

Vol. 8 N° 2 • julio - diciembre 2018



RECUPERACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES USADOS CON ARCILLAS DE PRODUCCIÓN DE POLIOLES

Used lubricating oil recovery with waste clays from polyol production

Antonio De Turrís^{1*}, Lisseth Ocando¹, Gustavo Ramos², Mario Urdaneta², Beatriz Marrufo²
y Charles Gutierrez².

Centro de Estudios de Corrosión, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia¹. Laboratorio de Ingeniería Química, Centro de Estudios de Corrosión, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia². Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.
deturrisajo@gmail.com

RESUMEN

El aceite lubricante usado se considera como una fuente de contaminación sino, se aplica una correcta disposición, por lo que su recuperación representa un papel importante en la preservación del medio ambiente. El objetivo fue recuperar aceites lubricantes usados con arcillas de producción de polioles. En esta investigación se realizó el estudio de un método de tratamiento de aceites lubricantes usados, empleando arcillas gastadas de un proceso de producción de polioles, para luego caracterizar las muestras de arcilla y de aceite lubricante nuevo, usado y regenerado, de acuerdo a normas y ensayos COVENIN y ASTM para caracterización de derivados del petróleo. Se obtuvo como resultado que el aceite usado presenta oxidación y degradación de sus componentes, así como también la presencia de metales debido al desgaste de las piezas mecánicas del motor. Este tratamiento fue capaz de remover compuestos de menor peso molecular del aceite usado. Además, permitió adecuar parámetros fisicoquímicos del aceite lubricante luego de la recuperación con arcilla. La alta alcalinidad de la arcilla aporta contenido metálico a las muestras regeneradas.

Palabras clave: aceite lubricante, tratamiento con arcilla, polioles.

ABSTRACT

Used lubricating oils are considered as a source of contamination if a proper disposition is not applied reason why its recovery represents an important role in the preservation of the environment. In this investigation the study of a treatment method of used lubricating oils, using wasted clays of a polyol production process was carried out, and then, the clay and lubricating oils samples were characterized, according to COVENIN and ASTM standards for petroleum derivatives characterization. Results showed that the used oil components are oxidized and degraded, as well as the presence of metals due to wear of mechanical parts. This treatment was able to remove lower molecular weight compounds from the used oil. In addition, it allowed the adjustment of physicochemical parameters of the lubricating oil after the recovery with clay. The clay high alkalinity increases the metallic content in the regenerated samples.

Keywords: Lubricating oil, clay treatment, polyol.

INTRODUCCIÓN

El aceite lubricante es un producto valioso y esencial obtenido del fraccionamiento de petróleo, es principalmente usado en diversas maquinarias de producción, plantas de energía, automóviles, entre otros, para reducir la fricción, eliminar el calor, proteger contra el óxido y el desgaste, como sello de contaminantes y abrasión en equipos mecánicos, pero se deteriora luego de su uso a causa de la oxidación y contaminación, lo que trae como consecuencia un cambio en las propiedades (Katiyar y Husain, 2010); (Eman y Shoab, 2012).

Típicamente, los aceites gastados consisten de una mezcla de base de aceite, aditivos con altas concentraciones de metales y compuestos alifáticos (Rincón, Cañizares y García, 2005); (Zzeyani, Mikou, Naja y Elachhab, 2017). La producción de aceites lubricantes aumenta cada año y luego de su uso son considerados como desechos tóxicos, debido al alto contenido de componentes contaminantes, productos de degradación térmica de la base del aceite y aditivos y productos de combustión.

Sin embargo, el aceite usado aún conserva una gran porción de base que puede ser usada para formular nuevos lubricantes si estos contaminantes son propiamente separados por procedimientos de reciclado (Rincón, Cañizares y García, 2005); (Sterpu, Dumitru y Popa, 2012); (Majano y Mintova, 2010). El aceite usado necesita un manejo apropiado que permita minimizar la cantidad de aceite desechado inadecuadamente. Por esta razón, la recuperación de aceites lubricantes usados representa un factor fundamental en la reducción de la contaminación.

Existen diferentes métodos de recuperación de aceites usados, entre estos están: destilación, refinación ácida (Abdel-Jabbar, Al Zubaidy y Mehrvar, 2010); (Kamal y Khan, 2009), extracción con solvente (Durrani, Panhwar y Kazi, 2011); (Ogbeide, 2010), tratamiento con arcilla, hidrogenación (Jhanani y Joseph, 2011) o una combinación de estos. En este trabajo se busca recuperar las propiedades físico-químicas de un aceite lubricante usado sintético 10W30, mediante el tratamiento con arcillas de un proceso de producción de polioles, con la finalidad de reutilizar ambos desechos y obtener un producto de mayor valor agregado.

METODOLOGÍA

Las muestras de aceite lubricante sintético 10W30 nuevo (A_{LN}) y usado (A_{LU}) fueron recolecta-

das en un local de asistencia automotriz especializada, ubicado en el municipio Maracaibo, estado Zulia. La muestra de arcilla se obtuvo de una industria de polioles ubicada en el municipio Santa Rita, estado Zulia.

Procedimiento de regeneración:

Primero, se realizó una filtración del A_{LU} a través de un papel de filtro de 750 μm a temperatura ambiente y presión atmosférica. Posteriormente, se agregaron 500 ml de A_{LU} a un vaso de precipitado de 1000 ml, y este se colocó sobre una plancha de calentamiento a 110 $^{\circ}\text{C}$ con agitación magnética para evaporar el contenido de agua, por un lapso de 10 min. Luego se agregó arcilla a una relación de mezcla aceite/arcilla de 20%p/p, con agitación magnética a 1000 rpm por un lapso de 30 min hasta formar una mezcla homogénea. Para separar el aceite lubricante recuperado (A_{LR}) de la arcilla, se realizó una separación al vacío durante 20 min, empleando un embudo Buchner, matraz de separación, papel de filtro Spund Bond 250 μm y una bomba de vacío.

Caracterización:

Cada una de las muestras (A_{LN} , A_{LU} y A_{LR}) fue caracterizada fisicoquímicamente por los ensayos mostrados en las Tabla 1 y 2. Además, la arcilla utilizada en la regeneración fue analizada mediante Fluorescencia de Rayos X (XRF) con un espectrómetro dispersivo de energía de alta sensibilidad SHIMADZU EDX-700HS, con una fuente de rayos X de Rh operando a 50 keV.

Tabla 1. Propiedades físicas analizadas

Tipo de Análisis	Norma	Tipo de Análisis	Norma
Curvas de Destilación	ASTM D-86 COVENIN 850	Contenido de humedad	ASTM D-4377 COVENIN 1009
Gravedad API	ASTM D-287 COVENIN 883	Punto de fluidez	ASTM D-97 COVENIN 877
Densidad	Correlación matemática	Punto de inflamación	ASTM D-92 COVENIN 372
Viscosidad absoluta	Viscosímetro Brookfield	Carbón Conradson	ASTM D-189 COVENIN 879
% Agua y sedimentos	ASTM D-96 COVENIN 2706	Cenizas sulfatadas	ASTM D-482 COVENIN 2583

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 2. Propiedades químicas analizadas

Tipo de Análisis	Norma
Metales pesados	ASTM D-4739 COVENIN 2044
Nitrógeno total	SM-4500N D EPA-351.3
Acidez y basicidad	ASTM D-4739 COVENIN 878

Fuente: Elaboración propia, (2017).

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En la Tabla 3, se observan los resultados obtenidos mediante el análisis elemental por fluorescencia de rayos X a una muestra de arcilla diatomacea, previamente usada en la producción de polioles. Se destacan los contenidos de sílice y potasio de 61,696 y 22,607%p/p respectivamente.

Resultados similares fueron obtenidos por Al-Sabagh et al. (2016) al estudiar una arcilla diatomea de Egipto mediante XRF con 41.64% de SiO_2 , 18.39% de CaO , 5.97% de Al_2O_3 , 4.04% de Fe_2O_3 y trazas de Na_2O , K_2O , TiO_2 y P_2O_5 .

El alto contenido de potasio se debe a que en las industrias de polioles, las arcillas diatomeas es empleada en los reactores de polioles para la absorción del catalizador KOH una vez que el poliol haya alcanzado el peso molecular deseado (De Lucas, Rodríguez, Pérez-Collado y Sánchez, 2002).

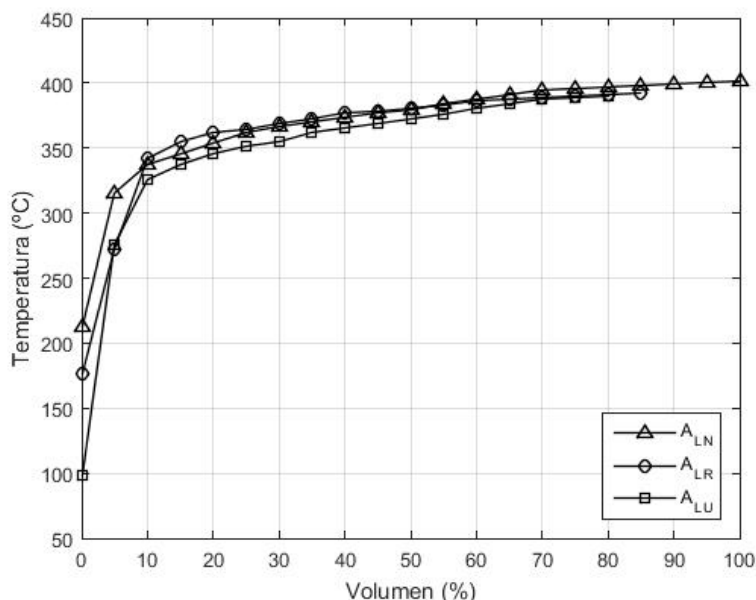
Tabla 3. Análisis elemental de la arcilla diatomea.

Elemento	%p/p	STD	Elemento	%p/p	STD
SiO_2	61,696	0,146	CaO	1,010	0,023
K_2O	22,607	0,052	SO_3	0,195	0,009
MgO	8,241	0,180	TiO_2	0,148	0,012
Al_2O_3	4,772	0,122	ZrO_2	0,019	0,001
Fe_2O_3	1,213	0,010			

Fuente: Elaboración propia 2017

En la Figura 1, se observa la curva de destilación atmosférica para cada una de las muestras estudiadas, se aprecia que los puntos de ebullición inicial del A_{LN} y A_{LR} , 212.2 y 176.6 °C respectivamente, son mayores que las condiciones promedio de operación del vehículo (80 °C) (Holmberg, Andersson y Erdemir, 2012), por lo que no ocurrirá la evaporación del lubricante, mientras que para el A_{LU} el punto de ebullición inicial es de 98.8°C por lo que es posible la evaporación a las condiciones de operación del motor. La disminución del punto inicial de ebullición del A_{LU} con respecto al A_{LN} , así como también del punto final de ebullición, indica una descomposición térmica del aceite lubricante al ser sometido a las condiciones de operación de motor, produciendo cadenas de hidrocarburos más sencillas debido a que las cadenas alifáticas unidas al anillo aromático son separadas y craqueadas (Eman y Shoab, 2012); (Zzeyani, Mikou, Naja y Elachhab, 2017).

1. Figura Curva de destilación atmosférica para ALN, ALU y ALR.



Fuente: elaboración propia, (2017).

Cuando los aceites lubricantes están expuestos a altas temperaturas en presencia de oxígeno (aire), el aceite empieza a sufrir un proceso de oxidación en el cual las cadenas de hidrocarburos que están en el aceite reaccionan con el oxígeno para formar, entre otras sustancias, derivados de ácidos orgánicos, tales como aldehídos y cetonas en mayores concentraciones y ésteres en concentraciones más bajas (Gómez, 2013). Análogamente, al comparar los puntos inicial y final de ebullición de las muestras A_{LU} y A_{LR} , se observa un aumento de estos valores como consecuencia de la capacidad de la arcilla de adsorber los compuestos polares, tales como los productos de oxidación y aditivos residuales, luego del tratamiento de recuperación,

teniendo como resultado mayor estabilidad en las cadenas moleculares.

Los resultados del análisis del contenido de humedad se muestran en la Tabla 4, el contenido de agua máximo recomendado es de 1100 ppm, según la norma COVENIN 829, por lo que todas las muestras se encuentran en lo establecido. La disminución del contenido de agua en la muestra A_{LU} puede deberse a un buen estado de los empaques, filtro y sellos en el motor del automóvil, mientras que el aumento de esta propiedad en la muestra A_{LR} se debe a la humedad que le aportó la arcilla durante la mezcla y que no pudo ser retirada durante el proceso de evaporación.

Tabla 4. Resultados propiedades analizadas de muestras de A_{LN} , A_{LU} y A_{LR}

Propiedad	A_{LN}	A_{LU}	% Desv.	A_{LR}	% Desv.
Contenido de agua (ppm)	286	205	28.3	615	115.0
Carbón Conradson (%)	0.82	2.33	184.1	1.85	125.6
Cenizas sulfatadas (%)	0.95	1.02	7.4	1.37	44.2
Gravedad API	33.11	29.72	10.2	29.20	11.8
Punto de inflamación (°C)	210	192	8.5	194	7.6
Viscosidad (cP, 79 °C)	27.88	9.77	64.9	17.32	37.9
Punto de fluidez (°C)	-43	-47	9.3	-50	16.3
TAN (mg KOH)	1,017	4,707	362	0,452	55,5

Fuente: Elaboración propia 2017

El contenido de carbón se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la Comisión Venezolana de Normas Industriales, COVENIN 829, para cada una de las muestras, este parámetro indica la cantidad de depósitos carbonosos que podrían formarse, sin embargo, este valor se ve afectado por la presencia de aditivos detergentes. Se observa un aumento del contenido de carbón para la muestra A_{LU} a 2.33% causado por la formación de residuos carbonosos durante el proceso de degradación térmica (Mortier, Fox y Orszulik, 2010), el tratamiento de recuperación fue capaz de disminuir el contenido de compuestos carbonosos en el aceite hasta 1.85%.

Se obtuvo que el contenido de cenizas sulfatadas en la muestra A_{LN} es de 0,95%, lo cual indica la concentración de aditivos conocidos que contienen metales (detergente o dispersante) (Mortier, Fox y Orszulik, 2010), para el caso del A_{LU} posee 1,02%, posiblemente causado por el producto del desgaste de las piezas del motor durante el funcionamiento.

En cambio para el A_{LR} contiene 1,37%, lo que indica un aporte de metales por parte de la arcilla.

En la Tabla 4 se puede observar que la muestra A_{LN} presentó una gravedad API de 33,11, según la clasificación del instituto americano del petróleo esta base corresponde para un crudo de tipo ligero por estar comprendida entre 31,1 y 39, mientras que para las muestras de A_{LU} y A_{LR} , presentan características de crudo mediano por tener una gravedad API entre 22,3 y 31,1. Esto se debe a los cambios ocurridos en las moléculas del aceite lubricante como consecuencia de la exposición a altas temperaturas durante su funcionamiento (Mortier, Fox y Orszulik, 2010).

Los puntos de inflamabilidad de las muestras se reportan en la Tabla 4, la muestra A_{LN} es de 210 °C, indicando la temperatura mínima a la cual los vapores desprendidos por un aceite inflamándose en presencia de una llama o chispa (Mortier, Fox y Orszulik, 2010), mientras que para las muestras A_{LU} y A_{LR} su punto de inflamación es de 192 y 194 °C,

respectivamente, la disminución del punto de inflamabilidad de dichas muestras con respecto a A_{LN} es consecuencia de la combustión y oxidación a elevadas temperaturas de manera continua en el motor del automóvil provocando la presencia de componentes más livianos (Rincón, Cañizares y García, 2005); (Udonne, 2001).

La viscosidad afecta las cualidades de lubricación del aceite, ya que un aceite con alta viscosidad no fluye fácilmente, causando daños en las piezas. En la Tabla 4 se aprecia una disminución de la viscosidad de la muestra A_{LU} con respecto a la muestra A_{LN} , estas variaciones se deben principalmente a la degradación de los aditivos mejoradores del índice de viscosidad luego de proceso de oxidación (Maceiras, Alfonsín y Morales, 2017). Luego de la recuperación del aceite, se obtuvo un aumento de la viscosidad a 17.32 cP, indicando una remoción de los contaminantes.

Se observó un punto de fluidez para la muestra A_{LN} de $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$, las muestras A_{LU} y A_{LR} presentan desviaciones de 9,3 y 16,2%, respectivamente. Esto es debido a que los aceites lubricantes de base sintética presentan bajos puntos de fluidez en comparación con los de base mineral, con temperaturas comprendidas entre -60 y $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente (Mortier, Fox y Orszulik, 2010).

En la Tabla 5, se muestran las concentraciones de metales en los aceites analizados. Parte de los metales presentes son consecuencia del desgaste del motor debido a la corrosión por la presencia de agua y la dilución del combustible dado a falla en los pistones (Eman y Shoaib, 2012); (Udonne, 2001). Mientras que el resto de los metales provie-

nen de los aditivos del lubricante. Cabe destacar, que los factores que inciden en la remoción de los metales son: el tiempo de agitación, la temperatura y la cantidad de arcilla empleada para el tratamiento.

Se observa que para todas las muestras el contenido de plomo es menor a 1 ppm. El contenido de calcio de la muestra A_{LU} incrementó 305 ppm con respecto a la muestra A_{LN} , lo cual no corresponde a lo indicado en la literatura estudiada, según datos referenciales, el contenido de calcio en la muestra de A_{LU} obtuvo una disminución de 10% con respecto al A_{LN} . La muestra A_{LR} presentó una disminución de 402 ppm con respecto al A_{LU} , donde se pudo evidenciar la remoción de calcio por parte de la arcilla adsorbente.

Se puede observar un contenido de zinc de la muestra A_{LN} de 954 ppm, mientras que para la muestra A_{LU} se obtuvo una disminución de 84 ppm. El alto contenido de zinc en las muestras se debe a que es usado como aditivo, por ejemplo ditiofosfato de zinc (Eman y Shoaib, 2012), debido a su efecto de inhibidor de oxidación. La muestra A_{LR} presentó una disminución de 554 ppm con respecto al A_{LN} (Moreira, Duarte, Nandenha y Macedo, 2008). Emam y Shoaib (2012) encontraron resultados similares al estudiar la regeneración de aceites lubricantes con arcilla, reportando una disminución del contenido de zinc. Además, estos autores reportaron una baja concentración de cobre en las muestras tratadas como se observa en la Tabla 5. Por otro lado, no se detectó variaciones en la concentración de arsénico.

El contenido de magnesio, que se utiliza como

Tabla 5. Contenido de metales en las muestras de A_{LN} , A_{LU} y A_{LR} .

Metal	Concentración (ppm)			Metal	Concentración (ppm)		
	A_{LN}	A_{LU}	A_{LR}		A_{LN}	A_{LU}	A_{LR}
Plomo	<1	<1	<1	Bario	2	3	4
Calcio	2035	2340	1938	Hierro	8	109	83
Zinc	954	870	400	Sodio	11	11	60
Arsénico	<1	<1	<1	Fosforo	<1	<1	<1
Magnesio	9	10	19	Cobre	2	<1	1

Fuente: elaboración propia, (2017).

un aditivo detergente y dispersante para mantener la suspensión de las partículas (Mortier, Fox y Orszulik, 2010), hubo un ligero incremento de 1 ppm

en la muestra A_{LU} con respecto a la muestra A_{LN} . En cuanto a la muestra A_{LR} hubo un incremento de 9 ppm luego del tratamiento de recuperación, posi-

blemente aportado por la arcilla que cuenta con un 8.2% de MgO, según el análisis por XRF. Similarmente, el contenido de bario presentó un incremento de 1 ppm en la muestra A_{LU} y 2 ppm en la muestra A_{LR} , ambos con respecto al A_{LN} , este elemento actúa como inhibidor de corrosión en los aceites sintéticos (Mortier, Fox y Orszulik, 2010).

La muestra de A_{LN} presentó una concentración de 8ppm de hierro, mientras que la muestra de A_{LU} obtuvo una concentración de 109ppm, esto se debe al choque abrasivo de las partes mecánicas, permitiendo el desprendimiento de partículas de hierro. Existen muchas fuentes de hierro dentro de un motor, más comúnmente procedente de camisas de cilindro, lóbulos del árbol de levas, los muñones del cigüeñal y bombas de aceite (Mortier, Fox y Orszulik, 2010). Se puede evidenciar que el tratamiento de recuperación disminuye 83 ppm el contenido de hierro, lo cual indica, el efecto adsorbente por parte de la arcilla en el aceite lubricante (Mortier, Fox y Orszulik, 2010).

El índice total de acidez está relacionado a la tendencia de corroer metales y sirve como medida de la degradación del aceite. En la Tabla 4, se observa un incremento del índice total de acidez de la muestra A_{LU} con respecto a A_{LN} , este incremento se debe a los productos ácidos que se forman en el proceso de óxido-reducción del aceite lubricante (Mortier, Fox y Orszulik, 2010), cuando los aceites lubricantes están expuestos a altas temperaturas en presencia de oxígeno (aire), el aceite empieza a sufrir un proceso de oxidación en el cual las cadenas de hidrocarburos que están presentes en el aceite reaccionan con el oxígeno para formar, entre otras sustancias, derivados de ácidos orgánicos tales como aldehídos y cetonas en mayores concentraciones y ésteres en concentraciones más bajas. Por otro lado, la muestra de A_{LR} presentó una disminución del TAN, por lo que el proceso de recuperación fue capaz de reducir compuestos como ácidos orgánico e inorgánicos, ésteres, compuestos fenólicos, entre otros (Eman y Shoib, 2012). Además, esta disminución puede ser consecuencia de la alta alcalinidad de la arcilla diatomácea como se evidenció en los análisis de XRF (Tabla 3).

Cabe destacar que el uso de la arcilla diatomea es adecuada para el tratamiento de los aceites usados, dado que esta absorbe los contaminantes presentes sin el empleo de solventes, por otra parte disminuye la acidez por su alta alcalinidad. El hidróxido de potasio presente en la arcilla diatomácea juega un papel fundamental en la disminución de la acidez,

dado que neutraliza los ácidos orgánicos formados durante el proceso de combustión

CONCLUSIONES

Se estudió la recuperación de aceites lubricantes usados con arcillas diatomea, se concluye que este proceso permite la remoción de componentes livianos presentes en el aceite usado causado por la oxidación. Además, permite adecuar parámetros físico-químicos del aceite lubricante luego de la recuperación con arcilla, como por ejemplo, la gravedad API, viscosidad, índice de acidez, entre otros. En cuanto al contenido metálico se logró remover algunos contaminantes productos del desgaste de las piezas mecánicas y/o aditivos, sin embargo, la alta alcalinidad de la arcilla aumenta el contenido de metales como magnesio y sodio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Jabbar, N., Al Zubaidy, E. y Mehrvar, M. (2010). Waste lubricating oil treatment by adsorption process using different adsorbents. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 62, 9-12.
- De Lucas, A., Rodríguez, L., Pérez-Collado, M. y Sánchez, P. (2002). Production of polyether polyols using caesium as catalyst. *Polym. Int.*, 51, 1041-1046.
- Durrani, H., Panhwar, M., & Kazi, R. (2011). Re-Refining of waste lubricating oil by solvent extraction. *Mehran University Research Journal of Eng. & Tech.*, 30(2), 237-246.
- Eman, E. y Shoib, A. (2012). Re-refining of Used Lube Oil, II- by Solvent/Clay and Acid/Clay-Percolation Processes. *Journal of Science and Technology*, 2(11), 1034-1041.
- Gómez, Y. (2013). Contribución al desarrollo y mejora para la cuantificación de la degradación en aceites lubricantes usados de MCIa a través de la técnica de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR). Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Holmberg, K., Andersson, P. y Erdemir, A. (2012). Global energy consumption due to friction in passenger cars. *Tribology International*, 47, 221-234.
- Jhanani, S. y Joseph, K. (2011). Used oil generation and management in the automotive industries. *International Journal of Environmental Sciences*, 2(2), 638-648.

- Kamal, A. y Khan, F. (2009). Effect of extraction and adsorption on re-refining of used lubricating oil. *Oil & Gas Science and Technology*, 62(2), 191-197.
- Katiyar, V. y Husain, S. (2010). Recycling of used lubricating oil using 1-butanol. *Int. J. Chem. Sci.*, 8(3), 1999-2012.
- Maceiras, R., Alfonsín, V. y Morales, F. (2017). Recycling of waste engine oil for diesel production. *Waste Management*, 60, 351-356.
- Majano, G y Mintova, S. (2010). Mineral oil regeneration using selective molecular sieves as sorbents. *Chemosphere*, 78, 591-598.
- Moreira, A., Duarte, M., Nandenha, J. y Macedo, G. (2008). Estudio del Mecanismo de Remoción de Hierro y Cobre presentes en Aceites Lubricantes Usados Mediante Bioadsorción. *Información Tecnológica*, 19(1), 57-68.
- Mortier, R., Fox, M. y Orszulik, S. (2010). *Chemistry and Technology of Lubricants*. Londres: Springer.
- Ogbeide, S. (2010). An investigation to the recycling of spent engine oil. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 3(1), 32-35.
- Rincón, J., Cañizares, P. y García, M. (2005). Regeneration of Used Lubricant Oil by Polar Solvent Extraction. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44, 4373-4379.
- Sterpu, A., Dumitru, A. y Popa, M. (2012). Regeneration of used engine lubricating oil by solvent extraction. *Ovidius University Annals of Chemistry*, 23(2), 149-154.
- Udonne, J. (2001). 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.
- Zzeyani, S., Mikou, M., Naja, J. y Elachhab, A. (2017). Spectroscopic analysis of synthetic lubricating oil. *Tribology International*, 114, 27-32.