municipalities of Centro, Paraiso, Huimanguillo, Cunduacan and Teapa, ranging from 15.73% to 20%. Car dealerships had the lowest values (1.19%). Meanwhile, the ULO collected from car dealerships showed the most favorable characteristics in terms of percentage of oil, low percentage of water and solids in the used oil generated. Regarding the density variable, the densest oil was collected in Teapa, Nacajuca and Huimanguillo; and the least dense oil was collected in Comalcalco, Paraiso and Centro, along with the oil from the car dealerships.

The Principal Component Analysis (PCA) performed on the ULO volume in the four collection stages accounted for 94.3% of the total variation (Table 3). PC1 accounted for 86.0% and PC2 the remaining 8.43%. The eigenvalues of each PC were 3.45 and 0.32.

Table 3. Eigenvalues, eigenvectors, and variance explained by each principal component (PC) in the four stages of ULO collection in automotive repair shops in 10 municipalities of Tabasco.

Collection Number	Eigen vectors	
	PC1	PC2
Y1	0.49*	-0.58*
Y2	0.47	0.80*
Y3	0.51*	-0.08
Y4	0.52*	-0.11
Eigenvalues	3.45*	0.32
Applied variance (%)	86.00	8.43
Applied variance (%)	86.00	8.43
Cumulative variance (%)	86.00	94.3

Significant values * [14].

Source: Self made.

The distribution of municipalities by principal component analysis (PCA) is shown in Fig. 1. Huimanguillo and Comalcalco are located in Quadrant I. Nacajuca, Jalpa and Paraiso are in Quadrant II, Cunduacan in Quadrant III, and Cardenas, Centro and Macuspana are grouped in Quadrant IV.

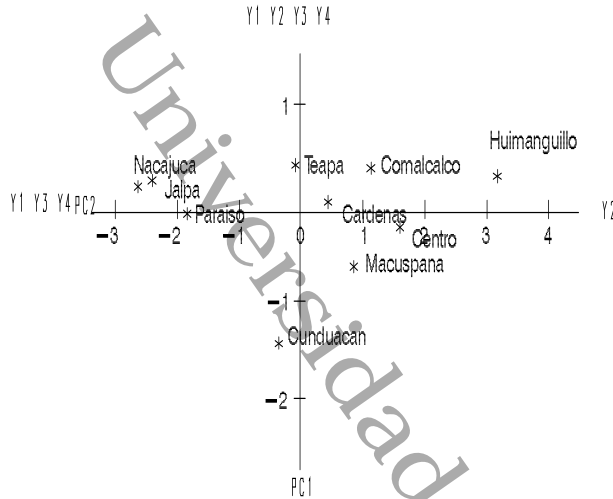


Figure 1. Distribution of 10 municipalities in the state of Tabasco where ULO was collected
Source: Self made.

Cluster analysis (Fig. 2) shows a group formed by Jalpa de Mendez, Nacajuca and Paraiso, which have the lowest average volume of used oil (ULO). These municipalities are at a distance of 0.32; while another group comprised of Cardenas, Macuspana, Centro, Comalcalco and Teapa, had a distance of 0.5; Huimanguillo and Cunduacan form a group at a distance of 1.0, which stands out for having the highest average volume of oil collected.

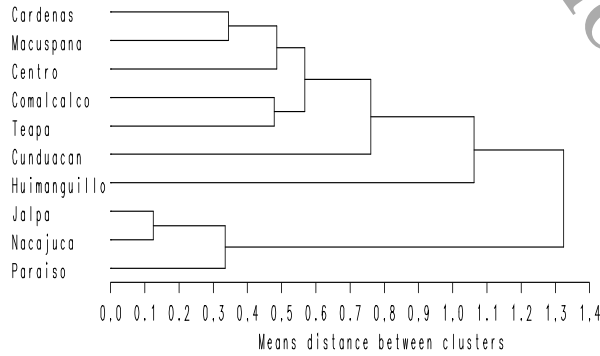


Figure 2. Dendrogram with the Euclidean distance of 10 municipalities in the state of Tabasco in which ULO was collected.
Source: Self made.

Table 4 shows the eigenvalues and eigenvectors of the principal component analysis (PCA) of the variables measured in the ULO. The first two components (PC1 and PC2) accounted for 85.96% of the total variation. PC1 accounted for 52.83% of the variation and an eigenvalue of 2.11, and was related to the variable percentage of oil and solids. PC2

accounted for 33.13% of the observed variation with an eigenvalue of 1.325.

Fig. 3, shows the distribution of the municipalities regarding the quality of the ULO sampled in each one. Quadrant I shows Huimanguillo with the highest averages in the variables measured in oil collected, followed by Comalcalco (Quadrant IV). Quadrant III shows Cunduacan with the lowest averages in the variables measured in the ULO collected.

Table 4. Eigenvalues, eigenvectors, and variance explained by each principal components (PC) in four variables measured in the oils collected in five repair shops in each of the 10 municipalities in Tabasco.

Collection Number	Eigen vectors	
	PC1	PC2
Eigenvalues	2.11*	1.33*
Explained variance (%)	0.53	0.33
Cumulative variance (%)	0.53	0.86
Variables	Eigenvectors	
Water	- 0.21	- 0.72*
Oil	0.67*	- 0.17
Solids	- 0.61*	0.39
Density	0.36	0.55*

Significant values * [14].
Source: Self made.

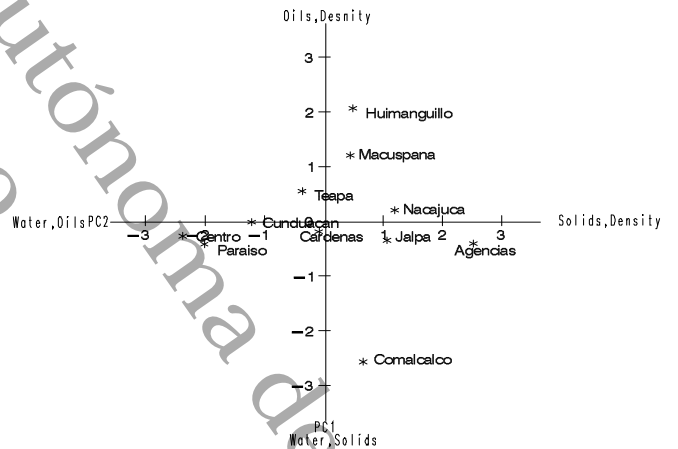


Figure 3. Distribution of the 10 municipalities in which four variables of the ULO collected in the state of Tabasco were evaluated.
Source: Self made.

In Fig. 4, 4 clusters (CL) were observed; the CLI consisted of the car dealerships and the municipality of Comalcalco at a distance of 1.1, CLII grouped Cardenas, Jalpa de Mendez, Nacajuca and Teapa at a distance of 0.5; CLIII was consisted of Huimanguillo and Macuspana at a distance of 0.9, and CLIV has the municipalities of Centro, Paraiso and Cunduacan at a distance of 0.4.

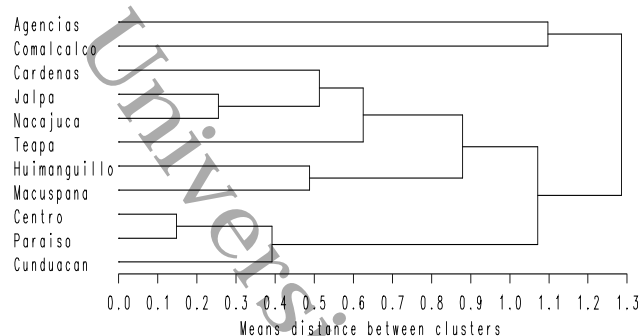


Figure 4. Dendrogram with the Euclidean distance of 10 municipalities in the state of Tabasco in which the quality of ULO was evaluated, based on four quantitative variables.

Source: Self made.

4.4 Discussion

Based on the number of formal and informal repair shops measured during the study, it was established that the majority (71.13%) of the ULO generators in the sampled municipalities were informal, and the remaining 28.87% were formal or registered with SEMARNAT [1]. It can therefore be established that most of the repair shops that generate used lubricating oils are providing informal services in these municipalities. As a result, environmental managers have work to do, and the regulatory authority lacks information on the status of these repair shops (registered or unregistered). The results obtained in this research show that most of the ULO was generated by the unregulated repair shops. Similar results were reported by [10], who indicated that in Ghana, used oil generators engage in improper disposal practices, causing excessive environmental pollution.

SEMARNAT and PROFEPA are the institutions in the state of Tabasco that regulate and oversee the collection and handling of hazardous waste, and support repair shops that generate ULO by authorizing the collection, transportation, storage, refining and/or co-processing performed by private companies. According to [12], current Brazilian legislation encourages companies producing and importing finished oils to keep the current level of collection of used and contaminated oils for convenience, the same happens according to [11] in Nigeria.

Regarding variations in used oil density, this study confirmed that there were no significant changes in the density of ULO collected in the municipalities sampled; it varied within a narrow range between 0.88

and 0.89 g cm^{-3} . These results match those reported by [15], who evaluated different samples, finding that the average ULO density was 0.89 g cm^{-3} ; however [9], found an average density of 0.96 g cm^{-3} in their study.

The moisture content of the ULO analyzed in this study showed values in the range of 1.92% to 7.66%, which is a high percentage if compared with that reported for this variable by [13] in the different ULO samples analyzed. According to their study [13], moisture percentages in the range of 0.0094 to 2.44%, settleable solids from 0.01 to 1.57% and density from 0.86 to 0.99 g cm^{-3} were detected. For solids, the values were lower and for density, they were higher than those found in this study.

The highest percentage of oil was found at the car dealerships, followed by the municipalities of Comalcalco, Jalpa de Mendez and Nacajuca. The Car dealerships also had the lowest percentage of solids, and the highest percentage of solids was found in the municipalities of Centro, Paraiso, Huimanguillo, Cunduacan and Teapa. This is likely to have been due to the fact that oil change service at dealerships is scheduled according to a quality system.

The results found in ULO generation show that only the municipalities of Huimanguillo, Cardenas and Comalcalco generated the greatest amount of oil during the sampling period. However, it cannot be ruled out that the municipality of Centro produces a larger inventory of used oil, since a total of 991 repair shops are registered, not including the Car Dealerships.

The results of the principal component and cluster analysis according to [14]; in the first component, three of the variables were significant (collection 1, collection 3 and collection 4) and in component two only collection 1 and 2 were significant. Regarding the eigenvalues, the first two were significant.

Since the eigenvalues of the two principal component analyses account for more than 80% of the variance as suggested by [5], it can be said that the variables measured in the ULO in this analysis were classified correctly.

The two cluster analyses performed in this study grouped the municipalities based on the similarity of the variables measured in each case (ULO volume collected and content of water, solids, oil, and density), which coincides with the statement by [8] that cluster analysis is used to classify objects or cases

into relatively standardized groups, and that the objects in each group (cluster) are expected to be similar among themselves and different from each other. The only work found in the literature reviewed was that of [16], which shows the results of the comparative analysis of certain lubricating oil properties used in five Wärtsilä internal combustion engines to generate electric power.

4.5 Conclusion

The collection, transport and final disposal of used lubricating oil (ULO) in the 10 municipalities sampled in Tabasco is properly performed by specialized companies, since they are authorized by the Mexican federal government (SEMARNAT). The principal components analysis showed that the municipalities with the highest ULO generation during the four months of collection were Huimanguillo, Comalcalco and Cardenas. The ULO with the highest quality due to its physiochemical properties was collected in the municipalities of Jalpa de Mendez, Comalcalco and the car dealerships. The largest amount of ULO in the state of Tabasco is produced by micro and small generators (automotive repair shops). Most of the ULO generated in Tabasco is used by the refining industry as a mineral base and then mixed with other solvents to produce alternative fuels with different characteristics. The results of this study indicate that the state of Tabasco generates a significant amount of ULO, which due to its characteristics is a viable source of alternative energy.

4.6 References

- [1] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de la república. México (SEMARNAT). [En línea]. <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/empresas-autorizadas-para-el-manejo-de-residuos-peligrosos>. 2019. Fecha de consulta: 22 de agosto de 2020.
 - [2] Ahmed, N.A., Kutiote, J.O.E., Tarlue, J.V.P., Umar, A.N., Nur, A.M., Mbuya, N.P. Assessment of used oil management at the filling stations within makindye division in Kampala. *African Journal of Environment and Natural Science Research*. 2(1), pp. 77-85, 2019.
 - [3] Manzanarez, J.L.A., Ibarra-Ceceña, M.G.. Diagnóstico del uso y manejo de los residuos de aceite automotriz en el municipio del fuerte, Sinaloa. *Ra Ximhai* 8(2), pp. 129-137, 2012. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46123333013>
 - [4] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Anuario Estadístico y Geográfico de Tabasco. 461p, 2016. ISBN 978-607-739-971-1.
 - [5] Trejos, Z.J. Análisis multivariado de datos. Escuela de Matemática. Universidad de Costa Rica. 2007, 217p. Revista en línea. <https://correo.emate.ucr.ac.cr/jtrejos/Libros/NotasAD.pdf>.
 - [6] Lévy, M. J. P., Varela, M.M.J. Análisis multivariable para las ciencias sociales. Pearson Educación, S. A., Madrid. 2003. 896 p.
 - [7] SAS Institute. SAS User's Guide: Statistics. Version 9.0. Statistic Analysis System Institute. Cary, North Carolina. USA. 2004, 1032p.
 - [8] Avendaño, P.B.L., Avendaño, P. G., Cruz, W., Cárdenas-Avendaño, A. Divers.: *Perspect. Psicol.* 10(1), pp. 13-27, 2014. ISSN: 1794-9998
 - [9] Abu-Elella, R., Ossman, M.E., Farouq, R., Abd-Elfatah, M. Used Motor Oil Treatment: Turning Waste Oil Into Valuable Products. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*. 7, pp. 57-67, 2015.
 - [10] Akpakpavi, M. Used Oil Storage and Disposal Practices in Automobile Repair Garages in Ghana. *International Journal of Science, Technology and Society*. 3(4), pp. 191-201, 2015. DOI: 10.11648/j.ijsts.20150304.23
 - [11] Bamiro, O.A., Osibanjo, O. PILOT STUDY OF USED OILS IN NIGERIA. *International Journal of Mathematics and Computer Sciences*. 15, pp. 100-165, 2013.
 - [12] Cappello, M.G., Pereira, F.P., Silva, G.M.F. Reverse logistics: feasibility analysis of the collection and restitution of lubricating oil used or contaminated. *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*. 05(17), pp. 62-67, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.5935/2447-0228.20190009>
 - [13] Fong, W.E., Quiñonez, B.E., Tejada, T.C. Physical-chemical characterization of spent engine oils for its recycling. *Prospectiva*. Vol. 15(2), pp. 135-144, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.15665/rp.v15i2.782>
 - [14] Kaiser, H.F. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement* 20, pp. 141-151, 1960.
 - [15] Kwasi, O.B., Ogbonna, J.F., Essumang, D.K., Benson, E.O. Physico-chemical and Concentration of Heavy Metals Analyses in Virgin and Used Lubricating Oils: A Spectroscopy Study. *American Journal of Applied Chemistry*. 7(6), pp. 75-179, 2019. doi: 10.11648/j.ajac.20190706.14
 - [16] Tavares, J.I.J., Rodríguez, R.I.L., Herrera, A.A.M., Herrera, F.F.B., França, A. de J., Cabral, L.J., Guedes, O. de A. Análisis estadístico comparativo de propiedades de aceites lubricantes usados en motores de combustión interna de una planta de generación eléctrica. VIII Congreso Internacional de Química, Ingeniería Química y Bioquímica. Sociedad Cubana de Química. [En línea]. 2015, [Fecha de consulta 18 de febrero de 2021] <https://www.researchgate.net/publication/282159827>
 - [17] ASTM D 854-92 (1995) Standard test method for specific gravity of soils. Annual book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, vol 04.08, pp 80-83
 - [18] API Recommended Practice 13B-2 (1998), Recommended Practice Standard Procedure for Field Testing oil-Based Drilling Fluid, Third Edition.
- J.A. Álvarez-Rivera**, has a degree in Ecology graduated in 1998, has a master's degree in Environmental Sciences obtaining his degree in 2008; He made a stay at the Faculty of Geochemistry of the Central University of Venezuela, in the city of Caracas, Venezuela. Currently, he is assigned to the Academic Division of Biological Sciences at the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Mexico. The M en C. Abisenas conducts research focused on soil contamination, remediation of soil contaminated by hydrocarbons, refining of used lubricating oils, and handling of hazardous waste from the automotive and industrial sectors. He has participated in international conferences that have been held in Havana, Cuba. He is currently pursuing a Doctorate in Sciences in Ecology and Management of Tropical Systems. ORCID: 0000-0002-0786-2610
- G. Castañón-Nájera**, He was born at Francisco I. Madero, Coahuila, Mexico. He received the Bs. in Agronomy Phytothechnics in 1977, the MS degree in Plant Breeding in 1981, and the PhD. degree in Genetics in 1991, the first of them from the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, Mexico. From 1978-1979, he worked Ciba-Geigy Company in Seed Production of Maize and Sorghum, since 1982-1999 worked at INIFAP, in 2000 at ITConkal, and 2001 for the Division Académica de Ciencias Biológicas, he is a Full Professor in the Biología Genómica, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, Mexico. His research interests include: Genetics and statistics in wilds pants and indigenous crops. ORCID: 0000-0001-8901-0421
- J.M. Urrieta-Saltijeral**, is originally from Mexico City and has a Ph.D. in Process Engineering, obtaining a degree from the D'auvergne University, Blaise Pascal-Clermont II in France in July 2000. During the period from October 1999 to July 2000 he was Assistant Professor at the University

Center for Engineering Sciences (CUST) in Clermont Ferrand, France. He is a full-time professor-researcher at the Technological Institute of Villahermosa. In 2004 he received the award for Scientific and Technological career from the government of the State of Tabasco. He is a professor with a desirable profile and leader of the Academic Body registered with PRODEPE, a specialist in the disciplines of Food Process Engineering, and quality systems in the food industry. He has experience in the management, coordination and development of research projects in cocoa and chocolate food systems. ORCID: 0000-0001-5559-6866

J.R. Laines-Canepa, is Professor-Researcher TC at the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). President of the Mexican Association of Engineering Science and Environmental Management (AMICA) 2020-2021, Mexican Chapter of the Inter-American Association of Sanitary and Environmental Engineering (AIDIS). President of the Board of Honor of AMICA 2022-2023. Evaluator of the Accreditation Council for the Teaching of Engineering A. C. (CACEJ). Recognition of Academic and Scientific Merit at the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. State Award for Ecology 2016 in the State of Tabasco. CONACYT Registry of Accredited Evaluators (RCEA). Member of the Honorable Governing Board of the UJAT. National and International Lecturer on Topics Related to Waste. ORCID: 0000-0002-6770-5596

J.R. Hernández-Barajas, is a Chemical Engineer, has a Doctorate in Chemical Engineering Sciences and a doctoral stay at The University of Western Ontario, in Canada. Dr. Hernández Barajas is a member of the National System of Researchers Level 1 and has the desirable PRODEP profile. Currently, he is attached to the Academic Division of Biological Sciences at the Autonomous University of Tabasco. Dr. Hernández conducts research focused on physical and mathematical models in water treatment and passive energy saving technologies, as well as the analysis of computational fluid dynamics of engineering systems of environmental interest. During his career he has been responsible for and collaborator in a dozen research projects, directing 16 undergraduate theses, 14 master's theses and 4 doctoral theses. His scientific production includes 29 indexed scientific articles and he currently participates in a national research network. ORCID: 0000-0002-3037-3188

L. Pampillón-González, is a Doctor of Science with a specialty in Scientific and Technological Development for Society from the Center for Research and Advanced Studies of the IPN (CINVESTAV-Zacateco); Master of Science with a specialty in Physical Chemistry (CINVESTAV-Mérida), and Environmental Engineer graduated from the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). He currently works as a full-time Research Professor in the Academic Division of Biological Sciences (DACBIOL-UJAT). Its lines of research are developed in the context of climate change and clean energy, through the study of the sustainable use of bioenergy resources, in particular waste, evaluating its potential, the impact on emissions and the development of energy technologies. He has several publications and international participation in prestigious conferences and magazines. He is part of the National System of Researchers (Level 1), PRODEP Profile, State System of Researchers, member of the Mexican Bioenergy Network (REMBIO), among others. ORCID: 0000-0003-0216-700X

C.M. Morales-Bautista, is a Doctor of Science in Ecology graduated from the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco where he received an award for the best thesis in 2015. He works in this same institution, trains human resources and is the leader of the academic body, he is also a leader environmental geochemical research line within the postgraduate course in applied chemistry (PNPC). He is currently developing research on sites contaminated with hydrocarbons whose products have allowed him to be a member of the National System of Researchers from 2016 to date, of which, today, he is Level 1 within the Physico-mathematics and Earth Sciences Area. ORCID: 0000-0002-4825-4558

CAPITULO 5

Refining Used Lubricant Oils with Different Concentration Levels of Sulfuric Acid and Nonylphenol

José Abisenas Alvarez-Rivera^{a*}, Guillermo Castañón-Nájera^a, Juan Manuel Urrieta-Saltijeral^b, José Ramón Laínes-Canepa^a, José Roberto Hernández-Barajas^a, Liliana Pampillón-González^a, Carlos Mario Morales-Bautista^c

^a*Academic Division of Biological Sciences. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (Juárez Autonomous University of Tabasco, México). Kilómetro 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, Entronque Bosques de Saloya, Villahermosa, Tabasco, México*

^b*Instituto Tecnológico Nacional de México (National Technological Institute of Mexico) Tabasco, México. Carretera Villahermosa-Frontera, Kilómetro 3.5 Colonia Indeco, Villahermosa, Centro, Tabasco, México.*

^c*Academic Division of Biological Sciences. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (Juárez Autonomous University of Tabasco, México). Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez kilómetro 0.5, Colonia Esmeralda. Villahermosa, Tabasco, México.*

*Corresponding author:

Jose Abisenas Alvarez Rivera

E-mail: abisenas@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the refining of used lubricating oils (ULO), and their possible use as drilling fluids. 17 treatments were evaluated and sulfuric acid and nonylphenol were used as reagents at concentrations of 0.12, 0.24 and 0.36 g/mL and temperatures of 40, 60, 80 and 100 °C. AT80 and AT100 ULOs treated at 80 and 100 °C without reagents, presented an average density of 0.84 g/cm³, a viscosity of 76.3 and 75.3 cP, an electrical stability of 1,731.3 and 1,394.6 V and a flash point of 183 and 190 °C as higher. The ST40C1 and ST40C2 treatments, added with reagents, showed similar results to AT80 and AT100 in the evaluated variables, but they are more expensive treatments. According to the results, it is concluded that the refined ULO can be a substitute for the oil used in the formulation of oil-based drilling fluids.

Keywords

Sulfuric acid, nonylphenol, Engine oils.

5.1. INTRODUCTION

The amount of used lubricating oils (ULO) has been growing exponentially worldwide, with the automotive sector as one of the leading ULO sources. ULOs are generated at gas stations, garages, mechanic workshops, car dealership showrooms, and other retail companies such as, truck fleets, transportation, and construction along with public transportation and airports [1].

Nowadays, researchers are focused on quantifying the adverse environmental effects of ULOs [2]. It is of particular concern that, the products of ULO burning generate environmental pollutants that over time, also pollute other places than those close to the ULO generation sites [3]. The combustion of ULOs release heavy metals, and harmful chemical compounds, such as, polynuclear aromatic hydrocarbons, benzene, solvents, polychlorinated biphenyl (PCB) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) [4].

In Mexico, the negative environmental effects of the ULOs are of great concern, which has led government agencies in charge of granting authorizations and monitoring their proper management, the SEMARNAT (Secretariat of Environment and Natural Resources) and the PROFEPA (Federal Agency of Environmental Protection) are in charge of establishing new tools and guidelines to determine the number of the ULO generators and the volume generated every year [5]. Knowing where the ULO sources are located is a key step towards adopting strategies or the ULOs management.

Globally, it is estimated that between 25 to 28 million tons of ULOs are produced annually, and a portion of these are released into the environment [6]. At this time, this has been one of the best examples of how technological innovation through the refining industry has

contributed to the well-being and development of society [7].

Refining of ULOs has been used as part of the integrated management of oily waste generated in the different sectors of the industry. In the last decades, these wastes were treated to take advantage of fuels and lubricants within the automotive and industrial sector [8, 9, 10, 11]. A relevant issue is that ULOs contain high percentages of different additive remnants, which improve viscosity indexes when treated by refining. This property means that they present greater advantages than other used oils, since the added value is greater [12].

ULO refining techniques consist of eliminating the impurities and the different pollutants that are mixed with automotive combustion, such as the high content of heavy metals (Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd, among others); therefore, refining restores most of the oils original properties [6].

In physicochemical terms, the viscosity, pour point, specific gravity and flash point are considered the most important parameters in the treatment processes and quality control of ULOs. For example, in pyrolysis and cracking reactions, it has been observed that oils with lower °API tend to present lower yields compared to lighter oils [13,14]. One of the novel processes that include these parameters is the refining technique, in addition to the fact that it presents greater advantages than other processes in which there is a low impact and environmental risk, great energy savings, and low health risks [15].

The management indicators in the world show a gigantic trend towards the recycling and reusing of ULOs. This has given rise to the stiff competition between recycling by regeneration to produce base oil and reprocessing for energy recovery [16]. There are different refining techniques, but the classic and usual acid-clay treatment has been replaced by the solvent extraction technique,

which after use it is recovered for recycling by distillation. This refining process has been used, for example, by the Alexandria Petroleum Company (A.P.C) in Egypt, using a KTI re-refining technology [17].

The use of refined ULOs has focused more on the production of alternative fuels [18], which are often used by companies that are dedicated to the production of cement [4], biodiesel [12], and mixtures of asphalt with properties and better yields [19]. They are used in the automotive sector as lower quality oil, using them as fillers in old model cars and heavy machinery, marine oil, gear oil, processing oil and industrial oil [20].

Recently, the increasing efficiency in machines also increases the demand for higher quality lubricants [21]. The petroleum well drilling uses many additives that provide satisfactory drilling fluid performance. However, these materials have been found to be hazardous, either to the workforce operating on the site or to the environment [22]. Thus, this sector offers opportunities for new uses of ULOs, since the oil industry has ventured into diesel substitutes, for instance, mixing vegetable oil and biodiesel produced pyrolytic oil, [23, 24, 25].

The motivation of this study stands on the technical and economic feasibility of refining used lubricating oils and, the opportunity to use them as an alternative to formulate oil-based drilling fluids. Only a few studies have been reported on this topic. A study conducted in Nigeria [23] used lubricating oils which were refined and used ULO to produce petroleum-based drilling fluids. The authors showed not very encouraging results for this activity as they seemed toxic to the environment. In Mexico, the amount of drilling fluids used in the oil industry is unknown. However, the oil industry, currently generates one of the highest shares of economic income

in the country, there are no studies on the use of refined ULOs in the preparation of oil-based drilling fluids. The objective of this research was to apply different ULO refining treatments with sulfuric acid and nonylphenol and temperatures at different levels and evaluate the properties of interest for oil-well drilling.

5.2. MATERIALS AND METHODS

The oils that were evaluated and used in this study were collected in different automotive service stores of Villahermosa, state of Tabasco, Mexico. From all sites, a composite sample was prepared in Intermediate Bulk Container tanks (IBC), because, generally the mechanic shops collect their used oils in tanks and these are collected by companies that in turn sell this to others that use them as fuel for industrial boilers or as asphalt additives. From 98% sulfuric acid and 10 M, nonylphenol was used as reagents. A randomized block experimental design (RBD) with a factorial arrangement was established. The factors studied were: mixture of sulfuric acid/nonylphenol (5:1 ratio) to four levels, temperature in four levels and three repetitions, as described in Table 1. Untreated ULO was used as a control.

The parameters to be evaluated were established based on the oil quality requirements for oil-based drilling cuttings. Such properties are: oil, water and solids content that are tested by using the API RP 13B2 method (% by mass), density (g/cm^3) by the method ASTM-D854, viscosity (cp), electrical stability (V), point of inflammation by the method ASTM D93-2000 ($^{\circ}\text{C}$), and only for the best treatment resulting from those evaluated in this study, SARA fractionation (Saturates, Aromatics, Resins and Asphaltenes) by the method ASTM D2007-2011, using equipment model Agilent Zorbax XDB-C18 Serio 1200. Table 1 shows the description of the treatments for the refining of the ULOs

evaluated. The proportions of the mixture of sulfuric acid (H_2SO_4) and nonylphenol ($C_{15}H_{24}O$) (reagent/ULO ratio) were: 0.12, 0.24 and 0.36 g/mL of ULOs. The temperatures evaluated were: 40, 60, 80 and 100 °C.

Table 1. Description of the treatments for the refining of the ULOs evaluated.

TR	C	ULOs (mL)	SA (g)	N (g)	R.R/ ULOs (g/mL)	T (°C)
Control		1000	0	0	0	25
AT40	C0	1000	0	0	0	40
AT60		1000	0	0	0	60
AT80		1000	0	0	0	80
AT100		1000	0	0	0	100
ST40C1	C1	1000	100	20	0.12	40
ST60C1		1000	100	20	0.12	60
ST80C1		1000	100	20	0.12	80
ST100C1		1000	100	20	0.12	100
ST40C2	C2	1000	200	40	0.24	40
ST60C2		1000	200	40	0.24	60
ST80C2		1000	200	40	0.24	80
ST100C2		1000	200	40	0.24	100
ST40C3	C3	1000	300	60	0.36	40
ST60C3		1000	300	60	0.36	60
ST80C3		1000	300	60	0.36	80
ST100C3		1000	300	60	0.36	100

TR= Treatment. C= Concentration. SA= Sulfuric Acid. N= Nonylphenol. RR= Relation Reagent. T= Temperature

A 1000 mL sample of the ULOs was placed in a stainless steel container with valves at the bottom that allowed the distillation residue to be extracted from each sample. The reagents were applied to each of the samples by first adding the (H_2SO_4) and mixing it for 30 min, then nonylphenol ($C_{15}H_{24}O$) was immediately applied, and mixed with a spatula for additional 30 min. Then the mixture was left to rest for a period of 48 h., then the residual was removed from below and finally, the sample was packaged with its respective label. This process was used for the three concentrations at the corresponding temperatures (Fig. 1). Each of the reagents was placed in 250 mL beakers and their mass was determined with a 400 g digital balance, with a precision of 0.01 g. The objective of this step was to determine the proportion of each reagent to be applied to each of the proposed treatments.



Fig. 1. ULO leachates, after the application of sulfuric acid and nonylphenol.

The temperatures to which the samples of used lubricating oils (ULOs) were subjected were: Temperature 1 of 40 °C, Temperature 2 of 60 °C, Temperature 3 of 80 °C and Temperature 4 of 100 °C, control of 25 °C. A time of 30 min was used after the sample

reached the indicated temperature. These temperatures were controlled with the knobs of the stove used and, the temperature measurement was made with a thermometer (Fig. 2).



Fig. 2. Stove with knobs to regulate the proposed temperatures with a 250 C mercury thermometer

5.2.1 Treatment with temperature and proportion of reagents

The samples with the different proportions (C1= 0.12, C2= 0.24 and C3= 0.36) of sulfuric acid 10 M nonylphenol (See table 1) were processed in the same way at the mentioned temperatures. To increase the temperature, an electric stove with Taurus temperature regulator knobs was used. This temperature was measured with a Taylor brand bimetallic thermometer.

5.3. RESULTS AND DISCUSSION

5.3.1. ULOs density

Fig. 3 presents the density results of the ULOs samples treated with the 16 treatments and the control (untreated) sample, equal letters indicate that there are no statistically significant differences among treatments. In the control sample, the density was 0.89 g/cm³ at 25 °C. It is observed in the ULOs treatments where only temperature was applied that the higher the temperature, the

lower the density, except in the AT80 and AT100 treatments in which a similar result (0.84 g/cm³) was obtained. As expected, the temperature directly influenced the density values. This behavior is related to the °API of the ULO.

In the treatments with concentration C1, the general trend is contrary to the one observed in the treatments with only temperature. That is, the density increased as the temperature increased, starting from 0.82 g/cm³ in the ST40C1 treatment up to 0.91 g/cm³ in the sample ST100C1. This represents an increase of 3.00 % (having a Coefficient of Variation (CV) of 2.29%, its interaction was significant) with respect to the density obtained in the control sample. The treatment with C2 concentration generated the lowest density, with a value of 0.82 g/cm³, for ST40C2 treatment, rising to 0.90 g/cm³ with the ST60C2 treatment. Starting at 60 °C, the density showed a decreasing trend reaching 0.88 g/cm³ in the ST80C2 sample and remained unchanged for the ST100C2 treatment (0.87 g/cm³).

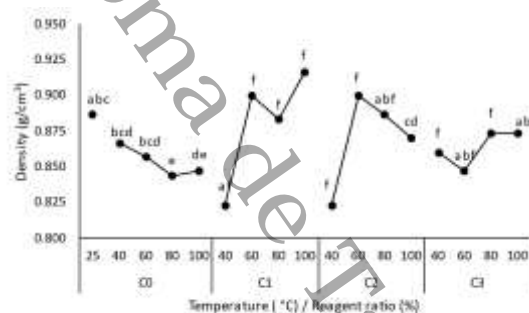


Fig. 3. Behavior of the density of the refined ULOs in each treatment. Equal letters indicate that there are no statistically significant differences.

Most of the treatments did not show significant differences with respect to the control ($P > 0.05$). The same letters in the figures indicate that there were no statistically

significant differences between each of the treatments evaluated. The ULOs that were only subjected to temperatures of 80 and 100 °C did present a significant difference with respect to the control ($P>0.05$). Similar studies obtained a density of 0.87 g/cm³ and from 0.87 to 0.91 g/cm³ [26, 27, 28] which are important results, since these values of density, are an indication that they treatment processes have removed contaminants from the ULOs. The previous results exceed those found in this study which was 0.84 g/cm³, but it is slightly above the value of commercial diesel which has a density of 0.83 g/cm³ [29] and is used to prepare oil-based drilling fluids. [14].

5.3.2. ULOs viscosity

The viscosity results from the ULO samples treated with the 16 treatments, and they are shown in Fig. 4. The control sample showed a value of 101 cP. All the results of the treatments evaluated in the C0 were below those presented in the control, in the order of 75.3 cP to 96 cP.

The viscosity in the treatments with the C1 concentration increased as the temperature increased after the treatment. Starting from an initial value of 73.3 cP, and reaching a maximum of 133.3 cP in the ST100C1 sample, which represents an increase of 59.4% compared to the value presented by the control sample. The treatments with C2 and C3 have a similar trend with respect to the increase of temperature, after being treated, except that they reach a maximum between 105 and 108 cP after 60 °C. Although the ST80C1 and ST100C1 treatments showed significant differences ($P<0.05$) compared to the control samples, their viscosity value was lower, suggesting that this property is favorable for the suggested use of ULO.

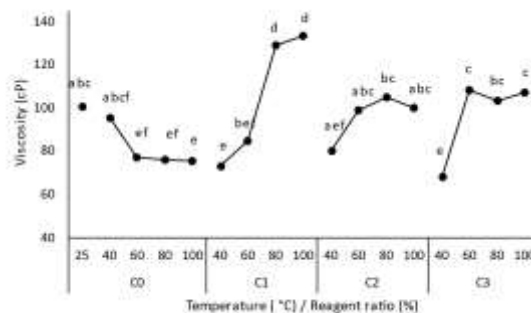


Fig. 4. Behavior of the viscosity of the refined oil in the different treatments.

According to the multiple range contrast, only the AT60, AT80, AT100, ST40C1 and ST40C3 treatments presented a statistically significant difference with respect to the control samples ($P>0.05$) with viscosity values lower than these. Having a Coefficient of Variation (CV) of 10.27%, its interaction was significant. These treatments showed the most favorable viscosity values in the ULOs refining.

Viscosity values lower than those of the control were found in treatments AT60, AT80, AT100, and also the most favorable for the use suggested in this study. Treatments AT80, AT100 and ST40C1 presented values from 75 cP to 96 cP, which were below the ones that were found by [20] with 118 cP. Also [30] reported higher values (153 cP to 219 cP) than ours. But the viscosity values found in our research exceed [27], the obtained values between 40.3 cP to 41.2 cP. The possible explanation is that they (27) used a filter medium and in our study it was not used.

5.3.3. ULOs Flash point

Fig. 5 shows the flash point results of the ULOs samples treated with the 16 treatments and the control sample. According to the ANOVA, there are significant differences for the flash

point ($P>0.05$). Having a Coefficient of Variation (CV) of 5.77%, obtaining a non-significant interaction.

The results of the flash point (the degree at which the oil ignites) in the control ULOs was 158.3 °C. The ULOs that were subjected to temperature alone showed an increase as the temperature increased (i.e 170 °C in AT40 to 190 °C in AT100). The maximum value reached in the AT100 treatment was 20% higher than the value obtained in the control. For the treatments with C1 there was a slight increase between ST40C1 and ST60C1 of 17°C in the flash point, at a higher treatment temperature the behavior was the opposite, decreasing 20 °C between ST60C1 and ST100C1. A similar behavior was obtained in the treatments with C2, although the drop in the flash point was greater in ST100C2, which resulted in a temperature of 140 °C, which represents a decrease of 37 °C with respect to the highest value reached by the ST60C2.

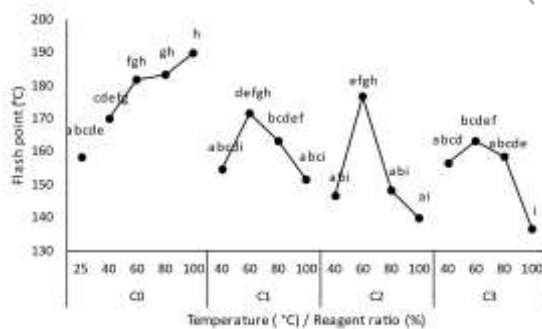


Fig. 5. Behavior of the Flash Point of the refined oil in the different treatments.

The concentration of reagents C3 did not show increase of the flash point either. The values varied between 163 °C with the treatment that generated the highest value

ST60C3 up to 137 °C in the treatment with the lowest flammability temperature ST100C3.

According to the multiple range contrast, only the AT60, AT80 and AT100 treatments presented statistically significant differences with respect to the flash point values of the control samples ($P>0.05$) and with values higher than 158.33 °C.

The AT60, AT80 and AT100 treatments presented values of flash point at 181.67 °C to 190 °C, which were above those obtained in the control sample. These results were below those obtained by [27], which obtained a flash point at 210 °C compared to its control that was at 185 °C. While [29] it was found at 225 °C below its control that was 230 °C; and [31] with 190.67 °C to 220.40 °C lower than the control that was 224.50 °C. This finding suggests that when the ULO is refined, a part of the hydrocarbon fractions that are present in new lubricating oils are burned resulting in an increase of the flash point. In a previous study [32] it is mentioned that the flash point of diesel is 72 °C and biodiesel at is 160 °C, although [29] it says that commercial diesel can also ignite at 58.5 °C.

5.3.4. Electrical stability

In Fig. 6 it can be seen that the electrical stability in the control sample had a value of 887.33 V, which was low compared to the data presented in this study in the refined ULOs, whose treatment consisted only of applying different temperatures, this result is favorable for the suggested use in this investigation. A considerable increase is observed from 80 °C with a maximum value of 1731 V. According to the ANOVA (data not showed) performed, there are statistically significant differences between the electrical stability results of the different treatments ($P<0.05$). Having a Coefficient of Variation (CV) of 26.70%, its interaction was significant.

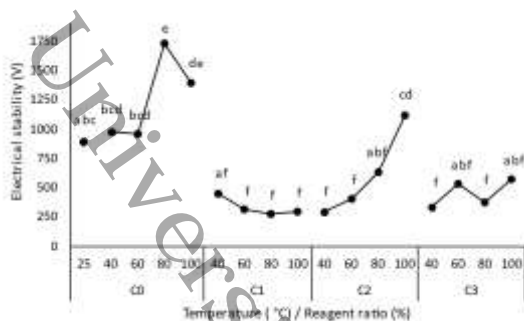


Fig. 6. Behavior of the electrical stability of the refined oil in the different treatments.

Only the ST100C2 treatment obtained an average above the control, although the difference with this, is that it is not statistically significant ($P > 0.05$). Only the AT80 and AT100 treatments showed statistically significant differences ($P < 0.05$) and higher values than the control samples.

In the electrical stability results, a considerable increase is observed from 80 °C with a maximum value of 1731 V just by applying the different temperatures. Only the ST100C2 treatment obtained a value slightly above the control. The best electrical stability was reflected in the treatment AT80 with 1731.33 V and AT100 with 1394.67 V, these values represent greater electrical stability than those reported by [13] a refined used lubricating oil with values of 480 V, which are well below those obtained in this study.

5.3.5. Saturated, Aromatic, Resins and Asphaltenes (SARA)

Fig. 7 shows the behaviour of saturates, aromatics, resins and asphaltenes in the refined oil in the different selected treatments. The amounts on the bars represent the percentage of each one of the fractions.

The objective of this analysis was only exploratory, due to the economic scope of the

investigation. The recovery percentage is similar in the three samples. They only vary in the range from 97.36 to 97.53, a difference that is less than 1% of the core recovery value.

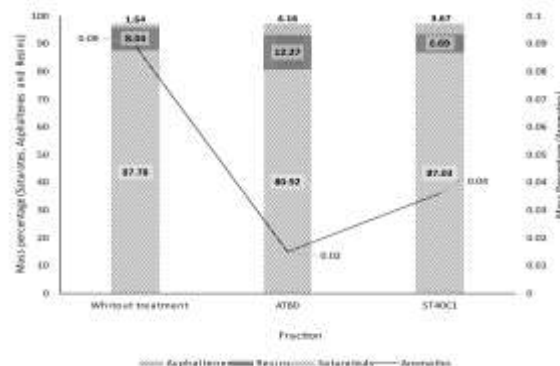


Fig. 7. Behavior of saturates, aromatics, resins and asphaltenes in the refined oil in the different selected treatments. The amounts on the bars represent the percentage of each one of the fractions.

The AT80 treatment presented a reduction of 7.8 % of saturates with respect to the content of the control. The ST40C1 sample had very similar proportions to the control, only a difference of 0.92% with respect to the saturates content, with a marginal increase in the asphaltenes. Considering the results of both treatments (AT80 and ST40C1), it can be seen that the decrease in saturates content corresponds to a proportional increase in asphaltenes.

Regarding the SARA components, in the AT80 and ST40C1 treatments they were found to be saturated in the order of 87.03 to 87.77%, aromatics from 0.03 to 0.08%, resins from 6.68 to 8.03% and asphaltenes from 1.63 to 3.66%, showing a decrease in the saturates content that corresponds to a proportional increase in asphaltenes. The aromatics were not representative in the evaluated treatments. In this study it was shown that the refined ULO contains higher percentages of saturates compared to those found by [33]

who evaluated two types of crude oil, finding saturates in a range of 51.36 to 58.42%, aromatics from 20.41 to 38.16%, resins of 7.15 to 20.83% and asphaltenes from 0.34 to 3.33%. Also [34], it was reported that a vegetable oil contains 2.74% saturates, 92.82% aromatics, 4.11% resins and 0.33% asphaltenes; found that an oil extract has 20.56% saturates, 72.82% aromatics, 6.37% resins, and 0.25% asphaltenes [33]. The previous results show that vegetable oils can present a higher % of saturates, aromatics, but lower % of resins and asphaltenes than the refined ULO found in this study.

5.3.6. Percentage of solids, oil and moisture

Fig. 8 shows the results of % solids, % moisture and % oil of the ULOs samples treated with the 16 treatments and the value of the control sample (untreated).

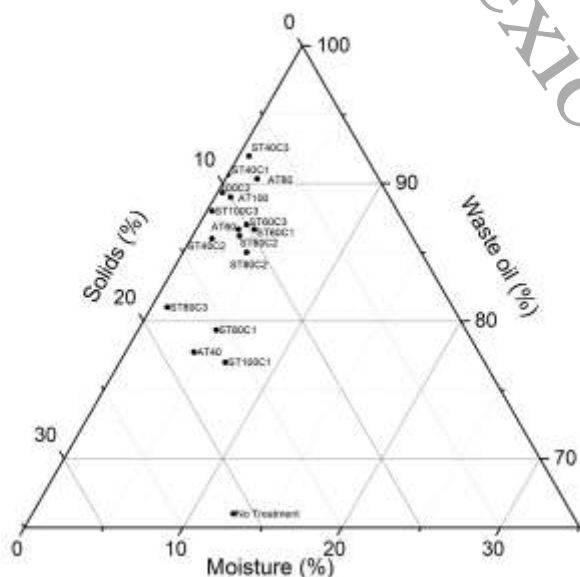


Fig. 8. Behavior of the % solids, % oil and % moisture of the refined oil in the different treatments.

The best treatments were ST40C1, ST40C3 and AT80 that gave solid content ranging between 7.33% and 9.33%. Regarding humidity, values

in the range of 0% to 2% were obtained; and finally, the amount of oil was in the order of 90.33% to 92%.

The refining of the ULOs with the different treatments used in this study, improved the evaluated variables (Density, Viscosity, Flash point, electrical stability, percentage of solids and percentage of water). This was observed in the treatments ST40C1, ST40C3 and AT80 in the order of 90.33% to 92% of recovered oil. The results of the variables evaluated are summarised in Tables 2 and 3. It should be noted that AT80 and AT100 treatments meet the most favorable values for most of the evaluated parameters.

Table 2. Summary of results obtained with the most efficient ULOs refining treatments.

Treatment	Density	Viscosity	% oil
Control	0.88 ± 0.01	101.0 ± 0.0	66.0 ± 2.0
AT60	0.85 ± 0.01	77.0 ± 0.0	86.6 ± 4.6
AT80	0.84 ± 0.01	76.3 ± 0.5	90.3 ± 3.5
AT100	0.84 ± 0.01	75.3 ± 0.5	89.0 ± 1.0
ST40C1	0.82 ± 0.04	73.3 ± 2.3	90.6 ± 2.3
ST40C3	0.86 ± 0.04	68.6 ± 17.6	92.0 ± 7.8

Table 3. Summary of results obtained with the most efficient ULO refining treatments in flash point and electrical stability.

Treatment	Flash Point	Eléctrical stability
Control	158 ± 10.40	887 ± 187.2
AT60	182 ± 10.41	964 ± 356.8
AT80	183 ± 20.82	1731 ± 176.6
AT100	190 ± 13.23	1395 ± 422.5
ST40C1	155 ± 22.91	458 ± 109.6
ST40C3	157 ± 7.64	333 ± 56.5

5.4. CONCLUSIONS

The temperature improved the properties of used lubricating oils (ULO). Although the addition of the reagents sulfuric acid

combined with nonylphenol, in most of the treatments the characteristics of the ULOs improved compared to the control, it was not higher than in the AT80 and AT100 treatments.

The positive effect of temperature treatments is reflected in the decrease in density and viscosity, the increase in the flash point and the electrical stability.

On the other hand, although thermal treatments offer better results, they can modify the composition of the fractions, this would possibly cause losing alkanes that may volatilize at low temperatures.

From a technical-economic approach, the best treatment that meets the requirements of shorter treatment time and lower cost of supplies is AT80.

According to the results obtained, refined ULOs can be considered an alternative in the formulation of oil-based drilling fluids, by applying different mixtures between ULOs and Diesel, reducing the economic and environmental costs as a result of the ability to re-use them.

5.5. REFERENCES

- [1] D. Boodlal, D. Alexander, S. Al-Zubaidy, M. Charles, *Downstream market analysis of used oils in Trinidad and Tobago to inform an appropriate waste management strategy*. International Journal Environment and Waste Management, vol. 26, no. 1, pp. 59-74, 2020, [doi: 10.1504/IJEW.2020.108060](https://doi.org/10.1504/IJEW.2020.108060)
- [2] M. Usman, M.K. Jamil, F. Riaz, H. Hussain, G. Hussain, M.H. Shah, M. Lee, *Refining and Reuse of Waste Lube Oil in SI Engines: A Novel Approach for a Sustainable Environment*. Energies, vol. 14, no. 2937, pp. 2-13, 2021, [doi: 10.3390/en14102937](https://doi.org/10.3390/en14102937)
- [3] K.O. Boadu, O.F. Joel, D.K. Essumang, B.O. Evbuomwan, *A Review of Methods for Removal of Contaminants in Used Lubricating Oil*. Chemical Science International Journal, vol. 26, no. 4, pp.1-11, 2019, [doi: 10.9734/CSJI/2019/v26i430101](https://doi.org/10.9734/CSJI/2019/v26i430101)
- [4] C. Sánchez-Alvarracín, J. Criollo-Bravo, D. Albuja-Arias, F. García-Ávila, M.R. Pelaez-Samaniego, *Characterization of Used Lubricant Oil in a Latin-American Medium-Size City and Analysis of Options for Its Regeneration*. Recycling, vol. 6, no.10, pp. 2-22, 2021, [doi: 10.3390/recycling6010010](https://doi.org/10.3390/recycling6010010)
- [5] SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de la República. México, available at: <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/empresas-autorizadas-para-el-manejo-de-residuos-peligrosos>, accessed: 22.8. 2021.
- [6] S. Thorat, J. Arekar, S. Dhokpande, *Re-refining of Used Lubricating Oil and To Determine Rheological Characteristics: A Literature Review*. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), vol. 08, no. 04, pp. 3567-3572, 2021.
- [7] R.A. Larraz, *Brief History of Oil Refining*. Substantia. An International Journal of the History of Chemistry, vol 5, no. 2, pp. 129-152, 2021, [doi: 10.36253/Substantia-1191](https://doi.org/10.36253/Substantia-1191)
- [8] B.Z. Adewole, J.O. Olojede, H.A. Owolabi, O.R. Obisesan, *Characterization and Suitability of Reclaimed Automotive Lubricating Oils Reprocessed by Solvent Extraction Technology*. Recycling, vol. 4, no. 31, pp. 1-11, 2019, [doi: 10.3390/recycling4030031](https://doi.org/10.3390/recycling4030031)

- [10.3390/recycling4030031](https://doi.org/10.3390/recycling4030031)
- [9] J.C.O. Santos, R.A. Almeida, M.W.N.C. Carvalho, A.E.A. Lima, A.G. Souza, *Recycling of lubricating oils used in gasoline/alcohol engines*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, vol. 137, no. 4, pp. 1-9, 2019, [doi: 10.1007/s10973-018-7976-2](https://doi.org/10.1007/s10973-018-7976-2)
- [10] M. Usman, N. Hayat, *Use of CNG and Hi-octane gasoline in SI engine: a comparative study of performance, emission, and lubrication oil deterioration*. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, pp. 1-15, 2019, [doi: 10.1080/15567036.2019.1683098](https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1683098)
- [11] E. M. Hassanain, D.M.M. Yacout, M.A. Metwally, M.S. Hassouna, *Life cycle assessment of waste strategies for used lubricating oil*. Int J Life Cycle Assess, vol. 22, no. 8, pp. 1232–1240, 2017, [doi: 10.1007/s11367-016-1255-x](https://doi.org/10.1007/s11367-016-1255-x)
- [12] M.S. El-Sawy, S.A. Hanafi, F. Ashour, T.M. Aboul-Fotouh, *Co-hydroprocessing and hydrocracking of alternative feed mixture (vacuum T gas oil/waste lubricating oil/waste cooking oil) with the aim of producing high quality fuels*. Fuel, vol. 269, pp. 1-9, 2020, [doi: 10.1016/j.fuel.2020.117437](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117437)
- [13] M.M. Manyuchi, T. Nengiwa, C. Mbohwa, E. Muzenda, M. Mpeteta, *Potential for Re-refining of Used Lubricating Oils for Re-use Using Zinc Dialkyl Dithiosulphate as an Additive*. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Pretoria / Johannesburg, South Africa, October 29 – November 1, 2018, IEOM Society International, pp. 1357-1364.
- [14] M. Ghashghaee, S. Shirvani, *Two-step thermal cracking of an extra-heavy fuel oil: experimental evaluation, characterization, and kinetics*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 57(22), 7421-7430, 2018, [doi: 10.1021/acs.iecr.8b00819](https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b00819)
- [15] S.M. Anisuzzaman, M.H. Jumaidi, N.N.M. Nasir, *Used lubricating oil recovery process and treatment methods: A review*. 32nd Symposium of Malaysian Chemical Engineers. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 15-16.7.2021, 1-13, [doi:10.1088/1757-899X/1195/1/012031](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1195/1/012031)
- [16] C.T. Pinheiro, M.J. Quina, L.M. Gando-Ferreira, *Management of waste lubricant oil in Europe: A circular economy approach*, Critical Reviews In Environmental Science And Technology, vol. 51, no. 18, pp. 2015-2050, 2021, [doi: 10.1080/10643389.2020.1771887](https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1771887)
- [17] H.M. Mohamed, A.A. Amer, M.A. Mohamed, *Study on the Amount of N-Methyl-2-Pyrrolidone Decreasing by Butanol as a Solvent in Re-refining of Used Lubricating Oils*. Engineering Research Journal, vol. 44, no. 2, pp. 245-250, 2021, [doi: 10.21608/erjm.2021.56237.1063](https://doi.org/10.21608/erjm.2021.56237.1063)
- [18] L. Dudak, S. Milisavljevic, M. Jocanovic, F. Kiss, D. Ševic, V. Karanovic, M. Orošnjak, *Life Cycle assessment of Different Waste Lubrication Oil Management Options in Serbia*. Applied Sciences, vol. 11, no. 14, pp. 2-20, 2021, 6652, [doi: 10.3390/app11146652](https://doi.org/10.3390/app11146652)
- [19] E. Deef-Allah, M. Abdelrahman, M. Fitch, M. Ragab, M. Bose, X. He, *Balancing the Performance and Environmental Concerns of Used Motor Oil as Rejuvenator in Asphalt Mixes*. Recycling,

- vol. 4, no. 11, pp. 2-27, 2019, [doi: 10.3390/recycling4010011](https://doi.org/10.3390/recycling4010011)
- [20] U.S. Vural, *Waste Mineral Oils Re-refining With Physicochemical Methods*. Turkish Journal of Engineering (TUJE), vol. 4, no. 2, pp. 62-69, 2019, [doi: 10.31127/tuje.616960](https://doi.org/10.31127/tuje.616960)
- [21] P. Nowak, K. Kucharska, M. Kaminski, *Ecological and Health Effects of Lubricant Oils Emitted into the Environment*. International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 16, no. 16, pp. 3-13, 2019, [doi: 10.3390/ijerph16163002](https://doi.org/10.3390/ijerph16163002)
- [22] R. Ikram, B.M. Jan, A. Sidek, G. Kenanakis, *Utilization of Eco-Friendly Waste Generated Nanomaterials in Water-Based Drilling Fluids; State of the Art Review*. Materials, vol. 14, no. 4171, pp. 2-28, 2021, [doi: 10.3390/ma14154171](https://doi.org/10.3390/ma14154171)
- [23] K.M. Oghenejoboh, E. O. Ohimor, O. Olayebi, *Application of re-refined used lubricating oil as base oil for the formulation of oil based drilling mud - A comparative study*. Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels, vol. 4, no. 4, pp. 78-84, 2013, [doi: 10.5897/JPTAF2013.0089](https://doi.org/10.5897/JPTAF2013.0089)
- [24] E.E. Okoro, S. Iwuajoku, S. E. Sanni, *Performance Evaluation of Biodiesel Produced from Waste Tire Pyrolytic Oil as a Lubricant Additive in Oil Drilling Systems*. Recycling, vol. 5, no. 29, pp. 1-16, 2020, [doi: 10.3390/recycling5040029](https://doi.org/10.3390/recycling5040029)
- [25] C.Y. Onuh, A. Dosunmu, P.A.L. Anawe, E. O. Bolujo, O.A. Olabode, T.F. Ogunkunle, *Investigating the potential of Calophyllum plant base oil for oil and gas drilling mud operations*. 3rd International Conference on Science and Sustainable Development. J. Phys.: Conf. Ser, 1299, pp. 1-18, 2019, [doi: 10.1088/1742-6596/1299/1/012069](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1299/1/012069)
- [26] A.F. Adeyemi, F.M. Adebisi, O.A. Koya, *Evaluation of physico-chemical properties of re-refined lubricating oils obtained from fabricated packed bed reactor*. Petroleum Science and Technology, vol. 35, no. 16, pp. 1712-1723, 2017, [doi: 10.1080/10916466.2017.1359624](https://doi.org/10.1080/10916466.2017.1359624)
- [27] A. Qayoom, M. Talha, A. Kamal, M.N. Siddiqui, A.R. Viqar, *Indigenous kaolinite ore as cost effective adsorbent for re-refining of used lubricating oil*. Revue des Energies Renouvelables, vol. 21, no. 3, pp. 473-485, 2018.
- [28] H.J. Saleem, A.R. Karim, *Re-refining of used lubricating oil by vacuum distillation/thin wiped film evaporation technique*. Petroleum Science and Technology, vol. 38, no. 4, pp. 323-330, 2019, [doi: 10.1080/10916466.2019.1704782](https://doi.org/10.1080/10916466.2019.1704782)
- [29] G. Tuccar, E. Tosun, E. Uludamar, *Investigations of Effects of Density and Viscosity of Diesel and Biodiesel Fuels on NOx and other Emission Formations*. Academic Platform Journal of Engineering and Science, vol. 6. No. 2, pp. 81-85, 2018, [doi: 10.21541/apjes.371015](https://doi.org/10.21541/apjes.371015)
- [30] M.U. Dabai, N. Bello, *Comparative Study of Regeneration of Used Lubricating Oil Using Sulphuric and Oxalic Acids/Clay Treatment Process*. IJSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, vol. 6, no. 3, pp. 13-23, 2019.
- [31] G.R. Daham, A.A. AbdulRazak, A.S. Hamadi, A.A. Mohammed, *Re-refining of used lubricant oil by solvent extraction using central composite design method*. Korean J. Chem. Eng, vol. 34, no. 9, pp.

2435-2444, 2017, [doi: 10.1007/s11814-017-0139-5](https://doi.org/10.1007/s11814-017-0139-5)

- [32] S.A. Soomro, S.A. Soomro, K.M. Brohi, *Effect of Synthesized Biodiesel on the Rheological Properties of Oil Based Drilling Mud*. Engineering Science and Technology International Research Journal, Vol.4, no.1, pp. 28-33, 2020.
- [33] O.H. Elochukwu, H.K.B. Mahmud, *An Environmentally Friendly Solvent Mix For Asphaltene Deposit Removal*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 10, no. 22, pp. 10555-10565, 2015.
- [34] E. Fini, A.I. Rajib, D. Oldham, A. Samieadel, S. Hosseinneshad, *Role of Chemical Composition of Recycling Agents in Their Interactions with Oxidized Asphaltene Molecules*. Journal of Materials in Civil, vol. 32, no. 9, pp. 1-13, 2020, [doi: 10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003352](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003352)

Autónoma de Tabasco.

CAPITULO 6

Optimización de la mezcla aceite lubricante usado refinado/diésel para incorporarlo en fluidos de perforación.

Resumen

El aprovechamiento de los aceites lubricantes usados a través de las técnicas de refinación, son una oportunidad de uso por el sector industrial y el medio ambiente. El objetivo de la investigación fue evaluar la optimización de diferentes mezclas de ALUR/diésel a partir de los tratamientos AT80 y AT40C1. El experimento consistió en aplicar diferentes proporciones de ALUR/diésel y formar cinco mezclas diferentes entre el ALUR/diésel. Las mezclas evaluadas fueron 85/15, 70/30, 55/45, 40/60 y 30/70. Los resultados mostraron que los ALUR del tratamiento AT80, presentaron los mejores promedios de densidad de 0.84 g/cm^3 , viscosidad de 116 cP, estabilidad eléctrica de 1697.67 V y punto de inflamación de 236.67°C . Los mejores resultados fueron en las mezclas M4 y M5 del tratamiento AT80, con promedios de densidad de 0.80 g/cm^3 , viscosidad de 5.83 cP, estabilidad eléctrica de 1694.33 V, punto de inflamación de 95°C y 96.67% de aceite. Con estos resultados se crea una nueva alternativa, un nuevo aprovechamiento, con lo que se usará menos diésel y disminución de los costos económicos para la industria petrolera que se dedica a la preparación de fluidos de perforación base aceite.

Palabras clave: Refinación, Aceite usado, Reología, fluidos de perforación, reutilización

6.1 Introducción

Las técnicas de refinación de aceites lubricantes usados (ALU) desarrolladas en el mundo, son una buena estrategia para el aprovechamiento de éstos y la disminución del impacto ambiental que representan. A medida que el mercado de aceites esenciales ha crecido en forma considerable, el flujo de desechos también ha aumentado de manera significativa (Nabi *et al.*, 2019). Según Dudak *et al.* (2021), la gestión del aceite lubricante usado, es importante para la sostenibilidad de los recursos, incluyendo al petróleo crudo, y mejores beneficios económicos, sociales y ambientales. Los aceites lubricantes usados contienen Cromo (Cr), Cadmio (Cd), Arsénico (As) y Plomo (Pb), y otros compuestos químicos nocivos, como hidrocarburos aromáticos polinucleares, benceno y cloro (Sánchez-Alvarracín *et al.*, 2021). A nivel mundial, desde 2015, el consumo de aceite lubricante promedió 35 millones de toneladas al año (Tsambe *et al.*, 2021).

Por razones económicas, reciclar el aceite lubricante usado es más conveniente, es por eso que existen varios métodos de reutilización para el tratamiento de aceites lubricantes usados; los que según Naife *et al.* (2022), se pueden presentar como la destilación pirólítica, extracción y destilación con propano líquido, extracción por solventes y filtración con diferentes tipos de arcillas (Tan *et al.*, 2022).

De acuerdo con Emima *et al.* (2019), muchos investigadores han trabajado con éxito en la generación de energías a partir de varias fuentes alternativas, como la conversión de algunas sustancias agrícolas renovables en combustible. Según Igbafe *et al.* (2020), la necesidad de encontrar un lubricante renovable seguro, ecológico, económico y que cumpla con los estándares de lubricación de la industria de perforación se vuelve imperativa. El uso del fluido de perforación apropiado es una parte crucial de cualquier operación de perforación exitosa (Murtaza *et al.*, 2021). Estos fluidos de perforación son lodos a base de agua, lodos a base de aceite y/o lodos a base de sintéticos (Oghenejoboh *et al.*, 2013).

En los últimos años, el desarrollo de fluidos de perforación a base de aceite ha atraído cada vez más la atención, en particular para situaciones en las que los fluidos de perforación a base de agua sean ineficaces (Wu-Juan *et al.*, 2018). Los lodos a base de aceite se usan por muchas razones, algunas de las cuales son la capacidad de resistir mayor calor sin descomponerse y las consideraciones ambientales de costos (Oghenejoboh *et al.* 2013). Los objetivos de la perforación es alcanzar de manera segura, el menor tiempo y a menor costo, con las restricciones de evaluación y muestreo adicionales requeridas dictadas por la aplicación particular (Ahmed y Kalkan, 2019).

Actualmente la atención de los investigadores se ha dirigido hacia los aceites generados a partir de cultivos vegetales, tomando gran importancia. Sin embargo, según Kania, *et al.* (2015), los biolubricantes disponibles, los poliolésteres de aceites vegetales demuestran ser los lubricantes más adecuados para muchas condiciones de perforación, aunque su aplicación aún es muy limitada. La temperatura, presión, profundidad y procedimiento de evaluación de la formación a utilizar, el impacto ambiental y ecológico, costos, son algunos de los principales factores a considerar en la preparación de fluidos de perforación (Arbad y Teodoriu, 2020). Para esto, se han utilizado diferentes aceites, como los que se extraen de las plantas de caucho (Destiny y Amanze, 2021), de semilla de la manzana estrella blanca (*Chrysophyllum albidum*) (Igbafe *et al.*, 2020). La desventaja de estos tipos de aceites, esta dirigida hacia el volumen que necesitan las industrias del sector petrolero, lo que no es posible obtener; en cambio, existe un volumen muy alto en la generación de aceites lubricantes usados (Alvarez-Rivera *et al.*, 2022), los que al ser refinados podrían alargar su ciclo de vida en el ambiente, o usarlos para la preparación de fluidos de perforación base aceite (Alvarez-Rivera *et al.*, 2023).

El presente estudio se realizó a partir de la refinación mediante dos tratamientos, para optimizar la mezcla ALUR/diésel. Así como la oportunidad de usarlos como alternativa en la formulación de fluidos de perforación base aceite. Lo anterior con el objetivo de mejorar sus características reológicas, y compararlas con los valores de referencia del diésel, para evaluar su eficiencia de los parámetros: densidad, viscosidad, estabilidad eléctrica y punto de inflamación, y utilizarlos en la formulación de fluidos de perforación base aceite.

6.2 Materiales y métodos

Los Aceites lubricantes usados refinado (ALUR) utilizados en este estudio, se recolectaron en diferentes talleres de servicio automotriz, hasta reunir un lote de 200 L. Después de la colecta, el aceite se depositó en un contenedor de metal (tambor) con capacidad del volumen colectado (200 L).

El experimento se estableció en un diseño con arreglo factorial, los factores estudiados fueron: el ALUR (AT80 y AT40C1) y la proporción de diésel a cinco niveles, y tres repeticiones. El testigo no recibió ningún tratamiento de los probados. Una vez evaluados los supuestos de normalidad de los datos resultantes, se realizaron pruebas paramétricas para los datos que cumplieron con esto y no paramétricas para los que no cumplieron (ANOVA o pruebas de Kruskal Wallis respectivamente). Como pruebas a posteriori se aplicó el contraste múltiple de rangos por el método de Fisher (LSD)

para los datos normales y prueba de contraste múltiple de rangos de Bonferroni para los que no cumplieron con normalidad.

Los parámetros a evaluar se establecieron en base a los requisitos de calidad de aceites para su uso en la formulación de recortes de perforación base aceite, los cuales son: contenido de aceite, agua y sólidos por retorta, densidad, viscosidad, estabilidad eléctrica, punto de inflamación.

Las proporciones de aceite lubricantes usado refinado (ALUR) fueron de: 85, 70, 55, 40 y 30 %. Las proporciones de diésel son: 15, 30, 45, 60, 70 %. Las mezclas evaluadas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Proporciones de la mezcla entre el aceite refinado y el diésel en cada tratamiento.

Tratamientos	Proporción	
	ALU Refinado (%)	Diésel (%)
Aceite sin tratar		
Aceite refinado	100	0
M1_AT80	85	15
M2_AT80	70	30
M3_AT80	55	45
M4_AT80	40	60
M5_AT80	30	70
Aceite refinado	100	0
M1_AT40C1	85	15
M2_AT40C1	70	30
M3_AT40C1	55	45
M4_AT40C1	40	60
M5_AT40C1	30	70

6.2.1 Análisis de las muestras

La Tabla 2, muestra los análisis y los métodos que se realizaron a cada uno de los tratamientos de refinación de los ALU evaluados en el estudio.

Tabla 2. Parámetros analizados a las muestras de cada tratamiento de refinación propuesto.

Parámetro	Unidades	Referencias
% Aceite por retorta	% en masa	API RP 13B2
% Agua por retorta	% en masa	API RP 13B2
% Sólidos por retorta	% en masa	API RP 13B2
Densidad	g c ³ -	ASTM-D854
Viscosidad	cP	
Estabilidad eléctrica	Voltios	
Punto de inflamación	°C	ASTM D93-2000

6.2.2 Análisis del contenido de humedad, sólidos y aceite por el método API RP 13B2.

Para realizar el análisis se utilizó una cámara de evaporación (retorta) marca Ofit Testing Equipment Inc. (OFITE) kit completo, rellena con lana de acero del número 0 para atrapar los sólidos extraídos por ebullición de 10 mL de la muestra.

Se introdujo el tubo de drenaje dentro del orificio en la extremidad inferior del condensador y se colocó la probeta de 10 mL bajo éste y se dejó un tiempo aproximado de 15 min hasta que terminó la destilación a 560 °C.

6.2.3 Análisis de densidad

El método ASTM-D854 se adecuó para medir la densidad de las muestras de aceite. El análisis consistió en pesar una probeta de 10 mL vacía, posteriormente esta se llenó con la muestra de aceite hasta los 10 mL y se cuantificó su masa. Por diferencia de peso se obtuvo la masa del aceite y con el volumen conocido se calculó la densidad de la muestra. El análisis se realizó a 28 °C de temperatura.

6.2.4 Análisis de viscosidad a 300 RPM

Se utilizó un viscosímetro Modelo 800 (Ofi Testing Equipment, Inc). El equipo determina las características de flujo de los aceites en términos de velocidad y tensión.

Todas las muestras de aceite fueron analizadas a 300 revoluciones por minuto (RPM) a una temperatura de 28 °C. Las muestras de aceite fueron depositadas en la copa de acero inoxidable en la que se introdujo el rotor. La lectura de flujo y tensión que ejercieron las muestras de ALU se tomó mediante el dial ampliado.

6.2.5 Análisis de Estabilidad eléctrica

El análisis se realizó con un equipo marca Ofi Testing Equipment, Inc., modelo ESM-30B con serial No 2801. El medidor de estabilidad eléctrica aplica automáticamente una tensión cada vez mayor (0 a 2000 voltios) a través de una separación de los electrodos de la sonda. Este equipo muestra el voltaje de la corriente que fluye en la muestra de aceite. La lectura del equipo representa la estabilidad del aceite, cuanto mayor es éste, mayor será la estabilidad de la muestra y esta representada en voltios.

6.2.6 Análisis de Punto de inflamabilidad

La determinación de este parámetro, se realizó con un equipo de copa abierta marca Koehler. El análisis consistió en llenar la copa con la muestra homogeneizada, se colocó la cubierta sobre la copa, y después se encendió la llama de prueba, se colocó la cubierta juntamente con la copa en el equipo, luego se encendió el equipo y por último se procedió a realizar la medición del punto de inflamación, luego se cuantificó la temperatura.

6.3 Resultados y Discusión

6.3.1 Densidad de la mezcla ALUR/Diésel

La Fig. 1, presenta los resultados de densidad de los tratamientos AT80 y AT40C1 en las cinco mezclas de ALUR/Diésel y la muestra testigo (aceite sin tratar).

La densidad de los tratamientos AT80 (aceite refinado, aplicando solo temperatura) fue de 0.84 g/cm³ y AT40C1 (aceite refinado con ácido sulfúrico y nonilfenol) fue de 0.87 g/cm³, estando por debajo del testigo que fue de 0.89 g/cm³. Aunque los dos tratamientos mostraron una mejor densidad con respecto al testigo, el AT80 sigue siendo el mejor tratamiento.

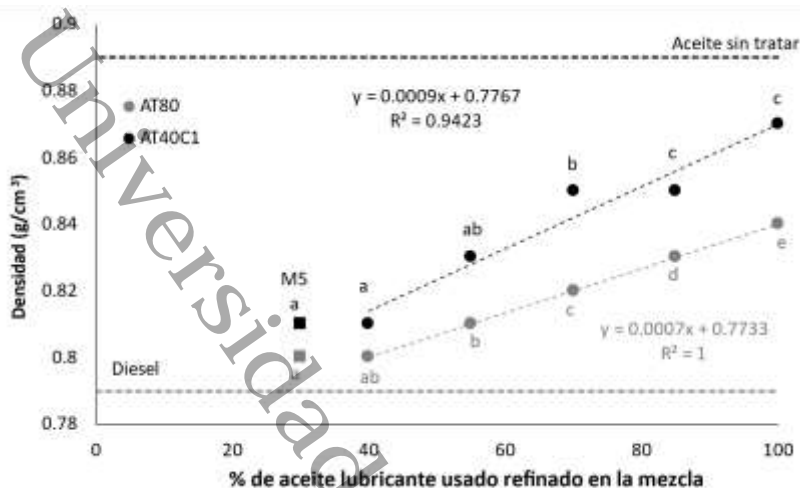


Fig. 1. Comparación de los resultados de densidad de las mezclas de ALU refinado/Diésel. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Kruskal-Wallis + Bonferroni $p < 0.05$).

A partir de la mezcla M1 a la M4 en el tratamiento AT80, los valores de densidad disminuyeron, empezando desde 0.84 g/cm^3 , hasta 0.80 g/cm^3 estando ligeramente por encima de la densidad del diésel que es de 0.78 g/cm^3 .

Los valores de densidad en el tratamiento AT40C1 fueron de mayor a menor en las mezclas, empezando con 0.85 g/cm^3 en la mezcla M1 hasta llegar a una densidad 0.81 g/cm^3 en la mezcla M4. Se observa que las mezclas M5 de los tratamientos AT80 y AT40C1 se comportaron similar. Sin embargo, no se contemplaron en las líneas de tendencia central, porque al agregar más diésel al ALUR, los valores serán igual al que este presenta.

La mezcla M4 y M5 de los tratamientos AT80 y AT40C1, presentaron menor promedio de densidad con 0.80 g/cm^3 , pero éste no tuvo diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.95$) con la densidad del diésel.

6.3.2 Viscosidad de la mezcla ALUR/Diésel

Los resultados de viscosidad de las mezclas de ALUR/Diésel en los dos tratamientos se muestran en la Fig. 2.

El aceite refinado del tratamiento AT80, presentó una viscosidad de 116 cP , estando ligeramente por debajo del aceite sin tratar con una viscosidad de 117.67 cP y muy por encima de la viscosidad del diésel que fue de 2.83 cP .

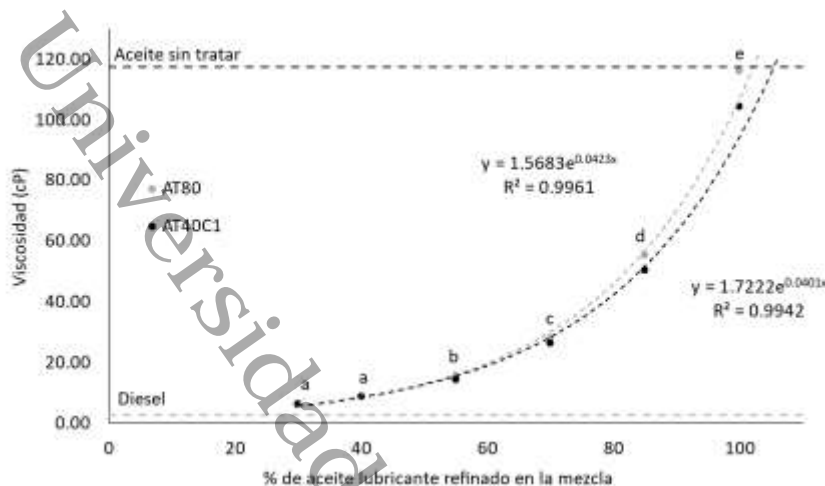


Fig. 2. Comparación de los resultados de viscosidad de las mezclas de ALU refinado/Diésel. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Kruskal-Wallis + Bonferroni $p < 0.05$).

La viscosidad del aceite refinado del tratamiento AT40C1 fue de 104.3 cP, ligeramente arriba del obtenido en el aceite sin tratar que fue de 102.67 cP y superior al valor del diésel que fue de 2.83 cP.

Las viscosidades de las mezclas de los tratamientos AT80 y de AT40C1 estuvieron en el orden de 50.33 cP y descendieron hasta 5.83 cP. Los dos tratamientos presentaron viscosidades similares en las mezclas realizadas, estando por debajo del ALUR. Se observa un efecto directo en la viscosidad, a medida que se aumenta la proporción de diésel sobre el ALUR, esta disminuye hasta 5.83 cP en la mezcla M5 del tratamiento AT80, estando ligeramente por encima del valor del diésel, que es de 2.83 cP. Este mismo comportamiento se mostró en la mezcla M5 del tratamiento AT40C1 teniendo una viscosidad de 6.17 cP.

La mezcla M5 de los tratamientos AT80 y AT40C1, presentó ligeramente mayor promedio de viscosidad con 5.83 cP, pero éste no tuvo diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.95$) con la viscosidad del diésel.

6.3.3 Estabilidad eléctrica de la mezcla ALUR/Diésel

En la Fig. 3, se puede observar que la estabilidad eléctrica en el aceite sin tratar fue de 1147 V, siendo bajo en comparación con los datos presentados en el ALUR del tratamiento AT80, el cual fue de 1697.67 V y del diésel que fue de 1822.33 V.

La estabilidad eléctrica del aceite refinado en el tratamiento AT40C1 fue de 291.33 V, muy por debajo del aceite sin tratar que fue de 1076.67 V y del diésel que fue de 1822.33 V.

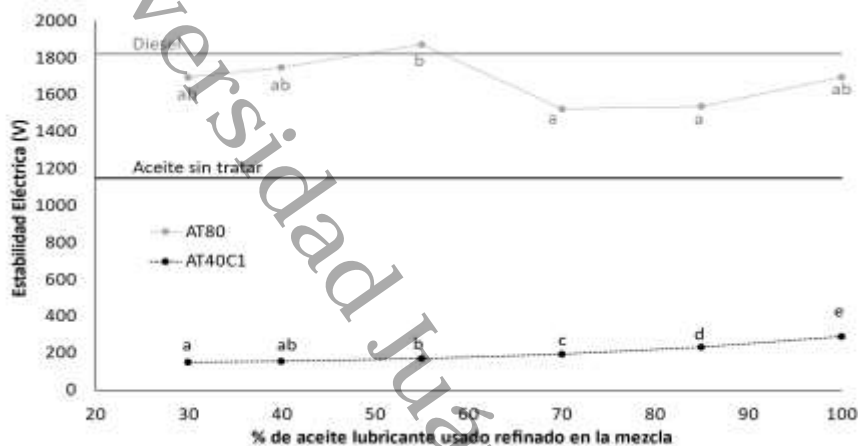


Fig. 3. Comparación de los resultados de Estabilidad eléctrica de las mezclas de ALUR/Diésel. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Kruskal-Wallis + Bonferroni $p < 0.05$).

La mezcla M1 del tratamiento AT80, tiene una estabilidad eléctrica de 1536 V, estando ligeramente arriba del valor de la mezcla M2 que fue de 1521.67 V. La mezcla M3 aumento de forma considerable llegando hasta 1874 V, estando por encima del valor obtenido del diésel, que fue de 1822.33 V. Las mezclas M4 y M5 tuvieron una tendencia de disminución con un valor de 1748.33 y 1694.33 V, estando por debajo del valor del diésel.

En el tratamiento AT40C1, desde la mezcla M1 hasta la M5 hubo una tendencia de disminución en la estabilidad eléctrica, en un rango que va desde 233 V, hasta 150.67. Estos valores estuvieron por debajo del valor del diésel, que fue de 1822.33 V.

En términos de mezclas, el mejor valor lo presento la M3, y con respecto al mejor tratamiento, los mejores resultados fueron de AT80. La mezcla M3 del tratamiento AT80, presentó mayor promedio de estabilidad eléctrica con 1874 V, teniendo una diferencia estadística significativas ($P > 0.95$) con el valor del diésel. Las mezclas del tratamiento AT40C1 presentaron promedios similares de estabilidad eléctrica en el orden de 233 hasta 150.67 V, habiendo diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.95$) con la estabilidad eléctrica del diésel.

6.3.4 Punto de inflamabilidad de la mezcla ALUR/Diesel

En la Fig. 4 se muestran los resultados de punto de inflamabilidad de las mezclas de ALUR y diésel realizadas en los tratamientos evaluados y del aceite sin tratar.

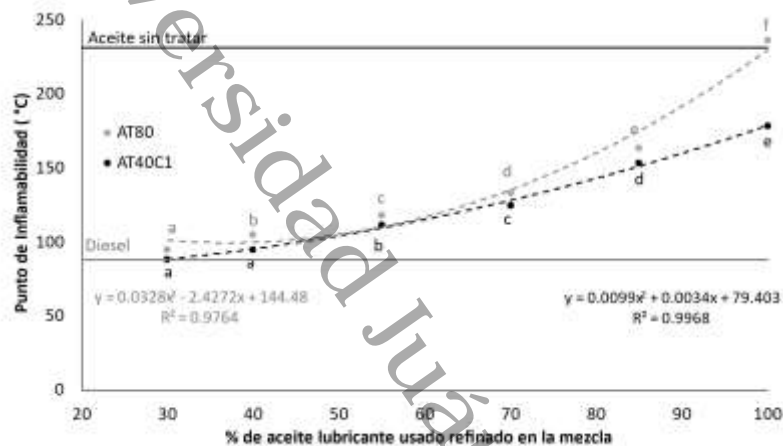


Fig. 4. Comparación de los resultados de Punto de inflamabilidad de las mezclas de ALU refinado/Diésel. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Kruskal-Wallis + Bonferroni $p < 0.05$).

El punto de inflamabilidad (punto en el que prende el material) en el aceite sin tratar del tratamiento AT80, tiene un promedio de 231.37 °C. Este resultado se encuentra por arriba del valor presentado por el aceite sin tratar del tratamiento AT40C1 que fue de 226.67 °C.

El aceite refinado del tratamiento AT80, obtuvo un punto de inflamabilidad de 236.67 °C, mayor al presentado por el ALUR del tratamiento AT40C1 que fue de 178.33 °C.

Los resultados de punto de inflamabilidad fue de mayor a menor, a medida que aumentaba la proporción de diésel en las mezclas de los tratamiento AT80 y AT40C1.

En las mezclas del tratamiento AT80, el punto de inflamabilidad inicio en 163.33 °C en la mezcla M1, y terminó en 95°C en M5, estando ligeramente por encima del valor del diésel que fue de 88.33 °C. Este mismo comportamiento se observó en las mezclas del tratamiento AT40C1, iniciando con un valor de 153.33 °C en la mezcla M1 y terminando en 88.33 °C. el cual es igual al resultado del diésel que fue de 88.33 °C.

Las mezclas de los tratamientos AT80 y AT40C1 presentaron promedios similares de punto de inflamabilidad, iniciando en un rango de 153.33 a 88.33 °C, habiendo diferencias estadísticas significativas ($P > 0.95$) con el punto de inflamabilidad del diésel.

6.3.5 Porcentaje de sólidos, aceite y humedad de la mezcla ALUR/Diésel

En la Fig. 5 se muestran los resultados de porcentaje (%) de sólidos, % de humedad y % de aceite de las mezclas de ALUR y diésel de los tratamientos AT80 y AT40C1, además se incluye el valor del aceite sin tratar y del aceite refinado como referencia.

El ALUR del tratamiento AT80, presentó un contenido de sólidos de 6.50%, con una humedad de 2.33%, y un 91.17% de aceite. El ALUR del tratamiento AT40C1, obtuvo un contenido de sólidos de 5.67%, con una humedad de 5.33%, y un 89% de aceite. En base a los resultados obtenidos, el mejor tratamiento fue AT80. Lo encontrado en este estudio para los aceites tratados es muy inferior a los resultados obtenidos en el aceite sin tratar de los tratamientos AT80 y AT40C1 que mostraron 12% de humedad, 75% de aceite y 13% de sólidos.

Las mezclas del tratamiento AT80 presentaron una humedad nula, aumentando el porcentaje de aceites en el rango de 91.33% a 96.67%. Los sólidos estuvieron en el orden de 3.33% a 8.67%, y fue la mezcla M3, la que resultó con mayor porcentaje de sólidos.

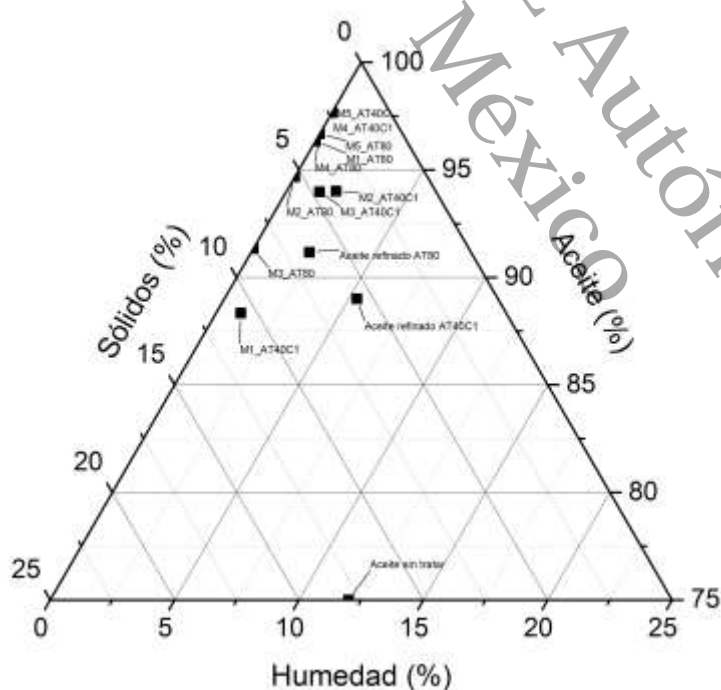


Figura 5. Comportamiento del % de sólidos, % de aceite y % en los diferentes tratamientos.

En el tratamiento AT40C1, las mezclas presentaron porcentajes de humedad que van de 0 a 2%. Los resultados de aceite fueron desde 88.33% a 97.67%, mientras que los sólidos fueron de 2.33 a 10.67%, siendo la mezcla M1 la que presentó el valor mas alto de porcentaje de aceite.

Los porcentajes de humedad, aceite y sólidos encontrados en las mezclas de los tratamientos AT80 y AT40C1 fueron superiores a los encontrados en el diesel.

6.4 Discusión

Los resultados de densidad de las mezclas M4 y M5 del tratamiento AT80 y AT40C1 son los más bajos. No obstante, las mezclas M4 y M5 del tratamiento AT80 fueron las mejores, teniendo promedios de densidad por debajo de las obtenidas en las mezclas M4 y M5 del tratamiento AT40C1 y ligeramente por encima de la densidad que presentó el diésel que fue de 0.78 g/cm^3 , valor inferior al obtenido por Tuccar *et al.* (2018) que fue de 0.83 g/cm^3 en un diésel. En su estudio Igbafe *et al.* (2020), reportaron densidades en biodisel de vegetales que oscilan entre 0.85 g/cm^3 a 0.91 g/cm^3 , valores que fueron superiores a los obtenidos en la mezcla M4 y M5 del tratamiento AT80 que fueron de 0.84 g/cm^3 , hasta 0.80 g/cm^3 . En otra investigación Nabi *et al.* (2019) reportaron densidad de mezclas de diésel con aceites vegetales en el orden de 0.85 a 0.86 g/cm^3 valores que fueron superiores a los encontrados en las mezclas de los tratamientos AT80 y AT40C1, resultados que también estuvieron por debajo de los encontrado por Pardo-Garcia *et al.* (2022) en una mezcla de aceite lubricantes con un aditivo compuesto por zinc que fue de 0.88 g/cm^3 .

Con respecto a la viscosidad, las mezclas de cada uno de los tratamientos AT80 y AT40C1, mostraron una dismunición conforme aumentaba la proporción de diésel en las mezclas con ALUR, iniciando con valores de 50.33 cP hasta 5.83 cP, ligeramente arriba de la viscosidad del diésel que fue 2.83 cP. Estos resultados estuvieron por debajo de los reportados por Ahmed y Kalkan (2019) con 65 cP en fluidos de perforación base aceite. En una investigación de Enima *et al.* (2019), encontraron valores de viscosidad en mezclas de diésel y aceite de ajonjolí de 3.28 cP a 4.34 cP, y Kurre *et al.* (2021) obtuvieron valores de 1.93 cP en mezclas de diésel con biodisel y etanol, estando por debajo de los encontrados en las mezclas de los tratamientos AT80 y AT40C1.

El punto de inflamación en las mezclas del tratamiento AT80 y AT40C1 presentaron una disminución en la mezcla M1 de $163.33 \text{ }^\circ\text{C}$ a $88.33 \text{ }^\circ\text{C}$ en la mezcla M5, a medida que aumentaba la proporción de diésel. Estos resultados estuvieron por encima de los obtenidos por Naima y Liazid (2013) quien obtuvo un punto de inflamación a los $57 \text{ }^\circ\text{C}$ en una mezcla realizada con aceite lubricante y diésel; mientras que Pardo-García *et al.* (2021) lo encontró a $210 \text{ }^\circ\text{C}$ en una mezcla de aceite lubricantes y un aditivo de zinc, arriba de los encontrados en este estudio. En un estudio que

realizo Ahmed y Kalkan (2019) mencionan que el punto de inflamación de un aceite base para fluidos de perforación es de 66 °C, y de un biodisel a 160 °C (Soomro *et al.*, 2020), resultados inferior a los encontrados en esta investigación.

En los resultados de estabilidad eléctrica se observa un incremento considerable a partir de la mezcla M3 con un valor máximo de 1874 V, que supera al del diésel, que fue de 1822.33 V, y bajó ligeramente a partir de las mezclas M4 y M5 con un valor de 1748.33 V y 1694.33 V. Estos valores representan mayor estabilidad eléctrica que los encontrados por Oghenejoboh *et al.* (2013) con valores de 480 V, y de Blaz *et al.* (2020) que fue de 610 V en lodos de perforación, estando muy por debajo de los obtenidos en este estudio. En otro estudio Wu-Juan *et al.* (2018), menciona que al incrementar los aditivos en los fluidos de perforación, se obtuvo una estabilidad eléctrica en un rango de 731 V hasta 1054 V, mientras que Ahmed y Kalkan (2019) mencionan que en un aceite básico para fluidos de perforación, la estabilidad eléctrica debe de estar arriba de 400 V, resultados que aun siguen estando por debajo de los encontrados en este trabajo.

El porcentaje de sólidos, humedad y aceite fueron menores en los ALUR de los tratamientos AT80 y AT40C1. Las mezclas M4, M5 de los tratamientos AT80 y AT40C1 mostraron beneficios considerables, obteniendo los mejores resultados en el orden de 96.63% a 97.33 % de aceite recuperado.

6.5 Conclusiones

Los tratamientos AT80 y AT40C1 aplicados a los aceites lubricantes usados mejoraron la calidad de éstos, obteniendo los mejores valores el tratamiento AT80.

La proporción de diésel en las diferentes mezclas de ALUR tuvo un efecto directo en sus propiedades, influyendo en los resultados.

La mezcla M4 del tratamiento AT80 en una proporción de 40% de ALUR y 60% de diésel, resultó ser la mejor en este estudio, obteniendo valores muy similares a las presentadas por el diésel. Resultados que son muy alentadores para poder incursionar en la preparación de fluidos de perforación base aceite.

Desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, esto origina una nueva alternativa, que ayudará a disminuir el impacto ambiental que estos residuos representan. Este nuevo aprovechamiento, alargaría el ciclo de vida de estos residuos, al usar menos diésel y disminuir el costo económico a las empresas petroleras que se dedican a la preparación de fluidos de perforación base aceite.

6.6 References

- [1] Alvarez-Rivera, J.A., Castañón-Nájera, G., Urrieta-Saltijeral, J.M., Laínes-Canepa, J.R., Hernández-Barajas, J.R., Pampillón-González, L. and Morales-Bautista, C.M. 2022. Handling of Used Lubricating Oil in Tabasco, Mexico. *DYNA*, 89 (223), pp. 121-126. DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n221.101484>
- [2] Alvarez-Rivera, J.A., Castañón-Nájera, G., Urrieta-Saltijeral, J.M., Laínes-Canepa, J.R., Hernández-Barajas, J.R., Pampillón-González, L. and Morales-Bautista, C.M. 2023. Refining Used Lubricant Oils with Different Concentration Levels of Sulfuric Acid and Nonylphenol. *Tribology in Industry* Vol. 45, No. 1. Pp 168-177. doi: 10.24874/ti.1411.11.22.03
- [3] Arbad, N. and Teodoriu, C. 2020. A Review of Recent Research on Contamination of Oil Well Cement with Oil-based Drilling Fluid and the Need of New and Accurate Correlations. *Chemistry Engineering*. Vol: 4, No. 28. Pp 2-20. doi:10.3390/chemengineering4020028
- [4] Błaz, S., Zima, G. Jasiński, B. And Kremieniowski, M. 2021. Invert Drilling Fluids with High Internal Phase Content. *Energies*. Vol: 14, No. 4532. Pp 2-14. doi.org/10.3390/en14154532.
- [5] Destiny, A. J., Amanze, F. C. 2021. Performance of rubber seed oil as an alternative to diesel in oil- based drilling mud formulation. *International Journal of Advances in Applied Sciences*. Vol: 10. No. 1. pp. 47-59. doi: 10.11591/ijaas.v10.i1
- [6] Dudak, L., Milisavljevic S., Jocanovic M., Kiss F., Ševic D., Karanovic V. and Orošnjak M. 2021. Life Cycle Assessment of Different Waste Lubrication Oil Management Options in Serbia. *applied sciences*. 11, 6652. pp 2-20. doi.org/10.3390/app11146652
- [7] Emima, Y., Rajesh, M., Kuchipudi, S. R. 2019. Experimental Investigation on Performance and Exhaust Emission Characteristics of Diesel Engine using Eesame Blends with Diesel and Additive. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. Vol: 8, No. 1S3. Pp 6-11
- [8] Igbafe, S., Azuokwu, A. A. and A. I. Igbafe, A. I. 2020. Production and Characterization of Chrysophyllum Albidum Seed Oil Derived Bio-lubricant for the Formulation of Oil-Based Drilling Mud. *Journal of Biotechnology and Biochemistry*. Vol 6. No 2. PP 27-32. DOI:

10.9790/264X-0602012732

- [9] Kania, D., Yunus, R., Omar, R., Rashid, S. A., Jan, B. M.. 2015. A review of biolubricants in drilling fluids: Recent research, performance, and applications. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 135 (2015) 177–184. doi.org/10.1016/j.petrol.2015.09.021
- [10] Kurre, S. K., Pandey, S., Khatri, N., Bhurat, S. S., Kumawat, S. K., Saxena, S., Kumar, S. 2021. Study of Lubricating Oil Degradation of CI Engine Fueled with Diesel-Ethanol Blend. *Tribology in Industry*. Vol: 43. No. 2. Pp 222-23. DOI: 10.24874/ti.913.06.20.11
- [11] Murtaza, M., Alarifi, S. A., Kamal, M. S., Onaizi, S. A., Al-Ajmi, M., Mahmoud, M. 2021. Experimental Investigation of the Rheological Behavior of an Oil-Based Drilling Fluid with Rheology Modifier and Oil Wetter Additives. *Molecules*. Vol: 26. No. 4877. Pp 2-16. doi.org/10.3390/molecules26164877
- [12] Nabi, M. N., Rasul, M. G., Rahman, S. M. A., Ristovski, Z. D., Brown, R. J., Dowell^{[[1]]}, A. 2019. Study of performance, combustion and emission characteristics of a common rail diesel engine with tea tree oil-diglyme blends. *Energy*. 180. pp. 216-228.^{[[1]]} doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.070
- [13] Naima, K. and Liazid, A. 2013. Waste oils as alternative fuel for diesel engine: A review. *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels*. Vol. 4(3), pp. 30-43. DOI: 10.5897/JPTAF12.026^{[[1]]}
- [14] Naife, T. M., Rashid, S. A., and Abdul, J. M. F. 2022. Treatment of Used lubricant Oil by Solvent Extraction. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*. Vol: 23. No.1. pp 43-50. doi.org/10.31699/IJCPE.2022.1.6
- [15] Oghenejoboh, K. M., Ohimor E. O. and Olayebi O. 2013. Application of re-refined used lubricating oil as base oil for the formulation of oil based drilling mud - A comparative study. *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels*. Vol. 4(4), pp. 78-84,
- [16] Pardo-García, C., Orjuela-Abril, S. and Pabón-León, J. 2022. Investigation of Emission Characteristics and Lubrication Oil Properties in a Dual Diesel–Hydrogen Internal Combustion Engine. *Lubricants*. Vol: 10. No. 59. pp 2-15. doi.org/10.3390/lubricants10040059
- [17] Sánchez-Alvarracín, C., Criollo-Bravo, J., Albuja-Arias, D., García-Ávila, F and Pelaez-Samaniego, M.R. 2021. Characterization of Used Lubricant Oil in a Latin-American

- Medium-Size City and Analysis of Options for Its Regeneration. *Recycling*. 6, 10. Pp 2-22.
- [18] Soomro, S.A., Soomro, S.A., Brohi, K.M. 2020. Effect of Synthesized Biodiesel on the Rheological Properties of Oil Based Drilling Mud. *Engineering Science And Technology International Research Journal*, Vol.4, No.1: 28-33.
- [19] Tan, H. L., Azmi, N. N., Veny, H., Lim, Y. P., Passarella, R. 2022. A comparative study on treatment for recycling of waste lubricating oil. *Malaysian Journal of Chemical Engineering & Technology*. Vol: 5. No. 1. Pp 43–53. doi.org/10.24191/mjctet.v5i1.15726
- [20] Tsambe, M. Z. A.; de Almeida, C. F.; Ugaya, C. M. L.; de Abreu Cybis, L. F. 2021. Application of Life Cycle Sustainability Assessment to Used Lubricant Oil Management in South Brazilian Region. *Sustainability*. Vol: 13. No. 13583. pp 2-16. doi.org/10.3390/su132413583
- [21] Tuccar, G., Tosun, E., Uludamar, E. 2018. Investigations of Effects of Density and Viscosity of Diesel and Biodiesel Fuels on NO_x and other Emission Formations. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*. Vol 6. No 2. pp 81-85
- [22] Wu-Juan, S., Guo-Qing, T., Hang-Juan H., Guo-Min, L., Cong-Yu, K., Jun-Feng, H., Xun-Li, Z. 2018. Synthesis and characterisation of a multifunctional oil-based drilling fluid additive. *Environmental Earth Sciences*. Vol: 77. No.793. pp 2-8. doi.org/10

CAPITULO 7

7.1. Conclusiones generales

Con base en la literatura revisada se concluye que se han realizado poca investigación sobre generación de aceites lubricantes usados a nivel mundial, y particularmente en México, lo anterior, ocasiona una incertidumbre de la cantidad de litros de aceite usado que se pudieran estar generando, esto lleva a cuestionar y reflexionar sobre el manejo de estos residuos. Debido a esta problemática, la implementación de nuevas técnicas de refinamiento, adquieren mayor importancia. Así mismo, no se encontraron reportes que mencionen si en México se han o no realizados ensayos con aceites usados en los que se hayan empleado métodos como solventes, ácidos y arcillas y con esto, determinar las mejores técnicas de refinamiento.

La mayor cantidad de ALU en el estado de Tabasco es producida por micro y pequeños generadores (talleres de reparación de automóviles). La mayor parte del ALU generado en Tabasco es utilizado por la industria refinadora como base mineral y luego mezclado con otros solventes para producir combustibles alternativos con diferentes características. Los resultados de este estudio indican que el estado de Tabasco genera una cantidad importante de ALU, que por sus características es una fuente viable de energía alternativa.

En la refinación de los ALU con diferentes concentraciones de ácido sulfúrico y nonilfenol, la temperatura mejoró las propiedades de los aceites lubricantes usados (ALU). Si bien la adición de los reactivos ácido sulfúrico combinado con nonilfenol, en la mayoría de los tratamientos las características de los ALUs mejoraron respecto al control, no fue mayor que en los tratamientos AT80 y AT100. El efecto positivo de los tratamientos térmicos se refleja en la disminución de la densidad y la viscosidad, el aumento del punto de inflamación y la estabilidad eléctrica. Por otro lado, aunque los tratamientos térmicos ofrecen mejores resultados, pueden modificar la composición de las fracciones, lo que posiblemente provocaría la pérdida de alcanos que pueden volatilizarse a bajas temperaturas. Desde un enfoque técnico-económico, el mejor tratamiento que cumple con los requisitos de menor tiempo de tratamiento y menor costo de insumos es el AT80. De acuerdo con los resultados obtenidos, los aceites lubricantes refinados (ALUR) pueden considerarse una alternativa en la formulación de fluidos de perforación base aceite;

mediante la aplicación de diferentes mezclas entre ALUR y Diesel, reduciendo los costos económicos y ambientales debido a la capacidad de reutilizarlos.

Con respecto a las mezclas que se realizaron con el ALUR y el Diesel, la mezcla M4 del tratamiento AT80 en una proporción de 40% de ALUR y 60% de diésel, resultó ser la mejor en este estudio, obteniendo valores muy similares a las presentadas por el diésel. Resultados que son muy alentadores para poder incursionar en la preparación de fluidos de perforación base aceite.

Desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, esto origina una nueva alternativa, disminuyendo el impacto ambiental que estos residuos representan. Este nuevo aprovechamiento, alargaría el ciclo de vida de estos residuos, utilizando menos diésel y disminuyendo el costo económico a las empresas petroleras que se dedican a la preparación de fluidos de perforación base aceite.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México