



Obtención de Combustible Alternativo Mediante Pirólisis de Aceite Lubricante Residual

¹Ana Graciela Razo García
²José Manuel Riesco Ávila
^{1,2}División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca
¹ag.razogarcia@ugto.mx
²riesco@ugto.mx

Resumen

Los aceites lubricantes usados son considerados como residuos peligrosos debido a su alta concentración de metales pesados, sustancias orgánicas y otros contaminantes que quedan de los aditivos. En este trabajo, se propone una alternativa para reciclar estos aceites residuales, convirtiéndolos en combustibles con propiedades similares a las de los usados tradicionalmente en motores de combustión interna. En una primera etapa, los aceites residuales son sometidos a un proceso de pirólisis a temperaturas de 380-460°C, obteniéndose una mezcla de hidrocarburos pesados. Posteriormente, estos hidrocarburos son sometidos a un proceso de destilación a temperaturas de 220, 360, 400 y 440°C, donde se obtienen hidrocarburos más limpios y con propiedades similares a las de la gasolina y el diésel.

Introducción

En el presente trabajo se lleva a cabo el proceso de pirólisis de aceite lubricante residual para así obtener combustibles alternativos que puedan ser usados en motores de combustión interna, dichos combustibles serán



caracterizados para establecer similitudes con combustibles convencionales, como gasolina y diésel.

Objetivos

Objetivo general.

Llevar a cabo el proceso de pirólisis en aceite de motor usado para obtener combustible con características similares al diésel o a algún otro hidrocarburo convencional.

Objetivos específicos.

- Caracterizar los combustibles alternativos con el fin de conocer las propiedades fisicoquímicas.
- Comparar las propiedades del combustible obtenido con las propiedades de los combustibles comerciales.
- Conocer la composición de los productos obtenidos.

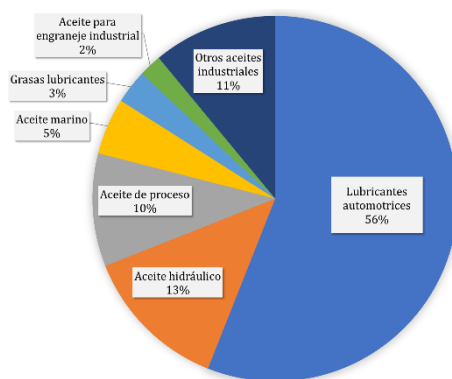
Justificación

La creciente demanda de energía a nivel mundial debido al aumento de la población, el agotamiento de los recursos petroleros que ha obligado a realizar exploraciones en lugares cada vez más desafiantes y difíciles y el alto costo de los combustibles derivados del petróleo, ha motivado a los investigadores a buscar nuevas fuentes de energía. Por otro lado, uno de los principales problemas de nuestra sociedad es la generación y disposición de residuos sólidos, un problema que debe ser resuelto en condiciones económicas y respetuosas con el medio ambiente. En los últimos años, una importante cantidad de investigaciones se han enfocado en el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan reciclar o reutilizar materiales de desecho como fuente de energía. Una alternativa para la conversión de materiales que no son fácilmente reprocesados es la pirólisis. La pirólisis es un proceso termoquímico que implica la descomposición del material orgánico a temperaturas elevadas en ausencia de oxígeno. Este proceso descompone las macromoléculas en productos de menor peso molecular (líquidos, gases y carbón residual). Estos productos pueden ser útiles como combustibles o materias primas para otros procesos.



Se estima que anualmente se generan en el mundo 45 millones de toneladas de aceites residuales provenientes de diferentes sectores, de los cuales sólo el 40% es recolectado y desechado adecuadamente, lo que representa un grave impacto para la salud y el medio ambiente, debido a su contenido en metales y otros contaminantes que quedan de los aditivos (Maceiras, et al., 2017; Osman, et al., 2018). Por esta razón, el reciclaje y la reutilización de aceites usados han recibido una atención especial en los últimos años (Gabiñaa, et al., 2019; Gabiñaa, et al., 2016). En la Figura 1 se muestra el consumo global de aceites lubricantes en diferentes sectores.

Figura 1 - Porcentaje global de uso de diferentes lubricantes



Osman, et al., 2018

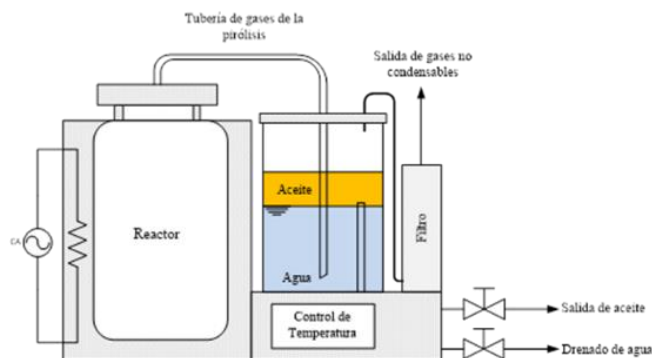
Las diferentes tecnologías investigadas para convertir el aceite residual en combustible incluyen la pirólisis (Arpa, et al., 2010; Van de Bled, et al., 2013), la destilación al vacío (Hamawand, et al., 2013) y la hidrogenación (Tóth, et al., 2015). Mediante el proceso de pirólisis se rompen las grandes moléculas de aceite residual y permite obtener un combustible con propiedades similares a las del diésel comercial, lo que lo hace adecuado para ser usado en motores de encendido por compresión, solo o mezclado con diésel. La producción de combustibles alternativos a partir de aceites residuales no solamente disminuye el consumo de combustibles derivados del petróleo, sino que también protege el medio ambiente de productos tóxicos y peligrosos (Bhaskar, et al., 2004) y reduce la emisión de gases de efecto invernadero (Naima & Liazid, 2013).



Metodología

A partir del método científico se procedió al desarrollo del proyecto. En este trabajo se utilizó un reactor por lotes (batch) para la pirólisis del aceite lubricante residual. Este reactor consiste en un recipiente de acero inoxidable, aislado térmicamente, que contiene dos resistencias eléctricas controladas mediante dos termopares, los cuales muestran la temperatura dentro del reactor en la parte inferior y superior del mismo. Una vez que el aceite residual es introducido en el reactor, éste se sella herméticamente y se inicia el proceso de calentamiento mediante las resistencias eléctricas. Conforme la temperatura se incrementa en el reactor, el aire contenido en el mismo es desalojado a través de un tubo que desemboca en un baño de agua a temperatura ambiente, el cual sirve de sello hidráulico impidiendo que el aire ingrese al reactor y produciendo así una atmósfera inerte dentro del mismo. Cuando se alcanzan las temperaturas de evaporación del aceite y en ausencia de oxígeno, se produce el proceso de pirólisis. Los gases producidos son desalojados hacia el baño de agua donde se condensan. Debido a la menor densidad de los productos condensados de la pirólisis, éstos se separan del agua y de ahí se recuperan a través de una válvula de desagüe. El reactor también incluye un filtro de carbón activado, por donde son desalojados los gases no condensables que se producen en la pirólisis y una válvula para el drenado del agua utilizada para la condensación del producto líquido. En la Figura 2 se presenta el diagrama esquemático de este reactor.

Figura 2 - Pirolizador.



Elaboración propia



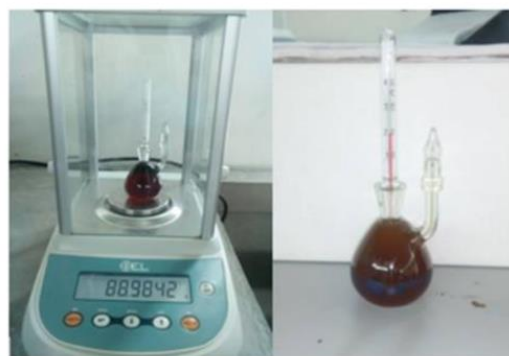
Las muestras de los hidrocarburos líquidos obtenidos fueron caracterizadas para obtener sus propiedades fisicoquímicas. Para conocer la composición de las muestras, se usó un cromatógrafo de gases Varian CG-450, dotado de un software especial que permite identificar hasta 133 hidrocarburos (Figura 3). La densidad se determinó de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 3838 (2004) usando un picnómetro de 50 mL (Figura 4), con una incertidumbre de $\pm 0,0015$. La viscosidad cinemática se obtuvo de acuerdo con la norma ASTM D 445 (2015), con un viscosímetro Cannon-Fenske (Figura 5), midiendo el tiempo necesario para que el volumen de líquido fluya por gravedad a través de un tubo capilar estándar a 40°C. Luego, la viscosidad dinámica se obtuvo multiplicando la viscosidad cinemática por la densidad del líquido.

Figura 3 - Cromatógrafo de Gases.



Elaboración propia

Figura 4 – Balanza Analítica y Picnómetro



Elaboración propia

Figura 5 - Viscosímetro Cannon-Fenske.



Elaboración propia



Resultados

De acuerdo con la metodología expuesta anteriormente, se realizaron cuatro pruebas de pirólisis, cada una con una masa de aceite residual de 2 kg, aproximadamente. La primera prueba se realizó de forma escalonada a distintas temperaturas. Los primeros productos de la pirólisis empezaron a salir a una temperatura de 380°C, posteriormente la temperatura se incrementó en intervalos de 20°C, hasta llegar a la temperatura de 460°C en la que ya no salía producto condensado. El aumento de la temperatura se efectuó en el momento en el que el goteo del producto condensado se volvió esporádico. El producto resultante a cada temperatura se reservó en recipientes individuales. Este proceso se llevó a cabo en un lapso aproximado de 6 horas.

La segunda prueba de pirolisis se realizó tomando como referencia los tiempos registrados durante la primera pirólisis. Por lo tanto, se reprodujo el mismo procedimiento del primer experimento.

La tercera y la cuarta pruebas se llevaron a cabo a una sola temperatura, dejando que el reactor se estabilizara primero en 150°C, y posteriormente fijando la temperatura en 440°C. Este proceso fue más rápido que en las primeras dos pirolizaciones, llevándose alrededor de 4 horas.

El producto obtenido directamente de la pirólisis en el reactor contenía un poco de agua proveniente del condensador en el que el aceite procesado cambia de fase, por lo que fue necesario decantar el líquido resultante.

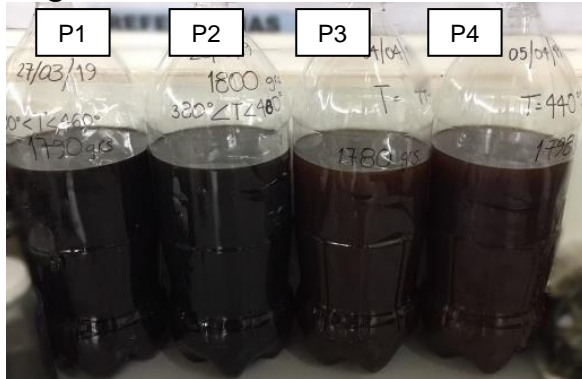
Finalmente, y debido a que los productos condensados a las diferentes temperaturas en las primeras dos pruebas de pirolisis tenían propiedades similares, se mezclaron para obtener junto con los productos condensados de las siguientes pruebas de pirólisis, cuatro productos condensados cuyas propiedades y color son similares, como se puede observar en la Figura 6.

En la Figura 7, se muestran el porcentaje promedio en masa de los productos obtenidos durante los cuatros procesos de pirólisis. El mayor porcentaje (88.8%) corresponde a un producto líquido. Cabe mencionar que el residuo del proceso de pirólisis era sólido y que representa un porcentaje muy bajo de pérdida



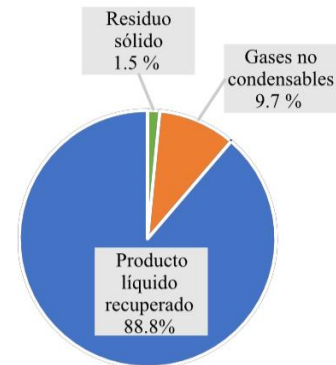
de producto útil; sin embargo, la pérdida como gases incondensables representa alrededor del 10% de la masa, en todas las pruebas estudiadas.

Figura 6 – Productos de las Pirólisis.



Elaboración propia

Figura 7 – Productos de las Pirólisis



Elaboración propia

Destilación

Para garantizar un combustible más limpio y mejorar las propiedades del combustible obtenido, se procedió a realizar una destilación al producto recuperado de las pirólisis.

Cada uno de los primeros tres productos de la pirólisis se sometieron por separado a temperaturas de 220, 360, 400, y 440°C en el pirolizador para su destilación, cambiando la temperatura bajo el criterio del cese de líquido a través de la válvula de desagüe, reservando el producto en contenedores separados. Posteriormente, se filtró el fluido resultante de cada temperatura. Las masas ingresadas a cada destilación, con sus respectivos porcentajes en masa a cada temperatura, se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1 – Masas y Porcentaje en masa de las Destilaciones**

	Masa Inicial [g]	220°C	360°C	400°C	440°C	Producto Recuperado
D1	1598	4.13%	23.28%	22.90%	41.30%	91.61%
D2	1600	3.50%	37.00%	23.38%	28.38%	92.25%
D3	1582	0.88%	35.15%	23.14%	29.08%	88.24%

Elaboración propia

La última prueba de la pirólisis ya no se destiló, únicamente se filtró el líquido mediante el mismo procedimiento de las otras pruebas.

Si bien el papel filtro reveló que existían algunas partículas de suciedad, el color antes y después de la filtración se mantuvo constante y la variación de masa fue despreciable. Por lo tanto, se puede decir que la filtración sirve para purificar el líquido y de este modo, los sedimentos no interfieran con las mediciones de las propiedades.

Finalmente, en la Tabla 2 se reportan los porcentajes de masa recuperados al final del proceso de destilación.

Tabla 2 – Porcentaje en Masa Final

Masa Inicial [g]	Masa Final Recuperada [g]	Porcentaje Final Recuperado
2010	1464	72.84%
2028	1476	72.78%
2016	1396	68.90%

Elaboración propia

Como puede observarse, entre más procesos involucrados, hay más pérdidas; no obstante, se sigue recuperando la mayor parte de masa como un producto utilizable como combustible.

Para sustentar la suposición planteada, se procedió a caracterizar el fluido derivado de la destilación, realizando la medición de la densidad y viscosidad, de

Vol. 6 (2019) 7º Encuentro de Jóvenes Investigadores



acuerdo con la normativa mencionada con anterioridad. El poder calorífico se obtuvo mediante la cromatografía de gases. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

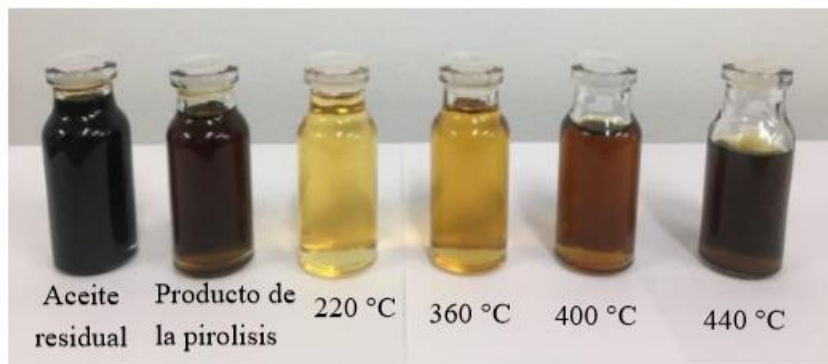
Tabla 3 – Propiedades del Producto Destilado

Sustancia	Viscosidad Cinemática [cSt] @40°C	Densidad Relativa @20°C	Poder Calorífico Superior [MJ/kg] @25°C	Pder Calorífico Inferior [MJ/kg] @25°C
Aceite Residual	48.607	0.861		
Pirólisis	9.243	0.835	45.264	43.895
Destilación 220°C	1.369	0.755	47.061	43.94
Destilación 360°C	2.534	0.805	45.21	43.562
Destilación 400°C	8.67	0.837	44.632	43.925
Destilación 440°C	14.007	0.843		

Elaboración propia

En la Figura 7, se observan las muestras consideradas que son, de izquierda a derecha, el aceite no procesado, el producto de la pirólisis y las destilaciones a 220, 360, 400 y 440°C.

Figura 7 – Muestras de los Productos Obtenidos.



Elaboración propia

Experimentalmente se encontró que la intensidad de color de la muestra varía de forma proporcional a la viscosidad, es decir, que entre menos viscoso sea, es menos oscuro, como se puede observar en la muestra de 220°C y 360°C y es completamente evidente el caso contrario con las muestras del aceite lubricante usado y en las destilaciones a 400°C y 440°C, que son las más viscosas y, por tanto, las más oscuras (Figura 7).



Ahora puede concluirse que la destilación resulta conveniente, pero sólo para el rango de temperaturas que va de 220°C a menos de 380°C, siendo óptimo en valores cercanos a 360°C.

Cromatografía

Los resultados de las cromatografías realizadas al producto de la pirólisis y a los destilados se muestran en la Figura 8. Por medio del estándar PIONA (Parafinas, Isoparafinas, Oleofinas, Naftenos y Aromáticos) con un tiempo de elución de 140 min, se permitió la identificación de algunas de las especies principales presentes en los productos líquidos de la pirólisis y los destilados. Se puede observar que el producto de la pirólisis (Figura 8a) presenta la separación de sus componentes en tiempos de elución altos, lo cual permite relacionar a los componentes del producto moléculas de cadenas largas. Adicionalmente, el análisis y la comparación con el estándar PIONA permitió encontrar que el producto de la pirólisis contiene parafinas en un 30.15 %, un 2.15 % de aromáticos y un 67.68 % en masa de productos pesados de cadenas de carbono largas.

En cuanto a los productos destilados a diferentes temperaturas, los resultados se muestran en las Figuras 8b, 8c, 8d y 8e. Para la destilación a temperatura de 220°C (Figura 8b), se observa una separación en productos de cadenas más cortas, por los tiempos de elución cortos. Este producto destilado contiene un porcentaje en masa de 78.72 % de parafinas, 9.62 % de naftenos y 3.40 % de aromáticos. Adicionalmente, el compuesto está formado principalmente por cadenas de 7, 8, 9 y 10 carbonos en concentraciones de 21.58 %, 23.55%, 28.05%, y 12.22%, respectivamente. La destilación a una temperatura de 360°C (Figura 8c) presentó los picos principales en tiempos de elución altos y presenta una composición en masa de 30.57 % de parafinas, 2.39 % de nafteno, un 11.89% de aromáticos y un 55.15 % de componentes pesados con cadenas de más de 11 carbonos. En relación con las destilaciones a 400°C (Figura 8d) y a 440°C (Figura 8e), éstas presentaron tiempos de elución cercanos al límite del estándar, como consecuencia no se pudieron identificar la mayoría de los componentes principales.

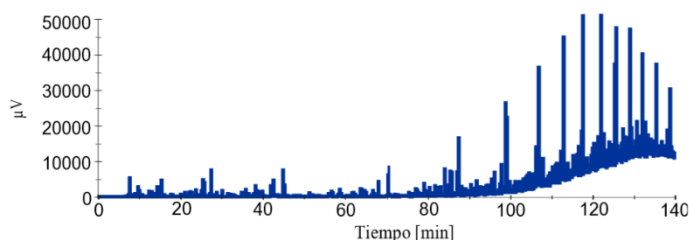


Al realizar una comparación de los productos destilados con el diésel y la gasolina de 87 octanos, se evidencia que el producto destilado a 360°C tiene características y composición similares a las del diésel comercial. El destilado a 220°C presentó en su composición algunos de los componentes de la gasolina de 87 octanos, además de componentes de cadenas carbonadas de más de 9 carbonos.

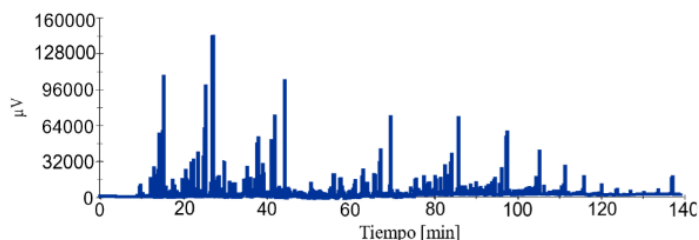
Los productos de las destilaciones con temperaturas mayores a 360°C son productos que por sus propiedades y su composición no pueden ser comparados con el diésel y la gasolina comerciales, pero pueden ser usados como combustibles para otras aplicaciones.

Figura 8 – Cromatografía de Productos

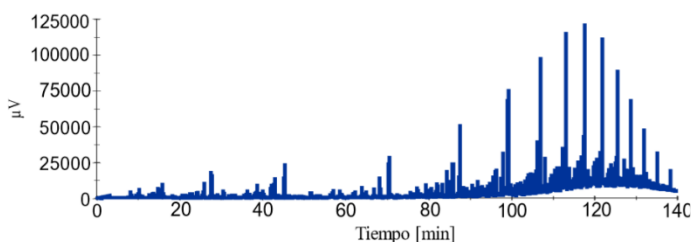
a) Producto de la Pirólisis



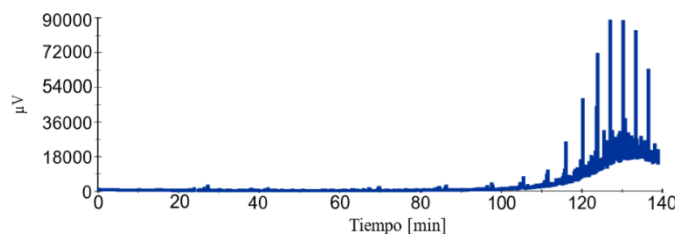
b) Destilado a 220°C



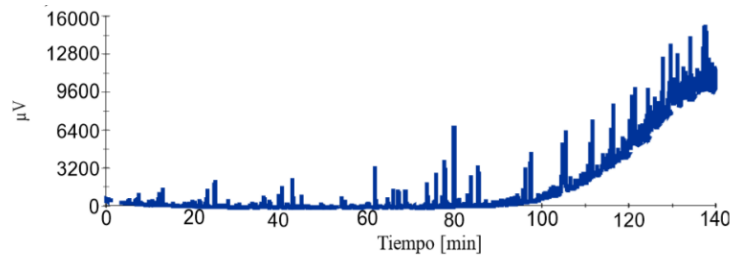
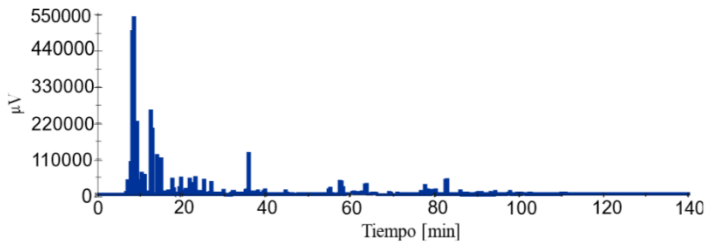
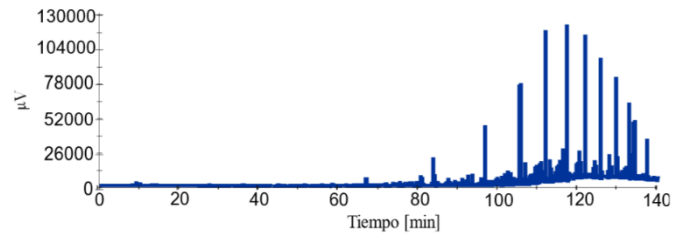
c) Destilado a 360°C



d) Destilado a 400°C



e) Estilado a 440°C

**f) Gasolina de 87 Octanos****g) Diesel**

Elaboración propia

Conclusiones

Es evidente que la destilación es necesaria para reducir la viscosidad del fluido pirolizado y así poder usarlo como combustible en los motores de combustión interna.

Si bien, la pretensión inicial era obtener combustibles con propiedades similares al diésel o gasolina, que son utilizados principalmente en motores de combustión interna recíprocos, se encontró que el producto de la destilación a 360°C tiene características similares al diésel comercial y representa una alternativa viable para disponer de los residuos de aceites lubricantes usados.

La producción de combustibles alternativos a partir de residuos orgánicos no solo disminuye el consumo de combustibles derivados del petróleo, sino que también protege el medio ambiente de productos químicos tóxicos y peligrosos y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.



Referencias

Arpa, O., Yumrutas, R., & Demirbas, A. (2010). Production of diesel-like fuel from waste engine oil by pyrolytic distillation. *Applied Energy*, 87(1), 122-127.

ASTM D445-15, 2015. *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids* (and Calculation of Dynamic Viscosity).

Bhaskar, T., Uddin, M. A., Muto, A., Sakata, Y., Omura, Y., Kimura, K., & Kawakami, Y. (2004). Recycling of waste lubricant oil into chemical feedstock or fuel oil over supported iron oxide catalysts. *Fuel*, 83(1), 9-15.

Gabiña, G., Martin, L., Basurko, O. C., Clemente, M., Aldekoa, S., & Uriondo, Z. (2019). Performance of marine diesel engine in propulsion mode with a waste oil-based alternative fuel. *Fuel*, 235, 259-268.

Gabiña, G., Martin, L., Basurko, O. C., Clemente, M., Aldekoa, S., & Uriondo, Z. (2016). Waste oil-based alternative fuels for marine diesel engines. *Fuel Processing Technology*, 153, 28-36.

Hamawand, I., Yusaf, T., & Rafat, S. (2013). Recycling of waste engine oils using a new washing agent. *Energies*, 6(2), 1023-1049.

Maceiras, R., Alfonsín, V., & Morales, F. J. (2017). Recycling of waste engine oil for diesel production. *Waste management*, 60, 351-356.

Naima, K., & Liazid, A. (2013). Waste oils as alternative fuel for diesel engine: A review. *Journal of Petroleum technology and Alternative fuels*, 4(3), 30-43.

Osman, D. I., Attia, S. K., & Taman, A. R. (2018). Recycling of used engine oil by different solvent. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(2), 221-225.

Tóth, C., Sági, D., & Hancsók, J. (2015). Diesel fuel production by catalytic hydrogenation of light cycle oil and waste cooking oil containing gas oil. *Topics in Catalysis*, 58(14-17), 948-960.



UNE EN ISO 3838, 2004. Crude Petroleum and Liquid or Solid Petroleum Products. *Determination of Density or Relative Density*. Capillary-Stoppered Pycnometer and Graduated Bicapillary Pycnometer Methods.

Van de Beld, B., Holle, E., & Florijn, J. (2013). The use of pyrolysis oil and pyrolysis oil derived fuels in diesel engines for CHP applications. *Applied energy*, 102, 190-197.