

## **Diseño de un reactor enchaquetado con agitación mecánica para el tratamiento de aceite vegetal usado**

Design of a jacketed reactor with mechanical agitation for the treatment of used vegetable oil

Marilín García-Díaz<sup>1\*</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-2768-5316>

Yunaisys Cruz-García, <https://orcid.org/0000-0003-3262-2878>

José Gandón-Hernández, <https://orcid.org/0000-0002-4140-7902>

Guido Riera-González, <https://orcid.org/0000-0002-0732-6359>

Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE. Cuba

\*Autor para la correspondencia. correo electrónico: [guido@quimica.cujae.edu.cu](mailto:guido@quimica.cujae.edu.cu)

### **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un reactor enchaquetado discontinuo con agitación mecánica para el tratamiento de aceite vegetal usado proveniente del proceso de fritura. El diseño fue realizado para un volumen de 1 L, el material empleado para su construcción fue acero inoxidable y las dimensiones fueron: altura 13,5 cm, diámetro interno 11 cm. El agitador empleado fue de dos paletas con un diámetro 8,7 cm. El consumo de potencia del agitador fue de 73 W. Se realizó los cálculos mediante la metodología empleada en el diseño de tanques de mezclado de fondos plano. Como líquido calefactor se utilizó el agua, circulando por un espacio anular de 4 cm. Se realizaron las corridas experimentales que permitieron comprobar la ocurrencia de la reacción de transesterificación. Las mejores condiciones de operación resultaron ser 42°C de temperatura, velocidad de agitación de 375 min<sup>-1</sup> y tiempo de reacción 20 min. El

rendimiento de conversión del aceite residual a biocombustible para todos los casos fue superior a 75 %.

**Palabras clave:** aceite vegetal usado; reactor; biocombustible.

## **ABSTRACT**

The present work has as objective designs a discontinuous jacket reactor with mechanical agitation for the treatment of used coming vegetable oil of the process of fry. The designs was carried out for a volume of 1 L, the material employee for your construction went stainless steel and the dimensions went: height 13, cm, internal diameter 11 cm. The agitating employee went of two small shovels with a diameter 8,7 cm. the consumption of power of the agitator went of 73 W. Carry out the calculates by means of the methodology employed in the tanks faith design of background tweed drawing. As your liquid heater man uses the water, by circulating for an annular space of 4 cm. The carried out the experimental runs that permitted verify the occurrence of the transesterification reaction. The better's conditions of operation prove to be 42°C of temperature, speed of agitation of 375 min<sup>-1</sup> and time of reaction 20 min. The performance of conversion of the residual oil to biocombustible for all cases was superior to 75%.

**Keywords:** used vegetal oil; reactor; biofuel.

Recibido: 19/11/2019

Aceptado: 20/03/2020

## **Introducción**

El hombre emplea el aceite para freír sus alimentos desde hace muchos años, por lo que, la utilización del aceite para freír fritura no es nada nuevo. El aceite en este proceso sirve como medio transmisor de calor, contribuyendo de esta forma a la calidad sensorial del alimento. Al trabajar a altas temperaturas se produce el calentamiento rápido y uniforme del producto lo cual le aporta textura, aroma y

sabor a los alimentos. <sup>(1, 2)</sup> Además, se produce un intercambio cuando se evapora el agua, por aceite. Esta operación de absorción puede ser hasta de un 40% en función del contenido de agua del alimento. <sup>(3)</sup>

Como aspecto negativo, relacionado con las altas temperaturas, se encuentra que su combinación con el oxígeno, agua y diferentes residuos, acelera la degradación del aceite. Los principales cambios físico-químicos que se producen en los aceites calentados son producto de las reacciones de: hidrólisis, oxidación y polimerización. Estas modificaciones se incrementan con el uso reiterado de los mismos, constituyendo un grave peligro para la salud de los consumidores que ingieren productos elaborados con estos aceites. <sup>(4, 5)</sup>

Por esta razón se plantea que se deben renovar los aceites que se emplean para freír frituras, tras un cierto periodo de uso (el cual varía en dependencia del producto a elaborar, del recipiente empleado, condiciones de operación, etc.), considerándose entonces un desecho.

Una vez que se cuenta con este residuo se puede almacenar hasta encontrarle una utilidad, suponiendo entonces que se debe contar con capacidad suficiente de almacenamiento sobre todo a nivel industrial. Por otra parte, se puede tratar como un residual líquido. O verterlo directamente en mares, ríos o redes de desagüe. Esta última solución, trae consigo afectaciones considerables al medio ambiente, como es el caso de la impermeabilidad que produce sobre las aguas superficiales y el deterioro de los suelos impidiendo el intercambio de oxígeno con el aire, que provoca que los seres vivos que habitan en los distintos medios mueran. <sup>(6)</sup>

En Cuba, con el desarrollo del turismo y de la producción de alimentos fritos, para su distribución en las redes de comercio y gastronomía, actualmente se va incrementando el consumo de aceite vegetal; por lo que la generación de este peligroso residual crece constantemente.

En la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” se han desarrollado trabajos encaminados a estudiar las vías de aprovechamiento del aceite de fritura residual, donde la transformación en biocombustible ha resultado la de la principal atención <sup>(7-9)</sup>. Esta idea ha sido

una de las más estudiadas en todo el planeta, <sup>(10-14)</sup> ya que contribuye a paliar la crisis que presenta los combustibles provenientes de fuentes fósiles.

La etapa principal en el proceso de obtención de los ésteres es la reacción de transesterificación. Esta operación debe llevarse a cabo en un reactor donde se garanticen las condiciones operacionales requeridas, principalmente la temperatura y la velocidad de agitación, para alcanzar rendimientos aceptables. Un factor de mucha importancia en el mezclado o la agitación es el consumo de potencia, pues el mismo está relacionado con la economía del proceso. Tanto la potencia consumida como el coeficiente de transferencia de calor constituyen elementos determinantes para el escalado de estos equipos.

Tomando como premisa todo lo expuesto hasta el momento, el presente trabajo tiene como objetivo diseñar un reactor enchaquetado para operar de forma discontinua con agitación mecánica para la transformación de aceite de soya usado, proveniente del proceso de fritura, en biocombustible.

## **Fundamentación teórica**

El diseño de reactores no es una tarea sencilla, hay que tener en cuenta el costo del equipo, los materiales que entran y salen del sistema, entre otros aspectos que definirán la economía general del proceso. Por estas razones es necesario utilizar información de varios campos de la ciencia. <sup>(15)</sup>

El tamaño de un reactor está determinado por la cantidad de conversión de reactantes que se requiere para mantener una salida fija de producto, donde se necesita información sobre: cambios de composición, de temperatura, modelos de mezclados, transferencia de masa, transferencia de calor. <sup>(16)</sup>

Según el número y tipos de fases presentes en una reacción química, estas se pueden clasificar en homogéneas o heterogéneas. En este trabajo la reacción que se estudia es la de la transesterificación que consiste en mezclar el aceite con un alcohol en presencia de un catalizador. <sup>(13, 14)</sup> Esta se clasifica como una reacción homogénea ya que ocurre en una sola fase, es decir tanto los reactivos como el

catalizador están en estado líquido. Según Levenspiel esto implica otra clasificación, siendo entonces catalítica. <sup>(15)</sup>

En estos sistemas de reacciones homogéneas hay, diferentes variables que afectan la velocidad de la reacción, fundamentalmente, sería la temperatura, la presión y la composición. Es por ello que se han desarrollado un sin número de investigaciones dedicadas a analizar la influencias de estas u otras en el rendimiento.

Como se mencionó en la introducción el principal equipo que se necesita es un reactor. En función de la utilidad, requerimientos del proceso, entre otros aspectos, puede haber diferentes tipos, <sup>(17)</sup> pero el más empleado para la obtención de biodiesel es el tanque enchaquetado con agitación.

## Métodos utilizados y condiciones experimentales

En este trabajo el diseño del reactor se realiza aplicando similitud geométrica, donde se toma como criterio que el diámetro del tanque ( $D_t$ ) debe ser igual a la altura del líquido ( $H_L$ ). <sup>(18)</sup> Partiendo de que el volumen del cilindro se puede calcular a partir de la expresión 1:

$$V = \frac{\pi \cdot D_t^2 \cdot H}{4}$$

(1)

donde

$V$  = volumen del cilindro,  $m^3$

$H$  = altura del tanque,  $m$

$D$  = diámetro del tanque,  $m$

Sustituyendo el primer criterio en la expresión 1, se puede obtener el volumen del líquido y la altura del tanque, para esta última dimensión se tomó un 23% de seguridad.

Para lograr una adecuada mezcla de los reaccionantes, así como facilitar la transferencia de calor en el reactor es importante constar con un sistema de

agitación. Uno de sus principales componentes es el tipo de impelente y la potencia que se requiere para accionar el mismo.

Además, se necesita definir el diámetro del agitador o impelente, separación del agitador del fondo del tanque y ancho de la paleta o agitador. Tomando como base estudios anteriores <sup>(19, 20)</sup> se decidió emplear un agitador de paletas rectas. Las relaciones geométricas y el cálculo del consumo de potencia se definieron según McCabe. <sup>(18)</sup>

La potencia eléctrica que se consume durante el funcionamiento del equipo se calculó a partir de la ecuación 2. Los datos de la intensidad de la corriente y el voltaje de operación del motor acoplado al agitador, se midieron empleando un multímetro de precisión de 2,5 V y 1 A.

$$P = \sqrt{n} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

donde

n = número de fases de la corriente eléctrica

V = voltaje, V

I = intensidad de la corriente, A

Cosφ = factor de potencia, %

P = potencia eléctrica, W

Conjuntamente con el cálculo de la potencia eléctrica se determinó el consumo de potencia del impelente. A partir de la curva seleccionada en función del impelente escogido y el número de Reynolds de mezcla, calculado por la ecuación 3, se determina el número de potencia. Finalmente, por medio de la ecuación 4 se despeja el consumo de potencia del impelente.

$$Re = \frac{n \cdot d_{ag}^2 \cdot \rho}{\mu} \quad (3)$$

$$K_n = \frac{P_i}{n^3 \cdot d_{ag}^5 \cdot \rho} \quad (4)$$

donde

Re= número de Reynolds de mezclado, adimensional

$\rho$ = densidad del fluido, kg/m<sup>3</sup>

n= velocidad de rotación del impelente, s<sup>-1</sup>

$d_{ag}$ = diámetro del impelente, m

$\mu$ = viscosidad del fluido, Pa.s

Kn= número de potencia, adimensional

Pi=Potencia consumida por el impelente, W

El sistema de calentamiento empleado fue el de chaqueta de intercambio, ya que es factible desde el punto de vista constructivo, además de su facilidad en cuanto a la limpieza debido a las propiedades que presenta el aceite. Para el diseño de la chaqueta se determinó el diámetro equivalente del espacio anular, a partir de la expresión 5. Con estas dimensiones se pueden lograr velocidades de 3 cm/s para el agua de calentamiento, lo que garantiza que circule en régimen laminar. <sup>(21)</sup>

$$D_{eq} = D_{ech} - D_{ich} \quad (5)$$

donde

$D_{eq}$ = diámetro equivalente, m

$D_{ich}$ = diámetro interno de la chaqueta,

$D_{ech}$ = diámetro externo de la chaqueta, m

## Resultados y discusión

Por exigencias de la investigación, se decidió que el volumen a procesar fuera de 1 L de aceite usado residual, el cual es suficiente para estudiar las variables y los parámetros de diseño necesarios con vistas a un futuro escalado.

Partiendo del volumen escogido, se obtiene el diámetro del reactor y con las relaciones establecidas para el impelente utilizado, se determinaron el resto de las dimensiones. Las características del equipo propuesto se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1-** Dimensiones del reactor construido

Variables	Valor	Variables	Valor
Diámetro interno del reactor, cm ( $D_i$ )	11	Diámetro externo de la chaqueta, cm ( $D_{ext}$ )	17
Altura del líquido, cm ( $H_L$ )	11	Diámetro del impelente, cm ( $d_{ag}$ )	3,66
Altura total del reactor, cm ( $H_T$ )	13,5	Altura del impelente, cm (b)	0,91
Diámetro interno de la chaqueta, cm ( $D_{int}$ )	13	Distancia entre impelente y fondo, cm (A)	1

En la tapa se taladraron dos orificios; uno para el acople del agitador y otro por donde se vierte el metóxido, además de servir para la medición de la temperatura durante la operación.

Como material para la construcción se utilizó, acero inoxidable AISI 316 y como proceso de fabricación la soldadura. Este tipo de material presenta una excelente ductilidad, conformabilidad y resistencia mecánica a la corrosión, <sup>(22)</sup> razones por las que es recomendado para los equipos de la industria alimentaria ya que sus propiedades físicos-químicas permiten trabajar con la higiene requerida por los procesos de elaboración de alimentos y operaciones afines.

Para el accionamiento del impelente se empleó un agitador modelo MR 25 con velocidad entre 50 y 2500  $\text{min}^{-1}$  y un consumo de potencia de 0,1 kW. En la figura 1 se muestra la instalación experimental del reactor.





1. Entrada de agua
2. Salida de agua
3. Entrada de mezcla (alcohol-catalizador)
4. Orificio para el impelente

**Fig. 1-** Instalación experimental

Una vez construido el equipo con las dimensiones que se mostraron anteriormente, se decidió realizar una prueba de la transformación del aceite en biocombustible con el objetivo de comprobar el comportamiento del sistema diseñado. Para realizar la prueba se tomó la mejor condición experimental, obtenida por García-Díaz. <sup>(7)</sup> donde el rendimiento de la reacción fue superior al 87%. El resultado de esta prueba se muestra en la figura 2, donde se observa la presencia de tres fases formadas; jabón, aceite y biodiesel, este último en muy poca proporción.



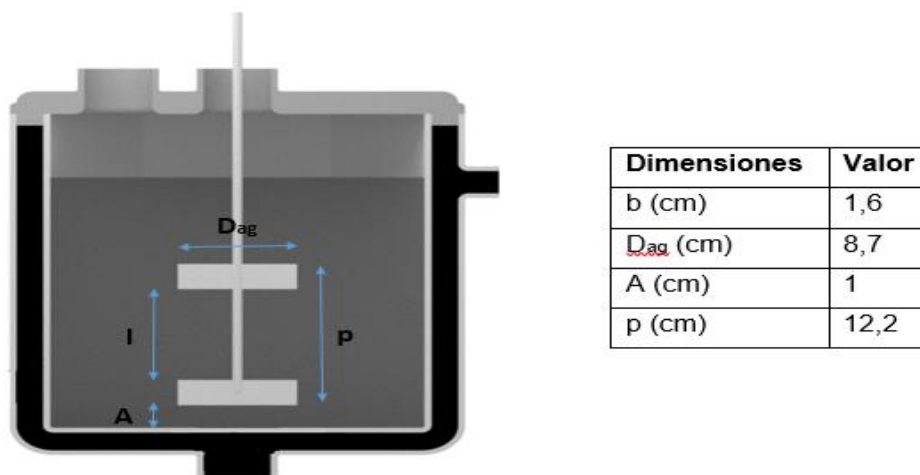
**Fig. 2-** Muestra de la reacción incompleta

Resultados similares obtuvieron Olanrewaju y colaboradores. <sup>(24)</sup> Se considera que lo ocurrido, se debió a que como el aceite es muy viscoso al agregarle el

metóxido, la viscosidad de la mezcla aumenta siendo así que sólo reaccionó la zona que abarcaba el diámetro del impelente, quedando una gran parte sin reaccionar.

A partir de estos resultados se realizó una prueba que consistió en agitar manualmente hasta tener un grado de mezcla adecuado, y una vez logrado este propósito se comenzó a agitar mecánicamente durante 20 min. Transcurrido este tiempo el producto obtenido se llevó a un embudo separador lo cual permitió observar cómo se iban separando las fases. Después de 24 h se pudo comprobar que existía una separación adecuada entre el biodiesel y la glicerina, lo que representa un buen indicador del grado de comportamiento de la reacción, correspondiendo también con un buen rendimiento.

Este experimento permitió deducir, que la razón de las dificultades con la primera corrida experimental con el reactor se debía a una selección inadecuada de las dimensiones del impelente, pues no se lograba mezclar los reactivos contenidos en el equipo. Dada esta experiencia se decidió, construir un impelente de dos paletas de mayor diámetro y ancho, de forma tal de que se genere mayor grado de mezcla en todo el volumen del reactor y de esta forma lograr que todos los reaccionantes se pongan en contacto garantizando el completamiento de la reacción. En la figura 3 se muestra las nuevas dimensiones del impelente.



**Fig. 3-** Representación de las dimensiones del impelente de dos paletas

Con esta modificación, se realizan nuevas pruebas, empleando las condiciones de operación estudiadas por García-Díaz, <sup>(7)</sup> ya que se considera que los niveles de las variables estudiadas contribuyen al ahorro de energía, pues se trabaja a bajas temperaturas y velocidades de agitación. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2-** Resultados de la transesterificación en el reactor con el impelente de doble paleta

Número de muestras	Temperatura (°C)	Velocidad de agitación (min <sup>-1</sup> )	Tiempo de reacción (min)	Rendimiento (%)
1	35	250	20	77,5
2	35	500	20	83,3
3	50	250	20	77,5
4	50	500	20	80
5	42	375	20	86,6
<b>Promedio</b>				80,98
<b>Desviación estándar</b>				3,94

Se puede observar que el rendimiento en todos los casos es superior al 75 %, lo cual se corresponde con lo planteado en la literatura. Al analizar el resto de los valores se aprecia una tendencia al aumento del rendimiento para el nivel más alto de velocidad de agitación estudiado. En el caso de la temperatura sucede lo contrario, los mejores resultados están asociados al nivel más bajo.

Por estas razones, es lógico que, en el punto central, donde se combinan ambos efectos, se alcance un 86,6 % de rendimiento. Es importante destacar que la idea es tratar un residual peligroso para la salud y el medio ambiente por lo que se deben disminuir los gastos por concepto de consumo de energía.

Como complemento al conocimiento, para el reactor diseñado se determinó su consumo de potencia, para lo cual se midió el voltaje y la intensidad de la corriente

(para cada nivel de agitación) obteniéndose un voltaje igual a 215 V y una intensidad de 0,5 A.

Con esta información y empleando la ecuación 4 se determinó la potencia eléctrica consumida en la operación de agitación que resultó ser de 0,092 kW. Conjuntamente se determinó la potencia consumida por el impelente, cuyos resultados se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3-** Potencia consumida por el impelente

<b>Variables</b>	<b>Valor</b>	<b>Variables</b>	<b>Valor</b>
n, (s <sup>-1</sup> )	6,25	Reynolds, (adimensional)	272
P, (kg/m <sup>3</sup> )	910,2	K <sub>n</sub> , (adimensional)	4,8
d, (m)	0,036	Potencia, (kW)	0,073
μ, (Pa.s)	0,028		

Los resultados obtenidos son adecuados, el agitador según sus características podía consumir hasta 0,1 kW y consumió 0,092 kW y mostró una eficiencia en la transmisión de 79 %.

## Conclusiones

1. Se logró realizar el diseño y construcción del equipo para procesar un litro de aceite vegetal usado con un diámetro igual a 11 cm y una altura total de 13,5 cm, empleando un impelente de dos paletas planas de 8,7 cm de diámetro.
2. El reactor diseñado puede ser usado en la obtención de biodiesel a partir de aceite de soya usado en fritura y metanol con las condiciones operacionales siguientes: temperatura 42°C, velocidad de agitación 375 rpm, tiempo de reacción 20 min, obteniéndose un rendimiento de 86,6%.
3. El consumo de potencia eléctrica fue de 0,092 kW, la del impelente de 0,73 kW y la eficiencia de transmisión de 79%.

## Referencias bibliográficas

1. FRANCO, D: "Aplicaciones de aceites y grasas ", *Alimentos Argentinos-MinAgri*, p. 6, 2011. [consulta: 23 de marzo de 2019]. Disponible en [www.alimentosargentinos.gob.ar](http://www.alimentosargentinos.gob.ar).
2. CIAPPINI, M. *et al.* "Modificaciones fisicoquímicas y sensoriales producidas durante las frituras domésticas sobre aceite de girasol refinado y aceite de oliva virgen extra." *INVENIO*, **19**, (37), p. 155-165, 2016.
3. MONTES O., N. *et al.*: "Absorción de aceite en alimentos fritos." *Revista Chilena de Nutrición*, **43**, (1), p. 87-91, 2016.
4. LÓPEZ DE LA PEÑA, H. Y. *et al.*: "Evaluación de la degradación de aceites vegetales en dos procesos de elaboración de frituras". XX Congreso Internacional de Inocuidad de Alimentos, XXXV Reunión Nacional de Microbiología, Higiene y Toxicología de los Alimentos, p. 4, 2018.
5. RIVERA, Yesabel *et al.*: "Cuantificación del deterioro de aceites vegetales usados en procesos de frituras en establecimientos ubicados en el Municipio Libertador del Estado Mérida " *Revista Ciencia e Ingeniería*, **35**. (3), p. 157-164, 2014.
6. GONZÁLEZ CANAL, I., GONZÁLEZ UBIERNA, José Antonio: Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras. Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia, 2013.
7. GARCÍA DÍAZ, Marilin, GANDÓN-HERNÁNDEZ, José, MAQUEIRA TAMAYO, Yudisel: "Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado". *Revista Tecnología Química*, XXXIII, (2), p. 134-138, 2013.
8. SARRACENT LÓPEZ, Anabel; GANDÓN-HERNÁNDEZ, José; "Estudio de la transformación del Aceite de Soya usado en ésteres etílicos de ácidos grasos". *Revista Tecnología Química*, XXXVI, (3), p. 417-438, 2016.
9. GANDÓN-HERNÁNDEZ, José, TORRES-BARATUTE, Yanelis Caridad, GARCÍA-DÍAZ, Marilin: Caracterización de un biocombustible obtenido a partir de aceite vegetal de desecho. *Revista Tecnología Química*, XXXVII, (2), p. 278-292, e-ISSN: 2224-6185, 2017.

10. MALAGÓN MICÁN, M. L.: "Obtención de biodiesel, a escala de laboratorio, a partir de aceites comestibles de desecho: una nueva alternativa de energía renovable." *Revista de Investigación*, **5**, (2), p. 8-20, 2012.
11. HOMER Ian, HUNTER Evelyn: "Biodiesel, Métodos Artesanales para su Fabricación." *Revista Antumapu*, **1**, (1), p. 11-15, 2007.
12. GARCÍA MUENTES, Segundo Alcides *et al.* "Cinética de la reacción de transesterificación para la producción de biodiesel a partir del aceite de *Jatropha curcas* L., en la provincia de Manabí, Ecuador." Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Manabí, Ecuador, p. 281-297, 2018.
13. Y. ZHANG *et al.* "Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment." *Bioresource Technology*. **89**, p. 1-16, 2003.
14. MEHER L.C., *et al.* "Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **10**, p. 248-268, 2006.
15. LEVENSPIEL, Octave: *Ingeniería de las reacciones químicas*. Tercera ed., p. 688, Limusa Wiley, México, 2004.
16. COKER, A. K.: *Modeling of chemical kinetics and reactor design*, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 2001.
17. MEHBOOB, A. *et al.* "Reactor designs for the production of biodiesel." *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, **10**, p. 87-94, 2016.
18. McCABE, W. L. J. C. S., Peter Harriot: *Operaciones unitarias en ingeniería química* McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V., México, séptima edición, 2007.
19. ESPINOSA GUERRERO, A. J. y Palmay Paredes, P. G. "Diseño y construcción de un reactor batch para la obtención por transesterificación de biodiesel a partir de aceite de cocina reciclado". Tesis de grado para la obtención del título de ingeniero químico. Riobamba-Ecuador, 2009.

20. RAMÍREZ R. *et al.* "Estudio de la transferencia de calor en tanques agitados con dos impulsores de flujo axial". CCIM.VII Congreso cubano de Ingeniería Mecánica, noviembre 2012. La Habana. Cuba ISBN-978-959-261-405-5.
21. RAJU, K. S. N.: Fluid mechanics, heat transfer, and mass transfer: Chemical Engineering Practice, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2011.
22. ASKELAND, D. R.: *Ciencia e ingeniería de los materiales* México International Thomson Editores, S. A. de C. V., Tercera Edición, 1998.
23. OLANREWaju OLAOYE, J. O. J. O. A. H. A. S.: "Development of a laboratory scale biodiesel batch reactor." *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4, (12), p. 1698-1704, 2017.

#### **Conflicto de interés**

No existe conflicto de intereses

#### **Contribución de autores**

**MSc. Marilín García Díaz:** Desarrollo de las corridas experimentales, procesamiento estadístico de los resultados y análisis de los resultados, fundamento teórico mediante búsqueda bibliográfica, escritura del artículo ajustado a las normas, seleccionar los criterios y metodología empleada para el diseño de tanques de fondos planos y realizarlos cálculos.

**MSc. Yunaisys Cruz García:** Desarrollo de las corridas experimentales a nivel de laboratorio, calcular de acuerdo a la metodología seleccionada de diseño de tanques.

**MSc. José Gandón Hernández:** Seleccionar los criterios y metodología empleada para el diseño de tanques de fondos planos, facilitar los instrumentos, materiales y literatura necesaria para la construcción del equipo y la experimentación, contribuir en la búsqueda bibliográfica del tema en cuestión y al análisis de los resultados, revisar la versión final del artículo

**Dr. Guido Riera González:** Cálculo diseño y construcción del reactor, facilitar los instrumentos, materiales y literatura necesaria para la construcción del equipo y la experimentación, contribuir en la búsqueda bibliográfica del tema en cuestión y al análisis de los resultados, revisar la versión final del artículo.