

Análisis de alternativas tecnológicas para la producción de biodiesel

AUTORES: JORGE MARCHETTI¹, VÍCTOR MIGUEL¹, ALBERTO ERRAZU¹
e-mail: jmarchetti@plapiqui.edu.ar

1) Planta Piloto de Ingeniería Química (UNS -CONICET). Bahía Blanca, Argentina.

Trabajo original, presentado durante el desarrollo del XI Congreso Latinoamericano de Grasas y Aceites. Buenos Aires 2005

Resumen / Abstract

En este trabajo se realiza un análisis de los métodos y tecnologías empleadas en la producción de biodiesel, para lo cual se emplea información proveniente de trabajos de investigación propios y de literatura, como también datos de proveedores de tecnología.

El trabajo consiste en el planteo de las distintas alternativas tecnológicas, teniendo por objetivo realizar un análisis técnico y económico de las mismas, como así también establecer una comparación entre ellas. Para ello se dispuso adicionalmente un simulador de procesos con el propósito de asistir en el planteo de los mismos y su simulación y también en la evaluación comparativa de las tecnologías. También se analizaron estos procesos frente a diferentes escenarios, como por ejemplo el empleo de distintas materias primas, rendimientos, efluentes, resultados económicos, etc. de cada proceso o tecnología.

In this paper an analysis is made of the methods and technologies which are employed in biodiesel production using information provided by own research work and bibliography as well as data provided by technology suppliers.

The paper consists on a proposal of the different technological alternatives and its goal is to make a technical and economic analysis of these alternatives as well as to establish a comparison between them. To achieve this goal, a process simulator was added with the purpose of assisting to the proposal and its simulation and also to the comparative evaluation of the technologies. Additional analysis were made of these processes in different scenarios such as the use of different raw materials, yields, outflows, economic profit, and others, for each process or technology.

Palabras claves / Key words

Biodiesel, transesterificación, tecnología de procesos.

Biodiesel, transesterification, Processes technology.

Introducción

En los últimos años, el biodiesel se ha convertido en una alternativa valedera al combustible diesel, con un creciente interés impulsado por diversos factores como por ejemplo, el empleo de fuentes renovables como materia prima y su bajo impacto medioambiental asociado, incentivos legislativos en varios países, así como también el vertiginoso aumento de los precios del petróleo, entre otros.

Pero la producción de biodiesel también presenta aún, algunos factores limitantes para su extensión, siendo el principal de ellos, el elevado costo de producción. Más del 60 % de los costos están asociados a la materia prima y en consecuencia, los procesos y tecnologías están siendo adaptados con el fin de ser capaces de emplear materiales de bajo costo, tales como aceites crudos, aceites ácidos, aceites reciclados de frituras, etc, las cuales no pueden ser procesadas por la tecnología convencional, preparada

para los aceites refinados.

La principal dificultad de estos materiales es su alto contenido de ácidos grasos libres y otras impurezas, que entre otras cosas desactivan y consumen el catalizador homogéneo alcalino. En consecuencia, aparecen otros procesos que operan en distintas condiciones, como por ejemplo, mediante catálisis homogénea ácida (Srivastava, 2000), (Zhang, 2003). También se están investigando y desarrollando nuevas tecnologías con

catalizadores heterogéneos, ya sea con sólidos ácido - base u otras que emplean enzimas inmovilizadas (Noureddini, 1997), (Freedman, 1986), (Watanabe, 2000).

En general, los procesos heterogéneos generan menos efluentes y prescinden de varias de las etapas de purificación que requiere el proceso homogéneo y que se tornan problemáticas en proporción a las impurezas presentes en la alimentación. Además, los procesos hete-

rogéneos serían más limpios y amigables con el medio ambiente.

Por lo tanto, en este trabajo se plantean las diferentes tecnologías y procesos que pueden ser propuestas de acuerdo al tipo de catalizador empleado y se estudia en forma comparativa el impacto técnico de distintas variables como la conversión lograda, la neutralización del catalizador, la etapa de separación de la glicerina, etc, como así también sus potenciales resultados económicos.

2. Materiales y métodos

Para el planteo de las distintas alternativas tecnológicas, se empleó información proveniente de trabajos propios y de literatura abierta, como así también datos de proveedores de tecnología.

Como herramienta de trabajo fue empleado un simulador de procesos para asistir en el planteo de los procesos, su modelamiento y simulación y permitir de esta forma la evaluación técnica y

Figura 1. Diagrama de flujo del caso I: Transesterificación alcalina homogénea con preesterificación ácida

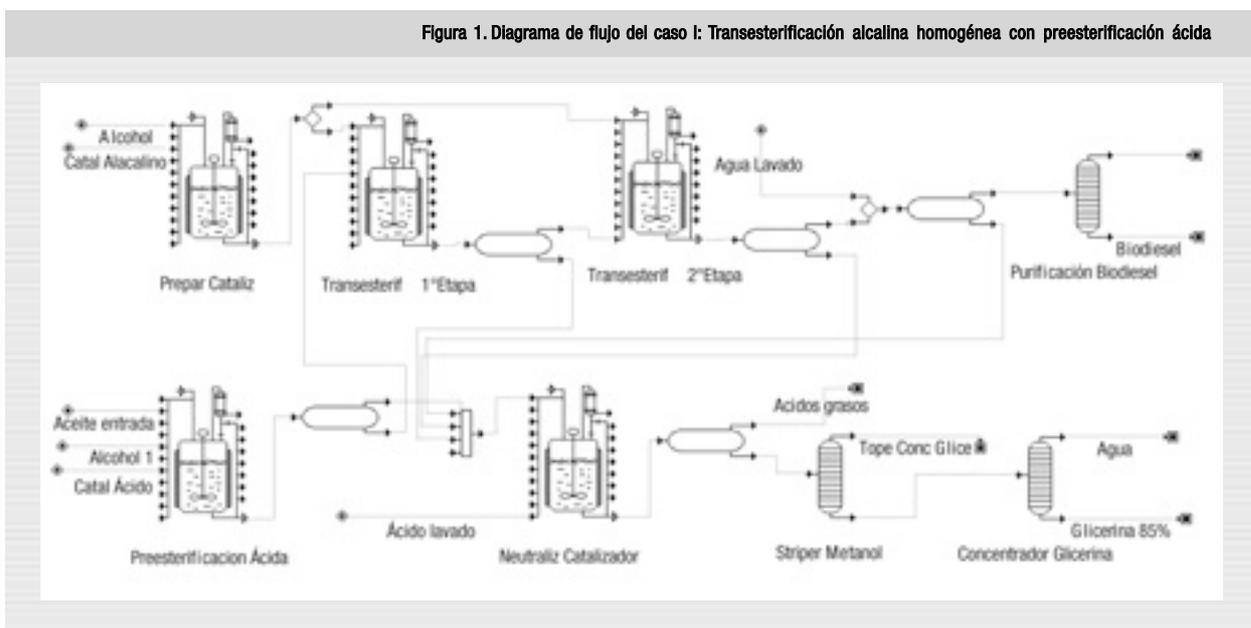
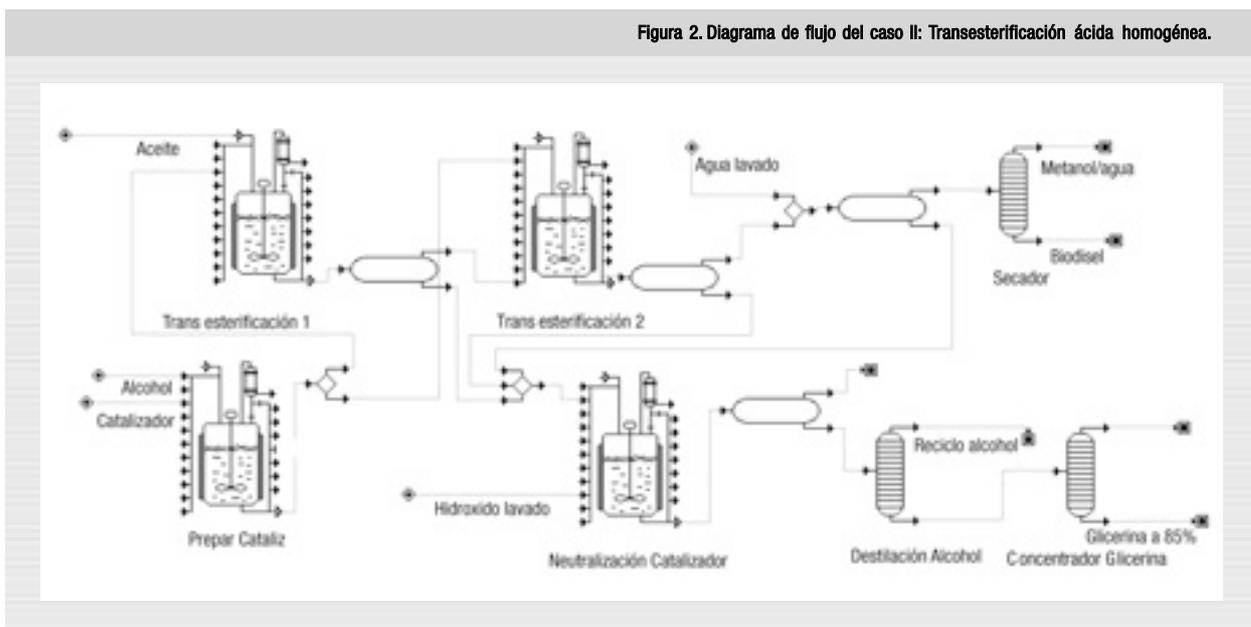


Figura 2. Diagrama de flujo del caso II: Transesterificación ácida homogénea.



económica de las tecnologías en forma comparada.

- . Caso I: Transesterificación alcalina homogénea con preesterificación ácida.
- . Caso II: Transesterificación ácida homogénea.
- . Caso III: Transesterificación con catalizadores heterogéneos.
- . Caso IV: Transesterificación con enzimas inmovilizadas.

Las particularidades de cada caso pueden ser explicadas mediante los diagramas de proceso esquematizados en las figuras que se adjuntan.

Cabe destacar que el modelo del proceso incluye dos etapas de reacción (dado que la reacción es reversible) y contempla el

tratamiento de impurezas (ácidos grasos, AG) y productos secundarios (glicerina, G) e intermedios (monoglicéridos, MG y diglicéridos, DG) además del producto principal (ésteres metílicos, FAME).

3. Resultados y discusiones

Para todos los casos, la capacidad de planta evaluada fue de 34.000 ton / año, dado que los 40 millones de litros aparecen como el punto de corte para la elección de proceso continuo frente al batch. La materia prima empleada será aceite crudo o de alta acidez.

En la etapa de reacción, se tuvieron en cuenta todas las reacciones que pueden tener lugar en el proceso: Esterificación directa de AG, saponificación de AG, transesterificación de TG a DG, MG y ME, hidrólisis de TG. Se emplearon cinéticas de reacción basadas en experi-

mentación propia y otras relevadas de referencias.

En el caso I, la acidez de los aceites alimentados se elimina mediante una etapa de preesterificación, en la cual el índice de acidez se baja a 0.5 hasta ser apto para la etapa alcalina. En esta segunda etapa, se emplea metóxido de sodio o potasio con un exceso de metanol de 5:1 aprox. Seguidamente, debe separarse la G y el biodiesel obtenido debe ser lavado para retirar los restos de catalizador. En el proceso global, el catalizador no actúa como tal, ya que es consumido continuamente al ser neutralizado y finalmente descartado en el efluente. No obstante, el catalizador neutralizado podría ser vendido como fertilizante (fosfato de potasio) y los jabones como lubricante. La glicerina que se obtiene se extrae del fondo de la columna de recuperación de metanol como una solución

Figura 3. Diagrama de flujo del caso III. Transesterificación con catalizadores heterogéneos

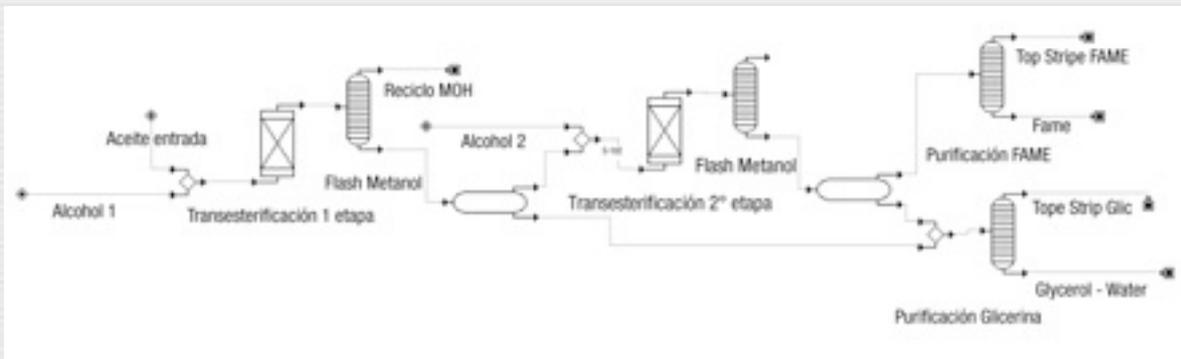
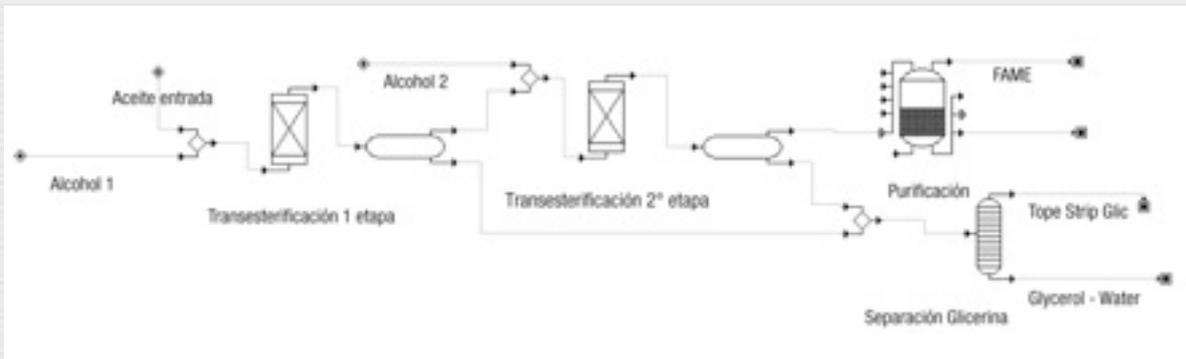


Figura 4. Diagrama de flujo del caso IV. Transesterificación con enzimas inmovilizadas.



acuosa del 80 - 85 % y para ser vendida requiere ser purificada.

En el caso II no existe preesterificación, sino que el aceite pasa directamente al reactor donde simultáneamente se esterifican los AG y se transesterifican los TG, empleando para ello ácido sulfúrico. El exceso de metanol se mantiene alto 10:1 aprox. para favorecer la conversión.

En los casos III y IV y al contar con catalizadores heterogéneos, la conversión depende de la cantidad y actividad del catalizador. Otro aspecto importante es la vida útil del catalizador hasta su regeneración y / o deshecho, ya que se van desactivando por presencia de agua, fosfolípidos, etc.

La principal diferencia con los procesos homogéneos es que no se requieren aguas de lavado ni de neutralización de catalizador, por lo tanto no se generan corrientes de efluentes. Por otro lado, la glicerina obtenida es de una excelente calidad sin necesidad de ser purificada. En el caso enzimático, la reacción de esterificación de AG ocurre en forma simultánea a la transesterificación de aceites.

3.1 Comparación de tecnologías

Una de las variables que se modificó fue el contenido de ácidos grasos en el aceite alimentado, poniéndose en evidencia que es un factor muy influyente en el rendimiento global de aceite a ésteres y en la calidad final de FAME.

En la siguiente tabla, se han resumido algunos de los resultados de la simulación de los casos para un procesamiento de 34.000 ton / año de aceite con un contenido de AG del 5 %.

Los resultados económicos se expresan en dólares aunque los costos y precios se refieren al caso de Argentina. Así, el precio para el biodiesel a granel se tomó en 1.2 \$ / lt (0.4 u\$s / lt) y para el aceite ácido en 250 u\$s / ton.

4. Conclusiones

En este trabajo fueron planteados y analizados distintos procesos de producción de biodiesel basados en tecnologías difundidas o convencionales y otras que están siendo investigadas o en fase de

Tabla 1. Comparación de resultados técnicos y económicos

	Caso I Homogéneo Alcali+preest.	Caso II Homogéneo Ácido	Caso III Heterogéneo Sólidos	Caso IV Heterogéneo Enzimático
Temperatura de transesterificación (°C)	60	60	150	60
<i>Corrientes de alimentación [Kg/hr]</i>				
Aceite	4550	4550	4550	4550
Contenido de ácidos grasos	5%	5%	5%	5%
Alcohol (Metanol)	750	1500	760	760
Relación molar (OH-TG)	4.77	9.54	4.84	4.84
Catalizador [Kg/hr] - [Toneladas]	84	42	12.13	21.84
Agua neutralización / lavado	420	420	-	-
<i>Corrientes de salida [Kg/hr]</i>				
Biodiesel (>95%)	4497	449	456	4566
Glicerina Total en Biodiesel	0.20%	0.53%	0.17%	0.04%
Rendimiento (ton Biodiesel/ton MP)	0.9884	0.9881	1.0040	1.0035
Glicerina (solución)	625	540	434	445
	Caso I Homogéneo Alcali+preest.	Caso II Homogéneo Ácido	Caso III Heterogéneo Sólidos	Caso IV Heterogéneo Enzimático
Ingreso por Biodiesel (u\$s/yr)	\$ 16.029.000	\$16.023.000	\$ 16.281.000	\$ 16.274.000
Crédito por Glicerina (u\$s/yr)	\$ 2.660.000	\$ 2.548.000	\$ 3.573.000	\$ 3.673.000
Ingreso total (u\$s/yr)	\$ 18.689.000	\$18.571.000	\$ 19.854.000	\$ 19.947.000
Costo compra equipamiento (u\$s)	\$ 1.503.000	\$ 1.477.000	\$ 1.010.000	\$ 1.469.000
Inversión total (u\$s)	\$ 7.415.000	\$ 7.327.000	\$ 5.151.000	\$ 6.754.000
Costo Materia Prima (u\$s/yr)	\$ 16.044.000	\$16.564.000	\$ 15.919.000	\$ 15.919.000
% de los costos	89%	90%	84%	86%
Costos total operación (u\$s/yr)	\$ 18.109.000	\$18.359.000	\$ 18.896.000	\$ 18.525.000
Costo del Biodiesel (u\$s/kg)	\$ 0.5084	\$ 0.5156	\$ 0.5223	\$ 0.5122
Margen bruto	5.50%	4.16%	7.74%	9.73%
Retorno sobre inversión (ROI)	19.68%	16.69%	33.23%	32.94%
Valor Presente Neto (I=7%)	\$ 1.797.000	\$ (1.275)	\$ 7.789.243	\$ 9.488.978
Retorno sobre inversión (TIR)	11.17%	6.95%	31.95%	30.70%

desarrollo. Las principales diferencias entre ellos están basadas en el empleo de aceites con alto contenido de ácidos grasos, lo que provoca que los procesos heterogéneos tengan ventajas debido a que no generan jabones, catalizador neutralizado, ni agua de lavado y una menor cantidad de efluentes; por otro lado producen glicerina de excelente calidad.

Debido a esto, los procesos que utilizan catalizadores en fase homogéneos deben contar con varias etapas y equipos adicionales para la separación, neutralización del catalizador y purificación tanto de la glicerina como del biodiesel, con el fin de obtener productos que satisfagan las normas internacionales. Estos equipos no son necesarios en los procesos heterogéneos. Por otro lado, en el proceso enzimático, las temperaturas de operación son las menores de los cuatro, siendo el de resinas sólidas el que opera a mayor temperatura, aunque la conversión de los ácidos grasos libres deja una merma del 25 % aproximadamente sin convertir y que deben ser separados de la

corriente de biodiesel.

Debido a la cantidad de ácidos grasos presente en la materia prima (5 %) el proceso catalizado por resinas sólidas se presenta como el de mejor rentabilidad, dado que posee una tasa interna de retorno superior a los demás procesos involucrados.

antártica Lipase". *JAOCS* 77 (4) (2000) 355 - 360.

5. Zhang, Y. Dubé, M.A. McLean, D.D. Kates, M. "Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: 1. Process design and technological assessment". *Bioresource Technology* 89 (2003) 1 - 16.

1. Freedman, B. Butterfield, R.O. Pryde E.H. "Transesterification Kinetics of Soybean Oil". *JAOCS* 63 (10) (1986) 1375 - 1380.

2. Nouredini, H. Zhu, D. "Kinetics of Transesterification of Soybean Oil". *JAOCS* 74 (11) (1997) 1457 - 1463.

3. Srivastava, A. Prasad, R. "Triglycerides-based diesel fuels". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 4 (2000) 111 - 133.

4. Watanabe Y., Shimada Y, Sugihara A., Noda H., Fukuda H., Tominaga Y. "Continuous Production of Biodiesel Fuel from vegetable Oil Using Immobilized Candida