

# CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR DISCONTINUO PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL ACEITE DE *Ricinus communis*

## A BATCH REACTOR CONSTRUCTION FOR OBTAINING BIODIESEL FROM OIL *Ricinus communis*

**Yolimar Fernández<sup>1</sup>, Osmely Floiran<sup>1</sup>, Era Maurelys<sup>1</sup>, Milena Villalobos<sup>1</sup>, América García<sup>2</sup>**

(1) Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda", Departamento de Energética, Área de Ingeniería Química,  
Av. Táchira, Sector Universitario, Punto Fijo - Venezuela

(2) Universidad de Oriente, Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales y Materiales,  
Av. Patricio Lumumba s/n, Altos de Quintero, Santiago de Cuba - Cuba  
(e-mail: jimenezoly.10@gmail.com)

*Recibido: 28/10/2013 - evaluado: 23/12/2013 - aceptado: 28/01/2014*

### RESUMEN

Se construyó un reactor discontinuo para obtener biodiesel a partir de 5 litros de extracto obtenido de la semilla de *Ricinus communis*. El reactor es de acero inoxidable, con longitud de 29 cm; diámetro interno de 15,24 cm y fondo cónico de 20cm de largo, espesor de la pared de 0,2cm, resistencia tubular de 1000 W y motor de 110 volt. Se extrajo y se comparó con las normas respectivas las propiedades físicas y químicas del aceite crudo. Se realizaron pruebas preliminares de transesterificación del aceite catalizadas con NaOH para constatar la viabilidad de la reacción y definir las condiciones operacionales. El biodiesel obtenido fue caracterizado y comparado con referencias presentes en la literatura. Los resultados mostraron que es posible obtener el biocombustible en el reactor discontinuo con un grado de conversión 88%; confirmando su aplicación en reacciones de transesterificación en medio básico.

### ABSTRACT

A batch reactor was constructed to obtain biodiesel from 5 liters of extracted from the seed of *Ricinus communis*. The reactor is made of stainless steel, 29cm length, 15.24 cm of inner diameter and a conical base of 20cm long, wall thickness of 0.2 cm, 1000 W tubular resistance and 110 volt motor. It is extracted and compared with the respective norms the physical and chemical properties of crude oil. Preliminary tests catalyzed transesterification of the oil with NaOH to verify the feasibility of the reaction and define the performed operational conditions. Obtained biodiesel was characterized and compared with references. The results showed that it is possible to obtain the biofuel in the batch reactor with a conversion 88%, confirming its application in transesterification reactions in a basic medium.

Palabras clave: biodiesel; reactor discontinuo; *Ricinus communis*; transesterificación  
Keywords: biodiesel; batch reactor; *Ricinus communis*; transesterification

## INTRODUCCIÓN

Actualmente los países han apoyado la utilización de biocombustibles con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, impulsar la descarbonización de los combustibles de transporte, diversificar las fuentes de su abastecimiento, desarrollar alternativas al petróleo a largo plazo, utilizar tierras no cultivadas y reforestar la capa vegetal. Se espera también que el incremento de la producción de biodiesel y bioetanol ofrezca nuevas oportunidades a los países que los producen como fuente de ingresos, empleo en las zonas rurales o de bajos recursos (Avellaneda, 2010).

El diesel y el biodiesel, a lo largo de todo su ciclo de vida, producen cantidades similares de CO<sub>2</sub>. La gran diferencia radica en que la mayor parte del CO<sub>2</sub> emitido por el biodiesel ha sido fijado previamente por las plantas oleaginosas utilizadas para su producción, que a lo largo de su vida han consumido mayor cantidad de CO<sub>2</sub> que la que emitirán una vez convertidas en biodiesel. Incluso, diversos estudios señalan que el biodiesel emite, finalmente, menos CO<sub>2</sub> que el fijado mediante el proceso de fotosíntesis por estas mismas plantas oleaginosas. Por ello, es posible afirmar que sustituyendo el diesel por el biodiesel se puede ayudar a combatir uno de los principales efectos del uso de combustibles fósiles: el problema del cambio climático (Acosta *et al.*, 2008).

En el caso de Venezuela, la búsqueda por diversificar la matriz energética ha generado interés en torno a cultivos oleaginosos como potenciales fuentes para producir biodiesel, tal es el caso del tártago (*Ricinus communis*) (Ruiz, 2006); una planta endémica de zonas tropicales y subtropicales, que crece en forma silvestre, no requiere de condiciones especiales para su cultivo (humedad, temperatura, etc.) y es vista como maleza. Además, la semilla de esta planta no es comestible, a diferencia de las materias primas más utilizadas para producir biodiesel (soya, girasol y canola), por lo tanto, no implicaría competir con la industria alimentaria, aspecto por el cual ha sido muy criticada la producción de este biocombustible (Scholz & Da Silva, 2008). Por otro lado, es importante señalar que el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas del biodiesel varían según la materia prima a partir de la cual se obtuvo (Blangino & Romano, 2004).

Las técnicas convencionales para la producción de biodiesel utilizan reactores, como en la mayoría de los procesos industriales químicos, donde se lleva a cabo una reacción de transesterificación, que consiste en la transformación de un tipo de éster en otro. Cuando el éster original reacciona con un alcohol, la reacción de transesterificación se denomina alcoholólisis. En el caso de la alcoholólisis de un aceite o grasa, las moléculas de triglicérido se combinan con un alcohol alifático de bajo peso molecular en presencia de un catalizador ácido o básico (Benjumea *et al.*, 2004).

Con el creciente problema de contaminación que se presenta actualmente, no sólo en Venezuela sino en todo el planeta, las propuestas de ecología industrial, producción más limpia y cero emisiones se han hecho cada vez más evidentes (Chavéz, 2009). Es por esto que la mayoría de los centros de educación superior están orientando su investigación a generar nuevos enfoques en los procesos de producción de biocombustibles que no representen mayor daño al ambiente y que a su vez generen un valor agregado, convirtiéndose en uno de sus mayores retos. Esta propuesta tuvo como objetivo construir un reactor discontinuo para la obtención de biodiesel a partir del aceite de *Ricinus communis* a escala de banco. Además, el reactor construido a bajo costo, puede ser empleado para fines docentes, con lo que se favorecería la política de conservación y ahorro al sustituir equipos costosos en la ejecución de las prácticas, reduciéndose así tanto los costos de instalación como de mantenimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La materia prima fue colectada en la ciudad de Cojedes y Valencia. La colecta y secado de las semillas se hizo acorde a lo propuesto por Lafort *et al.* (2010). Posteriormente se molió y almacenó a temperatura ambiente. La caracterización físico química se realizó de acuerdo a lo propuesto por COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales), considerando: porcentaje de ceniza (COVENIN 328:2001), porcentaje de humedad (COVENIN 1156:1979), proteínas (COVENIN 1195:1980), fibra cruda (COVENIN 1194:1979) y grasa libre (COVENIN 3218:1996).

Luego se acondicionó la muestra para la extracción artesanal del aceite, según el esquema mostrado en la Figura 1.

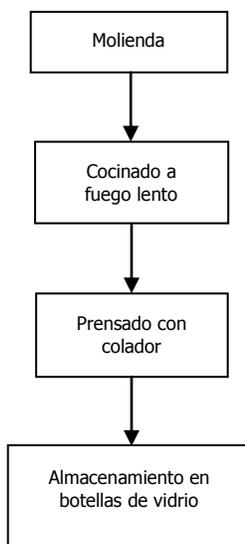


Fig. 1: Esquema del proceso de extracción artesanal del aceite de *Ricinus communis*

La caracterización química del aceite extraído consistió en la determinación de los índices de saponización (AOCS Cd 3-25., 2003); yodo (AOCS Cd 1-25, 1997); acidez (AOCS Ca 5a - 40., 1997) y densidad (AOCS Cc 10c-, 1995) empleando la metodología de la American Oil Chemistry Society. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

Una vez realizada la caracterización del aceite extraído, se realizaron los estudios preliminares a escala de laboratorio para estudiar la reacción de transesterificación del mismo para convertirlo en biodiesel, empleando un matraz de 500 mL, agitador mecánico y baño de maría. Los reactivos utilizados fueron aceite de ricino y el metanol (95% pureza), y el hidróxido de sodio (grado industrial) como catalizador. Bajo estas condiciones se estudiaron los parámetros necesarios para una mayor conversión de aceite en biodiesel; para ello se exploró el efecto de la temperatura realizando la reacción a 25 °C, 30 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C y se determinó el porcentaje de conversión como la relación porcentual peso biodiesel /aceite de ricino, luego de transcurridas una hora y cincuenta minutos de reacción. Las condiciones de reacción que se mantuvieron constantes son: la presión de trabajo tomada como la atmosférica (atm), cantidad de catalizador 1% p/p y la relación molar de aceite de tártago: metanol (1:6). Con respecto a la determinación de la concentración del reactivo límite, teóricamente se necesita una relación estequiométrica 1:3 de aceite/metanol, de acuerdo con la ecuación 1; pero varios aceites transesterificados por catálisis básica han obtenido altas conversiones con relaciones molares de aceite/metanol entre 1:6 y 1:12 (Meneghetti *et al.*, 2006; Chalita *et al.*, 2007; Rashid & Anwar, 2008).



Una vez establecidas las condiciones de reacción de mejor conversión se procedió a estudiar la evolución de la reacción en el tiempo, para ello se tomaron muestras del medio de reacción, y así sucesivamente cada quince minutos hasta completar los cien minutos. Los intervalos de tiempo se escogieron de esta forma debido a que la reacción es más rápida en los primeros diez minutos. El tiempo cero de la reacción se estableció cuando se apreció una homogenización completa de la mezcla del aceite con el metóxido de sodio formado en el medio de reacción.

Una vez finalizadas las pruebas a escala de laboratorio, y de la revisión de modelos de reactores a escala piloto para la producción de biodiesel, se diseñó y construyó un reactor para producir biodiesel a escala de banco que pudiera procesar 5 L de aceite, para ser utilizado en el laboratorio. En función de cumplir con las condiciones de operación antes establecidas, se tomó en cuenta: dimensionamiento del equipo, espesor, diámetro y longitud del reactor, selección del material; el cual debe ser resistente a la corrosión, fácil accesibilidad y disponibilidad en el mercado para garantizar así el buen funcionamiento del equipo y comprobar la eficaz operabilidad de la unidad. En función de lo comentado anteriormente; el reactor se diseñó de acero inoxidable, ya que durante la reacción se produce metóxido, sustancia muy corrosiva; por lo cual se recomienda trabajar con acero inoxidable para la construcción de reactores y no utilizar cobre, bronce, aluminio o fierro galvanizado, pues estos materiales no son compatibles con el biodiesel (Acosta *et al.*, 2008).

Se realizó el experimento de obtención del biodiesel en el reactor construido, introduciendo al mismo el aceite y luego el metóxido previamente preparado mediante el mezclado del metanol con el hidróxido de sodio, se activa el motor para que comience el movimiento de agitación y se enciende la resistencia, de inmediato se apertura las válvulas para que el fluido de enfriamiento comience a fluir por interior de la tapa del equipo. La reacción se llevó a cabo a presión atmosférica, temperatura de 60 °C, cantidad de catalizador 1% p/p y relación molar aceite metanol 1:6 durante un lapso de 90 minutos. Como productos de la reacción se obtuvieron metilésteres de los ácidos grasos presentes en el aceite de tártago (biodiesel) y glicerol; las cuales fueron separadas en un embudo de decantación durante 24 horas para garantizar la separación de las fases antes de ser cuantificadas. Posteriormente el biodiesel obtenido se somete a un proceso de lavado y secado, según procedimientos típicos reportados en las literaturas con algunas modificaciones (Demirbas, 2007; Zapata & Mendoza, 2003).

El lavado se realizó tres veces con agua acidulada ( $H_3PO_4$ ) y finalmente dos veces con agua destilada, dejando la mezcla en reposo para permitir la separación de las fases. Una vez limpio el producto se centrifugó y se secó durante 2 horas en la estufa a 110°C, para luego ser enfriado en un desecador a temperatura ambiente, pesado y almacenado en frascos de vidrio para su posterior análisis.

El rendimiento se determinó como porcentaje de biodiesel producido en relación a la cantidad de aceite inicial de ricino (Benjumea *et al.*, 2004). Al producto obtenido se le determinaron las propiedades fisicoquímicas siguientes: punto de inflamación (ASTM D-93), viscosidad 40°C (ASTM D- 445), índice de cetano (ASTM D-976), densidad a 15°C (EN- 14214) y cenizas sulfatada (ASTM D-874).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 presenta los resultados de la caracterización fisicoquímica de la semilla de ricino, donde el valor de las proteínas y la fibra cruda se encontraron dentro de los parámetros obtenidos en la investigación realizada por Mattil *et al.* (2005); mientras que el porcentaje de cenizas resultó más bajo en comparación con el 10,12% reportado por Blanco (2009); lo cual es compatible con el hecho de que esta característica fisicoquímica depende mucho del suelo, ambiente y climatología de la zona de estudio.

El porcentaje de grasas presente en la semilla de ricino es elevado, lo cual corresponde a lo establecido por las literaturas técnicas consultadas (Ogunniyi, 2006; Scholz & Da Silva, 2008), por lo que la misma es fuente interesante para extracción de aceite. La humedad es elevada en comparación con otros estudios realizados, en general se reporta que en la mayoría de las semillas oleaginosas se encuentran alrededor de un 8% de contenido de humedad (Mattil *et al.*, 2005).

En la Tabla 2 se reporta el valor promedio de los índices de saponización, de yodo y acidez, determinados al aceite extraído que se empleará en la reacción de transesterificación. Las propiedades del aceite de tártago se encuentran en el intervalo típico reportado en la literatura (Benavides *et al.*, 2007; Lozada & Velásquez, 2009) a excepción del índice de acidez; el cual en comparación con las referencias presenta un valor bajo, lo que indica que debe resultar más estable con el tiempo.

Tabla 1: Característica fisicoquímica de la semilla de *Ricinus communis*

Análisis	Valor
Humedad (%)	12,13
Cenizas (%)	8,31
Proteínas (%)	10,11
Fibra cruda (%)	38,69
Grasa (%)	57,51

Tabla 2: Propiedades fisicoquímicas del aceite de *Ricinus communis*

Parámetro	Valor	Valor de comparación con Benavides <i>et al.</i> (2007)	Valor de comparación con Lozada & Velásquez (2009)
Índice de saponización (mg <sub>KOH</sub> /g <sub>aceite</sub> )	189	187,4	192,854
Índice de Yodo (g <sub>yodo</sub> /100g <sub>aceite</sub> )	82,93	84,3	-
Índice de acidez (mg <sub>KOH</sub> /g <sub>aceite</sub> )	1,51	2,1	3,874
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,9622	0,9707	0,957

En la Tabla 3 se reporta el efecto de la temperatura sobre la reacción de transesterificación estudiada. Como se aprecia el porcentaje de conversión del aceite de tártago en biodiesel es mejor a 70 °C; sin embargo para el reactor diseñado se requerirá un sistema de condensación más complejo que el diseñado, ya que el sistema que posee sólo circula agua en el centro de la tapa del reactor con la finalidad de condensar el alcohol; por tal razón se selecciona 60 °C como temperatura de trabajo en el mismo con un 88% de conversión algo menor que la máxima obtenida, pero aceptable en relación costo/beneficio que implica no construir un sistema de condensación más sofisticado en el reactor. La relación aceite/metanol 1:6 seleccionada permite obtener fracciones convertidas de aceite entre 87% y 88%, lo cual resulta comparable con los resultados de Benavides *et al.* (2007) y Conceicao *et al.* (2007).

El estudio de la evolución de la reacción con el tiempo se muestra en la Tabla 4; en la misma se identifica que a partir de los 75 minutos se mantiene prácticamente constante el porcentaje de conversión en un 97,87%, por lo que se asume sea el tiempo que toma la reacción.

Tabla 3: Temperatura vs grado de conversión

Temperatura (°C)	Conversión (%)
25	67
30	77,22
50	79,34
60	88
70	93

En la Figura 2, también se corrobora que a los 75 minutos de reacción ha concluido, pues la concentración de aceite (mol/L) sin convertir prácticamente es cero. El aceite es la sustancia limitante de la reacción como se puede apreciar.

Una vía de seguir el avance de reacción es por determinación de una propiedad física es empleando la densidad, lo que se demuestra por la relación lineal observada en la Figura 3 de la densidad de aceite (g/mL) y la concentración de aceite (mol/L). La ecuación de la recta evaluada es  $y = 36,88x - 33,82$  con un alto valor  $r^2 = 1$  del coeficiente de correlación.

Tabla 4: Conversión del aceite (reactivo limitante)

Tiempo (min)	Fracción convertida del aceite (%)
0	0
5	11,70
10	22,87
15	38,83
30	53,72
45	67,02
60	81,91
75	97,87
90	97,87

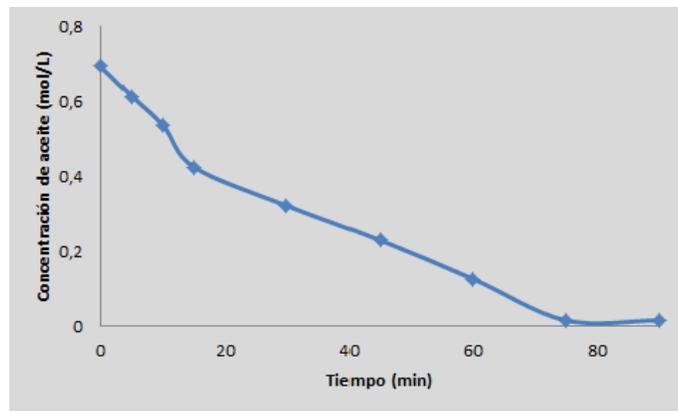


Fig. 2: Comportamiento de la concentración aceite vs tiempo

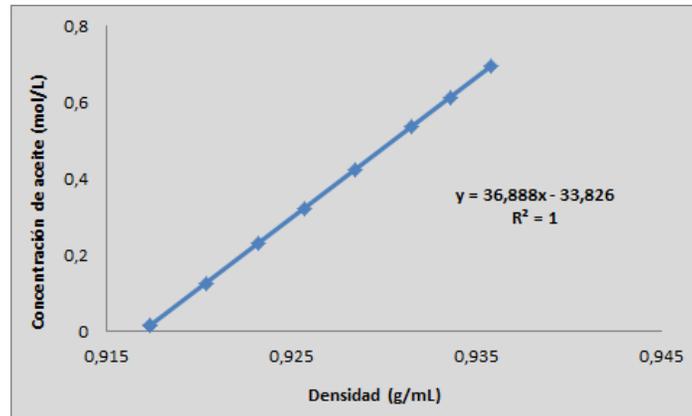


Fig. 3: Comportamiento de la concentración del aceite vs densidad

El modelo final diseñado y construido para la producción de biodiesel consta de un tanque de 5 litros de capacidad. Según Paul (2004), se debe dimensionar el tanque de agitación por encima al volumen del proceso; para ello se establecen los parámetros de dimensionamiento del prototipo reactor discontinuo. La descripción del reactor se representa en la figura 4, donde se muestra que se diseña la altura mayor al diámetro, para garantizar que el vórtice formado por la agitación no rebose los límites del reactor y de libertad de dirección de flujo.

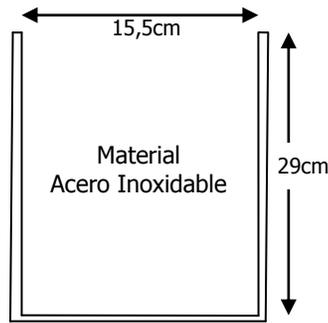


Fig. 4: Dimensiones del reactor discontinuo

Mientras que en el trabajo de Streeter *et al.* (2002), se establece que el tanque de agitación debe caracterizarse por ciertos parámetros de dimensionamientos como son: diámetro del impeler o impulsor, diámetro interno del tanque, altura del impeler, altura del nivel del líquido, ancho del impeler, los cuales se muestran en la Figura 5.

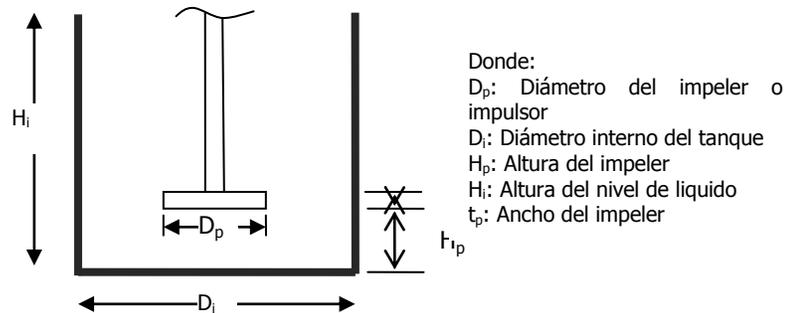


Fig. 5: Definiciones de dimensiones de tanques según Streeter *et al.* (2002)

Para la construcción del cono se consideró lo establecido por Acosta *et al.* (2008) en el cual se midió y calculó el diámetro del borde exterior del cilindro, con un ángulo de  $29^\circ$ . En la figura 6 se puede ver un esquema del fondo cónico.

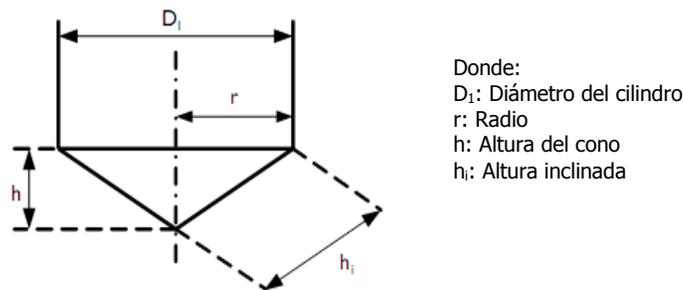


Fig. 6: Medidas del tanque y el cono diseñado

Para la agitación se escogió un motor de  $\frac{1}{4}$  hp, con variación de velocidad entre 200 y 400 rpm, lo cual satisface a la homogenización del proceso, y a su vez se evita la evaporación brusca del metanol que provoca pérdidas en el proceso. Además el modelo incluye una resistencia eléctrica de 1000 W para proporcionar calor a

la reacción, conectada a una termocupla y termóstato para controlar la temperatura de proceso. La salida del producto se realiza por una válvula ubicada en la parte inferior del reactor. En las Figuras 7a y 7b, se puede apreciar el esquema y la fotografía del diseño construido. Este reactor requiere de suministro de energía eléctrica para alimentar el motor y la resistencia eléctrica, y de agua como refrigerante para permitir condensación del metanol.

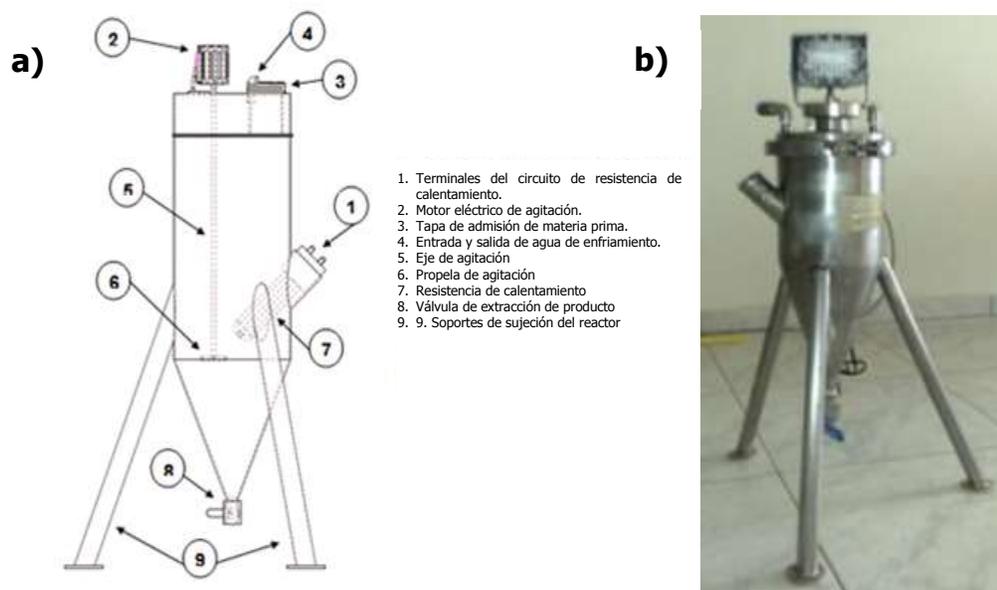


Fig. 7: Diseño de reactor b) Reactor para producción de biodiesel

En la Tabla 7 se puede observar las condiciones óptimas a las cuales opera el reactor discontinuo para la obtención de biodiesel a partir del aceite de tártago.

Tabla 7: Condiciones de operación del reactor discontinuo

T (°C)	P (atm)	Relación molar (Aceite: Metanol)	Tiempo de residencia (min)	Conversión óptima (%)	Volumen máx de entrada (l)
60	1	1:6	90	88	5

Una vez transcurrido el tiempo de reacción, se descargó el producto, colocándolo en un embudo de separación por 12 horas, para obtener la glicerina y el biodiesel por separados. Se procedió al lavado del biodiesel y se realizaron los análisis correspondientes.

En la Tabla 8 se observan los resultados obtenidos a partir del aceite de tártago y comparados con los estándares establecidos por el C.E.N. (Comité Europeo de Normalización) reflejados en la Norma EN 14214 aplicables al biodiesel. De igual forma se comparan estos valores, con los fijados por la norma vigente de los Estados Unidos de Norteamérica, ASTM D6751, que difieren ligeramente de la norma Europea. El punto de inflamación del biodiesel obtenido en este trabajo (120 °C) está dentro de lo establecido según la norma ASTM, que exige un mínimo de 130 °C para biocombustibles.

Por otro lado, la viscosidad y el índice de cetano reportados en la tabla 8 concuerdan con los resultados reportados por otros autores (Benavides *et al.*, 2007; Lozada & Velásquez, 2009). Un bajo valor de índice de cetano, significa una baja calidad de ignición y por consiguiente tiende a demorar el encendido del motor dificultando el arranque y a su vez emitir humo blanco en climas fríos es por ello que es necesario usar en este caso aditivos para mejorar su calidad. A su vez una alta viscosidad significa que el combustible es espeso y no puede fluir con facilidad, la medida para controlar los problemas de viscosidad es realizar una mezcla de combustibles, con el fin de disminuir la viscosidad cinemática y con ello permitir que se desplace sin dificultades. Para corregir esta propiedad se realizó una mezcla B-10 arrojando como resultado una viscosidad cinemática de 4.6mm<sup>2</sup>/s la cual cumple con las especificaciones de la Norma ASTM 6751 y la EN-14214. Por último, la densidad y las cenizas concuerdan con los resultados reportados por Benavides *et al.* (2007).

Tabla 8: Caracterización fisicoquímica del biodiesel obtenido

Propiedad	Valor	Normas	
		EN-14214	ASTM D6751
Punto de inflamación (°C)	120	-	130 mínimo
Viscosidad cinemática a 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	4,6	3,5 – 5	1,9 - 6
Índice de cetano	36.0	51	47 mínimo
Densidad a 15°C (g/ml)	0,876	0,860-0,90	-
Cenizas (% peso)	0,01	0,02 máximo	0,02 máximo

En resumen el biodiesel proveniente de semillas de ricino obtenido en el reactor, cumple con las normas internacionales para biodiesel y por tanto es apto para usarse como biocombustible.

## CONCLUSIONES

Las propiedades fisicoquímicas del aceite de *Ricinus communis* son apropiadas para realizar la transesterificación catalizada por un medio alcalino.

Se construyó un reactor discontinuo de acero inoxidable, apto para la reacción de transesterificación del aceite de tártago y el metóxido a escala de laboratorio, de 29 cm de longitud, diámetro interno de 15,24 cm y el fondo cónico de 20 cm de largo con ángulo de 29°, con un espesor de pared de 0,2 cm.

El reactor diseñado a prueba de banco, puede usarse en reacciones donde la temperatura sea inferior a 60 °C, y donde puede o no haber sustancias volátiles que se condensen con una circulación de agua.

La caracterización del biodiesel obtenido señala que el producto cumple con la mayoría de los estándares de calidad establecidos en las Normas ASTM D6751 y la EN-14214 por lo cual se considera apto para su producción.

## AGRADECIMIENTOS

A la Industria Metalúrgica Solve C.A., por su colaboración en la construcción del reactor. A los profesores Vanessa Molina, Alexander Colina y María Fals por sus aportes en el proyecto; pero especialmente a Guillermo Barreto por su entrega, dedicación y colaboración para la publicación de este trabajo.

## REFERENCIAS

1. Avellaneda, F. (2010). Producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal. Ph.D. Thesis, Departament d'Enginyeria Química, Universitat Rovira i Virgili. <http://www.tdx.cat/handle/10803/8588>.
2. Acosta, F., Castro, P. & Cortijo, E. (2008). Manual de Reactores. Cap. 2, pp. 7. Lima Soluciones Prácticas.
3. Benavides, A., Benjumea, P. & Pashova, V. (2007). El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diésel. *Dyna*, 74(153), 141-150.
4. Benjumea, P., Agudelo, J. & Cano, C. (2004). Estudio experimental de las variables que afectan la reacción de transesterificación del aceite crudo de palma para la producción de biodiesel. *Scientia et Technica*, 10(24), 169-174.
5. Blanco, L. (2004). Análisis comparativo del método de extracción del aceite en diferentes variedades de semilla de tártago (*Ricinus communis*) en Venezuela. Trabajo dirigido de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo.
6. Blangino, A. & Romano, S. (2004). Modelado y correlación de propiedades de biodiesel. *Anales de la Asociación Física Argentina*, 16, 93-97.
7. Chalita, R., Casalins, O., Harold, M. & Jiménez, M. (2007). Producción experimental de biodiesel a partir de la reacción de transesterificación catalítica del aceite de ricino. I Congreso Internacional de Materiales, Energía y Medio Ambiente (CIMEM). Barranquilla, Colombia. Universidad Autónoma del Caribe.
8. Chavéz, H. (2009). Observatorio Socialista, Nº 11, enero 2009.pdf, Aló presidente # 299.
9. COVENIN 328 (2001). Comisión Venezolana de Normas Industriales. Aceites y Grasas Vegetales. Determinación de cenizas. 3<sup>era</sup> revisión. Venezuela.
10. COVENIN 1156 (1979). Comisión Venezolana de Normas Industriales. Alimentos para animales. Determinación de humedad. Venezuela.
11. COVENIN 1195 (1980). Comisión Venezolana de Normas Industriales. Alimentos para animales. Determinación de nitrógeno. Método de Kjeldahl. Venezuela.
12. COVENIN 1194 (1979). Comisión Venezolana de Normas Industriales. Alimentos para animales. Determinación de fibra cruda. Venezuela.
13. COVENIN 3218 (1996). Comisión Venezolana de Normas Industriales. Alimentos para animales. Determinación de grasa libre. Venezuela.
14. Conceicao, M., Cadeia, F., Silva, A., Berra, V. & Fernandes, A. (2007). Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel. *Renew. Sustain. Energ. Rev.*, 11(5), 964-975.
15. Demirbas, A. (2007). Importance of biodiesel as transportation fuel. *Energy Policy*, 35, 4661-4670.
16. Lafort, J., Páez, M. & Portacio, A. (2010). Extracción y caracterización del aceite de la semilla (Almendra) del marañón (*Anacardium occidentale L.*). *Información Tecnológica*, 22(1), 51-58.

17. Lozada, R. & Velásquez, J. (2009). Transesterificación alcalí-catalizada del aceite de higuera. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 3 (6), 1-10. <http://revistas.upb.edu.co/index.php/investigacionesaplicadas/article/view/180/152>. 23/10/2013.
18. Mattil, K., Norris, F., Sxirton, A. & Swern, D. (2005). *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Interscience Publishers, New York.
19. Meneghetti, S.M.P., Meneghetti, M.R., Wolf, C.R., Silva, E.C., Lima, G.E.S., Silva, L.L. *et al.* (2006). Biodiesel from Castor oil: Comparison of Ethanolysis versus Methanolysis. *Energy & Fuels*, 20 (5), 2262-2265.
20. Ogunniyi, D. (2006). Castor oil: A vital industrial raw material. *Bioresource Technology*, 97 (9), 1086-1091.
21. Paul, E. (2004). *Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice*. A John Wiley & Sons, Inc., Publication
22. Rashid, U. & Anwar, F. (2008). Production of biodiesel through optimized alkaline – catalyzed transesterification of rapeseed oil. *Fuel*, 87 (3), 265-273.
23. Ruiz, R. (2006). Agricultura y biocombustibles. En: Seminario internacional agroenergía biocombustibles. 28 de julio, ODEPA. Santiago, Chile.
24. Scholz, V. & Da Silva, J.N. (2008). Prospects and risks of the use of castor oil as a fuel. *Biomass and Bioenergy*, 32 (2), 95-100.
25. Streeter, V., Wylie, B. & Bedford, K. (2002). *Mecánica de fluidos (9na edición)*. México D.F.: Editorial Mc Graw-Hill.
26. Zapata, P. & Mendoza, R. (2003). Obtención de un biocombustible mediante la transesterificación de aceite de palma con metanol. Trabajo dirigido de grado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

