

Viabilidad de un método alternativo de bajo costo para la recuperación parcial de aceite lubricante usado mediante tratamiento físico-químico

Feasibility of a low-cost alternative method for the partial recovery of used lubricating oil using physicochemical treatment

Erika Viviana Quinapallo Ortiz¹ , Valeria Patricia Tipán Villarreal² , Gonzalo Alejandro Pazmiño Nuñez³ 

¹ Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui, erika.quinapallo@ister.edu.ec, Sangolquí – Ecuador

² Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui, valeria.tipan@ister.edu.ec, Sangolquí - Ecuador

³ Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui, gonzalo.pazmiño@ister.edu.ec, Sangolquí - Ecuador

Autor para correspondencia: erika.quinapallo@ister.edu.ec

RESUMEN

El presente estudio evalúa la viabilidad de un método alternativo de bajo costo para la recuperación parcial de aceite lubricante usado mediante un tratamiento fisicoquímico. El proceso fue desarrollado bajo condiciones no controladas, utilizando reactivos de fácil acceso como peróxido de hidrógeno y bicarbonato de sodio, en sustitución de compuestos convencionales. Posteriormente, se aplicó una etapa de adsorción empleando tierra Fuller y carbón activado como materiales adsorbentes. Se realizó la caracterización fisicoquímica del aceite usado y de los aceites tratados, analizando parámetros como número ácido (TAN), contenido de agua, nitración, oxidación y presencia de hollín. Los resultados evidenciaron mejoras parciales en varias propiedades del aceite, destacándose el tratamiento con carbón activado, el cual presentó una reducción significativa en el contenido de agua (67,7%), nitración (48,9%) y acidez (29,68%). El índice global de eficiencia obtenido fue de 33,0% para el carbón activado y negativo para la tierra Fuller, lo que confirma la mayor efectividad del primero. Aunque no se logró una regeneración completa del aceite, los resultados demuestran que el método propuesto es viable como alternativa accesible para la recuperación parcial de aceites usados.

Palabras clave: Aceite lubricante usado; Recuperación de aceite; Tratamiento fisicoquímico; Adsorción; Carbón activado.

ABSTRACT

This study evaluates the feasibility of a low-cost alternative method for the partial recovery of used lubricating oil through a physicochemical treatment. The process was developed under uncontrolled conditions, using readily available reagents such as hydrogen peroxide and sodium bicarbonate as substitutes for conventional chemicals. Subsequently, an adsorption stage was applied using Fuller's earth and activated carbon as adsorbent materials. The physicochemical characterization of the used and treated oils was performed, analyzing parameters such as total acid number (TAN), water content, nitration, oxidation, and soot presence. The results showed partial improvements in several oil properties, with activated carbon demonstrating superior performance, achieving significant reductions in water content (67.7%), nitration (48.9%), and acidity (29.68%). The global efficiency index reached 33.0% for activated carbon, while negative values were obtained for Fuller's earth, confirming its lower effectiveness. Although complete regeneration was not achieved, the findings demonstrate that the proposed method is a viable, low-cost alternative for the partial recovery of used lubricating oils.

Keywords: Used lubricating oil; Oil recovery; Physicochemical treatment; Adsorption; Activated carbon.

Derechos de Autor

Los originales publicados en las ediciones electrónicas bajo derechos de primera publicación de la revista son del Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui, por ello, es necesario citar la procedencia en cualquier reproducción parcial o total. Todos los contenidos de la revista electrónica se distribuyen bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-4.0 Internacional](#).



Citar como:

Quinapallo Ortiz, E., Tipán Villarreal, V. P., & Pazmiño Nuñez, G. A. (2026). Viabilidad de un método alternativo de bajo costo para la recuperación parcial de aceite lubricante usado mediante tratamiento físico - químico. *CONECTIVIDAD*, 7(2), e489. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v7i2.489>

1. INTRODUCCIÓN

El aceite lubricante usado constituye uno de los residuos peligrosos más comunes generados por las actividades automotrices e industriales. Según explican Hernández Pedraza y Maldonado Rodríguez (2020), durante el funcionamiento de los motores de combustión interna, los aceites lubricantes se someten a altas temperaturas, presión mecánica y contacto con subproductos de combustión, lo que provoca su degradación química y la incorporación de contaminantes como partículas metálicas, hollín, agua y compuestos oxidados. Como resultado de estos procesos, el aceite pierde progresivamente sus propiedades lubricantes originales y se convierte en un residuo potencialmente contaminante si no es gestionado adecuadamente. La disposición inadecuada de aceites usados puede generar impactos ambientales significativos, especialmente en el suelo y en los cuerpos de agua, debido a la presencia de compuestos tóxicos y su persistencia en el ambiente. El tratamiento de los aceites lubricantes usados puede abordarse mediante diferentes estrategias, entre las que se encuentran la recuperación, el reprocesamiento y la regeneración o re-refinación. Al respecto, Morán Robles (2015) señala que mientras la regeneración busca obtener aceites base que puedan reutilizarse en la formulación de nuevos lubricantes, los procesos de recuperación se enfocan en mejorar propiedades específicas mediante la eliminación parcial de contaminantes. En este sentido, Matute Díaz y Sarmiento Ríos (2012) demostraron que es posible obtener aceite base mineral mediante la recuperación de lubricantes usados en vehículos automotrices, validando la utilidad de estos procesos a menor escala.

En la industria, los métodos más utilizados para la regeneración de aceites lubricantes usados incluyen la destilación al vacío, el hidrotratamiento, la extracción con solventes y los tratamientos ácido-arcilla. Aunque estos procesos permiten obtener productos de alta calidad, su implementación requiere infraestructura tecnológica especializada, condiciones de operación controladas y altos costos de inversión y operación. Debido a estas limitaciones, su aplicación puede resultar poco viable en contextos de pequeña escala, entornos educativos o regiones con acceso limitado a equipamiento industrial (Arrieta et al., 2009).

Ante estas limitaciones, diversos estudios han explorado métodos alternativos que utilizan tratamientos fisicoquímicos más simples y materiales de bajo costo para la recuperación parcial de aceites lubricantes usados (Manzanarez Jiménez, 2022). Entre estos métodos destacan

los procesos de adsorción, los cuales emplean materiales con alta área superficial capaces de retener compuestos polares, productos de oxidación y otras impurezas presentes en el aceite degradado. Adsorbentes como el carbón activado, las arcillas activadas y la tierra Fuller han sido ampliamente utilizados en procesos de purificación de hidrocarburos debido a su capacidad para remover contaminantes y mejorar ciertas propiedades fisicoquímicas del aceite tratado (Torner Jimenez & Yapu Machicado, 2022).

Además de los procesos de adsorción, algunos tratamientos químicos pueden emplearse para facilitar la transformación o eliminación de compuestos degradados presentes en el aceite usado. En particular, los procesos de oxidación controlada pueden favorecer la formación de compuestos que posteriormente pueden ser removidos mediante procesos de decantación o adsorción. La eficiencia de estos tratamientos depende de factores como la naturaleza de los reactivos utilizados, las condiciones de operación y el tipo de adsorbente empleado en las etapas posteriores de purificación (Tobón et al., 2008).

La búsqueda de métodos alternativos para recuperar aceites lubricantes usados ha llevado a explorar el uso de reactivos químicos comunes que puedan transformar o eliminar los compuestos ya degradados. Por ejemplo, algunos estudios señalan que los oxidantes suaves, como el peróxido de hidrógeno, ayudan a degradar ciertos componentes orgánicos en el aceite, mientras que agentes alcalinos como el bicarbonato de sodio facilitan la neutralización del medio y la separación de los subproductos del tratamiento. Analizar estos reactivos frente a los métodos convencionales es clave cuando se buscan opciones de recuperación que sean tanto económicas como fáciles de implementar (Castillo & del Valle, 2019).

Por lo tanto, evaluar procesos basados en insumos accesibles y materiales de bajo costo es un paso necesario para lograr una recuperación parcial de estos lubricantes. Estas alternativas son especialmente útiles en entornos con acceso limitado a tecnologías industriales complejas, ya que ofrecen procesos más sencillos que, de igual manera, ayudan a reducir la carga de contaminantes y a mejorar las propiedades del aceite usado (Hernández Sierra et al., 2024).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Para el desarrollo del proceso de recuperación del aceite lubricante usado, se emplearon

materiales y reactivos de fácil acceso con el objetivo de evaluar la viabilidad de un método alternativo de bajo costo aplicado en condiciones no industriales. El aceite utilizado en el estudio fue obtenido a partir del cambio de aceite de un motor de combustión interna; se procuró que proviniera de una única fuente para evitar variaciones en su composición y garantizar una mayor consistencia en los resultados (Tejada Tovar et al., 2017).

Entre los reactivos utilizados se incluyeron peróxido de hidrógeno al 3 % como agente oxidante y bicarbonato de sodio como agente neutralizante. Asimismo, se emplearon materiales adsorbentes con el fin de evaluar su efecto en la purificación del aceite tratado. Para este propósito se utilizaron tierra Fuller y carbón activado, seleccionados debido a su elevada área superficial y su capacidad para remover compuestos polares, productos de oxidación y otras impurezas presentes en matrices hidrocarbonadas (Castillo & del Valle, 2019).

El procedimiento experimental se llevó a cabo utilizando equipos de laboratorio básico y utensilios de uso doméstico, tales como recipientes metálicos resistentes al calor, una cocina eléctrica para el calentamiento del aceite, embudos de filtración, papel filtro, recipientes de vidrio y utensilios de agitación manual, todos los materiales utilizados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Materiales y reactivos utilizados en el proceso experimental.

Material / Reactivo	Función en el proceso
Aceite lubricante usado	Materia prima del proceso de recuperación
Peróxido de hidrógeno (3 %)	Oxidación de compuestos orgánicos degradados
Bicarbonato de sodio	Neutralización del medio y formación de residuos separables
Tierra Fuller	Adsorbente
Carbón activado	Adsorbente
Arroz crudo	Pre - adsorbente para reducción de humedad
Papel filtro o tela filtrante	Separación de sólidos y adsorbentes

Fuente: Elaborado por los autores.

2.2. Procedimiento experimental

El proceso de recuperación del aceite lubricante usado se realizó mediante una secuencia de tratamientos fisicoquímicos que incluyeron etapas de sedimentación, filtración, deshidratación térmica, oxidación química y adsorción. Estas etapas se diseñaron con el objetivo de eliminar partículas sólidas, reducir el contenido de agua, transformar compuestos degradados y remover impurezas mediante procesos de adsorción.

Sedimentación y filtración inicial

Inicialmente, el aceite lubricante usado fue sometido a un proceso de sedimentación durante con el fin de permitir la decantación de partículas sólidas presentes en la muestra. Posteriormente, el aceite fue filtrado para eliminar residuos sólidos de mayor tamaño.

Deshidratación térmica

Después de la filtración inicial, el aceite fue sometido a un proceso de deshidratación térmica mediante calentamiento controlado entre 105 y 110 °C durante aproximadamente 30 a 60 minutos. Esta etapa permitió la evaporación del agua presente en el aceite. Durante el calentamiento se mantuvo agitación constante para evitar sobrecalentamiento localizado y asegurar una distribución uniforme de la temperatura.

Posteriormente, se realizó un proceso de preadsorción mediante la adición de arroz crudo al aceite caliente. El sistema fue agitado durante algunos minutos y posteriormente dejado en reposo, tras lo cual se realizó una nueva filtración para remover el material sólido.

Oxidación química

Una vez enfriado el aceite a temperatura ambiente, se adicionó peróxido de hidrógeno al 3 % de forma gradual mientras se realizaba agitación manual constante. Esta etapa tuvo como objetivo favorecer la oxidación de compuestos orgánicos degradados presentes en el aceite usado, facilitando su posterior eliminación durante las etapas de separación.

Posteriormente, se añadió bicarbonato de sodio como agente neutralizante con el fin de estabilizar el medio y favorecer la formación de residuos sólidos o fases separables. La mezcla fue agitada y posteriormente se dejó reposar durante varias horas para permitir la separación de fases. El aceite tratado fue separado cuidadosamente de la fase inferior mediante decantación.

Tratamientos de adsorción

El proceso de adsorción se evaluó mediante dos tratamientos experimentales independientes, con el objetivo de analizar el efecto de diferentes materiales adsorbentes en la purificación del aceite lubricante tratado.

En el primer tratamiento, se utilizó tierra Fuller como material adsorbente. Para este ensayo, el adsorbente fue incorporado al aceite previamente calentado a una temperatura aproximada entre 80 y 100 °C, manteniendo agitación constante. Posteriormente, la mezcla se dejó reposar con el fin de permitir la sedimentación del adsorbente junto con las impurezas retenidas. Finalmente,

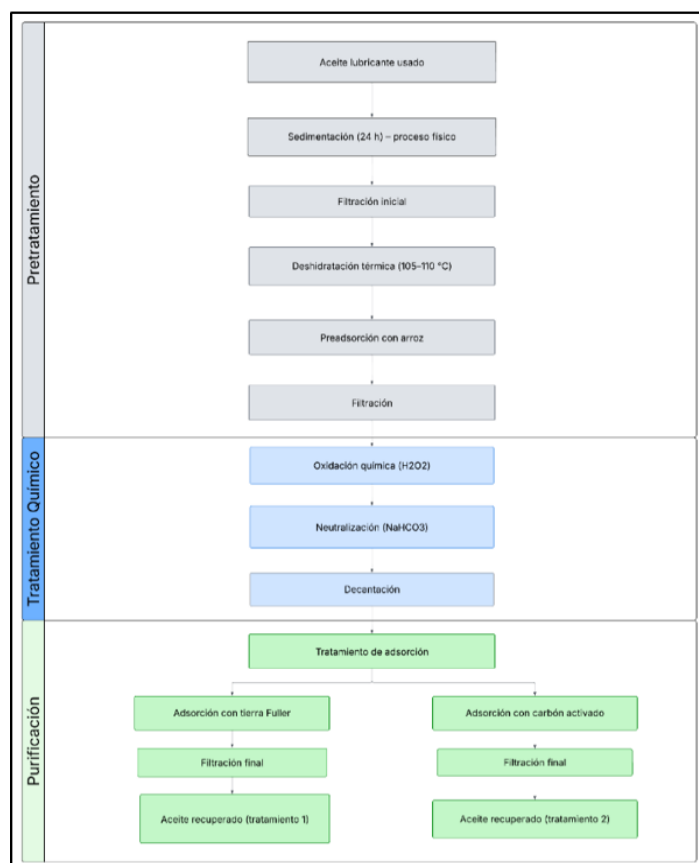
el aceite fue filtrado para separar el material adsorbente y obtener el aceite recuperado.

En el segundo tratamiento, se utilizó carbón activado como adsorbente, siguiendo el mismo procedimiento experimental descrito anteriormente. El carbón activado fue añadido al aceite previamente calentado, manteniendo agitación constante durante el mismo intervalo de tiempo. Posteriormente, la mezcla se dejó reposar para favorecer la sedimentación del adsorbente y se realizó la filtración final para obtener el aceite tratado.

Estos dos tratamientos permitieron comparar el comportamiento de cada adsorbente en el proceso de recuperación del aceite lubricante usado bajo condiciones experimentales similares.

2.3. Diagrama de procesos

Figura 1. Diagrama de procesos.



Fuente: Elaborado por los autores.

El esquema general del proceso experimental empleado para la recuperación del aceite lubricante usado se presenta en la Figura 1. El diagrama de flujo describe las principales etapas del procedimiento, que incluyen operaciones de pretratamiento físico orientadas a la eliminación de sólidos y humedad, un tratamiento químico destinado a la transformación de compuestos degradados presentes en el aceite y una etapa final de purificación mediante

procesos de adsorción. En esta última etapa se realizaron dos tratamientos experimentales independientes utilizando diferentes materiales adsorbentes, tierra Fuller y carbón activado, con el fin de comparar su desempeño en la remoción de contaminantes y en la mejora de las propiedades fisicoquímicas del aceite tratado (Matute & Sarmiento, 2012).

3. RESULTADOS

Previo a la aplicación del proceso de recuperación, se realizó la caracterización de las propiedades fisicoquímicas del aceite lubricante usado, con el fin de establecer una línea base que permita evaluar los cambios generados por los tratamientos aplicados. Para ello, se seleccionó como muestra principal el aceite proveniente de un solo vehículo, con el objetivo de evitar la variabilidad asociada a la mezcla de aceites de diferentes fuentes, la cual puede incrementar el nivel de contaminación y alterar significativamente sus propiedades. Esta selección permitió trabajar con un aceite representativo de condiciones reales de uso, pero con un grado de degradación controlado, facilitando así una evaluación más precisa de la eficiencia del proceso de recuperación y reduciendo la influencia de contaminantes extremos que podrían sesgar los resultados experimentales. En la Tabla 2 se muestran los resultados de propiedades físicas y químicas el aceite lubricante usado.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica del aceite lubricante usado.

Propiedad	Valor
Número ácido TAN (mg KOH/g)	2,19
Oxidación (A/cm)	7,90
Nitración (A/cm)	9,00
Subproductos de sulfato (A/cm)	12,3
Aditivos (A/cm)	7,50
Contenido de agua (A/cm)	170,0
Hollín (%)	0,07
Etilenglicol (%)	0,00

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Posteriormente, se aplicó el proceso de recuperación del aceite lubricante usado mediante un tratamiento fisicoquímico desarrollado bajo condiciones no controladas, utilizando reactivos alternativos de fácil acceso. En lugar de los compuestos tradicionalmente empleados en procesos industriales, se utilizaron peróxido de hidrógeno y bicarbonato de sodio, con el propósito de evaluar su capacidad como agentes oxidantes y neutralizantes dentro del proceso de tratamiento. En la etapa final de purificación, se evaluaron dos tratamientos independientes mediante

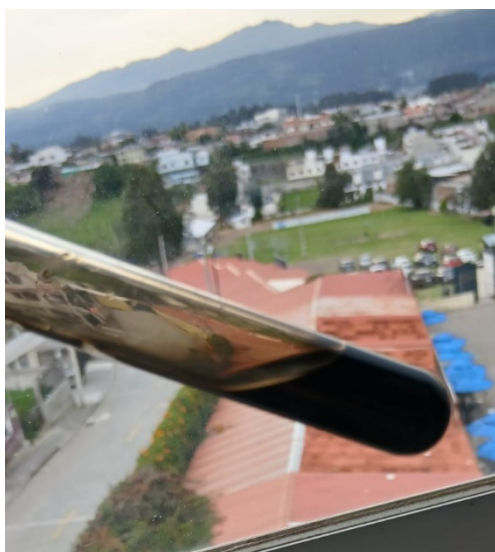
procesos de adsorción, empleando tierra Fuller y carbón activado como materiales adsorbentes. Esta comparación permitió analizar el efecto de cada adsorbente en la mejora de las propiedades fisicoquímicas del aceite tratado, como se observa en la Figura 2. Los resultados obtenidos de la caracterización de los aceites regenerados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas de los aceites regenerados.

Propiedad	Muestra 01 (Tierra Fuller)	Muestra 02 (Carbón activado)
Viscosidad a 40°C (mm ² /s)	87,0	44,7
Número ácido TAN (mg KOH/g)	1,95	1,54
Oxidación (A/cm)	11,6	94,2
Nitración (A/cm)	11,8	4,60
Subproductos de sulfato (A/cm)	12,7	187
Aditivos (A/cm)	7,50	28,5
Contenido de agua (A/cm)	295	54,9
Hollín (%)	0,21	0,08
Etilenglicol (%)	0,00	0,00

Fuente: Ensayos de laboratorio.

Figura 2. Aceite generado: (a) Aceite Regenerado – Tierra Filler, (b) Aceite Regenerando – Carbón Activado.



Fuente: Autores.

3.1. Índice global de eficiencia del proceso

Con el fin de evaluar de manera integral la eficiencia del proceso de recuperación, se calculó un índice global de eficiencia (IGE) considerando las propiedades críticas del aceite asociadas a su degradación: número ácido (TAN), contenido de agua, nitración y hollín. Estas propiedades fueron seleccionadas debido a que su reducción indica una mejora en la calidad del lubricante. En la Tabla 4 se muestran los resultados.

Tabla 4. Porcentaje de mejora de propiedades.

Propiedad	Muestra 01 (Tierra Fuller)	Muestra 02 (Carbón activado)
TAN	10,96 %	29,68 %
Agua	-73,5 %	67,7 %
Nitración	-31,1 %	48,9 %
Hollín	-200 %	-14,3 %

Fuente: Elaborado por los autores.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian que el proceso de recuperación aplicado genera una mejora parcial en las propiedades fisicoquímicas del aceite lubricante usado, con un comportamiento diferenciado en función del material adsorbente utilizado.

En términos generales, el carbón activado mostró un mejor desempeño en la reducción de varios contaminantes presentes en el aceite usado, mientras que la tierra Fuller presentó resultados menos favorables en algunos parámetros clave.

La viscosidad a 40 °C fue mucho mayor en la muestra tratada con tierra Fuller (87,0 mm²/s) que en la tratada con carbón activado (44,7 mm²/s). Este comportamiento podría indicar que la tierra Fuller no logró remover completamente algunos compuestos pesados generados durante la degradación del lubricante. Además, viscosidad elevada puede estar asociada a la presencia de contaminantes residuales o a cambios producidos durante el proceso de tratamiento, lo que limita la recuperación de las características originales del aceite.

En relación con el número ácido (TAN), la muestra regenerada con carbón activado presentó el valor más bajo (1,54 mg KOH/g), mientras que la muestra tratada con tierra Fuller alcanzó 1,95 mg KOH/g. Esto sugiere que el carbón activado tuvo una mayor capacidad para remover compuestos ácidos formados durante el uso del lubricante. La reducción de este parámetro es importante porque los compuestos ácidos aceleran el deterioro del aceite y favorecen procesos de corrosión en los equipos.

Los resultados de oxidación muestran un comportamiento interesante. Aunque el carbón activado mejoró varios indicadores de calidad, presentó un valor de oxidación considerablemente más alto (94,2 A/cm) que la muestra tratada con tierra Fuller (11,6 A/cm). Este resultado evidencia que el tratamiento aplicado no fue capaz de eliminar completamente los productos de oxidación acumulados durante la vida útil del lubricante. Por lo tanto, aunque el aceite recuperado presenta

mejoras en algunos aspectos, aún conserva señales importantes de envejecimiento químico.

Por otra parte, la nitración fue menor en la muestra tratada con carbón activado (4,60 A/cm) en comparación con la tierra Fuller (11,8 A/cm). Esta diferencia indica una mayor capacidad del carbón activado para reducir compuestos nitrogenados derivados de los procesos de combustión del motor. La disminución de estos compuestos es favorable, ya que contribuye a mejorar la estabilidad química del aceite regenerado.

Un comportamiento similar se observó en el contenido de hollín. La muestra tratada con carbón activado presentó únicamente 0,08 %, mientras que la regenerada con tierra Fuller registró 0,21 %. Esto demuestra que el carbón activado fue más eficiente para remover partículas carbonosas y residuos sólidos generados durante el funcionamiento del motor, contribuyendo a obtener un aceite visualmente más limpio y con menor carga de contaminantes.

Uno de los resultados más representativos corresponde al contenido de agua. La muestra regenerada con carbón activado presentó un valor mucho menor (54,9 A/cm) que la muestra tratada con tierra Fuller (295 A/cm). Este resultado sugiere que el carbón activado favoreció una mejor eliminación de la humedad presente en el aceite. En contraste, el elevado contenido de agua observado en la muestra con tierra Fuller podría estar relacionado con la capacidad de este material para absorber humedad del ambiente. Considerando que el experimento se desarrolló bajo condiciones no controladas de temperatura y humedad, es posible que factores externos hayan influido en este comportamiento y afectado negativamente los resultados obtenidos con este adsorbente.

Respecto a los aditivos, la muestra tratada con carbón activado presentó un valor superior (28,5 A/cm) frente a la muestra con tierra Fuller (7,50 A/cm). Este resultado podría interpretarse como una mejor conservación de algunos componentes funcionales del lubricante original, aspecto positivo ya que los aditivos desempeñan un papel fundamental en la protección y desempeño del aceite durante su operación.

No se detectó presencia de etilenglicol en ninguna de las muestras, lo que indica que el aceite utilizado no presentaba contaminación proveniente del sistema de refrigeración del motor. Este resultado permite descartar interferencias asociadas a fugas de refrigerante durante el análisis.

Los resultados muestran que el carbón activado logró una recuperación más eficiente del aceite usado al reducir el contenido de agua, nitración, hollín y compuestos ácidos. Sin embargo, los

elevados valores de oxidación y subproductos de sulfato evidencian que el proceso no logró restaurar completamente las propiedades originales del lubricante. Esto confirma que el método evaluado permite una recuperación parcial del aceite, siendo el carbón activado la alternativa con mejor desempeño dentro de las condiciones experimentales aplicadas. No obstante, los resultados también reflejan la necesidad de optimizar el proceso y controlar variables ambientales para alcanzar una regeneración más efectiva.

El cálculo del índice global de eficiencia permitió obtener una visión general del desempeño del proceso de recuperación del aceite usado, considerando de manera conjunta los principales parámetros relacionados con su degradación. Los resultados muestran una diferencia clara entre los materiales evaluados. La muestra tratada con carbón activado alcanzó un índice global de eficiencia de 33,0 %, lo que indica que el tratamiento logró mejorar parcialmente la calidad del aceite al reducir varios de los contaminantes presentes. En cambio, la muestra tratada con tierra Fuller obtuvo un índice de -73,9 %, evidenciando que el proceso no produjo una mejora global y que algunas de las propiedades evaluadas incluso empeoraron después del tratamiento. En términos generales, estos resultados sugieren que el carbón activado fue la alternativa más efectiva para la recuperación parcial del aceite lubricante usado, mientras que la tierra Fuller mostró limitaciones importantes bajo las condiciones en que se desarrolló el experimento.

El proceso de recuperación se realizó utilizando reactivos alternativos de bajo costo y fácil acceso, como el peróxido de hidrógeno y el bicarbonato de sodio, con el objetivo de evaluar una opción sencilla y económicamente viable para el tratamiento de aceites lubricantes usados. Además, el procedimiento se llevó a cabo bajo condiciones no controladas y sin equipos especializados, por lo que puede considerarse una recuperación de tipo artesanal o a pequeña escala. A pesar de estas limitaciones, los resultados obtenidos demuestran que sí fue posible lograr una recuperación parcial del aceite, evidenciada por la mejora de varios parámetros de calidad, principalmente en la muestra tratada con carbón activado. Si bien el proceso no permitió restaurar completamente las propiedades originales del lubricante, los resultados muestran que es posible reducir parte de los contaminantes presentes y mejorar ciertas características del aceite mediante un método simple, accesible y de bajo costo. Esto resalta el potencial de este tipo de alternativas como una opción para disminuir el impacto ambiental asociado a la

disposición inadecuada de aceites usados.

Es importante también considerar que el proceso experimental fue desarrollado bajo condiciones ambientales no controladas, sin monitoreo ni regulación de variables como temperatura ambiente, humedad relativa y presión atmosférica. Estas condiciones pudieron influir en la eficiencia de las diferentes etapas del tratamiento, particularmente en los procesos de deshidratación, oxidación y adsorción. En el caso de la muestra tratada con Tierra Fuller, los resultados obtenidos podrían estar relacionados, en parte, con la sensibilidad de este material a las condiciones de humedad del entorno, ya que las arcillas adsorbentes tienden a absorber agua del ambiente, lo que puede afectar su capacidad para remover otros contaminantes presentes en el aceite. De igual manera, las variaciones de temperatura pudieron modificar la velocidad de las reacciones químicas asociadas al peróxido de hidrógeno y alterar la interacción entre el aceite y el adsorbente. Por lo tanto, el comportamiento desfavorable observado en algunos parámetros de la muestra tratada con Tierra Fuller no necesariamente debe atribuirse exclusivamente al material adsorbente, sino también a la posible influencia de factores ambientales que no fueron controlados durante el desarrollo del experimento. No obstante, estas condiciones permiten evaluar el desempeño del método en escenarios más cercanos a una aplicación práctica real, donde el acceso a equipos especializados para el control de variables operativas puede ser limitado.

Desde el punto de vista ambiental, los resultados obtenidos son alentadores, ya que evidencian una reducción de varios de los contaminantes presentes en el aceite lubricante usado. Este aspecto es especialmente importante porque los aceites usados son considerados residuos altamente contaminantes debido a la presencia de compuestos ácidos, productos de oxidación, nitración y humedad acumulados durante su vida útil. Estas sustancias pueden generar impactos negativos sobre el suelo y los cuerpos de agua cuando el residuo es desechado de manera inadecuada. Además, la elevada acidez y la presencia de compuestos reactivos aumentan su agresividad química, favoreciendo alteraciones en las condiciones fisicoquímicas del entorno y afectando el equilibrio de los ecosistemas. Por ello, cualquier reducción de estos contaminantes representa un avance en la disminución de la carga contaminante y del nivel de peligrosidad del residuo (Muñoz Rivera, 2020).

De acuerdo con Islam Sazzad et al. (2024), los procesos de tratamiento de aceites usados permiten

reducir contaminantes y mejorar algunas de sus propiedades, favoreciendo su reutilización y una gestión más sostenible de estos residuos. Aunque el proceso evaluado en esta investigación se desarrolló con reactivos alternativos de bajo costo y bajo condiciones experimentales sencillas, los resultados demostraron que fue posible recuperar parcialmente el aceite y mejorar varios de sus parámetros de calidad. Esto evidencia que incluso mediante métodos accesibles se puede aportar a la reducción del impacto ambiental de este residuo, promoviendo además enfoques de sostenibilidad y economía circular que buscan dar valor a materiales considerados desechos y reincorporarlos, en cierta medida, a nuevos ciclos de aprovechamiento (Hernández Sierra et al., 2024).

En conjunto, los resultados obtenidos muestran que el método propuesto puede ser una alternativa práctica y accesible para el manejo de aceites usados, especialmente en lugares donde no se cuenta con laboratorios especializados ni con tecnologías de tratamiento avanzadas. Más allá de reducir el impacto ambiental asociado a este tipo de residuos, la recuperación parcial del aceite abre la posibilidad de aprovecharlo en otros usos donde no se requieran las mismas condiciones de un lubricante nuevo (López et al., 2018). Asimismo, la aplicación de este tipo de procesos puede contribuir a disminuir la cantidad de residuos peligrosos que requieren disposición final, promoviendo una gestión más responsable de los recursos y apoyando iniciativas orientadas a la sostenibilidad y la economía circular.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que es posible recuperar parcialmente aceites lubricantes usados mediante el empleo de reactivos alternativos de bajo costo, como el peróxido de hidrógeno y el bicarbonato de sodio, junto con materiales adsorbentes. A pesar de que el proceso se desarrolló bajo condiciones experimentales sencillas y sin equipos especializados, se logró mejorar algunas de las propiedades del aceite, evidenciando que este tipo de tratamientos puede contribuir a reducir la contaminación asociada a estos residuos. Sin embargo, la recuperación alcanzada fue parcial, ya que no se logró restablecer completamente todas las características originales del lubricante.

Entre los materiales evaluados, el carbón activado presentó el mejor desempeño, reflejado en un índice global de eficiencia de 33,0 %, mientras que la tierra Fuller mostró resultados menos favorables, con un índice de -73,9 %. Además, el carbón activado permitió una mayor

reducción de parámetros relacionados con la degradación del aceite, como el número ácido, el contenido de agua y la nitración, lo que demuestra una mejor capacidad para remover parte de los contaminantes acumulados durante el uso del lubricante.

Aunque el tratamiento permitió mejorar algunas propiedades del aceite, los resultados indican que el producto recuperado no cumple con los requisitos de calidad necesarios para ser reutilizado como lubricante en motores de combustión interna. Esto se debe a que aún presenta evidencias de degradación, especialmente en parámetros asociados a la oxidación y la estabilidad química. Por lo tanto, no alcanza las especificaciones de desempeño exigidas para los aceites lubricantes comerciales. No obstante, el aceite recuperado podría tener aplicaciones en actividades de menor exigencia técnica, como la lubricación de cadenas, herramientas, equipos mecánicos de baja carga o como materia prima para otros procesos de aprovechamiento.

Desde el punto de vista ambiental, el proyecto adquiere especial importancia porque permitió reducir parcialmente la carga contaminante del aceite usado. Estos residuos son considerados altamente contaminantes debido a la presencia de compuestos ácidos, productos de oxidación, nitración y humedad, los cuales pueden afectar las características fisicoquímicas del suelo y de los cuerpos de agua cuando son eliminados de forma inadecuada. En este sentido, la disminución de estos contaminantes contribuye a reducir el nivel de peligrosidad del residuo y, por ende, su potencial impacto sobre el ambiente.

Los resultados obtenidos muestran que el método propuesto puede constituir una alternativa práctica y accesible para la gestión de aceites usados, especialmente en lugares donde no se dispone de laboratorios especializados o tecnologías avanzadas de tratamiento. Si bien no reemplaza los procesos industriales de regeneración, sí representa una opción que permite reducir la cantidad de residuos peligrosos y promover su aprovechamiento parcial. Además, este enfoque se alinea con los principios de sostenibilidad y economía circular al buscar que un residuo potencialmente contaminante pueda adquirir un nuevo valor antes de su disposición final.

Finalmente, se recomienda para trabajos futuros la optimización de las condiciones del proceso y el uso de equipos controlados, con el fin de mejorar la eficiencia del tratamiento y acercar las propiedades del aceite recuperado a estándares comerciales.

Contribución de los Autores (CRediT): EVQO: Investigación, Metodología, Administración del

proyecto. VPTV: Conceptualización, Redacción – borrador original. GAPN: Validación, Curación de datos.

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en esta publicación.

Declaración de Uso de Inteligencia Artificial: Los autores declaran que utilizaron herramientas de inteligencia artificial (IA) en mejora de la redacción del artículo. Las herramientas utilizadas para este fin fueron: ChatGPT y GEMINI.

REFERENCIAS

- Arrieta, J., McNish, F., & Yepes, C. (2009). *Implementación de una planta para la recuperación de aceites usados en la ciudad de Cartagena* [Trabajo de especialización, Universidad Tecnológica de Bolívar] Repositorio Institucional Universidad Tecnológica de Bolívar. <https://hdl.handle.net/20.500.12585/3465>
- Castillo, A., & del Valle, O. (2019). *Determinación de una metodología de recuperación de aceites lubricantes usados en vehículos automotores mediante extracción con ácido acético y el uso de agregados de nanopartículas de SiO₂ como adsorbentes en la fase final de purificación* [Trabajo especial de grado, Universidad Central de Venezuela] Repositorio Saber UCV. <https://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/10872/20397/1/TRABAJO%20ESPECIAL%20DE%20GRADO%20ORIANA%20AMUNDARA%C3%8DN.pdf>
- Hernández Pedraza, J. D., & Maldonado Rodríguez, A. F. (2020). *Evaluación de un proceso para la recuperación de bases lubricantes contenidas en los aceites lubricantes usados* [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional de la Fundación Universidad de América. <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7801>
- Hernández Sierra, M. T., Moreno Bello, K. J., García Miranda, J. S., García López, V. G., y Torres Chimal, F. F. (2024). Lubricantes automotrices: Importancia y recuperación para impulsar la sostenibilidad. *Pistas Educativas*, 46(148), 419-437. <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/3708>
- Islam Sazzad, M. R., Rahman, M. M., Hassan, T., al Rifat, A., al Mamun, A., Adib, A. R., Meraz, R. M., & Ahmed, M. (2024). Advancing sustainable lubricating oil management: Re-refining techniques, market insights, innovative enhancements, and conversion to fuel. *Heliyon*, 10(20), e39248. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39248>
- López, J., Allauca, F., Veloz, F., Zambrano, T., & Guilcapi, J. (2018). Valoración energética del aceite lubricante usado en sistemas térmicos de combustión de la industria cementera

- ecuatoriana. *Novasineria Revista Digital De Ciencia, Ingeniería y Tecnología*, 1(2), 60–70. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.02.07>
- Manzanarez Jiménez, L. A. (2022). Alternativas de recuperación para los aceites lubricantes usados. *EPISTEMUS*, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.222>
- Matute Díaz, J. A., & Sarmiento Ríos, D. T. (2012). *Obtención de aceite base mineral mediante la recuperación del aceite usado en vehículos automotrices* [Trabajo de grado, Universidad del Azuay] Repositorio Institucional DSpace Universidad del Azuay. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/1448>
- Moran Robles, K. D. (2015). *Re-refinación de aceites lubricantes usados mediante procesos físico-químicos* [Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral] Repositorio Institucional DSpace ESPOL. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/38267>
- Muñoz Rivera, A. M. (2020). *Beneficios ambientales de un proceso de re-refinación de aceites lubricantes usados en Colombia* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia] Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80446>
- Tejada Tovar, C. N., Quiñones Bolaños, E., & Fong Silva, W. (2017). Physical-chemical characterization of spent engine oils for its recycling. *Prospectiva*, 15(2), 135–144. <https://doi.org/10.15665/rp.v15i2.782>
- Tobón, A. E. D., Peña, W. O. F. J., & Padilla, J. L. D. (2008). Cuantificación de los principales contaminantes en los aceites usados antes y después del proceso de tratamiento y recuperación para las empresas Ecolcin y Proptelma SA. *Avances: Investigación en Ingeniería*, 1(9), 50-57. <https://www.redalyc.org/pdf/7579/757979587004.pdf>
- Tornero Jimenez, R. J., & Yapu Machicado, W. (2022). Descontaminación de superficies impregnadas con aceite lubricante automotriz usado (ALAU), mediante procesos de adsorción, persorción y desorción con ulexita. *Revista Boliviana de Química*, 39(2). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.39.2.1>