



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2024,
Volumen 8, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3

**PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS
Y DE TRANSPORTE PARA MEZCLAS DE
A-PINENO + QUEROSENO**

**VOLUMETRIC AND TRANSPORT PROPERTIES FOR
A-PINENO + KEROSENE MIXTURES**

Dorothy Saraí Romero Leyva

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

Sarai Alejandro Hernández

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

David Guerrero Zárate

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11643

Propiedades Volumétricas y de Transporte para Mezclas de A-Pineno + Queroseno

Dorothy Sarai Romero Leyva¹iaras.avyel@gmail.com<https://orcid.org/0009-0001-5006-4825>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
México**Sarai Alejandro Hernández**sarai.alejandro@ujat.mx<https://orcid.org/0009-0002-2406-7384>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
México**David Guerrero Zárate**david.guerrero@ujat.mx<https://orcid.org/0000-0002-7762-0246>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
México

RESUMEN

La búsqueda de alternativas para reducir las emisiones de gases efecto invernadero debido al uso de combustibles fósiles ha llevado a probar diversas moléculas de alta densidad energética, como los terpenos. Una de las sustancias que conforma esta familia es el α -pineno, que ha sido probado como aditivo en los combustibles tradicionales o materia prima en la síntesis de biocombustibles. Se prepararon mezclas de α -pineno con queroseno en todo el intervalo de composiciones; se midió la densidad y la viscosidad cinemática a temperaturas entre 293.15 K y 353.15 K a presión atmosférica, así como el poder calorífico. Se encontró que la densidad y viscosidad disminuyen cuando la temperatura se incrementa; se determinó la expansividad volumétrica para la mezcla, encontrando que es independiente de la composición y la temperatura, con un valor de $1.025 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Se obtuvieron modelos semiempíricos que permiten estimar la densidad, la viscosidad y el poder calorífico con un error cuadrático promedio de $0.001 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, $0.0032 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ y $0.07 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente.

Palabras clave: propiedades de exceso, biocombustibles, poder calorífico, densidad, viscosidad

¹ Autor principal.

Correspondencia: david.guerrero@ujat.mx

Volumetric and Transport Properties for α -Pineno + Kerosene Mixtures

ABSTRACT

The search for alternatives to reduce greenhouse gas emissions due to using fossil fuels has led to the testing of various high-energy density molecules, such as terpenes. One of the substances that make up this family is α -pinene, which has been tested as an additive in traditional fuels or as a raw material in the synthesis of biofuels. Blends of α -pinene with kerosene were prepared over the entire range of compositions; density and kinematic viscosity were measured at temperatures between 293.15 K and 353.15 K at atmospheric pressure as well as calorific value. Density and viscosity decreased with increasing temperature; volumetric expansivity was determined for the mixture, finding that it is independent of composition and temperature, with a value of $1.025 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Semiempirical models were obtained that allow estimating the density, viscosity, and calorific value with a root mean square error of $0.001 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, $0.0032 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ and $0.07 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively.

Keywords: excess properties, biofuel, calorific value, density, viscosity

Artículo recibido 25 abril 2024

Aceptado para publicación: 28 mayo 2024



INTRODUCCIÓN

El queroseno es un derivado del petróleo, que puede ser obtenido por destilación (queroseno de primera destilación) o mediante craqueo (queroseno craqueado). Este petrolífero es una mezcla compleja de hidrocarburos nafténicos (mínimo 70% v/v), aromáticos (hasta 25% v/v) y olefínicos (menor al 5% v/v) cuyo punto de ebullición se encuentra entre los 145°C y 300°C (U.S. Environmental Protection Agency, 2011). Existen dos tipos de queroseno, uno para uso doméstico principalmente como combustible para estufas, uso en lámparas y como medio de calefacción, comúnmente observado en países en vías de desarrollo; por el otro lado, se tiene la aplicación como combustible de aviación, conocida como turbosina (Lam et al., 2012). En México, la regulación de los indicadores de calidad para petrolíferos, incluyendo la turbosina, se encuentran establecidos en la NOM-016-CRE-2016 (NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de Calidad de Los Petrolíferos, 2016).

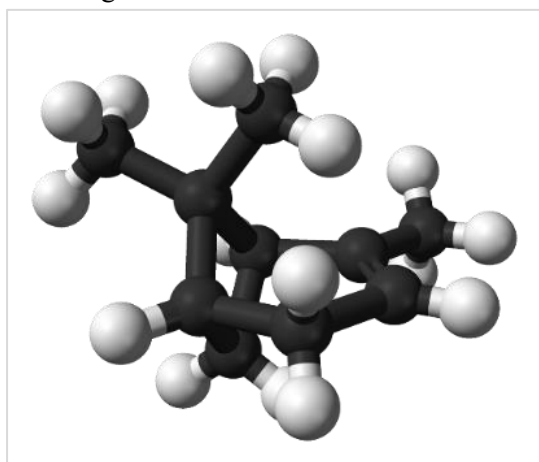
La demanda de combustibles a nivel nacional y mundial se ha incrementado después del confinamiento debido a la pandemia por la COVID-19, lo que se traduce en un aumento en la generación de gases efecto invernadero. En este sentido, el uso y búsqueda de combustibles de origen renovable se ha vuelto una necesidad. Por ejemplo, en el trabajo de Srihanun et al. (2020) se estudió la producción de bioqueroseno, usando como materia prima aceite de palma sometiéndola a un proceso de hidrocraqueo catalítico; se ha propuesto mezclar los combustibles fósiles con biocombustibles como las mezclas de diésel o queroseno con biodiésel, encontrando que se reduce la concentración de azufre en las emisiones (Hamza et al., 2020); se ha investigado el efecto de añadir alcoholes de cadenas largas, como el bio-butanol a las gasolinas, encontrando que proporciones del 5 a 10% mantiene las propiedades volumétricas y de transporte en el combustible (Trost et al., 2021). Elsharkawy et al. (2021) encontraron que las mezclas de queroseno con biodiésel de aceite de castor reduce las emisiones de NO_x, pero se incrementan las emisiones de CO. Por su parte, Donoso et al. (2021) utilizó un proceso de hidrogenación para la trementina, obteniendo un biocombustible que reduce la formación de hollín en la turbosina. Además, otros estudios se han centrado en el uso de las propiedades fisicoquímicas como el índice de refracción, la densidad o la viscosidad de las mezclas combustible/biocombustible para estimar de forma rápida las composiciones en la mezcla (Khazaai et al., 2023)

Una molécula que ha sido probada como biocombustible es el α -pineno; este compuesto pertenece a la

familia de los monoterpenos, cuenta con una estructura de doble anillo con diez átomos de carbono y dieciséis átomos de hidrógeno, véase la Figura 1; esta sustancia puede ser obtenida de la resina de los pinos, como un subproducto de la industria del papel e incluso sintetizada por la bacteria *E. Coli* a partir de la glucosa (Al Zaabi et al., 2022). Se ha estudiado como materia prima en la producción de su dímero, obteniendo un combustible de alta densidad energética (Yang et al., 2024). En otro trabajo se reporta la adición de α -pineno al diésel, para estudiar la reducción de la generación de hollín, así como la disminución de la viscosidad y el peso molecular, un incremento en la densidad y reducción en el índice de cetano (Al Zaabi et al., 2022)

Por lo anterior, en este trabajo se prepararon mezclas de α -pineno con un queroseno estándar, cuya composición es 15.9% aromáticos, 52.8% cicloparafinas, 30.8% parafinas y 0.5% alquenos. Se midieron las densidades, las viscosidades y el poder calorífico a temperaturas entre 293.15 K y 353.15 K y presión atmosférica. A partir de los resultados, se obtuvieron ecuaciones empíricas que permiten estimar las propiedades medidas dentro de los intervalos de temperatura utilizados.

Figura 1. Estructura molecular del α -pineno, compuesta por 10 átomos de carbono y dieciséis átomos de hidrógeno.



METODOLOGÍA

Las sustancias, sus purezas y marcas se muestran en la Tabla 1. Las mezclas se prepararon de forma gravimétrica en todo el intervalo de composiciones masa, utilizando una balanza analítica modelo VE-204 de la marca VELAB, con una precisión de 0.0001 g.

La densidad a presión atmosférica se midió en un densímetro digital de tubo vibrante modelo DMA 4100M de la marca Anton Paar calibrado con aire seco y agua bidestilada, el equipo cuenta con un

control automático de temperatura que permite realizar mediciones entre 293.15 K y 363.15 K, la exactitud del equipo es de 0.0001 g/cm³ y 0.03 K en densidad y temperatura, respectivamente.

Tabla 1. Sustancias utilizadas en este presente trabajo.

Sustancia	Marca	Número CAS	PUREZA
α -Pino	Sigma Aldrich	80-56-8	98.3%
Queroseno deodorizado	Meyer	8008-20-6	N.A.

La viscosidad dinámica a presión atmosférica se obtuvo en un viscosímetro digital Stabinger modelo SVM 2001 de Anton Paar calibrado con aceite estándar propio de la marca, con una repetibilidad del 0.1%. Las mediciones se llevaron a cabo a temperaturas entre 293.15 K y 363.15 K, con una repetibilidad de 0.005 K.

El poder calorífico se obtuvo mediante una bomba calorimétrica de oxígeno modelo A4000 calibrada con ácido benzoico; la medición se llevó a cabo en una atmósfera con exceso de oxígeno a una presión de 3 MPa, utilizando un alambre de hierro para iniciar la ignición.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Tablas 2 y 3 se muestran los datos con las densidades (ρ) y viscosidades dinámicas (η) obtenidas para las mezclas de α -pino con queroseno, respectivamente. Las mediciones se llevaron a cabo a temperaturas entre 293.15 y 353.15 K, para diferentes composiciones masa de α -pino (w); se observó que la densidad se incrementa y la viscosidad disminuye al aumentar la presencia de α -pino en la mezcla; el efecto de la temperatura produce una reducción en la densidad y viscosidad, que es el comportamiento esperado para este tipo de sistemas.

En la Tabla 4 se muestran los valores determinados para el poder calorífico de las mezclas de α -pino + queroseno. Se observa una disminución en el poder calorífico cuando se incrementa la cantidad de α -pino en la mezcla, sin embargo, todos cumplen con el valor mínimo sugerido por la NOM-016-CRE-2016. La dependencia del poder calorífico de la mezcla con respecto a la composición másica se ajustó a un polinomio del tipo

$$Q = \sum_{i=0}^N q_i w^i \quad (1)$$

Los valores para los parámetros (q_i) pueden encontrarse en la Tabla 5.

A partir de las densidades medidas experimentalmente, se pueden obtener los valores de las expansividades volumétricas para las mezclas (α_V), utilizando la definición

$$\alpha_V \equiv -\frac{1}{\rho} \left(\frac{d\rho}{dT} \right)_P \quad (2)$$

Tabla 2. Densidades medidas ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) para las mezclas de (w) α -pineno + ($1-w$) queroseno a diferentes temperaturas y presión atmosférica.

T (K)	w					
	0.0000	0.1673	0.3448	0.5479	0.7681	1.0000
293.15	0.7548	0.7702	0.7866	0.8051	0.8319	0.8587
298.15	0.7511	0.7665	0.7827	0.8012	0.8278	0.8546
303.15	0.7474	0.7628	0.7788	0.7973	0.8238	0.8504
308.15	0.7438	0.7590	0.7750	0.7933	0.8197	0.8463
313.15	0.7401	0.7553	0.7711	0.7894	0.8156	0.8422
318.15	0.7364	0.7515	0.7671	0.7855	0.8115	0.8380
323.15	0.7326	0.7477	0.7632	0.7815	0.8074	0.8338
328.15	0.7289	0.7439	0.7593	0.7776	0.8033	0.8296
333.15	0.7252	0.7401	0.7554	0.7736	0.7991	0.8254
338.15	0.7214	0.7363	0.7514	0.7696	0.7950	0.8212
343.15	0.7177	0.7324	0.7474	0.7656	0.7908	0.8170
348.15	0.7139	0.7286	0.7435	0.7616	0.7866	0.8128
353.15	0.7101	0.7247	0.7395	0.7576	0.7824	0.8085

Partiendo de los datos experimentales de la Tabla 2 y aplicando derivadas numéricas centrales, de acuerdo con la Ec. 3

$$\alpha_V \approx -\frac{1}{\rho_i} \left(\frac{\rho_{i+1} - \rho_{i-1}}{T_{i+1} - T_{i-1}} \right) \quad (3)$$

Se encontró que la expansividad volumétrica es independiente de la temperatura y la composición másica de la mezcla, con un valor $\alpha_V = 1.025 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

La propiedad obtenida anteriormente, puede utilizarse para desarrollar un modelo que permita estimar la densidad para la mezcla, integrando la Ec. 1 desde una densidad de referencia ρ_0 determinada a una temperatura de referencia T_0 , hasta una densidad ρ a la temperatura T , se obtiene

$$\rho = \frac{\rho_0}{\exp[\alpha_V(T - T_0)]} \quad (4)$$

La densidad de referencia (ρ_0) se ajustó a un modelo polinómico, dependiente de la composición másica de α -pineno, de la forma

$$\rho_0 = \sum_{i=0}^N a_i w^i \quad (5)$$

Los valores para los parámetros (a_i) se muestran en la Tabla 5.

Tabla 3. Viscosidad dinámica medida (mPa·s) para las mezclas (w) α -pineno + (1- w) queroseno a diferentes temperaturas y presión atmosférica.

T (K)	w					
	0.0000	0.1673	0.3448	0.5479	0.7681	1.0000
293.15	1.4611	1.4501	1.4394	1.4259	1.4070	1.4175
298.15	1.3343	1.3254	1.3179	1.3152	1.2966	1.3043
303.15	1.2218	1.2148	1.2082	1.2075	1.1984	1.2031
308.15	1.1221	1.1194	1.1179	1.1205	1.1100	1.1142
313.15	1.0353	1.0344	1.0337	1.0370	1.0304	1.0346
318.15	0.9572	0.9573	0.9574	0.9623	0.9588	0.9635
323.15	0.8877	0.8921	0.8959	0.9048	0.8948	0.8993
328.15	0.8252	0.8305	0.8336	0.8395	0.836	0.8408
333.15	0.7699	0.7741	0.7778	0.7844	0.7819	0.7899
338.15	0.7193	0.7238	0.7253	0.7349	0.7336	0.741
343.15	0.6734	0.6781	0.6829	0.6899	0.6886	0.698
348.15	0.6316	0.6368	0.6397	0.649	0.648	0.6593
353.15	0.5952	0.6011	0.6067	0.6114	0.6098	0.6226

Tabla 4. Valores del poder calorífico para las mezclas de α -pineno + queroseno.

w	0.0000	0.1673	0.3448	0.5479	0.7681	1.0000
Q (MJ · kg ⁻¹)	50.54	50.13	49.58	49.10	48.64	48.16

En el caso de la viscosidad, los resultados se ajustaron a un modelo exponencial

$$\eta = A \exp\left(\frac{B}{T}\right) \quad (6)$$

donde A y B son parámetros de ajuste dependientes de la composición masa de α -pineno en la mezcla.

Para obtener una ecuación que permita conocer esta dependencia, se utilizó un modelo de propiedades

de exceso

$$M^E = M - [wM_1 + (1 - w)M_2] \quad (7)$$

donde M puede ser el parámetro A o B , los subíndices 1 y 2 hacen referencia al α -pineno y al queroseno, respectivamente y el superíndice E indica la propiedad de exceso. Los valores M^E se pueden modelar mediante la ecuación propuesta por Redlich y Kister

$$M^E = w(1 - w) \sum_{i=0}^N m_i (1 - 2w)^i \quad (8)$$

donde m_i son los parámetros de ajuste, mismos que pueden encontrarse en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores de los parámetros de ajuste para calcular la densidad, viscosidad y el poder calorífico en las mezclas de α -pineno + queroseno a diferentes temperaturas y presión atmosférica.

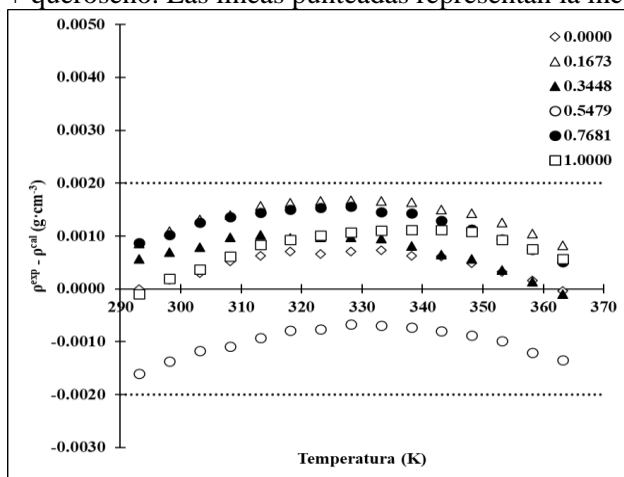
i	a_i	q_i	m_i		M	
			A^E	B^E	A_i	B_i
0	0.7548	50.54	2.4042E-03	-5.6118E+01	-	-
1	0.0835	-2.4683	-	-	1.1202E-02	1.4179E+03
2	0.0205	-	-	-	7.3428E-03	1.5504E+03

Se evaluaron las desviaciones entre los datos medidos experimentalmente y los valores estimados con las Ecs. 3, 5 y 6 y los parámetros reportados en la Tabla 5, utilizando la Ec. 9

$$DA_i = y_i^{exp} - y_i^{cal} \quad (9)$$

donde y_i pueden ser la densidad, la viscosidad o el poder calorífico de la mezcla y los superíndices exp y cal hacen referencia a datos medidos de forma experimental o calculados, respectivamente. Los resultados se muestran en las Figuras 2 a la 4, encontrando que las predicciones de los modelos utilizados en este trabajo están dentro de la incertidumbre expandida estimada para los ajustes.

Figura 2. Desviaciones absolutas entre las densidades medidas y las calculadas para la mezcla α -pineno + queroseno. Las líneas punteadas representan la incertidumbre de la predicción.



Con la finalidad de validar los modelos matemáticos obtenidos, se compararon las predicciones de las Ecs. 3, 5 y 6 con datos reportados en la literatura para la densidad y viscosidad del α -pineno, evaluando la Desviación Promedio Cuadrática (*DPC*)

$$DPC = \sqrt{\frac{DA_i^2}{N}} \tag{10}$$

donde *N* es el número de datos con los que se cuenta. Los resultados se muestran en la Tabla 6. Para las estimaciones del poder calorífico, la *DPC* es de 0.07 kJ·g⁻¹.

Figura 3. Desviaciones absolutas entre las viscosidades dinámicas medidas y las calculadas para la mezcla α -pineno + queroseno. Las líneas punteadas representan la incertidumbre de la predicción.

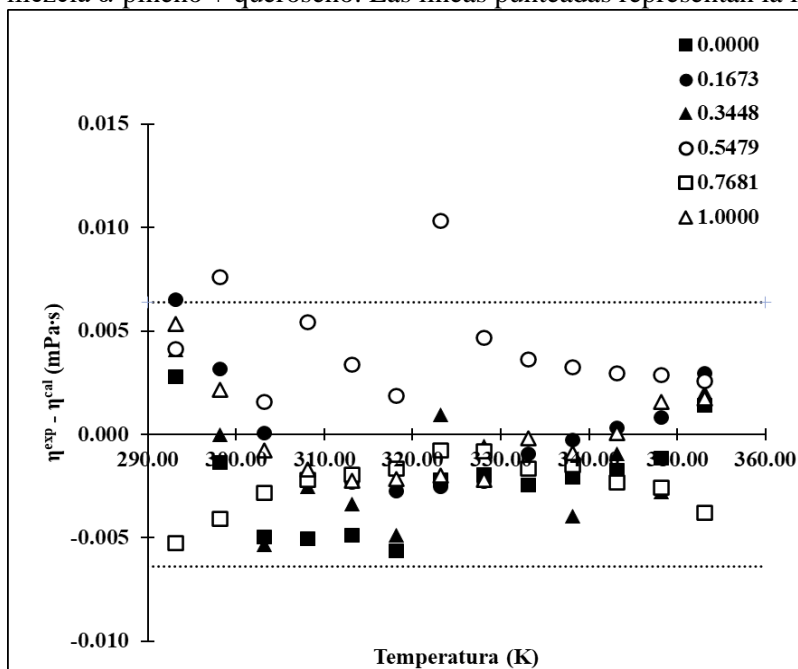


Figura 4. Desviaciones absolutas entre el poder calorífico medido y los valores calculados para la mezcla α -pineno + queroseno. Las líneas punteadas representan la incertidumbre de la predicción.

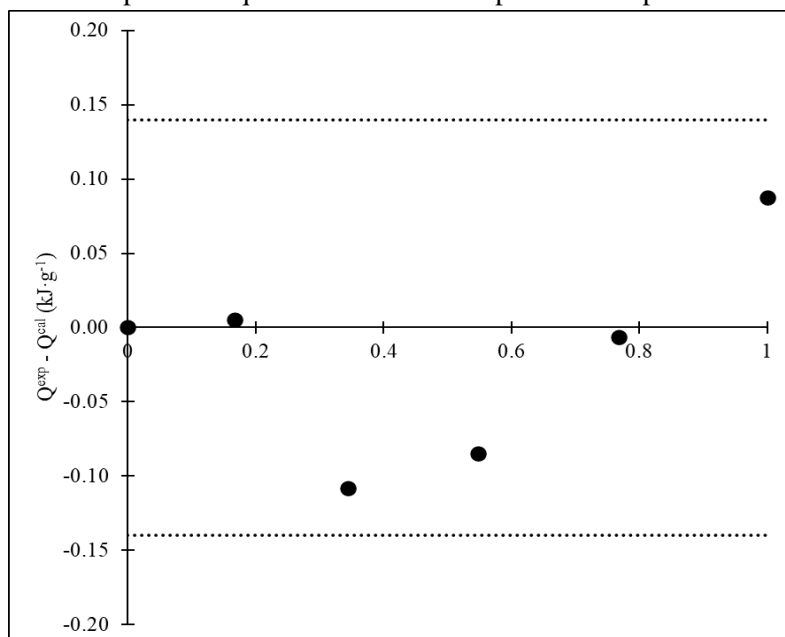


Tabla 6. Comparación entre las predicciones con los modelos reportados en este trabajo para la densidad y viscosidad contra los datos reportados en la literatura.

Intervalo de temperaturas (K)	Número de datos	Desviación Promedio Cuadrática		Referencia
		Densidad (g·cm ⁻³)	Viscosidad (mPa·s)	
293.15 – 353.15	78	0.0010	0.0032	Este trabajo
293.15	1	0.0007	-	Xu et al. (2005)
293.15	1	0.0007	-	Wang et al. (2003)
293.15 – 323.15	7	0.0016	-	Ribeiro & Bernardo-Gil (1990)
298.15 – 318.15	3	0.0009	-	Liao et al. (2007)
298.15	1	0.0005	-	Li & Tamura (2006)
298.15	1	0.0005	0.0061	Francesconi et al. (2001a)
298.15 – 313.15	2	0.0004	-	Francesconi et al. (2001b)
298.15	1	0.0005	-	Francesconi et al. (2000)
293.15 – 353.15	8	0.0005	0.0087	Clará et al. (2009)
293.15 – 313.15	10	0.0007	-	Tavares Sousa & Nieto de Castro (1992)
298.15	1	0.0005	-	Comelli et al. (2001)
298.15	1	0.0005	0.0091	Comelli et al. (2002)
293.15 – 353.15	6	0.0005	-	Ilić Pajić et al. (2020)

Para la densidad se comparó con trece trabajos, encontrando que la *DPC* es menor que la incertidumbre estimada para las predicciones de los cálculos con la Ec. 3. Aunque el trabajo de Ribeiro & Bernardo-Gil (1990) se encuentra una *DPC* de 0.0016, a temperaturas de 293.15 a 298.15 K las desviaciones son de 0.0004 g·cm⁻³ y para temperaturas superiores, la desviación más alta es de 0.0024, lo anterior se debe a que la técnica utilizada para determinar la densidad fue el picnómetro, y se ha reportado en la literatura que la precisión de este instrumento depende de las condiciones en las que se opera, reduciendo la precisión a valores de hasta 0.01 g·cm⁻³ (Viana, 2002).

En el caso de la viscosidad, se encontraron tres trabajos en los que se reporta esta propiedad para el α -pineno, para los datos reportados por Francesconi et al. (2001a) y Comelli et al. (2002) las viscosidades calculadas con la Ec. 6 se encuentran dentro del error experimental reportado por los autores; en el caso del trabajo reportado por Clará et al. (2009) se menciona que la incertidumbre es de 0.35%, sin embargo, este dato corresponde con la reproducibilidad del equipo; se encontró que a temperaturas entre los 325.15 K y 353.15 K el error no supera el 2%.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentan datos experimentales para la densidad y viscosidad en el intervalo de temperaturas de 293.15 K a 353.15 K y el poder calorífico de las mezclas de α -pineno con queroseno. Además, se proponen ecuaciones empíricas para calcular las propiedades medidas, dentro de los límites de temperatura y presión en el que se obtuvieron los datos experimentales. Se encontró que las mezclas de α -pineno con composiciones masa por encima de 0.17 están conformes con la densidad a 293.15 K solicitada por la NOM-016-CRE-2016. Si se extrapolan las Ecs. 3 y 6 para estimar la viscosidad dinámica a 253.15 K, se encuentra que las mezclas están conformes con la norma antes mencionada. En el caso del poder calorífico, el α -pineno y sus mezclas con el queroseno cumplen con el valor solicitado por la norma, que es de por lo menos 42.8 MJ·kg⁻¹.

En este sentido, el α -pineno puede ser una alternativa de aditivo para mezclar con los combustibles de origen fósil, reduciendo así su consumo; sin embargo, antes de que esto suceda, es necesario evaluar otras propiedades importantes para la industria de la aviación, como las temperaturas de inflamación y congelación, estabilidad térmica, punto de humo, entre otras.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Al Zaabi, A., Raj, A., Elkadi, M., Anjum, D., Prabhu, A., Pena, G. D. J., Li, L., George, A., & Nasser Al Shebli, M. (2022). Variation in sooting characteristics and cetane number of diesel with the addition of a monoterpene biofuel, α -pinene. *Fuel*, 314. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.123082>
- Clará, R. A., Marigliano, A. C. G., & Sólamo, H. N. (2009). Density, Viscosity, and Refractive Index in the Range (283.15 to 353.15) K and Vapor Pressure of α -Pinene, *d*-Limonene, (\pm)-Linalool, and Citral Over the Pressure Range 1.0 kPa Atmospheric Pressure. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 54(3), 1087–1090. <https://doi.org/10.1021/je8007414>
- Comelli, F., Francesconi, R., & Castellari, C. (2001). Excess Molar Enthalpies and Excess Molar Volumes of Binary Mixtures Containing Dialkyl Carbonates + Pine Resins at (298.15 and 313.15) K. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 46(1), 63–68. <https://doi.org/10.1021/je000181k>
- Comelli, F., Ottani, S., Francesconi, R., & Castellari, C. (2002). Densities, Viscosities, and Refractive Indices of Binary Mixtures Containing *n*-Hexane + Components of Pine Resins and Essential Oils at 298.15 K. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 47(1), 93–97. <https://doi.org/10.1021/je010216w>
- Donoso, D., Ballesteros, R., Bolonio, D., García-Martínez, M. J., Lapuerta, M., & Canoira, L. (2021). Hydrogenated Turpentine: A Biobased Component for Jet Fuel. *Energy and Fuels*, 35(2), 1465–1475. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c03379>
- Elsharkawy, E. A., Abou Al-sood, M. M., El-Fakharany, M. K., & Ahmed, M. (2021). Assessing and Comparing the Characteristics of CI Engine Powered by Biodiesel–Diesel and Biodiesel–Kerosene Blends. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(12), 11771–11782. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05703-7>
- Francesconi, R., Castellari, C., & Comelli, F. (2001a). Densities, Viscosities, Refractive Indices, and Excess Molar Enthalpies of Methyl *tert*-Butyl Ether + Components of Pine Resins and Essential Oils at 298.15 K. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 46(6), 1520–1525. <https://doi.org/10.1021/je010167n>



- Francesconi, R., Castellari, C., & Comelli, F. (2001b). Excess Molar Enthalpies and Excess Molar Volumes of Binary Mixtures Containing 1,3-Dioxolane or 1,4-Dioxane + Pine Resins at (298.15 and 313.15) K and at Atmospheric Pressure. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 46(3), 577–581. <https://doi.org/10.1021/je000337g>
- Francesconi, R., Comelli, F., & Castellari, C. (2000). Excess molar enthalpies of binary mixtures containing phenetole+ α -pinene or β -pinene in the range (288.15–313.15) K, and at atmospheric pressure. *Thermochimica Acta*, 363(1–2), 115–120. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(00\)00605-5](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(00)00605-5)
- Hamza, N. H., Ekaab, N. S., & Chaichan, M. T. (2020). Impact of using Iraqi biofuel–kerosene blends on coarse and fine particulate matter emitted from compression ignition engines. *Alexandria Engineering Journal*, 59(3), 1717–1724. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.04.031>
- Ilić Pajić, J., Ivaniš, G., Radović, I., Grujić, A., Stajić-Trošić, J., Stijepović, M., & Kijevčanin, M. (2020). Experimental densities and derived thermodynamic properties of pure p-cymene, α -pinene, limonene and citral under high pressure conditions. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 144, 106065. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2020.106065>
- Khazaai, S. N. M., Bhuyar, P., Rahim, M. H. A., Alwi, M. H. F. M., Yiting, S., & Maniam, G. P. (2023). Rapid determination of diesel/biodiesel blend ratio using refractive index, density, and kinematic viscosity measurements. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(12), 10781–10787. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01921-z>
- Lam, N. L., Smith, K. R., Gauthier, A., & Bates, M. N. (2012). Kerosene: A Review of Household Uses and their Hazards in Low- and Middle-Income Countries. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 15(6), 396–432. <https://doi.org/10.1080/10937404.2012.710134>
- Li, H., & Tamura, K. (2006). Ternary and quaternary (liquid+liquid) equilibria for (water+ethanol+ α -pinene, + β -pinene, or +limonene) and (water+ethanol+ α -pinene+limonene) at the temperature 298.15K. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 38(8), 1036–1041. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2005.10.018>
- Liao, D.-K., Meng, X.-L., Tong, Z.-F., Zheng, D.-X., Peng, D.-Y., & Lu, B. C.-Y. (2007). Excess Molar Enthalpies of p -Cymene + α -Pinene + β -Pinene at (298.15, 308.15, and 318.15) K and at



- Atmospheric Pressure. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 52(3), 808–811.
<https://doi.org/10.1021/je060420p>
- NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de Calidad de Los Petrolíferos (2016).
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5450011&fecha=29/08/2016
- Ribeiro, A., & Bernardo-Gil, G. (1990). Densities and refractive indices of components of pine resin. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 35(2), 204–206. <https://doi.org/10.1021/je00060a033>
- Srihanun, N., Dujjanutat, P., Muanruksa, P., & Kaewkannetra, P. (2020). Biofuels of green diesel–kerosene–gasoline production from palm oil: Effect of palladium cooperated with second metal on hydrocracking reaction. *Catalysts*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/catal10020241>
- Tavares Sousa, A., & Nieto de Castro, C. A. (1992). Density of α -pinene, β -pinene, limonene, and essence of turpentine. *International Journal of Thermophysics*, 13(2), 295–301.
<https://doi.org/10.1007/BF00504438>
- Trost, D., Polcar, A., Boldor, D., Nde, D. B., Wolak, A., & Kumbár, V. (2021). Temperature dependence of density and viscosity of biobutanol-gasoline blends. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(7).
<https://doi.org/10.3390/app11073172>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2011). *Screening-level hazard characterization Kerosene/Jet Fuel category*.
- Viana, M. (2002). About pycnometric density measurements. *Talanta*, 57(3), 583–593.
[https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(02\)00058-9](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(02)00058-9)
- Wang, C., Li, H., Ma, L., & Han, S. (2003). Vapor–Liquid Equilibria for the Binary Mixture α -Pinene + Octane. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 48(5), 1120–1121.
<https://doi.org/10.1021/je025631i>
- Xu, Z., Li, H., Wang, C., Liang, W., & Han, S. (2005). Isothermal and isobaric (vapour+liquid) equilibria of (α -pinene+n-butanol+n-octane). *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 37(3), 201–204. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2004.08.012>
- Yang, C., Liu, Y., Hu, Y., Wang, P., Yang, Y., Chen, S., Wang, Z., & Li, X. (2024). Highly efficient synthesis of high-density biofuels from biomass-derived α -pinene catalyzed by mesoporous H-ZSM-5. *Catalysis Communications*. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2024.106881>

