

***Análisis de viscosidad dinámica de aceite vegetal
reciclado para su uso como combustible en un motor a
diésel.***

*Analysis of dynamic viscosity of recycled vegetable oil for
use as fuel in a diesel engine.*

Análisis de viscosidad dinámica de aceite vegetal reciclado para su uso como combustible en un motor a diésel.

Analysis of dynamic viscosity of recycled vegetable oil for use as fuel in a diesel engine.

**Moya Palacios Katherine Alejandra¹,
Ayala Freire Patricio Fernando²,
Villalba Moya Elvis Danilo³,
Valverde Erazo Fabián Alejandro⁴,**

¹ Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, katherine.moya@istcarloscisneros.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, patricio.ayala@istcarloscisneros.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, elvis.villalba@istcarloscisneros.edu.ec

⁴ Instituto Superior Universitario Carlos Cisneros, Ecuador, fabian.valverde@istcarloscisneros.edu.ec

RESUMEN

El artículo "Análisis de viscosidad dinámica de aceite vegetal reciclado para su uso como combustible en un motor a diésel" analiza la viabilidad del aceite vegetal reciclado como combustible alternativo. El estudio incluye mediciones de viscosidad dinámica de diversas muestras: diésel, aceite vegetal reciclado filtrado, aceite reciclado sin filtrar con residuos de grasa animal, una mezcla 50/50 de aceite reciclado filtrado y diésel, y aceite vegetal nuevo. Las pruebas se realizaron a temperaturas que van desde ambiente hasta 100 °C (30, 40, 60, 80 y 100 °C). Los resultados muestran que el aceite reciclado puede alcanzar una viscosidad de aproximadamente 13.5 cP a temperaturas elevadas, acercándose a los 7.7 cP del diésel. Esto indica que la viscosidad del aceite reciclado puede ser ajustada térmicamente para cumplir con los requisitos de los motores diésel, mejorando así el rendimiento de la combustión. También se observó que el aceite reciclado filtrado presenta una viscosidad significativamente menor que el no filtrado, que contiene residuos de grasa animal, lo que resalta la importancia de la filtración para optimizar sus propiedades viscosimétricas. En conclusión, el aceite vegetal reciclado, siempre que se regule su viscosidad mediante control térmico y se garantice una filtración adecuada, es una alternativa técnica viable al combustible convencional. Este enfoque ofrece una solución sostenible y económica, promoviendo el aprovechamiento de combustibles reciclados frente al diésel tradicional.

Palabras claves: Viscosidad dinámica, aceite vegetal reciclado, motor diésel, viscosímetro, biocombustible.

ABSTRACT

The article "Dynamic viscosity analysis of recycled vegetable oil for use as fuel in a diesel engine" analyzes the viability of recycled vegetable oil as an alternative fuel. The study includes dynamic viscosity measurements of various samples: diesel, filtered recycled vegetable oil, unfiltered recycled oil with animal fat residue, a 50/50 mixture of filtered recycled oil and diesel, and fresh vegetable oil. Tests were performed at temperatures ranging from ambient to 100°C (30, 40, 60, 80, and 100°C). The results show that the recycled oil can reach a viscosity of approximately 13.5 cP at elevated temperatures, approaching the 7.7 cP of diesel. This indicates that the viscosity of recycled oil can be thermally adjusted to meet the requirements of diesel engines, thereby improving combustion performance. It was also observed that the filtered recycled oil has a significantly lower viscosity than the unfiltered oil, which contains animal fat residues, which highlights the importance of filtration to optimize its viscometric properties. In conclusion, recycled vegetable oil, as long as its viscosity is regulated through thermal control and adequate filtration is guaranteed, is a viable technical alternative to conventional fuel. This approach offers a sustainable and economical solution, promoting the use of recycled fuels instead of traditional diesel.

Keywords: *Dynamic viscosity, recycled vegetable oil, diesel engine, viscometer, biofuel.*

Recibido: Agosto 2024
Received: August 2024

Aceptado: Diciembre 2024
Accepted: December 2024

1. INTRODUCCIÓN

El término “diésel” proviene de Rudolf Diesel, ingeniero alemán que a finales del siglo XIX desarrolló un motor de alta eficiencia diseñado para soportar grandes presiones. Estos motores emplean una variedad de combustibles derivados del petróleo, conocidos colectivamente como combustibles diésel. En 2012, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró las emisiones de los motores diésel como carcinógenas, vinculando su exposición a un mayor riesgo de cáncer. Posteriormente, en marzo de 2014, la OMS informó que la contaminación atmosférica, tanto interior como exterior, contribuyó a más de 7 millones de muertes prematuras a nivel mundial [1].

Sims et al. (1981) demostraron que los aceites vegetales, como el de colza, pueden sustituir parcialmente al diésel, sin afectar el rendimiento del motor a corto plazo con mezclas al 50 %. Sin embargo, a largo plazo surgieron fallas en la bomba de inyección y problemas de arranque en frío, aunque los depósitos de carbón en la cámara de combustión fueron similares a los del diésel puro (Jones y Peterson, Universidad de Idaho) [2].

Un aspecto fundamental en el rendimiento de los motores diésel es la viscosidad del combustible, ya que esta influye directamente en la eficiencia del sistema de inyección. A medida que aumenta la viscosidad, el flujo del combustible enfrenta mayor resistencia, lo que puede comprometer el rendimiento de las bombas e inyectores. Cuando la presión diferencial es menor a 85 MPa, el coeficiente de descarga del sistema disminuye, afectando su eficiencia [3]. Por ejemplo, un incremento de la viscosidad en 6.4 mm²/s puede aumentar el coeficiente de descarga en un 10% cuando la diferencia de presión alcanza los 25 MPa. Paralelamente, la densidad también tiene un impacto significativo en el flujo másico, que puede aumentar en un 13% con una reducción del 28% en la densidad del combustible, independientemente de la diferencia de presión, como lo demostraron Choi et al. (2013) [4]. La densidad del combustible también afecta el comportamiento del chorro de inyección: una menor densidad favorece una mayor penetración y un ángulo de apertura más amplio, pero reduce la atomización debido a las fuerzas de Van der Waals. En cuanto al ángulo de apertura, este se reduce con el aumento de la viscosidad y se incrementa con la mayor densidad, aunque estas

relaciones no son estrictamente proporcionales, particularmente en boquillas con relaciones L/D inferiores a 1 [5].

Berbel (2010) señala que la diferencia de viscosidad entre el aceite vegetal reciclado y el diésel puede reducirse ajustando las propiedades físicas de los aceites. Esto se logra calentándolos antes de su inyección al motor, permitiendo alcanzar valores de viscosidad y densidad similares a los del gasoil, lo que facilita su uso como biocombustible [6]. Calderón, Moreta y Erazo (2014) determinaron que la mezcla óptima para motores diésel es al 5% de biodiésel, observando una disminución mínima del 0,2% en el torque y del 1,85% en la potencia en comparación con el diésel convencional. [7].

El biodiésel, derivado de aceites vegetales y grasas animales, es una alternativa renovable al diésel fósil. Ramírez, Vela y Rincón (2012) analizan su producción y viabilidad técnica y económica, destacando su potencia [8]. Benavides, Benjumea y Pashova (2007) estudiaron la producción de biodiésel de aceite de higuera, logrando el máximo rendimiento de metilésteres a temperatura ambiente, con una relación molar metanol/aceite de 9 y un 0.8% de catalizador. Este biodiésel puede mezclarse con diésel convencional hasta un 15% sin superar estándares de calidad. Aunque su alta viscosidad es un desafío, presenta excelentes propiedades de flujo a bajas temperaturas [9].

El biodiésel de aceite de fritura usado es una alternativa viable para reducir emisiones de motores diésel sin modificaciones significativas. Según Mejía Regalado y Cuty Clemente (2019), mezclas como B10, B20 y B30 disminuyen el índice de opacidad en condiciones de carga constante a 1600 rpm, con reducciones de hasta 46 % frente al combustible comercial B5. Esto evidencia el potencial de reutilizar aceites de fritura para mitigar la contaminación ambiental [10].

Conforme a estos antecedentes se efectúa un estudio minucioso en el que se puede observar, el cambio de viscosidad dinámica del aceite en un rango determinado de temperaturas. Con el propósito de avanzar en la investigación sobre combustibles alternativos, se llevarán a cabo pruebas experimentales para medir la viscosidad dinámica de varias sustancias, como diésel, aceite vegetal reciclado, aceite vegetal nuevo y una mezcla 50/50 de aceite vegetal usado y diésel. Estas



pruebas buscan comparar las viscosidades de las sustancias y determinar cuál se aproxima más a la del diésel, con miras a su posible utilización como combustible alternativo.

Adicionalmente, se realizarán pruebas de variación de temperatura en el aceite vegetal reciclado, tanto filtrado como no filtrado (con residuos de grasas animales). El objetivo es analizar cómo las fluctuaciones de temperatura afectan la viscosidad de estos aceites, lo que permitirá evaluar su viabilidad bajo distintas condiciones operativas y, potencialmente, optimizar su uso en motores diésel.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente estudio, se ha elegido una metodología analítico-experimental basada en la recopilación de datos mediante el uso de un viscosímetro rotacional ST-2001. Este equipo permitirá medir la viscosidad dinámica de las siguientes sustancias:

- Diésel
- Aceite reciclado filtrado
- Aceite reciclado con residuos de grasa animal sin filtrar
- Mezcla 50/50 de aceite reciclado filtrado y diésel
- Aceite vegetal nuevo

El objetivo es determinar los valores de viscosidad dinámica a temperatura ambiente de estas sustancias y evaluar cómo varía la viscosidad de cada una de ellas utilizando el viscosímetro.

Características del equipo

Para realizar las pruebas se utilizó un viscosímetro rotacional con las siguientes características:

- Marca: JP SELECTA S.A
- Modelo: ST- 2001
- Serie: VBCL110197
- Código: 1001512
- Husillo: L2
- Velocidad: 100 RPM
- Sistema de unidades: Cexagesimal
- Unidad de medida: Centi Poise (cP)

Instalación del equipo

Para el ensamblaje del equipo se procede a efectuar los siguientes pasos considerando la Figura 1 que detalla las partes del viscosímetro:

- Se procede a fijar los niveladores (B) en el pie en forma de Y (A).
- Montamos la varilla de sujeción (C) con el tornillo (D) a la base en Y.
- Se ubica la nuez (F) en la varilla de sujeción.
- Se sujeta el viscosímetro cuidadosamente mediante su varilla (E) a la nuez (F).
- Se verifica que el equipo esté correctamente nivelado.
- Se ubica el husillo en el viscosímetro
- Se conecta el cable de alimentación y se procede con el encendido [11].

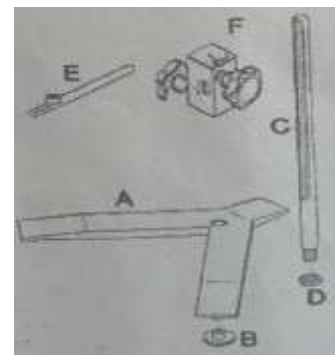


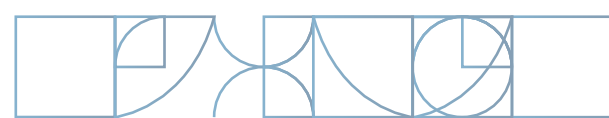
Figura 1: Despiece viscosímetro PJP SELECTA ST-2001 [11]



Figura 2. Viscosímetro PJP SELECTA ST-2001 ensamblado



Figura 3. Montaje de Viscosímetro PJP SELECTA ST-2001



Programación del equipo

Para encender el equipo, se presiona el botón de ON. La pantalla LED se activará y se espera unos segundos para que el sistema se inicie completamente. Una vez encendido, aparecerá el menú principal. Usando las teclas de flecha para seleccionar la opción "L2" en el parámetro "SP", que indica el husillo a utilizar. En el parámetro RPM, que representa la velocidad de medición, ajusta el valor a 100 rpm [11].

Para realizar la medición, se ajusta el viscosímetro girando la nuez para subir o bajar el husillo. Se debe asegurar que el husillo esté completamente sumergido en la sustancia sin tocar el fondo del contenedor y que esté cubierto hasta la marca indicadora grabada en el husillo [11].

Se procede a tomar la medición presionando el botón "ENTER". Cuando los valores en la pantalla LED se estabilicen, se registra la medición. El valor "V" representa la viscosidad dinámica media en centipoises (cP), mientras que el valor "%" indica el porcentaje de la escala completa, reflejando la proporción de la lectura respecto al valor máximo medible con la combinación de husillo y velocidad como se muestra en la Figura 4. Después de realizar la medición, desmonta el husillo y límpialo para evitar la contaminación de otras muestras.



Figura 4. Programación del viscosímetro rotacional.

Medición de viscosidad

Para llevar a cabo las mediciones de viscosidad, se realizaron dos series de pruebas: una a temperatura ambiente y otra con variación de temperatura con la finalidad de comprobar experimentalmente la reducción de la viscosidad dinámica con el aumento de la temperatura.

La variación de la temperatura en el aceite vegetal reciclado es fundamental para reducir su viscosidad dinámica y facilitar su uso como combustible en motores diésel. Dado que los aceites vegetales tienen viscosidades significativamente más altas que el diésel convencional, su uso directo podría causar problemas de funcionamiento y dañar el motor. Sin embargo, al calentar el aceite antes de su inyección, se logra ajustar sus propiedades físicas, reduciendo la viscosidad hasta valores comparables a los del diésel o biodiésel. Este proceso no solo permite una combustión más eficiente, sino que también asegura la compatibilidad con los sistemas de inyección, destacando el potencial del aceite vegetal reciclado como una alternativa sostenible y funcional al diésel tradicional [6].

En la primera fase, se midió la viscosidad dinámica de las muestras a temperatura ambiente, considerando que el laboratorio estaba a 14 °C. Se utilizaron vasos de precipitación de 100 ml para contener las siguientes sustancias: diésel, aceite reciclado filtrado, aceite reciclado con grasa animal sin filtrar, una mezcla de aceite reciclado filtrado con diésel en proporción 50-50, y aceite vegetal nuevo. El objetivo fue determinar cuál de estas sustancias presentaba una viscosidad más cercana a la del diésel a temperatura ambiente.



Figura 5. Medición de viscosidad de muestras a temperatura ambiente.

En la segunda fase de pruebas, se midió la viscosidad dinámica de las muestras a diferentes temperaturas. Se eligieron el aceite vegetal reciclado previamente filtrado y el aceite vegetal reciclado con residuos de grasa animal sin filtrar para este análisis.

El aceite vegetal reciclado se sometió a un proceso previo que inició con una etapa de decantado,

seguida de un filtrado por un tamiz (cedazo), tela nylon, tela de algodón y papel filtro de 5 micras. Finalmente se calentó el aceite a más de 100 °C para eliminar residuos de agua, esto con el fin de cumplir con el proceso de eliminación de impurezas. Para la prueba las muestras se colocaron en vasos de precipitación de 100 ml y se calentaron en un reverbero hasta alcanzar las temperaturas de 30, 40, 60, 80 y 100 grados Celsius, además de la temperatura ambiente. Se utilizó un termómetro digital y un pirómetro para monitorear y controlar cuidadosamente la temperatura de las sustancias antes de proceder con la medición de viscosidad.



Figura 6. Calentamiento de muestras



Figura 7. Pruebas de viscosidad dinámica a muestras con temperatura.

3. RESULTADOS

Una vez completadas las pruebas de viscosidad dinámica para las diversas sustancias, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Viscosidades de sustancias a temperatura ambiente.

En primer lugar, se realizaron mediciones de las siguientes sustancias:

- Diésel
- Aceite reciclado filtrado
- Aceite reciclado con grasa animal sin filtrar
- Mezcla de aceite reciclado filtrado con diésel (50-50)
- Aceite vegetal nuevo

Los resultados de la medición de viscosidad dinámica de estas sustancias a temperatura ambiente se detallan en la Tabla 1 y se ilustran en la Figura 8.

Tabla 1. Viscosidad dinámica de sustancias a temperatura ambiente.

Sustancia	Viscosidad		Temperatura C
	cP	%	
Diésel	7,7	2,4,%	Ambiente
Aceite reciclado filtrado	92,1	29,5%	Ambiente
Aceite reciclado con grasa animal sin filtrar	85,1	27,3%	Ambiente
Aceite reciclado filtrado + diésel (50-50)	19	6,1%	Ambiente
Aceite vegetal nuevo	73,8	23,7%	Ambiente

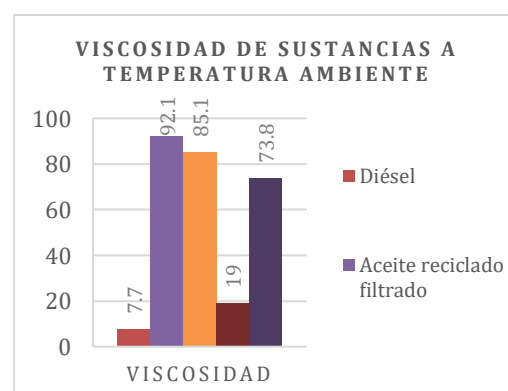


Figura 8: Viscosidad de sustancias a temperatura ambiente.

Viscosidades de aceites reciclados con elevación de la temperatura.

Se seleccionaron muestras de aceite vegetal reciclado proveniente de frituras de papas, el aceite fue procesado conforme al filtrado anteriormente detallado.

Con la ayuda de un reverbero, se calentaron 80 ml de aceite hasta alcanzar las temperaturas deseadas para cada prueba. Luego, se realizaron las pruebas de viscosidad dinámica con el equipo, y los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Viscosidad dinámica del aceite vegetal reciclado con elevación de temperatura.

Temperatura	Viscosidad	
° C	cP	%
19 (ambiente)	95,7	30,7%
30	50,6	16,2%
40	36,9	11,8%
60,3	28,1	9,0%
80	20,5	6,6%
100,5	13,5	4,3%

En la Figura 9 podemos observar como la viscosidad disminuye en función a la elevación de la temperatura.

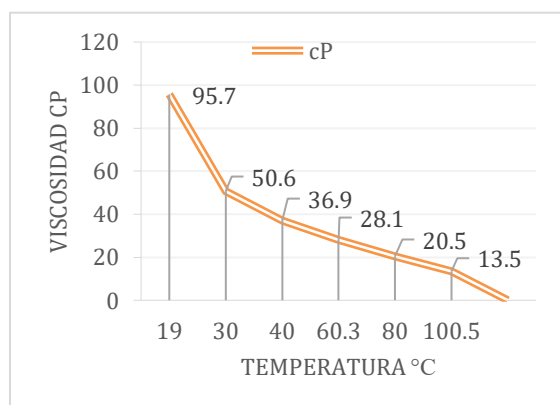


Figura 9: Variación de la viscosidad dinámica del aceite vegetal reciclado filtrado con elevación de temperatura.

También se tomaron muestras de aceite vegetal reciclado de frituras de pollo para las mediciones de

viscosidad, a éste únicamente se le filtró por una media nylon para evitar el paso de impurezas o residuos sólidos grandes.

En el reverbero se calentó 80 ml del aceite hasta alcanzar las temperatura deseadas y se efectuaron las pruebas de viscosidad para cada temperatura, obteniendo los resultados detallados en la Tabla 3.

Tabla 3. Viscosidad dinámica del aceite vegetal reciclado con residuos de grasa animal expuesto a elevación de temperatura sin filtración.

Temperatura	Viscosidad	
° C	cP	%
14,9 (ambiente)	85,7	27,5%
30	60	19,2%
40,5	34,8	11,2%
60,2	25,1	8,1%
80,4	16,5	5,3%
100	11,1	3,6%

En la figura 10 podemos observar la variación en la viscosidad que se produce al elevar la temperatura.

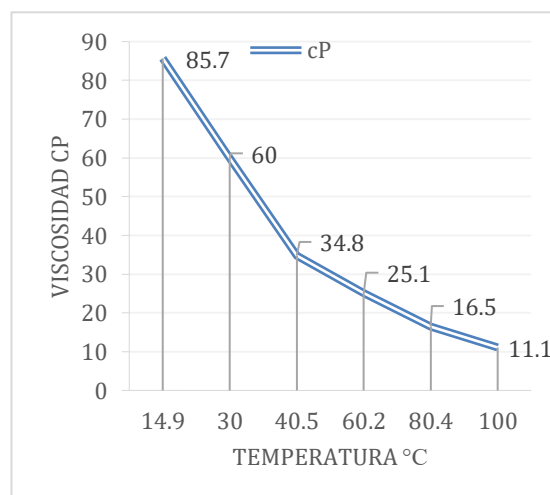


Figura 10: Variación del aceite vegetal reciclado con residuos de grasa animal expuesto a elevación de temperatura sin filtración



4. DISCUSIÓN (O ANÁLISIS DE RESULTADOS)

De acuerdo con los resultados experimentales de la medición de viscosidad dinámica de las diferentes sustancias, se determinó que el diésel tiene una viscosidad de 7.7 cP a temperatura ambiente. En comparación, ninguno de los aceites reciclados analizados alcanzó una viscosidad cercana a la del diésel a temperatura ambiente. En particular, el aceite vegetal reciclado mostró una diferencia de 88 cP respecto al diésel, mientras que el aceite vegetal reciclado con residuos de grasa animal sin filtrar presentó una diferencia de 78 cP.

Además, al analizar la variación en viscosidad dinámica del aceite vegetal reciclado con el aumento de temperatura, se observaron los resultados detallados en la Tabla 4. Estos resultados se expresan en relación con el valor base de viscosidad de 95.7 cP a 19 °C, utilizado como referencia para evaluar las diferencias inducidas por las variaciones de temperatura.

Tabla 4. Diferencia de Viscosidad de aceite vegetal reciclado en relación con la temperatura ambiente.

Temperatura		Diferencia en relación con temperatura ambiente		
° C	cP	%	% de reducción	Diferencia en Temperatura (°C)
19	95,7	-	-	-
30	45,1	14,5%	47,13%	11
40	58,8	18,9%	61,44%	21
60,3	67,6	21,7%	70,64%	41,3
80	75,2	24,1%	78,58%	61
100,5	82,2	26,4%	85,89%	81,5

Con base en los resultados obtenidos, se puede observar que al elevar la temperatura del aceite vegetal reciclado, previamente filtrado, a 100 °C, se produce una reducción del 85.89% en la viscosidad, equivalente a una disminución de 82.2 cP.

Para el aceite vegetal reciclado con residuos de grasa animal, expuesto a variaciones de temperatura sin filtración, y considerando una

temperatura ambiente de 14.9 °C con una viscosidad inicial de 85.7 cP, se determinaron las diferencias en viscosidad que se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Diferencia de Viscosidad del aceite vegetal reciclado con residuos de grasa animal expuesto a elevación de temperatura sin filtración.

Temperatura		Diferencia en relación con temperatura ambiente		
° C	cP	%	% de reducción	Diferencia en Temperatura (°C)
14,9	85,7	-	-	-
30	25,7	8,3%	26,85%	15,1
40,5	50,9	16,3%	53,19%	25,6
60,2	60,6	19,4%	63,32%	45,3
80,4	69,2	22,2%	72,31%	65,5
100	74,6	23,9%	77,95%	85,1

Se observa que al aumentar la temperatura del aceite vegetal reciclado con residuos de grasa animal, sin filtración, se logró una reducción del 77.95% en la viscosidad, disminuyendo en 74.6 cP respecto al valor medido a temperatura ambiente.

El aceite vegetal reciclado puede tener mayor viscosidad después de ser filtrado porque el proceso elimina partículas, agua y ciertos compuestos volátiles que diluyen el aceite, mientras que concentra los triglicéridos originales. En contraste, el aceite usado en la fritura de pollo, que contiene residuos de grasa animal y productos de descomposición de la fritura, suele tener una menor viscosidad debido a la presencia de ácidos grasos saturados de cadena más corta y otros subproductos que reducen su densidad.

Al investigar estudios sobre análisis de viscosidad dinámica de aceites reciclados no se ha podido



encontrar resultados similares a esta propuesta, para lo cual es importante considerar lo detallado en el estudio realizado por Brock et al. (2008) que proporciona datos experimentales clave sobre la conductividad térmica y la viscosidad dinámica de varios aceites vegetales, como soja refinada, maíz, girasol, algodón, canola, oliva y salvado de arroz. Las mediciones de viscosidad, realizadas con un viscosímetro tipo Brookfield en un rango de temperaturas entre 20 y 70 °C, muestran que la viscosidad de todos los aceites disminuye notablemente al aumentar la temperatura. Este comportamiento subraya la fuerte dependencia de la viscosidad con respecto a la temperatura, lo que es relevante para el diseño y adaptación de estos aceites como combustibles alternativos [12].

Además, es importante considerar el estudio realizado por Toscano y Maldini (2007) que analiza las relaciones entre las propiedades físicas y químicas de 19 aceites vegetales, destacando la influencia de la temperatura en la viscosidad y su variación específica para cada tipo de aceite. Estos hallazgos son valiosos para el desarrollo de métodos que simplifiquen el control de calidad de los aceites como biocombustibles y optimicen su transformación energética [13].

Aunque nuestro estudio se enfoca específicamente en la viscosidad dinámica de aceites reciclados, los resultados de estos trabajos proporcionan un marco conceptual importante para profundizar en la investigación y avanzar en la adaptación de aceites reciclados como combustibles alternativos en los motores diésel.

5. CONCLUSIÓN

En lo referente a relación entre temperatura y viscosidad dinámica del aceite vegetal reciclado, los resultados experimentales demuestran que al incrementar la temperatura del aceite, es posible alcanzar una viscosidad aproximada de 13.5 cP, valor que se acerca a la viscosidad del diésel de 7.7 cP. Este comportamiento sugiere que la viscosidad del aceite vegetal reciclado puede ser ajustada mediante el control térmico, facilitando su adaptación para ser utilizado como combustible en

motores diésel. Es importante destacar que este ajuste térmico es crucial para obtener un rendimiento óptimo en la combustión y evitar posibles problemas operativos.

En la comparación entre el aceite vegetal reciclado filtrado y no filtrado, los datos obtenidos indican que el aceite vegetal reciclado filtrado presenta valores de viscosidad dinámica significativamente mayores en comparación con el aceite vegetal reciclado no filtrado que contiene residuos de grasas animales. Esta diferencia en viscosidad puede atribuirse a la presencia de impurezas y contaminantes en el aceite no filtrado, que alteran sus propiedades reológicas. Por lo tanto, la filtración del aceite es un proceso crítico para mejorar sus características de viscosidad y, en consecuencia, su idoneidad como combustible.

Con base en los resultados obtenidos, se puede concluir que el aceite vegetal reciclado es técnicamente factible para ser utilizado como combustible en motores diésel, siempre y cuando se realice un adecuado ajuste de la viscosidad mediante la regulación de la temperatura y se asegure la filtración del aceite. La adaptabilidad del aceite reciclado a las condiciones de operación de un motor diésel abre la posibilidad de utilizarlo como una alternativa sostenible y económica al diésel convencional.

El uso de aceites vegetales reciclados como combustible alternativo representa una solución prometedora sostenible y sustentable en motores diésel. Estas fuentes renovables no solo contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y partículas contaminantes, sino que también promueven la reutilización de residuos, disminuyendo su impacto ambiental. Incursionar en el desarrollo de nuevas tecnologías, como sistemas avanzados de inyección y combustión que permitan optimizar el uso de estos combustibles y superar desafíos como la viscosidad y la temperatura de inflamación. Así, los aceites reciclados se posicionarían como una herramienta clave para mitigar la contaminación ambiental y avanzar hacia un modelo energético más limpio y responsable.

6. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Bioquímica Farmacéutica Pamela Monserrath Morales Layedra, Técnico de Laboratorio de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior



Politécnica de Chimborazo. Su valioso apoyo ha sido fundamental para nuestra investigación, ya que no solo facilitó el acceso al equipamiento necesario, sino que también nos brindó asesoría experta en el manejo y uso adecuado del mismo. Su colaboración ha sido esencial para el desarrollo y éxito de nuestro proyecto.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Akbar, S. *Diésel: Impactos en las emisiones, la salud y el clima*. Banco Mundial. Disponible en: <https://blogs.worldbank.org/es/voices/diesel-impactos-en-las-emisiones-la-salud-y-el-clima>. [consultado el 05 de septiembre de 2024].

[2] Jones s., Peterson C. Uso de aceites vegetales no modificados como extensor de combustible diésel. Departamento de Ingeniería Biológica y Agrícola Universidad de Idaho, Moscú, Idaho 83843.

[3] Vergel, M., Rojas, J. P., & Orjuela Abril, M. S. (2021). Estudio sobre el modelado del chorro de inyección en motores de combustión interna diesel con aplicaciones didácticas. *Boletín Redipe*, 10(7), 290-301.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8116514> [si está disponible]

[4] Choi, W. C., Yoo, I. S., Park, M. R., & Chung, M. K. (2013). Experimental study on the effect of blade angle on regenerative pump performance. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 227(5), 585-592.

[5] Reitz, R. D., & Bracco, F. V. (1982). Mechanism of atomization of a liquid jet. *The physics of Fluids*, 25(10), 1730-1742.

[6] Berbel, EL (2010). Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible.

[7] Calderón, CA, Moreta, JC, & Erazo, G. (2014). Reciclaje de aceite vegetal de frituras para uso como biocombustible en motores diésel en diferentes proporciones.

[8] Ramírez, IE, Vela, NA y Rincón, JJ (2012). Biodiesel, un combustible renovable.

[9] Benavides, A.Y., Benjumea, P., & Pashova, V. (2007). El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diesel. *Dyna*, 74, 141-150.

[10] Mejía Regalado, A.D., & Cuty Clemente, E.R. (2019). Influencia del biodiésel de aceite de fritura usado, sobre las emisiones: índice de opacidad. *Tecnura*.

[11] J.P. SELECTA S.A, Manual de instrucciones Código 80156, AENOR, 2023

[12] Brock, J., Nogueira, MR, Zakrzewski, CA, Corazza, FD, Corazza, ML y Oliveira, JV (2008). Determinación experimental de la viscosidad y la conductividad térmica de aceites vegetales. *Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 28, 564-570.

[13] Toscano, G., & Maldini, E. (2007). ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS ACEITES VEGETALES COMO COMBUSTIBLE. *Journal of Agricultural Engineering*, 38, 39-47.

