

Combustibles alternativos: biodiesel*

C. Baglioni, N. Galante, H. Trigubó **

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, República Argentina.
Departamento de Ingeniería Mecánica
Medrano 951 (C1179AAQ) Buenos Aires
E-mail: htrigubo@cedi.frba.utn.edu.ar

Recibido el 9 de septiembre de 2005; aceptado en versión revisada el 23 de agosto de 2006

Resumen

El objetivo de este proyecto es la evaluación del motor de combustión interna al funcionar con los combustibles alternativos biodiesel (BD), gas natural comprimido (GNC) y gas licuado de petróleo (GLP).

En la primera etapa, se desarrolló la investigación con el combustible renovable biodiesel. Para ello, se efectuaron diferentes ensayos en el dinamómetro de motores, relevándose: las curvas de potencia, par y consumo específico de combustible, como así también las emisiones de gases contaminantes que se obtenían para los combustibles gasoil, biodiesel y diferentes mezclas entre ambos.

Asimismo, se evaluó el funcionamiento de una camioneta Renault de la FRBA, que utilizaba combustible biodiesel B-20 (Biodiesel 20% - Gasoil 80%) y cuyo motor superó los 130.000 km de funcionamiento sin ninguna anomalía.

Los resultados obtenidos demostraron el enorme potencial de este biocombustible, que por su rendimiento energético y evidente disminución de las emisiones contaminantes, puede ser utilizado para reemplazar al gasoil.

PALABRAS CLAVE: COMBUSTIBLES- BIO COMBUSTIBLES- BODIESEL- COMBUSTIBLES RENOVABLES

Abstract

The main goal of this project is the evaluation of the performance of the internal combustion engine when working with biodiesel, compressed natural gas (CNG) and liquefied petroleum gas (LPG) as alternative fuels.

In the first stage, the performance of renewable biodiesel fuel was analyzed. Different tests were made in the engine dynamometer. Power, torque and fuel specific consumption plots were obtained. In addition, the emissions of polluting gases obtained from gasoil and biodiesel fuels, as well as different mixtures between them, were analyzed.

Likewise, the performance of a Renault van owned by the Facultad Regional Buenos Aires was evaluated, when biodiesel B-20 (Biodiesel 20% - Gasoil 80%) was used; its engine overcame the 130,000 km of operation without any anomaly.

The obtained results showed the enormous biofuel potential to replace gasoil due to its yielded energy and evident decrease of the polluting emissions.

KEYWORDS: FUELS- BIO-FUELS- BODIESEL- RENEWABLE FUELS

* Trabajo realizado sobre la base de un proyecto de investigación conjunto entre las Facultades Regionales Buenos Aires (FRBA) y Delta (FR Delta), de la Universidad Tecnológica Nacional. Director: C. García Ebbens

** Coordinador del grupo de investigación en la FRBA

Introducción

Es de actual conocimiento público y creciente profundización la preocupación por algunas de las consecuencias que ocasionan en nuestro planeta, la creciente motorización vehicular.

- Dependencia del petróleo en cuanto al abastecimiento, precio y la finitud de su existencia.
- La necesidad mundial de disminuir, debido a los crecientes daños a la salud y a los bienes de la población:
 - La emisión de gases contaminantes;
 - El calentamiento global (efecto invernadero), causado en especial por el dióxido de carbono (CO₂), originado principalmente por la combustión de combustibles fósiles.

Esta situación dio origen a una secuencia de normas internacionales donde se establece la obligación de reducir progresivamente la emisión de los gases contaminantes (EURO 1, 2, 3, 4, 5; Japón; EE.UU.) (Ver Tabla 1).

Las causas mencionadas impulsaron a los diferentes países a estudiar la utilización de combustibles alternativos en reemplazo de los tradicionales (Ver Tabla 2).

Combustibles alternativos renovables: biocombustibles

Se obtienen a partir de materias primas agrícolas, las cuales durante su crecimiento por fotosíntesis, absorben CO₂, compensando el generado por el motor durante su combustión.

Tabla 1. Normas para motores Diesel y Otto utilizados en vehículos para carga superior a 2000 kg *

| Norma | NOx g/km | CO g/km | Hidrocarburos g/km | Material Particulado g/km |
|-----------------------------|-------------|------------|-----------------------|---------------------------------|
| Euro 1 (1992) | 8,0 | 4,5 | 1,10 (THC) | 0,35 |
| Euro 2 (1996) | 7,0 | 4,0 | 1,10 (THC) | 0,15 |
| Euro 3 (2000) | 5,0 | 2,1 | 0,66 (THC) | 0,10 |
| Euro 4 (2005) | 3,5 | 1,5 | 0,46 (THC) | 0,02 |
| Euro 5 (2008) | 2,0 | 1,5 | 0,46 (THC) | 0,02 |
| THC = Hidrocarburos Totales | | | | |

* European Natural Gas Vehicle Association

Tabla 2. Combustibles tradicionales y alternativos para distintos motores

| Motor | Combustibles | | |
|---|---------------|---------------|-------------|
| | Tradicionales | Alternativos | |
| | | No Renovables | Renovables |
| Ciclo Otto | Nafta | GNC/GLP | Alcohol * |
| Ciclo Diesel | Gasoil | - | Biodiesel * |
| * Biocombustibles que se obtienen de productos agrícolas. | | | Hidrógeno |

Se denomina biodiesel a los ésteres de aceites de diversas oleaginosas (soja, girasol, maní, colza, algodón, palma, aceites de procesos de cocción, etc.)*. En su fabricación interviene el alcohol metanol o etanol. Este último también es obtenido de productos agrícolas (caña de azúcar, maíz, remolacha, etc.).

Por sus características físico-químicas, solamente se puede utilizar en motores de ciclo Diesel.

Los fundamentos ambientales y funcionales que impulsan su utilización.

Ambientales:

1. La legislación internacional con etapas sucesivas de mayor exigencia para reducir la emisión de contaminantes en los gases de escape (EURO 3; EURO 4) origina, además de los cambios en el diseño del motor y de los sistemas de alimentación de combustible, la necesidad de utilizar:

a- Sistemas integrados para el control de las emisiones de los gases de escape (catalizador, sensor de oxígeno lambda, etc.).

b- Mejoras en la calidad de los combustibles.

Ambas condiciones están íntimamente relacionadas, como veremos a continuación.

2. El azufre (S) que se encuentra originalmente en el petróleo y que no es eliminado durante el proceso de refinación, formará parte del combustible, siendo sus consecuencias:

- Contribuir a los procesos de corrosión en el motor.

- Afectar el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de los gases de escape (catalizador, sensores de oxígeno), lo que provoca disminución de la vida por "envenenamiento" del catalizador.

Para evitar dicho deterioro, las investigaciones efectuadas indican que es fundamental que el contenido de azufre en el gasoil sea menor a 30 ppm (como S), para lograr, al reducir el "envenenamiento" del catalizador, una alta eficiencia en el tratamiento de las emisiones contaminantes.

En consecuencia, existen fuertes presiones ambientalistas tendientes a reducir el nivel de azufre en el gasoil.

Así, encontramos que en el año 1990 el valor que presentaba era de 5.000 ppm (5.000 mg/kg). A partir de ese año, las regulaciones ambientales limitaron el máximo a alrededor de 500 ppm. De acuerdo a las normas EURO 4 (año 2005), los combustibles deben contener menos de 50 ppm de azufre. (Ver Tabla 3 y Figura 1)

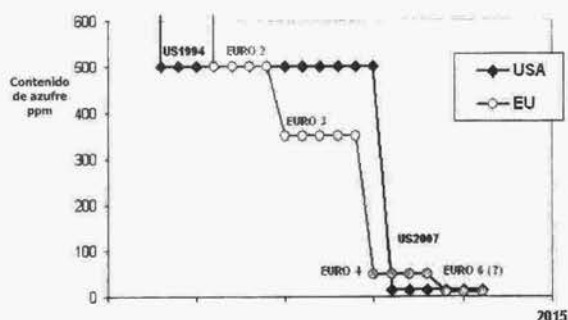


Figura 1. Límites de azufre del gasoil de acuerdo con las normas de emisiones.

Tabla 3. Reducción del contenido de azufre en el gasoil

| Clasificación de gasoil | Contenido de azufre | Emisiones a controlar | Normas de emisión |
|--------------------------------------|---------------------|---|---|
| Normal | ≥ 0.5% (5000 ppm) | — | En EE.UU. anterior a 1993 En la UE anterior a 1996 |
| Menor contenido de azufre | 500-300 ppm | Material Particulado (PM) SO ₂ | ■ US 1994: 0,1 g/0hp-h; PM ■ EURO 2/3: 0,25/ 0,1 g/tWh PM |
| Estricto bajo en contenido de azufre | 50-10 ppm | Material Particulado (PM) NO _x | ■ US1997: 0,2 g/0hp-h; NO _x ; 0,01 g/0hp-h; PM ■ EURO 4/5: 0,02 g/tWh PM |
| Sin contenido de azufre | ≤ 10 ppm * | | ■ Post-EURO 5 |

* También se pueden obtener a partir de grasas de animales.

Funcionales

Entre las ventajas funcionales, destacamos la lubricidad, que se refiere a la propiedad del líquido en cuestión para constituir una película resistente.

En el caso del gasoil, su característica lubricante depende fundamentalmente del contenido de azufre que contenga. Recordemos que la lubricación de la bomba inyectora y de los inyectores depende de las propiedades lubricantes del gasoil.

Una inadecuada lubricación ocasionaría un desgaste excesivo de los componentes de la bomba, con el consecuente aumento de consumo de combustible y de las emisiones en el escape.

Las normas EURO establecen objetivos a cumplir con relación a los rendimientos energéticos y de emisión de contaminantes. En consecuencia, los fabricantes de los sistemas de inyección deben generar mayores presiones, para lo cual sus tolerancias y ajustes de fabricación deben ser más exigentes. Esto obliga a que el combustible deba poseer una mayor lubricidad, a pesar de que el contenido de azufre del gasoil se debe ir reduciendo según la norma EURO vigente. Por lo tanto, el gasoil tendrá que incrementar sus aditivos para mejorar la lubricidad.

Respecto del biodiesel, ya mencionamos que naturalmente su tenor de azufre es ínfimo. Sin embargo, su lubricidad es de tal magnitud que ensayos efectuados en Francia destacan que adicionar un 2% de biodiesel (con 10 ppm de azufre) al gasoil, logra que la mezcla posea la lubricidad especificada en la norma europea EN-490 (460 μm).

Este hecho es uno de los motivos por los cuales, Francia, Austria, Alemania, EE.UU. y Canadá utilizan el B-5 (biodiesel 5% y gasoil 95%).

Asimismo cabe destacar que existe un acuerdo internacional de los fabricantes de los sistemas de inyección (Fuel Injection Equipment Manufacturers),

por el cual ya otorgan garantía a sus equipos cuando son utilizados con B-5.

Importancia de la fabricación del biodiesel en nuestro país

Ya mencionamos que el biodiesel se obtiene de la transformación de aceites agrícolas (soja, girasol, algodón, maní, palma, colza, etc.) en ésteres de metilo o etilo, según se utilice metanol o etanol en ese proceso, denominado transesterificación.

Nuestro país presenta significativas ventajas comparativas para fabricarlo, dada la magnitud de su actual agroindustria, la que además recibiría un impulso para su crecimiento. Recordemos que la República Argentina es:

- Primer exportador mundial de aceite de oleaginosas (soja y girasol).
- Segundo exportador mundial de maíz.

Con respecto a la soja, para la cosecha 1999-2000 hubo una producción de 20 millones de toneladas y una superficie sembrada de 8,6 millones de hectáreas, siendo el tercer productor mundial (12% del total mundial), por debajo de EE.UU. y Brasil.

De acuerdo con la Secretaría de Energía de la Nación, el consumo de gasoil en nuestro país fue de 13 millones de m^3 para ese año, de los cuales se importaron alrededor de 2 millones de m^3 . En consecuencia, para la utilización de B-20, serían necesarios 2,6 millones de m^3 anuales. Ver Tabla 4.

Respecto del costo de fabricación, y no obstante que éste disminuye con los subproductos que se obtienen (glicerina, ácidos grasos y harinas), el mismo depende totalmente de la materia prima (aceite de soja, girasol, colza, etc.), por lo cual se nos pueden presentar las siguientes situaciones:

Tabla 4. Total de la demanda de gasoil

| | | | |
|-------|-------------------------------------|--------|-------------------------|
| 1 | Transporte de cargas | 41,0 % | 5.000.000 m^3 |
| 2 | Sector agropecuario | 37,0 % | 4.500.000 m^3 |
| 3 | Automotores Diesel | 14,0 % | 1.700.000 m^3 |
| 4 | Transporte urbano de pasajeros | 6,5 % | 830.000 m^3 |
| 5 | Transporte interurbano de pasajeros | 1,5 % | 210.000 m^3 |
| TOTAL | | | 12.240.000 m^3 |

a En caso de precios deprimidos del aceite, habría gran competencia de valores de los fabricantes del biodiesel.

b Imposibilidad de vender biodiesel si los precios del aceite tienen los niveles actuales.*

c Prever una política de desgravación impositiva o de subsidio a los sectores de la demanda para compensar el mayor costo del combustible biodiesel.

Asimismo, hay que considerar como beneficios:

- La sustitución de importaciones de gasoil.
- La generación de empleos.
- La potencial exportación de biocombustibles a países del primer mundo, que impulsen reducir emisiones producidas por los combustibles fósiles, favoreciendo el cumplimiento del Protocolo de Kyoto.
- La exportación como aditivo para mejorar la lubricidad del gasoil.
- Por su excelente biodegradabilidad, la potencial aplicación como combustible náutico en ríos, lagos y represas donde existan captaciones para el agua potable, en los parques nacionales, etc.
- El establecimiento de un precio sostén para las oleaginosas en los momentos de cotizaciones no rentables en los mercados internacionales.
- Dada la imposibilidad actual de abastecer con B-20 a todo el mercado consumidor de gasoil, podría considerarse sólo para el transporte urbano de pasajeros, debido a su influencia en la contaminación ambiental en las ciudades.

Recordemos que el consumo de gasoil de este transporte es de 830.000 m³. En consecuencia, para el biodiesel B-20 corresponderían 166.000 m³, lo que equivale a alrededor de 2.000.000 tn de soja. En

consecuencia habría que considerar también otro tipo de oleaginosas: colza, girasol, algodón, maní, palma, etc.

Perspectivas

- Al ser un producto biorrenovable, el biodiesel puede ser tomado como base de un nuevo combustible que sustituya al gasoil en el futuro.
- Se están desarrollando para el biodiesel nuevas aplicaciones como solvente y lubricante.
- La principal limitación a la producción del biodiesel es el factor económico, ya que en la actualidad resulta más caro que el gasoil. Por esta razón, debe contar con políticas de ayuda de los gobiernos, generando el marco de desgravación impositiva o de subsidio a los consumidores.
- En nuestro país, IRAM (Instituto Argentino de Normalización) definió la norma para el biodiesel puro (B-100), para asegurar la calidad del producto que deberá llegar al usuario. En el grupo de estudio participaron compañías petroleras, de automotores, Secretarías de Energía y Agricultura, fabricantes de biodiesel, el INTI y las Facultades Regionales Buenos Aires y Delta (UTN).
- A partir de abril de 2006, está en vigencia la Ley de Biocombustibles, que establece el corte obligatorio al 5% de la nafta y gasoil con alcohol (de maíz, caña de azúcar, etc.) y biodiesel.**

Parte experimental

Ensayos en laboratorio

Para conocer las características de los combustibles biodiesel utilizados, se efectuó un conjunto de determinaciones, tanto en la FRBA como en otros laboratorios externos.

* En el año 2002, el costo del aceite fue de US\$ 340/tn, que es un 40% superior al valor de referencia del gasoil (Import Parity US\$ 200/tn).

** En nuestro país, se abre una extraordinaria oportunidad para los productores agrícolas, de abastecer al mundo, no sólo de alimentos, sino también de energía; por lo cual, es prioridad que la Ley de Biocombustibles sea reglamentada por el Poder Ejecutivo.

Los ensayos fueron:

1) Determinación del Poder Calorífico Inferior (PCI) de los biodiesel puros (B-100) de girasol y soja argentinos.* (Ver Tablas 5 y 6).

2) Mediciones de viscosidad.**

Las determinaciones, efectuadas con un viscosímetro

Saybolt a 40°C por duplicado, se realizaron sobre muestras de los mismos productos utilizados como combustibles no convencionales para los ensayos en dinamómetro, a saber:

- Aceite comestible de girasol (Argentino)
- Aceite cocido (Aceite utilizado en cocción de alimentos)
- Aceite de girasol 20% + gasoil 80% (AG-20)
- Aceite cocido 20% + gasoil 80% (AC-20)

Tabla 5. Poder calorifico inferior (PCI) de biodiesel puro

| Combustible | PCI (kcal/kg) |
|---------------------------|---------------|
| B-100 (Girasol Argentino) | 8474,5 |
| B-100 (Soja Argentino) | 8447,33 |

Tabla 6. Protocolo de laboratorio de determinación de poder calorífico (Reproducido del original *)

| DETERMINACION DE PODER CALORIFICO | | | |
|--|---|----------------------|--------------|
| combustible ensayado | = | biodiesel de girasol | |
| Fecha del ensayo | = | 04/2001 | |
| Mediciones previas al ensayo | | | |
| peso de cápsula(Gcap) | = | 100 | mg |
| Peso de alambre de ignición (Gal) | = | 12 | mg |
| Peso muestra de combustible (G) | = | 508 | mg |
| Longitud de alambre(L) | = | 18 | cm |
| Masa de agua(M) | = | 1908,43 | gr |
| Peso tubo "U"(GU1) | = | 203,615 | gr |
| Constantes del ensayo | | | |
| Equivalente en agua(K) | = | 642,5 | gr |
| calor de combustión del alambre(Qal) | = | 1,5 | cal/cm |
| Calor de combustión de la cápsula(Qcal) | = | 5280 | cal/gr |
| Medición de temperatura durante el ensayo | | | |
| Lecturas de termómetro | | | |
| | | c/minuto | c/0.5 minuto |
| | | | c/minuto |
| | | 1,26 | 1,32 |
| | | 1,28 | 1,61 |
| | | 1,30 | 1,89 |
| | | 1,30 | 2,21 |
| | | | 2,55 |
| | | | 2,91 |
| | | | 3,09 |
| | | | 3,22 |
| | | | 3,28 |
| | | | 3,30 |
| Mediciones posteriores al ensayo | | | |
| Peso tubo "U"(GU2) | = | 203,95 | gr |
| della t (grafico) | = | 1,984 | oC |
| Resultados | | | |
| $Pcs = ((m+K) \cdot \Delta t - (Qal \cdot L + Qcap \cdot Gcap)) / G$ | = | 8870,17 | Kcal/Kg |
| $Pci = Pcs - (GU2 - GU1) \cdot 600 / G$ | = | 8474,50 | Kcal/Kg |

* Esta determinación fue realizada en el Laboratorio de Máquinas Térmicas de la FRBA, utilizando un calorímetro tipo Parr

** Efectuadas en el Laboratorio Tecnológico del Departamento de Ingeniería Química de la FRBA

3) La empresa REPSOL-YPF analizó muestras de biodiesel, que correspondían a los combustibles ensayados por los autores.

4) Verificación del comportamiento del material del bombín de purga de la bomba inyectora por la acción del biodiesel:

El estudio fue realizado según una propuesta de especificación del Comité Europeo de Normalización (CEN). Los combustibles analizados se indican en la Tabla 7.

Durante la prueba de durabilidad del motor de una camioneta Renault, a los 59.000 Km de rodaje total del vehículo y con 26.200 Km de funcionamiento con biodiesel, se presentó una pérdida de rigidez en la pieza mencionada. La misma es fabricada con alguna variedad de caucho; en consecuencia, su falla pudo haber sido ocasionada por un defecto del material, o por acción del biodiesel. A fin de determinar la causa, se emprendió un estudio a partir de una parte original.

Tabla 7. Combustibles bajo estudio

| Muestra | Biodiesel (B-100) |
|---------|---------------------|
| Nº 1 | Girasol - Argentina |
| Nº 2 | Soja - EE.UU. |
| Nº 3 | Soja - Argentina |

Para ello se empleó la norma Peugeot/ASTM D471, según la cual se evalúan las propiedades físicas y mecánicas del material luego de una inmersión a 20°C en isoctano durante 24 horas.

Del informe (ver Tabla 8) surgen las discrepancias de dichos combustibles con respecto a la norma europea, lo cual acentúa la necesidad de que los combustibles biodiesel sean fabricados en Argentina bajo normas definidas (IRAM) y estrictas condiciones de calidad.

En nuestro caso en lugar del isoctano, empleamos biodiesel de girasol puro (B-100) y al 20% (B-20), que actuaron sobre muestras de material tomadas de una pieza original Renault (Ver Tabla 9).

Tabla 8. Protocolo de laboratorio de las propiedades de los biodiesel (Reproducido del original)



comercia/01020214

Tabla 1: Propiedades de los biodiesel

| CARACTERÍSTICA | Límites | | Muestra 1 BD Arg. Girasol | Muestra 2 BD USA Soja | Muestra 3 BD Arg. Soja |
|---|-------------------------------------|-------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | max. | min. | | | |
| Densidad α 15°C ASTM D 4052, g/ml | 0,900 | 0,860 | 0,8899 | 0,8864 | 0,8872 |
| Viscosidad Cinemática α 40°C ASTM D 445, cSt | 5,00 | 3,50 | 5,062 | 4,142 | 4,075 |
| Carbón Residual α 10% final dest. (Micro Método) ASTM D 4530-00, % p/p | 0,30 | - | 0,2 | <0,1 | <0,1 |
| Contenido en Agua ASTM D 4377-93, ppm | 500 | - | 711 | 920 | 1458 |
| Número de cetano ASTM D 613-93 | - | 51 | 51,4 | 52,0 | 47,9 |
| Destilación, °C (1) | Se fijarán los límites más adelante | | 186,2 - 339,8 | 326,7 - 339,5 | 306,7 - 339,6 |
| Punto de Inflamación ASTM D 93-00, °C | - | 110 | 76,0 | 148,0 | 68,0 |
| Corrosión al cobre 3hs. @ 50°C ASTM D 130-94 | Clase I | - | 1b | 1b | 1b |
| Número Ácido ASTM D 974-97, mg KOH/g | 0,5 | - | 0,21 | 0,19 | 0,19 |
| Lubricidad HFRR ASTM D 6079-99 HSD corregido por humedad (*), mm | - | - | 0,538 | 0,240 | 0,260 |

Nota:
(1) Impracticable por el método ASTM D 86.

Tabla 9. Comportamiento de un material frente a distintos biocombustibles

| Muestra Nº | Inmersión en | Luego de 24 horas de inmersión a 20°C | |
|---------------|-----------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| | | Variación de Volumen | Variación de Dureza Shore A |
| 1 | B-100 | +2,3% | -10% |
| 2 | B-20 | +7% | -6% |

En ambos casos, según las normas, la variación de volumen es aceptable. No se pudo determinar la carga de rotura a la tracción y el alargamiento, dado que de la autoparte utilizada, no se podía extraer una probeta normalizada. Por tal motivo, se evaluó otra característica mecánica, como es la dureza, encontrándose una variación razonable.

No obstante estos resultados y sobre la base a lo sucedido en el vehículo, se continuó el ensayo de inmersión por un período de 550 horas, al cabo del cual se pudo comprobar que ambas se habían ablandado notoriamente. A pesar de que esta última experiencia no es un ensayo normalizado, el resultado obtenido indica que el caucho utilizado para un contacto permanente con gasoil, no satisface las exigencias del biodiesel.

5) Influencia del biodiesel en el funcionamiento de los inyectores temporariamente inactivos:

A fin de observar la influencia de este combustible en autopartes fabricadas con gran precisión y que, por la acción del combustible, sean susceptibles a la formación de lacas u otras reacciones químicas, se dispusieron dos inyectores (uno de inyección directa y otro de inyección indirecta) conteniendo B-20.

Ambas piezas se probaron al iniciar el ensayo, comprobándose un correcto funcionamiento. Luego, para simular un motor detenido por un período determinado de tiempo, se verificó su accionar a los 30 y 90 días subsiguientes. En ambas oportunidades, no se observaron anomalías al ser controlados en el banco de prueba de inyectores.

Las experiencias detalladas en los puntos 4) y 5) fueron realizadas por los autores en laboratorios de la FRBA.

Ensayos en dinamómetro

Cuando se programó el trabajo con biodiesel, establecimos las condiciones fundamentales que deberían cumplir los biocombustibles para su utilización en motores:

- La menor o ninguna modificación de los motores, los que, a su vez, deberán satisfacer las exigencias de durabilidad.
- La mínima variación en los motores de sus rendimientos de potencia, par y consumo de combustible.
- La disminución en la emisión de contaminantes.

- Su costo no debería superar al de los combustibles fósiles.

Para determinar el rendimiento energético y ambiental de un motor ensayado en dinamómetro, se utilizaron los siguientes combustibles:

- Biodiesel de aceite de soja (B-20 y B-100). (Argentina)
- Biodiesel de aceite de cocción de girasol (B-20 y -100). (Argentina)
- Aceite de girasol comestible (AG-20). (Argentina)
- Aceite de cocción de girasol (AC-20). (Argentina)
- Biodiesel de aceite de girasol (B-5). (Argentina)
- Biodiesel de soja (EE. UU).

Características del ensayo

La determinación de las curvas características (potencia, torque y consumo específico), como también la medición de emisión de gases contaminantes y opacidad, se efectuaron para las condiciones normales de diseño del motor:

- Avance a la inyección: 18° APMS.
- Temperatura del agua de refrigeración del motor, controlada por su termostato.
- Sistema de escape original.

Los ensayos de motor se realizaron según las normas y procedimientos CETIA 3-1 (Centro de Estudios Técnicos de la Industria Automotriz), y la medición de gases contaminantes según CENT (Consultora Ejecutiva Nacional del Transporte).

Instrumental utilizado:

- Dinamómetro hidráulico Clayton (EE.UU).
- Analizador de gases Tronic Test (Italia).
- Opacímetro Shady X-2000 (Italia).
- Analizador Bosch para determinación de número Bacharach (Alemania).
- Instrumental diverso para medición de temperaturas, presiones, avance a la inyección, etc.
- Computadora con interfase y sensores para medición, en tiempo real, de potencia y par motor.

- El motor utilizado es descrito en la Tabla 10.

Tabla 10. Características del motor

| | |
|------------------------|-----------------------|
| Marca | Mercedes Benz OM 352A |
| Número de Cilindros | 6 |
| Sistema de Aspiración | Sobrealimentado |
| Cilindrada | 5.958 cm ³ |
| Relación de Compresión | 17:1 |

Análisis de los ensayos

Evaluación comparativa entre biodiesel de soja argentino (B-20 y B-100) y gasoil.

En la Figura 2 se pueden visualizar las curvas comparativas, en las que respecto al gasoil, se observa:

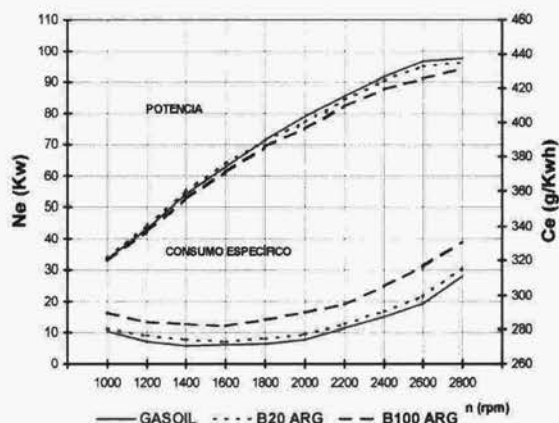


Figura 2. Comparación de potencia y consumo específico. Soja B100 (Arg.), soja B 20 (Arg.) y gasoil

Potencia:

En promedio, al utilizar B-20, los valores disminuyen alrededor de un 2%, mientras que con B-100 lo hacen alrededor de un 5%.

Consumo específico:

Con B-20, aumenta aproximadamente un 3%, mientras que con B-100 el incremento es 6%.

Evaluación comparativa entre biodiesel (B-20 y B-100) de soja argentino y de EE.UU.

Se observa que con ambos se obtienen resultados

equivalentes tanto en potencia, consumo específico y emisiones. (Ver Figuras 3, 4 y 5)

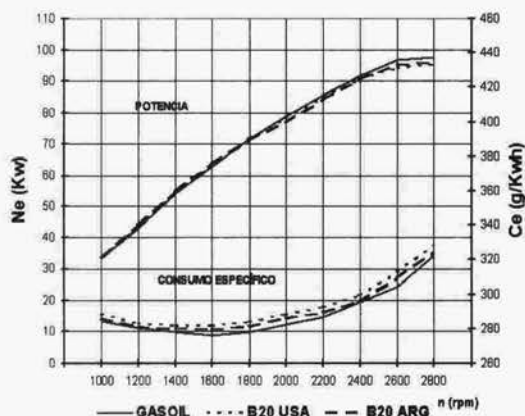


Figura 3. Comparación de potencia y consumo específico. Soja B 20(USA), soja B 20 (Arg.) y gasoil

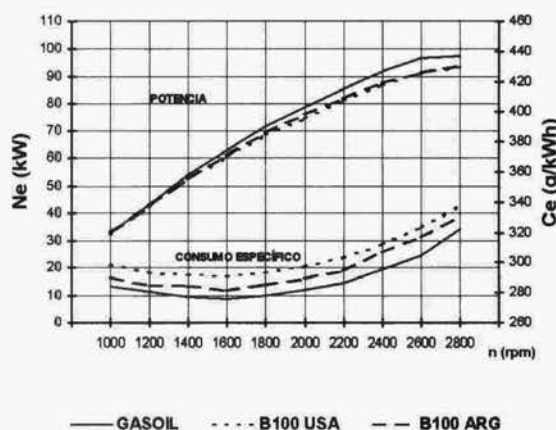


Figura 4. Comparación de potencia y consumo específico. Soja B 100(USA), soja B 100 (Arg.) y gasoil

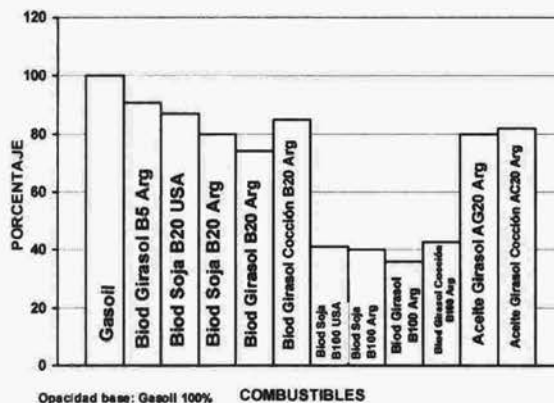


Figura 5. Opacidad: Gasoil vs. Biodiesel y aceites

Conclusiones

Recordemos que el biodiesel nacional ensayado fue fabricado con especificaciones que aún no estaban definidas por IRAM para nuestro país.* En consecuencia, al ser los rendimientos similares de ambos combustibles (nacional e importado), reafirman que nuestro país cuenta con todo el potencial para ser productor de biodiesel.

Evaluación comparativa entre biodiesel argentino obtenido de aceite de cocción de girasol (B-20 y B-100) y gasoil:

Debido a los excedentes de aceites vegetales utilizados en los procesos de cocción de alimentos, se consideró conveniente transformar una muestra del mismo en éster para luego ensayarlo en dinamómetro.

Los resultados logrados son equivalentes a los obtenidos con los ésteres de aceites crudos (Ver Figura 6).

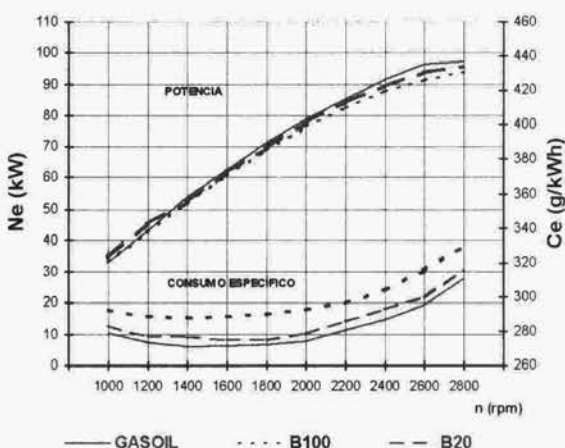


Figura 6. Comparación de potencia y consumo específico. Biodiesel, aceite de cocción (Arg.) B 20, B 100 y gasoil.

Empleo de aceites vegetales crudos y de cocción como combustible en motores Diesel

Aceites Vegetales Crudos

Estos aceites fueron utilizados como combustible por Rudolph Diesel en los comienzos del siglo XX (aceite de maní; Exposición de París, año 1900), los cuales resultaban más económicos que el combustible obtenido del petróleo.

Sin embargo, el vertiginoso desarrollo de la industria petrolera, con la consecuente disminución de sus

costos, promovió el uso de sus combustibles. Por lo tanto, el desarrollo de los motores de combustión interna está vinculado a combustibles refinados que satisfagan esos cambios.

No obstante, la incertidumbre respecto del precio futuro del petróleo, cantidad disponible del mismo y la necesidad de proteger al medio ambiente, renuevan el interés en utilizar combustibles de aceites vegetales puros o mezclados con gasoil.

Para ello, necesitamos modificar estos aceites a los requerimientos de los motores existentes o adaptar éstos a las propiedades de los aceites.

Las investigaciones efectuadas en EE.UU., Japón y países de Europa menciona las características de los mismos (aceites de soja, girasol, colza, algodón, maní, etc.) (Ver Tabla 11).

Tabla 11. Propiedades del gasoil y de los aceites vegetales

| Característica | Gasoil | Aceite Vegetal |
|--------------------------------------|---------|----------------|
| Densidad a 20°C (kg/m ³) | 840 | 910 / 930 |
| Viscosidad a 40°C (cSt) | 3 / 4,5 | 25 / 35 |
| PCI (MJ/kg) | 43 | 35 / 38 |
| Número de cetano | 48 / 51 | 30 / 40 |
| P.O.F.F. (°C) | -20 | 10 / 20 |
| Azúfre (% Peso) (máx.) | 0,5 | 0,01 |

- Los inconvenientes que presenta la utilización del aceite vegetal puro en motores diesel convencionales son:
- La elevada viscosidad causa problemas en el sistema de inyección (formación y pulverización de gotas).
- La presencia de oxígeno molecular en el aceite vegetal modifica la relación estequiométrica aire-combustible.
- La curva de destilación indica que los aceites vegetales comienzan a condensar con temperaturas superiores al gasoil. Esto causa que la vaporización de las gotas se dificulte, con la consecuencia que el combustible, por craqueo térmico, forme residuos carbonosos en los inyectores, cámara de combustión, etc., que van deteriorando al motor y reduciendo la potencia, generando un incremento en las emisiones.

* Actualmente ya determinadas por IRAM (Instituto Argentino de Normalización).

- El punto de obturación del filtro en frío (POFF) es elevado, no permitiendo la utilización de estos combustibles con temperaturas inferiores a 10°C.

Resumen de las experiencias internacionales

- Mezclar aceite vegetal con gasoil hasta el 25% permite obtener rendimientos semejantes a los del combustible mineral, ya que para esa relación, se obtiene aún una buena atomización (spray) del combustible mediante el inyector.
- Con el uso, se observa una formación excesiva de carbón, que se incrementa con el aumento de la relación aceite vegetal-gasoil.
- Motores con inyección indirecta toleran mejor a estos combustibles que los de inyección directa.
- En consecuencia, existe un importante trabajo de investigación a efectuar para solucionar los problemas mencionados.
- Los autores efectuaron una serie de experiencias en dinamómetro, utilizando aceite comestible de girasol mezclado al 20% con gasoil (AG-20). (Ver Figuras 5 y 7 y Tabla 12)

Aceite de cocción

La posibilidad de usar como combustible el aceite vegetal empleado en los procesos de cocción de alimentos, es considerado en diferentes países como una alternativa para disminuir el consumo de gasoil.

Diferentes investigaciones internacionales tendientes a comprobar sus posibilidades, mencionan entre otros aspectos:

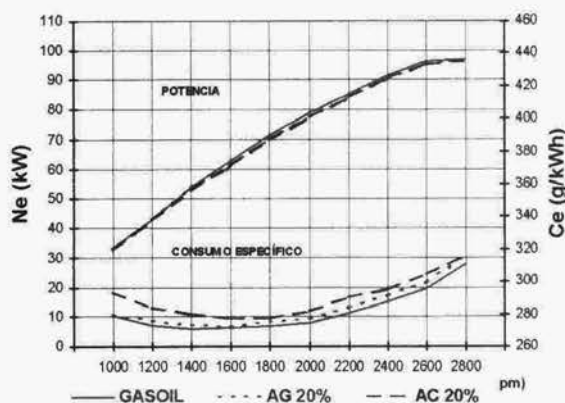


Figura 7. Comparación de potencia y consumo específico. Aceite de girasol (AG) 20%, aceite de cocción (AC) 20% y gasoil.

- La necesidad de efectuar un correcto filtrado del aceite de cocción, por la gran cantidad de partículas de alimentos que contiene, las cuales deben ser eliminadas antes que el aceite sea mezclado con el gasoil, para evitar la obstrucción de los filtros de combustible y/o inyectores.

- Asimismo, debe ser eliminada el agua que contiene el aceite.

- Para una mezcla de aceite al 20% con gasoil presenta un ligero aumento en la emisión de humos.

Un punto de obturación del filtro en frío (POFF) elevado, lo cual no permite su utilización para temperaturas inferiores a 5°C.

Por lo mencionado, los autores efectuaron ensayos en dinamómetro con aceite de cocción mezclado al 20% con gasoil (AC-20).

Tabla 12. Resumen de emisiones

| COMBUSTIBLE | ppm (Por Hora) | | |
|-------------------------------------|----------------|--------|---------|
| | CO % | HC ppm | NOx ppm |
| Gasoil | 0,14 | 52 | 0,62 |
| Biodiesel Girasol Arg 85 | 0,15 | 54 | 0,14 |
| Biodiesel Soya USA 8100 | 0,10 | 54 | 0,71 |
| Biodiesel Soya Arg 8100 | 0,10 | 55 | 0,80 |
| Biodiesel Girasol Arg 8100 | 0,10 | 50 | 0,80 |
| Biodiesel Girasol (Cocido) Arg 8100 | 0,15 | 50 | 0,65 |
| Biodiesel Soya USA 820 | 0,10 | 55 | 0,42 |
| Biodiesel Soya Arg 820 | 0,12 | 50 | 0,60 |
| Biodiesel Girasol Arg 820 | 0,12 | 50 | 0,60 |
| Biodiesel Girasol (Cocido) Arg 820 | 0,12 | 55 | 0,60 |
| Aceite Girasol Arg AC20 | 0,15 | 55 | 0,75 |
| Aceite Girasol (Cocido) Arg AC20 | 0,12 | 51 | 0,45 |

Para ello, luego de una ardua búsqueda, se logró obtener un aceite de cocción de girasol, que respondía a las siguientes condiciones:

- Cumplimiento de especificaciones de calidad del aceite vegetal que será utilizado en la cocción de alimentos.
- Pautas definidas en tiempo de cocción y procesamiento de una única variedad de producto alimenticio.

Antes de su utilización en el ensayo del motor, el aceite obtenido fue sedimentado y filtrado con diferentes mallas para disminuir las partículas presentes en el mismo.

Las experiencias realizadas en dinamómetro con el AC-20, se encuentran detalladas en las Figuras 5 y 7 y la Tabla 12.

Conclusiones de los ensayos efectuados con AG-20 y AC-20

Respecto de la potencia, consumo específico y opacidad, se observa que ambos responden de manera semejante que el biodiesel B-20.

Por lo expuesto, se destaca el gran potencial que significaría su utilización como combustible.

Evaluación comparativa entre biodiesel argentino de aceite de girasol (B-5) y gasoil

Dada la posibilidad que en nuestro país se implemente su utilización, los autores realizaron diversos ensayos utilizando biodiesel de girasol argentino mezclado al 5% con gasoil (B-5)*. Ver Figura 8.

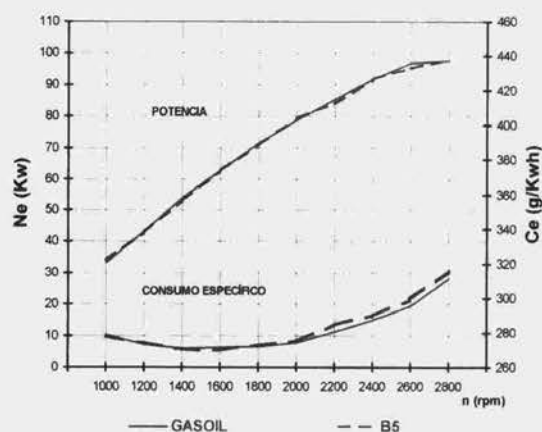


Figura 8. Comparación de potencia y consumo específico. Biodiesel girasol 5% (B-5) y gasoil.

Se observa que, con respecto al gasoil, la potencia como el consumo específico dan valores equivalentes, mientras que la opacidad disminuye un 9%.

Tabla 14. Propiedades y el avance de la inyección para el combustible B-20

| GIRASOL B-20 Par Máximo (1800 rpm) | | | | |
|------------------------------------|-------|---------------------|--------|------------|
| Avance | Ne kW | NO _x ppm | HC ppm | Opacidad % |
| 15° | 72 | 607 | 65 | 33 |
| 18° | 74 | 890 | 58 | 39 |
| 22° | 76 | 1260 | 49 | 42 |

* B-5 es la relación definida en Ley de Biocombustibles del Honorable Congreso de la Nación.

Emisión de contaminantes

En la Figura 5 y en la Tabla 12 se presenta un resumen de los valores observados durante las experiencias efectuadas con combustibles biodiesel y otros aceites.

En la Tabla 12 se observa para la condición de par máximo (1800 rpm) que al reemplazar el gasoil por los combustibles B-20 y B-100, se produce una disminución de los hidrocarburos (HC), en tanto que los óxidos de nitrógeno (NO_x) se incrementan.

Respecto de la opacidad, en el caso del B-100 disminuye notablemente, alrededor del 60%. Ver Figura 5.

Influencia del avance a la inyección

Para el biodiesel de girasol, se estudió la influencia del avance a la inyección, tanto para las curvas características como para la emisión de contaminantes.

Se comprobó que existe una contraposición de los efectos que se logran al aumentar y disminuir el avance, lo que se muestra en la Tabla 13 :

Tabla 13. Efectos del avance de la inyección para el biodiesel de girasol

| Efecto | Avance a la Inyección | |
|--------------------------------|-----------------------|---------|
| | Aumentar | Atrasar |
| Mejorar rendimiento térmico | X | --- |
| Disminuir HC | X | --- |
| Disminuir NO _x | --- | X |
| Disminuir Material Particulado | --- | X |

En la Tabla 14, para el combustible B-20 y para la condición de Par Máximo (1800 rpm), se observa el conjunto de mediciones efectuadas al modificarse el avance de la inyección:

Se observan en la Tabla 15 los efectos cuantitativos del avance de la inyección.

Por lo tanto, para el avance normal del motor (18° APMS), se logra un equilibrio entre el rendimiento térmico y la emisión de contaminantes.

Ensayos en vehículo

Durabilidad del motor de la camioneta Renault de la FRBA funcionando con combustible biodiesel B-20.

Formando parte de los trabajos de investigar en la FRBA la utilización de combustibles alternativos, se describen los resultados logrados en la camioneta Renault Express, al utilizar combustible biodiesel (B-20) durante 130.000 km. Durante el ensayo, no surgió en el motor ningún tipo de falla ocasionada por este combustible, lográndose evidentes mejoras ambientales por la menor emisión de contaminantes.

Descripción y resultados del ensayo

Especificaciones del motor

- Motor Renault 4 cilindros
- Cilindrada 1870 cm³
- Potencia 55HP/ 3900 rpm
- Relación Compresión 21,5 : 1

El vehículo utilizó gasoil durante su período de garantía hasta los 32.788 km.

Durabilidad efectuada con biodiesel B-20*

- Fecha inicio ensayo Julio 1999
- Distancia recorrida (al 25/06/04) 116.000 km.
- Combustible B-20 consumido 6.825 litros.
- Biodiesel puro 1.365 litros.

Evaluación de su desempeño

Mecánico: El motor no presentó anomalías atribuibles al combustible alternativo utilizado. Asimismo, los análisis de laboratorio del aceite lubricante utilizado no mostraban ninguna alteración.

Energético: El promedio general de consumo fue alrededor de 17 km/litro que concuerda en general con el gasoil para los diferentes usos del vehículo (diferentes cargas y conducida en tráfico urbano, semiurbano y ruta).

Ambiental: Durante la durabilidad los valores de emisión de contaminantes fueron menores respecto al gasoil, destacándose fundamentalmente la menor emisión de material particulado.

En la Tabla 16 se muestran las emisiones relevadas en el último ensayo efectuado en junio de 2004 y su comparación con las emisiones del gasoil.

Tabla 15. Efectos del avance de la inyección para el combustible B-20

| Efecto | Avance a la Inyección | |
|------------------------------|-----------------------|------------------|
| | 15° - 18° (APMS) | 18° - 22° (APMS) |
| Aumenta potencia | + 2,8% | + 2,7% |
| Aumenta NO _x | + 46,6% | +41,5% |
| Disminuye HC | - 10,8% | - 15,5% |
| Aumenta material particulado | +18% | + 7,7% |

Tabla 16. Comparación de las emisiones relevadas para dos combustibles (junio/2004)

| Combustible | CO (%) | HC (ppm) | NOx (ppm) | N° Bacharach ** |
|-------------|--------|----------|-----------|-----------------|
| Gasoil | 0,03 | 12 | 120 | 3 |
| B-20 | 0,02 | 2 | 95 | 1,5 |

* Se utilizó biodiesel de soja (origen EE.UU. y Argentina) y de girasol (Argentina). El motor utilizó biodiesel sin tener que efectuarse ninguna modificación.

** N° Bacharach califica la combustión desde el N°1 = prácticamente sin material particulado (PM); hasta el N° 6 = combustión incompleta.

Comentarios sobre su funcionamiento

El vehículo fue conducido por diversas autoridades, personal y estudiantes de la FRBA a diferentes lugares de nuestro país, no recibiendo ningún comentario negativo sobre el funcionamiento del motor. Por el contrario, se ha destacado su correcto accionar.

Conclusiones

Ante el buen funcionamiento del motor de la camioneta, con biodiesel B-20, se realza el extraordinario potencial que tiene, para nuestro país, implementar su utilización en los motores Diesel.

Conclusiones generales sobre el uso del biodiesel

Precedentemente mencionamos las condiciones fundamentales que deberían cumplir los biocombustibles para su utilización y cuáles fueron los resultados obtenidos luego de haber experimentado con el biodiesel:

1) La mínima o ninguna modificación de los motores, los que a su vez deberán satisfacer las exigencias de durabilidad.

Los motores utilizados para los ensayos, tanto en dinamómetro como en el vehículo, no fueron modificados, respondieron satisfactoriamente con las exigencias motivadas por el funcionamiento y la durabilidad. *

2) La no variación del rendimiento térmico de los motores.

Se efectuaron ensayos de potencia y consumo específico utilizando biodiesel de origen nacional e importado, obtenido de diferentes aceites vegetales. Al comparar los resultados obtenidos con el gasoil, se verificó:

B-20 : Las diferencias observadas son mínimas.

B-100: Las diferencias son lógicas si consideramos las ventajas que presenta como combustible renovable.

3) La reducción en las emisiones contaminantes.

Para todos los combustibles biodiesel ensayados, se comprobó – tanto para el B-20 como para el B-100 – la disminución de contaminantes y de material particulado respecto del gasoil.

Además, hay que remarcar que el biodiesel:

- No contiene azufre.
- El balance del CO₂ producido durante la combustión se equilibra con el absorbido por fotosíntesis.

4) Su costo no deberá superar al de los combustibles fósiles.

Como consecuencia del aprovechamiento de los subproductos y de la desgravación impositiva, se podría lograr un precio de venta equivalente al del gasoil.

De lo mencionado surge que para nuestro país, los biocombustibles son una alternativa de solución de la matriz energética con la cual podrá producir los combustibles necesarios para su desarrollo.

Agradecimientos

Diversas personas participaron para que los autores pudieran concretar el trabajo de investigación. Entre ellas destacamos a: R. Pedro quien realizó las mediciones del poder calorífico inferior de los biocombustibles en el Laboratorio de Máquinas Térmicas del Departamento de Ingeniería Mecánica de la FRBA y a L. De Rosa quien determinó las viscosidades de dichos biocombustibles en el Laboratorio Tecnológico del Departamento de Ingeniería Química de la FRBA.

Asimismo, se expresa el agradecimiento a las empresas Repsol YPF, Elf Lubricantes, Naveco S.R.L, Agripac S.A y Gruta Sol S.A. por la provisión de información, servicios y materiales.

* Las autopartes en contacto con el biocombustible deberán utilizar caucho y derivados plásticos compatibles con el biodiesel.

Referencias

CIDAUT (Centro de Investigación y Desarrollo en Automoción) (1997) Posibilidades de utilización de biocombustibles en motores de automoción, España.

Directorate General Science, Research and Development (1994) Application of biologically derived products as fuels or additives in combustion engines, Francia.

Engine Manufacturers Association (2000) Francia.

Gobierno Provincia de Santa Fe (1996) Estudio para determinar la factibilidad técnica y económica del desarrollo del biodiesel, Argentina.

INTA (1995) Boletín Técnico Nº 105, Combustibles a partir de aceites vegetales, Argentina.

MICHELENA, M. (2002) Los biocombustibles Ediciones Multiprensa, España.

SAE (1994) Automotive Fuels Handbook, EE.UU.

SAE (1994) Bosch Diesel Fuel Injection, EE.UU.

SAE, Evaluation of vegetable oils in engines (1998) EE.UU.

U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy (1998) An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycle, EE.UU.

World Wide Fuel Charter (2000) Francia.