

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR PILOTO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL A BASE DE ACEITE DE HIGUERILLA

Alex Fernando Díaz
Jennifer Alexandra Vaca

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte
Av. 17 de Julio 5-21, Ibarra-Ecuador
afdiazc@utn.edu.ec
javacaa@utn.edu.ec

RESUMEN

La presente investigación propone el diseño y construcción de un reactor para la producción de 25 litros de biodiésel a base de aceite de higuera, este reactor está equipado con tres tanques agitados de diferente volumen con la finalidad de llevar a cabo las tres etapas: Metóxido, transesterificación y separación de glicerina por separado. Este trabajo tiene como objetivo dimensionar los diferentes elementos y seleccionar los accesorios de los que está compuesta la máquina. Mediante los parámetros de diseño y cálculos matemáticos se determinó una capacidad volumétrica de 5 litros y una potencia del motor de 25 W para la agitación en el tanque de metóxido, para el reactor una capacidad de 31 litros con un motor de 60 W y para el tanque separación de glicerina una capacidad de 46 litros y equipado con un motor de 373 W cabe recalcar que se utilizó el acero AISI 304 para la construcción de los tres tanques que están equipados con un sistema de agitación mecánica constituido por un impulsor de 3 palas inclinadas debido a que generan en la mezcla flujos axiales y radiales. Finalmente, con el reactor tipo Batch se obtuvo un volumen de producción de 13 litros de biodiésel y una cantidad de 0.9 litros de glicerina obtenido mediante el proceso químico de transesterificación como sub producto de grasas vegetales, es decir, se aprovecha un 72% de la materia prima que interviene en el proceso de obtención de biodiésel a base de aceite de higuera.

Palabras clave: transesterificación, metóxido, biodiésel, glicerina.

ABSTRACT

The present investigation proposes the design and construction of a reactor for the production of 25 liters of biodiesel made from castor oil, the reactor is equipped with three agitated tanks of different volume in order to carry out the three staged: methoxide, transesterification and separation of glycerin separately. This work has the objective of sizing the different elements and selecting the accesses of which the machine is composed by means of the design parameters and mathematical calculations, a volumetric capacity of 5 liters and a power of the motor of 25 watts was determined for the agitation in the tank of methoxide, for the reactor a capacity of 31 liters with motor of 60 watts and for the tank separation of glycerin a capacity of 46 liters and equipped with a motor of 373 watts, it should be emphasized that the AISI 304 steel was used for the are equipped with a mechanical agitation system consisting of an impeller with 3 inclined blades due to the fact that they generate axial and radial flows in the mixture. Finally, with the batch reactor a production volume of 13 liters of biodiesel was obtained and an amount of 0.9 liters of glycerin obtained through the chemical process of transesterification as a by product of vegetable fats, is

72% of the raw material used in the process of obtaining biodiesel based on castor oil in used.

Keywords: transesterification, biodiesel, methoxide, glycerin.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación es el inicio para la ejecución y utilización de combustibles alternativos mediante el diseño y construcción de una máquina que facilite la obtención de biodiésel. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) establece que en el Ecuador hay un total de 1.717.885 vehículos de los cuales el 10.90% utilizan diésel como fuente de energía dejando como consecuencia un alto nivel de contaminación. La biomasa es la materia prima que se está adoptando como alternativa de combustible para vehículos diésel debido a su biodegradabilidad lo cual conlleva a reducir el impacto ambiental que generan los derivados del petróleo.

En la fundamentación teórica se hace referencia a la materia prima que interviene en la producción del biodiésel, así como sus características y propiedades, además se detalla los tipos de reactores más utilizados para dicho proceso y los diferentes tipos de agitación que se pueden generar en el tanque de metóxido, reactor y tanque de separación de glicerina, para determinada acción se realiza una selección del tipo de impulsor más adecuado basado en las propiedades de los fluidos a mezclarse.

Una vez establecido el tipo de reactor a utilizar por medio de una tabla de selección, se procede a la ejecución de los cálculos matemáticos mediante los cuales se puede determinar: volumen, altura y diámetro de los tanques agitados, así como la selección de motores y resistencias calefactables implementadas en el reactor y tanque de separación de glicerina, posteriormente con el estudio del comportamiento tanto de la mezcla como de la agitación del fluido en el interior de los tanques de agitación, finalmente se realiza la construcción de la máquina

previo al diseño establecido. Dicha máquina está equipada con un tablero de control el cual ayuda a la monitorización de variables como: Temperatura, velocidad y tiempo de agitación que intervienen en cada uno de los tanques.

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento, se obtiene como resultado que la simulación de los fluidos en el interior de los diferentes tanques que componen la máquina se considera semejantes a la agitación obtenida en la realidad, además de verificar que, durante el proceso de agitación, el fluido no se derrama por la parte superior del tanque cuando éste trabaja a su máxima capacidad además de comprobar que no existen fugas en las uniones soldadas de dichos tanques.

Como parte final se redactan las conclusiones y recomendaciones de todo el trabajo de agitación y mezcla de fluidos. En los anexos se muestra información técnica relacionada a las características de la materia prima, así como información relevante del cálculo y selección de los elementos que forman la máquina y sus respectivos planos tanto del conjunto como de partes.

II. PROPUESTA.

2.1 Selección del reactor.

Para realizar el proceso de producción de biodiésel a base de aceite de higuera se realizó la comparación de dos tipos de reactores los cuales son los más utilizados para dicho proceso y se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Selección del reactor.

Variables	Reactor discontinuo o Batch		Reactor continuo	
Volumen de producción	Bajo	4	Alto	3
Costo de producción	Bajo	4	Alto	2
Construcción	Simple	4	Específico	2
Sistema de control	Sencillo	4	Avanzado	3
Supervisión	Personalizada	2	Elementos electrónicos	4
Seguridad	Alta	4	Baja	2
Operaciones multiproducto	Diferentes productos en el mismo equipo	4	Producto específico	2
Costo de operación	Alto	3	Bajo	4
Total		29		22

Después de realizar el estudio de alternativas que presentan los dos reactores que muestra la tabla 1, se selecciona como mejor alternativa diseñar y construir el reactor tipo discontinuo o Batch el cual cumple con los requerimientos necesarios para la producción de biodiésel.

2.2 Proporciones de elementos químicos para la producción de biodiésel.

Para la producción de biodiésel a base de aceite de higuera se procede a realizar las mediciones de los reactantes químicos tanto para el tanque de metóxido como para el reactor tomando como referencia las siguientes proporciones de cada uno de los elementos químicos.

- ✓ Por cada litro de aceite de higuera se utiliza 0.2 litros de metanol.
- ✓ Por cada litro de aceite de higuera se utiliza 5 gramos de hidróxido de sodio (NaOH).

Tomando en consideración las proporciones descritas anteriormente se utilizará 15 litros de aceite de higuera y se procede a calcular la cantidad de hidróxido de sodio

y metanol para el tanque de metóxido. Siendo estas las siguientes:

- ✓ Se utilizó 75 gramos de hidróxido de sodio (NaOH).
- ✓ Se utilizó 3 litros de metanol.

2.3 El proceso de producción de biodiésel da inicio en el tanque de metóxido, como se describe a continuación:

1. Se ingresa un volumen de 3 litros de metanol.
2. Se calibra el temporizador para un tiempo de 20 minutos.
3. Se agrega 75 gramos de hidróxido de sodio (NaOH) sobre el metanol que se encuentra previamente agitado.
4. Se establece la velocidad de giro mediante el variador a 200 rpm.

Antes de dar paso al proceso de transesterificación se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se vierten 15 litros de aceite de higuera puro en el reactor.
2. Se configura el controlador de temperatura a 30° C.
3. Se fija la velocidad de rotación en el variador a 100 rpm.
4. Se programa el temporizador para un tiempo de 30 minutos, tiempo que durará la homogenización de la temperatura en todo el volumen de aceite de higuera.
5. Una señal sonora y visual se activará con el fin de indicar la culminación de la etapa de homogenización del aceite de higuera y poder dar paso al proceso de transesterificación.
6. Para realizar el proceso de transesterificación el cual se lleva a cabo en el reactor se procede a activar la llave de paso que se encuentra ubicada entre el tanque de metóxido y reactor con el fin de dejar fluir el metóxido y mezclarse con el aceite de higuera.
7. Se eleva la temperatura a 50° C.

8. Se incrementa la velocidad de agitación a 200 rpm.
9. El proceso de transesterificación se mantiene en las condiciones anteriormente descritas por un lapso de tiempo de 3 horas previamente programado en el temporizador.

2.4 Etapa de separación glicérica:

1. Para realizar la etapa de separación glicérica se abre la llave de paso que se encuentra ubicada entre el reactor y el tanque cónico para dejar pasar todo el producto de la transesterificación que se encuentra en el reactor.
2. Para la separación glicérica se deja reposar el producto de la transesterificación en el tanque cónico por un tiempo aproximado de 9 días.
3. Una vez transcurrido el tiempo de 9 días se puede diferenciar claramente que la glicerina se ha separado del biodiésel, debido a la diferencia de densidades.
4. Una vez realizada la separación se procede a extraer la glicerina por medio de la llave de paso que se encuentra ubicada en la parte inferior del tanque cónico.

2.5 Etapa del lavado y secado del biodiésel.

1. Una vez concluido la etapa de extracción de glicerina del tanque cónico se procede al lavado del biodiésel en el mismo tanque con la finalidad de purificar y eliminar posibles restos de alcohol y glicerina inmersos en el biodiésel. Es necesario tomar en consideración que el lavado se realiza agregando el 50% de agua del volumen del biodiésel presente en el tanque.
2. Se da inicio programando el tiempo de agitación del motor en el temporizador de 5 minutos, el cual se encuentra ubicado dentro de la caja de control.
3. Se inicia presionando el pulsador color verde que se encuentra en la parte derecha superior del tablero denominado T. Separación glicérica, a una

velocidad de agitación de 100 rpm o 26Hz que se puede configurar desde la pantalla del variador.

4. Se inicia presionando el pulsador color verde que se encuentra en la parte derecha superior del tablero denominado T. Separación glicérica, a una velocidad de agitación de 100 rpm o 26Hz que se puede configurar desde la pantalla del variador.
5. Con la finalidad de obtener un biodiésel libre de agua se realiza el procedimiento de secado a una temperatura de 100°C la cual ayuda a evaporar toda el agua de la etapa de lavado, esta acción se lleva cabo por un tiempo de una hora dicha acción se realiza por una resistencia eléctrica ubicada en la parte interior e inferior del tanque.
6. Tomando en cuenta que dicho proceso de lavado y secado se debe realizar 5 veces para asegurar que el biodiésel esté libre de residuos de agua.

III. RESULTADOS.

Para el desarrollo del presente capítulo de resultados obtenidos se tomó en consideración el diseño preliminar y simulación de elementos tanto fijos como móviles realizados en el software SolidWorks. Esta herramienta computacional de diseño tiene como finalidad proyectar de manera real el comportamiento dinámico de las diferentes partes que intervienen en la máquina, y así garantizar de esta manera el correcto funcionamiento.

3.1. Simulación y construcción de la máquina.

Para la construcción de la máquina se desarrolló un diseño previo con las características, requerimientos y materiales de los diferentes elementos que intervienen en la producción de biodiesel, los cuales fueron realizados en el software SolidWorks con el objetivo de simular el diseño final de la máquina, cabe recalcar que los accesorios como; motores, pernos, tuercas, tubería y llaves de paso son seleccionadas previamente de un sitio web enlazado con el programa SolidWorks llamado 3D Content el diseño final se muestra en la figura 1.

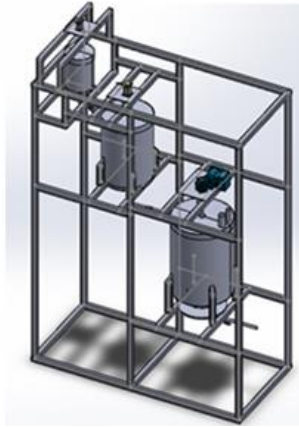


Figura 1. Diseño

3.2 Simulación del fluido y comparación de la agitación real en el tanque de metóxido.

Para la realización de la simulación del fluido en el tanque de metóxido el programa SolidWorks requiere de algunos valores de los elementos que intervienen en la mezcla como:

Tabla 2. Elementos que intervienen en la mezcla.

ELEMENTOS	VALORES
Densidad del metanol	790 kg/m ³
Densidad hidróxido de sodio	2.1 g/cm ³ .
Volumen de llenado	5 L.
Velocidad de agitación	200 rpm.
Temperatura	20°C.
Fluidos a mezclarse	Metanol e hidróxido de sodio
Régimen de flujo	Turbulento.

Una vez establecidos los parámetros se procede a realizar la simulación obteniendo el siguiente resultado como se muestra la figura 2.

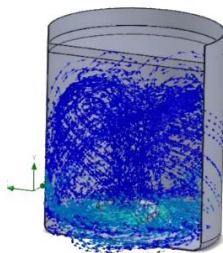


Figura 2. Simulación del fluido.

Como se puede observar en la figura 2, el fluido es agitado de manera radial y axial en dirección al eje del impulsor, desde el fondo del tanque hasta la parte superior observando de esta forma que existe mezcla entre el metanol e hidróxido de sodio.

Bajo estas condiciones de simulación se procedió a la construcción del tanque de metóxido obteniendo el siguiente resultado real como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Mezcla tanque de metóxido.

Como se puede visualizar en la figura 3, el movimiento del fluido se asemeja al movimiento obtenido en la simulación anteriormente detallado, cabe recalcar que el tanque de metóxido no está a su máxima capacidad como se estableció en la simulación, pero tiende a seguir la misma trayectoria.

3.3 Simulación del fluido y comparación de la agitación real en el reactor.

Para la realización de la simulación del fluido en el reactor el programa SolidWorks requiere de algunos valores de los elementos que intervienen en la transesterificación como:

Tabla 3. Elementos que intervienen en la transesterificación.

ELEMENTOS	VALORES
Densidad aceite de higuera	0.961 kg/m ³
Volumen de llenado	31 L
Velocidad de agitación	200 rpm
Temperatura	50°C
Fluidos a mezclarse	Aceite de higuera y metóxido
Régimen de flujo	Laminar y turbulento

Después de haber tomado en consideración los parámetros anteriormente detallados se obtuvo como resultado la siguiente simulación como se indica en la figura 4.

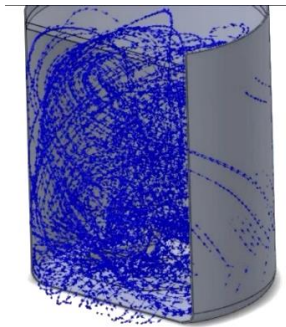


Figura 4. Simulación reactor.

Tomando en consideración la figura 4, se puede notar que la trayectoria del fluido inicia desde el fondo del tanque hacia las paredes y parte superior del mismo mostrando que existe mezcla.

Una vez conocido el comportamiento de los fluidos a mezclarse por medio de la simulación se procedió a llevarlo a la práctica obteniendo el siguiente resultado, tomando en consideración que se realizó la prueba de funcionamiento con 18 litros de fluido como indica la figura 5.



Figura 5. Transesterificación reactor.

Haciendo referencia a la figura 5, se puede demostrar que el fluido toma la misma trayectoria descrita en el software con lo cual se garantiza que existe mezcla entre los fluidos en el proceso de transesterificación.

3.4 Simulación del fluido y comparación de la agitación real en el tanque de separación glicérica de lavado y secado.

En la simulación del tanque de separación glicérica se realizó una variante en lo referente a los impulsores, ya que este tanque es de forma cónica y tiene una altura mayor en referencia a los tanques anteriores, por lo cual se realizó la simulación con doble impulsor montados en un mismo eje como se ilustra en la figura 6.

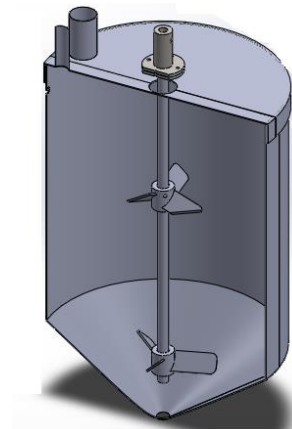


Figura 6. Tanque doble impulsor.

Para dar inicio a la simulación en el tanque cónico de separación glicérica de lavado y secado se procede a ingresar valores que requieren el software como se describe a continuación:

Tabla 4. Elementos que intervienen en el lavado del biodiésel.

ELEMENTOS	VALORES
Densidad del biodiésel	900kg/m³
Densidad del agua	1000kg/m³
Volumen de llenado	46,5 L
Velocidad de agitación	100 rpm
Temperatura	100°C
Régimen de flujo	Laminar y turbulento

Una vez realizada la simulación en el software SolidWorks se obtiene como derivación el movimiento que toman los fluidos como se muestra en la figura 7.

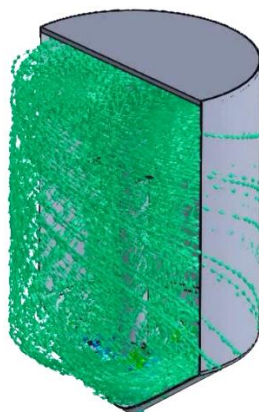


Figura 7. Simulación tanque cónico.

Analizando la figura 7, se puede mostrar que el fluido inicia su agitación desde la parte final del cono hacia la parte superior de forma espiral sin causar remolinos debido a su doble impulsor además se puede observar que el fluido no se derrama por la parte superior y existe mezcla.

Después de obtener la trayectoria que toma el fluido en el tanque cónico por medio de la simulación se realiza la construcción de dicho tanque, con las variantes preestablecidas en el diseño y se realiza la prueba de funcionamiento con un volumen total de 27 litros de fluido como se muestra en la figura 8.



Figura 8. Lavado del biodiésel.

Como se ilustra en la figura 8, se comprueba que el fluido se comporta de manera similar al obtenido en la simulación teniendo como resultado real una agitación adecuada para el proceso de lavado, considerando que el volumen utilizado para esta prueba de funcionamiento fue de 27 litros.

3.5 Volumen obtenido de biodiésel.

Para la obtención de biodiésel se utilizó como materia prima los siguientes elementos y sus cantidades respectivas como indica la tabla 4.

Tabla 5. Materia prima.

Materiales	Cantidad
Aceite de higuera	15 litros
Metanol	3 litros
Hidróxido de sodio(NaOH)	75 gr
Agua	45 litros

Una vez realizado el proceso de producción de biodiésel en sus diferentes etapas y bajo los parámetros establecidos anteriormente detallado se obtuvieron los siguientes volúmenes de producción.

- Volumen total de biodiésel de 13 litros.
- Volumen obtenido de glicerina 0.9 litros.



Figura 9. volumen de biodiésel.

Es decir que del 100% de la materia prima que interviene en el proceso de metóxido y transesterificación se aprovecha un 72%.

IV. CONCLUSIONES

- a. Mediante investigaciones previas se puede determinar las variantes que intervienen en el proceso de producción de biodiésel como, la velocidad de agitación se encuentra entre 100 rpm a 200 rpm, la temperatura entre 30 °C a 50 °C y tiempo de agitación de 20 minutos para el proceso de metóxido y para la transesterificación 3 horas

- b. Los sistemas de agitación de los diferentes tanques están equipados por un agitador de 3 palas inclinadas, los cuales generan flujos radiales y axiales que evitan que se formen sedimentos en el fondo del tanque logrando así obtener un mejor resultado en la mezcla.
- c. Para la construcción de los tanques que intervienen en los procesos de producción de biodiésel, así como la tubería e impulsores se seleccionó el acero inoxidable AISI 304 por su resistencia a la mezcla de metanol e hidróxido de sodio elementos químicos altamente corrosivos, que la lámina de acero inoxidable tiene un espesor de 1.5 mm, debido a esto la soldadura se puede realizar sin ningún problema.
- d. Con las cantidades establecidas de materia prima que intervienen en la producción de 13 litros de biodiésel se aprovecha un 72% del total y no existe mayor desperdicio en la materia prima utilizada para la producción de biodiésel.
- e. La higuera tiene independencia energética ya que la planta se desarrolla y crece en forma de maleza en tierras marginales sin comprometer campos destinados a la producción de alimentos.
4. Beyer, W. (1987). *Manual de Química Orgánica*. En W. Bayer. Barcelona: Reverté.
5. Böhler thyssen soldaduras. (2006). *UTP*. Obtenido de http://www.shimaweld.com/manuales/manual_utp_espanol.pdf
6. Castillo, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. Chile: Universidad del Bío-Bío (tesis).
7. Cengel, Y., & Boles, M. (2008). *Termodinámica*. México: Mc Graw Hill.
8. Coronel, J. (2014). *Diseño y construcción de un reactor tipo batch*. Quito: SEK (Tesis).
9. Cuevas, R. (01 de Septiembre de 2009). *Introducción a los reactores químicos*. Obtenido de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IntroReactores_10564.pdf
10. K., & James, T. (1990). *Introducción a la teoría de los reactores químicos*. México: Limusa.
11. Eured. (Miércoles de Septiembre de 2017). *Eured*. Obtenido de http://www.eured.cu/Hodróxido_de_Sodio
12. Gieck, K., & Gieck, r. (2003). *Manual de fórmulas técnicas*. México: Alfaomega.
13. Gunt . (2017). *Equipos para la educación en ingeniería*. Obtenido de <http://www.gunt.de/es/productos/hidraulica-para-ingenieros-civiles/fundamentos-de-mecanica-de-fluidos/flujos-en-tuberias/friccion-de-tubo-en-un-flujo-laminar-turbulento/070.15001/hm150-01/glct-1:pa-150:ca-176:pr-548>

REFERENCIAS.

1. Aceites10. (2016). *Aceites 10*. Obtenido de <http://aceites10.com/ricino/>
2. Ahmad, K., & etal. (2013). *Practical Handbook on Biodiesel Production and Properties*. Estados Unidos: Taylor & Francis Group.
3. Altair, H. (8 de Marzo de 2016). *Slide Share*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/hugaltair/reactores-discontinuos>
14. Hackenberg, N. (2011). *Biocombustibles de segunda generación*. Obtenido de <http://www.arbolesymedioambiente.es/bios-segunda-generacion.html>

- 15.Link Industrial. (2011). *Process Engeneering Equipment*. Obtenido de <http://www.linkindustrial.es/web/es/productos/agitadores-industriales/impulsores/helice-marina/>
- 16.Lombeida, N. (2015). *Diseño de un reactor tipo Batch para la obtención de biodiesel a partir de aceite de ricino*. Quito: EPN Tesis.
- 17.McCabe, W., & etal. (2007). *Operaciones unitarias ingeniería química*. España: Mc Graw Hill.
- 18.Megyesy, E. (1992). *Manual de recipientes a presión*. México: Lumisa.
- 19.Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson Educación.

BIOGRAFÍA AUTORES.

Alex Fernando Díaz Castillo, estudios secundarios Instituto Tecnológico Superior Central Técnico, obtuvo el título de Ingeniero en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte.

Jennifer Alexandra Vaca Andrade, estudios secundarios Colegio Mena de Hierro, obtuvo el título de Ingeniera en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte.