

CARACTERIZACIÓN DE LA VISCOSIDAD DEL ACEITE LUBRICANTE DE MOTOR MONOGRADO SAE40 POR MEDIO DE POTENCIA OPTICA LASER

CHARACTERIZATION OF THE VISCOSITY OF SAE40 MONOGRADE MOTOR LUBRICANT OIL BY MEANS OF LASER OPTICAL POWER

Sarmiento Martinez Oscar¹, Ovando Castelar Rosember²

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v8i2.375>

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zacatepec, oscar.sm@zacatepec.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0003-6918-9673>.

²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zacatepec, rosember.oc@zacatepec.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0003-1491-7437>.

Resumen -- En este trabajo, se presentan resultados preliminares de la caracterización de la viscosidad en columnas de aceite lubricante de motor SAE40 monogrado mediante la medición de la potencia óptica laser obtenida por transmisión. La técnica consiste en un haz de un diodo laser de onda continua de 520 nm, el cual pasa a través de una muestra de columna de aceite en función de la temperatura y es transmitido a un fotodetector que registra y procesa la señal para su posterior análisis. Los resultados presentan una correlación directa entre la potencia óptica y la viscosidad del líquido. La correlación se determina a partir del análisis de la absorbancia y coeficiente de absorción por medio de la ley Lambert-Beer.

Palabras Clave: Absorbancia, Coeficiente de Absorción, Potencia Laser, Viscosidad.

Abstract -- In this work, preliminary results of the viscosity characterization in columns of SAE40 single-grade motor lubricating oil and the measurement of the laser optical power obtained by transmission are presented. The technique consists of a beam of a 532 nm continuous wave laser diode, which passes through a sample of oil column depending on the temperature and transmitted to a photodetector that registers and processes the signal for subsequent analysis. The results present a direct correlation between optical power and viscosity, the correlation is determined from the analysis of absorbance and absorption coefficient by means of the Lambert-Beer law.

Key words – Absorbance, Absorption Coefficient, Laser Power, Viscosity.

INTRODUCCIÓN

La viscosidad es una propiedad importante de los fluidos, la cual se puede definir como la resistencia interna que opone un fluido a fluir. Hoy en día, la viscosidad es una propiedad importante para los aceites lubricantes de motores de combustión interna. Tal es así, que el análisis de la viscosidad y otras propiedades se ha vuelto

altamente importante para establecer el correcto funcionamiento y operación del motor. Lo anterior cobra relevancia para su determinación. La medición de la viscosidad puede ser realizada por varios métodos tales como: tubo capilar [1][2], cilindro rotatorio [3], disco oscilante [4], alambre recto vibrante [5], Ciada de bola [6][7], entre otros. Por otra parte, las técnicas ópticas tienen relevancia en aplicaciones industriales debido a que son no destructivas y no intrusivas, además de poder realizar mediciones en campo completo y en tiempo real [8]. Recientemente estas técnicas se han estado aplicando en la determinación de propiedades de aceites lubricantes de motor. Por un lado, en [9], se determinaron las propiedades ópticas no lineales de aceite multigrado 20W-50 para motores en función de la potencia laser, estimando valores de la absorción, índice de refracción y susceptibilidad eléctrica. En [10], los autores evalúan propiedades de viscosidad en productos lácteos mediante la técnica de correlación de imágenes de speckle. Por otro lado, se han desarrollado diferentes técnicas para la medición de viscosidad como la que se presenta en [11], la cual se basa en el principio de inducción laser de deformación de superficie y cuya técnica fue probada en sistemas de líquidos estándar para viscosidades de 1 a 10⁶ cSt.

Por otra parte, diferentes estudios demuestran la importancia de la aplicación de las técnicas ópticas en diferentes campos de la ciencia e ingeniería. En [12], se estudia el efecto de la temperatura en las propiedades ópticas de aceites vegetales utilizando espectroscopia de ultravioleta-visible (UV-VIS) y fluorescencia laser. En [13], se presenta un estudio de correlación entre viscosidad y la absorción de luz visible para diferentes muestras de aceites lubricantes, en donde presentan valores de porcentajes de absorbancia y viscosidad constantes en función de ciclos de trabajos, y más recientemente, en [14] los autores presentan un estudio y el diseño de un viscosímetro portátil basado en laser para mediciones de viscosidad y cuya principal característica es el incremento de la sensibilidad y precisión al incrementar la viscosidad.

En este contexto, el presente estudio, tiene como objetivo determinar una correlación entre la viscosidad y la potencia óptica laser de columnas de aceite lubricante de motor SAE40, en un rango de temperatura entre 25°C a 100°C. La técnica empleada es mediante la transmisión de un haz laser que pasa a través de una columna de aceite, en función de la temperatura, que posteriormente incide en un fotodetector el cual registra la señal. El análisis se realiza mediante la ley de Lambert-Beer para la obtención del coeficiente de absorción y absorbancia en función de la potencia laser.

DESARROLLO

Se utilizaron muestras de columnas de aceite lubricante SEA40 contenidas en celdas de ancho “t” variable, de 10 cm de largo y 7 cm de alto (10 x t x 7 cm). Se utiliza una resistencia cerámica de 40 W de potencia para elevar y mantener la temperatura constante entre un rango de 25°C a 100°C, mediante un sensor NTC 10K/B3950 controlado por un módulo digital XY-T01 con grado de exactitud de 0.1°C. El arreglo óptico experimental que se muestra en la figura 1, consiste de un haz de luz, de un diodo laser de onda continua de ~6 mW de potencia y longitud de onda (λ) de 520 nm, el cual pasa a través de un filtro de densidad neutra (ND) e incide en la muestra de columna de aceite mantenida a una cierta temperatura. El haz laser es transmitido a un fotodetector TSL2568 (350-1100 nm) para su registro. Un medidor de potencia laser (Thorlabs S20MM) es utilizado como adquisitor, en conjunto con un registrador de datos Hantek 365A, el cual transmite los datos vía USB a una computadora personal para su análisis.

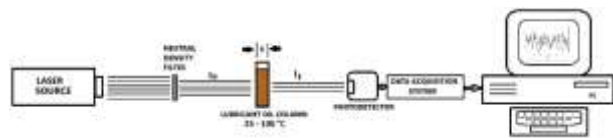


Figura 1. Arreglo óptico experimental.
Fuente. Elaboración propia (2024).

Para el análisis de los datos, se utiliza la ley de Lambert-Beer para determinar la absorbancia y el coeficiente de absorción del aceite SAE40. La ecuación No.1, relaciona las intensidades de potencia óptica de entrada y salida en función del ancho de la columna de aceite.

$$I_f = I_o e^{-\alpha t} \quad \text{Ec. (1),}$$

donde I_f es la potencia óptica después de pasar a través de la columna de aceite, I_o es la potencia óptica de entrada proveniente de la fuente laser, α es el coeficiente de absorción del medio absorbente y t es el ancho de la columna de aceite.

En la figura 2, se presenta la estabilidad de la potencia media óptica medida [~5.86 mW] del diodo laser de onda continua y longitud de onda de 520 nm utilizado.

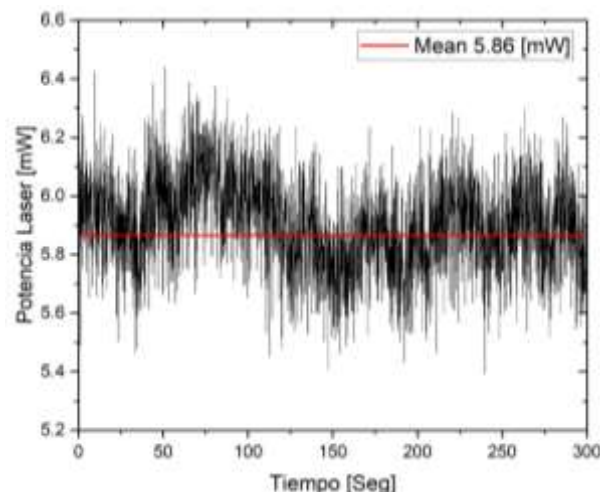


Figura 2. Potencia Media Laser.
Fuente. Elaboración propia (2024).

En la figura 3, se presenta la gráfica de viscosidad SAE40 en función de la temperatura. La curva en rojo representa el ajuste de los datos a una función polinomial de 3er orden (ecuación 2), en donde se obtuvo un coeficiente de correlación aceptable de $R^2=0.99983$, lo cual implica que el modelo se puede utilizar para predecir valores de viscosidad.

$$\mu(T) = 0.44283 - 0.04739(T) + 3.89221E - 4(T^2) - 1.48763E - 6(T^3) \quad \text{Ec. (2).}$$

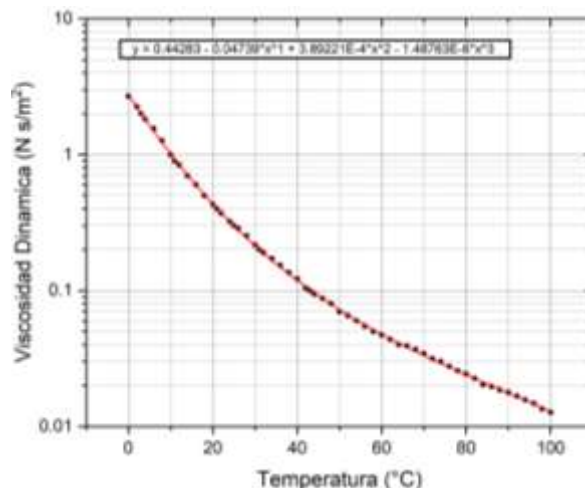


Figura 3. Viscosidad Dinámica SAE40 vs temperatura.
Fuente. Elaboración propia (2024).

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la figura 4, se presenta la potencia óptica laser en función del tiempo de una muestra de columna de aceite con diferencia de camino óptico (ΔL) de 25 mm, correspondiente al ancho t de la columna. Se presentan las diferentes potencias obtenidas en un rango de temperaturas de 30°C a 100°C.

Nótese como la potencia óptica se incrementa conforme la temperatura en la columna de aceite aumenta. Esto puede indicar que la viscosidad en la columna de aceite es inversamente proporcional a la potencia óptica que se transmite.

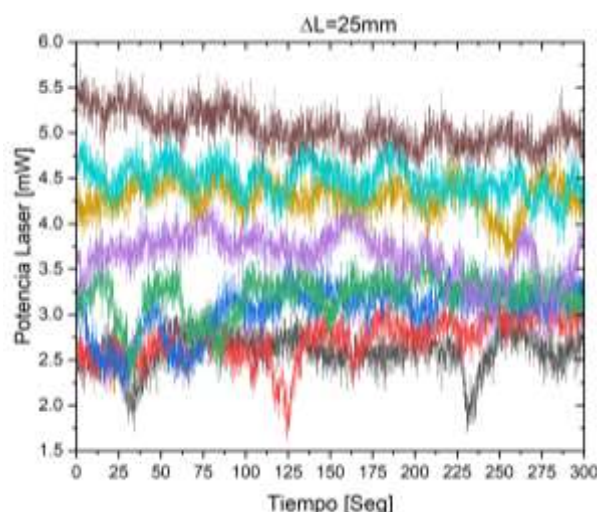


Figura 4. Potencia Óptica Laser de una columna de aceite SAE40 ($t=25\text{mm}$) en función de la temperatura. 30°C [2.50mW](Negro)- 100°C [4.95mW](Café).
Fuente. Elaboración propia (2024).

En la figura 5, se presenta la potencia óptica laser obtenida para diferentes columnas de aceite SAE40 de ancho t ($t=25, 30, 40$ y 50 mm), en función de la temperatura. Obsérvese como la potencia disminuye conforme se incrementa el ancho de la columna de aceite.

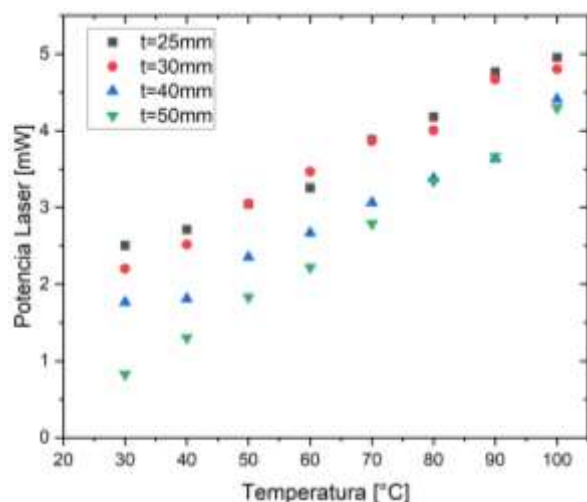


Figura 5. Potencia Óptica Laser de diferentes anchos columnas de aceite SAE40 ($t=25, 30, 40$ y 50 mm).
Fuente. Elaboración propia (2024).

Por otra parte, la figura 6 representa la absorbancia obtenida a partir de las intensidades de la potencia laser (Ec. 1), la cual es inversamente proporcional a la diferencia de camino óptico ($\Delta L = t$) recorrido por el haz.

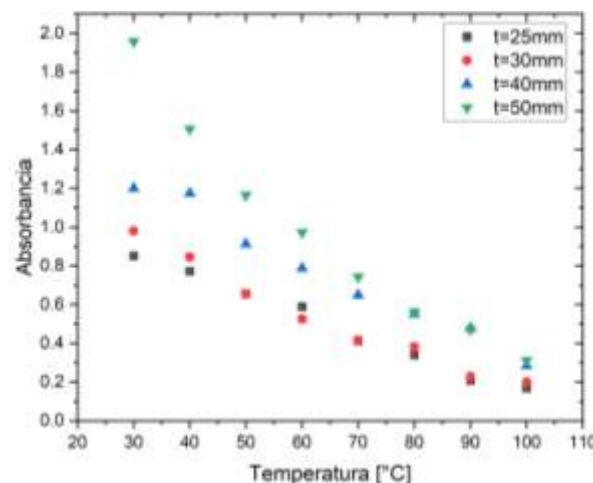


Figura 6. Absorbancia de diferentes anchos columnas de aceite SAE40 ($t=25, 30, 40$ y 50 mm).
Fuente. Elaboración propia (2024).

La figura 7 representa la tendencia de la viscosidad dinámica en función de la absorbancia obtenida a partir de las intensidades de la potencia óptica incidente y transmitida a través de las columnas de aceite, se observa un comportamiento con crecimiento exponencial conforme la absorbancia se incrementa.

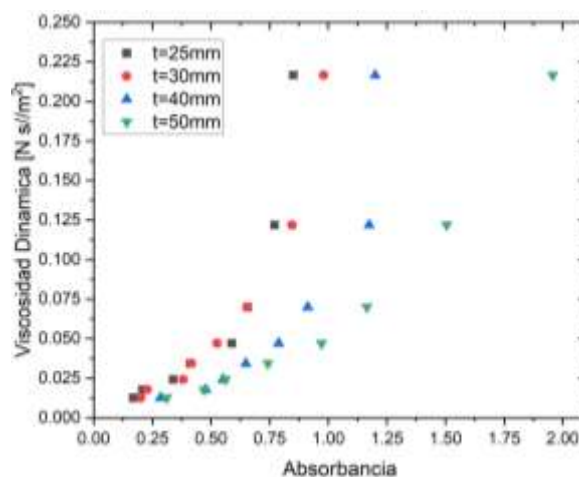


Figura 7. Viscosidad dinámica vs Absorbancia de diferentes anchos columnas de aceite SAE40 ($t=25, 30, 40$ y 50 mm).
Fuente. Elaboración propia (2024).

En la figura 8, se presenta la tendencia de la viscosidad dinámica en función del coeficiente de absorción de las diferentes columnas de aceite SAE40. El coeficiente de absorción se obtiene a partir de la pendiente del logaritmo de la potencia transmitida (I_t) para los diferentes anchos de columna (t). La línea en rojo representa el ajuste del modelo polinomial de 2do. orden obtenido (Ec. 3), y el cual presenta un coeficiente de correlación aceptable ($R^2=0.99586$) para valores de la viscosidad dinámica en función del coeficiente de absorción (α).

$$\mu(\alpha)=4.10751\text{E-}4+1.03589\alpha+95.53027\alpha^2 \quad \text{Ec. (3)}.$$

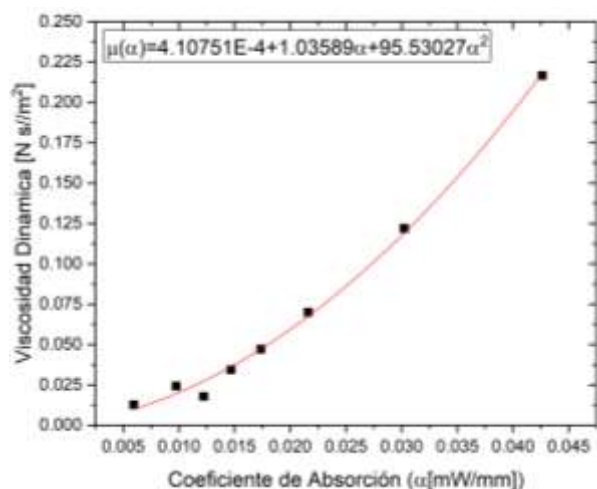


Figura 8. Viscosidad dinámica aceite SAE40 en función del coeficiente de absorción. La curva en rojo representa el ajuste de los datos ($R^2=0.99586$).

Fuente. Elaboración propia (2024).

En la figura 9, se presentan la tendencia de la viscosidad dinámica en función de la potencia laser para los diferentes anchos de columnas de aceite SAE40. Las curvas presentan un comportamiento similar al de la viscosidad dinámica en función de la temperatura (figura 3).

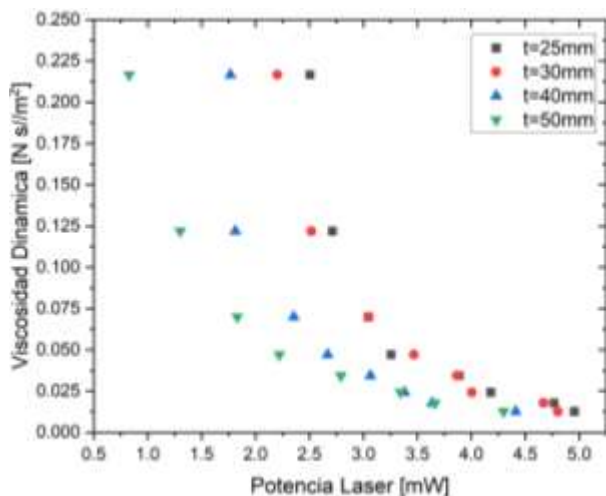


Figura 9. Viscosidad dinámica aceite SAE40 en función de la potencia laser para diferentes anchos de columnas.

Fuente. Elaboración propia (2024).

Tabla 1. Modelos de ajuste de viscosidad dinámica en función de la potencia óptica laser.

t mm	Modelo	R ²
50	$\mu(P) = 0.01381 + 0.58372(0.27778)^P$	0.99872
40	$\mu(P) = 0.0416 - (0.02815) \ln(P - 1.7637)$	0.99203
30	$\mu(P) = 3.3488P^{-3.49785}$	0.99442
25	$\mu(P) = (3.13478P^2 + 1.16712P - 17.9744)^{-1}$	0.9981

Fuente. Elaboración propia (2024).

La Tabla 1, representa los modelos obtenidos de los ajustes de las curvas de viscosidad dinámica en función de la potencia laser para los diferentes anchos de columnas de aceite SAE40 (figura 9). Los 4 modelos obtenidos presentan un ajuste de correlación (R^2) por demás aceptable, siendo estos modelos una forma de predecir la viscosidad dinámica en función de la potencia óptica transmitida a través de columnas de diferente espesor (t).

Por una parte, los 4 modelos anteriores, presentan la desventaja de depender del espesor (t) de la columna de aceite, por lo que es importante considerarlo al seleccionar el modelo. Por otra parte, esta limitante no afecta al modelo obtenido de la viscosidad en función del coeficiente de absorción figura 8 (Ec. 3), debido a que este considera implícitamente el espesor (t) de las diferentes columnas en el cálculo del coeficiente de absorción (α), por lo cual este constituye tal vez una muy buena opción para determinar la viscosidad dinámica (μ).

Los resultados obtenidos en este trabajo, refuerzan trabajos previos que destacan el potencial de los métodos ópticos para determinar propiedades en aceites. La correlación existente entre potencia óptica laser, el coeficiente de absorción y la viscosidad del aceite (figura 5, 8 y 9) son un ejemplo de esto. Por ejemplo, en [9] los autores determinaron una relación entre coeficientes de absorción no lineales y la potencia laser incidente en aceite multigrado 20W-50, presentando una relación con decaimiento exponencial, a diferencia de la presentada en este trabajo (figura 8). Por otro lado, en [15], se propone un arreglo experimental para la determinación de viscosidad dinámica en aceites basado en el interferómetro digital holográfico Mach Zehnder en conjunto con un viscosímetro de caída de bola, la cual es una técnica relativamente mas compleja comparada con la empleada en este trabajo (figura 1), la cual es más simple y fácil de implementar. Por otra parte, en [16] se propone un circuito electrónico para la medición de la viscosidad de aceites vegetales en términos de voltaje, obteniendo una relación lineal entre viscosidad cinemática y voltaje, lo cual si se compara con el comportamiento entre la temperatura del aceite y la potencias laser (figura 5) esta presenta una relación similar. Finalmente, el comportamiento de la absorbancia en función de la temperatura presenta un decaimiento exponencial muy similar al de la viscosidad en función de la potencia laser (figura 6 y 9 respectivamente), lo cual también se asemeja a lo reportado en [17], pero con la variante de utilizar biodiesel como medio absorbente.

CONCLUSIONES

El presente trabajo reporta resultados preliminares de la caracterización de la viscosidad en columnas de aceite lubricante de motor SAE40 monogrado mediante la medición de la potencia óptica laser obtenida por transmisión. Se determinó una evidente correlación entre viscosidad dinámica y potencia óptica laser de columnas

de aceite lubricante de motor SAE40, para rango de temperatura de 30°C a 100°C. Además, se obtuvo una correlación importante en función del coeficiente de absorción sin depender del ancho t de la columna. La simplicidad de la técnica óptica experimental sugiere su aplicación en estudios de viscosidad como método alternativo a los convencionales.

Por otra parte, en un futuro se puede implementar un prototipo portátil para la medición de la viscosidad mediante laser, con la ventaja de que la medición sea instantánea.

Por otro lado, es relevante utilizar técnicas ópticas las cuales son no intrusivas, ni destructivas que faciliten la identificación de parámetros correlacionados para el reconocimiento de patrones o tendencias en datos como por ejemplo en [13], los autores utilizaron tres tipos de muestras de aceite, colocados en celdas especiales de espectrofotómetro y se sometieron a radiación visible con longitudes de onda de 400 nm a 600 nm. Se midieron los porcentajes de absorbancia de la luz visible de las diferentes muestras de aceite y se realizaron mediciones de viscosidad de las mismas. Se reporta que los porcentajes de absorbancia de todas las muestras son inversamente proporcionales a la viscosidad de la muestra de aceite a la misma longitud de onda de luz visible, lo cual, es similar a lo que se reporta en este trabajo con la viscosidad en función de la potencia laser (figura 9). En una de sus conclusiones los autores mencionan que el factor de absorbancia de luz visible puede emplearse como indicador de la calidad del aceite de motor. Otra de las ventajas de utilizar tecnología óptica es la de irradiar y modificar propiedades como en [18] en el cual se comparan propiedades seleccionadas del aceite de motor convencional y del irradiado durante dos intervalos de intercambio. Las propiedades del aceite examinados fueron de naturaleza física y fisicoquímica, e incluyeron principalmente la viscosidad cinemática, el índice de viscosidad entre otros. Los autores comparan el atributo del aceite con su valor original demostrando que su aplicación mejora las propiedades del aceite de motor.

Por lo anteriormente expuesto, los resultados presentados en este trabajo muestran la ventaja de usar métodos no-intrusivos, no-destructivos, así como de poder realizar mediciones en campo completo y en tiempo real que pueden ayudar a interpretar, obtener y/o complementar los procesos que se dan por métodos convencionales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Yusibani E, Nagahama Y, Shinzato K, Fujii M, Kohno M, Takata Y and Woodfield P L 2011 *Int. J Thermophys.* 32(6) 1111-1124.
- [2] May E F, Berg R F and Moldover M R 2007 *Int. J Thermophys.* 28 (4) 1085.
- [3] Diller D E 1965 *J. Chem. Phys.* 42 6.
- [4] Kestin J and Leidenfrost W 1959 *Physica* 25 1033.

- [5] Tough J T, McCormick W D and Dash J G 1964 *Rev. Sci. Instrum.* 35 13451348.
- [6] Brizard M, Megharfi M, Verdier C and Mahé E 2005 *Rev. Sci. Instrum.* 76 (2) 025109.
- [7] Tang J X 2016 *Rev. Sci. Instrum.* 87 054301 doi:10.1063/1.4948314.
- [8] R. Rodríguez-Vera, J. Rayas, A. Martínez, A. Dávila, and J. Marroquín, "Algunas Aplicaciones Industriales de la Interferometría Electrónica de Patrones de Moteado," in *Simposio de Metrología, CENAM, Querétaro*, 2001.
- [9] J.S. Díaz-Tovar, S. Valbuena-Duarte, F. Racedo-Niebles., "Study of non-linear optical properties in automobile lubricating oil via Z-Scan technique" *Revista Facultad de Ingeniería*, No. 86, pp. 27-31, 2018.
- [10] Postnov DD, Moller F, Sosnovtseva O (2018) Dairy products viscosity estimated by laser speckle correlation. *PLoS ONE* 13(9): e0203141. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203141>
- [11] Y. Yoshitake, S. Mitani, K. Sakai, and K. Takagi., "Measurement of high viscosity with laser induced surface deformation technique", *Journal of Applied Physics* 97, 024901 (2005); doi: 10.1063/1.1839640.
- [12] Khosroshahi, M.E. (2018) Effect of Temperature on Optical Properties of Vegetable Oils Using UV-Vis and Laser Fluorescence Spectroscopy. *Optics and Photonics Journal*, 8, 247-263. <https://doi.org/10.4236/opj.2018.87021>
- [13] A. F. Sabbar, H. K. Judran, A. A. Jaddoa., "Study of the Correlation between the Viscosity and Visible Light Absorption by different engine Oil Samples", *Journal of education collage/ Al-Mustansiriya University*, <https://www.researchgate.net/publication/328872574>
- [14] E Yusibani et al 2020 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 796 012027, doi:10.1088/1757-899X/796/1/012027
- [15] Rittirong Nuansri et al. / *American Journal of Applied Sciences* 2018, 15 (6): 331.338 DOI: 10.3844/ajassp.2018.331.338
- [16] A. Sadat, I.A. Khan / *Journal of Food Engineering* 80 (2007) 1194–1198. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.09.009
- [17] Joel Gómez Pérez, Jorge Luis Camas Anzueto, Roció Meza Gordillo, Miguel Abud Archila., "Determinación de la viscosidad del biodiesel con tecnología óptica", *Academia journals*, Vol4, No.2, 2012.
- [18] Zachar, M., Furch, J. Experimental testing of irradiated engine oil using an e-beam. *Sci Rep* 13, 9544 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36693-1>

Tabla de roles de contribución.

Rol de Contribución	Autor(es)
Conceptualización	Oscar Sarmiento Martínez
Curación de datos	
Metodología	
Administración del proyecto	
Visualización	
Recursos	Oscar Sarmiento Martínez «igual» Rosember Ovando Castelar «igual»
Supervisión	Oscar Sarmiento Martínez «igual» Rosember Ovando Castelar «igual»

Validación	Oscar Sarmiento Martínez «igual» Rosember Ovando Castelar «igual»
Redacción (Borrador original)	Oscar Sarmiento Martínez
Redacción (Revisión - Edición)	Oscar Sarmiento Martínez «igual» Rosember Ovando Castelar «igual»



Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons Atribución 4.0.