

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ESTUDIO DE LA MODIFICACIÓN DE ARCILLA BENTONITA  
MEDIANTE ACTIVACIÓN ÁCIDA PARA LA PURIFICACIÓN DE  
ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR USADOS.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
AMBIENTAL**

**Johanna Karina Aguilar Jaramillo**

johanna.aguilar@epn.edu.ec

**DIRECTOR: ING. MARÍA BELÉN ALDÁS SANDOVAL**

maria.aldas@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: ING. CRISTINA ELIZABETH ALMEIDA NARANJO**

cristina.almeidan@epn.edu.ec

**Quito, Mayo 2019**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Johanna Aguilar declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa vigente.

---

**JOHANNA KARINA AGUILAR JARAMILLO**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Johanna Karina Aguilar Jaramillo, bajo nuestra supervisión.

---

**MSc. MARÍA BELÉN ALDÁS**

**DIRECTORA DEL PROYECTO**

---

**MSc. CRISTINA ALMEIDA**

**CODIRECTORA DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTO

Al finalizar este capítulo de mi vida quiero agradecer a Dios por ser fortaleza en medio de las vicisitudes que se han presentado en el camino.

Muchos me aconsejaron que opte por otro camino, pero mis padres creyeron en mí y me impulsaron a continuar ante las adversidades, tanto al principio como al final. Es por ello que les agradezco infinitamente; jamás lo hubiera logrado sin sus sabios consejos, su paciencia y su esfuerzo diario. ¡Este logro es nuestro!

El presente proyecto fue auspiciado por el Ingeniero Marcelo Riofrío, un empresario emprendedor, a quien le agradezco enormemente por haberme brindado la confianza y el apoyo económico y moral para su realización; así como también agradezco al Ing. Lester Ojeda por facilitarme las muestras procesadas del aceite para poder realizar en ellas el proceso de purificación con arcillas. Además, tuvimos el valiosísimo aporte de los laboratorios pertenecientes a la Escuela Politécnica Nacional como: Laboratorio de Ingeniería Ambiental, Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP) y Laboratorio de Nuevos Materiales (LANUM).

Así mismo, nada de esto hubiera sido posible sin la ayuda y apoyo de mis tutoras, la ingeniera Cristina Almeida e ingeniera María Belén Aldás, quienes con su conocimiento y esfuerzo enriquecieron esta investigación. Y muy especialmente a la ingeniera María Belén por apoyarme en mis anteriores proyectos, pues con su gran cariño y paciencia ha sido un ángel más en mi camino. Es fuente de inspiración para mí, por ser una excelente maestra y persona. Espero algún día ser tan buena como ella.

Finalmente, quiero agradecer a todas las personas que de una u otra forma han sido partícipes de esta alegría, por brindarme su amistad sincera, su cariño y apoyo en los momentos difíciles. Les agradezco por el tiempo compartido, las risas, los consejos, las locuras, la ternura y las nuevas experiencias que han enriquecido mi vida. Por eso y mucho más agradezco a Vivi, Liz, Vane, Wendy, Belén, Abraham, Jime y Dany.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Juan y Maruja, quienes con su abnegada entrega y esfuerzo diario nos han brindado a mis hermanos y a mí la mejor de las herencias que es la educación.

A mis hermanos Viviana y Fernando por ser inspiración y fuerza en mi camino.

A mis ahijados Gaby y Rafaelito.

A Wendy por apoyarme en los momentos más difíciles, sobre todo en el tercer empastado de esta tesis.

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS.....	XVI
RESUMEN .....	III
ABSTRACT .....	III
PRESENTACIÓN .....	IV
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3 ALCANCE .....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	4
CAPÍTULO II .....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 RESIDUOS PELIGROSOS .....	7

2.2	ACEITE LUBRICANTE.....	13
2.2	MÉTODOS PARA EL RECICLAJE DE ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR USADOS .....	27
2.3	PROCESO DE PURIFICACIÓN DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO CON ARCILLA ACTIVADA .....	29
2.3.2	ACTIVACIÓN ÁCIDA DE ARCILLAS.....	30
CAPÍTULO III .....		33
METODOLOGÍA.....		33
3.1	ACTIVACIÓN ÁCIDA DE ARCILLA.....	33
3.1.1	ACTIVACIÓN CON ÁCIDO SULFÚRICO, ÁCIDO ACÉTICO Y MEZCLA .....	33
3.2	CARACTERIZACIÓN ARCILLA .....	34
3.2.1	ANÁLISIS FTIR.....	34
3.2.2	ANÁLISIS DRX .....	34
3.2.3	ANÁLISIS SEM.....	35
3.3	PURIFICACIÓN DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO .....	35
3.4	CARACTERIZACIÓN DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR PURIFICADO .....	35
3.4.1	ANÁLISIS FTIR.....	35
3.4.2	ANÁLISIS Uv-Vis.....	36
3.4.3	CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE CLARIFICACIÓN .....	36
3.4.4	ANÁLISIS VISCOSIDAD, TAN Y TBN .....	36
3.5	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	37

CAPÍTULO IV.....	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ARCILLA.....	38
4.1.1 ANÁLISIS FTIR.....	38
a) ARCILLA BENTONITA NATURAL.....	38
b) ACTIVACIÓN CON ÁCIDO SULFÚRICO.....	39
c) ACTIVACIÓN CON ÁCIDO ACÉTICO.....	40
d) ACTIVACIÓN MEZCLA DE ÁCIDOS.....	41
4.1.2 ANÁLISIS DRX.....	42
4.1.3 ANÁLISIS SEM.....	44
a) ARCILLA NATURAL.....	45
b) ACTIVACIÓN CON ÁCIDO SULFÚRICO AL 40%.....	45
c) ACTIVACIÓN CON ÁCIDO ACÉTICO AL 40%.....	46
d) ACTIVACIÓN MIX 40%.....	46
4.2 CARACTERIZACIÓN DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO PURIFICADO.....	47
4.2.1 ANÁLISIS FTIR.....	47
4.2.2 ANÁLISIS Uv-Vis.....	48
4.2.3 EFICIENCIA DE CLARIFICACIÓN.....	51
4.2.4 ANÁLISIS VISCOSIDAD, TAN Y TBN.....	52
4.3 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA.....	53
CAPÍTULO V.....	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
5.1 CONCLUSIONES.....	55



5.2 RECOMENDACIONES .....	56
BIBLIOGRAFÍA .....	58
ANEXOS .....	63
ANEXO 1. ESPECTROS FTIR DE MUESTRAS DE ACEITE	
LUBRICANTE DE AUTOMOTOR PURIFICADO.....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. IDENTIFICACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO COMO RESIDUO PELIGROSO. ....	8
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE USADO DE AUTOMOTOR SEGÚN EL ANEXO F DE LA NORMA NTE INEN 2266 .....	8
TABLA 3. CLASIFICACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE USADO DE AUTOMOTOR SEGÚN EL SISTEMA ESTÁNDAR PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS ASOCIADOS A MATERIALES PARA LA RESPUESTA DE EMERGENCIA (NFPA 704). ....	9
TABLA 4. CLASIFICACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE USADO DE AUTOMOTOR SEGÚN EL ANEXO D DE LA NORMA NTE INEN 2266 SISTEMA GLOBALMENTE ARMONIZADO DE CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO DE PRODUCTOS QUÍMICOS “SGA”. ....	9
TABLA 5. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR .....	15
TABLA 6. FACTORES DE DETERIORO DEL ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR .....	18
TABLA 7. CONTAMINANTES COMUNMENTE ENCONTRADOS EN ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR USADOS.....	21

TABLA 8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN FINAL DE ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR USADOS.....	25
TABLA 9. PRINCIPALES MINERALES IDENTIFICADOS EN LAS MUESTRAS DE ARCILLA NATURAL Y ARCILLAS ACTIVADAS.....	43
TABLA 10. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS UV-VIS DEL ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO.....	49
TABLA 11. RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DE CLARIFICACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR USADOS.....	51
TABLA 12. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR.....	52
TABLA 13. COSTOS DE REACTIVOS EMPLEADOS EN EL PROCESO DE ACTIVACIÓN.....	53
TABLA 14. COSTOS ENERGÉTICOS EMPLEADOS EN EL PROCESO DE ACTIVACIÓN.....	53
TABLA 15. COSTOS TOTALES POR PROCESO DE ACTIVACIÓN.....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESCALA DE COLOR DE LOS ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR SEGÚN LA NORMA ASTM D1500.....	17
FIGURA 2. DIVISIÓN TÍPICA DEL MERCADO GLOBAL DE ACEITES Y GRASAS LUBRICANTE.....	19
FIGURA 3. DISPOSICIÓN FINAL DE ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR USADOS.....	24
FIGURA 4. ESQUEMA DE LAS ETAPAS DE TRATAMIENTO TÍPICAS DE UN ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR A) TRATAMIENTO CON SOLVENTE B) TRATAMIENTO CON ÁCIDO.....	27
FIGURA 5. CAMBIOS ESTRUCTURALES DADOS POR ACTIVACIÓN ÁCIDA EN BENTONITA NATURAL. (a) BENTONITA CÁLCICA NATURAL; (b) PROTONACIÓN PARCIAL; (c) PROTONACIÓN COMPLETA.....	31
FIGURA 6. PROCESO DE MANUFACTURA DE ARCILLAS ACTIVADAS.....	31
FIGURA 7. ESPECTRO FTIR DE ARCILLA NATURAL.....	39
FIGURA 8. ESPECTRO FTIR DE ARCILLA NATURAL Y DE LAS MUESTRAS ACTIVADAS CON ÁCIDO SULFÚRICO.....	40
FIGURA 9. ESPECTRO FTIR DE ARCILLA NATURAL Y DE LAS MUESTRAS ACTIVADAS CON ÁCIDO ACÉTICO.....	41
FIGURA 10. ESPECTRO FTIR DE ARCILLA NATURAL Y DE LAS	

MUESTRAS ACTIVADAS CON UNA MEZCLA DE ÁCIDO SULFÚRICO Y ACÉTICO.....	42
FIGURA 11. DIFRACTOGRAMA DE LAS MUESTRAS DE ARCILLA ACTIVADA.....	43
FIGURA 12. SEM DE LA ARCILLA NATURAL .....	45
FIGURA 13. SEM DE LA ARCILLA ACTIVADA CON ÁCIDO SULFÚRICO AL 40%.....	45
FIGURA 14. SEM DE LA ARCILLA ACTIVADA CON ÁCIDO ACÉTICO AL 40%.....	46
FIGURA 15. SEM DE LA ARCILLA ACTIVADA CON UNA MEZCLA DE ÁCIDO SULFÚRICO Y ÁCIDO ACÉTICO.....	46
FIGURA 16. ESPECTRO FTIR DE MUESTRAS DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO. SIN TRATAMIENTO (ST), TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA AL 40% (T S40), TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA CON UNA MEZCLA DE ÁCIDOS SULFÚRICO Y ACÉTICO (T MIX 40).....	48
FIGURA 17. ESPECTRO FTIR DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA CON ÁCIDO SULFÚRICO AL 20% (T S20).....	63
FIGURA 18. ESPECTRO FTIR DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA CON ÁCIDO ACÉTICO AL 20% (T C20).....	63
FIGURA 19. ESPECTRO FTIR DE ACEITE LUBRICANTE DE	

AUTOMOTOR USADO TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA CON UNA MEZCLA DE ÁCIDOS SULFÚRICO Y ACÉTICO (T MIX20).....	64
FIGURA 20. ESPECTRO FTIR DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA CON ÁCIDO SULFÚRICO AL 60% (T S60).....	64
FIGURA 21. ESPECTRO FTIR DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA CON ÁCIDO ACÉTICO AL 60% (T C60).....	65
FIGURA 22. ESPECTRO FTIR DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA CON UNA MEZCLA DE ÁCIDOS SULFÚRICO Y ACÉTICO (T MIX60).....	65

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. ESPECTROS FTIR DE MUESTRAS DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR PURIFICADO.....	63
ANEXO 2. HOJA DE SEGURIDAD PARA ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR USADOS.....	66

## SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

%	Porcentaje
DRX	Difracción de rayos X
FTIR	Fluorescencia de Infrarrojo por Transformada de Fourier
SEM	Microscopía Electrónica de Barrido
Uv-Vis	Ultravioleta visible
TAN	Número Total de ácidos
TBN	Número Total de Bases
cSt	Centistokes
°C	Grados Celsius
mg	Miligramo
µm	Micra
g	Gramo
L	Litro
mL	Mililitros
PCB's	Bifenilos policlorados
PAH's	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
PCT	Terfenilos policlorados
USD	Dólares americanos
KOH	Hidróxido potásico



## RESUMEN

El presente trabajo estudia la modificación de arcilla bentonita mediante activación ácida, para la purificación de aceites lubricantes de automotor usados.

Se realizó la activación química de muestras de arcilla bentonita natural de origen ecuatoriano con ácido sulfúrico, ácido acético y una mezcla de ambos en concentraciones del 20 al 60%, a una temperatura de 90°C durante 5 horas.

Las muestras de arcilla obtenidas en la activación fueron empleadas en el tratamiento de aceite de automotor usado, con una proporción del 25% de arcilla.

La caracterización de las arcillas se realizó mediante análisis de espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (SEM), para conocer las modificaciones estructurales y morfológicas que produce el proceso de activación ácida. En los resultados de la activación con ácido sulfúrico y en la activación con la mezcla ambos ácidos, se observó una transformación similar de la estructura de bentonita que aparece en la lixiviación de los cationes de capa intermedia.

La eficiencia de clarificación del aceite fue calculada con base en el análisis de espectroscopía Uv-Vis. La calidad de las muestras que alcanzaron la mayor eficiencia se determinó mediante los parámetros de acidez (TAN), alcalinidad (TBN) e índice de viscosidad. Dando como resultado una disminución del 80% de acidez y un 29% de alcalinidad. El índice de viscosidad pasó de 85 a 110,9 cuyo valor es ligeramente mayor al estipulado en la norma SAE 5W-40 (100,27).

La eficiencia de clarificación incrementó aproximadamente un 70% con la activación ácida de la arcilla bentonita natural. La arcilla activada con ácido sulfúrico al 40% alcanzó una eficiencia de 69,5% seguida por un 68,14% con la arcilla activada con la mezcla de ácido sulfúrico y acético.

## ABSTRACT

The present work is a study about the modification of bentonite clay by acid activation with the purpose of bleaching used motor oils.

A natural bentonite obtained from Ecuador, was treated through acid activation with sulphuric acid, acetic acid and a mix of both. Also, three different concentrations from 20% to 60% were evaluated at 90°C during 5 hours.

Activated clay samples were used to treat used oil with 25% of clay in volumes of 20 mL each one.

The clay's characterization was carried out by infrared spectroscopy with Fourier transform (FTIR), X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM), in order to know the structural and morphological changes produced by the activation process. The results shown that activation using sulfuric acid and activation with the mix of both, have a similar transformation in the bentonite structure that appears in the leaching of intermediate layer cations.

Analysis as TAN, TBN, FTIR and viscosity index were carried out to figure out the treated lubricant oil quality. The results showed a decrease of 80% of acidity and 29% of alkalinity. The viscosity index went from 85,0 to 110,9.

Bleaching yield was determined by Uv-Vis analysis. Results showed acid activation increases to 70% bleaching power. The yield achieved with activated clay using 40% sulfuric acid was 69,5% while the efficiency using the activated clay sample using the mixture of sulfuric acid and acetic acid was 68,14%.

## PRESENTACIÓN

En el presente trabajo se realizó un estudio sobre la activación ácida de arcilla bentonita de origen ecuatoriano para emplearla en la purificación de aceites de automotor usados.

El primer capítulo está constituido por introducción, antecedentes, objetivo general, objetivos específicos y justificación del trabajo.

El segundo capítulo contiene el marco teórico en el cual se aborda las generalidades sobre residuos peligrosos, el aceite lubricante, la problemática ambiental causada por la mala disposición del aceite lubricante de automotor usado, los métodos empleados para su reciclaje, el proceso de purificación de aceite de automotor usado con arcillas activadas y el proceso de activación de arcilla bentonita.

El tercer capítulo describe la metodología empleada para la activación de las muestras de arcilla y el desarrollo experimental utilizado en el estudio. Además, se describen las condiciones en las cuales se llevaron a cabo los análisis de caracterización tanto de las muestras de arcilla activada, como de las muestras de aceite lubricante de automotor usado purificado.

El cuarto capítulo muestra los resultados obtenidos en el estudio de activación ácida de la arcilla bentonita para su aplicación en el tratamiento de aceites lubricantes de automotor usados y la discusión de éstos para su evaluación respecto a estudios realizados por otros autores en estudios previos. Finalmente, se presenta un análisis de los costos que implican los procesos de activación y purificación a nivel laboratorio.

El quinto capítulo presenta las conclusiones del estudio, respondiendo a los objetivos planteados y las recomendaciones basadas en esta experiencia para futuras investigaciones.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

La industrialización ha proporcionado a la humanidad productos y beneficios sociales, pero también ha producido sustancias no deseadas (desechos) que son motivo de preocupación, pues hoy en día es conocido que las ciudades sufren los efectos de la contaminación debido a una amplia gama de sustancias que contaminan el aire, agua y suelo. Un ejemplo de este tipo de productos son los insumos utilizados en la industria automotriz (API, 2017; Kulkarni, 2017).

Los aceites lubricantes de automotor cumplen un importante papel en el funcionamiento y desempeño del vehículo, siendo uno de los productos de mayor demanda (API, 2017). En el 2015, el 52% de la demanda mundial de lubricantes (9 millones de toneladas métricas), provino de la industria automotriz (Perlangeli, 2017). En el Ecuador se venden aproximadamente 30 millones de galones de lubricantes nacionales e importados al año (APEL, 2017).

La función de los aceites lubricantes es básicamente proteger las superficies de la corrosión y desgaste, reduciendo la fricción para facilitar el movimiento de las piezas del motor. Las altas temperaturas generadas por el sistema en movimiento, degradan y disminuyen las propiedades del aceite lubricante, así como también le son conferidas partículas de polvo, metales pesados e hidrocarburos durante su uso. Todo ello conlleva a una vida útil limitada, es decir, que el aceite lubricante se convierte luego de su uso, en un residuo altamente contaminante debido a los componentes mencionados (Udonne, 2011).

Según el estudio sobre la evaluación del ciclo de vida del aceite usado realizado por el American Petroleum Institute, algunos de los beneficios más significativos en su reutilización, son: la reducción de eco toxicidad y toxicidad asociados principalmente con evitar la liberación de compuestos metálicos y orgánicos al agua y al suelo (API, 2017).

Por otro lado, también se sabe que la demanda de aceites lubricantes proyecta un incremento a futuro, el cual va de la mano con el desarrollo de nuevas tecnologías y el eminente crecimiento del parque industrial y automotriz. El incremento en la demanda no se podrá satisfacer, debido a que el aceite lubricante como derivado del petróleo, es un recurso limitado que en algunos años deberá ser sustituido. Es por ello que se prevé que la reutilización del aceite lubricante usado alcanzará un importante incremento en los próximos años y por lo tanto la comunidad científica y los gobiernos se han centrado en desarrollar procesos de recuperación eficiente y a escala industrial (Peter Komadel, 2016). La revalorización de estos residuos no solo es rentable, sino que también reduce el riesgo ambiental en gran medida. Adicionalmente, se ha comprobado que la calidad del aceite regenerado puede llegar a ser mejor que la del petróleo crudo y la demanda energética en los procedimientos de regeneración es también menor (Jafari & Hassanpour, 2014).

Por esta razón en el presente trabajo se busca estudiar la modificación de arcilla bentonita mediante activación ácida, para la purificación de aceites lubricantes de automotor usados.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Estudiar la modificación de arcilla bentonita mediante activación ácida, para la purificación de aceites lubricantes de automotor usados.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Activar la arcilla bentonita con diferentes concentraciones de ácido sulfúrico y ácido acético para incrementar sus propiedades de adsorción.
- Caracterizar la arcilla natural y activada mediante análisis de espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (SEM), para conocer las modificaciones estructurales y morfológicas que produce el proceso de activación ácida.

- Determinar la calidad de la muestra de aceite lubricante de automotor usado que presente la mayor eficiencia de clarificación, mediante los parámetros de acidez (TAN) y alcalinidad (TBN) para compararlo con la norma de aceites lubricantes SAE.
- Examinar la factibilidad económica de la aplicación de esta tecnología en la revalorización de aceites de automotor usados, mediante un análisis de costo a escala laboratorio que sirva como referencia para la toma de decisiones.

### 1.3 ALCANCE

Se ha demostrado en términos ecológicos y económicos que la purificación de aceites usados es beneficiosa. Este residuo es altamente contaminante por lo que es necesario gestionarlo de manera adecuada para evitar daños en las matrices ambientales. El aceite lubricante de automotor es un recurso de alta demanda, derivado del petróleo que es un recurso finito, por lo cual se prevé un incremento en los costos en la medida en que se agote, es así que es importante encontrar sustitutos que satisfagan la creciente demanda (Jafari & Hassanpour, 2015).

Con base en esto, el presente estudio tiene como fin mejorar la capacidad adsorbente de una arcilla natural mediante la activación ácida. De tal manera que su aplicación en la purificación de aceites de automotor usados, resulte ser una alternativa atractiva para la industria ecuatoriana, que en la actualidad está mostrando mayor interés en la reutilización de residuos (Torres, 2014).

En el 2008 el Diario “LA HORA” reportó que el Municipio Metropolitano de Quito concesionó la recolección de aceites lubricantes usados a la empresa recicladora Biofactor desde el 2004, inicialmente se recolectó 10970 galones que luego se incrementó a 108 mil galones en el 2008. Hasta la fecha se cuenta con la colaboración de aproximadamente 800 de los 1200 negocios generadores de este residuo que constan en la Dirección de Medio Ambiente del Municipio.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

En 1997 una de las consideraciones de la Conferencia Mundial del Medio Ambiente que fue celebrada en Kyoto, fue la reducción de la descarga de residuos de petróleo en el ambiente. Se estimó que menos del 45% de los residuos de aceite disponibles estaban siendo recolectados a nivel mundial y el porcentaje restante fue descargado por el usuario final en alcantarillas, cuerpos de agua, suelos o junto con otros residuos en botaderos (El-Fadel & Khoury, 2001).

Los aceites de automotor usados han sido catalogados como residuos peligrosos debido a que contienen compuestos orgánicos tóxicos como PCB's (policlorobifenilos), PAH's (hidrocarburos aromáticos policíclicos) y metales pesados (Dietz, 2016).

Una mala disposición de estos residuos puede causar la contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos; afecta la actividad microbiana, la fertilidad del suelo y a las especies animales y vegetales. Adicionalmente, al incorporarse a la cadena trófica, puede conducir a la bioacumulación y biomagnificación (Animashaun, Yekinni, & Warren, 2016).

Jafari & Hassanpour (2015), mencionan que se espera que el costo del aceite lubricante sufrirá un inminente aumento en los próximos años, debido a que se obtiene de un recurso finito no renovable como el petróleo. El reciclaje resulta una solución práctica y satisfactoria incluso en términos económicos, para controlar y prevenir los efectos de una mala gestión de este residuo, debido a que promueve la conservación de la energía y la sostenibilidad ambiental (Kulkarni, 2017).

Los procesos de purificación de aceite, de las tecnologías conocidas hasta el momento, abarcan cuatro etapas. Las cuales son: extracción de agua, desasfaltado, fraccionamiento y acabado. Básicamente la diferencia entre estos procesos es el desasfaltado y el acabado. El acabado es la etapa en la cual se eliminan algunos componentes como: cloro, nitrógeno, azufre, oxígeno, peróxidos, entre otros. Estas sustancias le confieren color al aceite y aumentan su grado de

acidez (TAN); de tal manera que al final de esta etapa el color del aceite se torna más claro y sus propiedades pueden volver a ser las de un aceite lubricante fresco (Jafari & Hassanpour, 2015).

El acabado puede realizarse utilizando materiales adsorbentes como arcilla natural, arcilla activada, sílica, carbón activado, hidrógeno (hidroacabado). La evaluación de algunas técnicas individuales para la regeneración de aceite lubricante usado, indicó que la aplicación de arcilla activada tiene un costo más bajo respecto a otras tecnologías. Sin embargo, esta alternativa genera subproductos como el lodo residual tóxico que se puede usar como materia prima para la producción de asfalto de bajo costo (Mekonnen, 2014).

Uno de los adsorbentes inorgánicos más utilizados, por su bajo costo y propiedades físico-químicas, es la arcilla de tipo bentonita cuya superficie específica y el espacio entre sus láminas puede incrementar mediante la activación (química mediante ácidos o bases, térmica o mixta), lo cual le confiere una mayor capacidad de adsorción (Emam, 2018; Inga, 2008).

La activación ácida es un tratamiento químico tradicionalmente utilizado en arcillas, típicamente bentonitas con ácido clorhídrico o sulfúrico. La arcilla resultante posee propiedades superficiales mejoradas, adecuadas para una amplia gama de aplicaciones como la clarificación de aceites, vinos, sidras, cervezas, tratamientos de agua residual, etc. Los estudios sobre la activación ácida de arcillas, son llevados a cabo comúnmente en sistemas de reacción tipo Batch por ser prácticos y adecuados para la experimentación en laboratorio (Komadel, 2016).

Los cambios deseados en las propiedades de adsorción de una bentonita, que se produce como resultado de la activación ácida dependen considerablemente de las condiciones de activación (concentración del ácido, tipo de ácido, temperatura, tiempo de contacto, relación ácido/arcilla, velocidad de mezcla, potencial hidrógeno y tamaño de partícula). Otro parámetro importante es la composición mineral de los materiales de partida al desarrollar el procedimiento de activación. Por lo tanto, es importante encontrar condiciones de operación óptimas para cada



tipo de yacimiento de bentonita disponible en una región (Motlagh, Youzbashi, & Rigi, 2011).

El uso de una arcilla activada en lugar de una arcilla natural en el proceso de reciclaje de aceites, representa algunas ventajas importantes como una significativa reducción en el volumen de lodo ácido residual como subproducto, menor pérdida de aceite en el lodo y por lo tanto una mayor factibilidad económica (Emam, 2018).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 RESIDUOS PELIGROSOS**

Un tema de especial preocupación a nivel mundial, es el de la generación y disposición final de residuos, en particular de residuos peligrosos. A medida que el mundo ha ido evolucionando, la sociedad ha ido cambiando sus esquemas de producción y consumo. La creciente demanda de recursos y la cada vez más corta vida útil con la que se están fabricando los mismos, está causando la generación de grandes volúmenes de residuos (Lane, 2011).

En el acuerdo N° 061. Reforma del libro VI de la Normativa Legal Ecuatoriana del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA). Edición especial N° 316, se definen como aquellos desechos sólidos, líquidos, gaseosos o pastosos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan algún compuesto que tenga características reactivas, inflamables, corrosivas, infecciosas, o tóxicas, que represente un riesgo para la salud humana, los recursos naturales y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales vigentes (MAE, 2019a).

Los aceites lubricantes usados son considerados como desechos peligrosos conforme lo establece el Listado No. 1 de "Desechos peligrosos por fuente específica" y el Listado No. 2 sobre "Desechos peligrosos por fuente no específica", del anexo B de los "Listados Nacionales de Sustancias Químicas Peligrosas, Desechos Peligrosos y Especiales", expedido mediante Acuerdo Ministerial No. 142 de fecha 11 de octubre de 2012, publicado en el Registro Oficial No. 856 de fecha 21 de diciembre de 2012 (MAE, 2019).

En el anexo 2 del presente documento se puede encontrar la hoja de seguridad para aceite lubricante de automotor usado.

A continuación, en las tablas 1 se presenta la identificación del aceite lubricante de automotor usado según el Acuerdo Ministerial N°142, y en las tablas 2, 3 y 4 la clasificación con sus respectivos pictogramas.

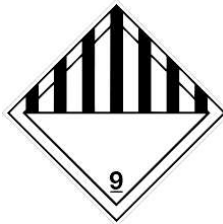
**TABLA 1. IDENTIFICACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO COMO RESIDUO PELIGROSO.**

<b>NOMBRE DEL MATERIAL</b>	<b>NOMBRE DEL TIPO DE DESECHO PELIGROSO AL QUE PERTENECE SEGÚN EL ACUERDO MINISTERIAL N°142</b>	<b>CRTIB</b>	<b>CÓDIGO MAE</b>	<b>CÓDIGO BASILEA</b>
Aceite lubricante de automotor usado	Aceites minerales usados o gastados	T, I	NE-03	Y8

FUENTE: Acuerdo Ministerial N° 142

ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

**TABLA 2. CLASIFICACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE USADO DE AUTOMOTOR SEGÚN EL ANEXO F DE LA NORMA NTE INEN 2266**

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>PICTOGRAMA</b>
<b>CLASE 9:</b> Sustancias y objetos peligrosos varios	

ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

**TABLA 3. CLASIFICACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE USADO DE AUTOMOTOR SEGÚN EL SISTEMA ESTÁNDAR PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS ASOCIADOS A MATERIALES PARA LA RESPUESTA DE EMERGENCIA (NFPA 704).**

CARACTERÍSTICAS	PICTOGRAMA
Salud: Poco peligroso Inflamabilidad: Se inflama sobre 93°C Reactividad: No reactivo	<p> <b>Escaleta de Calificación de Riesgos</b>            0 = Mínimo            1 = Ligero            2 = Moderado            3 = Serio            4 = Severo         </p>

ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

**TABLA 4. CLASIFICACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE USADO DE AUTOMOTOR SEGÚN EL ANEXO D DE LA NORMA NTE INEN 2266 SISTEMA GLOBALMENTE ARMONIZADO DE CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO DE PRODUCTOS QUÍMICOS “SGA”.**

CARACTERÍSTICAS	PICTOGRAMAS
Inflamable Tóxico Causa Irritación cutánea Peligro por aspiración Ecotóxico	<p>Peligros físicos:</p> <p>Líquidos inflamables</p> <p>Peligros para la salud humana:</p> <p>Toxicidad aguda      Irritación cutánea      CMR<sup>1)</sup>, STOT<sup>2)</sup>, Peligro por aspiración</p> <p>Peligros para el ambiente:</p> <p>Peligros para el medio ambiente</p> <p>Peligroso para el medio ambiente acuático</p>

ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

### 2.1.1 NORMATIVA LEGAL VIGENTE EN ECUADOR

La República del Ecuador cuenta con normativas vigentes para el cuidado y tratado del medio ambiente, el cual garantiza tener un ambiente sano para las personas (Padilla & Geovanny, 2015).

La normativa aplicable es la siguiente:

#### A. Constitución de la República del Ecuador

Algunos de los artículos relacionados a la gestión de desechos peligrosos son los siguientes:

- El artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.
- En el artículo 15 se establece que el Estado promoverá en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.
- El inciso primero del artículo 73 de la Constitución de la República del Ecuador como uno de los derechos de la naturaleza, determina que el Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.
- El numeral 3 del artículo 397 de la Constitución de la República del Ecuador establece que el Estado regulará la producción, importación, distribución, uso y disposición final de materiales tóxicos y peligrosos para las personas o el ambiente.

#### B. Código Orgánico del Ambiente (COA)

El artículo 235 del Código Orgánico del Ambiente señala que para la gestión integral de los residuos y desechos peligrosos y especiales, las políticas y

lineamientos, regulación y control serán establecidas por la Autoridad Ambiental Nacional, así como los mecanismos o procedimientos para la implementación de los convenios e instrumentos internacionales ratificados por el Estado.

Dada esta competencia, el Ministerio del Ambiente ha expedido los siguientes acuerdos ministeriales para la gestión de desechos peligrosos (MAE, 2019).

### C. Acuerdos Ministeriales

- Acuerdo Ministerial N° 061. Reforma del libro VI de la Normativa Legal Ecuatoriana del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA). Edición especial N° 316.

En el artículo 52 del capítulo VI “Gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, y desechos peligrosos y/o especiales”, se establecen las competencias de la Autoridad Ambiental Nacional. Algunas de esas competencias son: Expedir políticas, los instructivos, normas técnicas y demás instrumentos normativos necesarios para la aplicación del capítulo VI en concordancia con la normativa ambiental aplicable, así como los convenios internacionales relacionados con la materia; Elaborar y ejecutar programas, planes y proyectos sobre la materia, así como analizar e impulsar las iniciativas de otras instituciones tendientes a conseguir un manejo ambiental racional de residuos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales en el país y construir el inventario nacional de desechos peligrosos y/o especiales.

- Acuerdo N° 142. Listado de Sustancias Químicas Peligrosas, Desechos Peligrosos y Especiales. Registro oficial N° 856.

Este listado se divide en 3 Anexos (A, B y C), y sus respectivos listados. Fue realizado en base a documentos internacionales como el convenio de Basilea, el cual señala que un desecho es peligroso si pertenece a una de las categorías de desechos que hay que controlar presentadas en los Anexos I y II; Además si presenta cualquiera de las características de peligrosidad que se enlistan en el Anexo III del Convenio de Basilea (MAE, 2019).

- Acuerdo Ministerial N° 042. Instructivo para la aplicación de la responsabilidad extendida en la gestión integral de aceites lubricantes usados y envases vacíos. Registro oficial N° 498.

La Normativa tiene como objetivo establecer los requisitos, procedimientos y lineamientos ambientales para la implementación del principio de Responsabilidad Extendida aplicado al aceite lubricante, el cual implica su manejo adecuado en las fases de generación, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento/eliminación o disposición final.

Fue emitido el 16 de mayo del 2019, para que fabricantes de aceites lubricantes, así como lubricadoras y distribuidoras de este insumo, establezcan la empresa recicladora que se encargará del tratamiento del material (Diario La hora, 2019; MAE, 2019).

Sobre el reciclaje se ha determinado en la disposición general cuarta que el Plan de Gestión Integral de Aceite Lubricante Usado deberá cumplir con una meta de recolección del 20%, calculada sobre el total de toneladas de aceite lubricante, aceite base o aceite base regenerado, importado o fabricado durante el año previo al año de evaluación del PGI (MAE, 2019b).

Así también, se destaca que en el artículo 8 del título V “De la eliminación” se decreta que la eliminación de aceites lubricantes usados y envases vacíos se realizará bajo el principio de jerarquización, a través de los siguientes procesos mismos que deberán contar con la autorización administrativa.

1. Reuso
2. Regeneración (recuperación de materiales).
3. Coprocesamiento (valoración energética).

El aceite base producto de la regeneración deberá cumplir los estándares de calidad establecidos en la normativa aplicable emitida por el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN o el que lo reemplace (MAE, 2019b).

- Acuerdo Ministerial N° 026 “Registro de generadores de desechos peligrosos, gestión de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental y para el transporte de materiales peligrosos”. Registro Oficial N° 334.

Se establece que: " Toda persona natural o jurídica, pública o privada, que genere desechos peligrosos deberá registrarse en el Ministerio del Ambiente, de acuerdo al procedimiento de registro de generadores de desechos peligrosos".

El artículo 2, establece que toda persona natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera que preste los servicios para el manejo de desechos peligrosos en sus fases de gestión, reuso, reciclaje, tratamiento biológico, térmico, físico, químico y para desechos biológicos, coprocesamiento y disposición final, deberá cumplir con el procedimiento previo al licenciamiento ambiental para la gestión de desechos peligrosos.

El artículo 3, establece que toda persona natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera que preste los servicios de transporte de materiales peligrosos, deberá cumplir con el procedimiento previo al licenciamiento ambiental y los requisitos descritos en la normativa.

- Norma NTE INEN 2266:2013 "Transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos. Requisitos"

Esta norma establece los requisitos que se deben cumplir para el transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos. Adicionalmente, establece la clasificación de materiales peligrosos en 9 categorías.

## **2.2 ACEITE LUBRICANTE**

La lubricación es una función esencial en el mundo moderno, es por eso que existe una amplia gama de productos para cumplir con este propósito tanto en vehículos como equipos industriales (API, 2017).

La base de aceite mineral es la fracción más pequeña, estable y no volátil del petróleo crudo. Contiene principalmente moléculas de hidrocarburos y es obtenido a través de procesos de destilación o refinación con diferentes rangos de viscosidad (Mekonnen, 2014).



En tanto que un aceite lubricante es la mezcla de aproximadamente un 75% de base de aceite con diferentes aditivos que se incluyen con el fin de mejorar las propiedades del mismo (API, 2017). Este tipo de fluido es utilizado para reducir la fricción entre dos estructuras mecánicas generalmente en movimiento, para evitar así el desgaste de materiales y disminuir la energía necesaria para generar tal movimiento (Kulkarni, 2017).

### 2.2.1 FUNCIONES

Los aceites lubricantes mantienen y cuidan los mecanismos debido a que desempeña las siguientes funciones:

- a) Facilitan el movimiento de las partes, al reducir la fricción y el gasto energético.
- b) Disminuyen la temperatura, evitando el sobrecalentamiento.
- c) Evitan la corrosión de los materiales.
- d) Eliminan suciedad y residuos que interfieren negativamente en los procesos o pueden incluso causar daños (API, 2017).

### 2.1.2 PROPIEDADES

El uso del aceite lubricante está orientado principalmente al control de la fricción que previene el desgaste del material en un sistema dado y adicionalmente su resistencia a la degradación durante el servicio, con base en la cual se estima su rendimiento (Mekonnen, 2014).

Los principales parámetros de calidad se detallan en la tabla 5.

**TABLA 5. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR**

Propiedad	Base de aceite de automotor	Aceite de automotor usado	Característica
	(SAE 5W-40)	(2000- 3000 km)	
Gravedad específica (g/mL)	0,8818	0,9261	Su incremento se relaciona con compuestos aromáticos y saturados que se incorporan durante su uso.
Viscosidad 40°C (cSt)	195,62	136,6	La medida de viscosidad suele disminuir durante el consumo debido a la incorporación de sustancias extrañas y otros factores de deterioro. Lo mismo ocurre con el índice de viscosidad. A mayor índice de viscosidad, mayor es la resistencia del fluido a variar su viscosidad con la temperatura.
Viscosidad 100°C (cSt)	18	13,5	
Índice de viscosidad	100,27	89,11	
Punto de ignición (°C)	232	158	Debido a la presencia creciente de hidrocarburos durante el uso del lubricante, su valor tiende a disminuir.
Contenido de cenizas (wt%)	-	0.93	Un aceite fresco no presenta contenido de cenizas debido a que materiales extraños como polvo, metales, y todo tipo de partículas sólidas incombustibles se incorporan durante el uso del lubricante.
TAN (mg KOH/g muestra)	-	4,5	Representa los constituyentes ácidos en un aceite ya sea por los aditivos que mejoran su calidad o producto de la oxidación de los combustibles. Su valor tiende a subir debido a que la oxidación aumenta la acidez.
TBN (mg KOH/g muestra)	3,55	-	Representa los constituyentes básicos que son añadidos para neutralizar a los ácidos presentes en el aceite, su valor tiende a disminuir debido al aumento de la acidez durante el uso.

Contenido de metales (ppm)			El desgaste natural de las superficies desprende partículas de metales que se incorporan al aceite lubricante durante su uso los cuales provocan la oxidación del aceite y aumento de la acidez.
Cobre	0	4,6	
Cromo	0	1,5	
Zinc	1200	1280	
Plomo	0	14,6	
Hierro	0	72	

FUENTE: Mekonnen, 2014; Ramadass, 2015

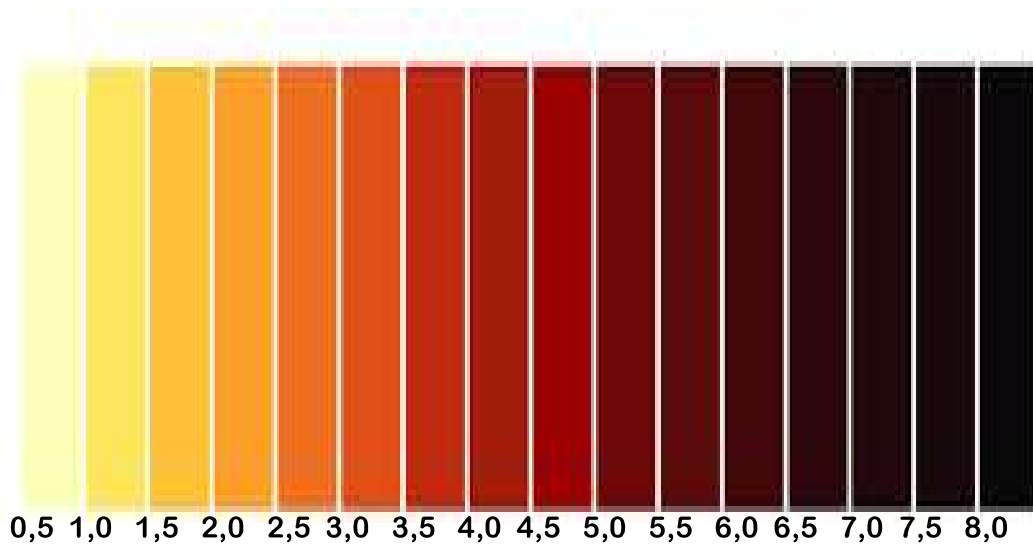
ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

**Contenido de agua.** - es inevitable que el agua se incorpore al aceite lubricante de automotor, ya sea por fugas del sistema refrigerante o por condensación atmosférica. Es considerada un contaminante en el aceite, puesto que disminuye la viscosidad y puede llegar a formar emulsiones (Torres, 2014).

**Color.**- Se considera un parámetro de calidad, puesto que refleja el estado del aceite lubricante de automotor, siendo que un aceite fresco es claro, mientras que aceite usado es oscuro (Udonne, 2011).

La escala de color de los aceites lubricantes de automotor se muestra en la figura 1.

**FIGURA 1. ESCALA DE COLOR DE LOS ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR SEGÚN LA NORMA ASTM D1500**



FUENTE: ASTM D1500

### 2.1.3 FACTORES DE DETERIORO

Para cumplir con las funciones deseadas, los aceites lubricantes de automotor son reforzados con aditivos que mejoran su calidad y le proporcionan un mayor (aunque limitado) tiempo de vida útil. Están diseñados para soportar el uso de 2000 a 5000 kilómetros de recorrido según la marca. Así mismo existen algunos factores que contaminan y deterioran la calidad del aceite de automotor durante el funcionamiento del motor. Por esta razón luego de su uso, los aceites lubricantes son evacuados del motor y se convierten en un residuo, ya que el aceite no se consume sino que adquiere impurezas (se ensucia) (Animashaun et al., 2016).

Los factores que pueden deteriorar la calidad del aceite lubricante de automotor son los descritos en la tabla 6.

**TABLA 6. FACTORES DE DETERIORO DEL ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR**

	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Temperatura</b>	Altas temperaturas provocan que el aceite lubricante de automotor se oxide, disminuyendo su viscosidad y formando ácidos insolubles capaces de dañar las superficies metálicas.
<b>Agua</b>	El vapor de agua que proviene principalmente de la atmósfera se incorpora al aceite lubricante de automotor durante su funcionamiento y a su vez, el agua también puede provenir de fugas en el sistema de refrigeración. Este factor provoca la formación de emulsiones y el desgaste de la película de lubricación dejando expuestas al desgaste a las superficies metálicas.
<b>Combustibles</b>	Causan dilución del aceite lubricante de automotor y por ende deterioro de sus propiedades. Se incorporan en el aceite al pasar por la cámara de combustión.
<b>Sólidos y polvo</b>	Algunas de las fuentes de contaminantes más comunes incluyen suciedad, arena y polvo del aire, hollín y partículas metálicas que el filtro de aceite no puede atrapar y retener. Éstas al combinarse con otros contaminantes causan más daños de los que podrían causar por separado.

FUENTE: Mekonnen, 2014; Torres, 2014

ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

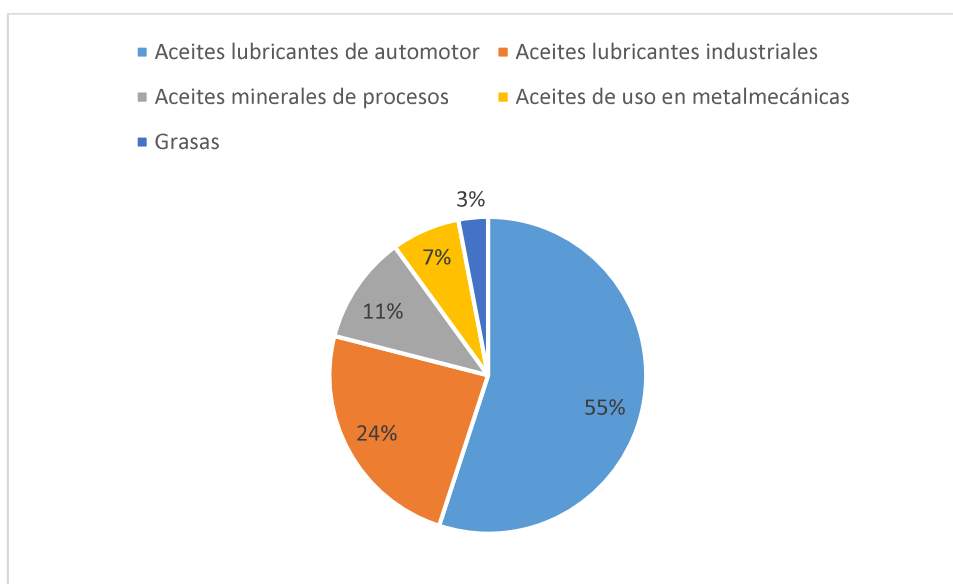
#### 2.1.4 GENERACIÓN LOCAL Y MUNDIAL

La generación de aceites lubricantes ha incrementado desde la segunda revolución industrial debido a que es un recurso que se usa en múltiples actividades de producción y transporte. El volumen generado varía dependiendo del país, así pues países con mayor población y que cuentan con una industria más desarrollada son

los mayores consumidores de aceites lubricantes y por lo tanto generadores de mayores volúmenes de este como residuo (API, 2017).

Sin embargo, en términos del mercado general, la cantidad de aceites lubricantes para automóviles (55%) frecuentemente supera a la de aceites industriales (24%) y demás, como se ilustra en la figura 2.

**FIGURA 2. DIVISIÓN TÍPICA DEL MERCADO GLOBAL DE ACEITES Y GRASAS LUBRICANTES**



FUENTE: (API, 2017)

ELABORACIÓN; Aguilar, 2019

Según el portal STATISTA, la generación mundial de aceites lubricantes desde 1998 a 2017 fue de aproximadamente 4,4 billones de toneladas métricas. Aproximadamente 9 millones de toneladas métricas de aceites lubricantes fueron consumidas por la industria automotriz en el año 2015 (Perlangeli, 2017).

Según la Asociación de Productores Ecuatorianos de Lubricantes (APEL), en Ecuador se venden aproximadamente 30 millones de galones aceites de lubricantes nacionales e importados al año (APEL, 2017).

### 2.1.5 IMPACTO AMBIENTAL

En el proceso de obtención de bases lubricantes a partir de petróleo crudo, se utilizan ácidos, solventes y compuestos aromáticos; algunas de estas sustancias que quedan como residuo en la base de aceite lubricante son considerados como agentes cancerígenos, especialmente los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH's), según la EPA. Adicionalmente los lubricantes comerciales se componen con aproximadamente un 10% de aditivos que se usan para mejorar su calidad y rendimiento como detergentes, dispersantes, sustancias para incrementar la viscosidad e inhibidores de corrosión, oxidación y espumas (Yang, 2008). Los aditivos pueden contener cadmio, zinc, calcio, plomo, nitrógeno, azufre, magnesio, fósforo y bromo (Pawlak, Urbaniak, Kaldonski, & Stryp-Rekowski, 2010). Sin embargo la toxicidad de estos es mucho más baja que la que representa un aceite lubricante de automotor usado (EUROPIA, 2003).

La US EPA (2001) ha definido el concepto de aceite lubricante de automotor usado como “cualquier base de petróleo que ha sido utilizada para la lubricación de un vehículo y como resultado del uso normal, se ha contaminado con una variedad de impurezas como lodo, polvo, agua, sustancias químicas o metales propios de la maquinaria del vehículo”.

El aceite lubricante de automotor usado es considerado como uno de los principales residuos de mayor peligrosidad en la categoría de sustancias contaminantes peligrosas debido a la cantidad y variedad de componentes tóxicos que pueden encontrarse en su composición (Ramadass et al., 2015). Algunos de los componentes tóxicos que se pueden encontrar en aceites lubricantes de automotor usados son los detallados en la tabla 7.

**TABLA 7. CONTAMINANTES COMUNMENTE ENCONTRADOS EN ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR USADOS.**

CATEGORÍA	COMPONENTE	CONCENTRACIÓN [PPM]
Metales	Cadmio	5 - 25
	Cromo	50 - 500
	Arsénico	2
	Bario	3 - 30
	Zinc	100 - 1200
	Plomo	100 - 1200
Hidrocarburos clorados	Diclorodifluorometano	1000 - 4000
	Triclorotrifluoroetano	
	Tetracloroetileno	
	1,1,1-Tricloroetano	
	Tricloroetano	
	Cloro total	
Otros componentes orgánicos	Benceno	100 - 300
	Tolueno	500 - 5000
	Xileno	
	Benzo(a)antraceno	10 - 50
	Benzo(a)pireno	5 - 20
	Naftaleno	100 - 1400
	PCB's	≤20

FUENTE: Mekonnen, 2014

ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

A menudo es el usuario final quien realiza el cambio de aceite lubricante de automotor de su vehículo, pero debido a la falta de información y control por parte de las autoridades locales, muchas veces los residuos del aceite lubricante de automotor usado son vertidos en el pavimento, alcantarillas o junto con residuos domésticos afectando directamente fuentes de agua, suelo y aire (Torres, 2014). Esto representa un gran riesgo al ambiente (Daham, AbdulRazak, Hamadi, & Mohammed, 2017).

En la actualidad se sabe que el aceite lubricantes usado de automotor puede ser dispuesto de manera informal (desechado directamente al ambiente) y/ o de manera formal (recolección organizada con fines de aprovechamiento energético o reciclaje) por parte de organismos locales (API, 2017).



El más reciente reporte de American Petroleum Institute publicado en el 2017 sobre el ciclo de vida de los lubricantes de automotor, formula varios escenarios en los cuales se plantea las diferentes alternativas de disposición final del aceite usado. El objetivo fue analizar las posibles consecuencias de un cambio en las políticas sobre la tasa de recolección de aceites lubricantes de automotor usados y la cantidad destinada a cada alternativa. De esta manera han puesto en consideración los siguientes impactos ambientales asociados:

- a) Acidificación: Cualquier cambio en el pH natural puede tener efectos perjudiciales en la vida vegetal y acuática. Elementos como azufre y nitrógeno que se incorporan al aceite lubricante de automotor durante su uso debido al contacto con los combustibles, son responsables de emitir  $SO_x$  y  $NO_x$  precursores de la lluvia ácida (API, 2017).
- b) Eutrofización: El aceite lubricante de automotor usado que se ha vertido en un cuerpo de agua, es capaz de formar una capa que evita la entrada de luz solar, lo cual inhibe el abastecimiento de oxígeno al interferir en el proceso de la fotosíntesis. Un descenso abrupto del oxígeno disuelto en presencia de nitrógeno y fósforo, conduce a la eutrofización (API, 2017; El-Fadel & Khoury, 2001).
- c) Calentamiento Global: El potencial de calentamiento global es una medida que representa el efecto ambiental adverso causado por las emisiones de gases de efecto invernadero. Tanto la producción de nuevos aceites como la re-refinación de los mismos conllevan a la emisión de dichos gases (API, 2017).
- d) Salud humana: Se conoce que dependiendo de la vía y tiempo de exposición a los aceites lubricantes de automotor usados, la salud humana puede verse afectada con tumores cancerígenos, daños a la piel como irritación, decoloración, eccemas; enfermedades respiratorias como asma, neumonía, bronquitis y también enfermedades gastrointestinales (Chandp & Kumarp, 2017).
- e) Deterioro de la capa de ozono: Los aceites lubricantes de automotor más comunes contienen compuestos volátiles como perfluoropoliétileno. Además existen otras sustancias que destruyen el ozono, como el cloro de los

compuestos clorofluorocarbonos (CFC) y el bromo de los compuestos halogenados que tienen la capacidad de disminuir la concentración de ozono en la estratosfera (API, 2017; Aranzabe & Málaga, 2004)

- f) Generación de smog: Las emisiones de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), son causantes de la generación de smog fotoquímico u ozono a nivel troposférico, el cual es causante de enfermedades respiratorias en humanos. Estos compuestos que se originan mediante la combustión, se adicionan al aceite lubricante de automotor durante su uso (API, 2017; El-Fadel & Houry, 2001).
- g) Agotamiento de recursos abióticos: La creciente demanda de materia y energía ha causado un agotamiento de recursos naturales no renovables como el petróleo, carbón, entre otros (API, 2017).
- h) Ecotoxicidad: El aceite lubricante de automotor usado contiene sustancias que han sido catalogadas como sustancias altamente tóxicas y/o cancerígenas. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), informó que 1 litro de aceite lubricante de motor usado puede contaminar 3 800.000 litros de agua dulce, así también si el aceite lubricante de automotor usado llega a las plantas de tratamiento de agua residual, concentraciones tan pequeñas como 50 a 100 ppm pueden dificultar el proceso de tratamiento (Ramadass et al., 2015).

La degradación de los suelos se da cuando los contaminantes contenidos en el aceite lubricante de automotor, entran en contacto con él y se alteran algunas de sus propiedades dando como resultado una aireación insuficiente, inmovilización de nutrientes, descenso del pH y consecuentemente alteraciones en el equilibrio biológico y su actividad enzimática normal (Shukry, Al-Hawas, Al-Moaikal, & El-Bendary, 2013). Estudios afirman que tan solo 1 litro de aceite lubricante de automotor usado puede contaminar  $3784\text{m}^2$  de suelo, causando su infertilidad por al menos 100 años (Ramadass et al., 2015).

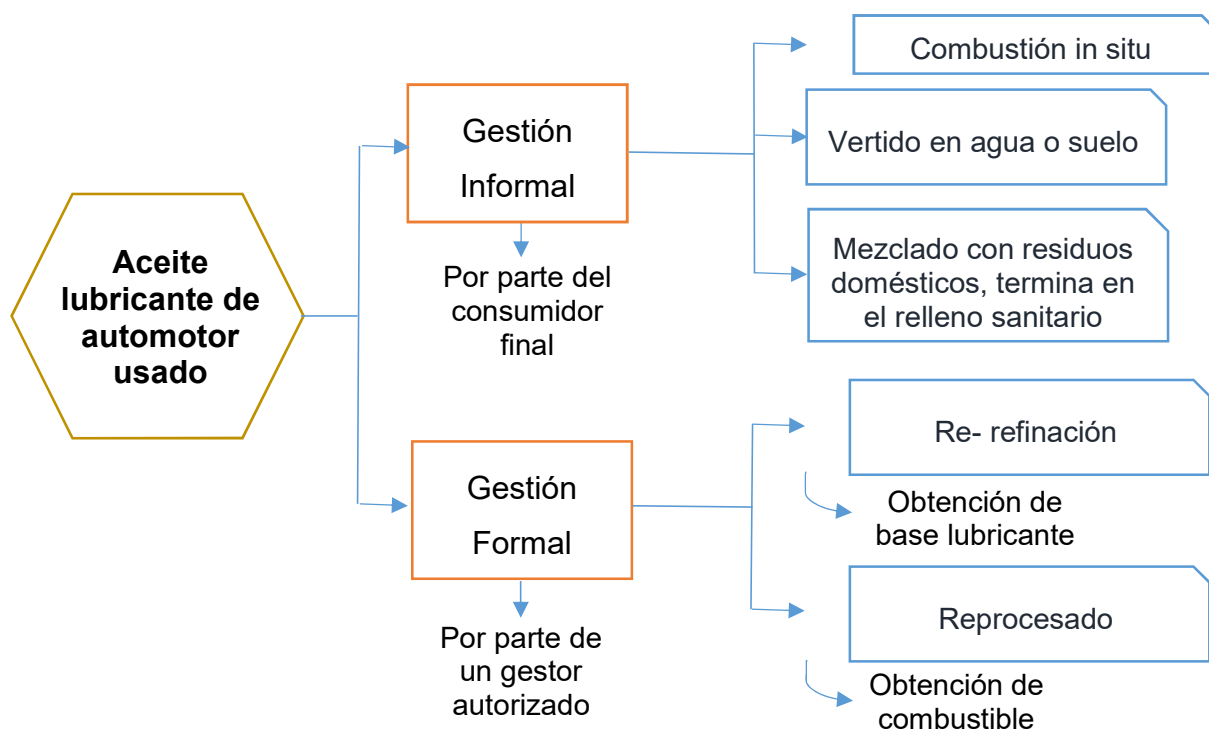
Los contaminantes del aceite lubricante de automotor usado pueden llegar a la atmósfera por evaporación o combustión inadecuada y de esta forma dichos contaminantes (persistentes y altamente tóxicos) pueden movilizarse,

lavarse con la lluvia y asentarse en otros suelos y contaminar otras fuentes de agua lejos del depósito inicial. Es por ello que la única manera de evitar que el aceite usado no contamine el agua, el suelo o el aire es asegurándose de que no se libere en el ambiente, es decir, es un residuo que requiere una gestión responsable y efectiva (Mekonnen, 2014).

### 2.1.6 ALTERNATIVAS DE USO Y DISPOSICIÓN FINAL

Actualmente el aceite lubricante de automotor usado puede disponerse según lo indicado en la figura 3.

**FIGURA 3. DISPOSICIÓN FINAL DE ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR USADOS**



FUENTE: API, 2017

ELABORACIÓN: Aguilar, J., 2019

Varios autores han analizado ventajas y desventajas de las diferentes alternativas de disposición final de los aceites lubricantes de automotor usados, señalando que una gestión informal puede causar graves impactos al ambiente como la contaminación de fuentes de agua, suelo y aire (Kulkarni, 2017).

Las ventajas y desventajas de las alternativas de disposición final de aceites lubricantes de automotor usados se detallan en la tabla 8.

**TABLA 8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN FINAL DE ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR USADOS.**

<b>TÉCNICA</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Re- refinado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce la demanda de petróleo para la producción de nuevos aceites lubricantes.</li> <li>• Solución ecológica permanente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requieren altas inversiones para el desarrollo de sistemas de recolección y tecnologías de producción.</li> <li>• Subproductos tóxicos requieren tratamiento costoso a menos de que se incorporen como material para asfaltado.</li> </ul>
Reprocesado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectivo para la sustitución de combustibles fósiles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requieren altas inversiones para el desarrollo de sistemas de recolección y tecnologías de producción.</li> <li>• Subproductos tóxicos que requieren tratamiento costoso</li> </ul>
Coprocesamiento en hornos cementeros.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alternativa idónea para tratar aceites lubricantes de automotor que presenten concentraciones de PCB mayores a 5 ppm y menores de 50 ppm.</li> <li>• Genera un recurso energético de bajo costo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisión de gases tóxicos que requieren tratamiento.</li> </ul>
Incineración	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alternativa idónea para el tratamiento de aceites lubricantes de automotor usados que contienen PCB's en concentraciones mayores de 5ppm y menor a 50ppm. Las instalaciones de incineración deben ser cuidadosamente monitoreadas para asegurar la destrucción total (99,99%) de estos compuestos, minimizando la generación de dioxinas y furanos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisión de gases tóxicos que requieren tratamiento.</li> </ul>

FUENTE: Animashaun, 2016; Diphare, 2013, MAE, 2019

ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

Buscando dar respuesta a los problemas ambientales y económicos que se presentan en la gestión de aceites lubricantes, existe una creciente tendencia en el reciclaje de los mismos tanto para su reutilización como para re-refinado.

Diario El Comercio señaló en septiembre del 2018, que los cabildos de Cuenca, Ambato, Quito, Ibarra y Orellana, el Gobierno Provincial de Tungurahua y empresas como ETAPA, Oxivida, Biofactor, Geocycle, Holcim, Arc y Piper, Cementos Chimborazo, entre otros, son gestores ambientales que reciclan aceites lubricantes de automotor usado. Únicamente la capital azuaya tiene licencia ambiental para el tratamiento. Por el momento No se ha desarrollado un estudio que determine el volumen total del aceite usado que se recolecta en el país. Para el año 2018, Etapa registró una recolección de 35 mil galones mensuales por parte de 1300 lavadoras, mecánicas, vulcanizadoras e industrias. Dicha cifra representa el 55% de aceite lubricante de automotor que se utiliza en la ciudad de Cuenca.

Se estima que 1 litro de aceite residual usado como combustible es capaz de generar al menos 8000 KJ de energía, suficientes para encender un foco de 100 W durante 24 horas. Sin embargo, esta alternativa tiene la desventaja de generar gran cantidad de gases tóxicos. Únicamente cuando el aceite presenta concentraciones altas de contaminantes como bifenilos policlorados (PCB) y terfenilos policlorados (PCT), la incineración controlada a alta temperatura en fábricas de cemento puede ser la mejor alternativa, puesto que una temperatura de 2000 °C es suficiente para destruir los compuestos orgánicos y neutralizar los compuestos ácidos (Diphare, Muzenda, Pilusa, & Mollagee, 2013).

Algunos reportes afirman que de 3,8 L de aceite usado se pueden obtener 2,3 L de aceite lubricante base, en contraste 150 kg de petróleo crudo pueden contener solo 1,9 kg de aceite base, lo cual demostraría que la re-refinación es una alternativa que representa beneficios económicos notables (Pelitli, Dogan, & Koroglu, 2017).

La premisa es reutilizar los recursos tanto como sea posible, y es por eso que muchos investigadores se han dedicado a mejorar las técnicas de re-refinado ya conocidas, pues la mayoría coincide en que la re-refinación del aceite lubricante usado es la mejor opción debido a que además de evitar la contaminación también disminuye la demanda de recursos no renovables como el petróleo (Kulkarni, 2017).

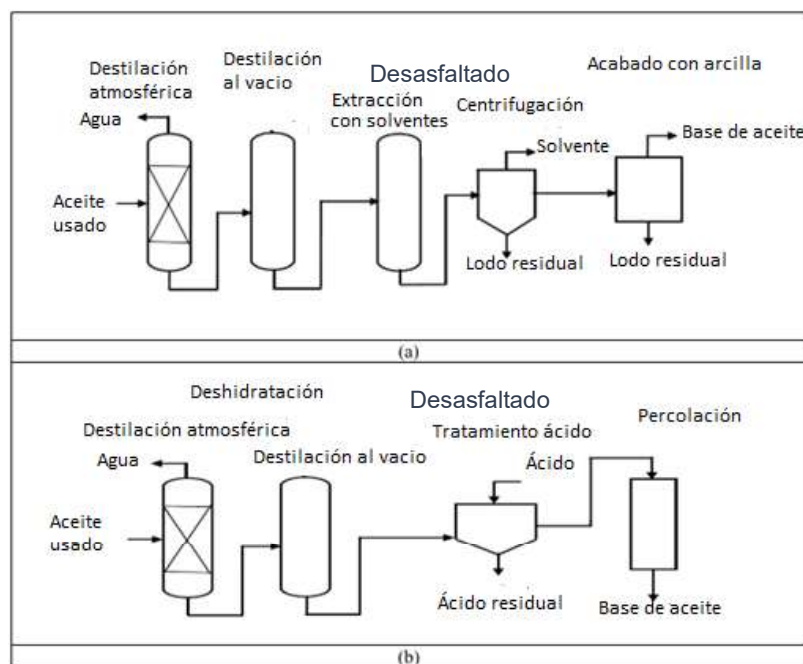
## 2.2 MÉTODOS PARA EL RECICLAJE DE ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR USADOS

En la actualidad se dispone de algunos tipos de tecnologías para el reciclaje de aceites lubricantes de automotor usados tales como:

- Proceso de destilación con ácido
- Proceso de destilación simple
- Desasfaltado por disolventes o térmico
- Evaporación de capa delgada

En la figura 4 se presenta un esquema de las etapas del proceso de purificación de aceite lubricante de automotor usado.

**FIGURA 4. ESQUEMA DE LAS ETAPAS DE TRATAMIENTO TÍPICAS DE UN ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO a) TRATAMIENTO CON SOLVENTE b) TRATAMIENTO CON ÁCIDO.**



FUENTE: Animashaun, 2016

Los procesos por destilación atmosférica y destilación al vacío tienen como fin la extracción de agua e hidrocarburos livianos que se han incorporado al aceite lubricante de automotor durante su uso, se llevan a cabo con base en las

propiedades físicas de tales sustancias normalmente a altas temperaturas (350 °C) y presiones bajas (0,5 bar) (Mekonnen, 2014).

Así también, se pueden presentar otras sustancias extrañas en estado sólido como partículas metálicas propias del sistema mecánico y otros productos que se forman gracias a los aditivos como ácidos orgánicos, hidrocarburos aromáticos condensados, mercaptanos, asfaltenos y resinas de petróleo. El proceso de remoción de esta gama de sustancias se denomina desasfaltado o extracción de lodo y comúnmente se lleva a cabo con el uso de agentes disolventes como el ácido sulfúrico o evaporación por capa delgada. En la figura 4 este proceso representa la etapa de “Tratamiento ácido” y “centrifugación” (Mekonnen, 2014).

El fraccionamiento es un proceso físico que se aplica para separar los componentes de interés que se encuentran en el aceite residual, así pues se puede obtener base de aceite mineral puro (Jafari & Hassanpour, 2015).

El acabado es la etapa en la cual se eliminan algunos componentes como cloro, nitrógeno, azufre, oxígeno, peróxidos, entre otros, que le confieren color y olor indeseable al aceite y que además aumentan su grado de acidez (TAN). De tal manera que al final de esta etapa el color del aceite se torna más claro y sus propiedades pueden volver a ser las de un aceite lubricante fresco (Jafari & Hassanpour, 2015; Regional Activity Centre for Cleaner Production, 2000).

El proceso de acabado puede realizarse utilizando materiales adsorbentes como sílica, carbón activado, hidrógeno (hidroacabado), arcilla natural o arcilla activada (P. Komadel, 2016).

La evaluación de algunas técnicas individuales para la regeneración de aceite lubricante usado, indicó que la aplicación de arcillas activadas tiene un costo más bajo respecto a otras tecnologías. Sin embargo, al utilizar arcilla activada el lodo producido es tóxico pero se puede usar como materia prima para la producción de asfalto de bajo costo o como combustible (Jafari & Hassanpour, 2015).

### **2.3 PROCESO DE PURIFICACIÓN DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO CON ARCILLA ACTIVADA**

El proceso de acabado o neutralización tiene por objeto la clarificación y deodorización del aceite reciclado para poder disponerlo en el mercado. Se trata de un proceso sencillo que consiste en calentar el aceite para disminuir su viscosidad a temperaturas que van de los 60 °C a los 170 °C y mezclarlo con la cantidad de adsorbente apropiado durante aproximadamente 30 minutos con agitación constante. Finalmente se retira el lodo mediante la filtración de la mezcla para obtener la base de aceite lubricante deseada (Mekonnen, 2014).

Uno de los adsorbentes inorgánicos más utilizados, por su bajo costo y propiedades físico-químicas, es la arcilla de tipo bentonita, cuya superficie específica y el espacio entre sus láminas pueden llegar a incrementarse mediante la activación ácida, confiriéndole una gran capacidad de adsorción. Se utilizan ampliamente en la industria de refinación del petróleo para procesos de blanqueo, eliminación de azufre, metales pesados e hidrocarburos livianos (Emam, 2018).

Salem et. al. (2015) obtuvieron resultados prometedores relacionados con la reducción del uso de materiales adsorbentes en la regeneración del aceite lubricante de automotor usado, pues investigaron en detalle los tratamientos típicos y utilizaron adsorbentes nano porosos producidos mediante tratamiento ácido de arcillas naturales con ácido sulfúrico y ácido nítrico.

Otros autores como Oduola y Kwonna investigaron la eficiencia de remoción de metales pesados en aceite usado de automotor, mediante el uso de arcilla activada con ácido sulfúrico, encontrando que la adsorción con arcilla activada con ácido mejoró las propiedades físico-químicas del aceite lubricante al aumentar la densidad, la viscosidad, el punto de fluidez, el punto de inflamación y disminuir la acidez (TAN), la humedad y el contenido de azufre (Emam, 2018).

Kovo et. al (2016) en su estudio sobre la aplicación de arcillas naturales vs arcillas activadas en el proceso de purificación de aceite usado reportó que las arcillas activadas con ácido sulfúrico lograron incrementar en un 436,7% su capacidad



adsorbente. La eficiencia alcanzada en la purificación fue de 66,28% con arcilla activada en comparación con la arcilla natural que alcanzó una eficiencia del 40%.

### 2.3.2 ACTIVACIÓN ÁCIDA DE ARCILLAS

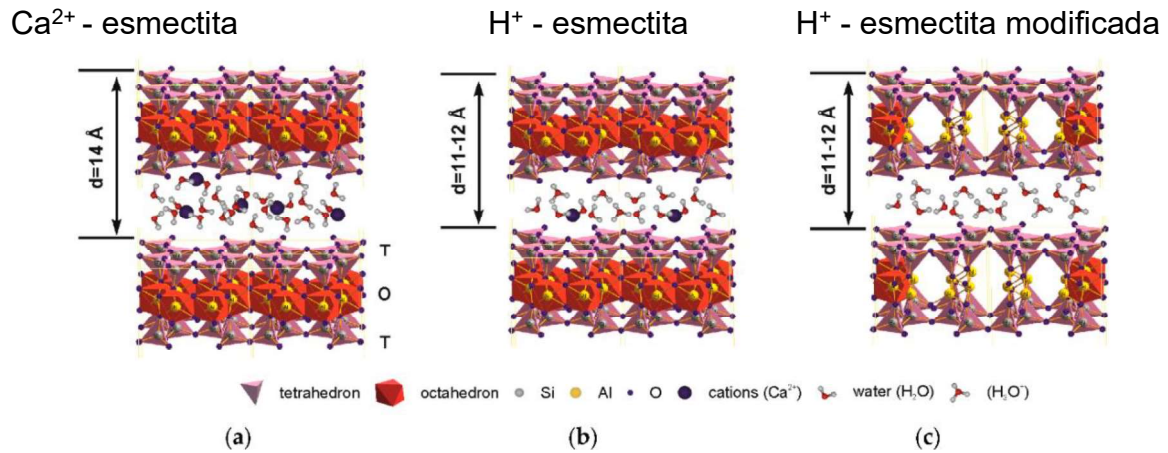
Se denomina “activación” a los diferentes métodos físicos o químicos aplicados en ciertos tipos de arcillas con el objeto de mejorar su capacidad adsorbente (Ujeneza, 2014). Uno de los métodos más comúnmente empleados en la modificación de arcillas es el método de activación ácida, tanto para fines científicos como industriales (P. Komadel & Madejová, 2006).

De los minerales arcillosos conocidos, la arcilla bentonita es uno de los que se puede encontrar en mayor abundancia en la naturaleza, lo cual ha hecho de éste un material útil y de bajo costo para una gran variedad de aplicaciones industriales desde hace décadas (P. Komadel, 2016).

El rendimiento de la bentonita natural como adsorbente, está determinado por el contenido y el tipo de esmectita (composición, tamaño de partícula, etc.), así como por el tipo y la cantidad de otros minerales como el cuarzo y la cristobalita. Cuando la purificación de la bentonita está completa y los minerales no esmectíticos se eliminan de manera efectiva, las propiedades de la bentonita purificada se pueden determinar por aspectos químicos como la capacidad de intercambio catiónico, el tipo de catión de capa intermedia, el tipo de sustitución isomorfa y el tamaño de partícula de la esmectita (Hayakawa, Minase, Fujita, & Ogawa, 2016).

Las esmectitas son silicatos de aluminio hidratados que consisten en una lámina octaédrica central colocada entre dos láminas de silicio tetraédricas, que se mantienen sueltas con cationes de capa intermedia que compensan la carga. Por lo general, la arcilla bentonita se trata con ácidos inorgánicos para reemplazar los cationes de calcio o sodio con iones de hidrógeno (protonación) y para lixiviar los cationes férricos, ferrosos, de aluminio y magnesio, lo que altera las capas de esmectita y aumenta el área de superficie específica y su porosidad, como se ve en la figura 5 (Taxiarchou & Douni, 2014).

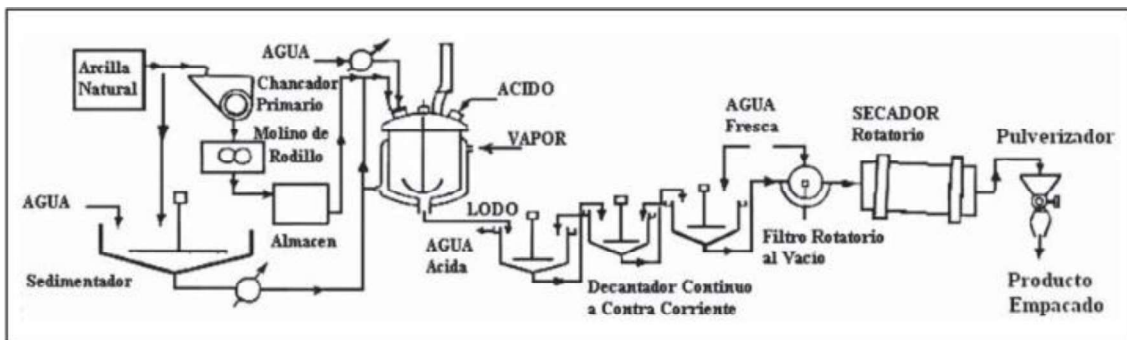
**FIGURA 5. CAMBIOS ESTRUCTURALES DADOS POR ACTIVACIÓN ÁCIDA EN BENTONITA NATURAL. (a) BENTONITA CÁLCICA NATURAL; (b) PROTONACIÓN PARCIAL; (c) PROTONACIÓN COMPLETA**



FUENTE: Belousov et. al, 2017

Para llevar a cabo el proceso de activación industrial mostrado en la figura 6, generalmente la arcilla es triturada y lavada para retirar impurezas como arena, hojas, raíces, etc. Luego es tamizada para procurar un tamaño de partícula homogéneo (comúnmente 75 µm) antes de ser mezclada con ácidos y agua bajo calentamiento durante varias horas. Finalmente el lodo es filtrado, secado y triturado nuevamente para su disposición en el mercado (Ujeneza, 2014).

**FIGURA 6. PROCESO DE MANUFACTURA DE ARCILLAS ACTIVADAS**



FUENTE: Romero, 2010

### 2.3.2.1 Parámetros que influyen en el proceso de activación

Komadel (2016) explica en su reseña que se ha demostrado en diversos estudios que los parámetros que influyen en el proceso de activación son:

- Composición mineral de la arcilla natural: Es preferible un contenido de al menos 60% de esmectita en la bentonita.
- Tipo de ácido: Generalmente inorgánicos fuertes como  $\text{H}_2\text{SO}_4$  o  $\text{HCl}$ .
- Concentración del ácido: Tan altas como 7 M o tan bajas como 0,25 M pueden lograr incrementar la capacidad de adsorción de la arcilla. Sin embargo, dependiendo de sus particularidades una cantidad excesiva puede dañar las láminas.
- Temperatura: En un rango de 25 °C a 500 °C
- Tiempo de contacto: Desde 2 horas hasta 7 días dependiendo de cuan bueno sea el contacto del ácido con la arcilla para que se dé la reacción.
- Tamaño de partícula: Las partículas más pequeñas muestran mejor rendimiento

Aunque los ácidos inorgánicos fuertes son mayormente empleados en procesos de activación, algunos investigadores han estudiado la posibilidad de usar ácidos orgánicos como ácido oxálico o ácido acético, etc., debido a que durante la lixiviación se forman complejos solubles que pueden descomponerse fácilmente en  $\text{CO}_2$  microbiológica y fotoquímicamente bajo el efecto de la luz solar. Además los ácidos orgánicos son generalmente más fáciles de manejar por ser ácidos débiles (Taxiarchou & Douni, 2014).

A pesar de numerosos estudios, no existe una relación definida entre el rendimiento de la arcilla activada con ácido y la composición o propiedades de la arcilla original. Por lo tanto, cada arcilla tiene que ser específicamente activada y probada para su desempeño (Ujeneza, 2014). Pues en efecto, varios investigadores han demostrado que una mayor área superficial no necesariamente asegura una mayor capacidad de adsorción, ya que ésta depende fuertemente del tipo de sustancia a tratar (Didi, Makhoukhi, Azzouz, & Villemin, 2009).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

Para la realización del presente estudio se utilizó una metodología experimental con base en estudios previos de modificación química de arcillas. Consistió en la preparación de diferentes muestras de arcilla activadas con ácido sulfúrico y acético en concentraciones del 20% al 60% en p/v. También se utilizó una mezcla de ambos ácidos, para posteriormente comprobar su eficiencia al emplearlas en el proceso de purificación de aceite de automotor usado.

La arcilla utilizada se obtuvo de un yacimiento ecuatoriano y el aceite lubricante de automotor usado de una empresa recicladora local. La muestra de aceite empleada pasó por las tres primeras etapas de tratamiento para la obtención de base lubricante de manera que estaba lista para ser tratada con arcillas activadas.

#### **3.1 ACTIVACIÓN ÁCIDA DE ARCILLA**

##### 3.1.1 ACTIVACIÓN CON ÁCIDO SULFÚRICO, ÁCIDO ACÉTICO Y MEZCLA

La arcilla se lavó durante 30 minutos con agua destilada para retirar posibles impurezas como arena, ramas o raíces. Luego se secó a 105 °C durante 16 horas, posteriormente fue triturada en un molino de cuchillas y se tamizó con un tamiz de malla #200 (75 µm) (Abu-Ellella, Ossman, Farouq, & Abd-Elfatah, 2015).

El proceso de activación se llevó a cabo en muestras de 30 g de la arcilla previamente lavada, cada una se colocó en vasos de precipitación con una proporción de agua destilada 1:10 (Aziz, Abdullah, & Jubrael, 2011).

Luego se añadió en cada muestra ácido sulfúrico 97%, ácido acético 99% y la mezcla de ambos respectivamente. Las muestras se prepararon en concentraciones del 20%, 40% y 60% en volumen de ácido/ peso de arcilla, a una temperatura de 90 °C y agitación de 400 rpm durante 5 horas en una plancha de

agitación y calentamiento marca Thermo Scientific (Bhattacharyya, SenGupta, & Sarma, 2014; Didi et al., 2009).

Finalmente, cada muestra se centrifugó a 3500 rpm durante 30 minutos para remover el sobrenadante, mientras que la arcilla se colocó en una estufa a 105 °C durante 16 horas para ser secada, triturada y tamizada nuevamente con un tamiz de malla #200 (Abu-Ellella et al., 2015).

## **3.2 CARACTERIZACIÓN ARCILLA**

### **3.2.1 ANÁLISIS FTIR**

Una muestra de la arcilla natural y cada una de las muestras de arcilla activada fueron analizadas por Espectrofotometría de Infrarrojo por Transformadas de Fourier (FTIR por sus siglas en inglés), con el fin de conocer los cambios producidos por efecto de la activación ácida.

Los análisis se realizaron en un equipo marca Perkin Elmer, Modelo Spectrum 100/Spotlight 200 en un rango de longitud de onda de 4000 a 500  $\text{cm}^{-1}$ .

### **3.2.2 ANÁLISIS DRX**

Las arcillas activadas que presentaron mayor eficiencia en el proceso de clarificación del aceite lubricante de automotor usado y una muestra de arcilla natural, se analizaron mediante Difractometría de Rayos X (DRX), para conocer los cambios en la composición de cada muestra luego de la activación.

Los análisis se realizaron en un equipo Difractómetro marca PANalytical modelo EMPYREAN, con las siguientes condiciones de operación:

- Configuración  $\theta - 2\theta$  (geometría Bragg-Brentano).
- Tubo de rayos X de cobre ( $K\alpha - \lambda = 1.54056 \text{ \AA}$ ) a 45 kV y 40 mA.
- El análisis del difractograma se realizó sobre el promedio de cuatro mediciones entre los ángulos 5° a 90° ( $\theta - 2\theta$ ) utilizando el software High Score Plus.

### 3.2.3 ANÁLISIS SEM

Se realizaron análisis de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM por sus siglas en inglés) para conocer la morfología de las superficies de cada una de las muestras de arcilla activada y compararlas con la arcilla natural.

Este análisis se llevó a cabo en un microscopio electrónico de barrido marca ASPEX, modelo PSEM eXpress con un rango de detección de 500 nm a 5 mm.

## **3.3 PURIFICACIÓN DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO**

El procedimiento de purificación del aceite lubricante de automotor usado se realizó de la siguiente manera: Cada muestra con un volumen de 20 mL de aceite se colocó en vasos de precipitación, sobre una plancha de calentamiento y agitación. Las muestras se calentaron hasta los 90 °C con agitación constante a 200 rpm. Luego se colocó una muestra de arcilla en una proporción del 25% respecto al volumen de aceite. La temperatura se incrementó hasta alcanzar los 160 °C durante un tiempo aproximado de 12 minutos y finalmente se filtró la muestra utilizando papel filtro de porosidad media (Mekonnen, 2014; SUD-CHEMIE, 2009).

Los ensayos de clarificación del aceite se hicieron por duplicado.

## **3.4 CARACTERIZACIÓN DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR PURIFICADO**

### 3.4.1 ANÁLISIS FTIR

Se realizaron análisis de Espectrofotometría de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) a cada una de las muestras de aceite lubricante de automotor purificado para conocer los cambios en la composición molecular de la bentonita activada.

Los análisis se realizaron en un equipo marca Perkin Elmer, Modelo Spectrum 100/Spotlight 200 en un rango de longitud de onda de 4000 a 500  $\text{cm}^{-1}$ .

### 3.4.2 ANÁLISIS Uv-Vis

Las muestras de aceite lubricante de automotor purificado fueron analizadas mediante espectrofotometría Uv-Vis para conocer la eficiencia de clarificación de cada muestra de arcilla.

Para el análisis las muestras fueron previamente diluidas en hexano en una proporción de 1:10.

El análisis de absorción fue llevado a cabo en un espectrofotómetro SPECORD 210 PLUS – 223F2101C.

### 3.4.3 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE CLARIFICACIÓN

Para realizar el cálculo de la eficiencia de clarificación de las arcillas, se tomaron en cuenta los resultados de las mediciones de absorción Uv-Vis que se realizaron en las muestras de aceite lubricante de automotor tratadas, mediante la ecuación 1 tomada de estudios previos, Aziz (2011).

$$R = \frac{AB_0 - AB_F}{AB_0} \times 100 \quad (1)$$

En donde:

R es el porcentaje de eficiencia calculado

AB<sub>0</sub> representa la cantidad de luz absorbida por la muestra de aceite lubricante de automotor usado sin tratamiento.

AB<sub>F</sub> representa la cantidad de luz absorbida por la muestra de aceite lubricante de automotor usado tratada con arcilla activada.

### 3.4.4 ANÁLISIS VISCOSIDAD, TAN Y TBN

Se realizaron análisis de viscosidad, TAN y TBN de las muestras de aceite lubricante de automotor usado tratadas que mostraron una mayor clarificación.

Los análisis se realizaron en un equipo portátil de espectrofotometría de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), que calcula los resultados de sus mediciones mediante la comparación de su base de datos ASTM. El equipo utilizado pertenece a la marca ERALYTICS, modelo ERASPEC OIL.

### **3.5 ANÁLISIS ECONÓMICO**

Dentro del análisis económico se tomaron en cuenta las condiciones con las que se obtuvo mejor rendimiento en la clarificación.

El cálculo del costo de la producción de arcilla activada se basó en la relación de volumen de ácido empleado por 100 g de arcilla y la energía empleada durante el proceso se calculó con base en las especificaciones de cada equipo, tomando en cuenta el precio de kilovatio por hora a nivel industrial para sistemas de media tensión que es de 0,0897 USD (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018).



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ARCILLA

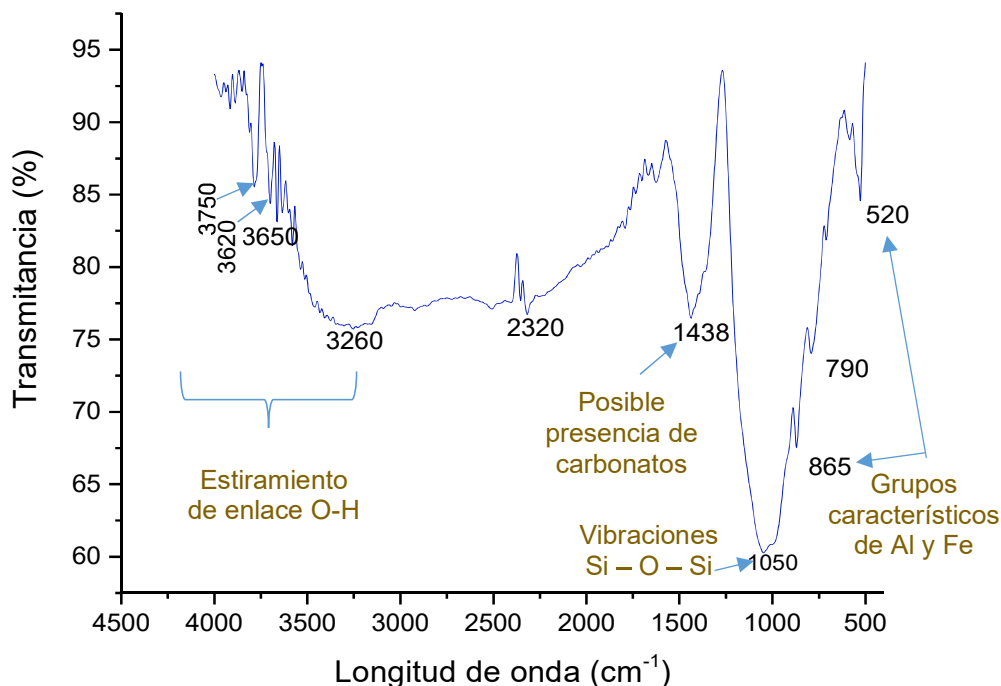
##### 4.1.1 ANÁLISIS FTIR

###### a) ARCILLA BENTONITA NATURAL

En la figura 7 se observa el espectro FTIR en el rango de 4500 a 450  $\text{cm}^{-1}$  de una muestra de arcilla natural, la cual indica las bandas relacionadas con el esqueleto básico de la bentonita. En la primera zona (3750  $\text{cm}^{-1}$  a 3100  $\text{cm}^{-1}$ ) se puede encontrar la región característica de estiramientos del enlace O – H que se encuentra entre las láminas tetraédricas y octaédricas (Bhattacharyya et al., 2014; Motlagh et al., 2011). El pico en la banda 3620  $\text{cm}^{-1}$  se puede atribuir al estiramiento de enlaces O-H en sitios  $\text{Al}_2\text{OH}$  estructurales de esmectitas dioctaédricas, es decir, de esmectitas o montmorillonitas ricas en aluminio. La señal 3650  $\text{cm}^{-1}$  podría pertenecer al estiramiento del enlace O – H estructural en la red de caolinita, lo que confirma la presencia de este mineral como impureza (Torres, Carriazo, & Sanabria, 2013). Así pues, también se puede notar un gran estiramiento en la banda de 1050  $\text{cm}^{-1}$  asociada a las vibraciones de Si – O – Si grupo característico de la arcilla bentonita (Belousov et al., 2017).

Otros importantes grupos característicos de la arcilla bentonita que se encontraron, son los asociados a la banda de 1438  $\text{cm}^{-1}$ , que se puede asignar a la presencia de carbonatos (Motawie et al., 2014). En el espectro se puede notar la presencia de un pico en la banda 790  $\text{cm}^{-1}$ , la cual se asocia a cristobalita (Motlagh et al., 2011). Además, el pico de la banda 865  $\text{cm}^{-1}$  se asigna a la presencia del grupo  $\text{AlFeOH}$  que hace constancia de la existencia de los cationes de hierro y aluminio inmersos en la estructura molecular y finalmente se evidencia un pico en la banda 520  $\text{cm}^{-1}$  que indica la presencia de grupos Al – O – Si (Motlagh et al., 2011; Torres et al., 2013).

**FIGURA 7. ESPECTRO FTIR DE ARCILLA NATURAL**

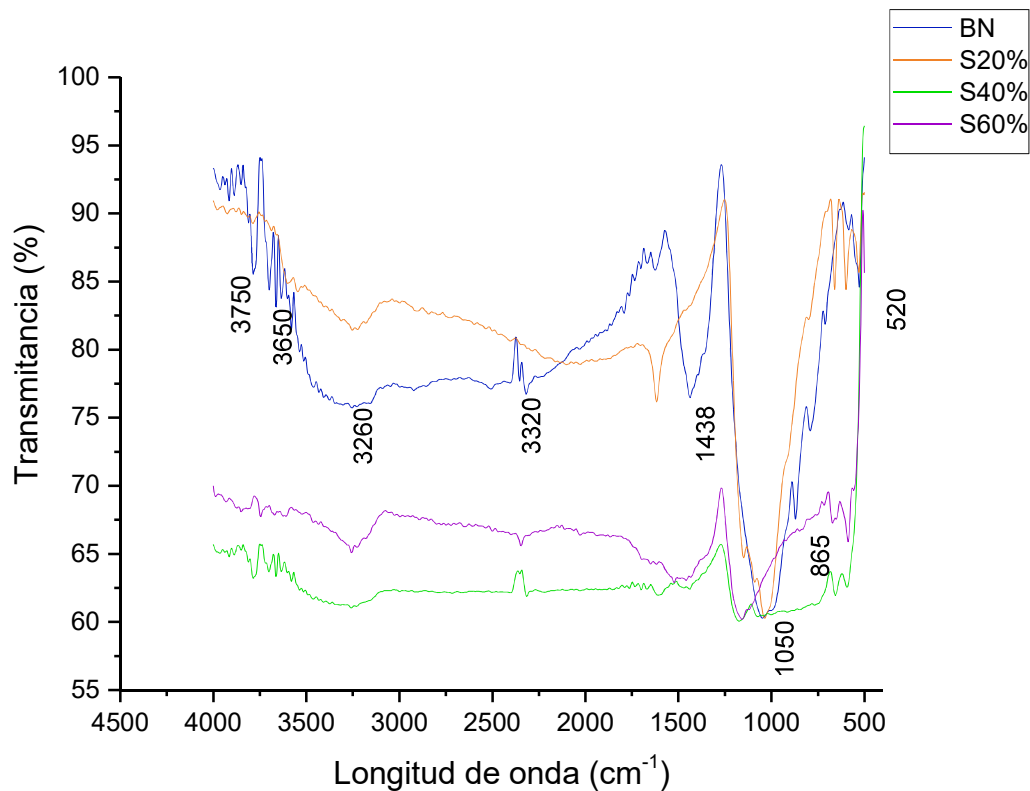


#### b) ACTIVACIÓN CON ÁCIDO SULFÚRICO

En la figura 8 se muestran los espectros FTIR de las muestras activadas con ácido sulfúrico en diferentes concentraciones en comparación con el espectro FTIR de la arcilla natural que se usó como material de partida. Se observa que en las muestras en las que se empleó un 40% y 60% de ácido para su activación (S40% y S60%) han disminuido la intensidad en las bandas características de la estructura de la arcilla, lo cual refleja un cambio estructural como consecuencia del ataque ácido. Estos resultados sugieren la disminución significativa de cationes que forman parte de la capa octaédrica, lo cual causa la pérdida de agua y de grupos hidroxilo (3750 cm<sup>-1</sup> a 3100 cm<sup>-1</sup>) (Motlagh et al., 2011). La disminución en la intensidad de la banda 1438 cm<sup>-1</sup> evidencia la pérdida de carbonatos (Motawie et al., 2014). La persistencia de la banda 1050 cm<sup>-1</sup> para las muestras S20% y S40% indica que la capa estructural de la arcilla original no ha sido completamente destruida, no así para la muestra S60% que no presenta un pico pronunciado en dicha banda (Motlagh et al., 2011).

Se evidencia también el decremento de la intensidad de las bandas entre  $865\text{ cm}^{-1}$  y  $520\text{ cm}^{-1}$  lo cual sugiere que han sido desplazados los iones de Fe y Al de la estructura de las muestras S40% y S60% (Motlagh et al., 2011; Torres et al., 2013).

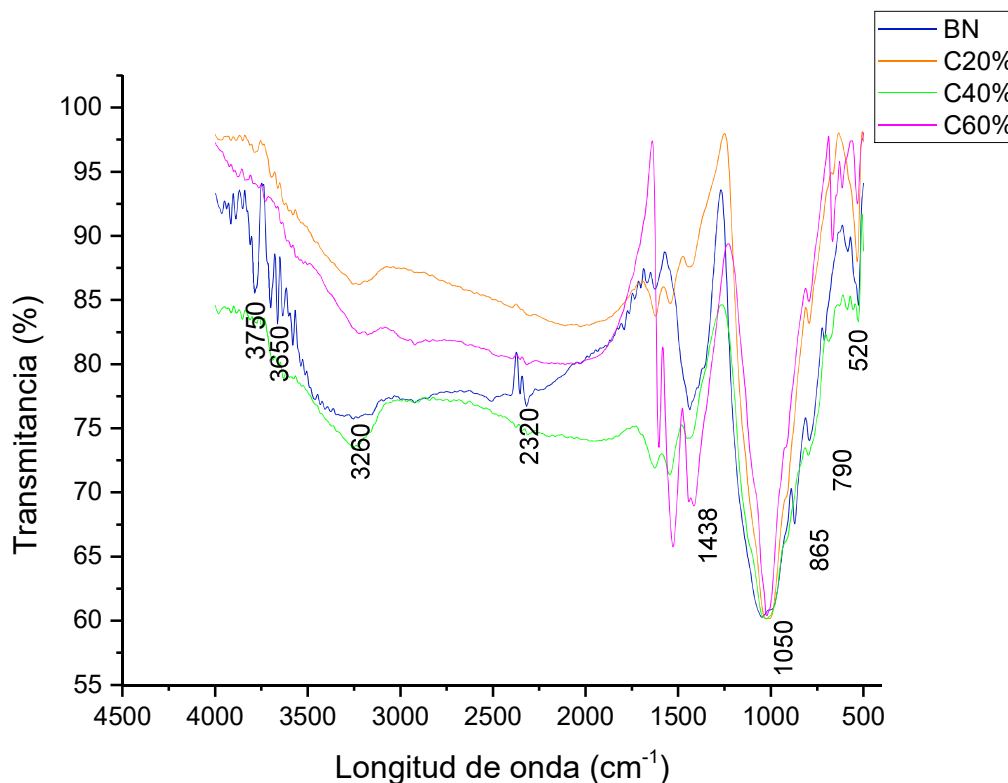
**FIGURA 8. ESPECTRO FTIR DE ARCILLA NATURAL Y DE LAS MUESTRAS ACTIVADAS CON ÁCIDO SULFÚRICO**



### c) ACTIVACIÓN CON ÁCIDO ACÉTICO

Los espectros FTIR de las muestras activadas con ácido acético se muestran en la figura 9, en la que se evidencia que el ataque ácido no ha producido cambios importantes en la estructura morfológica de la arcilla original. Únicamente existe una disminución significativa en la intensidad de la banda  $1438\text{ cm}^{-1}$  para las muestras C40% y C60%, lo cual indica el agotamiento de carbonatos presentes, en cambio en el espectro de la muestra C20% esta banda muestra una disminución mucho más pequeña que la de las otras muestras. (Motawie et al., 2014).

**FIGURA 9. ESPECTRO FTIR DE ARCILLA NATURAL Y DE LAS MUESTRAS ACTIVADAS CON ÁCIDO ACÉTICO**



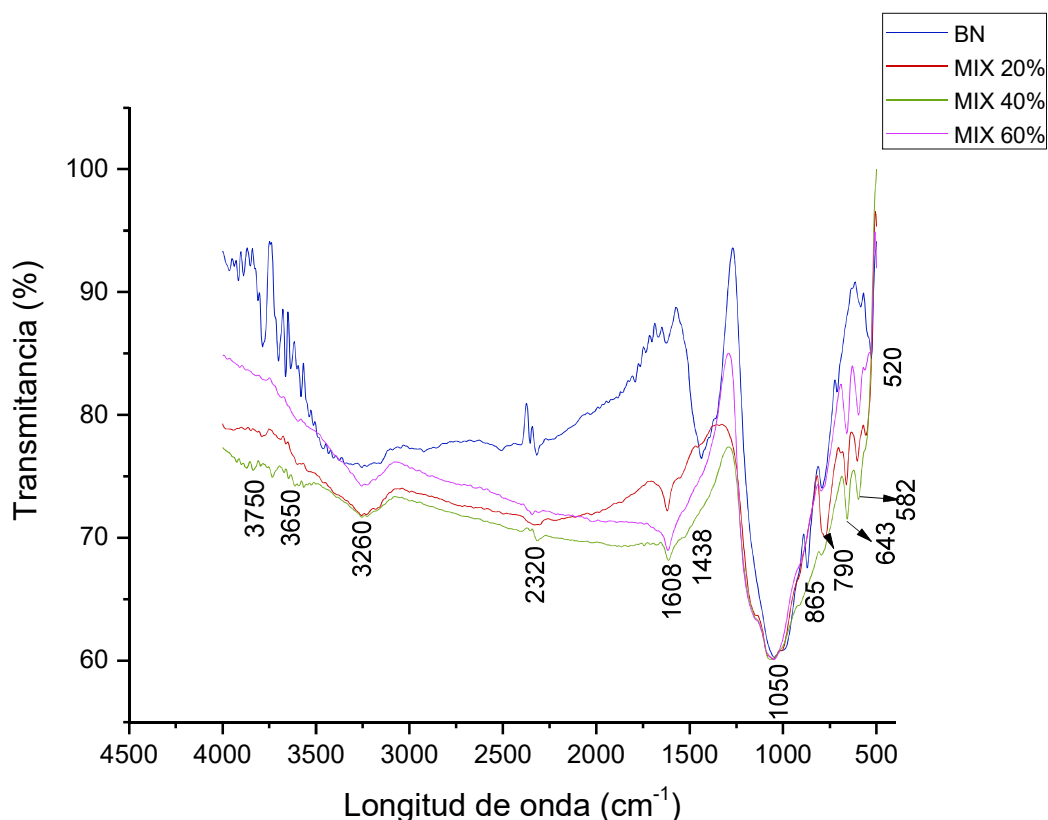
#### d) ACTIVACIÓN MEZCLA DE ÁCIDOS

La figura 10 muestra los espectros FTIR de las muestras que fueron activadas con una mezcla de los ácidos sulfúrico y acético en concentraciones de 20% al 60%. Se observa que los picos de las bandas características de la estructura de la arcilla bentonita disminuyen en intensidad para todas las muestras, lo cual refleja un cambio estructural como consecuencia del ataque ácido. La disminución en la intensidad de las bandas que van de  $3750\text{ cm}^{-1}$  a  $3100\text{ cm}^{-1}$  muestra la pérdida de agua y de grupos Hidroxilo asociada a la disminución de cationes que forman parte de la capa octaédrica (Motlagh et al., 2011). La ausencia de la señal en la banda  $1438\text{ cm}^{-1}$  podría atribuirse a la pérdida total de carbonatos (Motawie et al., 2014).

La persistencia de la banda  $1050\text{cm}^{-1}$  para todas las muestras indica que la capa estructural de la arcilla original no ha sido completamente destruida (Motlagh et al., 2011).

Además, se puede observar la disminución de la intensidad de las bandas entre  $865\text{cm}^{-1}$  y  $520\text{cm}^{-1}$  lo cual sugiere que han sido desplazados los iones de hierro y aluminio de la estructura molecular de las muestras de arcilla activadas (Motlagh et al., 2011; Torres et al., 2013).

**FIGURA 10. ESPECTRO FTIR DE ARCILLA NATURAL Y DE LAS MUESTRAS ACTIVADAS CON UNA MEZCLA DE ÁCIDO SULFÚRICO Y ACÉTICO.**

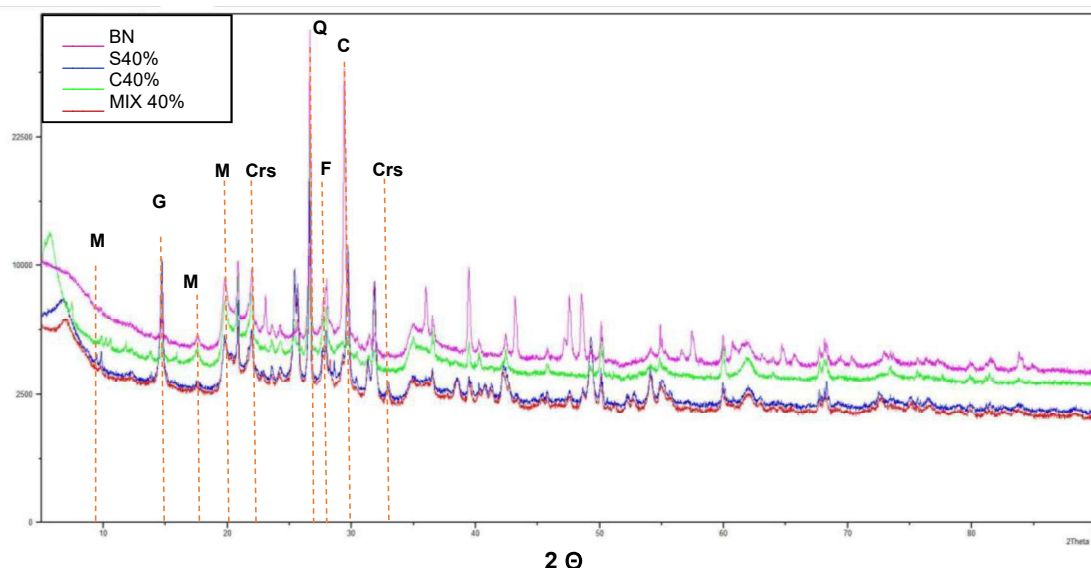


#### 4.1.2 ANÁLISIS DRX

La figura 11 muestra el difractograma DRX de las muestras activadas con ácido sulfúrico (S40%), ácido acético (C 40%), la mezcla de ambos (MIX 40%) y una muestra de la arcilla bentonita natural. En su composición se observa los picos característicos de la montmorillonita (M), gypsum (G), cristobalita (Cr<sub>s</sub>), calcita (C), cuarzo (Q) y feldespatos (F). Una disminución en la intensidad de los picos en todas las muestras demuestra que se han efectuado cambios en su composición

mineral. Especialmente en lo que respecta al mineral calcita, el cual al parecer se ha consumido totalmente durante el proceso de activación con ácido sulfúrico al 40% (Motlagh et al., 2011).

**FIGURA 11. DIFRACTOGRAMA DE LAS MUESTRAS DE ARCILLA ACTIVADA**



En la tabla 9 se detalla la composición mineral de cada muestra.

**TABLA 9. PRINCIPALES MINERALES IDENTIFICADOS EN LAS MUESTRAS DE ARCILLA NATURAL Y ARCILLAS ACTIVADAS.**

COMPUESTO IDENTIFICADO	BN	S40%	C40%	MIX 40%
Calcita	39,8	-	-	-
Óxido de silicio	47,5	18,6	18,7	18,7

ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

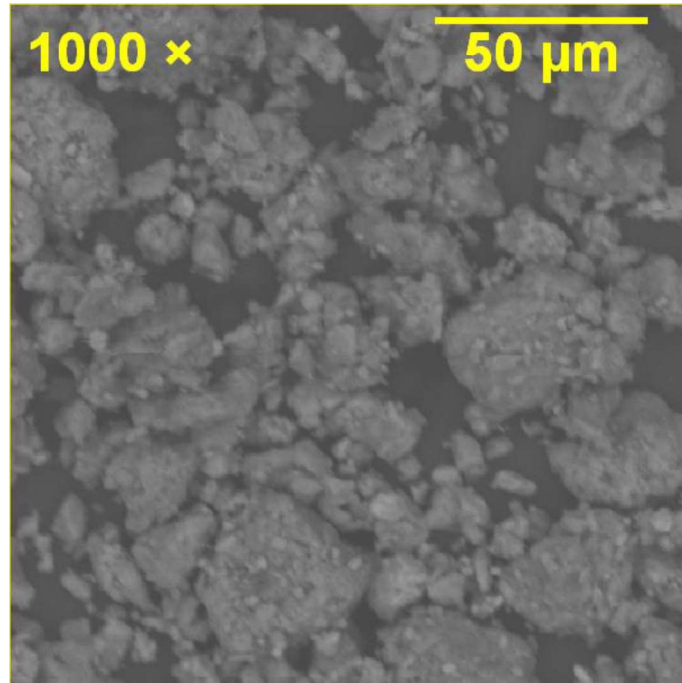
De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que minerales como la calcita no aparecen en las muestras de arcilla activada, mientras que otros como los óxidos de silicio parecen disminuir, esto demuestra el efecto del ataque ácido sobre la arcilla natural el cual afectó su composición (Hayakawa et al., 2016).

#### 4.1.3 ANÁLISIS SEM

En las micrografías SEM de las muestras de bentonita natural (figura 12) y de las muestras activadas con ácidos (figuras 13, 14 y 15), se evidencia un cambio en la morfología de las arcillas después de su activación. La morfología de los sólidos modificados se relaciona con la exfoliación o delaminación del mineral (Torres et al., 2013). Las arcillas activadas con ácido sulfúrico y con la mezcla de ácidos revelan una mayor rugosidad e irregularidad en la superficie, que no se distinguen en la micrografía SEM de la arcilla natural, ni en la de la muestra activada con ácido acético al 40%. Esto podría demostrar un incremento del espacio interlaminar y es coherente con los resultados de los análisis FTIR que muestran cambios pequeños en la composición mineral de la arcilla activada con ácido acético al 40% con respecto a la arcilla natural. Así también, se observa mayor claridad en el color de las muestras de las arcillas activadas con ácido sulfúrico y con la mezcla de ácidos, pues de hecho, la activación ácida elimina las impurezas al descomponer la materia orgánica y los carbonatos presentes, haciendo posible un aumento del espacio interlaminar y un cambio en la coloración en la arcilla (Chakroun, Herchi, Mechti, & Gaied, 2017).

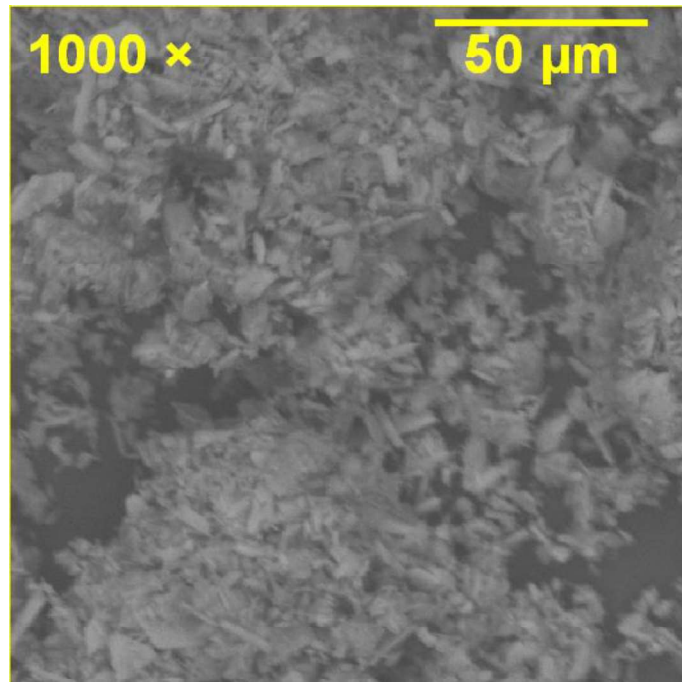
a) ARCILLA NATURAL

FIGURA 12. SEM DE LA ARCILLA NATURAL



b) ACTIVACIÓN CON ÁCIDO SULFÚRICO AL 40%

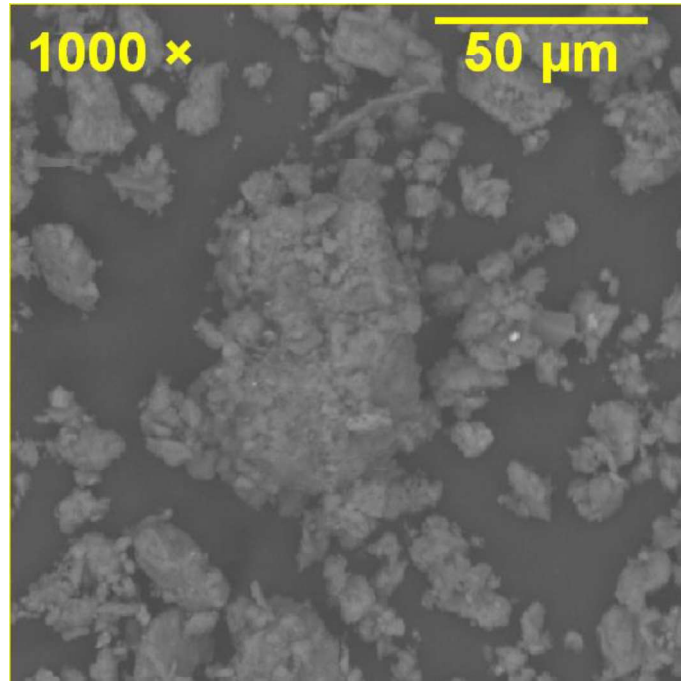
FIGURA 13. SEM DE LA ARCILLA ACTIVADA CON ÁCIDO SULFURICO AL 40%





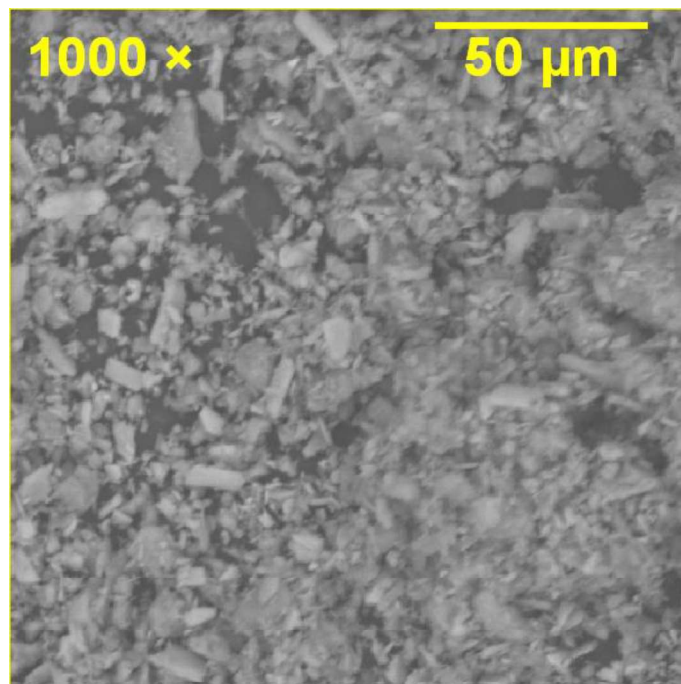
c) ACTIVACIÓN CON ÁCIDO ACÉTICO AL 40%

**FIGURA 14. SEM DE LA ARCILLA ACTIVADA CON ÁCIDO ACÉTICO AL 40%**



d) ACTIVACIÓN MIX 40%

**FIGURA 15. SEM DE LA ARCILLA ACTIVADA CON UNA MEZCLA DE ÁCIDO SULFÚRICO Y ÁCIDO ACÉTICO.**



## 4.2 CARACTERIZACIÓN DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO PURIFICADO

### 4.2.1 ANÁLISIS FTIR

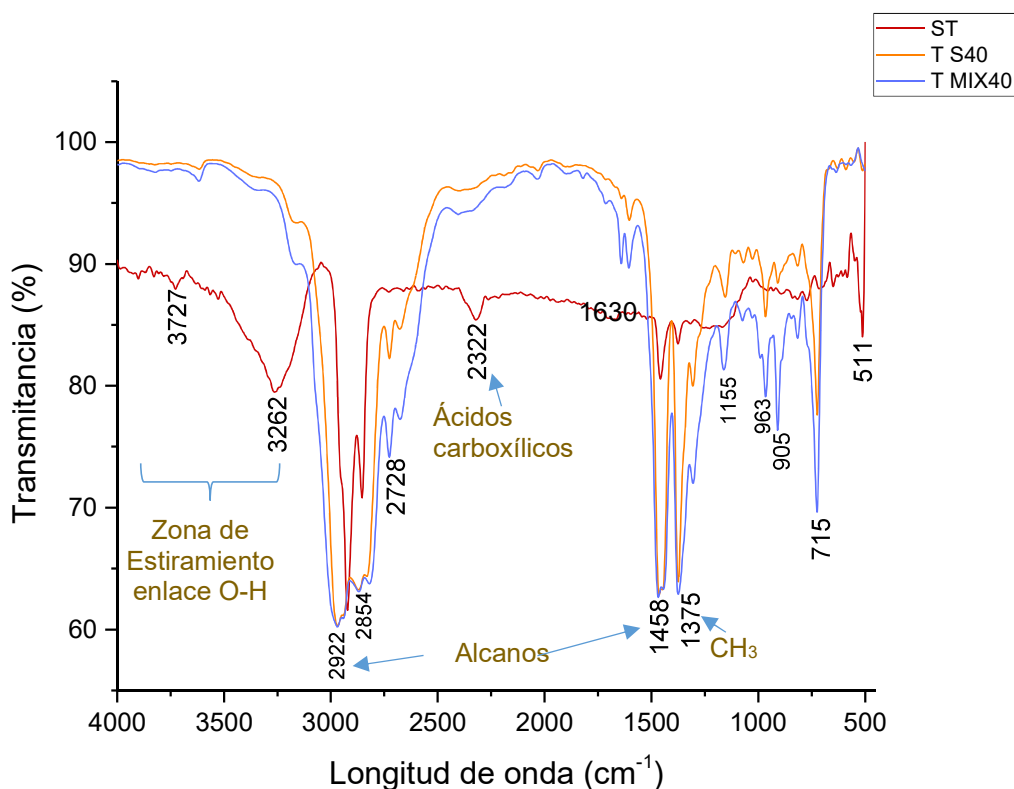
En la figura 16 se presenta el espectro FTIR de las muestras de aceite lubricante de automotor usado y de las muestras tratadas con arcillas activadas que presentaron la mayor eficiencia en la clarificación T S40 y T MIX40. Se pueden observar los picos que representan componentes típicos de los aceites lubricantes de automotor usados. Por ejemplo, las bandas que van de  $3750\text{ cm}^{-1}$  a  $3100\text{ cm}^{-1}$  se atribuyen a los grupos OH, lo cual refleja el contenido de agua del aceite lubricante de automotor usado que suele incorporarse a él durante su uso en el automotor. La cantidad de agua contenida en el aceite disminuye notablemente luego de su tratamiento (Garry & Bowman, 2007).

Los picos en las bandas  $2922\text{ cm}^{-1}$  y  $1458\text{ cm}^{-1}$  que corresponden al grupo funcional de los alcanos (C-H) muestran una ligera disminución de intensidad. La banda  $2322\text{ cm}^{-1}$  que representa al grupo funcional de ácidos carboxílicos indica la presencia de productos primarios oxidados a altas temperaturas y el ubicado en la banda  $1375\text{ cm}^{-1}$  representa al enlace C - H del grupo  $\text{CH}_3$ , esta banda también muestra una disminución en la intensidad luego del tratamiento (Abu-Ellella et al., 2015; Kovo, Adeniyi, Abdulkareem, & Suleiman, 2016).

Las características espectrales alrededor de  $800\text{ cm}^{-1}$  ( $772\text{ cm}^{-1}$ ) confirman el contenido aromático para indicar si hay combustible presente en el aceite lubricante de automotor usado. Luego de ambos tratamientos la intensidad de la banda disminuye (Abu-Ellella et al., 2015; Garry & Bowman, 2007).

En el anexo 1 se presentan los espectros FTIR de las muestras del aceite lubricante de automotor usado, que presentaron menor eficiencia de purificación luego de su tratamiento con arcillas activadas.

**FIGURA 16. ESPECTRO FTIR DE MUESTRAS DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO. SIN TRATAMIENTO (ST), TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA AL 40% (T S40) Y TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA CON UNA MEZCLA DE ÁCIDOS SULFÚRICO Y ACÉTICO (T MIX 40).**



#### 4.2.2 ANÁLISIS Uv-Vis

En la tabla 10 se detallan los resultados obtenidos en el análisis Uv-Vis. Para su realización se efectuó un barrido de la muestra de aceite lubricante de automotor usado sin clarificar con el fin de encontrar el pico de absorción adecuado, el cual fue de 406,00 nm que se encuentra en la región del amarillo, y concuerda con la bibliografía consultada (Aziz et al., 2011).

La medida de absorbancia se relaciona directamente con la concentración de sustancias contaminantes contenidas en el aceite lubricante de automotor usado. Sustancias como: cloro, nitrógeno, azufre, oxígeno y peróxidos le confieren color al aceite lubricante (Jafari & Hassanpour, 2015).

Así pues, la alta cantidad de absorbancia (65,6%) medida en la muestra de aceite lubricante de automotor usado que no fue tratado con arcilla, indica que contiene altas concentraciones de los contaminantes mencionados.

Al tratar el aceite lubricante de automotor usado con arcilla bentonita natural, el resultado de absorbancia es de 51,7%, es decir, disminuye en un 21,18% con respecto al aceite lubricante de automotor usado sin tratamiento. Esto significa que la arcilla natural ha logrado adsorber una pequeña cantidad de los contaminantes presentes en la muestra.

Por otro lado, las arcillas activadas mostraron resultados de absorbancia menores, lo cual demuestra que la activación ácida mejora la capacidad de adsorbente de la arcilla bentonita. Especialmente en las muestras de arcilla activadas con ácido sulfúrico al 40% y con la mezcla de ácido sulfúrico y acético al 40%, que presentaron valores de absorbancia de 20,0% y 20,9% respectivamente.

**TABLA 10. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS UV-VIS DEL ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO**

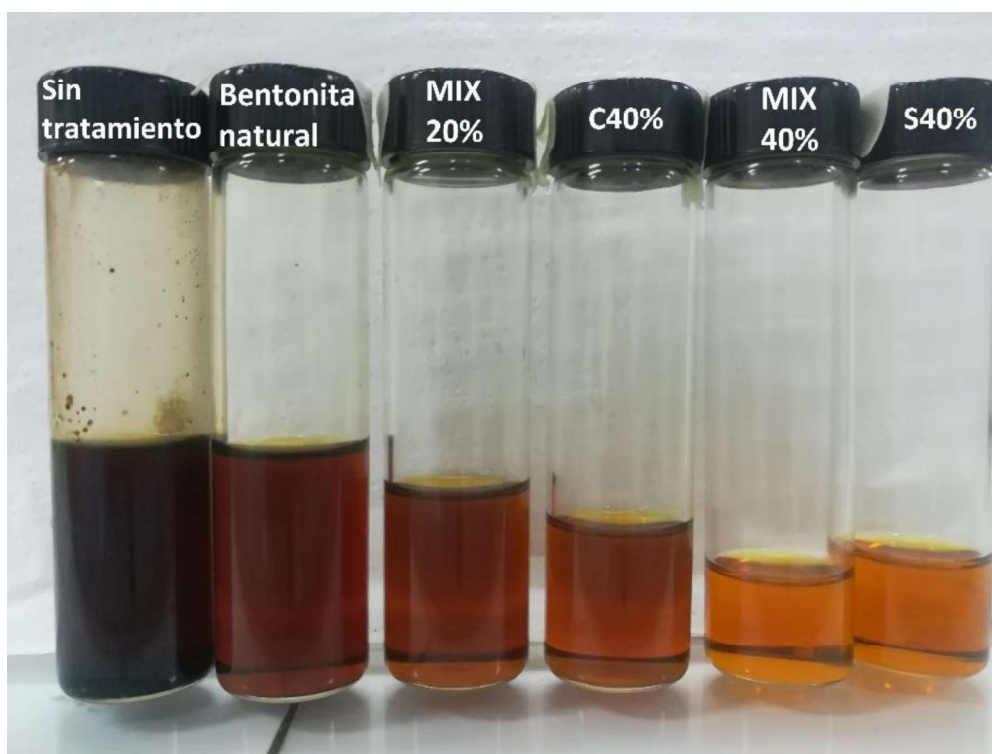
<b>ARCILLA UTILIZADA</b>	<b>TRANSMITANCIA DEL ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO (%)</b>	<b>ABSORBANCIA DEL ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO (%)</b>
Ninguna	34,40	65,60
BN	48,30	51,70
S20%	65,60	34,40
S40%	80,00	20,00
S60%	61,60	38,40
C20%	64,80	35,20
C40%	70,00	30,00
C60%	63,80	36,20
MIX20%	72,10	27,90
MIX40%	79,10	20,90
MIX60%	68,60	31,40

ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

En la figura 17 se presentan algunas de las muestras de aceite lubricante de automotor usado que fue purificado en el presente estudio. La muestra de aceite lubricante de automotor usado sin tratamiento presenta un color 8 en la escala de color ASTM D1500. Al comparar los colores con la escala de color de aceites lubricantes de automotor, se puede observar que con los tratamientos con la arcilla activada con ácido sulfúrico al 40% (S40) y la arcilla activada con la mezcla de ácido sulfúrico y ácido acético al 40% (MIX 40), son similares y corresponden al color 2.

Según la escala de color de la norma ASTM D1500, el color obtenido con los tratamientos en los que se empleó arcilla activada con ácido acético al 40% y con la mezcla de ácidos sulfúrico y acético al 20%, es similar en ambas muestras y concuerda con el color 3,5. Este color es más claro que el obtenido en el tratamiento del aceite con arcilla bentonita natural (color 5).

**FIGURA 17. COMPARACIÓN DE MUESTRAS DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR PURIFICADO**



ELABORACIÓN: Aguilar, J., 2019

#### 4.2.3 EFICIENCIA DE CLARIFICACIÓN

La tabla 11 muestra los resultados de las eficiencias de clarificación alcanzadas en los tratamientos.

La arcilla natural logró un 21,18% de eficiencia, mientras que la arcilla activada con ácido sulfúrico al 40% alcanzó una eficiencia de 69,5% seguida por un 68,14% con la arcilla activada con la mezcla de ácido sulfúrico y acético. Estos resultados reflejan que la activación ácida de las arcillas logró mejorar su capacidad de adsorción, pues la eficiencia de clarificación incrementó aproximadamente un 70%.

Dichos resultados concuerdan con los obtenidos en estudios similares, como por ejemplo el realizado por Kovo et. al (2016), quienes en su estudio sobre la aplicación de arcillas naturales vs arcillas activadas en el proceso de purificación de aceite lubricante de automotor usado reportaron que las arcillas activadas con ácido sulfúrico lograron alcanzar una eficiencia en la purificación de aceite de automotor usado de 66,28% con arcilla activada en comparación con la arcilla natural que alcanzó una eficiencia del 40%.

**TABLA 11. RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DE CLARIFICACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR USADOS**

<b>ARCILLA UTILIZADA</b>	<b>ABSORBANCIA (%)</b>	<b>EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO (%)</b>
Ninguna	65,60	-
Bentonita Natural	51,70	21,18
B S20%	34,40	47,50
B S40%	20,00	69,50
B S60%	38,40	41,46
B C20%	35,20	46,34
B C40%	30,00	54,26
B C60%	36,20	44,81
B M20%	27,90	57,46
B M40%	20,90	68,14
B M60%	31,40	52,13

ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

#### 4.2.4 ANÁLISIS VISCOSIDAD, TAN Y TBN

Los resultados de los análisis de calidad de las muestras de aceite lubricante de automotor usado que fueron tratadas se detallan en la tabla 12.

Las pruebas de viscosidad indican la presencia de contaminación en el aceite lubricante de motor usado. Los productos polimerizados disueltos o suspendidos y oxidados en el aceite pueden causar un aumento de la viscosidad del aceite, mientras que la disminución de la viscosidad de los aceites lubricantes del motor indica contaminación del combustible. Se observa que los niveles de viscosidad medidos a 40 °C y 100 °C disminuyeron luego de ser tratadas con arcilla natural y con arcilla activada, así como los valores de TAN y TBN. Aunque estos no alcanzan los niveles de la norma SAE 5W-40, se sabe que estos se ajustan cuando se agregan aditivos a la base de aceite mineral. Dicha disminución indica que las arcillas empleadas en el tratamiento lograron remover un gran porcentaje de los contaminantes del aceite lubricante de automotor usado mejorando su viscosidad y disminuyendo en gran medida la acidez (Abu-Ellella et al., 2015).

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Mekonnen (2016), quien logró disminuir la acidez (TAN) de 5,62 mg KOH g<sup>-1</sup> a 1,1 mg KOH g<sup>-1</sup> en el aceite lubricante de automotor usado aplicando un tratamiento de adsorción con arcillas activadas e incrementar el índice de viscosidad de 127,9 a 130,54.

**TABLA 12. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR**

Muestra de arcilla	Viscosidad 40°C (cSt)	Viscosidad 100°C (cSt)	Índice de Viscosidad	TAN (mg KOH g <sup>-1</sup> )	TBN (mg KOH g <sup>-1</sup> )
Ninguna	39,60	7,60	85,00	0,35	3,8
BN	34,10	6,60	100,50	0,20	2,7
B S40%	31,07	7,00	110,90	0,07	2,7

ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

### 4.3 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

La tabla 13 detalla los costos de los reactivos empleados en la activación de 100 gramos de arcilla bentonita.

**TABLA 13. COSTOS DE REACTIVOS EMPLEADOS EN EL PROCESO DE ACTIVACIÓN**

Reactivo	Cantidad (L)	Costo (USD)	Volumen empleado (L)	Costo por muestra de 100g de arcilla (USD)
Agua destilada	3,80	2,20	1,00	0,58
Ácido sulfúrico	2,50	58,00	0,04	0,92
Ácido acético glacial	2,50	28,50	0,02	0,23

ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

FUENTE: Proforma Labomersa, 2018

Se observa que el valor del ácido acético glacial es aproximadamente 51% más bajo que el valor del ácido sulfúrico, esto representaría una ventaja comercial.

En la tabla 14 se detallan los costos energéticos empleados en la activación de 100 g de arcilla bentonita.

**TABLA 14. COSTOS ENERGÉTICOS EMPLEADOS EN EL PROCESO DE ACTIVACIÓN**

Costos de energía eléctrica				
Equipo	Potencia (kW)	Precio por kW/h (USD)	Tiempo (h)	Costo total (USD)
Plancha de agitación y calentamiento	0,9	0,08	5	0,44
Centrifuga	170	15,25	0,5	7,63
Estufa	15	1,35	16	21,53
				29,59

ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

FUENTE: Catálogo de equipos Novachem, 2019

Se observa que los costos energéticos empleados en la activación son los mismos para ambas muestras.

A continuación, en la tabla 15 se detalla los costos totales empleados para ambas muestras.



**TABLA 15. COSTOS TOTALES POR PROCESO DE ACTIVACIÓN**

Costos por proceso de activación					
Muestra	Volumen empleado (L)			Costo energía eléctrica (USD)	Costo Total (USD)
	Agua destilada	A. Sulfúrico	A. Acético		
S40%	1,00	0,04	0,00	29,59	31,09
Costo (USD)	0,58	0,92	0,00		
M40%	1,00	0,02	0,02	29,59	30,86
Costo (USD)	0,58	0,46	0,23		

ELABORACIÓN: Aguilar, 2019

En la tabla 15 se puede evidenciar que el costo total para la producción de la muestra activada con la mezcla de ácidos es ligeramente menor (0,23 USD) que la producida con ácido sulfúrico al 40%. Sin embargo, en términos económicos, esta pequeña diferencia podría volverse muy significativa al considerar la producción de volúmenes mayores.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

La caracterización de las muestras de arcilla activada por medio de análisis FTIR, DRX y SEM mostró que luego del proceso de activación ácida se presentaron cambios estructurales y morfológicos. Estos cambios lograron un incremento de aproximadamente el 70% en la capacidad de adsorción de la arcilla bentonita.

Gracias los análisis FTIR y DRX se evidenció que el proceso de activación con ácido sulfúrico logró un desplazamiento de los cationes de hierro y aluminio de la capa octaédrica. En comparación con la activación con ácido acético presenta pequeños cambios morfológicos y estructurales, pero con un mayor agotamiento de los carbonatos. En tanto que la activación con la mezcla de los ácidos presenta una combinación de los cambios en la composición estructural de la arcilla, observados en la activación con ácido sulfúrico, más el agotamiento de carbonatos observado en la activación con ácido acético.

Luego del tratamiento del aceite lubricante de automotor usado con arcillas activadas, algunos parámetros de calidad de las muestras de aceite purificadas mejoraron notablemente al disminuirse la acidez (TAN) de 0,35 a 0,07 mg KOH g<sup>-1</sup> y aumentar el índice de viscosidad de 85 cSt a 110,9 cSt, cuyo valor es ligeramente mayor al estipulado en la norma SAE 5W-40 (100,27).

El tratamiento que presentó la mayor eficiencia (69,5%) fue el de la arcilla activada con ácido sulfúrico al 40%, seguido por el de la arcilla activada con ambos ácidos (68,14%), lo cual resulta ser una diferencia poco significativa (1,34%) entre ellas, pero mucho mayor (48,32%) con respecto a la eficiencia lograda con la arcilla natural no modificada (21,18%). De acuerdo a la escala de color ASTM D1500 para

aceites lubricantes de automotor, las muestras de aceite lubricante de automotor purificadas alcanzaron el color 2 partiendo de un aceite lubricante de automotor usado con color 8.

El costo total para la producción de la muestra activada con la mezcla de ácidos es ligeramente menor (0,23 USD) que la producida con ácido sulfúrico al 40%. Sin embargo, en términos económicos, esta pequeña diferencia se podría volver muy significativa al considerar una producción industrial.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Para estudios futuros sobre la activación de arcilla bentonita, se podría probar otras combinaciones de ácidos y variaciones en los parámetros de activación que permitan obtener un producto más eficiente y de menor costo, de tal manera que su comercialización resulte atractiva para la industria ecuatoriana.

Una mejora en la eficiencia de clarificación del aceite lubricante de automotor usado se podría lograr encontrando las variables óptimas del proceso como tiempo de contacto, temperatura y porcentaje de arcilla adsorbente empleado.

Realizar estudios comparativos de activación con arcillas de los diferentes yacimientos de bentonita ecuatorianos.

Es recomendable realizar estudios completos de factibilidad económica sobre la activación de arcilla bentonita a escala industrial, mediante el uso de los ácidos estudiados en este trabajo, pues los resultados hallados demuestran que la mezcla de ácido en la activación de la arcilla, logra resultados muy similares a los obtenidos con la arcilla activada únicamente con ácido sulfúrico. Producir la arcilla con la mezcla de ácidos podría representar algunas ventajas tanto en el costo de la producción, como en el costo del tratamiento del agua residual que se obtiene en el proceso.

Otros parámetros de calidad se pueden medir en el aceite lubricante de automotor purificado, como la capacidad o poder calórico, contenido de cenizas, contenido de metales pesados, etc. Para tener una mejor idea de todas las ventajas que se pueden obtener con el uso de arcillas activadas en purificación de aceites lubricantes de automotor usados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abu-Ellella, R., Ossman, M. E., Farouq, R., & Abd-Elfatah, M. (2015). Used Motor Oil Treatment : Turning Waste Oil Into Valuable Products. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 7, 57–67.
- Animashaun, L., Yekinni, A., & Warren, B. (2016). Used Oil Re-Refining Techniques in Nigeria-Economic Benefits, 6(2), 60–72.
- APEL. (2017). La ilegalidad enturbia el negocio de lubricantes. Retrieved September 4, 2018, from <http://apel.ec/2017/12/04/la-ilegalidad-enturbia-el-negocio-de-lubricantes/>
- API. (2017). *Life Cycle Assessment of Used Oil Management*. London.
- Aranzabe, E., & Málaga, A. (2004). Grasas lubricantes, 1–24.
- Aziz, B. K., Abdullah, M. A., & Jubrael, K. J. (2011). Acid activation and bleaching capacity of some clays for decolourizing used oils. *Asian Journal of Chemistry*, 23(6), 2449–2455.
- Belousov, P., Krupskaya, V., Dorzhieva, O., Timofeeva, M., Zakusin, S., Zhukhlistov, A., & Tyupina, E. (2017). Experimental Study of Montmorillonite Structure and Transformation of Its Properties under Treatment with Inorganic Acid Solutions. *Minerals*, 7(4), 49. <https://doi.org/10.3390/min7040049>
- Bhattacharyya, K. G., SenGupta, S., & Sarma, G. K. (2014). Interactions of the dye, Rhodamine B with kaolinite and montmorillonite in water. *Applied Clay Science*, 99, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.07.012>
- Chakroun, S., Herchi, M., Mechti, W., & Gaied, M. E. (2017). Acid activation of upper Eocene Ca-bentonite for soybean oil clarification. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(28), 22557–22569. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9803-x>
- Chandp, R., & Kumarp, B. (2017). Oil and Lubricant Hazard Effects on Human Health. *IJISSET -International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology Impact Factor*, 4(5). Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/317821507%0Awww.ijiset.com>

- Daham, G. R., AbdulRazak, A. A., Hamadi, A. S., & Mohammed, A. A. (2017). Re-refining of used lubricant oil by solvent extraction using central composite design method. *Korean Journal of Chemical Engineering*, *34*(9), 2435–2444. <https://doi.org/10.1007/s11814-017-0139-5>
- Diario la hora. (n.d.). Aumenta recolección de aceite usado : Noticias de Quito : La Hora Noticias de Ecuador, sus provincias y el mundo. Retrieved from <https://lahora.com.ec/noticia/701884/aumenta-recoleccion-de-aceite-usado>
- Didi, M. A., Makhoukhi, B., Azzouz, A., & Villemin, D. (2009). Colza oil bleaching through optimized acid activation of bentonite. A comparative study. *Applied Clay Science*, *42*(3–4), 336–344. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.03.014>
- Dietz, R. G. (2016). Successful Reaming With Properly Designed Tools. *Cutting Tool Engineering*, (7–8), 597–604. <https://doi.org/10.4194/1303-2712-v16>
- Diphare, M., Muzenda, E., Pilusa, T. J., & Mollagee, M. (2013). A Comparison of Waste Lubricating Oil Treatment Techniques. In *International Conference on Environment, Agriculture and Food Sciences* (Vol. 2028, pp. 106–109).
- El-Fadel, M., & Khoury, R. (2001). Strategies for vehicle waste-oil management: A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, *33*(2), 75–91. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(01\)00058-1](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00058-1)
- Emam, E. A. (2018). Clay Adsorption Perspective on Petroleum Refining Industry, *2*(1), 19–25. <https://doi.org/10.11648/j.ie.20180201.13>
- EUROPIA. (2003). Recycle of Used Oils : Legal and Technical Considerations.
- Garry, M. C., & Bowman, J. (2007). FT-IR Analysis of Used Lubricating Oils – General Considerations. *Thermo Scientific*. <https://doi.org/10.1200/JCO.2009.26.2543>
- Hayakawa, T., Minase, M., Fujita, K. I., & Ogawa, M. (2016). Modified method for bentonite purification and characterization; a case study using bentonite from tsunagi mine, Niigata, Japan. *Clays and Clay Minerals*, *64*(3), 275–282. <https://doi.org/10.1346/CCMN.2016.0640303>
- Inga, J. (2008). *Fabricación de cerámicos porosos adsorbentes a base de arcilla para la retención de contaminantes en efluentes insdustriales. Información e*

- Historia*. Universidad Nacional de Ingeniería. Retrieved from [http://www.uni.edu.ni/Alma\\_Mater/Historia](http://www.uni.edu.ni/Alma_Mater/Historia)
- Jafari, A. J., & Hassanpour, M. (2015). Analysis and comparison of used lubricants, regenerative technologies in the world. *Resources, Conservation and Recycling*, 103, 179–191. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.07.026>
- Komadel, P. (2016). Acid activated clays: Materials in continuous demand. *Applied Clay Science*, 131, 84–99. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.05.001>
- Komadel, P., & Madejová, J. (2006). Chapter 7.1 Acid Activation of Clay Minerals. *Developments in Clay Science*, 1(C), 263–287. [https://doi.org/10.1016/S1572-4352\(05\)01008-1](https://doi.org/10.1016/S1572-4352(05)01008-1)
- Komadel, Peter. (2016). Acid activated clays: Materials in continuous demand. *Applied Clay Science*. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.05.001>
- Kovo, A., Adeniyi, O. D., Abdulkareem, A. S., & Suleiman, B. (2016). Optimization of the recycle used oil and its fuel quality characterization Optimization of the recycle used oil and its fuel quality characterization Optimization of the recycle used oil and its fuel quality characterization, (August).
- Kulkarni, S. J. (2017). Re-refining of used Oil- an Insight, 3(3), 37–40.
- Lane, R. (2011). The waste commons in an emerging resource recovery waste regime: Contesting property and value in Melbourne's hard rubbish collections. *Geographical Research*. <https://doi.org/10.1111/j.1745-5871.2011.00704.x>
- MAE. (2019a). Acuerdos Ministeriales. Retrieved July 1, 2019, from <http://suia.ambiente.gob.ec/acuerdos-ministeriales>
- MAE. (2019b). Instructivo para la aplicación de la Responsabilidad Extendida en la gestión integral de aceites lubricantes usados. Retrieved July 1, 2019, from <file:///C:/Users/Personal/Downloads/APEL-Instructivo para la aplicación de la responsabilidad extendida en la gestión integral de aceites lubricantes usados y envases vacíos-RO-498-30-05-2019.pdf>
- Martinez, J. (2005). *Tomo i. Guia para la gestión integral de residuos peligrosos* (Vol. 1). Montevideo, Uruguay.

- Mekonnen, H. A. (2014). Recycling of Used Lubricating Oil Using Acid-Clay Treatment Process Recycling of Used Lubricating Oil Using Acid-Clay Treatment Process, (October), 16.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador, . (2012). Acuerdo Ministerial Nro. 142 - Listados Nacionales de sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales, 21. Retrieved from [http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/AM-142\\_Listados-SQP-DP-y-DE.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/AM-142_Listados-SQP-DP-y-DE.pdf)
- Motawie, A. M., Madany, M. M., El-Dakrory, A. Z., Osman, H. M., Ismail, E. A., Badr, M. M., ... Abulyazied, D. E. (2014). Physico-chemical characteristics of nano-organo bentonite prepared using different organo-modifiers. *Egyptian Journal of Petroleum*, 23(3), 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2014.08.009>
- Motlagh, M. M. K., Youzbashi, A. A., & Rigi, Z. A. (2011). Effect of Acid Activation on Structural and Bleaching, 8(4), 50–56.
- Padilla, A., & Geovanny, C. (2015). Propuesta de un plan de manejo sustentable de los aceites usados provenientes de los talleres automotrices y lubricadoras del cantón Cañar, 61–102.
- Pawlak, Z., Urbaniak, W., Kaldonski, T., & Stryp-Rekowski, M. (2010). Energy conservation through recycling of used oil. *Ecological Engineering*, 36(12), 1761–1764. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.08.007>
- Pelitli, V., Dogan, O., & Koroglu, H. J. (2017). Waste oil management: Analyses of waste oils from vehicle crankcases and gearboxes. *Global Journal of Environmental Science and Management-Gjesm*, 3(1), 11–20. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2017.03.01.002>
- Perlangeli. (2017). Impact of electric vehicles on lubricants demand. Retrieved September 4, 2018, from <https://www.mckinseyenergyinsights.com/insights/impact-of-electric-vehicles-on-lubricants-demand/>
- Ramadass, K., Megharaj, M., Venkateswarlu, K., & Naidu, R. (2015). Ecological implications of motor oil pollution: Earthworm survival and soil health. *Soil Biology and Biochemistry*, 85, 72–81.



<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.02.026>

Regional Activity Centre for Cleaner Production. (2000). *Recycling Possibilities and Potential Uses of Used Oils*. Spain.

Shukry, W. M., Al-Hawas, G. H. S., Al-Moaikal, R. M. S., & El-Bendary, M. a. (2013). Effect of Petroleum Crude Oil on Mineral Nutrient Elements, Soil Properties and Bacterial Biomass of the Rhizosphere of Jojoba. *British Journal of Environment and Climate Change*, 3(1), 103–118. <https://doi.org/10.9734/BJECC/2013/2492>

SUD-CHEMIE. (2009). Member of SÜD-CHEMIE Group. México.

Taxiarchou, M., & Douni, I. (2014). The effect of oxalic acid activation on the bleaching properties of a bentonite from Milos Island, Greece. *Clay Minerals*, 49(4), 541–549. <https://doi.org/10.1180/claymin.2014.049.4.04>

Torres, Carriazo, & Sanabria. (2013). Síntesis y caracterización de bentonita modificada con especies de TiO<sub>2</sub> y Fe-TiO<sub>2</sub> obtenidas del mineral ilmenita. *Revista Colombiana de Química*, 42(45), 44–50. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim>

Torres, P. (2014). *Diseño de un plan de recolección y el re-refinamiento de los aceites lubricantes usados en la ciudad de Loja*. Universidad Internacional del Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/146/1/T-UIDE-0105.pdf>

Udonne, J. D. (2011). A comparative study of recycling of used lubrication Oils using distillation, acid and activated charcoal with clay methods. *Journal of Petroleum and Gas Engineering*, 2(2), 12–19.

Ujeneza, E. (2014). Optimization of Acid Activation and Bleaching Performance of Local Bentonite Clay. *Thesis Master in Industrial Chemistry*, 1–110.

Yang, C.-Y. (Iris). (2008). The feasibility studies on sonochemical processes for treating used oil: Toxin reduction for eliminating recycle interference. *ProQuest Dissertations and Theses*, (December). Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/231544552?accountid=41678>

## ANEXOS

### ANEXO 1. ESPECTROS FTIR DE MUESTRAS DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR PURIFICADO

FIGURA 17. ESPECTRO FTIR DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA CON ÁCIDO SULFÚRICO AL 20% (T S20).

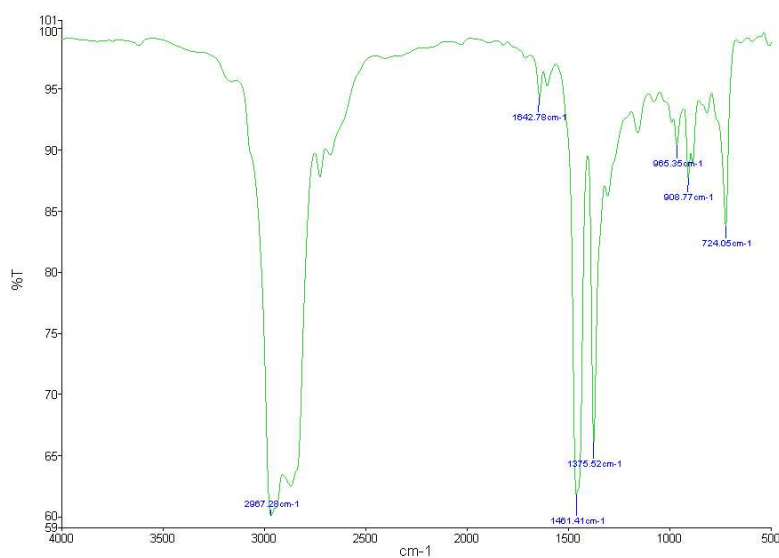
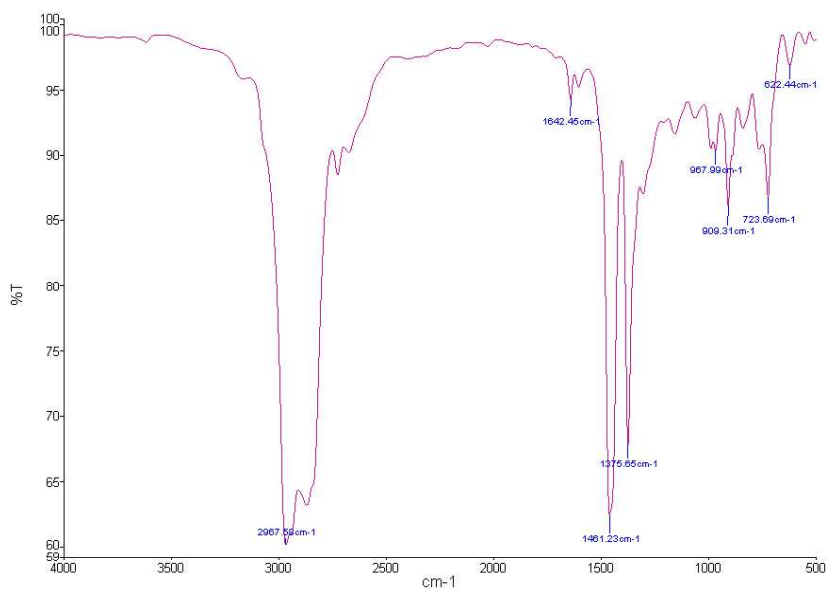
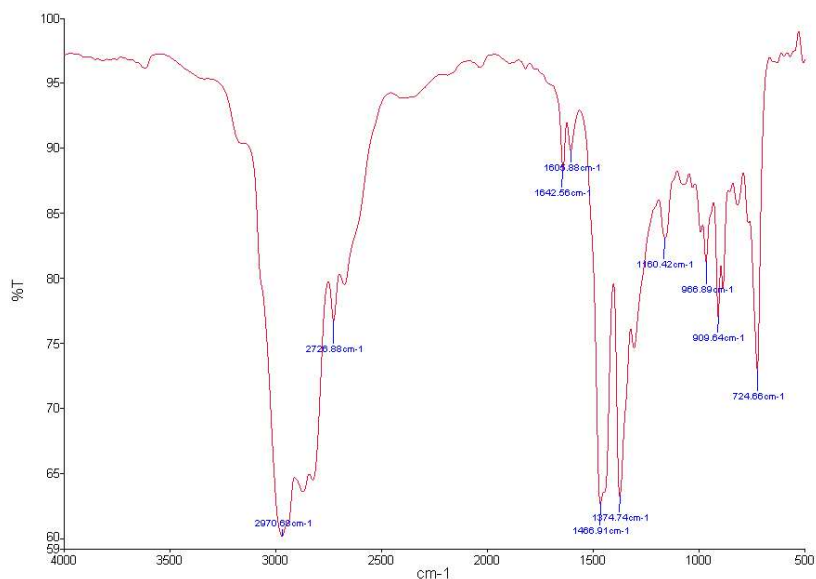


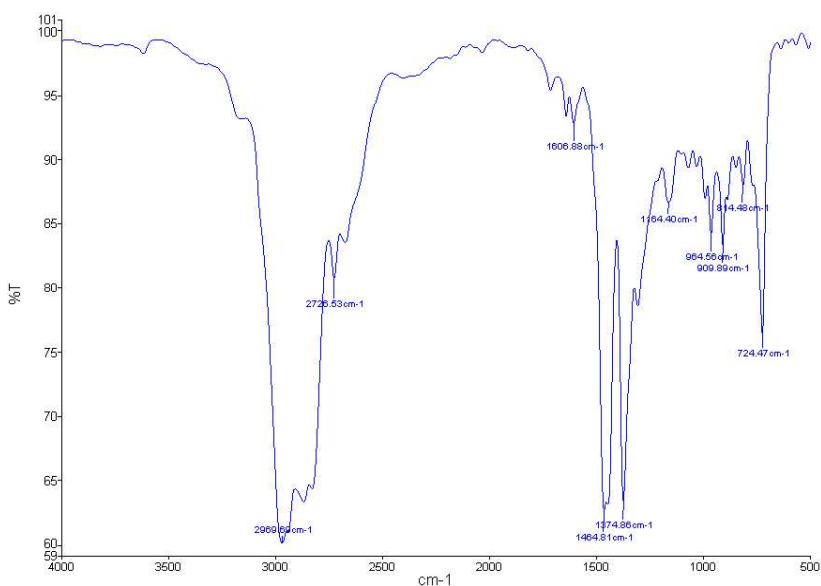
FIGURA 18. ESPECTRO FTIR DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA CON ÁCIDO ACÉTICO AL 20% (T C20).



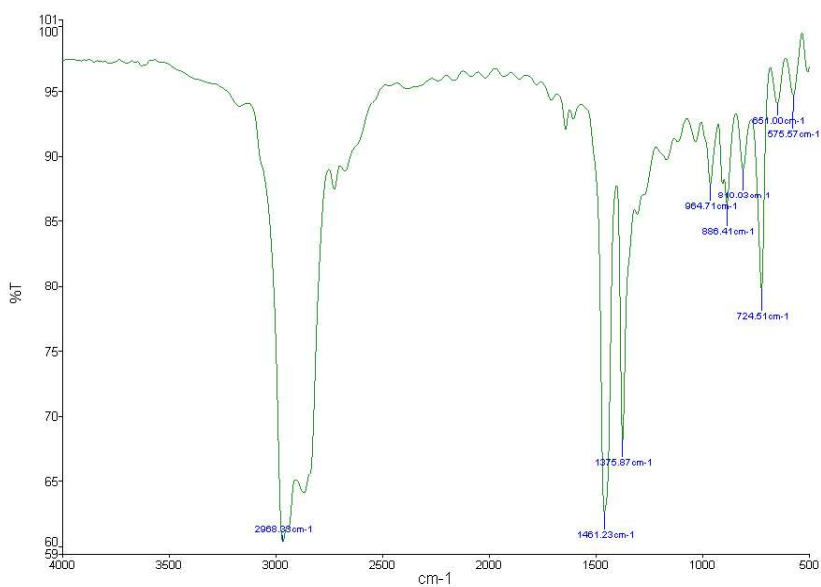
**FIGURA 19. ESPECTRO FTIR DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA CON UNA MEZCLA DE ÁCIDOS SULFÚRICO Y ACÉTICO (T MIX20).**



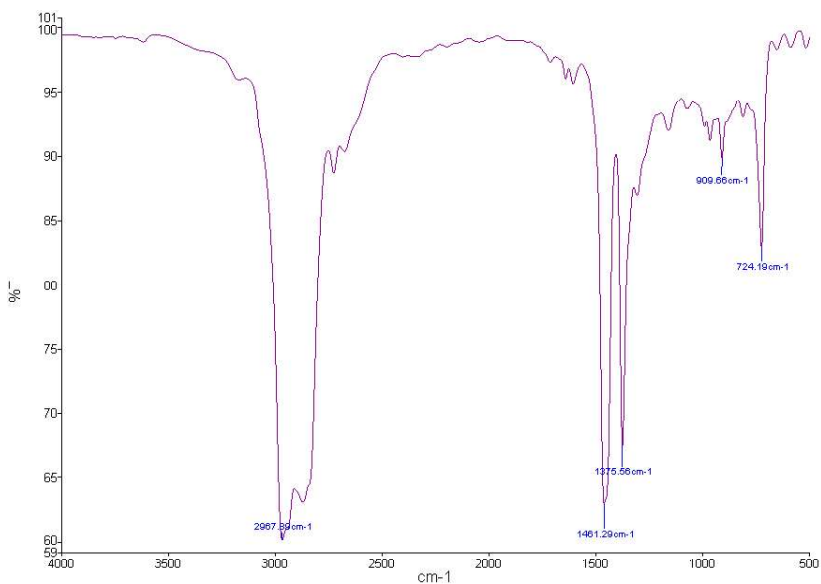
**FIGURA 20. ESPECTRO FTIR DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA CON ÁCIDO SULFÚRICO AL 60% (T S60).**












**FIGURA 21. ESPECTRO FTIR DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA CON ÁCIDO ACÉTICO AL 60% (T C60).**





**FIGURA 22. ESPECTRO FTIR DE ACEITE LUBRICANTE DE AUTOMOTOR USADO TRATADO CON ARCILLA ACTIVADA CON UNA MEZCLA DE ÁCIDOS SULFÚRICO Y ACÉTICO (T MIX60).**



## ANEXO 2. HOJA DE SEGURIDAD PARA ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTOR USADOS.

<b>HOJA DE SEGURIDAD</b>	
<b>ACEITES USADOS</b> <b>(Desecho de aceites lubricantes)</b>	
<b>SECCION 1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO QUIMICO</b>	  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;">3082</div>
<p>Sinónimos: No posee. Desecho de aceite lubricante recogido rutinariamente de motores de Gasolina/petróleo durante operaciones de mantenimiento. Líquido café a negro. Constan de aceite derivado del petróleo contaminado con niveles bajos de productos combustibles (partículas de carbón: material orgánico quemado).</p>	
<b>SECCION 2. IDENTIFICACION DE PELIGROS</b>	<p>Sustancia líquida potencialmente peligrosa para el medio ambiente N.E.P. Contiene Aceite Lubricante usado</p>
<p>Combustibles. No son volátiles. No presentan un peligro significativo para la salud por inhalación. Algunos componentes son peligrosos, incluyendo el tipo de aceite base, además de los hidrocarburos aromáticos polinucleares acumulados. Se debe evitar el contacto prolongado y repetido con la piel. Pueden contener cantidades de aditivos que son irritantes para la piel y los ojos, y posiblemente sensibilizantes.</p>	
<b>SECCION 3. COMPOSICION, INFORMACION SOBRE COMPONENTES</b>	<p>Tipo de Residuo según Convenio de Basilea Y8 - Desechos de aceites minerales no aptos para el uso al que estaban destinados</p>
<p>Mezcla de aceites minerales y aditivos usados. CAS: No aplica</p>	
<b>SECCION 4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS</b>	
<p><b>Inhalación:</b> retire la fuente de contaminación o mueva la víctima al aire fresco. Personal capacitado debe suministrar respiración artificial si la víctima no respira, o aplicar oxígeno si respira con dificultad. No mueva la víctima si no es necesario. Obtenga atención médica de inmediato.</p> <p><b>Contacto con la piel:</b> Lave por completo el área contaminada con abundante agua y jabón durante por lo menos 20 minutos o hasta que el producto sea removido. Debajo de la corriente de agua y jabón (detergente) retire la ropa contaminada, zapatos y artículos de cuero. Obtenga atención médica de inmediato.</p> <p><b>Ingestión:</b> Si la víctima está consciente y no convulsiona dele a beber uno o dos vasos de agua para diluir el material en el estómago. NO INDUZCA AL VOMITO; si éste ocurre naturalmente, mantenga la víctima inclinada hacia adelante para reducir el riesgo de aspiración. Y repita la administración mayúscula de agua. Obtenga ayuda médica de inmediato.</p> <p><b>Contacto con los ojos:</b> Rápidamente absorba o retire el exceso del producto. Lave de inmediato con abundante agua mínimo por 15 minutos o hasta que el producto sea removido, separando los párpados. Obtenga ayuda médica.</p>	
<b>SECCION 5. MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS</b>	
<p><b>Consideraciones especiales:</b> Líquido combustible. Libera vapores inflamables a temperaturas superiores a su punto de inflamación. <b>Procedimiento:</b> Use ropa de protección total incluyendo equipo de respiración autocontenido. Evacue y aisle el área en 50 a 100 metros en todas direcciones. Aproxímese al fuego en la misma dirección que el viento. Suspenda el flujo eléctrico. Si existe fuga, deténgala antes de intentar extinguir el fuego si puede hacerlo en forma segura; de lo contrario, permita que el fuego se apague por sí solo si no hay riesgo para los alrededores. <b>Medios de extinción apropiados:</b> Extintores para <b>fuego Clase K:</b> Polvo químico seco o químico húmedo (sales en solución). <b>NFPA:</b> Salud 1; Inflamabilidad 1; Inestabilidad; 0 (según propiedades. No está clasificado oficialmente)</p>	
<b>SECCION 6. MEDIDAS PARA ESCAPE ACCIDENTAL</b>	
<p>Utilice los elementos de protección personal. Ubíquese en la misma dirección desde donde sopla el viento. Evite zonas bajas. Evacue y señalice el área del derrame. Elimine toda fuente de ignición, calor, chispas o llamas. Detenga la fuga si puede hacerlo sin riesgo. Ventile la zona. No use palas metálicas. Controle las fuentes de ignición. <b>Pequeños:</b> Contenga el derrame con diques de poliuretano o calcetines especiales. Absorba con absorbentes oleofílicos como calcetines, almohadillas, chemizorb o vermiculita. Introduzca en contenedores cerrados y marcados. Lave el área con agua. <b>Grandes:</b> Evacúe y aisle el área 300 metros en todas direcciones. Utilice rocío de agua para enfriar y dispersar los vapores. Contenga con diques de poliuretano para evitar que el material caiga en fuentes de agua, desagües o áreas confinadas. <b>Absorbentes Recomendados:</b> Vermiculita, Chemizorb®, calcetines, almohadas, tapetes.</p>	
<b>SECCION 7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO</b>	
<p>Mantenga estrictas condiciones de seguridad en todas las instalaciones eléctricas para evitar incendios por este riesgo. Evite cualquier contacto con el producto y no coma, beba ni fume durante su manipulación. Lávese muy bien el cuerpo inmediatamente después de manipular este producto y las manos y cara antes de comer o ir al baño. Separe la ropa de trabajo de la de calle. Lave muy bien la ropa contaminada antes de volver a usarla. Almacene en recipientes especiales herméticamente cerrados, en sitio bien ventilado exclusivo para productos químicos; alejado de fuentes de ignición y calor. Conecte a tierra contenedores a granel. Almacene por un periodo máximo de 6 meses.</p>	
<b>SECCION 8. CONTROLES DE EXPOSICION, PROTECCION PERSONAL</b>	
<p>TLV - TWA : 5 mg/m<sup>3</sup> (Según ACGIH para niebla de aceite)      TLV / STEL: 10 mg/m<sup>3</sup> (Según ACGIH para niebla de aceite)</p> <p><b>Elementos de protección personal sugeridos:</b></p>	
 Caucho de nitrilo.  Overol impermeable en polipropileno (Tempo®, CPF® o equivalentes).  De 2,5 a 10 mg/m <sup>3</sup> : Respirador de media máscara con filtro para vapores orgánicos. >10 mg/m <sup>3</sup> : Equipo Autocontenido	 Monogafas de seguridad  Caucho de nitrilo, con suela antideslizante  Lavaojos  Ducha

SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS		
<b>Punto de ebullición:</b> >200°C	<b>Densidad de vapor:</b> 3 (aire=1).	
<b>Punto de inflamación:</b> >100°C	<b>Presión de vapor:</b> <1 Kpa a 38°C	
<b>Densidad relativa:</b> 0,9 (agua =1).		
<b>Solubilidad:</b> Insoluble en agua. Soluble en solventes orgánicos.		
SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD		
Estable en condiciones normales de manejo y almacenamiento.		
<b>Incompatibilidades:</b> Agente oxidantes fuertes.		
<b>Condiciones a evitar:</b> Fuentes de ignición como chispas, llamas abiertas y calor intenso. Acumulación de cargas electrostáticas.		
<b>Productos de descomposición térmica:</b> Óxidos de carbono, óxidos de azufre, aldehídos, cetonas.		
SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA		
<b>Inhalación:</b> Los vapores en exceso generados por mala ventilación o calentamiento pueden causar irritación de nariz y garganta, cefalea náuseas y somnolencia.		
<b>Contacto con la piel:</b> Puede causar irritación, cuando su contacto es prolongado puede causar efectos desengrasantes, enrojecimiento local y dermatitis. Si la piel tiene pequeñas heridas o rasguños, el aceite puede agrandarlas. Los hidrocarburos pesados tapan los poros de la piel.		
<b>Ingestión:</b> Puede causar irritación gastrointestinal, náuseas, vómito y diarrea. Otros efectos tóxicos dependiendo de la presencia de metales pesados.		
<b>Contacto con los ojos:</b> Puede causar irritación, enrojecimiento y ardor.		
<b>Efectos crónicos:</b> unos pocos productos pueden contener aceites de base que son peligrosos potenciales de cáncer de la piel tras un contacto prolongado y repetido. También puede contener componentes que puedan causar irritación o dermatitis.		
SECCIÓN 12. INFORMACION ECOLOGICA		
<b>INFORMACION ECOLOGICA:</b>		
Insoluble en agua. No es fácilmente biodegradable. Causa graves consecuencias en peces y aves afectados por contacto.		
Según el uso que se le haya dado, puede estar contaminado con calcio, plomo, magnesio, zinc, fósforo y metales pesados.		
Dañino para la vida acuática, aún en cantidades pequeñas.		
Entregue el residuo a empresas debidamente autorizadas por las autoridades ambientales.		
No descargue el producto o sus desechos a suelos, desagües, ríos y otras fuentes de agua. Tiene alto poder de bioacumulación.		
SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES SOBRE LA DISPOSICIÓN DEL PRODUCTO		
Entregar los residuos de aceites usados a empresas con licencia ambiental autorizadas a manejar estos residuos.		
SECCIÓN 14. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE		
Cárguelo solamente en vehículos especialmente equipados para el transporte de sustancias peligrosas.		
Etiquete adecuadamente los contenedores y manténgalos cerrados. Asegure todos los recipientes del vehículo contra movimiento.		
No transporte con alimentos, cosméticos, fertilizantes o medicamentos.		
No lo transporte junto con productos explosivos (clase 1), oxidantes (5.1), corrosivos (8), tóxicos (6.1)		
Apague el motor cuando cargue y descargue o use equipo eléctrico antichispa. No fume en el vehículo ni a menos de 7.5 metros.		
Mantenga en el vehículo extintores (tipo K) y materiales absorbentes adecuados.		
Ubique la carga sobre estibas a por lo menos 10 cm del piso. Cárguelo de tal manera que se evite la mezcla con otros materiales peligrosos en el evento de un derrame. El piso del vehículo debe estar liso.		
<b>Clasificación de peligro según el Libro Naranja de la ONU: 9 - Peligros varios. (Peligroso para el medio ambiente).</b>		
SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA		
SGA:		
 	<b>Atención</b> Nocivo en contacto con la piel, provoca irritación cutánea	<b>Atención</b> Muy tóxico para organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos
SECCIÓN 16. INFORMACIÓN ADICIONAL		
<b>BIBLIOGRAFIA:</b>		
1. <a href="http://www.respel.cl/filedoc/HI-03%20Aceites%20Usados.pdf">http://www.respel.cl/filedoc/HI-03%20Aceites%20Usados.pdf</a>		
2. <a href="http://psglubricants.chevron.com/PSG/languages/Spanish/7a_UsedMotorOils_Texaco_Spanish.pdf">http://psglubricants.chevron.com/PSG/languages/Spanish/7a_UsedMotorOils_Texaco_Spanish.pdf</a>		
3. <a href="http://www.e-seia.cl/archivos/Capitulo_07__Aceites_usados.pdf">http://www.e-seia.cl/archivos/Capitulo_07__Aceites_usados.pdf</a>		
4. NFPA. Fire Protection Guide to Hazardous Materials, 14 ed. USA, 2010		
5. Forsberg, K., et al. Quick Selection Guide to Chemical Protective Clothing. 3a ed. Van Nostrand Reinhold, 2007.		
6. ACGIH. TLVs and BEIs for Chemical Substances and Physical Agents. USA, 2013		
7. Naciones Unidas. Recomendaciones para Transporte de Mercancías Peligrosas. Decimoséptima edición. USA, 2011.		
8. Decreto 1609 de 2002/Ministerio de Transporte, Decreto "por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera."		
<b>FECHA DE EMISION:</b> Octubre de 2013	<b>ACEITES USADOS</b>	
Los datos suministrados en esta ficha se basan en nuestro conocimiento actual. No representan una garantía sobre las propiedades de este producto. ARP SURA no se hace responsable por el uso o interpretación particular que se le dé a esta información.		