



Título del artículo.

Sistema de producción de biodiesel con calidad ASTM a partir de aceite vegetal residual.

Título del artículo en idioma Inglés.

Production system for biodiesel with ASTM's quality from waste vegetable oil.

Autores.

Juan Antonio Alfonso Álvarez
Ana Karina Veliz Zamorano
Juan Guillermo Hernández Pérez
Patricia Alvarado Morán

Referencia bibliográfica:

MLA

Alfonso Álvarez, Juan Antonio, Ana Karina Veliz Zamorano, Juan Guillermo Hernández Pérez, y Patricia Alvarado Morán. "Sistema de Producción de biodiesel con calidad ASTM a partir de aceite vegetal residual". *Tlamati* 5.3 (2014): 45-50. Print

APA

Alfonso-Álvarez, J. A., Veliz-Zamorano, A. K., Hernández-Pérez, J. G., y Alvarado-Morán, P. (2014). Sistema de Producción de biodiesel con calidad ASTM a partir de aceite vegetal residual. *Tlamati*, 5(3), 45-50.

ISSN: 2007-2066.

Publicado el 29 de Noviembre del 2014

© 2014 Universidad Autónoma de Guerrero

Dirección General de Posgrado e Investigación

Dirección de Investigación

TLAMATI, es una publicación trimestral de la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma de Guerrero. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Dirección de Investigación de la UAG. Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos previa cita de nuestra publicación.



Sistema de producción de biodiesel con calidad ASTM a partir de aceite vegetal residual

Juan Antonio Alfonso Álvarez¹

Ana Karina Veliz Zamorano¹

Juan Guillermo Hernández Pérez¹

Patricia Alvarado Morán¹

¹Química Área Tecnología Ambiental, Universidad Tecnológica de Tijuana Km 10 carretera Tijuana-Tecate. Fracc. 01(664)9694700. El Refugio CP. 22253, México

*Autor de correspondencia

juan.alfonso@uttijuana.edu.mx

Resumen

En el presente documento se hace referencia a la implementación y puesta en marcha de una planta piloto de biodiesel con una capacidad de producción de 150,000 litros mensuales de calidad ASTM en la empresa ENREMEX S. de R. L. de C. V. La materia prima considerada para la elaboración de biodiesel es aceite vegetal usado. La empresa contaba con una planta de producción de biodiesel con capacidad de 100,000 litros mensuales. El reactor utilizado para la transesterificación no contaba con un sistema de control de temperatura y debido a la mala distribución de las resistencias utilizadas para alcanzar la temperatura de reacción se producía una ineficiencia en la formación biodiesel y una mayor pérdida de metanol. El sistema de purificación del biodiesel estaba compuesto por tres filtros que en su interior contenían aserrín compactado, haciendo ineficiente la purificación del biodiesel. La planta contaba con un sistema independiente para el mezclado del metanol y el catalizador hidróxido de potasio (KOH). Dado que la empresa se encuentra en la constante búsqueda de alternativas para mejorar su proceso de obtención de biodiesel se decidió que la mejor opción era adquirir una nueva planta para aumentar la capacidad de producción en un 50%, y una reducción del 15% en los costos de operación de la planta que incluye un ahorro en el consumo de la electricidad y en la mano de obra, así como la reducción en $\frac{3}{4}$ del tiempo del tiempo de procesamiento de un lote de aceite, en comparación con la planta anterior. Esto se logró mediante cambios en el sistema de reacción y purificación de biodiesel. Para asegurar la calidad del biodiesel se realizaron pruebas analíticas mediante el uso de la norma ASTM D 6751 que establece los límites máximos permisibles para el biodiesel B100. El biodiesel se encuentra dentro de los límites máximos permitidos para los parámetros determinados.

Palabras clave: biodiesel, ASTM, metanol

Abstract

This study aims to the implementation and set up of a pilot biodiesel plant with a monthly production capacity of 150 thousand liters fulfilling ASTM quality at ENREMEX S. de R.L. de C.V. Vegetable oil was used as main raw

Como citar el artículo:

Alfonso-Álvarez, J. A., Veliz-Zamorano, A. K., Hernández-Pérez, J. G., y Alvarado-Morán, P. (2014). Sistema de Producción de biodiesel con calidad ASTM a partir de aceite vegetal residual. *Tlamati*, 5(3), 45-50

material for biodiesel production. This company was formerly accountable for running a biodiesel production plant with a monthly capacity of 100 thousand liters. The reactor used in this case for transesterification did not have a temperature control system, and due to bad distribution of resistors used to achieve reaction temperature, this process was inefficient for manufacturing biodiesel, with a major loss of methanol. Biodiesel purification system consisted of three filters that contained in its interior compacted wood dust, making this process more inefficient. The plant had an independent system for mixing methanol, and catalytic potassium hydroxide (KOH). Giving the fact that the company is in constant search for better alternatives for improving their biodiesel production process, it was decided that the best option was to acquire a brand new plant, in order to increase their production by 50% and reducing 15% of operation costs, These costs includes savings in electrical power consumption, as well as labor cost and cut in production time to $\frac{3}{4}$ of its original time for process one lot of vegetal oil. These objectives were achieve by changing the reaction and purification systems. In order to assure biodiesel quality, several analytical tests were done pledging to the ASTM D 6751 standard, which establishes the maximum permissible limits for B100 biodiesel. This biodiesel was found within the maximum permissible limits for such parameters.

Keywords: biodiesel, ASTM, methanol

Antecedentes

La importancia de los bioenergéticos (combustibles obtenidos a partir de biomasa como: aceites vegetales, grasa animal, residuos agrícolas y aceites usados) se debe principalmente al agotamiento del oro negro o petróleo en un futuro no muy lejano, ya que este combustible es un recurso no renovable. El uso de combustibles fósiles genera una gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2 y CO) hacia la atmósfera, además de producir óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x) como resultado de la combustión. La extracción de los combustibles fósiles también provoca derrames de petróleo y combustibles en el mar abierto causando un impacto negativo al medio ambiente. Por estas razones, la obtención de combustibles alternativos ha recobrado un interés económico, social y ambiental a nivel mundial. Mediante la búsqueda de técnicas sustentables que permitan la obtención de bio-combustibles a bajo costo y con parámetros de calidad aceptables por la comunidad mundial, se hace necesario mejorar el proceso de producción de biodiesel a partir de aceites residuales de origen vegetal, mediante la selección y aplicación de técnicas enfocadas en lograr un mayor rendimiento en la producción de biodiesel y que permitan el cumplimiento de las normas de la *American Society for Testing and Materials* [Sociedad Americana para pruebas y materiales] (ASTM, 2007) que establecen los parámetros para el biodiesel. Este proyecto de investigación surge por la necesidad existente de buscar alternativas energéticas capaces de sustituir o minimizar el consumo de combustibles fósiles, como consecuencia de la escasez de este tipo de combustibles. Otra de las razones para realizar el proyecto se debe a que los combustibles fósiles generan una gran cantidad de contaminantes atmosféricos, causantes del cambio climático y lluvia ácida.

La importancia de producir biodiesel radica en la reducción de las emisiones generadas por la combustión. Con este procedimiento, se tienen reducciones netas de

CO_2 del 100%, además de reducciones de SO_x cercanas al 100% debido a la ausencia de azufre en el biodiesel, de hollín entre 40-60%; de CO entre 10-50%; de HC entre 10-50%; y de aldehídos y compuestos poliaromáticos en torno a 13%.

Metodología.

Para llevar a cabo la implementación y puesta en marcha de la planta piloto, la metodología seguida se dividió en 4 fases; Rediseño de la planta, instalación, puesta en marcha y caracterización del biodiesel mediante el uso de normas ASTM. En la primera fase, se decidió que el reactor de transesterificación debería estar elaborado a base de acero inoxidable (Barriga Moreno, 2011) con una capacidad de 370 galones (1406 L) de forma cónica con la finalidad de acelerar la separación del biodiesel de la glicerina, además el sistema de reacción debería estar forrado con $\frac{1}{4}$ de pulgada de fibra de vidrio de aislamiento cerámico para mantener la temperatura de reacción y lograr un ahorro en el consumo de energía. Para verificar el nivel o volumen de la materia prima en el tanque de reacción se adicionó al diseño un indicador visual. El sistema de calentamiento debería estar integrado por una resistencia interna de aleación de acero inoxidable de 220VAC y 9000 Watt. Para asegurar un mezclado correcto se propuso la instalación de una bomba de recirculación dentro del sistema, para asegurar un mayor contacto entre el aceite y el metóxido de potasio mediante la recirculación del producto generado por la reacción de transesterificación. Al reactor se le adicionó un sistema de recuperación de metanol para evitar pérdidas de metanol como consecuencia del calentamiento del aceite integrado columna de recuperación y un condensador a base de agua para convertir el vapor de metanol en líquido, que después es reinyectado al sistema de mezclado del metanol con hidróxido de potasio. Al reactor se le integró un sistema de mezclado de metanol y catalizador con una capacidad 304 litros, elaborado a base de polietileno de alta densidad (HDPE), equipado con un mezclador con un

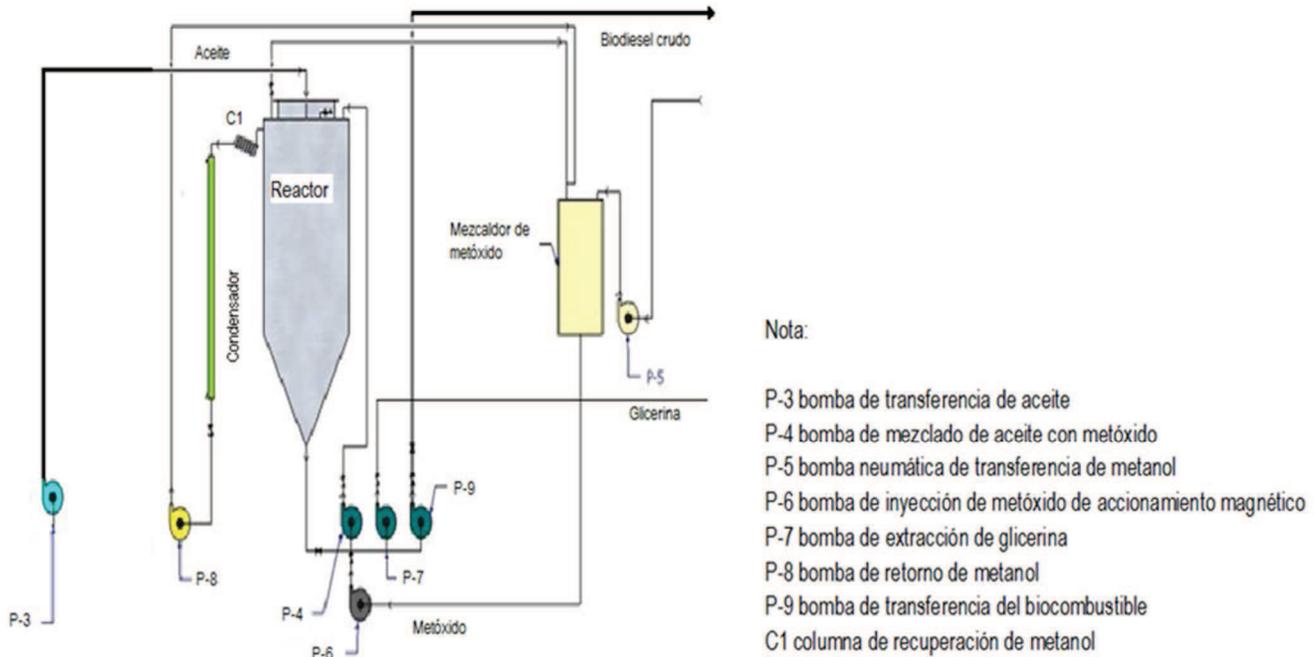


Figura 1. Sistema de reacción para la producción de biodiesel

eje de acero inoxidable de alta velocidad y un motor de tipo TEFC de 220VAC de $\frac{1}{2}$ hp, para asegurar un perfecto mezclado entre el metanol y el KOH. A la entrada del sistema de reacción se colocó un pre-filtro (WVO) de acero al carbón del número 4 de 400 micras a base de polipropileno para eliminar sólidos disueltos al aceite. Para realizar las transferencias de las materias primas y de los productos generados en la reacción se propuso el uso de 6 bombas de características similares, 220VAC y $\frac{1}{2}$ hp. En la figura 1 se muestra un diagrama que ilustra el nuevo sistema de reacción.

Para el rediseño del sistema de purificación del biodiesel crudo proveniente del proceso de transesterificación se propusieron tres columnas de lavado en seco de acero al carbón, equipadas en su interior con resinas de intercambio iónico. Al sistema se le adicionó una bomba TEFC de 220VAC y $\frac{1}{2}$ hp para asegurar que el biodiesel crudo alcanzará la presión necesaria para poder pasar a través de las columnas. Al sistema de lavado también se le adicionó un tanque de almacenamiento de acero al carbón, y al final del proceso se colocó un filtro de 5 micras a base de polipropileno, para quitar algún resto de contaminación que pudiera haber quedado en el biodiesel, ver figura 2.

Con el equipo de trabajo se determinó que el sistema debería de ser semiautomático controlado por un panel de control, con botones que se iluminan cuando la etapa a la pertenece está en proceso. Con la finalidad de que un operador se encargue del manejo de la planta.

Para llevar a cabo la segunda fase que consistió en la instalación de la planta piloto planta se realizaron las adecuaciones necesarias para su colocación, iniciando con la instalación de la corriente de 220V en el lugar selecciona-

do por ENREMEX. La planta anterior ocupaba un área de 20 metros cuadrados y la actual ocupa un área de 3.71 m², la planta se colocó en el lugar donde se encontraba el recuperador de metanol de la planta anterior. En la figura 3 se muestra el lugar y como quedó instalada la planta de producción de biodiesel.

En la ejecución de la tercera fase dedicada a la puesta en marcha se realizaron tres corridas para validar el proceso de transesterificación (Demirbas, 2009) y purificación del biodiesel. En cada una de las pruebas se utilizaron 1000L de aceite residual, 9 kilogramos de KOH y 208 litros de metanol. Para acelerar el proceso de transesterificación, el aceite residual se precalentó antes enviarlo al proceso. Una vez que el aceite alcanzó los 60°C se hizo pasar por el filtro de 400 micras a base de polipropileno con la finalidad de eliminar sólidos suspendidos que pudieran afectar el rendimiento del proceso de transesterificación. La transferencia del aceite a través del filtro y al tanque de reacción se realizó mediante una bomba de 220V de corriente al terna (AC) y $\frac{1}{2}$ hp. Transferidos los 1000L de aceite residual al tanque de reacción, se accionó el sistema de calentamiento del tanque y se esperó que la temperatura alcanzara nuevamente los 60°C. Anterior a este proceso se disolvió el catalizador hidróxido de potasio (KOH) en el metanol mediante el sistema de mezclado, compuesto por un tanque de polipropileno de alta densidad (HDPE) y que resiste altas temperaturas generadas en el proceso de mezclado, debido a que el KOH es exotérmico.

La agitación utilizada para acelerar el proceso de mezclado se realiza mediante una rueda de paletas de acero inoxidable (para evitar la corrosión y la posible contaminación del catalizador), equipada con un motor (TEFC) de

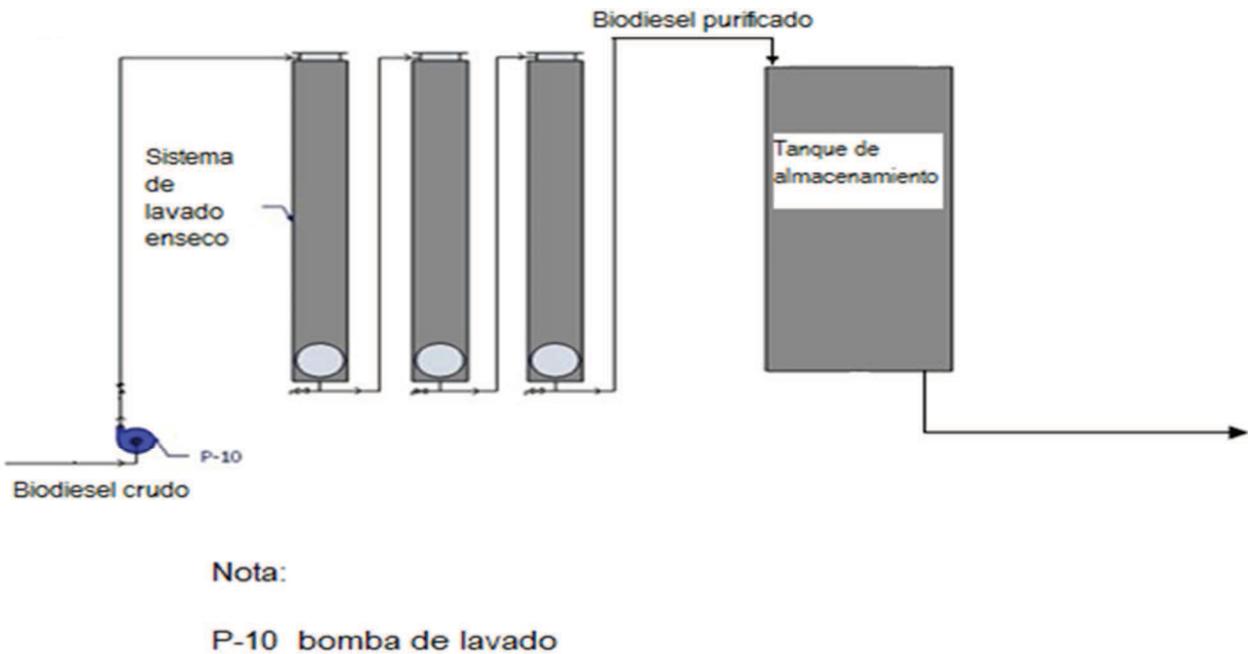


Figura 2. Sistema de purificación de Biodiesel

220VAC y $\frac{1}{2}$ hp de potencia.

Una vez alcanzada la temperatura deseada en el tanque de reacción, se pone en marcha la bomba de mezclado de aceite y óxido de metilo que permite recircular el aceite con el metóxido, asegurando un perfecto mezclado y una mejor superficie de contacto entre ambos. Inmediatamente se abre la válvula de inyección manual y se acciona la bomba de inyección de óxido de metilo a la corriente de la bomba del proceso, dando inicio a la reacción de transesterificación (Alfonso Alvarez, Balderas López, Alvarado, Hernández Pérez, & Veliz Zamorano, 2013), este proceso de inyección tiene una duración aproximada de 45 a 60 minutos, una vez transferido todo el óxido de metilo se cierra la válvula de inyección y la bomba de inyección se apagará. La bomba de proceso (mezclado) seguirá funcionando durante 1 hora más para asegurar que todo el metóxido reaccione con el aceite. Si se genera vapor de metanol durante la reacción el vapor se dirige a la columna recuperación de metanol que tiene adicionado un condensador a base de agua cuya función es convertir el vapor en líquido para regresarlo al tanque de mezclado de metanol y catalizador. Transcurrido el proceso de transesterificación se deja reposar los productos generados durante la reacción alrededor de 2 a 2 horas y $\frac{1}{2}$, a efecto de que el biodiesel crudo se separe de la glicerina. Una vez transcurridas las 2 horas de reposo se verifica que la separación sea correcta mediante el indicador de nivel que tiene el reactor. El siguiente paso consistió en drenar la glicerina a un tanque de almacenamiento mediante una bomba (TEFC) de 220VAC y $\frac{1}{2}$ hp, con finalidad de quedarnos sólo en el proceso con biodiesel crudo, el cual se hizo pasar por un

sistema de calentamiento para alcanzar una temperatura de 70°C y así recuperar el metanol que pudo haber quedado disuelto en el biodiesel. El calentamiento está conectado al sistema de recuperación de metanol. Finalmente, el biodiesel se hizo pasar por otra bomba (TEFC) de 220 VAC, $\frac{1}{2}$ hp para que alcanzara la presión necesaria (5 a 6 psi) y realizar el proceso de lavado en seco. Este proceso consiste en enviar el biodiesel a través de tres columnas de acero al carbón, equipadas con resina de intercambio iónico que permiten eliminar restos de jabón, glicerina, metanol, humedad etc. Cada columna contienen 352 Lb de resina y tienen una capacidad de retención ideal de 152,000L.

Por último, el biodiesel limpio y seco se envía a un tanque de almacenamiento de acero al carbón, equipado con una mirilla para poder visualizar el nivel de volumen dentro del tanque de almacenamiento y observar el producto final. Finalmente, el biodiesel purificado que proviene del tanque de almacenamiento se hace pasar por un filtro para asegurar su perfecta limpieza y se envía a un tanque de polipropileno para ser llevado a su destino final (cliente). Es importante mencionar que estas son las actividades que se realizaron de forma general en cada corrida.

Para realizar la última etapa, correspondiente a la caracterización del biodiesel se tomaron tres muestras para cada corrida, asegurando una perfecta limpieza del recipiente que contendrá la muestra, después las muestras se trasladaron al laboratorio de la UTT. Para poder establecer si el biodiesel (B100, biodiesel sin mezcla 100% puro) producido en la nueva planta piloto cumplía con los parámetros establecidos por la norma ASTM D 6751 que establece los límites máximos permisibles para el biodiesel B100 (Bejumbea Hernández, Agudelo Santamaría, & Ríos, 2009).



Figura 3. Planta instalada

Resultados

Mediante los cambios en la ingeniería del proceso se logró mejorar el proceso de producción de biodiesel en la empresa ENREMX. Estos cambios permiten recuperar el metanol tanto en la reacción de transesterificación como después del proceso, mantener un control en la temperatura de reacción de transesterificación, un mayor contacto del óxido de metilo con la materia prima mediante el proceso de mezclado por recirculación, y una mejor purificación del biodiesel mediante el proceso de lavado en seco; además, se tiene una reducción en tiempo de procesamiento de un lote.

Con respecto a la caracterización del biodiesel, en la

tabla 1 se muestran los parámetros determinados, la norma ASTM de referencia, límite máximo permitido y el resultado obtenido (Standard, 2007).

Con base en los resultados obtenidos, se puede confirmar que el biodiesel obtenido se encuentra dentro de los límites máximos permitidos por la norma ASTM D 6751, para los parámetros determinados en este proyecto como lo son: agua y sedimentos, densidad, número ácido, cenizas y viscosidad.

Discusión y conclusiones

Mediante la elaboración de este proyecto se logró la implementación de una nueva planta de biodiesel en la

Tabla 1. Resultados de la caracterización del biodiesel

Parámetro	Método de prueba	Límite máximo permitido	Resultado de la prueba
Agua y sedimentos (% v/v)	ASTM D2709	≤ 0.05	0.019
Densidad a 15°C, g/ml	ASTM D1298	0.860 – 0.900	0.888
Número ácido mgKOH/g muestra	ASTM D664	≤ 0.80	0.427
Ceniza(% peso)	ASTM D482	0.01 máx.	0.013
Viscosidad cinemática a 20°C (mm ² /s)	ASTM D 445	6.5 - 9	6.94

empresa ENREMEX, con una capacidad instalada de 150,000L mensuales. En comparación con la planta anterior se tiene un aumento del 50% en la producción. El procesamiento de un lote se realizaba aproximadamente en 24 horas y con el nuevo proceso tarda tan solo 8 horas, teniendo una reducción de $\frac{3}{4}$ del tiempo en comparación con la planta anterior. La implementación del nuevo proceso a raíz de la adquisición de la nueva planta genera una reducción en el costo de procesamiento de un lote en un 15%. El costo de producción por litro del biodiesel del proceso anterior era de \$2.85 pesos y del nuevo proceso es de \$2.40, el ahorro se debe a una disminución en el consumo de la electricidad y la mano de obra dado que sólo se necesita a una persona para operar la planta, así como al aumento de la capacidad de producción aumentando su capacidad de producción. Esto se logró mediante cambios en el sistema de reacción y purificación de biodiesel. Para mejorar el sistema de reacción se propuso que el tanque de reacción fuera de forma cónica elaborado a base de acero inoxidable y que contara con un sistema de recirculación para el mezclado del aceite y óxido metílico, además de un sistema de recuperación de metanol y un sistema de lavado con tres columnas de intercambio iónico que permiten un lavado en seco del biodiesel, generando un menor impacto ambiental del proceso de producción de biodiesel debido a que no se utiliza agua para su lavado.

Con la selección de las técnicas de mejora seleccionadas se logró cumplir el objetivo establecido, dado que las pruebas realizadas al biodiesel muestran que se encuentra dentro de los límites máximos permisibles establecidos en

la norma ASTM D 6751, para los parámetros determinados en este proyecto.

Agradecimientos

Se agradece a la empresa ENREMEX, por confiar en la Universidad tecnológica de Tijuana para realizar este proyecto mediante coordinación con el CINVESTAV Saltillo mediante fondos CONACYT.

Bibliografía

- Alfonso Alvarez, J. A., Balderas López, S. M., Alvarado, M. P., Hernández Pérez, J. G., y Veliz Zamorano, K. (2013). Obtención de biodiesel a partir de *Jatropha curcas*. *Universo de la Tecnológica*, 15, 7-10.
- Barriga Moreno, E. A. (2011). Diseño del módulo de transesterificación de una planta piloto para producción de biodiesel a partir de aceites usados de cocina. *Ingeniero mecánico*. Lima, PE: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Bejumbea Hernández, P. N., Agudelo Santamaría, J. R., y Ríos, L. A. (2009). *Biodiésel: Producción y calidad*. Editorial Universidad de Antioquia.
- Demirbas, A. (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management*, 50, 14-34.
- American Society for Testing and Materials (2007). Standard Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock Distillate Fuels.