

Automatización de prototipo para producir biodiesel a partir de aceite de coco del Estado de Guerrero

TORRES-Felipe†*, MONTES-Azucena, MOTA-Juan, OCAMPO-Víctor.

Universidad de Guanajuato.

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tlalpan.

Universidad Politécnica del Estado de Guerrero.

Recibido: Agosto, 22, 2017; Aceptado febrero 9, 2018

Resumen

El biodiesel es un biocombustible que ha tenido un gran auge alrededor del mundo debido a su similitud al Diesel de petróleo, con las ventajas de aspecto ecológico que lo caracterizan. Para obtener biodiesel se necesitan tres materias primas: aceite de origen vegetal o grasa animal, alcohol y catalizador; el alcohol comúnmente usado es metanol o etanol, como catalizador se emplean hidróxido de potasio (KOH) o sosa caustica, llamada también hidróxido de sodio (NaOH). El estado de Guerrero ha sido durante varios años el principal productor de copra a nivel nacional. El aceite de coco obtenido de la copra puede ser convertido a biodiesel. El proceso secuencial de convertir el aceite de coco a biodiesel es desarrollado en un prototipo automatizado a través de dispositivos de control e instrumentación que considera las características físico-químicas de las materias primas utilizadas. Las pruebas de funcionamiento del prototipo muestran que el biodiesel obtenido cumple con las especificaciones de las normas internacionales.

Palabras clave: Biodiesel, Automatización, Aceite de Coco.

Abstract

Biodiesel is a biofuel with great boom around the world due to be similar to conventional diesel with benefits on environmental topics. Biodiesel can be obtained from three raw materials: vegetal-oil, alcohol and catalizer. Alcohol commonly used is methanol or ethanol; catalyzer could be potassium hydroxide (KOH) or sodium hydroxide (NaOH) known as caustic soda. Guerrero has been the main copra producer in Mexico during a long time. The coconut oil can be transformed to biodiesel through a sequential process. This process is implemented on an automated prototype by means of instrumentation and control devices considering the physical and chemical characteristics of the used materials. Operation essays show that the obtained biodiesel from this automated prototype complies with the international specifications.

Keywords: Biodiesel, Automation, Coconut oil.

Citación: TORRES-Felipe†*, MONTES-Azucena, MOTA-Juan, OCAMPO-Víctor. Automatización de Prototipo para Producir Biodiesel a partir de Aceite de Coco del Estado de Guerrero. Foro de Estudios sobre Guerrero. 2019, Mayo 2018 - abril 2019 Vol. 6 No. 1 803 - 812

*Correspondencia al Autor ; fdj.torres@ugto.mx

† Investigador contribuyendo como primer autor.

I. Introducción

Los motores de combustión interna, se pueden clasificar de acuerdo al tipo de encendido: por chispa, o por compresión (Aguilar et al., 2006). El motor de combustión por compresión, también conocido como motor Diesel, tiene un amplio campo de aplicación, como es el caso de la generación eléctrica, la propulsión marina, etc. Sin embargo, su mayor utilización se aprecia en el sector de la automoción, en específico en el transporte de carga pesada y ligera. Contribuyendo, en gran medida, en las emisiones de dióxido de carbono CO_2 que se vierten a la atmósfera, siendo éste uno de los problemas de contaminación que más afecta al medio ambiente, causante del llamado efecto invernadero y por ende, del calentamiento global.

A nivel mundial se visualiza un eminente agotamiento de los combustibles fósiles, tales como los derivados del petróleo y el gas natural. Ante esta situación un gran número de países han intensificado sus esfuerzos por generar fuentes de energía renovables, que permitan un incremento en la seguridad del abastecimiento energético, y a su vez, disminuir el impacto al medio ambiente. De esta manera, se gestó la posibilidad de un combustible alternativo al Diesel de petróleo, originándose a partir de aceites vegetales y/o grasas animales.

A este Diesel alternativo se le ha llamado biodiesel, el cual es biodegradable, no tóxico y emite menor cantidad de gases contaminantes en comparación con el Diesel de petróleo (Meher et al., 2006).

La idea de utilizar aceites de origen vegetal como combustibles en los motores de compresión se remonta a los orígenes del motor Diesel, cuando el científico alemán Rudolf Diesel presentó en 1900 su motor de compresión funcionando con aceite de cacahuete. Dentro de los cultivos agrícolas que ofrece el segundo mejor rendimiento de producción de aceite por hectárea sembrada es la copra, la cual se obtiene de la fruta de la *palma de coco (cocos nucífera)*. En la Tabla 1 se aprecia esta información].

Planta	Kg de aceite/hectárea sembrada
Maíz	145
Algodón	273
Caña	305
Soya	375
Linaza	402
Mostaza	481
Girasol	800
Cacahuete	890
Colza	1000
Ricino	1188
Jojoba	1528
Coco	2260
Palma	5000

Tabla 1. Rendimiento en Kg de aceite por hectárea sembrada. *Elaboración propia.*

Bajo este contexto, el estado de Guerrero es y ha sido durante muchos años el principal productor de copra a nivel nacional. Datos recabados del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en 2015 Guerrero produjo el 79.96% de la copra en México. En 2016, Guerrero aportó el 80.6% de la producción nacional de copra (SIAP, 2017). Por tanto, Guerrero se aprecia como un potencial productor de biodiesel a partir de aceite de coco.

El objetivo de este artículo es mostrar la obtención de biodiesel a partir de aceite de coco del estado de Guerrero. El biodiesel obtenido a través de un prototipo automatizado que ha sido diseñado, construido y probado de manera satisfactoria, cumple con los estándares internacionales.

El documento ha sido estructurado de la siguiente manera: en la sección II se aborda de manera general la definición de biodiesel; experimentación a nivel de laboratorio para la obtención de biodiesel, utilizando diversos aceites de origen vegetal, incluido el aceite de coco del estado de Guerrero es mostrada en la sección III; las consideraciones del diseño físico son presentadas en la sección IV; en la sección V se expone la automatización del proceso de producción de biodiesel; los resultados de las pruebas de funcionamiento del prototipo son mostrados en la sección VI; por último, en la sección VII se presentan las conclusiones del trabajo realizado.

II. Generalidades del biodiesel

A. Definición.

Los aceites vegetales usualmente contienen ácidos grasos libres, fosfolípidos, esteroides, agua y otras impurezas. A causa de esto, el aceite no puede ser usado directamente como combustible en el motor. Para solucionar estos problemas el aceite requiere una modificación química realizada principalmente por transesterificación, pirólisis o emulsificación. Entre ellas, la transesterificación es el proceso más común para producir un combustible a partir de aceite vegetal, que sea limpio y no ocasione daños ambientales.

La ASTM (American Society for Testing and Material) define al biodiesel de la siguiente manera (Van Gerpen et al., 2006) y (Camús y Laborda, 2006):

Biodiesel, son ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales, y que se emplean en los motores de ignición por compresión (motores diesel).

B. Especificaciones.

Austria fue el primer país en el mundo en disponer de una norma para producir biodiesel (Meher et al., 2006).

Diversos países emitieron sus normas, entre ellos Alemania, Italia, Francia, República Checa, Estados Unidos y Argentina.

Una de las normas que más fue aceptada a nivel mundial fue la D-6751 propuesta por la ASTM en 1999. En el 2003, la Unión Europea definió la norma EN14214 imponiendo restricciones más fuertes en la calidad del biodiesel (Medina R et al., 2012). La Tabla 2 muestra los parámetros, métodos y valores límite de las normas ASTM D-6751 y la EN14214 (Medina R et al., 2012) y (Medina V et al., 2015).

PARAMETROS	UNIDA DES	LIMITE S		METODO S	
		ASTM D-6751	EN14214	ASTM D-6751	EN14214
Densidad a 15°C	g/cm ³	0.86 – 0.9	0.86 – 0.9	ASTM D1298	EN ISO 3675
Viscosidad a 40 °C	mm ² /s	1.9 – 6.0	3.5 – 5.0	ASTM D445	EN ISO 3104
Punto de Ignición	°C	≥ 120	≥ 100	ASTM D93	EN ISO 3679
Azufre	mg/kg	≤ 0.05 % peso	≤ 10	ASTM D2622	EN ISO 20846
Residuo de Carbón	% (m/m)	≤ 0.05 en muestra del 100%	≤ 0.3 en 10% de residuo destil	ASTM D189	EN ISO 10370
Número Cetano		≥ 51	≥ 47	ASTM D613	EN ISO 5165
Cenizas sulfatadas	% (m/m)	≤ 0.02	≤ 0.02	ASTM D874	ISO 3987
Agua	mg/kg	≤ 0.05% vol	≤ 500	ASTM D1796	EN ISO 12937
Contaminación total Corrosión Cobre (3h a 50 °C)	mg/kg	-	≤ 24	ASTM D130	EN ISO 2160
Estabilidad a la oxidación 110°C	Horas	15	6	ASTM D2274	EN 14112
Índice de ácido	mg KOH/g de g de	≤ 0.8	≤ 0.5	ASTM D664	EN 14104
Índice de yodo	yodo/10 0g	≤ 110	≤ 140	DIN 53241	EN 14111
Esterificación	%	≥ 98 envol	≥ 96.5 en peso	-	EN 14103
Metanol	% (m/m)	≤ 0.2	≤ 0.2	DIN 51608	EN 14110
Monoglicéridos	% (m/m)	≤ 0.8	≤ 0.8	DIN 51609	EN 14105
Diglicéridos	% (m/m)	≤ 0.2	≤ 0.2	DIN 51609	EN 14105
Triglicéridos	% (m/m)	≤ 0.2	≤ 0.2	DIN 51609	EN 14105
Glicerina libre	% (m/m)	≤ 0.02	≤ 0.02	ASTM D6584	EN 14105
Glicerina total	% (m/m)	≤ 0.24	≤ 0.25	ASTM D6584	EN 14105
Metales del grupo I	mg/kg	-	≤ 5	-	EN 14108
Metales del grupo II	mg/kg	-	≤ 5	-	EN 14538
Fósforo	mg/kg	0.001 % peso	≤ 10	ASTM D5951	EN 14107

Tabla 2: Especificaciones del Biodiesel. Elaboración propia.

III. Experimentación a nivel laboratorio

La experimentación a nivel laboratorio es importante para observar el comportamiento de las variables que intervienen durante la reacción de transesterificación, y con ello, establecer las consideraciones para el diseño físico y de control del prototipo.

A. Metodología.

De manera general se siguió el siguiente procedimiento para la realización de cada uno de los experimentos, independientemente de las variaciones hechas a los tipos de reactivos, cantidades de los mismos, temperatura de la reacción, etc.

1. Usar el equipo de protección personal.
2. Medir la cantidad de aceite necesaria y verterla a un recipiente.
3. Medir el alcohol y vaciarlo en otro recipiente. Evite el contacto con la piel y la inhalación.
4. Pesar el catalizador y añadirlo al alcohol. Este procedimiento se debe hacer rápidamente, puesto que la sosa es hidrosfópica. Evite el contacto con la piel.
5. Agitar la mezcla alcohol-catalizador hasta que este se disuelva completamente. Si se usa metanol, el resultado de la mezcla se denomina metóxido. Si etanol es usado, recibe el nombre de etóxido.
6. Agregar cuidadosa y lentamente, el metóxido al aceite, resbalándolo por la pared del recipiente y agitando durante la adición.
7. Agitar durante 20 minutos a la temperatura especificada.
8. Verter el producto de la mezcla aceite-metóxido, en un embudo de separación.
9. Dejar reposar durante 8 horas.
10. Separar los productos obtenidos de la reacción (biodiesel y glicerina) por decantación.
11. Medir la cantidad de cada uno de los productos obtenidos.
12. Determinar el número de pH del biodiesel.
13. Densidad del biodiesel.
14. Anotar la apariencia del biodiesel y la glicerina, así como las observaciones hechas durante el experimento.

B. Resultados de la experimentación a nivel laboratorio.

- La combinación alcohol-catalizador a utilizar, es metanol-sosa cáustica (NaOH).
- A altas temperaturas, 55–60 °C, existe una mayor producción en volumen de biodiesel.
- La intensidad de la agitación no es determinante en la formación de biodiesel. Solo es requerido mantener una mezcla homogénea de los reactivos.
- Las cantidades a usar, tomando el volumen de aceite como la cantidad base, son:
 - Metanol, 20% del volumen de aceite (ml).
 - Sosa cáustica, 0.4375% del volumen de aceite (ml).
- Es posible llevar a cabo el proceso de transesterificación a partir de aceite de cocina sin usar, coco, higuera y soya.
- En cada una de las pruebas que resultaron favorables en la separación de biodiesel y glicerina, se midió la densidad del biodiesel obtenido. En todos los casos, los niveles de densidad se encuentran dentro del intervalo especificado por las normas internacionales como la ASTM D-6751 y la EN1424, enunciadas en la Tabla 2.

En particular, se obtuvo biodiesel a partir de aceite de coco del estado de Guerrero en combinación con metanol y sosa cáustica.

IV. Diseño físico

Para realizar el diseño físico del prototipo, se tomaron en cuenta:

- a. Los resultados de la experimentación.
- b. Las propiedades físicas y químicas de los reactivos.
- c. Los rangos de control de las variables involucradas.
- d. El volumen total del producto de biodiesel que se desea producir.

A. Consideraciones generales.

- Tipo de proceso. El proceso de transesterificación que se llevará a cabo en el prototipo podrá considerarse por lotes (batch), aún si después del tiempo de reacción se trasfiere la carga del reactor a otro tanque para la separación de la glicerina y el biodiesel. Bajo esta característica, inmediatamente se puede iniciar una nueva carga.
- Tamaño del prototipo. Las características de los materiales de construcción, la instrumentación y los sistemas de control para su operación servirán de modelo (prototipo), en caso de que se desee reproducir el proceso a escala industrial. A nivel prototipo, el reactor tiene un diseño para una capacidad máxima de producción de biodiesel de ocho litros por lote.
- Suministro de las sustancias. A través de la acción de la gravedad se van a verter las sustancias que intervienen en la reacción, con esto, se anula el uso de un dispositivo de bombeo.
- Garantizar una buena separación de biodiesel y glicerina a una temperatura de reacción entre 55–60 °C. Esto conlleva a mantener la temperatura en el reactor dentro del rango especificado, mediante el uso de una resistencia eléctrica de calentamiento tipo banda.
- En particular, el *aceite de coco* tiene un punto de fusión de 23 °C, haciendo necesario un precalentamiento del aceite antes de ser incorporado al reactor.
- Observar la separación de biodiesel y glicerina a través de una mirilla.
- Disponer de metóxido ya preparado (mezcla metanol-sosa) en un recipiente.
- El material de construcción de los recipientes contenedores de aceite y metóxido, así como el reactor, es lámina de acero inoxidable de calibre 18 (espesor de 1.21 mm).
- La tubería por donde se trasfieren el aceite, el metóxido, la glicerina y el biodiesel, son de acero inoxidable tipo 304, de 3/8” de diámetro.
- Los dispositivos encargados de controlar el flujo de los fluidos, son válvulas solenoide de características particulares para el manejo de líquidos corrosivos, como lo es el metóxido.

En la Figura 1 se muestra el diseño general del prototipo, el cual fue realizado a través del software *SolidWorks*®.

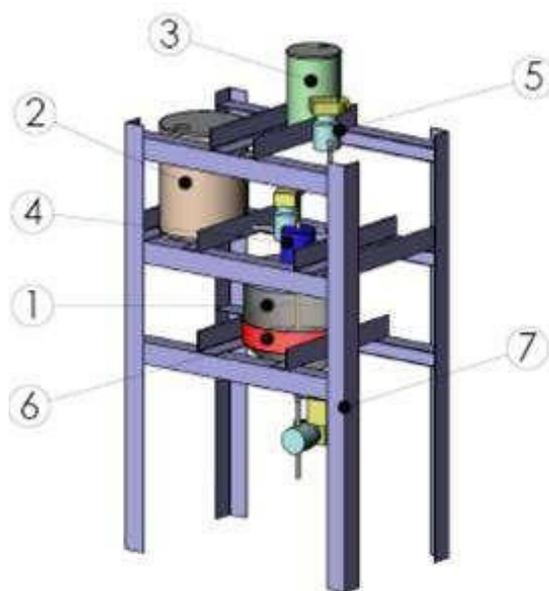


Figura 1. Diseño físico del prototipo para producir biodiesel. Elaboración propia.

Lista de componentes principales:

1. Reactor.
2. Recipiente contenedor de aceite.
3. Recipiente contenedor de metóxido.
4. Motor agitador.
5. Válvula solenoide.
6. Resistencia eléctrica de calentamiento.
7. Armadura de soporte.

V. Diseño de automatización**A. Instrumentación.**

El diseño para la automatización debía reunir diversos instrumentos de medición para censar variables como temperatura, tiempo, volumen de líquidos y separación de glicerina y biodiesel.

El gran reto de esta investigación ha consistido en automatizar el proceso de producción de biodiesel con un microcontrolador, el cual efectuaría las acciones de control con la ayuda de la instrumentación empleada:

- Microcontrolador: PIC16F877A. Unidad de control (Breijo, 2012).
- SFR05. Sensor ultrasónico de distancia.
- LM35. Sensor de temperatura.
- DS12CR887. Reloj de tiempo real.
- Sensor infrarrojo, armado manualmente.
- Componentes electrónicos como resistencias, capacitores, buffers, transistores, relevadores, triacs, etc.

B. Diagrama de flujo.

Las tareas que ejecuta el microcontrolador son las siguientes:

1. Verificar si la cantidad de aceite en el recipiente, es suficiente para realizar el proceso, de acuerdo al volumen que se haya establecido.
2. Verificar si es suficiente el volumen del metóxido en el recipiente.
3. Precalear el aceite a una temperatura especificada.
4. Verter aceite. Una vez alcanzada la temperatura de precalentamiento, tiene que empezar a vaciar el aceite hasta que se tenga el volumen deseado.
5. Verter metóxido. Terminado de agregar el aceite al reactor, se procede a verter el metóxido, el cual es a razón de 20% del volumen de aceite.

6. Agitación. Inicia una vez que haya concluido de verter el metóxido, y permanece agitando por 20 minutos.
7. Calentamiento. Se debe mantener la temperatura de la reacción en un intervalo, durante el tiempo de reacción.
8. Separación. Concluida la agitación, se dejan reposar en el reactor, a temperatura ambiente, los productos de la reacción de esterificación por un lapso de 8 horas, para asegurar la precipitación de la mayor cantidad de glicerina; sin embargo, 4 horas de reposo es suficiente.
9. Obtención de biodiesel. A un tiempo programado, se abre la válvula a la salida del reactor dejando pasar la glicerina. Cuando el sensor infrarrojo detecta que ha empezado a fluir biodiesel, manda cerrar dicha válvula e indica que es necesario hacer un cambio de recipiente para recibir el biodiesel. Después de 30 segundos vuelve a abrir la válvula permitiendo el flujo de biodiesel.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo utilizado para la programación del microcontrolador.

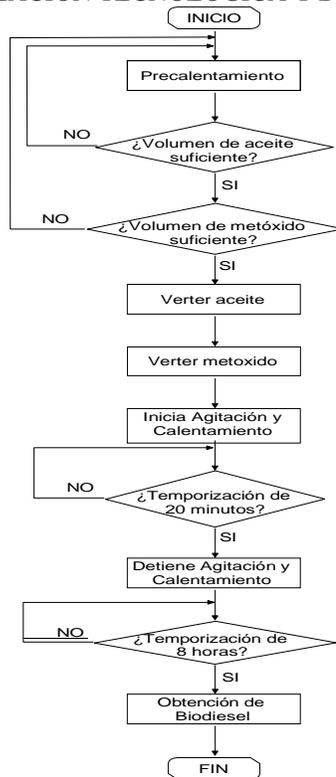


Figura 2. Diagrama de flujo para automatización del proceso de producción de biodiesel. Elaboración propia.

VI. Resultados y pruebas de funcionamiento

A. Construcción.

En una etapa inicial, se construyeron el reactor y los recipientes contenedores de aceite y metóxido.

La fabricación se hizo de acuerdo a la forma y dimensiones de diseño.

El siguiente componente en ser construido fue la armadura de soporte, con uniones soldadas en su mayoría, y en casos pertinentes, se usaron uniones con tornillos de cabeza hexagonal M6 x 25. La armadura fue pintada de color azul para dar una mejor presentación al equipo.

La colocación de los recipientes y el reactor en la armadura de soporte, permitieron definir las medidas de la tubería.

La tubería de acero inoxidable de 3/8", conecta a los recipientes de aceite y metóxido con el reactor, a través de válvulas solenoide del mismo diámetro de conexión.

El ensamble de los tramos de tubo con las válvulas es de manera roscada, por lo cual fue necesario hacer cuerda NPT a los tubos.

La resistencia eléctrica para el precalentamiento se instaló debajo del recipiente contenedor de aceite.

La resistencia tipo banda para el calentamiento de la mezcla reaccionante fue colocada alrededor del reactor.

El motor del agitador se acopló a un tramo de tubo de acero inoxidable, colocando en su extremo el agitador de paletas inclinadas. El motor quedó instalado sobre la parte central de la tapa del reactor.

Los sensores ultrasónicos de distancia, SFR05, fueron colocados en la parte central de las tapas de los recipientes de metóxido y aceite.

El sensor de temperatura LM35, utilizado en la etapa de precalentamiento del aceite, fue instalado en la parte central, por el interior del recipiente contenedor de aceite, a 3 cm del fondo.

El sensor LM35, empleado en la etapa de calentamiento de la mezcla reaccionante, fue colocado a 3 cm de la pared interior del reactor, a 24 cm de la tapa del reactor.

El sensor infrarrojo para detectar el flujo de glicerina y biodiesel, se montó sobre un tubo de acrílico instalado a la salida de la válvula solenoide que conecta con la salida del reactor.

La placa electrónica y su conexión con todos los dispositivos que lo requerían, como las válvulas solenoide, resistencias eléctricas y el motor del agitador.

Para ofrecer una presentación del prototipo, que fuera interesante para el usuario, se construyó una caja de acrílico que contenía la placa electrónica, y sobre su tapa, un tablero a colores que indica los componentes del prototipo, sobre el que, mediante señales luminosas, se podrá visualizar todas y cada una de las etapas programadas durante la producción de biodiesel y glicerina (Querini, 2006).

El aspecto general del prototipo construido, es presentado en la Figura 3.



Figura 3. Apariencia física del prototipo construido. Elaboración propia.

B. Funcionamiento del prototipo.

Se realizaron diferentes pruebas de funcionamiento del prototipo construido, variando las condiciones de operación y volúmenes de producción de biodiesel.

Las pruebas de funcionamiento deben dar evidencia que se estén realizando cada una de las etapas del proceso de producción de biodiesel de acuerdo al diagrama de flujo establecido. Además, se deben obtener resultados favorables en relación a las especificaciones detalladas anteriormente.

De esta manera, los pasos que se verificaron en cada una de las pruebas fueron:

- Comprobar la etapa de evaluación denominada: *falta de aceite y/o metóxido*.
- Con los volúmenes necesarios de aceite y metóxido, arrancar la prueba accionando el interruptor de inicio.
- Verificar lo siguiente, de acuerdo a las etapas del proceso:
 - Iniciar con la etapa de *Pre calentamiento*, observar en el multímetro que la temperatura se encuentre en el rango de 40-41°C.
 - Cuando alcance la temperatura deseada, pasará a la etapa de *Vertiendo el aceite* y encenderá el led correspondiente.
 - Continuará con *Vertiendo el metóxido*.
 - *Agitación y Calentamiento* se activarán al mismo tiempo.
 - Visualizar en el cronómetro que el tiempo agitación sea de 25 minutos.
 - Cumplido los 25 minutos, empezará la *Separación*.
 - A los 3 minutos, se abrirá la válvula de la mirilla, para observar la precipitación de la glicerina.
 - Después de 4 horas de estar en reposo, se abrirá la válvula a la salida del reactor. Se estará drenando la glicerina.
 - Cuando cense que ha pasado toda la glicerina, se iluminará el led de *Cambio de recipiente*.
 - Cambiar de recipiente para contener al biodiesel producido. A partir de estar drenando el biodiesel, el led de cambio de recipiente parpadeará, haciendo la indicación de que el proceso ha concluido, por tanto se debe apagar el interruptor de inicio.

Se hicieron un total de 5 pruebas de funcionamiento: una de ellas, utilizando aceite de soya; tres pruebas con aceite de coco producido en el estado de Guerrero; por último, una prueba con aceite de higuierilla. Ver Tabla III.

P b a	Aceite (ml)	Alcohol (ml)	Cataliz ador (g)	Producto obtenido		Densid ad	pH	Te mp °C
				Biodiesel (ml)	Glicerina (ml)			
1	Soya, 3000	Metanol, 600	Sosa, 13.125	3180	360	0.88	9.5	59 - 60
2	Coco, 3000	Metanol, 600	Sosa, 13.125	3080	400	0.875	"	44 - 45
3	Coco, 3000	Metanol, 600	Sosa, 13.125	3160	405	"	"	58 - 60
4	Coco, 4000	Metanol, 800	Sosa, 17.5	4400	530	"	"	40 - 42
5	Higuier illa 4000	Metanol GT, 800	Sosa, 17.5	4350	500	0.88	"	48 - 50

Tabla III. Pruebas de funcionamiento del prototipo automatizado de producción de biodiesel. *Elaboración propia.*

C. Pruebas al biodiesel obtenido.

Se llevó a cabo una prueba usando biodiesel al 100%, en un motor diesel de un camión urbano de transporte público en la ciudad de Acapulco, Guerrero, México.

El biodiesel que se utilizó en esa prueba fue producido a partir de aceite de coco en el prototipo automatizado construido.

El motor diesel en donde se realizó la prueba, es un motor Perkins fase 2 del año de 1984. Es cierto que no es recomendable usar biodiesel al 100% en motores anteriores de 1995, por desgastes de las juntas, manguillos, y demás componentes de caucho; sin embargo, estos daños se presentan en un uso continuo del motor con biodiesel al 100% a un tiempo prolongado.

La prueba se efectuó durante 1 hora, observando:

- Arranque correcto del motor.
- Menor número de revoluciones, con respecto al funcionamiento del motor con diesel de petróleo.
- El sonido del motor bajó de intensidad.
- El humo en el escape fue casi incoloro.

VII. Conclusiones

Es posible producir biodiésel a partir de aceite de coco del estado de Guerrero en un prototipo automatizado por un microcontrolador. Más aún, el biodiesel obtenido cumplió con los valores de densidad y pH establecidos en las normas internacionales.

Las cantidades mínimas necesarias de aceite, metanol y sosa cáustica, encontradas en la etapa de experimentación, fueron las usadas, de manera proporcional, en el prototipo construido, consiguiendo llevar a cabo de manera satisfactoria la producción y separación de biodiesel y glicerina.

La experimentación estableció las consideraciones para el diseño físico del prototipo, permitiendo un buen funcionamiento de éste. La forma cilíndrica de los recipientes contenedores de aceite y metóxido, hace posible determinar, con una incertidumbre de 53 y 17 ml, el volumen necesario de aceite y metóxido respectivamente, que es incorporado al reactor. El material de acero inoxidable no presenta ninguna reacción con la sosa cáustica, además mantiene limpio el aceite, sin contaminarse por oxidación del metal.

El precalentamiento del aceite es importante no solo para asegurar el estado líquido del aceite de coco, sino también para especificar una temperatura inicial de la reacción de transesterificación. La resistencia eléctrica para el calentamiento de la mezcla reaccionante funciona de acuerdo al cálculo realizado. Por su parte, el agitador mantiene una mezcla homogénea, no existe una agitación brusca que provoque una expulsión de los reactivos mezclados dentro del reactor.

Se utilizó un microcontrolador como unidad de control para la automatización del proceso. El PIC16F877A fue el seleccionado, el cual, ejecuta todas las etapas del proceso de forma correcta. De esta manera se dictamina, que, si es posible automatizar el proceso de obtención de biodiesel en un prototipo, a través de un microcontrolador.

El control que se hace con los datos de los sensores de temperatura, permite no calentar la mezcla reaccionante a una temperatura mayor de 65 °C y con ello, evitar la evaporación del metanol. El sensor infrarrojo utilizado para la decantación de glicerina y biodiesel, fue el adecuado, debido a que sí detecta el flujo de uno u otro producto.

Referencias

- Aguilar, P. J. V., Vigoroux, R. Z., Wasserman, B. B., Bonnet, E., Díaz, I. L., Moya, I. H., & Paoli, E. V. (2006). *Algunas consideraciones preliminares acerca de la factibilidad de la obtención de biodiesel en países en vías de desarrollo*. Francia, 290.
- Breijo, E. G. (2012). *Compilador C CCS y simulador PROTEUS para microcontroladores PIC*. Marcombo.
- Camús, J. M. G., & Laborda, J. Á. G. (2006). *Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol*. CEIM; Dirección General de Universidades e Investigación.
- Medina Ramírez, I. E., Chávez Vela, N. A., & Jáuregui Rincón, J. (2012). *Biodiesel, un combustible renovable*. Investigación y Ciencia, 20(55).
- Medina Villadiego, M., Ospino Roa, Y., & Tejeda Benítez, L. (2015). *Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel*. Revista Luna Azul, (40).
- Meher, L. C., Sagar, D. V., & Naik, S. N. (2006). *Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review*. Renewable and sustainable energy reviews, 10(3), 248-268.
- Querini, C. (2006). *Biodiesel: producción y control de calidad*. In Actas del Tercer Congreso de Soja de MERCOSUR (pp. 269-272).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2017). Organismo de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements D. & Knothe G. (2006). *Biodiesel Production Technology*. National Renewable Energy Laboratory Review. Colorado, Estados Unidos de América.