

ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

Ing. Christian Lenoir - Univ. Católica Argentina.

Fac. de Cs. Fisicomatemáticas e Ingeniería.

Juncal 189, Martínez (1640), Buenos Aires, Argentina.

Tel: (011) 4792-1094. Fax: (011) 4798-8377. Email:
clenoir@iespana.es

RESUMEN

El presente trabajo pretende analizar sintéticamente el proceso de producción del biodiesel, novedoso combustible alternativo derivado de lípidos, y comprobar su funcionamiento en un motor diesel, analizando a la vez su impacto sobre los humos de combustión y elaborando una síntesis de sus ventajas y desventajas.

Si bien existe un gran cantidad de información publicada sobre el tema, se tratará de realizar una aproximación que permita conocer en detalle la naturaleza, producción, perspectivas, limitaciones y ventajas de éste combustible. Así, se pretende dar al lector una introducción al tema, para difundir el desarrollo y uso del biodiesel y promover la búsqueda de una solución que permita su implementación definitiva en el mercado local.

INTRODUCCIÓN

El deterioro del medio ambiente, sumado a las poco alentadoras perspectivas que presentan los combustibles fósiles y la creciente conciencia ambiental, han llevado al desarrollo de diversos combustibles y fuentes de energía (no necesariamente novedosas) denominadas renovables.

Una de los problemas más frecuentes en éste campo es la adaptabilidad de dichas energías a la vida cotidiana, ya que la transición hacia éstas acarrea costos frecuentemente insuperables. Sin embargo, el desarrollo de un combustible en particular, denominado biodiesel, se presenta como una alternativa alentadora. Dicho combustible, obtenido a partir de aceites y grasas animales y vegetales, puede ser empleado sin mayores modificaciones en motores de ciclo diesel. Más aún, permite aprovechar la red de expendio existente, y dada la naturaleza de sus

materias primas, presenta un perfil alentador para un país agrícola como la Argentina.

En el país el tema ha sido abordado en profundidad por diversas entidades, desde universidades como la U.T.N., hasta el gobierno y diversos emprendimientos privados. Hoy día, la producción e iniciativa ha mermado dados los precios relativamente altos del aceite (principal materia prima) que como commodity ha tendido a adoptar un precio "dolarizado". Sin embargo, el desarrollo del biodiesel resulta de sumo interés por sus implicancias económicas a futuro para un país agrícola como la Argentina, por su favorable impacto sobre el medio ambiente y por su gran adaptabilidad al mercado local de combustibles.

EL BIODIESEL COMO COMBUSTIBLE

El biodiesel no es sin embargo un desarrollo novedoso. En Europa se ha utilizado por más de veinte años, y su uso se ha difundido actualmente por todo el mundo a una velocidad increíble.

Entre sus muchas ventajas, podemos citar su impacto notorio en la reducción de emisiones gaseosas nocivas producto de la combustión. Además, posee excelente poder de lubricación, lo que permite su utilización como aditivo lubricante. A esto debemos sumar la posibilidad de utilizarlo en mezclas con gasoil común en cualquier proporción, así como su elevada biodegradabilidad, y su rendimiento comparable al del gasoil derivado de petróleo.

Sin embargo, Rudolph Diesel (inventor del motor diesel), ya utilizaba aceite de maní en sus motores (como demostró en la exposición de París de 1900), y cabría preguntarse el porqué del uso de un éster, que implica un valor agregado sobre el aceite.

La respuesta radica principalmente en la adaptabilidad del biodiesel, que no sólo presenta una viscosidad mucho menor a la del aceite, sino también la posibilidad de utilización directa en motores diesel (de inyección directa u indirecta), sin más modificaciones que las que representan unos pocos recaudos.

NATURALEZA DEL COMBUSTIBLE

Cuando hablamos de biodiesel, nos referimos en general a ésteres de alquilo menores (metilo y etilo) de ácidos grasos de cadena par, que en general van del C4 al C24.

La razón de esto es la naturaleza de la materia prima: grasas y aceites de origen animal y vegetal. La biosíntesis en animales y plantas produce cadenas carbonadas de número par de carbonos con la mencionada longitud de cadena. Pueden además encontrarse aceites poliinsaturados, como el de lino, o más bien saturados como el aceite de coco.

Por otro lado, el proceso de síntesis consta normalmente de una transesterificación que sustituye el grupo glicerilo de los triglicéridos por un grupo metilo u etilo, proveniente en general de un alcóxido como el metóxido u etóxido de sodio.

La transesterificación no es más que una reacción de un alcohol "A" y un éster "B" para dar un alcohol "C" y un éster "D". En la síntesis del biodiesel, se forman entre el aceite y el alcohol, normalmente metílico, ésteres en una proporción aproximada del 90% más un 10% de glicerina. La glicerina representa un subproducto muy valioso que de ser refinada a grado farmacológico (tarea no del todo sencilla a pequeña escala) puede llegar a cubrir los costos operativos de una planta productora.

IMPLICANCIAS AMBIENTALES

Es interesante mencionar aquí el potencial que representa el reuso de aceites vegetales de cocina usados para la elaboración de biodiesel. El volumen de aceites de cocina usados de la ciudad entera no bastaría para satisfacer ni siquiera un porcentaje ínfimo de la demanda local de combustibles, pero la alternativa es interesante desde el punto de vista ambiental

Si bien muchos locales de comidas venden sus aceites de cocina usados a precios de hasta 17c el litro (normalmente para su utilización como aceites de cocina de segunda categoría), existe un balance y un ciclo para éstos aceites, y en algún punto los mismos son desechados, a menudo a la red colectora cloacal o a rellenos sanitarios. En general, la flora bacteriana de un buen sistema de tratamiento de efluentes en una ciudad organizada o un buen compostaje podrá lidiar con dicha carga, pero a menudo éstos aceites llegan directamente a cursos de agua, sin previo tratamiento, y representan un riesgo para la flora y fauna acuática al formar una delgada capa superficial que impide procesos fisicoquímicos fundamentales para la vida. Esto no solo representa un problema ambiental, sino que es un desperdicio absoluto de materia prima valiosa, tanto para la obtención de glicerina, ácidos grasos o ésteres como el biodiesel.

VENTAJAS

El biodiesel presenta una larga variedad de ventajas, que será útil enumerar:

- No requiere mayores modificaciones para su uso en motores diesel comunes.
- Es obtenido a partir de aceites vegetales, totalmente reenvables.
- Permite al productor agropecuario autoabastecerse de combustible.
- Permite a países agrícolas independizarse de los países productores de petróleo.
- Tiene un gran poder de lubricación y minimiza el desgaste del motor.
- Presenta un menor nivel de emisiones gaseosas de combustión nocivas.
- Su rendimiento en motores es similar al del gasoil derivado de petróleo.
- Puede utilizarse en mezclas con gasoil común en cualquier proporción.
- No requiere cambios de infraestructura para su adopción.
- No altera sustancialmente el torque o el consumo.
- Reduce en gran medida los humos visibles durante el arranque.
- Posee una gran biodegradabilidad, comparable a la de la dextrosa.
- Es aproximadamente diez veces menos tóxico que la sal común de mesa.
- Su transporte y almacenamiento es más seguro dado su alto flash point.
- Puede producirse a partir de cultivos abundantes en el país, como la soja.
- Ya ha sido probado satisfactoriamente por más de 20 años en Europa.

ÿ No contiene azufre, y permite el uso de catalizadores.

ÿ Los proyectos de inversión asociados son una buena fuente de empleos.

ÿ Se encuentra exento en el país de varios impuestos por el plazo de 10 años.

ÿ El olor de combustión asemeja el olor a fritura, a diferencia del olor del gasoil.

LIMITACIONES

Siendo el presente un trabajo científico, no sería justo abogar sólo por las virtudes del biodiesel, sin hacer mención de sus desventajas.

ÿ Presenta elevados costos de materia prima, más aun desde la devaluación del peso argentino.

ÿ Su combustión puede acarrear un aumento de óxidos de nitrógeno (NO_x).

ÿ Presenta problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0°C)

ÿ Presenta escasa estabilidad oxidativa, y su almacenamiento no es aconsejable por períodos superiores a 6 meses.

ÿ Su poder solvente lo hace incompatible con una serie de plásticos y elementos derivados del caucho natural, y a veces obliga a sustituir mangueras en el motor.

ÿ Su carga en tanques ya sucios por depósitos provenientes del gasoil puede presentar problemas cuando por su poder solvente "limpia" dichos depósitos, acarreándolos por la línea de combustible.

BIOESTERAJE

Como hemos dicho, el biodiesel puede mezclarse en cualquier proporción con el gasoil común, y dicha razón de mezcla se denomina porcentaje de biomasicidad o simplemente bioesteraje. Así se utiliza la denominación Bxx o BDxx para referirse a una mezcla de xx% de biodiesel en gasoil.

CARACTERÍSTICAS

En el país, la Res. de la Secretaría de Energía y Minería No. 129 (Julio 2001) regula los parámetros técnicos del biodiesel.

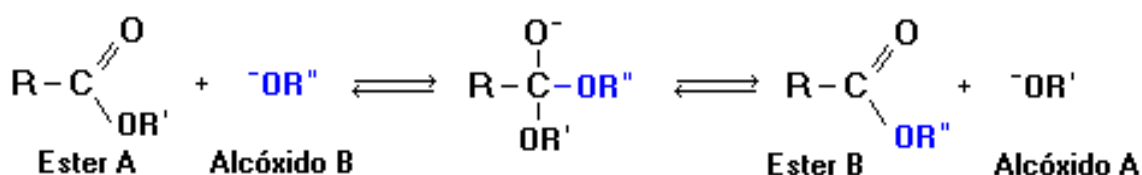
En los EE.UU., la norma ASTM correspondiente es la D6751, de reciente publicación.

El biodiesel tiene en general un poder calórico inferior algo menor al del gasoil (7.795 kcal/l vs. 8.74 kcal/l). Su viscosidad cinemática en general está entre 1.9 y 6.0 cSt., aunque éste parámetro no difiere sustancialmente en el gasoil (1.3-4.1 cSt.). Su densidad es de aproximadamente 0.878 kg/l a 15°C, y su flash point llega a sobrepasar los 130°C, a diferencia del gasoil, cuyo punto de inflamación es de apenas 60-80°C. Posee además un número cetano ligeramente mayor al del gasoil, y duplica el poder de lubricación del mismo.

PRODUCCIÓN

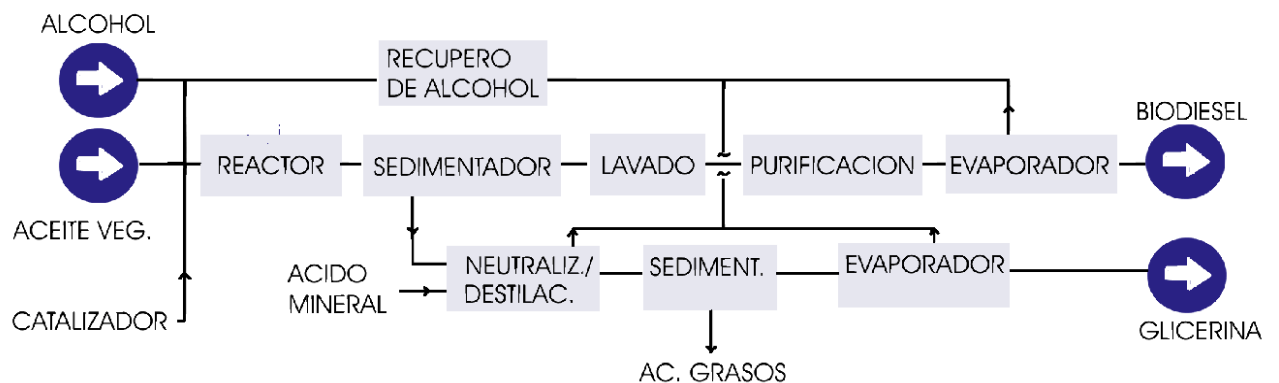
La tecnología básica de producción consta de un reactor en el cual se lleva a cabo la transesterificación. Por un lado, en un tanque auxiliar, se prepara la solución de metóxido de sodio. Se prepara dicha solución a partir de alcohol -usualmente metílico- de alta pureza (el agua interfiere en la reacción) e hidróxido de sodio. No se utiliza alcóxido anhidro pues la reacción de dicha sustancia en agua es muy violenta y tiende a la autoignición. Ésta mezcla fuertemente cáustica es vertida en el reactor principal que contiene los lípidos fundidos. La reacción a menudo se realiza a unos 50°C para agilizar la misma, y se mezcla vigorosamente para favorecer una reacción completa. En los procesos industriales más complejos, se procede a separar el biodiesel y la glicerina formados mediante el uso de centrifugas continuas que permiten además remover constantemente los productos de reacción para desplazar la reacción hacia el lado de los productos (logrando un mayor rendimiento). Sin embargo, aún son comunes los procesos por lotes (batch), en los que transcurridos unos 50 minutos, se procede a una decantación de la glicerina. Luego de separar la misma, el éster es lavado para eliminar jabones y otros subproductos de reacción indeseados.

Fig. 1: Reacción de transesterificación básica:



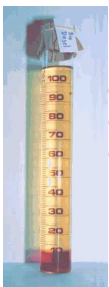
El agua, cabe agregar, favorece en presencia del catalizador alcalino la formación de jabones. Además, la degradación misma de un aceite produce ácidos grasos libres, y esa acidez debe ser tenida en cuenta a la hora de calcular la masa de catalizador necesaria. Los jabones son perjudiciales no sólo porque contaminan el producto final, sino porque tienden a la formación de emulsiones muy estables. Por esto, debe asegurarse la menor cantidad de agua posible durante el proceso, lo cual implica un secado del aceite (si es aceite usado), y el uso de alcoholes de más del 98,5% de pureza. Esto es principalmente lo que torna incompetitivo al uso del alcohol etílico, ya que éste forma con agua una mezcla azeotrópica que impide una destilación de más del 96% de pureza y requiere para su purificación total una destilación con mezclas ternarias (lo que eleva el costo del alcohol etílico puro en relación al alcohol metílico).

Fig. 2: Proceso de síntesis



PROCESO DE ELABORACIÓN CASERA

Con el fin de estudiar la aplicación del biodiesel en motores, la factibilidad del reuso de aceites y el impacto asociado en las emisiones de combustión, se procedió a sintetizar en forma casera un lote de cuatro litros de biodiesel.



Partiendo de aceite de girasol cocinado, se procedió al filtrado del mismo para la eliminación de las impurezas. Esto se realizó con la ayuda de un colador y papel tisú, que aún con la reducida viscosidad del aceite caliente conlleva un tiempo de filtrado razonablemente largo. Se procedió luego a calentar el aceite para obtener una materia prima libre de agua.

A continuación se efectuó una titulación con alcohol isopropílico y solución de hidróxido de sodio para determinar el nivel de acidez del aceite. La soda cáustica

interviene simplemente como catalizador, pero en presencia de ácidos grasos libres, tenderá a neutralizar los mismos formando jabones. En tal sentido, debe asegurarse una cantidad suficiente de hidróxido de sodio que permita no sólo neutralizar los ácidos sino también actuar como catalizador. Un nivel demasiado alto de ácidos grasos libres puede incluso ser prohibitivo para la reacción, si éste deriva en una excesiva formación de jabones. Por otro lado, una cantidad insuficiente de catalizador no permitirá una reacción de rendimiento satisfactorio.

El proceso comienza en definitiva con la mezcla del alcóxido de sodio y el aceite, tal y como fue detallado en el subtítulo "producción". En nuestro caso, se utilizó un recipiente de acero inoxidable y un agitador eléctrico de 12V.

El acero inoxidable es un material muy noble que soporta fácilmente las condiciones altamente cáusticas de la reacción. La agitación, por su parte, es necesaria para promover el contacto íntimo de los reactivos y lograr una buena eficiencia de reacción .

Fig. 3: Reactor casero



El paso siguiente lo constituye la decantación de la mezcla, que por sí sólo se separará por completo en dos fases (glicerina y éster) al cabo de unas horas.

El rendimiento del proceso suele estar cercano al 98-99%. Del porcentaje que ha reaccionado, se forma aproximadamente un 90% de éster y un 10% de glicerina.

Una vez realizada la decantación, el éster es "sifoneado", o la glicerina es purgada. En el presente trabajo no analizaremos el tema de la glicerina. Sin embargo, cabe alcarar que a nivel industrial su refinación y venta puede significar grandes ingresos. Sin embargo, a escala casera, su purificación resulta casi imposible, con la problemática adicional que representa su alta alcalinidad (hasta pH11) y elevado

contenido de metanol (un tóxico del nervio óptico que puede producir intoxicación, ceguera y muerte hasta por inhalación o contacto dérmico).

Además, recordaremos que la destilación a temperatura de la glicerina no es aconsejable dado que esto puede resultar en la descomposición térmica de la glicerina, lo que puede liberar acroleína (propenal), un gas cancerígeno. Por esto, la purificación de la glicerina se realiza en general mediante una destilación al vacío, método impráctico y no económico a pequeña escala.

Terminada la reacción, el metanol remanente queda retenido aproximadamente en un 50% en la fase de la glicerina, y otro 50% en el éster. Sin embargo, el lavado del éster con agua (proceso solo aplicable a escala piloto por las implicancias ambientales respecto al volúmen de agua necesario) remueve el contenido de metanol, dado que el agua, compuesto altamente polar, tiene gran afinidad por éste alcohol. Cualquier remanente de alcohol en el éster sería en el peor de los casos quemado en la cámara de combustión sin mayores inconvenientes, y presenta en última instancia un mero problema de costos (ya que su recupero presenta un ahorro valioso).

Fig. 4: Lavado del lote de 4 litros



El lavado con agua, (a escala casera) se realizó con la ayuda de una piedra aireadora. Éste método desarrollado por la Universidad de Idaho (EE.UU.), se basa en el hecho que las pequeñas burbujas desprendidas de la piedra aireadora están rodeadas por una fina película de agua (que por su densidad y polaridad se separa del éster y yace bajo el mismo). La película de agua disuelve y lava las impurezas en su viaje a la superficie. Al emerger y explotar, las pequeñas gotas de agua provenientes de la película de la burbuja comienzan a descender hacia la fase acuosa, continuando el proceso de lavado.

El agua se vuelve turbia y lechosa por la disolución de los jabones (producto de las reacciones secundarias indeseadas, mas siempre presentes).

Finalmente, tras un filtrado con un filtro de papel de poro grande (filtro de café) se eliminaron los vestigios de agua emulsionada (el papel es un excelente absorbente de agua), y se obtuvo un producto totalmente transparente.

De ésta forma, se obtuvieron unos cuatro litros de ésteres metílicos grasos de aproximadamente la siguiente composición:¹

69.3% C18:2 C₁₈H₃₂O

18.7% C18:1 C₁₈H₃₄O

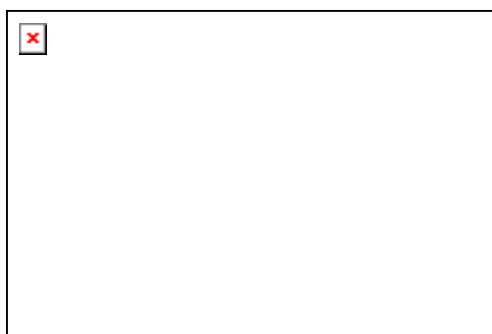
6% C16:0 C₁₆H₃₂O

4.5% C18:0 C₁₈H₃₆O

1,4% C20:0/C22:0 C₂₀H₄₀O/C₂₂H₄₄O

0.3% C18:3 C₁₈H₃₀O

Fig. 5: Agua de lavado (3 etapas), glicerina y éster obtenido



El peso molecular aparente de una molécula equivalente de aceite de girasol (a efecto de los cálculos estequiométricos), teniendo en cuenta que por cada grupo glicerilo existen tres cadenas carbonadas cuya composición es la recién expuesta, sería entonces de 284.164 gramos por mol.

CONTAMINANTES DEL COMBUSTIBLE

Según un trabajo de la Universidad de Iowa², los contaminantes más frecuentes en el biodiesel incluyen materia no saponificable, agua, glicerina libre, alcohol, ácidos grasos libres, jabones, catalizador remanente o residual y productos de oxidación.

Toda materia contenida en los aceites que no sea materia grasa se denomina insaponificable. Se conocen con el nombre genérico de gomas y comprende una larga lista de sustancias: polipéptidos, fosfátidos, lecitina, proteínas, mucilágenos, esteroides, hidrocarburos, etc. Al no participar en las reacciones de transesterificación, forman compuestos indeseados en el biodiesel. Esto puede alterar el funcionamiento del motor. En general, son tratados con algún ácido que luego se neutraliza junto con los ácidos grasos libres.

La presencia de agua durante la reacción es tal vez uno de los mayores focos de contaminación, ya que favorece la saponificación y no la transesterificación, produciendo jabones y mermando el rendimiento. En forma de emulsión, su presencia es indeseada en el producto final, más cabe aclarar que el agua es muy soluble en determinados ésteres, pudiendo alcanzar concentraciones superiores a las 1500 ppm. El agua así disuelta no parece presentar inconvenientes para el motor.

El biodiesel tiene la ventaja de ser muy biodegradable, pero el revés de la moneda lo constituye el hecho que justamente por esto, es muy susceptible de ser contaminado por microorganismos, más aún en lugares en que se espera pueda entrar en contacto con agua.

La glicerina libre es un producto de la reacción de transesterificación, y en general no se encuentra presente si el éster es lavado con agua (la glicerina es polar y tiene mayor afinidad por el agua). Sin embargo, puede aparecer producto de decantados cortos y malos lavados, y se sospecha podría causar depósitos en el motor.

Los glicéridos son el conjunto de monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos que pudieran existir. La utilización de un exceso de alcohol en un 100% en general asegura su ausencia. Sin embargo, pueden presentarse tras reacciones incompletas. Los triglicéridos constituyen los aceites y lípidos en general que conforman la materia prima, por lo que en forma menos técnica, podríamos decir que éstos constituyen "el aceite que no reaccionó". El uso de aceites vegetales como combustibles en motores diesel también ha sido estudiado desde hace ya muchos años, pero en ese caso, deben adaptarse los mismos. Por ejemplo, deben ser adaptados con sistemas de calentamiento de la línea de combustible (para disminuir la viscosidad del aceite), y debe ajustarse el sistema de inyección. En motores no preparados, la presencia de aceites puede llevar a la aparición de depósitos y otros problemas.

Los ácidos grasos libres y los jabones son compuestos relacionados. En general el biodiesel es producido utilizando un catalizador como el metóxido de sodio, hidróxido de sodio o hidróxido de potasio. Cualquier ácido graso presente reaccionará con el catalizador en presencia de agua para formar jabones. Éstos suelen ser removidos en la etapa de lavado, aunque su presencia en exceso dificulta enormemente ésta etapa. Durante el funcionamiento del motor, el metal proveniente del jabón o catalizador puede formar cenizas.

Resulta prudente hacer una breve explicación del proceso de autooxidación del biodiesel. Éste proceso no se da por la presencia de contaminantes, sino por la naturaleza misma de los ácidos grasos constitutivos, pero vale aclarar los inconvenientes que conlleva.

El aceite de soja, por ejemplo, contiene un nivel de insaturaciones más alto que muchos otros aceites, y pueden existir catalizadores metálicos en los tanques de almacenaje. Esto produce una autooxidación del éster. Cuando ésta reacción ocurre a temperatura ambiente, los compuestos inicialmente formados son hidroperóxidos resultantes de la adición de átomos de oxígeno a carbonos adyacentes a dobles ligaduras. En éste punto en general la insaturación no se ve afectada. A medida que avanza la oxidación, los peróxidos pueden descomponerse para dar aldehídos y ácidos de cadena corta. Los hidroperóxidos son muy inestables y tienden además a atacar los elastómeros. Además, pueden inducir la polimerización de los ésteres formando gomas y sedimentos insolubles, lo que causa problemas en el motor.

LUGARES DONDE SE USA

Muchos países ya han adoptado el biodiesel por diversos motivos, como su aumento significativo en el poder de lubricación. Se encuentra registrado como combustible y como aditivo para combustibles en la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environmental Protection Agency, E.P.A., EE.UU.) En Europa, prácticamente cualquier automóvil producido a partir de 1996 es apto para el uso de biodiesel puro. Francia mezcla un 5 % de biodiesel como aditivo en los combustibles de todas las estaciones de servicio del país, y en la República Checa, el porcentaje de "Bio-Naphta" es del 30%. Alemania, Austria y otros países de Europa Central usan BD puro. En Italia según Choo et al.³, se utilizaba en 1991 en motores IVECO en 72 micros, en unas 19 ciudades, en una prueba de campo que implicó unos 520,000 km. de prueba. En EE.UU. se venden mezclas de biodiesel, y diversas flotas de transporte terrestre lo utilizan. También es utilizado en minería y en el sector marino. Japón presente interés en su producción y uso. En Alemania se comercializa en más de 350 estaciones de servicio, siendo normal su uso en los cruceros turísticos que navegan sus lagos. En los EE.UU., su uso se encuentra ampliamente difundido, y su crecimiento durante los últimos años ha sido exponencial. Actualmente, flotas de transporte público de diversos estados han adoptado el biodiesel en mayor o menor medida.

Obviamente, debido al uso exhaustivo del gasoil en el campo (a nivel mundial), el biodiesel se ha instalado en gran medida en el sector agropecuario. Tal es así, que diversas marcas de maquinaria agrícola (John Deere, por citar uno), extienden actualmente las garantías a su maquinaria para cubrir el uso de las mismas con biodiesel en cualquier proporción.

PERSPECTIVAS ECONÓMICAS

La molienda de granos de oleaginosas en la Argentina arrojó un volúmen de producción de 22.3 millones de toneladas para el año 2000⁴. Esto representa aproximadamente el 84% de la capacidad de molienda instalada⁵, lo que deja ociosa un 16% de la misma. Según Monsanto et al, siguiendo el trabajo de Ugolini (2000), esta capacidad alcanzaría para satisfacer el 42% de la demanda si se proyectara abastecer la totalidad del consumo nacional de gasoil por BD20.

Reulstará interesante actualizar la proyección de una planta productora de biodiesel de 33,000,000 de litros al año, diseñada por Ugolini (2002)⁶. Desde la citada publicación, se ha exento al biodiesel de diversos impuestos, y por otro lado, el precio del aceite se ha incrementado siguiendo el valor del dólar.

Vta Subprod.	Cant	Pr. U.	Total
Glicerina	3,399,000 lt	1.8	\$ 6,118,200
Ácidos Grasos	429,000 kg	0.48	\$ 205,920
Biodiesel	33,000,000 lt	0.37	\$ 12,210,000
Total de Vtas			\$ 18,534,120

Costo Op.	Cant	Pr. U.	Total (\$/año)
MeOH	3,564,000 lt	0.3	\$ 1,069,200
NaOH	49,500 kg	0.5	\$ 24,750
Mano de Obra	5 p	1000	\$ 60,000
Aportes prev.			\$ 27,600
Energía	297,000	0.04	\$ 11,880

(kW/h)	ton		
Vapor (tns)	16,500 ton	10	\$ 165,000
Agua refrig.			\$ 52,000
Mantenim			\$ 138,000
Seguros			\$ 90,000
Compra aceite	33,264 ton	300	\$ 9,972,200
Tot. Costo Op.			\$ 11,617,630

Costos Impositivos	Tasa	Total
Imp inmobiliario	EXCENTO	\$ -
Imp a los activos	DEROGADO	\$ -
Ing Brutos	EXCENTO	\$ -
Total Impuestos		\$ -

Sobre la base de los datos del trabajo el interés para el 1er. año es del 15% sobre el total de la deuda a dicha fecha, o sea 15% s/ \$ 6,000,000, suponiendo que el desembolso del préstamo haya sido realizado al inicio del ejercicio económico analizado. Este costo financiero irá disminuyendo a través de los años en base a la forma de amortización del préstamo.

De todas formas la deducción del interés dependerá del sistema de amortización adoptado (alemán, francés, sinking-fund, etc.), ya que para cada caso habrá que determinar cuál es la cuota de interés contenida en la cuota de servicio desembolsada.

De otro modo (al cabo de diez años, cuando caducará la ley de incentivos al biodiesel), el impuesto inmobiliario ascenderá a \$60,000 y el Impuesto a Ingresos Brutos ascenderá al 1% sobre ventas, o sea, \$185,241.20

Costo producción BD c/ capital genuino	
Costo montaje planta industrial	6,000,000.00
Amortización 10 años	600,000.00

Interés sobre capital	900,000.00
Administración y ventas	1,833,000.00
Otros Gastos	3,333,000.00
Costos Totales	14,950,630.00
Resultado Antes de Ign	3,583,490.00
Ign	1,254,221.50
Resultado Final 1er Ej económico	2,329,268.50

La construcción de la planta se financia con un crédito a 10 años con el 15% anual de intereses. En este modelo los costos operativos se realizan con capital genuino.

Costo Neto Producción del Ester	
Venta glicerina y ácidos grasos	\$ 6,324,120
Costo total de producción	\$ 16,204,852
Costo a imputar para el éster	\$ 9,880,732
Costo por litro	\$ 0.299
Venta salida de planta +20%	\$ 0.359
Renta Anual	1,976,146

Ingresos de la planta (densidades = 1)	Kg.
Aceite de Soja	33,264,000 kg
MeOH	3,564,000 lt
Total	36,828,000 ton
Egresos de la planta	
glicerina	3,399,000 lt
Ácidos grasos	429,000 kg
Biodiesel	33,000,000 lt
Total	36,828,000 lt

Sobre un costo anual de 16.000.000 se obtiene un beneficio de \$1.976.164, o sea una renta anual próxima al 12% (incluye amortización de la planta). Al precio de venta del biodiesel a la salida de la planta se le asigna un 20% de margen sobre el costo.

Precio de Venta del Biodiesel	BD 100 s/ imp.	BD20 s/ imp.
Precio a la salida de la planta	\$ 0.359	
Ingresos Brutos (3%) EXCENTO	\$ -	
IVA (21%)	\$ -	
Flete (10%)	\$ -	
ITC EXCENTO	\$ -	
Margen Est. de Expendio (10%)	\$ 0.036	
Precio de Venta del Biodiesel	\$ 0.395	
80% Gas oil de 0,89 \$/lt		\$ 0.71
20% BD		\$ 0.08
Precio de Venta del Biodiesel		\$ 0.79

Debe aclararse que dicho cálculo se ha hecho asumiendo un precio del aceite de 300 pesos por tonelada, lo que puede haber sido cierto hasta hace unos meses, pero se encuentra muy alejado de la realidad actual.

En todo caso, podría decirse que la proyección de la planta de transesterificación se ha diseñado siguiendo precio internacionales.

Si se toma el precio actual del aceite, el precio del producto final rondaría cerca del \$1,60 para el BD100, lo que lo torna excesivamente caro para el mercado local, aún frente al aumento de casi el 100% que ha sufrido el gasoil en el primer semestre del año.

Es interesante recalcar que el biodiesel puede tener (y a menudo tiene) un precio en planta superior al del gasoil, pero que la gran carga impositiva impuesta por muchos países sobre los demás combustibles le permite en general adquirir un precio competitivo.

CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO

El biodiesel de producción casera, elaborado a base de aceites de frituras, resulto de buena calidad. Se utilizaron diversos análisis para su tipificación, desde simples gravimetrías hasta espectrofotometrías infrarojas.

La viscosidad cinemática del éster fue medida con un viscosímetro Saybolt, y resultó ser de 3,654 cSt a 40°C, entre los 3,5 y 6.0 cSt exigidos por la normativa Argentina previamente citada.

La densidad, por su parte, fue de 0.8797 g/cm³, lo que concuerda con la normativa nacional, que exige un valor de 0.875-0.900 g/cm³.

El ensayo de corrosión al cobre, que por norma ASTM D130 no debiera superar el No. 1, no llegó a tal nivel, dado que no se vió evidencia alguna de deterioro del metal.

El punto de turbiedad, que debiera estar comprendido entre los -3°C y 12°C, se ubicó entre los 9°C y 10°C aproximadamente.

El punto de escurrimiento, por su parte, representa la temperatura a la cual se gelifica la sustancia, o sea, cuando pierde su capacidad para escurrir. Dicho punto, que por norma debe estar entre los -15°C y 16°C se ubicó cerca de los -4°C.

El punto de inflamación (flash point) del éster obtenido fue superior a los 100°C. No se procedió a determinar su valor exacto, pues la norma provisional ASTM PS-121 (vigente hasta hace unos pocos meses), establecía simplemente un mínimo de 100°C. Sin embargo, debe aclararse que la norma definitiva ASTM D6751 establece un mínimo de 130°C.

El residuo carbonoso representa el depósito de carbón tras la calcinación de una. Por norma, no debiera sobrepasar el 0,05% en peso. En nuestro caso, el valor ascendió a 0,0711%, un valor que si bien se encuentra levemente fuera de norma, no es signo taxativo de un combustible de mala calidad.

El agua constituye uno de los aspectos más controvertidos en mi opinión. La norma ASTM D6751 que regula la calidad del biodiesel, estipula un máximo contenido de 0,05% en peso. La norma alemana DIN 1606 (Set. '97) establece por su parte un límite de 300 ppm, o 0,03% en peso. Sin embargo, y según hemos comprobado, ciertos ésteres (el de soja⁷, o como en nuestro caso, el de girasol), pueden retener hasta 1700 ppm de agua en forma disuelta. Éste agua no se encuentra emulsionada, y por lo tanto no es el tipo de agua que representaría un riesgo obvio al funcionamiento del motor, ni tampoco el tipo de agua que sería retenida por una trampa de agua de un motor diesel. El biodiesel obtenido alcanzó un nivel de agua de entre 1200 y 2000 ppm, que es en donde se sitúa el límite de solubilidad de agua en el "éster metílico de girasol" (denominación dada al biodiesel obtenido de ésta oleaginosa).

La cantidad de agua encontrada marcó un notorio pico entre los 3080 y 3550 cm^{-1} de la espectroscopía infrarroja realizada. Si bien ese pico denota la presencia del grupo alcohol (y por ende, podría provenir de la presencia de metanol remanente), una destilación con xileno demostró que el contenido de agua se encontraba muy fuera de especificación.

Sin embargo, siguiendo las investigaciones y trabajos de otros científicos, y habiendo ensayado satisfactoriamente el combustible, debo atreverme a criticar el nivel establecido por norma, o al menos, ponerlo en duda, dado que a mi criterio éste aspecto merece una revisión más profunda.

ENSAYO EN MOTORES

Caracterizado el éster, y para culminar éste trabajo, se procedió a ensayar el combustible "casero" en un motor de ciclo diesel. A tal efecto de recurrió a un motor motor Indenor modelo xd2 de 4 cilindros y 2500 cc., con bomba inyectora Bosch e inyección directa sobre cabeza de cilindros (furgoneta Peugeot 504).

Es realmente gratificante comprobar que de una sustancia como el aceite cocinado, usualmente considerada residuo, pueda elaborarse algo que efectivamente haga funcionar un motor. Es cierto que el grado de compresión de un motor diesel permite la ignición incluso de un aceite puro, pero el llegar a una sustancia razonablemente refinada que se sabe no causará daños al motor es una experiencia verdaderamente gratificante. El motor arrancó con facilidad, y gradualmente comenzó a emitir por el caño de escape el característico olor a frituras, propio de la combustión del biodiesel.

HUMOS DE ESCAPE

Los gases de escape se analizaron con un opacímetro MAHA, modelo MDO2. El análisis de opacidad de humos consiste hacer pasar un haz de luz a través de una cámara llena de los gases de muestra. Una célula fotoeléctrica mide la intensidad de luz recibida en el extremo opuesto, que será inversamente proporcional a la densidad de humos de combustión. En la Argentina, algunas de las normas más importantes que regulan la emisión de gases de escape de vehículos son el Decreto 875/94 (3/6/94) y la Resolución Conjunta 96/94 y 58/94 de las Secretarías de Transporte y de Industria. El análisis de opacidad de humos es el único requerido para la determinación de emisiones de motores de ciclo diesel.

Fig. 6: Opacímetro y comando a distancia



La escala de medición refleja un coeficiente no lineal de absorción "k". Dicho valor sigue una escala exponencial, y alcanzó para el biodiesel un valor de 1.71m^{-1} y 5.6m^{-1} para el gasoil. Sin embargo, para realizar una comparación, es necesario ajustar éstos valores a una escala lineal de 0-100, para los cuales el biodiesel arrojó un valor de 52, y el gasoil de 91.

Esto nos dice que el gasoil aumentó la densidad de humos en un 75%. O bien, que la reducción de humos fue de un 43%, casi la mitad. Más aún, la medición arrojada por el gasoil no hubiese permitido al motor ensayado cumplir con la legislación vigente, que en términos generales, puede decirse establece un valor límite de $k = 2.5\text{m}^{-1}$. En cambio, sí hubiese estado en regla utilizando biodiesel.

EMISIONES GASEOSAS

No pudieron ensayarse niveles de gases de combustión (NO_x , SO_x , CO , CO_2 , etc), pero la bibliografía cita en general los siguientes valores:

Fig. 7: Reducción de gases (base gasoil=0)⁸

	B100	B20
--	------	-----

Comb. no quemado	-93%	-30%
CO	-50%	-20%
Partículas sólidas	-30%	-22%
Óxidos Nitrosos	13%	2%
Azufre	-100%	-20%
PAH	-80%	-13%
nPAH	-90%	-50%
SMOG POT.	-50%	-10%

Algunas publicaciones citan reducciones en el nivel de óxidos de nitrógeno, aunque en general se asume que la utilización de biodiesel suele llevar aparejado un aumento de éstas emisiones. Los óxidos de azufre en general se encuentran ausentes, dado que el biodiesel no contiene azufre. El azufre es un inhibidor catalítico, y su ausencia permite el uso de catalizadores efectivos en el tratamiento de gases como el óxido de nitrógeno.

CONCLUSIONES

Puede destacarse una serie de conclusiones generales del presente trabajo. A saber:

- El biodiesel representa una alternativa extremadamente útil para un país agrícola como la Argentina.

-

Su aplicación comercial a gran escala no implica inversiones extras en adaptación, genera puestos de trabajo, y puede llegar a ser económicamente rentable.

- El contenido de agua disuelta del metil éster de girasol (así como del metil éster de soja) puede sobrepasar ampliamente los límites exigidos por las normas internacionales de calidad de biodiesel, y

se considera que los límites de las normas DIN y ASTM sobre contenido de agua no debieran ser taxativas.

-

Las bajas emisiones de combustión convierten al biodiesel en una alternativa atractiva para ciudades con problemas de contaminación severos, o ambientes frágiles (como Parques Nacionales)

- Las extensas pruebas realizadas en todo el mundo con éste combustible demuestran que el mismo es competitivo con el gasoil, y representa una de las alternativas más viables en el campo de las energías renovables.

-

La reducción neta de humos (en escala lineal) fue de cerca de un 43%. El aumento de humos derivados de la combustión de gasoil fue de un 75% respecto a las emisiones del biodiesel.

- La simplicidad del proceso de producción torna al BD una alternativa interesante para el autoabastecimiento de combustible de empresas agropecuarias productoras de oleaginosas.

-

El aceite de cocina usado es actualmente desechado o vendido a precios ínfimos para su reutilización, y su aprovechamiento para su conversión en biodiesel debe ser estudiado tanto por las implicancias ambientales (reciclaje) como por su utilidad en términos económicos.

AGRADECIMIENTOS

Addison, Keith

Álvarez, Horacio (E.S.T.E. – U.C.A.)

Gómez, Oscar

Miembros de biofuels@yahoogroups.com

Pinelli, Juan Pablo

Staff del lab. de la Esc. Escocesa San Andrés

Sussex, John R.

Troccoli, Osvaldo

Von Haeften, Eduardo

Walz, Ana

REFERENCIAS

1. Morrison, Robert Thorton y Boyd, Robert Neilson – "Química Orgánica" 5º edición – Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington, Delaware, E.U.A. – 1996 – 1474 pág.

2. Van Gerpen, Jon H. Et al – Iowa State University – "Determining the influence of contaminants on biodiesel properties"

3. Choo Y. M. & Ma, A. N. – Palm Oil Research Institute of Malaysis (PORIM), Kajang, Selangor Darul – Ong, A. S. H., Malaysian Palm Oil Promotions Council, Kuala Lumpur, Malaysia – "Biofuels"

4. Boletín de Precios de Combustibles - Secretaría de Energía de la República Argentina - Ministerio de Infraestructura y Vivienda - Octubre 2001 - [en línea]
<http://energia.mecon.gov.ar>

5. Monsanto, SAGPyA – Seminario Biodiesel "El futuro del Pasado", Sta. Fe, 2001 – Congreso Organizado por la Universidad Argentina de la Empresa y la Vicegobernación de la Provincia de Santa Fe – 18 de Septiembre de 2001 [en línea]

<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/0-0/index/institucional/biodiesel/Master.pdf>

6. Ugolini, Jorge Guido – "Nuevo rol para la agricultura" Revista "Super Campo" Nº 78 – Editorial Perfil – Marzo 2001 – p.26-29

7. Krahl J., Baum K., U. Hackbarth H., Jeberien E., Munack A., Schütt C., Schröder O., Walter N., Bünger J., Müller M. M., Weigel A. – "Gaseous Compounds, Ozone Precursors, Particle Number and Particle Size Distributions, and Mutagenic Effects Due to Biodiesel" – 2001 – ASAE, Vol 44(2): 179-191

8. Conferencia "Biodiesel: Combustible alternativo de origen vegetal" – Pando, José Luis (Ing. de Petróleos, U.N.Cuyo). – [en línea]

<http://www.fing.uncu.edu.ar/extension/conferencias/biodiesel/Conferencia.pdf>