

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Rendimiento de producción de biodiesel por transesterificación a partir de aceite de soja usado

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Dennys Jose Meza Gago
Miguel Angel Mamani Ponce

Asesor:

Iliana Del Carmen Gutierrez Rodriguez

Lima, Abril del 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Iliana Del Carmen Gutierrez Rodriguez, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**Rendimiento de producción de biodiesel por transesterificación a partir de aceite de soja usado**” constituye la memoria que presenta los Bachilleres: Dennys Jose Meza Gago y Miguel Angel Mamani Ponce, para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 21 días del mes de abril del año 2021



Iliana Del Carmen Gutierrez Rodriguez

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 12 días día(s) del mes de abril del año 2020 siendo las 20:30 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio**, y los demás miembros: **Ing. Nancy Curasi Rafael** y el **Ing. Orlando Alan Poma Porras** y el asesor : **Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Rendimiento de producción de biodiesel por transesterificación a partir de aceite de soja usado"

de el(los)/la(las) bachiller(es): a) **MIGUEL ANGEL MAMANI PONCE**

.....b) ...**DENNYS JOSÉ MEZA GAGO**.....

.....conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **MIGUEL ANGEL MAMANI PONCE**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente


Candidato (b): **DENNYS JOSÉ MEZA GAGO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga



Secretario
Mg. Jackson Edgardo
Perez Carpio

Asesor
Mg. Iliana Del Carmen
Gutiérrez Rodríguez

Miembro
Ing. Nancy Curasi
Rafael

Miembro
Ing. Orlando Alan
Poma Porras

Candidato/a (a)
Miguel Angel Mamani
Ponce

Candidato/a (b)
Dennys José Meza
Gago

Rendimiento de producción de biodiesel por transesterificación a partir de aceite de soja usado.

Biodiesel production performance by transesterification from used soybean oil.

Dennys José Meza Gago*1a, Miguel Mamani Ponce1b, Iliana Del Carmen Gutierrez Rodriguez1c

¹Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Lima – Perú

Resumen.

El objetivo fue valorar la producción de biodiesel aprovechando aceite de soja usado, con el método de transesterificación, se evaluaron dos Relaciones Molares de alcohol etílico: aceite de soja usada (9:1 y 15:1) y dos concentraciones de catalizador de CaO (2 y 6%). El rendimiento mayor de biodiesel alcanzado fue 60.9%, con la proporción molar de 15:1 alcohol etílico: aceite soja usada y una concentración de catalizador del 6%. Se podría optimizar este rendimiento aplicando la metodología de superficie respuesta. La viscosidad fue de 8,70 cSt, resultado que estuvo cercano a la norma ASTM D6751-09. Por último, se concluye que a mayores relaciones molares y concentraciones similares analizadas de catalizador son adaptables para una optimización de producción de biodiesel.

Palabras clave: Transesterificación, Biodiesel, Viscosidad, Oxido de Calcio, Superficie Respuesta.

Abstract

The objective was to assess the production of biodiesel taking advantage of used soybean oil, with the transesterification method, two Molar Ratios of ethyl alcohol: used soybean oil (9: 1 and 15: 1) and two concentrations of CaO catalyst (2 and 6%). The highest yield of biodiesel reached was 60.9%, with a molar ratio of 15: 1 ethyl alcohol: soybean oil used and a catalyst concentration of 6%. This performance could be optimized by applying the response surface methodology. The viscosity was 8.70 cSt, a result that was close to the ASTM D6751-09 standard. Finally, it is concluded that higher molar ratios and similar concentrations of catalyst analyzed are adaptable for optimization of biodiesel production.

Key words: Transesterification, Biodiesel, Viscosity, Calcium Oxide, Surface Response.

Introducción

La demanda de energía se ha transformado en un requisito básico para la subsistencia de la humanidad, es así, que los combustibles, a base de petróleo, continúan siendo la fuente principal de energía utilizada a nivel global; sin embargo, el uso de estos produce un incremento de la contaminación en forma exponencial. Por otro lado, en la actualidad el uso de biodiésel ha adquirido más fuerza debido a que este es un combustible alternativo y sostenible (Sánchez Faba et al., 2019; Mahlia et al., 2019) ya que el uso de estos conlleva propiedades ecológicas entre las cuales se destacan la reducción de emisiones gaseosas tales como: SO₂ hasta 0 %, CO₂ en un 10% aproximado, CO entre 10-50 %, hollín entre 40-60 %, compuestos poliaromáticos y aldehído con índices de hasta 13% (Marquínez et al., 2020). Por consiguiente el uso de biodiesel minimiza los componentes gaseosos de la atmosfera (Akubude et al., 2018), generando menor impacto en el clima global (Mansir et al., 2017).

Por lo general el biodiesel se obtiene de aceites vegetales de alto valor entre los cuales se destacan el algodón, girasol, colza, palma y maní; representando así el 95% de la materia extraída para la producción del mismo (Hernández, Sánchez, & Ancheyta, 2021). Sin embargo, su costo representa un 75 % del costo total de fabricación, en otras palabras la producción del mismo es costosa (Abed et al., 2019). No obstante, existe la posibilidad de emplear aceite usado de cocina (ACU) como producto básico, cuyo costo de elaboración varía desde ser gratuito hasta un 60 % menor que los aceites vegetales crudos (Kataria et al., 2018). Por lo tanto el ACU se considera el mejor candidato como producto básico para la obtención del biocombustible (biodiesel) por ser económico (Singh et al., 2020). Por otro lado, nos permite el reaprovechar el ACU de modo que se reduce la generación de residuos, evitando así la contaminación de los cuerpos de agua ocasionado por la descarga directa en los sistemas de drenaje, reduce la obstrucción y daños de tuberías, minimiza los costos de los tratamientos de efluentes y causa menor impacto al suelo y ecosistemas (Moyo et al., 2020). Así mismo, el ACU demuestra ser viable permitiendo un 21% en ahorro del petróleo y un 96% de ahorro de energía fósil (Sarno & Iuliano, 2019).

Otro factor determinante para la producción del biodiesel, es la aplicación del método de transesterificación, debido a su bajo costo, simplicidad técnica y eficiencia (Mirhashemi & Sadrnia, 2020). Asimismo, cabe destacar que las importantes variables que resaltan en el rendimiento, transformación y cinética de la reacción de transesterificación son la propiedad de la materia prima, el tipo de catalizador (homogéneo y heterogéneo), la cantidad del catalizador (Desde 0.25 a 6 %) con respecto con el peso del aceite, la clase de alcohol (metanol y/o etanol), la proporción molar alcohol/óleo (Desde 0,1:1 a 24:1) y las condiciones de reacción como la temperatura del aceite (entre 37 y 75 °C), presión y agitación constante (Ramírez Sanabria et al., 2020, Saavedra et al., 2019 y Moazeni et al., 2019)

Para una producción sostenible se recomienda el uso del etanol en reemplazo del metanol, como solvente en la transesterificación (Rezania et al., 2019), permitiendo la obtención de un biodiesel más sostenible y su fabricación no se abastece de recursos no renovables (Chen et al., 2017). Respecto al catalizador heterogéneo (CaO) y el homogéneo (KOH, NaOH, H₂SO₄, HCl, H₃PO₄) (Singh et al., 2019), el uso del catalizador heterogéneo en sustitución del catalizador homogéneo como reactante en la transesterificación, permite minimizar los contaminantes producto de la obtención de biocombustible, reduciendo la demanda de agua consumida y evitando la contaminación del suelo por la generación de residuos sólidos. (Latchubugata et al., 2018).

Por las razones expuestas anteriormente, este trabajo busca estimar el rendimiento de producción de biocombustible (biodiesel) por el método de transesterificación a partir del aceite de soja usada (ASU) empleado etanol y como catalizador el óxido de calcio (CaO).

Metodología

Recolección de Materia Prima

El Aceite de Soja Usado (ASU) ha sido recolectada en las instalaciones de la cocina del cafetín de la Universidad Peruana Unión (11°59'24"S 76°50'29"O) en un envase de polietileno de alta densidad de ocho litros, para la evaluación de la Viscosidad y la obtención del biodiesel.

Pretratamiento

El ASU fue filtrado a mediante papel filtro Whatman cuantitativo N° 4, que permite filtrar hasta 25 μm , retirar de impurezas presentes en la muestra. Para favorecer la fluidez del filtrado, se calentó la muestra a 40°C. Asimismo, fue necesario evaporar el contenido de agua del ASU calentando la muestra a 60°C durante 15 minutos, esto para evitar la saponificación durante la reacción de transesterificación. (Lafont et al., 2011 y Medina et al., 2015)

Medición de la Viscosidad del ASU

Se determinó la viscosidad del ASU con el equipo Reómetro Brookfield Modelo DV-III, Serie RP6 2232 a 40 °C mediante la Progresión de la Viscosidad Geométrica con un ajuste de velocidad a 10 rpm, ejecutada cada 5 tiempos, con espera de 30 segundos y un aumento de velocidad en 5 rpm.. Estos datos se programaron externamente a través del Software Rheocalc V 2.3. Se usó el Spindle #1.

Hamze et al. (2015) menciona que la viscosidad del aceite usado es 0.96 g/ml y la masa de un mol es 0.086631 kg/ mol. Asimismo se aplica la técnica de uso del Reómetro Brookfield donde la densidad cinemática se multiplica por el por el factor del Spindle #1 , con la densidad obtenida a 60 RPM dividido entre la viscosidad.

Preparación del Alcóxido

En esta investigación se evaluó dos variables coligadas con la fabricación del biocombustible (biodiesel), eston son el Óxido de Calcio (CaO Cal nieve al 50% Worsal) como catalizador; en dos concentraciones del 2 y 6% en proporción a la cantidad del ASU. Asimismo, se usó etanol (96° pureza JENFARMA) para elaborar soluciones molares de etanol/aceite de soja usada en relación de 9:1 y 15:1 (Sanli et al., 2018). Para formar el alcóxido se mezcló la concentración del alcohol y la cantidad de catalizador a 40 °C, para esto se hace el uso de los cálculos estequiométricos para hacer el uso adecuado de cada insumo, teniendo como base el uso de 200 ml de aceite de soja usada.

Aplicación de la Metodología de Transesterificación

Para separar el Ester, del Glicerol del ASU, se vertió el alcóxido en la muestra, que preliminarmente fue calentada para no alterar la temperatura de reacción. Asimismo, la reacción estequiométrica requirió uno de mol de triglicérido y tres moles de alcohol, no obstante, utilizó un exceso del alcohol para incrementar el rendimiento de biodiesel y para generar las fases que ayudan a poder facilitar la separación (Anwar et al., 2018), siendo la proporción molar de 9:1 y 15:1 favorecidas en la reacción. Los parámetros aplicados en la reacción son el tiempo de 3 horas, una temperatura de 70°C, y una velocidad de 1000 rpm en un agitador magnético (Yeom & Go, 2018).

Separación de Biodiesel y Glicerina

Posterior a la transesterificación, la mezcla se mantuvo en reposo durante 24 h en Matraz Erlenmeyer de 500 mL, para la diferenciación del subproducto glicerol del biodiesel. La primera capa superior se compone de biodiesel y la segunda capa inferior por glicerol, alcohol en demasía y catalizador innecesario junto con los jabones (Pirouzmand et al., 2018).

Obtención de biodiesel y evaluación del rendimiento

Posterior a la disgregación de fases, se obtiene la dispersión del glicerol con el Ester resultante (biodiesel), para ser filtrado en una vasija, para impedir la lámina de jabones en el resultado final. El rendimiento de la producción de biodiesel se estimó mediante la Ecuación 1. (Bateni & Karimi, 2016)

$$\text{Rendimiento de biodiesel (\%)} = \frac{BP \text{ (ml)}}{ASU \text{ (ml)}} \times 100 \quad (1)$$

Donde; BP son los mililitros del Biodiesel producido y ASU es los mililitros de Aceite de Soja Usados.

Medición de Viscosidad del Biodiesel y Comparación

Para el análisis de la viscosidad del biodiesel, se evalúa la muestra, utilizando el mayor rendimiento obtenido de biodiesel a temperatura normal del medio ambiente y a 313.15 kelvin, el ensayo de viscosidad fue ejecutada con los similares parámetros que se sometió al aceite de soja usado (ASU). Asimismo, se comprobó el tipo de fluido.

La viscosidad obtenida se compara con la viscosidad de una Estación de Combustible la cual es una composición del Diésel 2 y un 5% de Biodiesel con el objetivo de ver si el estudio desarrollado logra poseer la propiedad de viscosidad apropiada.

Diseño experimental

Se aplicó dos diseños estadísticos el primero un diseño experimental 2^2 con 5 puntos centrales (Modelo de primer orden), luego se aplicó un diseño Central Compuesto Rotacional, a cada diseño se realizó el análisis de varianza, asimismo, se elabora graficas de superficie de respuesta para cada uno de ellos; los datos encontrados fueron analizados en el software Statsoft Statistica V. 13

Modelo de primer orden

Para el análisis y procesamiento de datos se aplicó un diseño experimental 2^2 con 5 puntos centrales, el cual evaluaron las reacciones que tienen las variables independientes, proporción molar alcohol etílico/aceite de soja usada y la concentración de Oxido de Calcio. Esta se adecuo al modelo de primer orden y se empleó la técnica de ascenso inmediato mostrado en la Tabla 1.

Por lo tanto, E_i simboliza la variable independiente Relación Molar alcohol etílico: aceite de soja usada, y E_{ii} la variable independiente Porcentaje de Catalizador (%), entonces las variables catalogadas son X_i y X_{ii} en las consiguientes ecuaciones:

$$X_i = \frac{E_i - 12:1}{3} \quad (2)$$

$$X_{ii} = \frac{E_{ii} - 4}{2} \quad (3)$$

Tabla 1. Modelo de Primer Orden Diseño 2² con arreglo factorial

Experimentos	Variables			
	Variables Independiente del Proceso		Variables Codificadas	
	E _i	E _{ii}	X _i	X _{ii}
1	9:1	2	-1	-1
2	9:1	6	-1	1
3	15:1	2	1	-1
4	15:1	6	1	1
5	12:1	4	0	0
6	12:1	4	0	0
7	12:1	4	0	0
8	12:1	4	0	0
9	12:1	4	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Modelo de segundo orden

Asimismo, se aplicó un modelo de segundo orden para simplificar los Cálculos, para la cual se seleccionó un diseño Central Compuesto Rotacional (DCCR), cuyas Variables independientes se codificaron (-1,1).

Este diseño constituyo de trece ensayos, que contienen a cuatro puntos factoriales, cuatro puntos axiales (α de rotabilidad = 1.4142) y 5 puntos centrales. La repartición de este modelo se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Diseño Central Compuesto Rotacional con puntos axiales y puntos centrales

Experimentos	Variables			
	Variables Independiente del Proceso		Variables Codificadas	
	E _i	E _{ii}	X _i	X _{ii}
1	9:1	2	-1	-1
2	9:1	6	-1	1
3	15:1	2	1	-1
4	15:1	2	1	-1

5	16.24:1	4	1.41421	0
6	7.76:1	4	-1.41421	0
7	12:1	1.17	0	-1.41421
8	12:1	6.83	0	1.41421
9	12:1	4	0	0
10	12:1	4	0	0
11	12:1	4	0	0
12	12:1	4	0	0
13	12:1	4	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Resultados y discusión

Viscosidad del Aceite de Soja Usado

Los análisis del comportamiento de la viscosidad del ASU se reúnen en la Tabla 3, así también en la Figura 1, donde se logra contemplar el principio de la viscosimetría rotacional, puesto que determinan el índice de viscosidad a partir del par de torsión (Torque) preciso para lograr que la aguja sumergida en el fluido gire a velocidad constante. El par de torsión (Torque) es proporcional a la resistencia viscosidad (Velocidad), llegando a mostrar una viscosidad con un valor de 54.80 mPa.s a una velocidad de 100 RPM y un torque de 54.80%, para lo cual se aplicó el Spindle # 1.

Tabla 3. Comportamiento de la viscosidad Ascendente del Aceite de Soja Usada (ASU)

Viscosidad (mPa.s)	Velocidad (RPM)	Torque (%)	Spindle #
0.00	10.00	-0.54	1
15.50	20.00	3.11	1
24.67	30.00	7.36	1
30.50	40.00	12.21	1
35.80	50.00	17.90	1
40.67	60.00	24.35	1
44.71	70.00	31.26	1
48.38	80.00	38.71	1
51.78	90.00	46.57	1
54.80	100.00	54.80	1

Fuente: Elaboración Propia

Campo et al. (2018), en su estudio de aceite de *Jatropha curcas* L. mostro una viscosidad de 30.85 mPa.s a una temperatura de 40 °C presentando valores semejantes a los nuestros con un valor de 30.50; por otro lado, Cedrón et al., (2014), mostraron en su estudio de caracterización del ASU encontró una viscosidad de 168.3 mPa.s a una temperatura de 22°C siendo superior a lo encontrado. Asimismo, la Figura 1 confirma lo hallado ya que se puede apreciar un comportamiento lineal, con un valor de R^2 de 0.9322, asimismo, se encontró en este análisis del comportamiento de la viscosidad con respecto a la velocidad dándonos el valor $p = 0.231$, indicando que existe una relación directa en los ya mencionados.

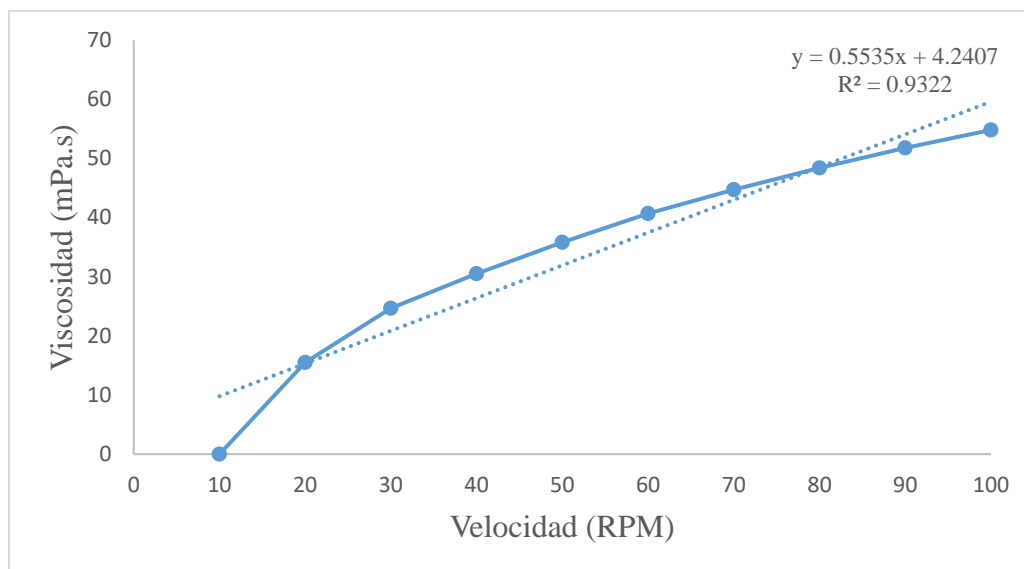


Figura 1. Viscosidad dinámica del aceite de soja usada

Fuente: Elaboración Propia

Delgado y Aperador (2014), explican este fenómeno a que a mayor incremento de velocidad mayor formación de emulsión haciendo que las moléculas de aceite empiezan a realizar micelas mostrando así que los aceites son fluidos no Newtonianos.

Modelo de Primer Orden

La tabla 4 presenta el rendimiento de biodiesel en la que se puede apreciar que el experimento 4 con un valor de 60.9%, seguido del experimento 3 con un valor de 55.2%, por otro lado, el valor más bajo fue obtenido por la experimento 1 con valor de 10.5%.

Al respecto, Claudia et al. (2014) indica que la relación etanol: aceite de soja usada es una de las variables que más influye en la producción de biodiesel. Por tanto en la Tabla 4 se observa que la relación molar más alta etanol: aceite de soja usada de 15:1 con la mayor concentración del catalizador 6 % obtuvo un mayor rendimiento de 60.9. Así mismo para Ullah et al. (2015) el mayor rendimiento que obtuvieron fueron con la relación molar etanol /aceite de soja usada de 15:1.

Tabla 4. Rendimiento de biodiesel de ASU

Experimento	Variables Independiente del Proceso		Variables Codificadas		Rendimiento
	E _i	E _{ii}	X _i	X _{ii}	y (%)
1	9:1	2	-1	-1	10.5
2	9:1	6	-1	1	13.7
3	15:1	2	1	-1	55.2
4	15:1	6	1	1	60.9
5	12:1	4	0	0	38.7
6	12:1	4	0	0	38.4
7	12:1	4	0	0	39.1
8	12:1	4	0	0	39.9
9	12:1	4	0	0	38.3

Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, el análisis de varianza presentado en la Tabla 5, muestra que el valor p de la variable REA es $0.000 < 0.05$, por tanto se considera significativo; asimismo, la variable Concentración del Catalizador (CC) cuyo valor p fue $0.0028 < 0.05$ logrando un índice de significancia. Asimismo, se aprecia que la REA obtiene diferencias mayores en contraste con la Concentración de Catalizador (CC), debido a su mayor suma de cuadrados, al igual que la significancia de las variables estudiadas, la curvatura resulto significativa, no se observa interrelación entre variables lo cual condujo a la ejecución del modelo central compuesto que se presenta en la tabla 6, para obtener un modelo de segundo orden.

Tabla 5. Análisis de Varianza de Rendimiento en el modelo de primer orden

Factor	SS	GL	F	P - valor
Curvatura	30.505	1	72.286	0.001050*
REA mol/mol (X _i)	2129.822	1	5046.973	0.000000*
CC % (X _{ii})	18.062	1	42.802	0.002821*
X _i por X _{ii}	1.102	1	2.613	0.181326
Error puro	1.688	4		
Total SS	2181.180	8		

Nota: * Términos significativos ($p \leq 0.05$), a un nivel de significancia de 95%

Fuente: Elaboración Propia

Modelo de Segundo Orden

Los ensayos a ejecutar a partir del DCCR comenzando el punto (0,0) en (85,175) y aumentando puntos axiales en ± 1.414 resulta como:

Tabla 6. Resultados de Diseño Central Compuesto con puntos axiales y puntos centrales

Experimento	Variables Independiente del Proceso		Variables Codificadas		Rendimiento
	E _i	E _{ii}	X _i	X _{ii}	y
1	9:1	2	-1	-1	10.5
2	9:1	6	-1	1	13.7
3	15:1	2	1	-1	55.6
4	15:1	6	1	1	60.9
5	12:1	4	0	0	38.7
6	12:1	4	0	0	38.4
7	12:1	4	0	0	39.1
8	12:1	4	0	0	39.9
9	12:1	4	0	0	38.3
10	16.24:1	4	1.414	0	65.7
11	7.76:1	4	-1.414	0	11.2
12	12:1	1.17	0	-1.414	36.1
13	12:1	6.83	0	1.414	43.2

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos en la Tabla 7 son el análisis de varianza del desempeño, mostrando que el componente lineal de REA es significativo (0,000), y el componente secundario de REA también es significativo (0,0086). Por el contrario, el componente lineal de la variable Concentración de Catalizador (CC) obtuvo un valor significativo (0,000543), pero cuando se obtuvo un valor de 0,0768, el componente secundario no alcanzó el umbral de significancia. Asimismo, no existe una relación recíproca entre las variables observadas.

Se observa que en el modelo de segundo orden no es necesario aumentar la Concentración del Catalizador. Keera et al. (2018) Menciona que el aumento adicional de la concentración del catalizador (CC) produce una disminución del rendimiento de biodiesel, este comportamiento se debe a la alta concentración del catalizador en la que predomina la reacción de saponificación que crea glicerina en representación de ácidos grasos generando como resultado emulsión entre jabones y átomos de agua, por lo que no es recomendable aumentar las concentraciones de catalizador.

Tabla 7. Análisis de Varianza del rendimiento de biodiesel

Factor	ANOVA; R-sqr=.9835				
	SS	df	MS	F	p
(I)REA mol/mol(Lineal)	3585.971	1	3585.971	8497.562	0.000000
REA mol/mol(Cuadrático)	9.748	1	9.748	23.099	0.008609
(II)CC %(Lineal)	42.971	1	42.971	101.826	0.000543

CC %(Cuadrático)	2.371	1	2.371	5.617	0.076813
1L by 2L	1.102	1	1.102	2.613	0.181326
Pure Error	1.688	4	0.422		
Total SS	3702.089	12			

Nota: X_i : Relación Molar etanol: aceite de soja usada y X_{ii} : *Términos significativos ($p \leq 0.05$)

Fuente: Elaboración Propia

El modelo estudiado presenta la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = -67.5 + 9.86X_i + 1.28X_{ii} - 0.132X_i * X_i - 0.146X_{ii} * X_{ii} + 0.087X_i * X_{ii} \quad (4)$$

La Figura 2 muestra las observaciones y predicciones de las variables de desempeño. Se observa cerca de la línea base del punto significa que los datos son similares a los datos obtenidos del modelo de regresión, lo que nos hace afirmar que los datos están completos.

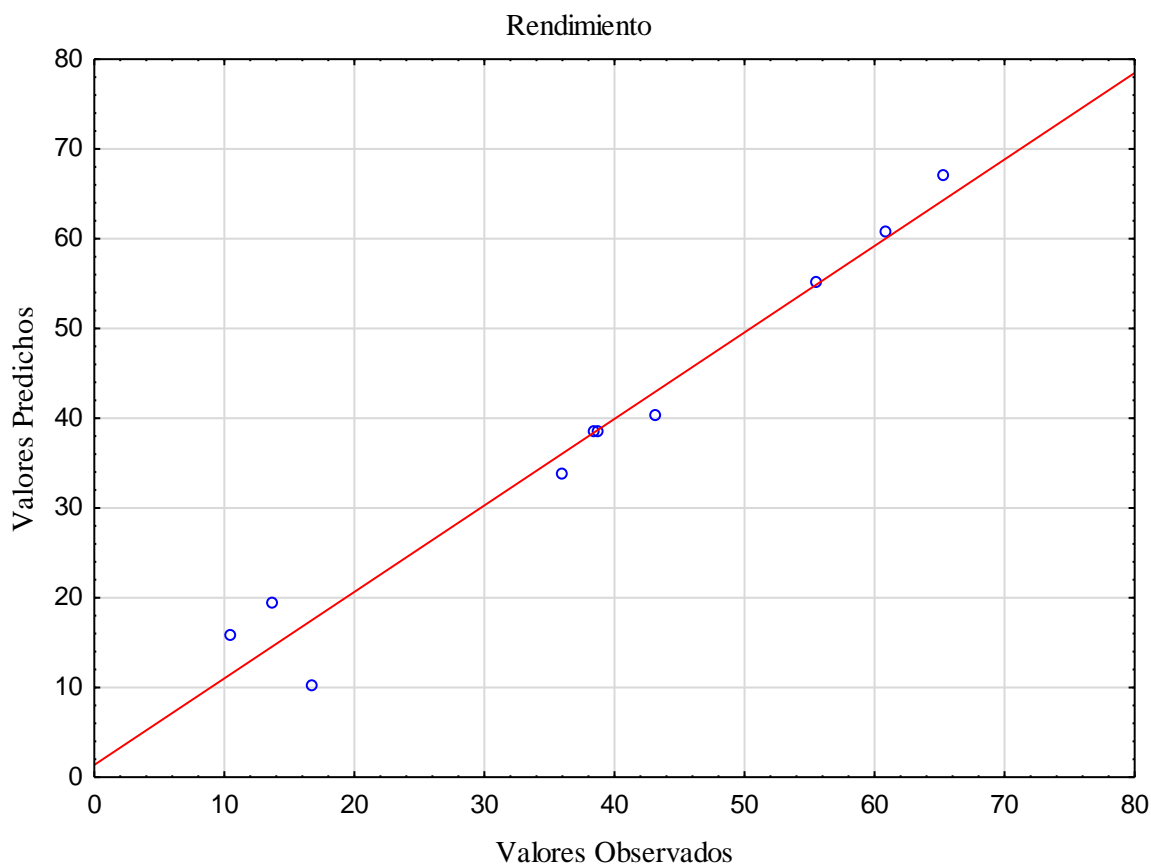


Figura 2. Valores Predichos y Valores Observados para la variable Dependiente-Rendimiento (%)
Fuente: Elaboración Propia

Superficie Respuesta

Se trabajó con la metodología superficie de respuesta para evaluar si se pudiese realizar una optimización para un rendimiento mayor de biodiesel, siendo estudiados los valores que representan mayor significancia en los ensayos realizados. Se observa que a partir de valores superiores a 15:1 de REA y una concentración de 6% de CC se encuentran condiciones adecuadas para optimizar el rendimiento de producción, tal como se presenta en las figuras 3 y 4.

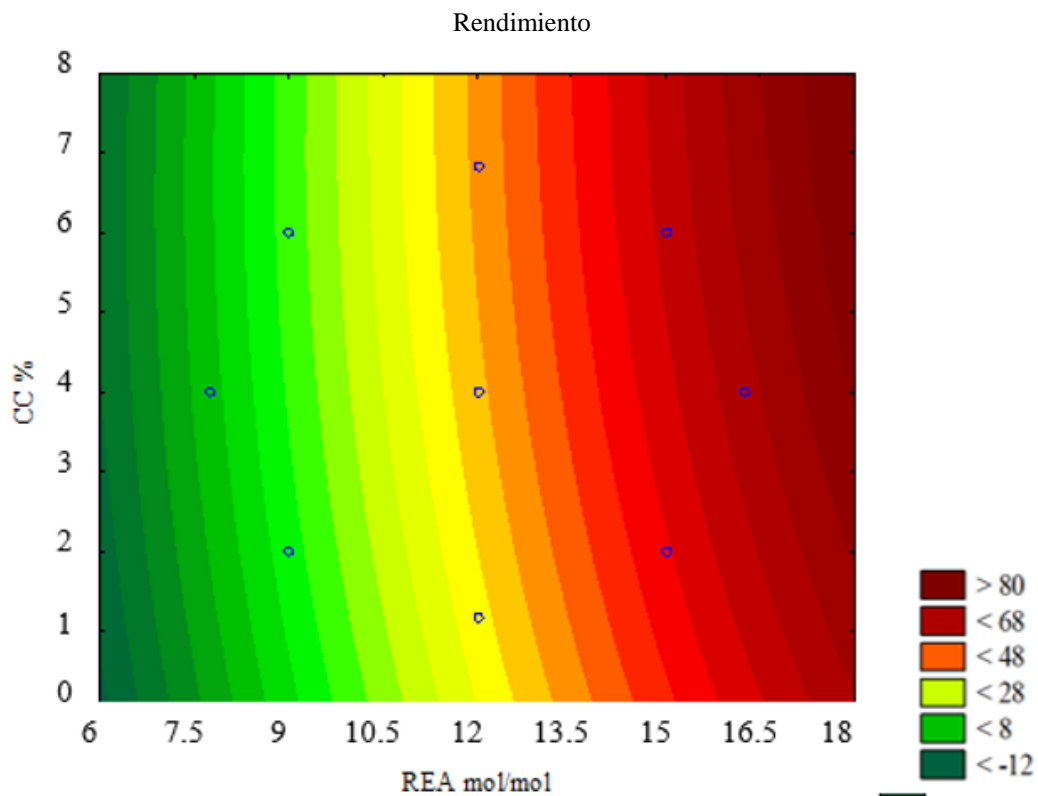


Figura 3. Diagrama de contorno de Rendimiento de Biodiesel (%)
Fuente: Elaboración Propia

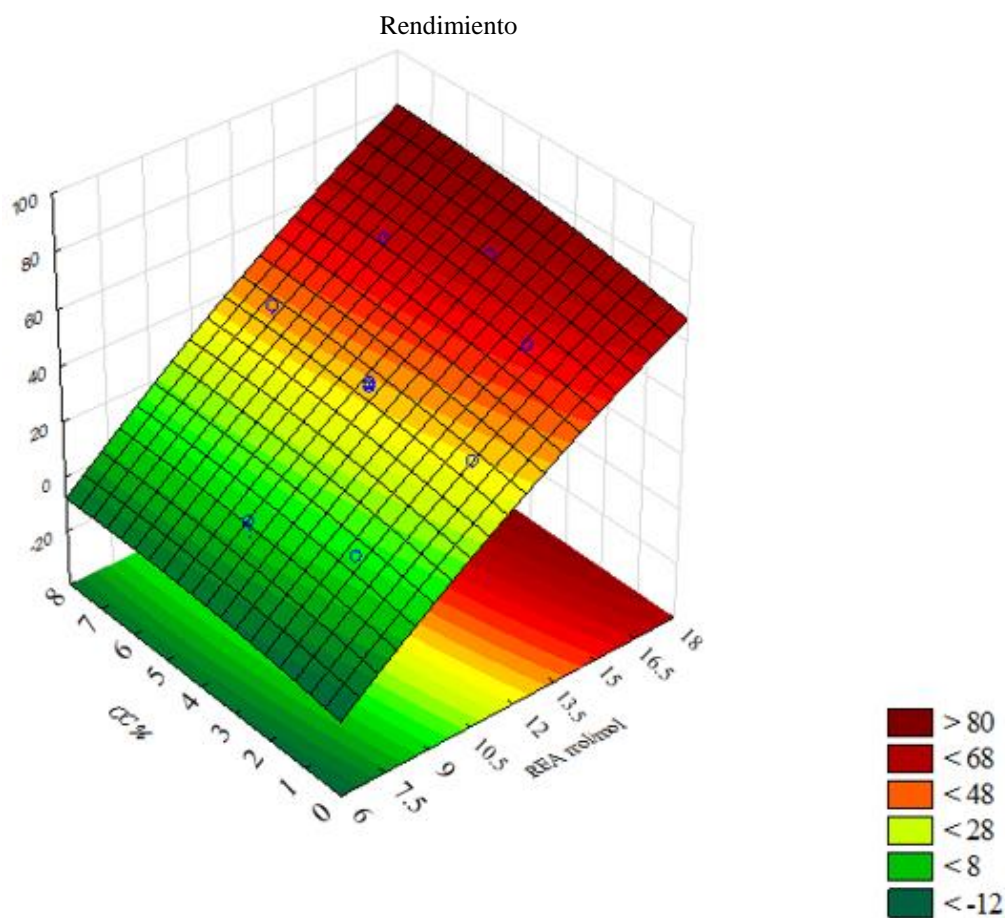


Figura 4. Diagrama superficie respuesta del rendimiento de biodiesel (%)
Fuente: Elaboración Propia

Al respecto, Claudia et al. (2014) sostiene que la variable relación molar etanol: aceite de soja usada es la que más afecta la conversión de biodiesel (Alenezi, Santos, Raymahasay, y Leeke, 2013). De igual manera Musa (2016) confirma este argumento, al resaltar la influencia de la relación molar en el rendimiento del biodiesel. Los resultados obtenidos, confirman que la relación etanol:aceite de soja usada influyo en mayor medida en el rendimiento de biodiesel, donde se observo un crecimiento exponencial a partir de una mayor relación molar.

Viscosidad

Los datos de reología del biodiesel resultante se interpretan en Excel a dos temperaturas. T ° ambiente y 40 ° C donde se observa un comportamiento dilatante, es decir, como se muestra en la Tabla 5, el exponente (n) también es mayor que 1 ($n > 1$) demostrando que es un fluido no newtoniano. También se reconoce que el biodiesel a temperaturas más altas actúa como un fluido newtoniano. Eliseo (2006) sostiene que el biodiesel tiende a comportarse como un líquido no newtoniano cuando la temperatura aumenta, y a temperatura ambiente no, esto posiblemente por la presencia de glicerol en el biodiesel.

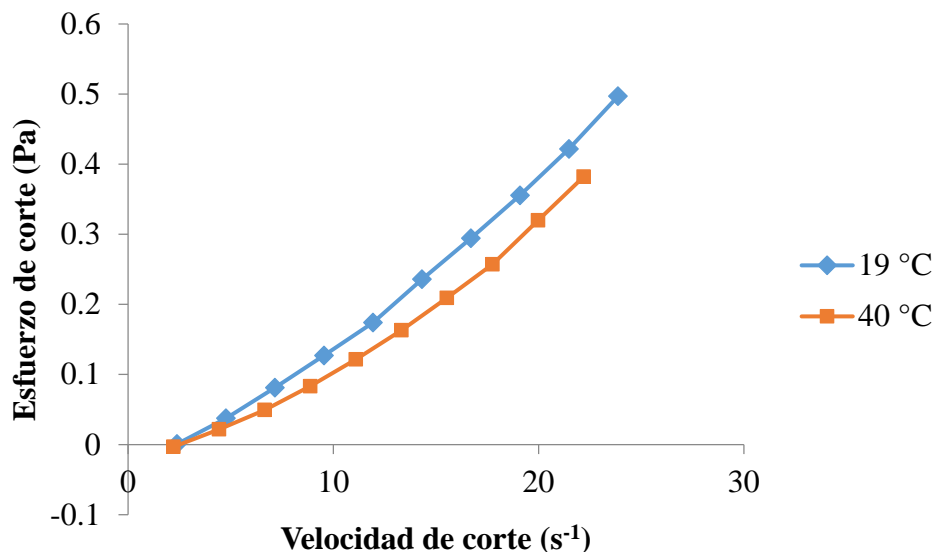


Figura 5. Comportamiento de flujo del biodiesel a 19°C y 40°C
Fuente: Elaboración Propia

Para determinar la viscosidad cinemática se utilizó la densidad del biodiesel, cuyo valor es de 0,91 gr / cm³, y también se utilizó el coeficiente de viscosidad dinámica a 60 RPM con una viscosidad de 7,83 mPas. Después de obtener estos resultados, se comparó la viscosidad cinemática con ASTM D6751-09, que tiene un límite de uso de biodiesel de 1.9-6.0 Centistokes (cSt). El resultado de medición de viscosidad se comparó con el reporte de análisis de Diesel B5-S50, la cual tiene un valor de viscosidad cinemática de 3.1 cSt, el cual es admitido por los límites de la norma ASTM. Sin embargo, la viscosidad cinemática de este trabajo con relación etanol:aceite de soja usada de 15:1, 6% de catalizador a 40°C, resultó 8.6 cSt, lo que indica que este valor no cumple los parámetros de la norma ASTM.

Los valores de viscosidad cinemática resultantes para este trabajo no cumplen con las normas ASTM, pero Bilgin et al. (2015) sugirieron que aumentar la eficiencia de la reacción tiende a reducir la viscosidad del biodiesel. Por esta razón, una alta eficiencia significa que el biodiésel tiene una baja viscosidad.

Conclusiones

En la evaluación del rendimiento del biodiesel, la relación molar etanol: aceite soja usada obtuvo un efecto significativo en el rendimiento de biodiesel en comparación al catalizador (óxido de calcio), el cual podría llegar a optimizarse logrando mayor rendimiento a 60,9% del mayor resultado de los ensayos estudiados.

La REA 15:1 y 6% de Catalizador, consiguen ser los nuevos factores a trabajar para la optimización, ya que se pudo obtener el rendimiento más alto con estos ensayos, además se pudo visualizar que trabajar con alcohol de 96° y CaO al 50% de grado comercial, sí es factible para obtener buenos resultados en el rendimiento

El índice de viscosidad de biodiesel no cumple con los parámetros de la norma ASTM para su uso en vehículos automotores; no obstante, al lograr mayores rendimientos de biodiesel se puede disminuir la viscosidad y por ende el biodiesel sería apropiado para el parque automotor.

Recomendaciones

- Ejecutar nuevos experimentos con concentración de etanol, superiores a 15:1 de REA y CC% cercanos al 6% y analizar un posible valor óptimo para un eficaz rendimiento, los resultados logrados deben compararse con la norma ASTM referente al biodiesel.
- Realizar más experimentos utilizando factores adicionales como: temperatura, intensidad de agitación y tiempo de reacción, haciendo uso los materiales utilizados en este trabajo, analizando su resultado en la producción del biodiesel.
- Analizar el efecto del catalizador (óxido de calcio) en concentraciones superiores al 50% de pureza, sobre el rendimiento de biodiesel.
- Desarrollar investigaciones de obtención de etanol de manera sostenible para obtener un biodiesel más ecológico y así minimizar los impactos al ambiente.
- Experimentar en los motores la combustión de biodiesel obtenido a partir de las materias primas mencionadas en la presente investigación.

Agradecimiento

Se agradece a Dios, por la oportunidad de vivir un día más, por permitir que aprovechemos cada instante de nuestras vidas y guiarnos en el camino que ha trazado para nosotros.

Referencias Bibliográficas

- Abed, K. A., Gad, M. S., El Morsi, A. K., Sayed, M. M., & Elyazeed, S. A. (2019). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Egyptian Journal of Petroleum*, 28(2), 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2019.03.001>
- Akubude, V. C., Nwaigwe, K. N., & Dintwa, E. (2018). Production of biodiesel from microalgae via nanocatalyzed transesterification process: A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(2), 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2018.12.006>
- Alenezi, R., Santos, R. C. D., Raymahasay, S., & Leeke, G. A. (2013). Improved biodiesel manufacture at low temperature and short reaction time. *Renewable Energy*, 53, 242–248. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.11.019>
- Bateni, H., & Karimi, K. (2016). Biodiesel production from castor plant integrating ethanol production via a biorefinery approach. *Chemical Engineering Research and Design*, 107, 4–12. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2015.08.014>
- Bilgin, A., Gülüm, M., Koyuncuoglu, İ., Nac, E., & Cakmak, A. (2015). Determination of Transesterification Reaction Parameters Giving the Lowest Viscosity Waste Cooking Oil Biodiesel. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2492–2500. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.318>
- Campo, A., Labrada, B., Manuel, D., & Lafargue, F. (2018). Kinetics of the transesterification reaction for the production of biodiesel from the oil of *Jatropha curcas* L., in the province of Manabí, Ecuador. *Tecnología Química*, 38(2), 281–297.
- Cedrón, J. C., Moncada, A., & Mendoza, P. (2014). ANÁLISIS DE BIODIESEL PREPARADO A PARTIR DE RESIDUOS DE ACEITE DOMÉSTICO, MEDIANTE RMN. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 80(1), 3–8. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v80i1.206>
- Chen, W., Wang, Y., Ding, M., Shi, S., & Yang, Z. (2017). Crystallization behaviors and rheological properties of biodiesel derived from methanol and ethanol. *Fuel*, 207, 503–509. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.06.121>
- Claudia, B. R., Jiménez, R., Nayibe, L., & Nelly, M. P. (2014). Obtención de Biodiesel (etil- éster) Mediante Catálisis Básica a Nivel Planta Piloto Derivado de Aceites Usados de la Industria Alimenticia. *Revista Especializada En Ingeniería*, 8.
- Delgado, A. E., & Aperador, W. A. (2014). Estudio Comparativo del Poder Lubricante y Estabilidad Oxidativa entre el Aceite de Ajonjolí y Aceite Mineral 360 Arnoldo. *Información Tecnológica*, 25(4), 79–90. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000400011>
- Eliseo, A. (2006). *ANALYSIS OF THE VARIATION OF THE VEGETABLE OIL KINEMATIC VISCOSITY WITH TEMPERATURE*.
- Hamze, H., Akia, M., & Yazdani, F. (2015). Optimization of biodiesel production from the waste cooking oil using response surface methodology. *Process Safety and Environmental Protection*, 94, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.12.005>
- Hernández, E. A., Sánchez-Reyna, G., & Ancheyta, J. (2021). Evaluation of mixing rules to predict viscosity of petrodiesel and biodiesel blends. *Fuel*, 283. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118941>
- Kataria, J., Mohapatra, S. K., & Kundu, K. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil using heterogeneous catalysts and its operational characteristics on variable compression ratio CI engine. *Journal of the Energy Institute*, 92(2), 275–287. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.01.008>
- Keera, S. T., El Sabagh, S. M., & Taman, A. R. (2018). Castor oil biodiesel production and optimization. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 979–984. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.02.007>
- Lafont, J. J., Páez, M. S., & Torres, Y. C. (2011). Análisis químico de mezclas biodiesel de aceite de cocina usado y diesel por espectroscopia infrarroja. *Informacion Tecnologica*, 22(4), 35–42.

<https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000400005>

- Latchubugata, C. S., Kondapaneni, R. V., Patluri, K. K., Virendra, U., & Vedantam, S. (2018). Kinetics and Optimization Studies using Response Surface Methodology in Biodiesel Production using Heterogeneous Catalyst. *Chemical Engineering Research and Design*.
<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.05.022>
- Mahlia, T. M. I., Syazmi, Z. A. H. S., Mofijur, M., Abas, A. E. P., Bilad, M. R., Ong, H. C., & Silitonga, A. S. (2019). Patent landscape review on biodiesel production: Technology updates. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 118). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109526>
- Mansir, N., Teo, S. H., Rashid, U., Saiman, M. I., Tan, Y. P., Alsultan, G. A., & Taufiq-Yap, Y. H. (2017). Modified waste egg shell derived bifunctional catalyst for biodiesel production from high FFA waste cooking oil. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3645–3655.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.098>
- Marquínez Marquínez, A. N., Loor Molina, N. S., Guamán Marquínez, C. W., Vélez Vélez, J. A., Solórzano Párraga, K. M., Rodríguez Cobeña, J. K., & Riera, M. A. (2020). Obtención de biodiesel a partir de aceite de coco (*Cocos nucifera* L.). *Revista de Iniciación Científica*, 6(1), 9–14.
<https://doi.org/10.33412/rev-ric.v6.1.2605>
- Medina, M., Roa, Y. O., & Tejeda Benítez, L. (2015). ESTERIFICACIÓN Y TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITES RESIDUALES PARA OBTENER BIODIESEL. *Luna Azul*, 40.
<https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.3>
- Mirhashemi, F. S., & Sadrnia, H. (2020). NOX emissions of compression ignition engines fueled with various biodiesel blends: A review. *Journal of the Energy Institute*, 93(1), 129–151.
<https://doi.org/10.1016/j.joei.2019.04.003>
- Moazeni, F., Chen, Y.-C., & Zhang, G. (2019). Enzymatic transesterification for biodiesel production from used cooking oil, a review. *Journal of Cleaner Production*, 216, 117–128.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.181>
- Moyo, L. B., Iyuke, S. E., Muvhiiwa, R. F., Simate, G. S., & Hlabangana, N. (2020). Application of response surface methodology for optimization of biodiesel production parameters from waste cooking oil using a membrane reactor. *South African Journal of Chemical Engineering*, 35, 1–7.
<https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.10.002>
- Musa, I. A. (2016). The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(1), 21–31.
<https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.06.007>
- Pirouzmand, M., Anakhatoon, M. M., & Ghasemi, Z. (2018). One-step biodiesel production from waste cooking oils over metal incorporated MCM-41; positive effect of template. *Fuel*, 216, 296–300.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.11.138>
- Ramírez Sanabria, A. E., López, L. L., & Orozco, M. I. (2020). Optimización del proceso de transesterificación del aceite de palma usando la técnica basada en Ultrasonido. *CIENCIA EN DESARROLLO*, 11(2). <https://doi.org/10.19053/01217488.v11.n2.2020.11142>
- Rezania, S., Oryani, B., Park, J., Hashemi, B., Yadav, K. K., Kwon, E. E., Hur, J., & Cho, J. (2019). Review on transesterification of non-edible sources for biodiesel production with a focus on economic aspects, fuel properties and by-product applications. *Energy Conversion and Management*, 201, 112155.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112155>
- Saavedra, R. M., García, H. J., Sánchez de Pinto, M. I., & Baigorí, M. D. (2019). Biodiesel a partir de aceite usado de locales gastronómicos: efecto de la temperatura de reacción. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 5, 320. <https://doi.org/10.30972/eitt.503767>
- Sánchez Faba, E. M., Eimer, G. A., Ferrero, G. O., & Dias, J. M. (2019). Síntesis y Caracterización de

Catalizadores Sólidos Ácido-alcalinos para la Producción de Biodiesel. *AJEA*, 4.
<https://doi.org/10.33414/ajea.4.391.2019>

- Sanli, H., Alptekin, E., & Canakci, M. (2018). Production of Fuel Quality Ethyl Ester Biodiesel: 1. Laboratory-Scale Optimization of Waste Frying Oil Ethanolysis, 2. Pilot-Scale Production with the Optimal Reaction Conditions. *Waste and Biomass Valorization*, 10(7), 1889–1898.
<https://doi.org/10.1007/s12649-018-0195-z>
- Sarno, M., & Iuliano, M. (2019). Biodiesel production from waste cooking oil. *Green Processing and Synthesis*, 8(1), 828–836. <https://doi.org/10.1515/gps-2019-0053>
- Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Inda, C. S., Sharma, S., Sharma, P. K., & Jhalani, A. (2020). A comprehensive review of physicochemical properties, production process, performance and emissions characteristics of 2nd generation biodiesel feedstock: *Jatropha curcas*. *Fuel*, 285, 119110.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119110>
- Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Sharma, S., Kumar Sharma, P., & Jhalani, A. (2019). A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel. *Fuel*, 262, 116553.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116553>
- Ullah, Z., Bustam, M. A., & Man, Z. (2015). Biodiesel production from waste cooking oil by acidic ionic liquid as a catalyst. *Renewable Energy*, 77, 521–526. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.12.040>

Anexos

Anexo 1. Equipos de Laboratorio

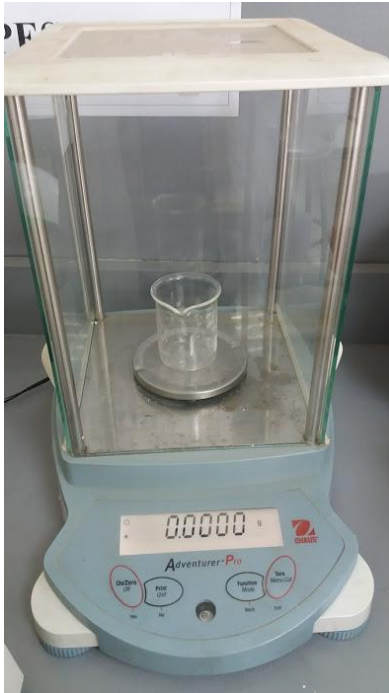


Figura 1 Balanza Analítica (OHAUS)



Figura2.Reómetro Brokfiel VIII



Ilustración 3. Agitador Magnético (NUOVA STIR PLATE)

Anexo 2. Obtención de Biodiesel



Figura 1. Aceite de Soja Usada



Figura 2. Viscosímetro

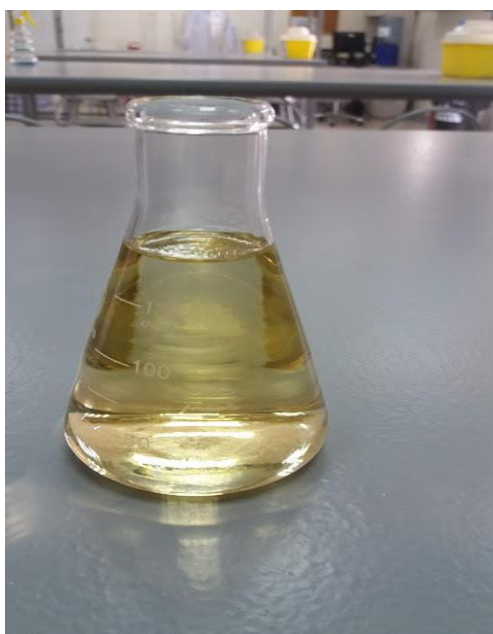


Figura 3. Biodiesel obtenido

Anexo 3. Método de Brookfield



Summary: The viscosity, or resistance to flow, of a material can be determined by a rotational viscometer. The viscometer can also be used to approximate other flow characteristics by relating viscosity and flow for a known composition.

Because the specific rotational speed and the spindle used as well as the temperature of the test sample can have a significant impact on the value determined, it is best to use the same conditions throughout a test series. To ensure that this is possible, the viscosity should be measured with all usable spindles.

The viscosity of long-term retardant products is normally measured using a #2 spindle for products having a viscosity between 1 and 500 centipoise (cP) and a #4 spindle for products having a viscosity greater than 500 cP; although the #3 spindle may also be used when the upper values are expected to be less than 2,000 cP

Equipment:

- Brookfield model LVF viscometer and spindle set
- Stopwatch
- Thermometer
- Sample in a straight-sided container with an inside diameter of 2 inches or more.

Method:

1. Level the viscometer by adjusting the feet and/or rotate the viscometer on the mounting shaft until the bubble is centered before each use.
2. Set the speed control to 60 rpm; 60 should be on the upper surface of the knob found on the left side of the housing.
3. Place the sample and container under viscometer.
4. Measure and record the temperature of the sample.
5. Select a spindle appropriate for the viscosity to be measured. The number of the spindle is engraved at the top of each spindle
6. Screw spindle onto the viscometer.
 - a. **This is a left-handed thread.**
 - b. **Spindle should be finger tightened only, holding onto the shaft to prevent movement of the gauge needle, and gently lifting upward.**
 - c. **NEVER pull down on the spindle!**

7. Using the adjustment knob on the viscometer stand, carefully lower the spindle into the sample to the immersion mark etched into the spindle shaft.
8. With one hand depress and hold the brake, found on the back of the viscometer head, firmly down while turning on the viscometer.
9. Release the brake once the viscometer is rotating smoothly and time for 60 seconds.
10. Depress the brake firmly and turn the viscometer off while continuing to hold the brake down.
 - a. This keeps the dial indicator in place until the value can be read.
 - b. If the dial indicator cannot be seen in the gauge window, turn the viscometer on and off quickly until the needle comes into view, maintaining firm pressure on the brake.
11. Read and record the value on the viscometer gauge. Also record the number of the spindle used.
12. Release the brake.
13. Refer to the table below to obtain the correct multiplier for the spindle used.
14. Calculate the viscosity in centipoises by multiplying the meter reading by the multiplier corresponding to the particular spindle used.

Spindle #	Multiplier for Readings at 60 rpm	Viscosity Range
1	1	1 to 100 cP
2	5	50 to 500 cP
3	20	400 to 2,00 cP
4	100	1,000 to 10,000 cP
Long-term retardants have typically been measured using a #2 spindle for viscosities up to 500 cP and a #4 spindle for viscosities greater than 500 cP.		

15. Have the viscometers cleaned and calibrated by the manufacturer or other approved service company at least once a year.

References:

American Society for Testing and Materials. Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational (Brookfield type) Viscometer; D2196-05.

National Wildfire Coordinating Group and USDA Forest Service. Lot Acceptance, Quality Assurance, and Field Quality Control for Fire Retardant Chemicals, Sixth Edition. 2000.

Simple conversion of Brookfield R.V.T. readings into viscosity functions

P. Mitschka

Institute of Chemical Process Fundamentals, Czechoslovak Academy of Sciences, Prague

Key words: Viscosity function, conversion procedure, Brookfield R.V.T. viscometer

In the introduction to his book on industrial applications of rheometry, Walters [1] states, that “the Brookfield device is very easy to use, but the interpretation of the experimental results in terms of $(\eta, \dot{\gamma})$ data (viscosity functions) is far from straightforward”. Despite recent research in this field the conversion procedure remains difficult as the treatment of the primary torque-speed data to obtain viscometric shear stress – shear rate relations, requires sophisticated computations [2, 3]. The approximate approach, mentioned in [3], suffers from the absence of concrete numerical values for use in the conversion of the primary readings into their viscometric counterparts.

The aim of this note is to draw attention to our results in this field, which have led to a relatively simple procedure enabling one to realize the above mentioned conversion with an accuracy sufficient for engineering applications of the viscosity functions. This procedure is based on theoretical studies of rotational flow of rheologically complex materials around bodies with simple geometry in basic viscometric configurations [4–8]. The rheometrical applications of these studies rely on a few empirical rules [9], which make it possible to obtain concrete results [9–11] for realistic axisymmetrical systems of the “rotating spindle – sample container” type, such as the configurations of the measuring sections used in the immersional Brookfield R.V.T. viscometer.

Our treatment of the primary readings from Brookfield viscometers is as follows:

- 1) As many pairs of values as possible of the scale deflection α_i on the torque dial (in scale units of the 0–100 scale) are taken with one, or preferably several, spindles for fixed values of the rotational speed N_i (in rpm).
- 2) Values of α_i are converted to the (average) shear stresses τ_i (in Pa) on each of the spindles used by

$$\tau_i = k_{\alpha} \alpha_i. \tag{1}$$

- 3) Pairs of $\tau_i - N_i$ valid for each particular spindle are plotted in the log-log form.
- 4a) When this dependence is sufficiently close to a linear one, the fluid under test is of the power-law type. The slope of the $\log \tau_i - \log N_i$ dependence in this case is simply equal to the flow index of the fluid, n .

Using values of $k_{N\dot{\gamma}}(n)$ for this flow index and the particular spindle, the corresponding (average) values of the shear rates $\dot{\gamma}_i$ (in s^{-1}) are then calculated as

$$\dot{\gamma}_i = k_{N\dot{\gamma}}(n) N_i. \tag{2a}$$

- 4b) When it is not possible to approximate the $\log \tau_i - \log N_i$ dependence with sufficient accuracy by a straight line, a smooth curve is drawn through the individual points. From the slopes of this curve at the points, corresponding to the rotational speeds used for the particular spindle, the local values of the apparent flow index $n_i^* = n_i^*(N_i)$ are determined by

$$n_i^* = d(\log \tau) / d(\log N) |_{N=N_i}. \tag{3}$$

The rotational speeds used in the measurements are then converted to the shear rates using

$$\dot{\gamma}_i = k_{N\dot{\gamma}}(n_i^*) N_i. \tag{2b}$$

- 5) The relevant pairs $\tau_i - \dot{\gamma}_i$ are now assumed to be the points of the viscosity function of the fluid sample tested.
- 6) It is advisable to check that the experiments were carried out within the creeping flow regime, where the relations given above hold and where secondary (elastic or time-dependent) effects on the measured torque are usually negligible. For measurements with several spindles, a simple check of the model adequacy is also recommended. Details of both these tests can be found in [7, 11].

The conversion factors $k_{\alpha\tau}$ and $k_{N\dot{\gamma}}$ occurring in eqs. (1), (2a) and (2b) are summarized in table 1, for spindles of the Brookfield R.V.T. model. The methods used to obtain these numerical values are described elsewhere; namely in the monograph [8] and the manual [12].

A verification of the proposed conversion procedure has been undertaken in this Laboratory by comparing the viscosity functions evaluated from measurements on viscometers of the Brookfield type with results, determined on a commercial Couette-type viscometer (Rheotest II, Prüfgerätewerk Medingen, GDR). Comparison of results of such

Table 1. Conversion factors for the spindles of the Brookfield R.V.T. viscometer (under standard measuring conditions)

Spindle number	1	2	3	4	5	6	7
k_{at}	0.035	0.119	0.279	0.539	1.05	2.35	8.4
$n = 0.1$	1.728	1.431	1.457	1.492	1.544	1.366	1.936
0.2	0.967	0.875	0.882	0.892	0.907	0.851	1.007
0.3	0.705	0.656	0.656	0.658	0.663	0.629	0.681
0.4	0.576	0.535	0.530	0.529	0.528	0.503	0.515
0.5	0.499	0.458	0.449	0.445	0.442	0.421	0.413
k_{Ny}	0.6	0.449	0.392	0.387	0.382	0.363	0.346
0.7	0.414	0.365	0.350	0.343	0.338	0.320	0.297
0.8	0.387	0.334	0.317	0.310	0.304	0.286	0.261
0.9	0.367	0.310	0.291	0.283	0.276	0.260	0.232
1.0	0.351	0.291	0.270	0.262	0.254	0.238	0.209

measurements made with CMC solutions of different concentration, with some intermediates from styrene polymerization and with synthetic rubber latices has proved [10] that the accuracy of the proposed procedure for converting data from immersional viscometers of the Brookfield type into viscosity functions is comparable with usual viscometric techniques. The same conclusion has also been reached on the basis of experiments with an extremely pseudoplastic 24% aqueous kaoline suspension and with a concentrated 3% aqueous solution of Polyox, known to be a strongly elastic liquid [11].

The applicability of this method can further be demonstrated by the results of the evaluation of two recently published data sets of other authors, obtained on a Brookfield R.V.T. viscometer. The first set are the data from the Warren Spring Laboratory (WSL) research report [13], the author of which was not able to arrange the data into the form of a viscosity function, primarily because of the lack of a suitable conversion procedure. The comparison of the Brookfield data [13] with those obtained by the use of other classical viscometers tested has remained open. As can be

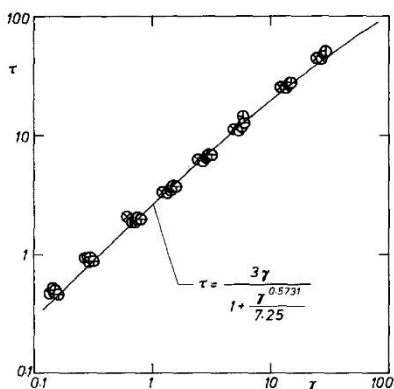


Fig. 1. Comparison of the WSL data [13] evaluated by the procedure proposed in this work (circles, with different centres for each spindle) with the flow curve (bold line) given by Cheng

seen from figure 1, Cheng's data [13], evaluated using our procedure, agree reasonable well with his viscosity function of the model fluid used.

In figure 2 some results of the complex computations made by Williams [2] are compared with the results of our considerably simpler conversion method. Satisfactory agreement of the results from both these methods can also be observed here.

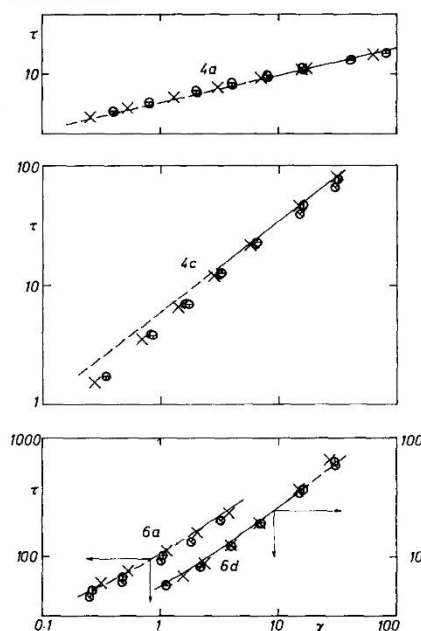


Fig. 2. Comparison of some data sets from [2] evaluated by the proposed conversion procedure (circles) with Williams' computer results (crosses) and with his flow curves (bold lines). The numbering of the liquids is identical with that in figure 4 and 6 in [2]

Anexo 5 –Análisis de Diesel



REPORTE DE ANÁLISIS DE DIESEL B5 S-50

LOTE No. DB5 S50-032-01-2018

REFINERÍA LA PAMPILLA		RECEPCIÓN DE LA MUESTRA		FECHA DE CERTIFICACIÓN	
Carretera a Ventanilla km 25 S/N Ventanilla, Lima – Perú		30/01/2018 21:03:18		31/01/2018 01:23:46	
PRODUCTO		TANQUE		DESTINO DEL PRODUCTO	
Diesel B5 (S-50)		307D		Operaciones de Despacho	
PROCEDECENCIA		VOLÚMEN CERTIFICADO, m³		BUQUE TANQUE	
Almacenamiento		8000			
PROPIEDADES	MÉTODOS	RESULTADOS	PROPIEDADES	MÉTODOS	RESULTADOS
	ASTM			ASTM	
APARIENCIA			CONTAMINANTES		
Color ASTM	D 1500	1.0	Agua y Sedimentos, % Vol	D 2709	0.01
			Cenizas, %masa	D 482	0.001
			Material Particulado, mg/L	D 7321	3.3
VOLATILIDAD			LUBRICIDAD		
Gravedad API a 15.6°C, °API	D 1298	35.1	Lubricidad, HFRR a 60°C, micron	D 6079	< 520
Densidad a 15°C, kg/m3	D 1298	849.0			
Punto de Inflamación, °C	D 93	56.0			
Destilación (a 760 mm Hg)	D 86				
Punto Inicial, °C		156.5	REQUERIMIENTOS DE OPERATIVIDAD		
05% vol. recuperado, °C		190.5	CFPP (POFF), °C	D 6371 / EN 116	-8
10% vol. recuperado, °C		206.5			
20% vol. recuperado, °C		232.0	CONDUCTIVIDAD		
50% vol. recuperado, °C		280.0	Conductividad, pS/m	D 2624	29
90% vol. recuperado, °C		340.5			
95% vol. recuperado, °C		360.0	BIODIESEL 100 (B100)		
Punto Final, °C		371.0	Contenido de B100, % Vol	D 7371	5
Recuperado, % Vol		98.0			
Residuo, % Vol		1.4			
Pérdida, % Vol		0.6			
FLUIDEZ					
Punto de fluidez, °C	D 97	-18			
Viscosidad cinemática a 40°C, cSt	D 445	3.1			
CORROSIVIDAD					
Corrosión lámina de cobre 3 h a 50°C	D 130	1a			
COMBUSTION					
Residuo de carbón ramibottom 10% fondos, %masa	D 524	0.06			
Índice de Cetano	D 4737	45.7			
COMPOSICIÓN					
Azufre, ppm	D 5453	30			
OBSERVACIONES:					
PRODUCTO CUMPLE CON EL DS-092-2009-EM					
DISTRIBUCIÓN :		FECHA DE EMISIÓN		LABORATORIO	
Original : Operaciones de despacho		31/01/2018		 Cecilia Posadas Jhong Jefe de Laboratorio	
Copia 1: Movimiento de Productos					
Copia 2: Laboratorio					

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL

