

BIODIESEL. UNA REVISIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN MEDIANTE LA TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITES VEGETALES

Pedro Nel Benjumea¹, Jhon Ramiro Agudelo², Paula A. Zapata³ y Raúl E. Mendoza⁴

Resumen

El biodiesel es un combustible obtenido a partir de materias primas de base renovable, como los aceites vegetales y las grasas animales, que puede ser usado como combustible alternativo en motores de encendido por compresión. En este artículo se hace una revisión de la literatura especializada en la obtención de biodiesel mediante la transesterificación catalizada de aceites vegetales con alcoholes. Las investigaciones se han centrado en la optimización de las variables que influyen en el rendimiento de la reacción como: tipo de alcohol, relación molar alcohol/aceite, tipo y cantidad de catalizador y temperatura de reacción..

Palabras Claves: biocombustible, biodiesel, aceites vegetales, transesterificación.

Abstract

Biodiesel is a fuel made from raw materials of renewable origin such as vegetable oils and animal fats. It can be used as an alternative fuel to diesels for use in diesel engines. Biodiesel is produced by transesterification of large branched triglycerides into smaller, straight chain molecules of alkyl esters, using a low molecular weight alcohol and an adequate catalyst. The objective of this work is to make an overview about production technology of biodiesel. Research work has been focused in the following variables that affect yield and purity of alkyl esters: type of raw material, type and quantity of catalyst, type of alcohol, molar ratio of alcohol to vegetable oil and reaction temperature..

Key words: : biofuel, biodiesel, vegetable oils, transesterification.

¹ Ingeniero de Petróleos, MSc en Ingeniería del Gas natural, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Minas, Grupo de Recursos y Procesos Térmicos. Email pbenjume@unalmed.edu.co

² Ingeniero de Petróleos, MSc en Ingeniería del Gas natural, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Minas, Grupo de Recursos y Procesos Térmicos. Email pbenjume@unalmed.edu.co

³ Ingeniero Mecánico, PhD en Termoenergética, Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía. Email radian@udea.edu.co

⁴ Estudiantes Ingeniería Química, Facultad de Minas

1. Introducción

El biodiesel es un combustible obtenido a partir de materias primas de base renovable, como los aceites vegetales y las grasas animales, que puede ser usado en motores de encendido por compresión o motores Diesel.

El biodiesel se puede usar como combustible puro (B100), mezclado en diferentes proporciones con el gasóleo o combustible diesel convencional, o agregado en pequeñas cantidades como aditivo.

Actualmente, la mayor producción y consumo de biodiesel en el mundo se da en países de la Unión Europea. El biodiesel se consume puro en Alemania y Austria, mientras que en Francia se utiliza en mezclas al 5% con el diesel convencional. También se produce y consume biodiesel en cantidades significantes en Estados Unidos de Norteamérica y en Malasia. A nivel latinoamericano, Argentina es el país con más desarrollo en esta industria. El consumo mundial de biodiesel se ha visto impulsado en los últimos años por factores ambientales, energéticos, económicos y políticos. Con la sustitución total o parcial de gasóleo por biodiesel se obtienen disminuciones considerables en las emisiones de material particulado y de gases de escape como el dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de azufre, aldehídos, hidrocarburos aromáticos policíclicos e hidrocarburos sin quemar. Adicionalmente, el biodiesel es biodegradable y no tóxico (Pando, 2000).

Desde el punto de vista energético, el biodiesel constituye una fuente de energía renovable y además, su balance energético es positivo, es decir, la energía total contenida en el combustible es mayor que la que se invierte a lo largo de su proceso de fabricación.

Las energías renovables al ser autóctonas, representan un enorme potencial para reforzar la seguridad del abastecimiento energético de una región o país, reduciendo el nivel de importaciones energéticas.

La utilización del biodiesel no requiere modificaciones sobre el motor. En caso de usarse puro se recomienda reemplazar algunas piezas que

contengan caucho natural o espumas de poliuretano (mangueras, manguitos, sellos y uniones). Tales materiales pueden ser atacados químicamente por el biodiesel puro debido a su acidez (Masjuki et al, 1998, Shcäfer, 1995).

El biodiesel se obtiene mediante la transesterificación catalizada de un aceite o grasa con un alcohol. Los productos de la reacción química son alquilesteres de los ácidos grasos del aceite o grasa y una sustancia de mayor densidad denominada glicerol. Los alquilesteres una vez purificados mediante procesos de lavado y secado constituyen el biodiesel. El glicerol se puede beneficiar para obtener glicerina de alta pureza.

Para la realización de este artículo se hizo una revisión exhaustiva de la literatura relacionada con la producción de biodiesel. La mayoría de las investigaciones se centran en el estudio de las variables que influyen en la reacción de transesterificación, de tal modo que se pueda obtener un producto de calidad que cumpla con las especificaciones técnicas establecidas para su uso como combustible.

2. Variables que influyen en la reacción de transesterificación

En esta sección, inicialmente, se exponen las principales características de la reacción de transesterificación, para luego analizar las variables que más afectan su desarrollo. Tales variables son el tipo de materia prima, el tipo y cantidad de catalizador, el tipo de alcohol, la relación molar alcohol/aceite y las condiciones de reacción como temperatura, presión y agitación.

2.1 Características de la reacción

Una molécula de aceite vegetal o triglicérido esta constituida por tres ácidos grasos esterificados a una molécula de glicerina. La glicerina constituye cerca de un 20% de la molécula y es la que le da al aceite su textura espesa y pegajosa. Para obtener un biodiesel, los ésteres del aceite vegetal se deben separar de la glicerina, solo así se logra reducir la alta viscosidad del aceite original (60 centiestokes) para obtener una sustancia con una viscosidad

similar a la del combustible diesel tradicional (4 centiestokes).

En general, una reacción de transesterificación 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 alcoholisis. En el caso de la alcoholisis de un aceite o grasa, las moléculas de triglicérido se combinan con un alcohol alifático de bajo peso molecular en presencia de un catalizador. Bajo las condiciones de reacción, el catalizador rompe los triglicéridos liberando los ésteres, los cuales se combinan con el grupo alquílico del alcohol formando los alquilésteres según el tipo de alcohol usado.

En la Figura 1 se presenta el modelo de la transesterificación de una molécula de triglicérido con metanol. La reacción global mostrada es el resultado de tres reacciones consecutivas reversibles. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción se libera una mole de alquiléster.

Como la reacción es reversible, se necesita un exceso de alcohol para desplazar el equilibrio hacia la formación de productos.

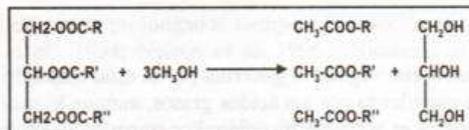


Figura 1. Vista esquemática de la reacción de transesterificación: El triglicérido reacciona con el alcohol para producir ésteres y glicerina.

2.2 Materias primas

En cuanto a las materias primas más utilizadas en la producción de biodiesel, la práctica común en los países pioneros ha sido usar aceites vegetales autóctonos. En Austria, Alemania y otros países de Europa Central se utilizan aceites de semillas oleaginosas como el girasol y la colza. En Estados Unidos de Norteamérica y Argentina se utiliza fundamentalmente aceite de Soya. En países tropicales como Malasia e Indonesia se utiliza el aceite de Palma.

En la Tabla 1 se presenta una comparación de las principales propiedades de los aceites mencionados.

Tabla 1. Comparación de las Propiedades de Algunos Aceites Vegetales (Pando, 2000)

Aceite	Girasol	Soja	Colza	Palma
Índice de Yodo	139	132.6	104.3	53
Densidad a 25°C	0.917	0.920	0.908	0.899
Aspecto	Líquido	Líquido	Líquido	Semisólido
Índice de Refracción (40°C)	1.473	1.473	1.472	1.454
Índice de Saponificación	190	193	175	200
Ácidos Grasos Saturados	12.5	15.8	6.8	51
Ácidos Grasos no saturados	87.5	84.2	93.2	49
Ácidos Grasos Libres %	0.5	0.5	1.3	>5
Material Insaponificable	<1.5%	<1.5%	<1.5%	<0.8%

En un aceite vegetal la glicerina puede estar mono, bi o triesterificada por los ácidos grasos, aunque lo más frecuente es la triesterificación. Por su parte, los di- y triglicéridos pueden ser holo- o heteroglicéridos, según sean iguales ó distintos, respectivamente, los radicales ácidos unidos a una misma molécula de glicerina. Los aceites naturales están constituidos principalmente por heteroglicéridos. Los ácidos grasos comúnmente presentes en los aceites tienen entre 12 (láurico) y 18 (esteárico) átomos de carbono por molécula. Los ácidos grasos más frecuentes son el palmítico, esteárico, oleico y linoleico. Es de recordar que por su origen biológico, los ácidos grasos naturales son siempre de número de átomos de carbono par.

Los ácidos grasos se clasifican en saturados e insaturados de acuerdo con la presencia de dobles enlaces en la molécula. El grado de insaturación se determina con el índice de yodo y el índice de refracción. Los aceites de girasol, colza y soja son fuertemente insaturados, sobre todo el de colza. Los triglicéridos corresponden al ácido linólico y al oleico en el caso del girasol y la soja. En el aceite de colza predomina el erúxico. Por su parte el aceite de palma es preponderantemente saturado (bajos índices de yodo y de refracción) y en él los triglicéridos corresponden principalmente al ácido palmítico. Los aceites altamente saturados poseen puntos de nube más altos y tienen mejores características de estabilidad. El aceite de palma se separa naturalmente en dos fases, una de ellas líquida a condiciones ambiente denominada oleína y la otra semisólida denominada estearina.

Es importante que el aceite que se va a transesterificar esté en lo posible exento de ácidos grasos libres. Si dichos ácidos no son previamente eliminados, se combinan con el catalizador y disminuyen la eficiencia de la reacción de transesterificación. Además los compuestos que se producen son jabones que posteriormente complicaran la fase de purificación del biodiesel y de la glicerina.

Toda materia contenida en los aceites, que no sea materia grasa (triglicéridos) o ácidos grasos libres, se denomina sustancia insaponificable, se conocen con el nombre genérico de gomas y comprenden una

larga lista de materiales: polipéptidos, fosfátidos, lecitina, proteínas, mucilágenos, esteroides, etc. Todas estas sustancias tienen el inconveniente que al no participar en las reacciones de transesterificación, formarán compuestos indeseados en el biodiesel que pueden ocasionar inconvenientes en los motores. Los fosfátidos son insolubles en las grasas y se mantienen en suspensión coloidal. En general todas las gomas y sustancias mucilaginosas son tratadas con algún ácido, siendo el fosfórico el más indicado. El color del aceite se debe a los pigmentos, como la clorofila y los carotenos. El olor de los aceites predominantemente insaturados es desagradable y se requiere un buen proceso de desodorización para eliminarlo. Hay un compuesto o tipo de compuestos denominados "tocoferoles", que son antioxidantes y que no se degradan en los sucesivos procesos, dándole al biodiesel mayor estabilidad química.

Por otra parte la presencia de humedad, la temperatura y el tiempo de almacenaje y la acción enzimática tienden a deteriorar el aceite incrementando la acidez libre.

2.3 Catalizadores

En principio, la reacción de transesterificación puede ser acelerada por una amplia gama de catalizadores ya sean homogéneos, heterogéneos o biológicos. Si no se usará catalizador, la temperatura de reacción debería estar por encima de 250°C (*García Calvo et al., 1995*).

La catálisis homogénea, básica o ácida, tiene lugar cuando los reactivos y el catalizador se encuentran en la misma fase, sea líquida o gaseosa.

Los catalizadores ácidos más utilizados son ácidos inorgánicos fuertes como el sulfónico y el sulfúrico. Estos compuestos permiten obtener rendimientos muy altos de alquilesteres, pero las reacciones son lentas, requiriendo temperaturas por encima de 100 °C y más de tres horas para alcanzar una conversión completa (*Linarte y Rivera, 1976*). La ventaja del uso de este tipo de catalizadores es que cualquier ácido graso libre presente en el aceite puede ser esterificado.

Dado que la catálisis homogénea básica es más rápida que la ácida y que los catalizadores básicos o

alcalinos son menos corrosivos que los compuestos ácidos, los procesos industriales generalmente favorecen los catalizadores básicos como hidróxidos y alquilóxidos metálicos alcalinos. Los alquilóxidos como el CH_3ONa son los más activos y dan muy altos rendimientos (>98%) con tiempos de reacción cortos (30 minutos), aun si son aplicados a muy bajas concentraciones (0.5% molar), (Schuchardt *et al.*, 1998). Sin embargo, estos catalizadores requieren la ausencia total de agua, lo cual los hace inapropiados para procesos industriales típicos. Los hidróxidos metálicos alcalinos como el KOH y el NaOH son más baratos, pero menos activos. Estos compuestos constituyen una alternativa muy buena, ya que pueden dar grados de conversión similares a los alquilóxidos, al incrementar su concentración a 1 o 2% molar. Sin embargo, aun, si todos los reactivos (aceites y alcohol) son anhidros, algo de agua se produce en el proceso por la reacción del hidróxido con el alcohol. La presencia de agua puede causar la hidrólisis de parte del éster producido, con la consecuente formación de jabón. Esta reacción de saponificación indeseable reduce el rendimiento de ésteres y dificulta considerablemente el recobro del glicerol debido a la formación de emulsiones.

Otro catalizador básico que se puede utilizar es el carbonato de potasio, el cual en concentraciones de 2 o 3% molar da altos rendimientos de alquilésteres y reduce la formación de jabón. Esto se puede explicar por la formación de bicarbonato en vez de agua, el cual no hidroliza los ésteres (Schuchardt *et al.*, 1998).

Una línea de investigación más reciente es la transesterificación enzimática mediante el uso de lipasas. A pesar de que sobre este tema existen numerosos estudios reportados en artículos y patentes, la utilización de un catalizador biológico en la transesterificación de aceites aun no se ha desarrollado a nivel comercial. El aspecto común de los estudios, es la búsqueda de la optimización de las condiciones de reacción (temperatura del solvente, pH, tipo de microorganismo que genera la enzima, etc.).

Con las lipasas es posible alcanzar conversiones similares a las obtenidas con los catalizadores homogéneos básicos, sin tener que utilizar alcohol en exceso. Sin embargo, esta alternativa presenta desventajas críticas como el alto costo de las enzimas

y los más prolongados tiempos de reacción (Linko *et al.*, 1994; Nelson *et al.*, 1996; Nimcevic *et al.*, 2000).

En la literatura especializada también se reportan estudios con catalizadores básicos no iónicos (bases orgánicas) como las guanidinas, entre ellas principalmente la conocida como TBD. Schuchardt *et al.* (1998) utilizando este tipo de catalizadores reportaron rendimientos de alquilésteres muy similares a los obtenidos con los catalizadores básicos convencionales, sin la formación de subproductos indeseables como jabones.

El uso de catalizadores homogéneos genera la necesidad de su posterior neutralización y remoción de los productos de la reacción. En este sentido, el uso de un catalizador heterogéneo simplificaría y haría más económico el proceso de purificación de los productos.

Las referencias del uso de catalizadores heterogéneos en la transesterificación de aceites vegetales para obtener biodiesel son más bien escasas. Peterson y Sacarrah (1984) realizaron un trabajo experimental en el cual obtuvieron metilesteres de aceite de colza utilizando diferentes catalizadores ácidos y básicos. Para estos investigadores el catalizador heterogéneo con el que obtuvieron mejores resultados fue el CaO.MgO , aunque con su uso se produjeron sales de ácidos grasos libres como subproductos indeseables.

Schuchardt *et al.* (1998) reportaron ensayos de laboratorio utilizando guanidinas heterogenizadas en polímeros orgánicos.

2.4 Alcoholes

En principio, cualquier alcohol alifático de cadena corta es apropiado como reactivo para la reacción de transesterificación.

El uso de diferentes alcoholes de bajo peso molecular ($\text{C}_1\text{-C}_4$) fue investigado por Nimcevic *et al.* (2000), quienes llegaron a las siguientes conclusiones:

- Mientras menor sea el tamaño de la cadena mayor será la capacidad de reaccionar de un alcohol. A mayor tamaño de cadena se requiere

incrementar la temperatura o la cantidad de catalizador.

- Reacciones con altos rendimientos de alquilesteres de buena calidad y con tiempos de reacción cortos, solo se pueden obtener con metanol y etanol usando catalizadores básicos. Para obtener etilésteres se requieren temperaturas más altas.
- Sólo es posible obtener propil y butilésteres con rendimientos aceptables utilizando catalizadores ácidos y temperaturas por encima de los 100 °C.
- Los alcoholes de cadena ramificada reaccionan más lento que sus homólogos lineales. Con *tert*-butanol no se obtiene reacción.

El uso del etanol ofrece el atractivo de poder realizar un proceso en el cual tanto el aceite como el alcohol provienen de la biomasa. Sin embargo, el etanol que se utilice tiene que ser completamente anhidro ya que cualquier cantidad de agua (a partir de 2%) revierte la reacción llevándola al equilibrio y deteniendo así la ruptura de los triglicéridos.

El alcohol juega un papel fundamental en los aspectos de transferencia de masa asociados con la reacción de transesterificación. En el caso de la metanolisis, ni el metanol es soluble en los triglicéridos, ni los ésteres metílicos lo son en la glicerina. Sin embargo, el metanol es soluble en los ésteres metílicos y la glicerina. Por tanto, durante los primeros minutos de la reacción, se observa un sistema formado por dos fases, que se transforma en una fase homogénea al formarse los ésteres metílicos, pero tan pronto aparecen cantidades importantes de glicerina, vuelven a aparecer dos fases (Crespo *et al.*, 2001). En principio, se podría pensar que una forma de acelerar la reacción sería lograr que el proceso inicial se diera en una sola fase, lo cual sería posible con la adición de un cosolvente no reactivo como algún éter. Broocokc *et al.* (1996), demostraron experimentalmente que con el uso de THF (tetra hidro furano) o MTBE (metil ter butil éter) como cosolventes, la reacción global se puede acelerar considerablemente, cuando se usan relaciones molares metanol-aceite de aproximadamente 27-1.

2.5 Condiciones de reacción

El efecto de las condiciones de reacción, temperatura, presión y agitación, esta muy asociado al tipo de catalizador utilizado.

Contrario a lo que ocurre con los catalizadores homogéneos ácidos, los catalizadores homogéneos básicos requieren tiempos de reacción más cortos y las condiciones de presión y temperatura son moderadas. Darnoko y Cheryan (2000) encontraron experimentalmente que en la metanolisis de aceite de palma catalizada con KOH, la tasa de transesterificación se incrementa hasta una temperatura de 60°C. A temperaturas más altas no se reduce el tiempo para alcanzar la máxima conversión. La mayoría de investigadores coinciden en que cuando se usan catalizadores homogéneos básicos, se debe trabajar a presión atmosférica y la temperatura óptima está justamente debajo del punto de ebullición del alcohol utilizado.

Una opción interesante desde el punto de vista de facilitar la purificación de los productos, es el desarrollo de procesos de alcoholisis no catalizados. Diasakou *et al.* (1998), con base en una serie de experimentos de metanolisis no catalizada de aceite de soya, encontraron que utilizando temperaturas entre 220 y 235°C, las tasas de conversión de los di- y triglicéridos eran mucho más altas que las de monoglicéridos a glicerol, lo cual resultó en una remoción muy lenta de los monoglicéridos del producto. En este mismo sentido, los investigadores Japoneses Saka y Kusdiana (2001) experimentaron con la metanolisis no catalizada del aceite de colza utilizando condiciones de reacción que llevan el alcohol a condiciones supercríticas. Para lograr lo anterior, el reactor tuvo que ser llevado a unas condiciones de 350-400 °C y una presión de 45-65 MPa. Los metilésteres obtenidos en el proceso con metanol supercrítico fueron muy similares a los obtenidos en los procesos convencionales, lográndose mejores rendimientos en el primer caso.

La velocidad de agitación ha sido reportada como variable crítica en investigaciones relacionadas con etanolisis de aceites vegetales y con metanolisis o etanolisis de grasas animales.

De acuerdo con Korus *et al.* (1992), en la etanolisis del aceite de colza, la velocidad de agitación es crítica al inicio del proceso, dado que hay que garantizar que se homogenice rápidamente la mezcla aceite-etanol para que la reacción se pueda desarrollar. Una vez la mezcla se hace homogénea, la agitación se considera irrelevante.

Ma *et al.* (1998) realizando pruebas con sebo de origen animal, encontraron que el uso de metanol requiere agitación hasta formar emulsión, lo que no ocurre con el etanol, ya que este es totalmente soluble en el sebo a la temperatura de reacción utilizada (62-65 °C).

3. Estudios representativos

La reacción de transesterificación como tal, ha sido ampliamente estudiada. Durante los años 1940s fueron concedidas varias patentes americanas a firmas como Dupont y Colgate por su trabajo en la conversión de aceites vegetales en ésteres. Una de estas patentes fue la concedida a Bradshaw y Meuly en 1944 relacionada con la alcoholisis catalizada con sustancias básicas de aceites vegetales con el fin de obtener los correspondientes alquilésteres.

En esta sección se relacionan varios estudios seleccionados por su contribución al desarrollo de la alcoholisis de aceites vegetales orientada específicamente a la obtención de alquilésteres para ser usados como combustibles.

Freedman y Pryde (Estados Unidos de Norteamérica, 1982)

Materias Primas: Aceites de girasol y soja

Alcoholes: Metanol, etanol y 1-butanol

Catalizadores: Homogéneos: ácidos y básicos

Temperaturas: 32°, 45° y 60°C

Proceso: Discontinuo

Los estudios mostraron que para relaciones molares metanol/aceite de girasol de 4:1 y 6:1 se lograron rendimientos de alquilésteres de 90 y 98%, respectivamente. Con los tres alcoholes se lograron altos rendimientos. Los catalizadores alcalinos

fueron mucho más efectivos que los ácidos. Entre los catalizadores básicos es más efectivo el metóxido de sodio (NaOCH₃) usado al 0.5%, que el hidróxido de sodio (NaOH) al 1%. Sin embargo, el bajo costo del NaOH lo hace más favorable para procesos a escala industrial. Los metilesteres fueron obtenidos en 1 hora cuando se usaron temperaturas de 45° y 60°C.

En un estudio posterior, experimentando con una gama más amplia de aceites, los investigadores mencionados hicieron un estudio más a fondo de las variables que afectan el rendimiento de las reacciones de alcoholisis. Según Ellos, para lograr la máxima conversión de triglicéridos en alquilésteres se requiere cumplir con las siguientes condiciones: un aceite vegetal bien refinado, libre de agua y con un contenido de ácidos grasos libres menor del 0.5%; el uso de metanol anhidro; el uso de una relación molar alcohol/aceite de 6:1, o sea, un exceso de metanol del 100% en base molar; el uso de un catalizador básico, como el hidróxido de sodio en un 1% y una temperatura de reacción de 60°C (Freedman *et al.*, 1984).

Kusy (Estados Unidos de Norteamérica, 1982)

Materias Primas: Aceites de girasol y soja

Alcoholes: Etanol absoluto

Catalizadores: Homogéneos básicos

Temperaturas: 85°C

Proceso: Continuo

Este trabajo fue pionero en dos aspectos, el uso de la etanolisis y la implementación de un proceso continuo. Los investigadores reportan buenos rendimientos de etilésteres de los dos aceites utilizados, aunque con una calidad baja para su uso como combustibles, en lo que tiene que ver su funcionamiento a temperaturas por debajo de 12°C.

Nye *et al.* (Canadá, 1983)

Materias Primas: Aceite de fritura usado

Alcoholes: Metanol, etanol, 1-propanol, 2-propanol, 1-butanol y 2-etoxietanol.

Catalizadores: Homogéneos: ácidos y básicos

Temperaturas: Cercana al punto de ebullición de cada alcohol

Proceso: Continuo

Los aceites de fritura utilizados en los experimentos tenían altos contenidos de ácidos grasos libres. Se utilizaron relaciones molares alcohol/aceite de 3.5/1 en promedio. Los mejores rendimientos fueron obtenidos usando metanolisis catalizada con hidróxido de potasio. En este último caso, el tiempo de reacción fue de 24 horas.

Korus et al (Estados Unidos de Norteamérica, 1992)

Materias Primas: Aceite de Colza

Alcoholes: Etanol

Catalizadores: Homogéneos básicos

Temperaturas: Desde ambiente hasta 75°C

Proceso: Discontinuo

De acuerdo con estos investigadores de la Universidad de Idaho, las condiciones óptimas para obtener etilésteres de aceite de colza de buena calidad son las siguientes: temperatura ambiente, uso como catalizadores de metóxido de sodio al 0.5% (por peso con respecto al aceite de colza) o hidróxido de potasio al 1%, agitación vigorosa durante la primera fase de la reacción y uso de etanol absoluto con un exceso del 50% con el metóxido de sodio o del 100% con el hidróxido de potasio.

Un estimativo preliminar del costo de obtención del etiléster de aceite de colza fue de 2.08 dólares por galón.

Kien Yoo et al. (Malasia, 1995)

Materia Primas: Aceite de Palma – Fase Oleina

Alcoholes: Metanol

Catalizadores: NaOH

Temperaturas: 70°C

Proceso: Discontinuo

Los investigadores mencionados pertenecientes al entonces PORIM (Palm Oil Research Institute of Malaysia) diseñaron un proceso especial para la producción de metilésteres de aceite de palma que tuviera en cuenta aspectos como: la posibilidad de manejar aceites con contenidos variables de ácidos grasos libres, la no destrucción de los carotenos del aceite de palma durante el proceso y la necesidad de integrar la producción de los metilésteres en una planta orientada a la oleoquímica.

Para tener en cuenta el primer aspecto, los investigadores malayos implementaron un proceso de esterificación de los ácidos grasos libres del aceite antes del proceso de transesterificación. El proceso previo de esterificación se hace en un reactor de lecho fijo relleno con un catalizador ácido sólido. Las condiciones de reacción en tal reactor son de 80°C y 2.9 bar. Al reactor se alimenta una mezcla de aceite con metanol previamente precalentada. El metanol ayuda a que los fosfolípidos o el hierro contenidos en el aceite de palma no destruyan el catalizador. Con este proceso de esterificación se reportan reducciones en el contenido de ácidos grasos libres por debajo de 0.5%.

Encinar et al. (España, 1999)

Materia Primas: Aceite de Cardo

Alcoholes: Metanol

Catalizadores: Homogéneos básicos

Temperaturas: 25-60°C

Proceso: Discontinuo

El objetivo principal de estos investigadores españoles de la Universidad de Extremadura fue estudiar la viabilidad de producir un biodiesel de calidad aceptable a partir de la transesterificación del aceite de cardo (*cynara cardunculus*).

Las condiciones óptimas bajo las cuales se pudieron obtener los metilésteres fueron: una relación molar alcohol/aceite de 5:1, uso como catalizador de metóxido de sodio en una concentración del 1% y una temperatura de 60°C. Los valores obtenidos de viscosidad, densidad, poder calorífico e índice de cetano para el metiléster de aceite de cardo fueron muy similares a los valores de dichas propiedades para el combustible diesel No.2.

4. Consideraciones finales

A manera de colofón para este artículo, con base en la revisión realizada sobre el desarrollo a nivel mundial de la investigación en la obtención de biodiesel, se hacen las siguientes consideraciones:

La obtención de biodiesel mediante la transesterificación de aceites vegetales se puede considerar una tecnología probada y en proceso de diseminación. El reto para cualquier país o región consiste en la implementación de procesos basados en materias primas autóctonas, los cuales se deben optimizar para obtener un biodiesel con un costo de producción bajo que lo haga competitivo, pero que cumpla con las especificaciones internacionales de calidad para su uso como combustible en motores diesel.

Con respecto a la optimización de las variables que más influyen en el rendimiento y economía del proceso de obtención de biodiesel, los puntos de mayor coincidencia entre los diferentes investigadores son: uso de metanol en lugar de cualquier otro alcohol, relación molar metanol/aceite de 6:1 (exceso de alcohol del 100% en base molar), uso de catalizadores homogéneos básicos preferiblemente hidróxido de sodio por su bajo costo y una temperatura de reacción de 60°C.

La implementación de un programa de producción de biodiesel debe ir de la mano de un desarrollo paralelo de la industria oleoquímica, pues de esta forma se puede hacer un mejor aprovechamiento de los subproductos de la transesterificación y sería posible mejorar la viabilidad económica de los procesos.

Para Colombia, el mayor potencial de materia prima con miras a implementar un programa de biodiesel, lo constituye el aceite de palma. El país tiene un

enorme potencial de siembra de Palma Africana y en la actualidad de este cultivo se obtiene aproximadamente el 87% de la producción nacional de aceites y grasas. También sería muy importante para el país, la evaluación de otras materias primas de poco interés comercial, como es el caso del aceite de higuera. El uso de aceites vegetales con propiedades no adecuadas para uso comestible, permite disponer de una materia prima de bajo costo y no sujeta al vaivén de los precios internacionales de los aceites comerciales.

Referencias

- BOOCOCK *et al.* Fast Formation of High-Purity Esters from Vegetable Oils. En: *JAOCS*, Vol. 75, no. 9 (1998), p. 1167-1172.
- CRESPO *et al.* Biodiesel: Una Alternativa Real al Gasóleo Mineral. En: *Ingeniería Química*, marzo 2001. p. 135-145.
- DIASAKOU *et al.* Kinetics of the non-catalytic transesterification of Soybean Oil. En: *Fuel*, Vol.77, no. 12 (1998), p 1297-1302.
- DARNOKO and MUNIR C. Kinetics of Palm Oil transesterification in a Batch Reactor. En: *JAOCS*, Vol.77, no. 12 (2000), p 1263-1267.
- FREEDMAN and PRYDE. Fatty Esters from Vegetable Oils for Use as a Diesel Fuels. En: *Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, (1982), p. 198-208.
- FREEDMAN *et al.* Variables affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. *JAOCS*, Vol. 61, no. 10 (1984) p. 1638-1643.
- GARCIA C. *et al.* Los Aceites Vegetales y sus Esteres Metilicos como Combustibles. En: *Ingeniería Química* (mayo 1995) p. 151-157.
- KIEN Y. *et al.* Production Technology of Palm diesel. En: *Proceedings of the 1998 Porim International Biofuel and Lubricant Conference*, Palm Oil Research Institute of Malaysia. p. 207-226.
- KORUS, R. *et al.* Transesterification process to manufacture ethyl ester of rape oil. Department of Chemical Engineering, University of Idaho, 1991.

- KUSY, P. Transesterification of vegetable oil for fuels. En: *Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, (1982), p. 127-137.
- LINARTE y RIVERA. Desplazamiento del Equilibrio de Esterificación en Sistemas Catalíticos Heterogéneos. En: *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*. (enero 1976) p. 54-61.
- LINKO, *et al.* Lipase-Catalyzed Transesterification of Rapeseed Oil and 2-ethyl-1-hexanol. En: *JAOCS*. Vol. 71, no. 12 (1994), p. 1411-1414.
- MA, F., *et al.* Biodiesel Fuel from Animal Fat: Ancillary Studies on Transesterification of Beef Tallow. En: *Ind. Eng. Chem. Res.* Vol. 37 (1998), p. 3768-3771.
- MASJUKI, *et al.* A Rapid Test To Measure Performance, Emissions And Wear Of A Diesel Engine Fueled With Palm Oil Diesel, *JAOCS*. Vol. 70, no 10 (1993) p 1021.
- NELSON, *et al.* Lipase-Catalyzed Production Biodiesel. En: *J. Am. Oil Chem. Soc.* Vol. 73, no. 8 (1996), p. 1191-1195.
- NIMCEVIC, *et al.* Preparation of rapeseed oil esters of lower aliphatic alcohols. En: *J. Am. Oil Chem. Soc.* 3 (2000), p. 275-280.
- NYE, *et al.* Conversion of Used Frying Oil to Diesel Fuel by Transesterification: Preliminary Test, *JAOCS*. Vol. 60, no 8 (1983) p 1598-1601.
- PANDO. Biodiesel: Combustible Alternativo de Origen Vegetal. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina (2000).
- PFTERSON, and SCARRAH. Rapeseed Oil Transesterification by Heterogeneous Catalysis. En: *J. Am. Oil Chem. Soc.* Vol. 61, no. 10 (1984), p. 1593-1597.
- SAKA and KUSDIANA. Biodiesel Fuel From Rapeseed Oil as Prepared in Supercritical Methanol. En: *Fuel* 80 (2001), p. 225-231.
- SCHÄFER. The Use Of Biofuel In Modern Diesel Engines. En: *Proceedings of PORIM BIOFUEL '95*, PORIM International Biofuel Conference, (1995), p. 61.
- SCHUCHARDT *et al.* Transesterification of Vegetable Oils: a Review. En: *J. Braz. Chem. Soc.*, Vol. 9, no 1 (1998), p. 199-210.