

Ingeniería Energética General

Biodiesel

**RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE LA REALIDAD Y
EFECTIVIDAD DE LA PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DEL
BODIESEL**

Resumen

En este documento que consiste en una recopilación de información seleccionada y ordenada para facilitar la comprensión rápida y dirigida a objetivos específicos, además de analizar la situación y perspectivas de este mercado, se resumen los conocimientos esenciales y básicos a lo largo de toda la cadena de producción y utilización de esta bioenergía. El documento está dirigido a todos los que necesitan tener el conocimiento de la forma de producción, de la tecnología, sobre las materias primas empleadas, los costos energéticos, el resultado que aporta al balance energético y su impacto en el ambiente, el tipo de equipamiento utilizado en las Plantas, el comportamiento del biocombustible en motores y la perspectiva inmediata y a mediano plazo de su producción y uso.

Además de servir como una fuente de datos técnicos, transmite conocimientos para aquellos que requieren de una información básica que le permita valorar la tecnología y tomar elementos de su potencialidad dentro del escenario medio ambiental en que nos encontramos. Como información técnica puede encontrar, por ejemplo, el análisis de la demanda de energía acumulada en la cadena de producción, o los principales métodos de análisis químicos empleados para hacer las determinaciones de la composición química de los aceites vegetales, o los análisis, los métodos y las causas y efectos de las alteraciones en la calidad del producto. El índice de contenido a continuación reúne los temas que aborda.

Para la comprensión de este instructivo se requiere una formación básica técnica o profesional ya que no entra en definiciones teóricas ni sus demostraciones.

el Autor:

René Ruano es director y fundador de Ingeniería Energética General, tiene mas de 30 años de experiencia en la realización de proyectos de Ahorro Enrgético y de Energías Renovables.

René Ruano is Manager and founder of Ingeneral with more than 30 years making Save Energy and Renowable Energy Project.
email: ingeneral.ri@gamil.com

Índice del Documento

Epig.	Título	Pág.
	Introducción	1
1	Antecedentes	4
2	Escenario del BioDiesel y la sustentación como relevo del Diesel Fósil	6
3	¿Producir el BioDiesel está al alcance de todos?	9
4	Aceites, Materias Primas y sus Especificaciones	11
4.1	Aceites y Grasas	11
4.2	El uso directo del Aceite Vegetal en motores	16
4.3	El uso de fuentes vegetales amigas del medio ambiente como materia prima principal.	18
5	Otras Materias Primas Complementarias y servicios Auxiliares requeridos	20
5.1	Metanol	20
5.2	Hexano	20
5.3	Hidróxido de Sodio	20
5.4	Acido Fosfórico	21
5.5	Agua	21
5.6	Electricidad	21
6	Proceso tecnológico y su control	22
6.1	Descripción del Proceso Tecnológico	22
6.2	Aceites empleados	24
6.3	Principales determinaciones analíticas par evaluar la composición química del Aceite. Métodos empleados	25
6.4	Preparación del Aceite Vegetal para la reacción.	28
6.5	Preparación del catalizador	28
6.6	Realización de la reacción de transesterificación	28
6.7	Proceso de Decantación y Lavado de los productos obtenidos	30
6.8	Recuperación del Metanol	31
7	Balance de Materia y Energía. Demanda Energética Acumulada	32
7.1	Comparación del insumo de energía fósil con la bioenergía producida en la cadena de producción.	32
7.1.1	Fase Agrícola (siembra, cultivo y cosecha)	32
7.1.2	Fase producción de Aceite Vegetal. (Incluye la extracción y refinación)	32
7.1.3	Fase producción de BioDiesel. (proceso de transesterificación y purificación)	33
7.1.4	Fase Transporte y Distribución, hasta la gasolinera	34
7.1.5	Demanda de Energía Acumulada (DEA)	34
7.2	Balance de Materia y Energía en el proceso de Transesterificación Base grano y Aceite Vegetal de Soya.	36
8	Equipos, condiciones a cumplir del proceso de transesterificación	38
8.1	Característica del equipamiento.	38
8.2	Etapas o secciones principales de una planta industria	39
8.3	Los equipos	39
9	Especificaciones y Control de Calidad	42
9.1	Especificaciones, métodos de análisis empleados	42
9.2	Control de Calidad del proceso del BioDiesel	43
10	Impacto Ambiental del BioDiesel	45
11	Conclusiones	48
12	Referencias	49

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE LA REALIDAD Y EFECTIVIDAD DE LA PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DEL BIODIESEL.

Introducción:

Durante los últimos dos años he estado revisando una voluminosa información técnica y comercial, sobre artículos de diversas especialidades, textos especializados, noticias, situación de los mercados, tecnologías empleadas, efectos de esta producción sobre el medio ambiente, los insumos propios, las políticas, los escenarios proyectados y las he ido seleccionando y ordenando en este documento que he titulado RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE LA REALIDAD Y EFECTIVIDAD DE LA PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DEL BIODIESEL.

La motivación personal para realizar esta recopilación ha sido:

Primero: La candente controversia existente sobre la producción de biocombustibles a partir de granos destinados a la elaboración y comercialización de alimentos (cereales y vegetales, entre ellos la soya, el maíz, el trigo y otros) y las consecuencias mundiales de precios altos que puede generar una aplicación global de este tipo de producción.
Segundo: Más adelante y producto del desarrollo de mi trabajo investigativo, por haber comprobado la importancia de esta tecnología limpia, así como la carencia de documentos técnicos que abarque en orden ascendente, la escala de conocimientos profesionales que se necesitan para poder conocer sobre la tecnología y su desarrollo.

Una vez concluida esta recopilación, confirmo que la tecnología de producción de biocombustibles es una vía sostenible y que apunta a quedarse para siempre, principalmente como sustituto de combustibles de motor para el transporte. En realidad se está retomando una vieja tecnología que fue empleada y comprobada hace decenas de años. A principios del siglo pasado en países de Europa y posteriormente durante la Segunda Guerra Mundial, se fabricaron biocombustibles a partir de diferentes fuentes vegetales para su uso en motores de combustión interna y dejaron de ser competitivos al tener un menor precio los combustibles de motor de origen fósil. Mas cerca, 30 años atrás Brasil estimuló la producción de biocombustibles a partir de las mieles de la caña de azúcar, comercializándose nacionalmente el alcohol para motores de combustión interna. Su total comercialización se podía comprobar con un paseo por las calles de Sao Pablo por el olor a los productos de la combustión del alcohol. Desde esa fecha el Brasil ha venido perfeccionando y ampliando estas producciones, abriendo numerosas fuentes de trabajo en el campo y en la ciudad, en toda la cadena desde la cosecha, fabricación, comercialización y utilización del alcohol en los motores de combustión interna. Brasil es hoy uno de los principales productores de biocombustibles a nivel mundial.

En estos momentos nuevas plantas de producción de biocombustibles han detenido el proyecto o han retardado su puesta en marcha, atendiendo a la severidad de la controversia entre bueno y el malo biocombustible. Lo cierto es que esta contradicción ha acelerado el desarrollo de nuevas tecnologías encaminadas a dejar a un lado la utilización de materias primas vegetales que sean fuentes para la producción y comercialización de los alimentos y dirigir los pasos hacia fuentes que a la vez que su utilización sea beneficiosa para el medio ambiente por reducir las deposiciones contaminantes o atenuar la desertificación de los terrenos, también sirvan de insumos para la producción de biocombustibles. El caso es que este camino ya está bastante avanzado y las primeras plantas con base a estas fuentes amigas ya se ponen en marcha. El obstáculo que surgió en el desarrollo global de este tipo de tecnología para la producción sostenible de bioenergía ha servido para corregir su rumbo

favorablemente, enriqueciéndola e incrementado su sostenibilidad en el futuro cercano. En meses, cuando más en años, la ampliación y crecimiento de los biocombustibles dependerá principalmente de los costos de su producción y la competitividad con los combustibles fósiles para motor teniendo un camino políticamente despejado.

Se agrega como ventaja de esta tecnología, que extrapola los pozos de petróleo de la OPEC a todos aquellos países que pueden tener superficies áridas, o grandes extensiones de tierra sin cultivar y que por lo general estos son países pobres sin recursos minerales y de combustibles fósiles. La creación de nuevas formas de producción, nuevas fuentes de trabajo beneficiará a millones de personas pobres que residen en un amplio parque de países subdesarrollados y que con los biocombustibles encontrarán una vía de sustentación. Brasil es un ejemplo.

Seguro enfrentaremos una aplicación generalizada en el corto plazo de las tecnologías de la producción de los biocombustibles en base a materias vegetales. Por ello se comprueba cada día un crecimiento piramidal de la demanda de información sobre el tema. Disponer de una herramienta documentada que ordenadamente brinde información sobre los antecedentes, características, tecnologías, materias primas, operaciones de producción, equipos, costos, calidad, normas y especificaciones, viabilidad técnico económica, servirá a los interesados como fuente para ganar los conocimientos básicos sobre esta tecnología y la motivación para un conocimiento profesional superior.

Paso a describir seguidamente las características del documento.

En la recopilación de información que he elaborado, se ha extraído lo esencial de diversos artículos sobre esta tecnología, muchos disponibles en Internet, otros de fuentes escritas, redactando un documento estructurado que contiene los conocimientos principales de cada paso de la cadena de producción del BioDiesel, brindando una visión técnica, económica y ambiental de esta tecnología.

Los cálculos han tomado como referencia los datos registrados en las fuentes de consulta. Las conclusiones son derivadas de los resultados obtenidos, incorporándose en este proceso mis conocimientos personales. La composición de la fuente bibliográfica consultada está formada por análisis, escenarios y políticas trazadas a nivel regional y mundial, estudios de ingeniería, investigaciones y desarrollos, fuentes diversas de revistas técnicas y comerciales. La información procesada ha sido seleccionada con diferentes propósitos de contenido, entre ellos investigativos, estudios de factibilidad, análisis de mercados, escenarios proyectados, direcciones y políticas gubernamentales internacionales y nacionales, enfoques tecnológicos, especificaciones características del equipamiento y otras más. Las principales fuentes de información han sido Universidades, Organizaciones Internacionales de Energía y de Naciones Unidas, Centros de Desarrollo e Investigaciones, Laboratorios de Control de la Calidad, Organizaciones productoras de biocombustibles, comerciales, productores de equipos y sistemas para esta tecnología, revistas técnicas y boletines electrónicos. Hemos comparado las informaciones utilizadas para llevar al documento datos representativos como base de los cálculos y a su vez de las conclusiones que se derivan de los resultados que en desarrollo del documento se obtienen. Este trabajo de recopilación y procesamiento de información sobre esta tecnología incorpora mis conocimientos y experiencia personal como Ingeniero Energético, ahora con la visión de haber consultado un volumen numeroso de documentos sobre este tema. Agrego como valor personal, el ordenamiento de estos conocimientos en escala ascendente y haberlos facilitado en un solo material de consulta y referencia.

La recopilación ha sido desarrollada en las siguientes direcciones:

Se resumen diversas informaciones sobre el escenario mundial energético y su relación con el efecto en la contaminación ambiental del planeta (efecto invernadero), considerando las proyecciones, políticas, mercados, direcciones y estrategias trazadas. Están incluidas explicaciones sobre el procedimiento a seguir en la producción del BioDiesel en pequeña, mediana y gran escala, dando los elementos que posibiliten una comprensión realista de este tipo de producción. El tratamiento de las Materias Primas ha ocupado un epígrafe pues estas son el centro de la controversia sobre el BioDiesel bueno y el BioDiesel malo y a la vez tienen un peso destacado en el precio del biocombustible que se obtenga. No se deja a un lado informar sobre las Materias Primas secundarias y que intervienen en el proceso, dejando claro las características de cada una para que se conozca sobre las medidas y medios que deben emplearse en su manipulación.

El proceso tecnológico que se ha seleccionado en este documento para su realización, es la transesterificación de un aceite vegetal, el de Soya. Por la complejidad de las reacciones, se ha insistido en que debe conocerse *el como hacerlo bien*, por lo que dominar la tecnología tiene una importancia clave en el resultado de la producción de BioDiesel. Por ello se describe la química del proceso, las principales reacciones que ocurren, como favorecerlas y los posibles rendimientos. Se ha redactado un epígrafe sobre un tema se suma importancia, Calidad y Control tecnológico. En el se detallan las especificaciones químicas y físicas de las materias primas más usadas en esta tecnología, los límites admitidos, los principales métodos de análisis químico, las normas (métodos de análisis) aplicadas y las causas y efectos que provocan las alteraciones de calidad en la utilización del biocombustible.

Otro asunto interesante, es si el BioDiesel consume en su cadena de producción más energía fósil que la que bioenergía que genera al quemarse y cual es el crédito ambiental de su uso. Por ello en este documento se comprueba el balance de materia y energía de toda la cadena de producción del BioDiesel, desde la etapa agrícola hasta la fase en que llega a los centros minoristas de venta de gasolina (gasolineras), basándose en un escenario en que el BioDiesel se produce en Sur América y es exportado a Europa, contemplándose una transportación marítima de más de 10 000 km, así como se brinda información en cifras sobre el impacto ambiental del BioDiesel. Se analizan las conclusiones que se derivan de los cálculos para confirmar la viabilidad técnico económico de su producción, de una manera sostenible, aportando una contribución positiva al equilibrio ecológico del planeta.

1. Antecedentes:

El escenario mundial se caracteriza por una acelerada irrupción tecnológica en todos los frentes de acción, los cambios para atenuar las amenazas ambientales y las crisis financieras son cada vez más rápidos, por lo que requieren un marcado dinamismo en las respuestas y una preparación específica para afrontar adecuadamente las transformaciones que vertiginosamente se nos vienen encima. Por suerte, hay consenso a nivel mundial respecto de la necesidad de trabajar en conjunto, fijando pautas para dar cumplimiento de manera eficaz al nuevo paradigma de estos tiempos, que no es otro que la sustentabilidad de los sistemas naturales y financieros. La conservación del aire, el agua, el suelo, los recursos energéticos, el valor del dinero resultan ser hoy los elementos primordiales a tomar en cuenta para la sobrevivencia de las especies en la tierra, incluida la del hombre. Nosotros en este trabajo nos ocuparemos de la energía, su utilización y el impacto ambiental.

El combustible Biodiesel se enmarca adecuadamente para el cumplimiento de estos propósitos, dando la posibilidad al mercado de sumar un nuevo producto que contribuye a la reducción de la contaminación de la atmósfera, proveniente de recursos renovables, cumpliendo asimismo con la creciente demanda mundial referida a la protección del medio ambiente. En la década del setenta, la preocupación estuvo centrada en el agotamiento de un recurso no renovable: el petróleo. Los desafíos actuales son otros, están sustentados en la conservación de los recursos naturales.

Un Aspecto esencial: Externalidades.

El biodiesel es un combustible obtenido mediante un proceso sustentable a partir de materias primas vegetales renovables, a diferencia de los derivados del petróleo, que dependen de reservorios fósiles no renovables. Se dice y confirmaremos mas adelante, que el biodiesel tiene un efecto positivo sobre el ciclo del carbono, ya que el balance del dióxido de carbono (CO₂) sobre la atmósfera resulta en menor cantidad que el efecto del Diesel Fósil.

La combustión libera a la atmósfera dióxido de carbono (CO₂), elemento que se asocia al "efecto invernadero". Pero ese CO₂ es a su vez fijado por los vegetales, que lo utilizan como materia prima para construir sus tejidos. Si el BioDiesel se genera a partir de los vegetales, estos durante su crecimiento reducen el dióxido de carbono (CO₂) que desprenden cuando es quemado, produciendo un balance positivo en la atmósfera. Al efecto neto le denominan crédito ambiental.

Es posible cuantificar el "crédito" ambiental de un combustible de base renovable calculando cuánto CO₂ fija una plantación de oleaginosa determinada, y comparándolo con el CO₂ que genera la combustión del biodiesel que se puede fabricar con esa misma plantación.

Cualquiera sea este "crédito ambiental" (que dependerá del tipo de oleaginosa, del proceso de fabricación del biodiesel y de la eficiencia de combustión de los motores) siempre será mayor que el de un combustible fósil que, por su propia naturaleza, sólo genera gases de combustión sin que en su proceso de fabricación aparezca una fase agrícola de fijación de carbono.

De hecho, esta consideración de las externalidades de los distintos tipos de combustible es tal vez el fundamento más importante de las políticas energéticas a corto plazo que hoy se vienen aplicando en USA y la UE.

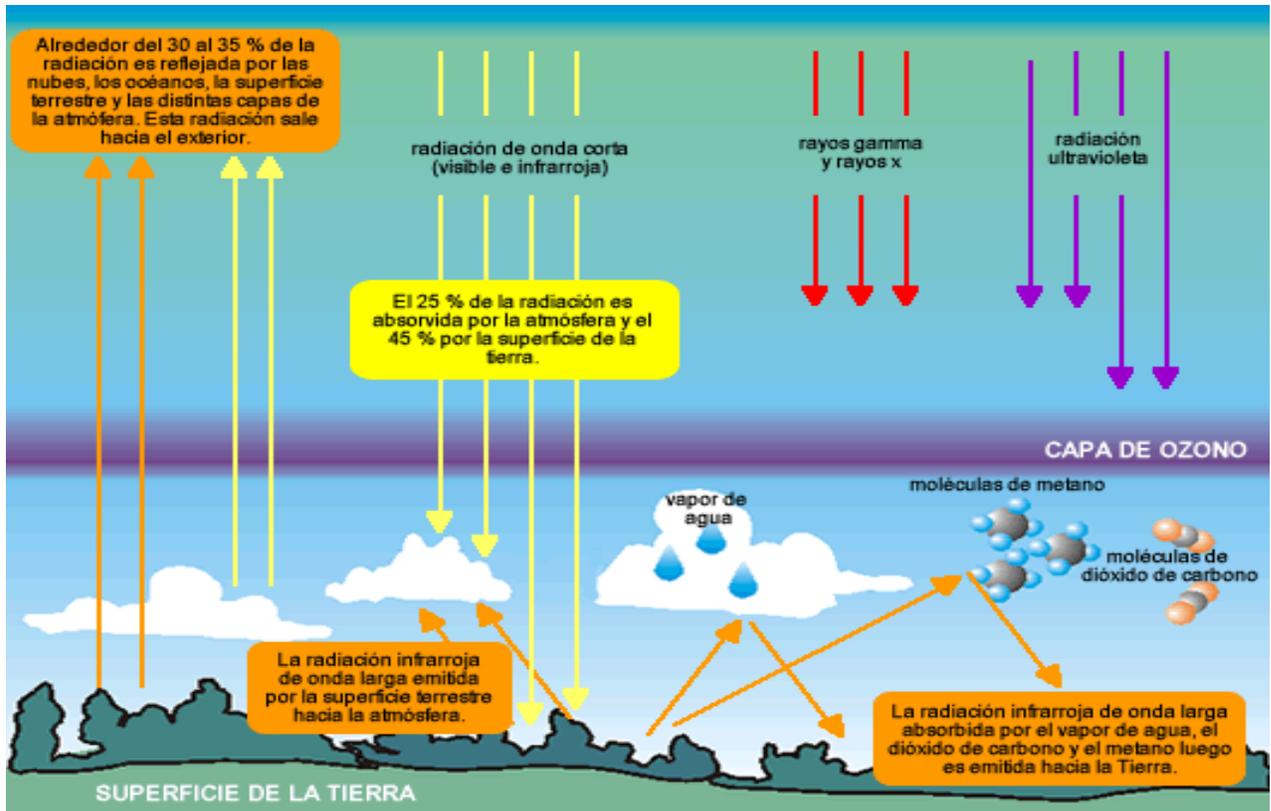


Figura 1: Ciclo de Dióxido de Carbono en la atmósfera.

Tomado de: LOS BIOCOMBUSTIBLES: SITUACIÓN ACTUAL, ANÁLISIS Y PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCIÓN EN MERCOSUR Y DEL COMERCIO CON LA UE

La **figura 1** anterior muestra el efecto nocivo que causa dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera. La radiación infrarroja de onda larga es absorbida parcialmente (atrapada) por el dióxido de carbono, el vapor de agua y el metano, para después se reflejada hacia la tierra. En la medida que la concentración de estos gases aumente, mayor será la radiación reflejada nuevamente hacia la tierra, causando el Efecto Invernadero, que sabemos es el causante del aumento progresivo de la temperatura global y de los desequilibrios naturales que se vienen manifestando.

Hoy es una realidad que existe no solo voluntad, sino decisión, de reducir los consumos de energía fósil. De ahí que la producción y comercialización los biocombustibles, entre ellos el BioDiesel, que son sustitutos de los fósiles contaminantes, esté en franca expansión y consonancia con los intereses y las políticas gubernamentales y sociales de los todos los sectores de la población mundial.

2. Escenario del BioDiesel y la sustentación como relevo del Diesel Fósil

Una vez comprobado que el efecto externalidad es favorable al uso de los biocombustibles, revisaremos otras razones que hacen de la producción y comercialización del BioDiesel un combustible sustentable y factible globalmente.

El biodiesel es un combustible alternativo renovable que tiene la capacidad de sustituir los miles de millones de galones de diesel derivado del petróleo que se consumen en UE y USA todos los años. El biodiesel se produce basándose en aceites vegetales o grasa animal. Comúnmente se combina con diesel en una mezcla del 20% (B20), la cual puede ser usada por la mayoría de los motores diesel actuales. También puede usarse como biodiesel puro (B100) o combinado con diesel en mezclas muy bajas como 2% (B2) o 5% (B5).

El mercado actual del biodiesel está constituido por maquinarias y vehículos que usan diesel fósil, tal como camiones y autobuses pesados y equipo utilitario. Al usar más biodiesel, es posible reducir el consumo de petróleo, las emisiones de gases de efecto invernadero, y las partículas tóxicas del diesel. Además, fomentar el crecimiento económico vinculado a una industria local del biodiesel, incluyendo la producción y gestión de materias primas y la producción y distribución de biodiesel. Aunque el biodiesel se consume actualmente en la UE y USA, su mayor penetración en el mercado depende de la solución de varios asuntos de índole técnica, comercial y de calidad del aire que en la actualidad están siendo estudiados.

USA

En la **tabla 1**, veremos que el consumo anual de Diesel en USA es del orden de los 200 millones de toneladas. Actualmente la producción de BioDiesel no sobrepasará la cifra de 5,7 millones de toneladas, algo menor al 3% del total consumido en el transporte.

Necesidades de Biodiesel	Consumo de Gas Oil	Corte Gas Oil 5%	Equiv. Aceites y Grasas	Cons. de Aceites y Grasas	ConsumoTotal (Alim. + Biod.)	Produc. Actual Aceites y Grasas	Balance
	Mill. M3	Mill. M3	Mill. M3	Mill. M3	Mill. M3	Mill. M3	Mill. M3
Total Mundial	1.335,0	66,75	66,75	135,49	202,24	136,6	-65,68
Unión Europea 25	350,00	17,50	17,50	22,98	40,48	17,42	-23,06
Estados Unidos	234,00	11,70	11,70	14,72	26,42	15,52	-10,90
China	91,00	4,55	4,55	25,41	29,96	18,30	-11,66
India	46,00	2,30	2,30	12,81	15,11	7,95	-7,16
Brasil	41,00	2,05	2,05	4,60	6,65	7,39	0,74
Argentina	12,20	0,61	0,61	0,90	1,51	6,90	5,39

Fuente: OIL WORLD y Consumo de Gas Oil Proyectados en función del crecimiento de las distintas economías 2005

Tabla 1: Consumos de Diesel Fósil (Gasoil), Aceites y Grasas y Producción de Aceites y Grasas de las principales áreas del planeta.

El BioDiesel últimamente viene presentando un crecimiento mayor en el consumo de combustibles para el transporte que el BioAlcohol. Pero este crecimiento no se corresponde con la producción domestica de aceites y grasas para su obtención y es relativamente pequeña comparada con la producción y el mercado actual.

Como vimos, tanto el BioDiesel como el BioAlcohol representan hoy solo alrededor del 2% del consumo de gasolina y diesel usado en la transportación en el año 2005. Para que en el año 2030, ambos combustibles alcance la cifra del 10% del consumo de gasolina y diesel del sector de trasporte, se necesitaría producir más de 100 millones de toneladas (31 billones de galones por año). Si se eleva el porcentaje a 30, se necesitarían 300 millones y si llega al 50% se alcanzaría la cifra de 520 millones de toneladas anuales de BioCombustibles.

En el 2005 existían 105 compañías en los EEUU que han invertido millones de dólares en el desarrollo de nuevas plantas de producción de este Biocombustible. La producción anual de estas plantas era de casi 3 millones de toneladas anuales (unos 864 millones de galones por año). Otro grupo de 77 compañías completaban sus plantas a finales del año 2007. Esta combinación de instalaciones permite alcanzar una cifra cercana a 5,7 millones de toneladas anuales de BioDiesel. (1,7 billones de galones por año).

UE

Las necesidades de Diesel en la UE son cercanas a los 300 millones de toneladas anuales. En el 2005 la producción de BioDiesel no alcanzo la cifra de 3,1 millones de toneladas, representando solo el 1 % del consumo de Gas Oil. En el 2005 en la UE se produjeron un total de 3,9 millones de toneladas de biocombustibles y de ellos el 81,5 % ha sido de Biodiesel. En función de la tendencia actual del consumo en la UE, se estima que para el año 2010 se consumirían 18 millones de toneladas para cumplir con los objetivos del Libro Blanco, aun es un porcentaje muy bajo respecto al consumo total de Gasoil que también crecerá. Se estima que la producción europea para el 2010 solo será de la mitad, unos 9,4 millones de toneladas, de ahí que aparecerá un déficit elevado, generando un importante mercado.

Tanto en los EE UU como en la UE los usuarios principales de biodiesel son vehículos operados por agencias públicas a nivel federal, estatal y local, bases militares y flotillas utilitarias. La mayoría de los establecimientos que venden combustible motor, han habilitado estaciones para la carga de biodiesel, las cuales atienden al público durante horas hábiles normales.

Tanto en los EE UU como en la UE, los fabricantes de motores han tenido una reacción positiva respecto al biodiesel pero hay varios desafíos técnicos, actualmente en análisis e investigación por las grandes compañías productores de vehículos de todo tipo, que están encaminados a resolverse, de modo de que pueda consumirse en cantidades mayores. Estos desafíos se enmarcan en los cuatro aspectos que siguen.

Primero, los fabricantes de motores realizan análisis para comprobar que el biodiesel no tiene ningún impacto negativo en el motor y otros componentes. Actualmente muchos fabricantes extienden sus garantías para las mezclas de B20 o menos, pero aún se están realizando estudios para determinar su durabilidad a largo plazo.

Segundo, estudian los impactos de las diferentes mezclas de biodiesel en los sistemas de tratamiento posterior de los gases de escape debido a que son sensibles a las

especificaciones del combustible. Estos dispositivos para el control de emisiones vendrán instalados de fábrica en los vehículos diesel para trabajos pesados a partir de los motores MY2007, además de instalarse en muchos vehículos en circulación como camiones y equipo utilitario diesel. Por este motivo, es fundamental asegurar la compatibilidad del biodiesel.

En tercer lugar, debe establecerse una norma a largo plazo en materia de estabilidad del combustible de modo de asegurar que el bioDiesel no se oxide y tenga un efecto negativo en los sistemas de carburación.

En cuarto lugar, el biodiesel es más sensible al clima frío que el diesel derivado del petróleo y requerirá procedimientos de manejo especiales.

En cuanto a los desafíos comerciales, es imprescindible aumentar la capacidad de producción para respaldar el crecimiento franco y exponencial del mercado. Para lograr lo anterior, se deben identificar materias primas, preferentemente aquellas que se cultivan u obtienen de forma sustentable. Este desafío en cuanto a la producción del combustible es también una oportunidad fenomenal de fomentar la industria y agricultura local en beneficio de un combustible cuya materia prima es renovable y reduce la contaminación atmosférica.

Un aspecto estratégico en USA es la elevada dependencia del suministro y vitalidad energética de la importación de combustibles fósiles, debilidad señalada reiteradamente por el gobierno Americano con la frase de que esa sociedad es adicta al consumo de la energía, infiriéndose la de origen fósil, frase que ha motivado un giro total en la política energética de ese país en cuanto al futuro de su estructura energética y la participación creciente en ella de las fuentes renovables de energía, lo que inevitablemente tiene que ser apoyado decisiones políticas, con recursos financieros, con mecanismos de estimulación económicos al productor y comerciantes y con las regulaciones estatales que aprueben, faciliten y refrenden la aplicación de las mismas en todos los sectores de la vida económica.

En resumen, el BioDiesel es un producto de actualidad, llamado a ser el relevo por excelencia del combustible de motor Diesel, impulsado el crecimiento de su producción y comercialización por la voluntad y realidad política de las primeras economías, en correspondencia con la estrategia Medio Ambiental que hoy llevan adelante la mayoría de los países de nuestro planeta.

3. ¿Producir el BioDiesel está al alcance de todos?

Cualquiera puede producir biodiesel. Es fácil, podemos hacerlo en una cocina, y es mejor que el combustible derivado del petróleo que venden las petroleras. Con el combustible casero, el motor funcionará mejor y durante más tiempo, y es mucho más limpio; es mejor para el ambiente y para la salud. Si lo produces a partir de aceite de cocina usado no sólo será barato, estarás reciclando un residuo perjudicial. Lo mejor de todo es el gran sentimiento de libertad e independencia que da. "En este documento se encontrará el ABC de la información que se necesita para fabricarlo en casa"..... Esta idea se transmite en muchas promociones de hoy en día, en diversas páginas de la Web donde existen múltiples sitios que brindan información sobre la producción artesanal del BioDiesel. Lo cierto es que también existen varios FORO o LISTAS de Discusión en Internet donde encontraremos millones de preguntas llenas de dudas de los que intentan la producción artesanal, lo cual nos demuestra que esto no es tan así, tan fácil como freírse un huevo, o hacernos unas papas fritas. **Hay que saber hacerlo.**

Los más preparados y con mejores recursos llegan a obtener resultados valiosos en casa pero para ello han tenido que estudiar y realizar pruebas un buen paquete de horas. Por lo general son personas capacitadas en la profesión, graduados de Ingeniería, especialistas que han tenido relación con los procesos de extracción, fabricación, distribución y uso de los combustibles fósiles o personas despiertas que con persistencia logran los resultados.

De entrada el proceso tecnológico no es simple. Ocurren reacciones complejas, que hay que catalizar para que se desarrollen y que hay que saber controlar para que al final se tengan resultados. Para generar más o menos productos, hay que tener conocimientos de cómo se desplazan las reacciones químicas, de cómo elevar el rendimiento de esas reacciones variando la temperatura del reactor o extrayendo productos. Debemos saber como determinar la acidez o basicidad de las materias primas y del producto, hay que saber identificar lo que se obtiene en esta reacción, si ocurre o no la separación de la glicerina del BioDiesel producido, como mejorar la decantación del BioDiesel, cual es la razón que unas veces es transparente otras ámbar, que pasa si se emulsiona, como lavar el producto y hasta donde llegar, tener idea de que es la viscosidad y como medirla, que significa el ph y como medirlo, como se calcula la concentración de las sustancias que reaccionarán y en que proporción hacerlo. **De no saber estas cosas se puede perder tiempo y dinero.**

Otro factor importante es que se deben manipular sustancias químicas de alto riesgo, algunas extremadamente corrosivas, tóxicas y por resultado, nocivas para la salud como son el metanol, el hidróxido de sodio o potasio, o ácidos minerales, y el metóxido de sodio. Hay que realizar operaciones riesgosas de mezclado de sustancias que generan calor (reacciones exotérmicas) que al combinarse desprenden por ebullición brucas gotas de sustancias corrosivas a la piel, los ojos, etc. **Hay que tener mucho cuidado.**

Para la producción en casa, requeriremos el uso de recipientes cerrados y medios de bombeo mecánico de las soluciones cáusticas y nocivas, evitando el contacto con ella. La capacidad del equipamiento es una función del volumen de Biodiesel que nos propongamos fabricar.

También necesitaremos una fuente de calentamiento para llevar a unos 50 °C el Aceite Vegetal y el Catalizador durante la reacción de transesterificación. A la vez hay que asegurar con un agitador mecánico, el movimiento constante y regulado de la mezcla dentro del recipiente donde produciremos el BioDiesel, que se conoce como reactor. Tendremos que decantar el producto obtenido a otros recipientes, con un volumen de

residencia que nos permita unas 12 horas de decantación. Una vez separados los subproductos, hay que proceder a varios lavados con una solución ácida hasta que el biodiesel que despachemos sea neutro, de no ser así se atascará en el motor, para lo cual requeriremos mas recipientes de lavado. Además, se necesitará un mínimo de instrumentación de laboratorio para medir que hacemos y como lo hacemos. Como apreciamos, tanto las soluciones cáusticas como las soluciones corrosivas, ácidas y nocivas requieren de recipientes que sean inertes a su acción, de igual material deberán ser los conductos y sistemas por donde fluyan. Esto obliga a metales fuera de lo común y/o al uso de conductos y sistemas adecuados. Todo ello requiere de un costo inicial que tendremos que financiar. No son dos cacharros. **Hay que disponer de medios e instrumentos de trabajo específicos para esta producción.**

En casa los objetivos de producción del BioDiesel generalmente no son comerciales. Se caracterizan por ser intereses que satisfacen un hobby, interés investigativo y educativos. Un productor casero puede cubrir los consumos del medio de transporte particular que se dispone, digamos un consumo semanal de unos 50 a 60 litros de Diesel, si decidimos usarlo al 100 %. Para ello necesitamos producir mensualmente no menos de 240 litros. Si la capacidad de nuestra plantica domesticas es de 10 litros, esta producción la podríamos alcanzar en 24 lotes de 10 litros cada uno. El tiempo de residencia la reacción es de 1 h aproximadamente y en la operación de decantación de 10 l es de 12 h, para un total de 13 h por lote. Después a lavarlo varias veces, controlando su acidez, es que quedará listo, llevando otro tiempo no menor a 3 h. Nos gastaremos unas 14 h por cada 10 l.

Si solo comparamos el valor comercial, en el mejor caso que los costos no se nos dispararon por bajos rendimientos o mala calidad, habríamos ahorrado la diferencia entre el costo del BioDiesel bien hecho, unos 2,45 USD/galón y el del Diesel Fósil que en el caso de USA para final del 2006 fue de 2,75 USD/galón. El ahorro por este concepto para los 240 galones/mes es de 72.00 USD/mes. De acuerdo a la capacidad de la plantica, al mes le habremos dedicado a esta producción más de 100 horas de trabajo. Al final, si nos disponemos a la misión de hacer nuestro propio BioDiesel en casa, habremos aprendido un proceso tecnológico de actualidad, que viene transformando la industria de los combustibles fósiles para motores como relevo del Diesel.

Para aquellos que piensan en un negocio actual y futuro, el interés en el Biodiesel es totalmente comercial, es la única forma que obtendríamos beneficios económicos del esfuerzo de fomentar un negocio en una línea actual y futurista. Además, sus costos siguen el ritmo de la producción de escala, a mayor capacidad productiva, bajan.

En la escala comercial ya las Plantas son de mediana y gran capacidad para obtener costos competitivos. Y requieren de un área donde montarlas, necesitan una infraestructura, equipamiento y medios de medición – control que aseguren los servicios de agua, electricidad, aire, transportación, control de la calidad y de la producción. Hay que registrar costos y gastos, hay que medir consumos y la producción, volúmenes de materia prima. Hay que trasegarlos, etc.

Se estima que en pequeñas plantas el costo de instalación esta en 1.00 USD/galón anual. Si queremos una planta pequeña que produzca 40 ton/año (unos 13 mil galones anuales), su costo de inversión es de unos 15 000 USD. Esta Planta puede tener un reactor pequeño de 30 a 50 litros de capacidad, con varios tanques de decantación y lavado.

4. Aceites, Materias Primas y sus Especificaciones.

4.1 Aceites y Grasas.

El BioDiesel se define y describe como un compuesto orgánico de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga. Se les denominan ácidos grasos a los ácidos orgánicos que provienen generalmente de la hidrólisis de las grasas. Los ésteres orgánicos están ampliamente distribuidos en la naturaleza, y se encuentran en productos vegetales y animales. Los ésteres se preparan a través de las reacciones químicas de un ácido graso y un alcohol. Esta es la reacción conocida por esterificación.

Un éster de mayor complejidad reacciona con un alcohol dando un intercambio parcial de grupos del alcohol y convirtiéndose en otro éster más simple. A esta reacción se le conoce como **transesterificación** y no es nada más que el proceso de intercambio del grupo alcoxi de un éster por otro alcohol. Esta reacción es catalizada mediante el agregado de una pequeña cantidad de **metóxido de sodio** o por un **ácido mineral**.

La transesterificación es el proceso tecnológico central de la obtención del BioDiesel a partir de un Aceite Refinado y Neutralizado. Pero por suerte los procesos de transesterificación pueden adaptarse para usar una gran variedad de aceites, pudiendo ser procesados además, aceites brutos muy ácidos.

Desde el punto de vista químico, los aceites vegetales son triglicéridos, es decir tres cadenas moleculares largas de ácidos grasos unidas a un alcohol trivalente, el glicerol. Si el glicerol es reemplazado por metanol, se obtienen tres moléculas más cortas del ácido graso **metiléster**. El glicerol desplazado se recupera como un subproducto de la reacción.

Cualquier materia que contenga triglicéridos puede utilizarse para la producción de BioDiesel (girasol, colza, soja, aceites de fritura usado, sebo de vaca, grasa de puerco, grasa de pollo, sebo de res...). Por otra parte, la utilización de aceites usados es todavía significativa. A continuación se detallan las principales materias primas para la elaboración de BioDiesel

Aceites vegetales convencionales

- Aceite de girasol
- Aceite de colza
- Aceite de soja
- Aceite de coco
- Aceite de palma

Aceites vegetales alternativos

- Aceite de Brassica carinata
- Aceite de Cynara curdunculus
- Aceite de Camelina sativa
- Aceite de Crambe abyssinica
- Aceite de Pogianus
- Aceite de Jatropha curcas

Cultivos energéticos alternativos.

Entre las especies no convencionales productoras de semillas oleaginosas que podrían ser utilizadas como materias primas para la obtención de aceites vegetales y biodiesel se pueden citar los cultivos de *Brassica carinata*, *Cynara cardunculus* y *Camelina sativa*.

La especie oleaginosa *Brassica carinata*, conocida como **colza etíope** debido su procedencia de ese país, es muy parecida a la colza europea, si bien muestra algunas diferencias importantes. Se trata de una especie que presenta una elevada resistencia a la sequía y a muchas de las plagas y enfermedades que afectan a la colza. En España se puede obtener rendimientos de hasta 3-4 toneladas/ha en seco, con un contenido en aceite del 32%, rendimientos que son muy superiores a los obtenidos con otras oleaginosas. Los estudios realizados con esta especie han conducido a la identificación de los cultivares más adaptados al clima mediterráneo que, además de no requerir frío para la floración, florecen en condiciones de días cortos, permitiendo así su cultivo en el otoño.

El cardo *Cynara cardunculus* es una especie herbácea plurianual originaria de la zona mediterránea, que se cultiva artificialmente en algunas zonas como planta hortícola. Si se cultiva en su ciclo natural, que va desde el otoño cuando germina hasta la primavera siguiente en la que se produce un fuerte desarrollo de biomasa aérea y posteriormente se seca en verano, puede llegar a producir hasta 20 t/ha de biomasa con 2-3 toneladas de semillas. Estas contienen un 25% de aceites, que pueden servir de materia prima para la producción de biodiesel.

La especie *Camelina sativa* perteneciente a la familia de las crucíferas, puede representar un cultivo alternativo al cultivo de la colza en los países del norte de Europa. Esta planta, que se ha cultivado con fines alimentarios desde los años 50, ha sido objeto de numerosos estudios en los últimos años como cultivo alternativo para la producción de bioDiesel. Los ensayos de su cultivo muestran que esta especie presenta una elevada rusticidad y adaptación a diferentes condiciones climáticas, habiéndose obtenido producciones de hasta 3 t/ha de semillas con un 43% de contenido en aceites.

Otras materias primas son:

Aceites de semillas modificadas genéticamente

- Aceite de girasol de alto oleico

Grasas animales

- Sebo de vaca
- Sebo de búfalo
- Aceites de fritura usados

Aceites de otras fuentes

- Aceites de producciones microbianas
- Aceites de microalgas

Actualmente, la producción de biodiesel se centra en los aceites de girasol, colza y soya. No obstante, existen otras materias primas que también contienen los triglicéridos necesarios para la obtención de biodiesel. Así, los aceites de fritura usados y las grasas animales se contemplan como posibles fuentes de materias primas baratas y de fácil disponibilidad, en comparación con los aceites vegetales.

En el caso del aceite de fritura usado, su utilización para producción de biodiesel contribuye además a su eliminación como residuo. Estos aceites presentan un bajo nivel de reutilización, por lo que no sufren grandes alteraciones y muestran una buena aptitud para su aprovechamiento como biocombustible.

Las grasas animales, y en concreto el sebo de vaca, también podrían ser susceptibles de utilización para la producción de biodiesel. Algunos métodos de producción de biodiesel aplicables a los aceites no son aplicables a las grasas animales debido a diferencias en sus propiedades. El sebo de vaca tiene un elevado contenido en ácidos grasos libres y la conversión de este tipo de material por los métodos estándares de producción de biodiesel con aceites vegetales produce una esterificación incompleta. No obstante, recientemente se han realizado investigaciones para solventar estas dificultades metodológicas, habiéndose conseguido resultados satisfactorios con rendimientos de producción de biodiesel cercanos al 90%. Veremos ejemplos mas adelante.

El Costo de la materia prima es el mayor gasto dentro del costo de producción del BioDiesel, marcando alrededor del 80%.

Resumiendo, se estudian diferentes especies de semillas oleaginosas, con contenido de aceite cuyos rendimientos varían desde el 570 kg/t hasta 65 kg/t. En la **tabla 2** se muestra el contenido de Aceite que pueden producir diferentes especies vegetales de semillas.

Especies vegetales	Aceite/1 ton semilla
Colza	460.00
Coco	570.00
Semilla de Algodón	150.00
Maní	415.00
Mostaza	350.00
Canola	420.00
Maíz	65.00
Palma (hueso)	360.00
Palma (fruto)	200.00
Colza	370.00
Sésamo	500.00
Soya	185.00
Jatropha	150.00
Girasol	480.00

Tabla 2: Contenido de aceite por tonelada de semilla para distintas oleaginosas.

Por supuesto, para la selección precisa de que especie es la más productiva hay que analizar el resto de los factores técnicos económicos determinantes. Cada especie vegetal tiene costos de producción diferentes, rendimientos agrícolas distintos, disponibilidad en el mercado, etc. La agricultura, el mercado y el impacto ambiental tienen un peso significativo en la cadena de producción de los BioCombustibles que deben ser considerados antes de decidir cual es la materia prima a emplearse en el proceso de producción. Para una selección correcta del aceite a utilizar, habrá que hacer un análisis integral de toda la cadena de producción para cada una de las especies, precisar los rendimientos agrícolas, los costos energéticos, los costos tecnológicos, la disponibilidad de inventarios y los precios en los mercados, etc., En un

epígrafe posterior se muestra el análisis de la cadena productiva para el caso del grano de soya y la producción de BioDiesel.

Como se explicó anteriormente, es la materia prima Aceite (o la grasa) la que definirá el proceso tecnológico a seleccionar para procesarla y con ello los costos de producción. En función del tipo de materia prima, existen tres rutas básicas para la elaboración de ésteres metílicos a partir del glicerol (grasas y aceites):

- a) *Transesterificación catalítica del aceite en medio básico con metanol.* Esta ruta se emplea cuando partimos de Aceites Refinados, con bajo índice de saponificación y libres de ácidos grasos (menos del 0,5 % peso). Estos aceites son los mas usados y los de mayor costo.
- b) *Transesterificación catalítica directa del aceite en medio ácido con metanol.* Es la ruta que utilizaríamos cuando nos encontramos con un Aceite con contenido de ácidos grasos libres. (mayor al 0,5 % peso). El costo producción es mayor y el aceite mas barato.
- c) *Conversión de la grasa en ácidos grasos mediante su hidrólisis en una primera etapa y luego a ésteres metílicos con catálisis ácida.* Ruta utilizada para procesar la grasa animal, convirtiéndola por hidrólisis en ácidos grasos que posteriormente se eterifican y transesterifican.

Los procesos a que son sometidos los Aceites Vegetales se pueden apreciar en el ejemplo característico de la Soya. Una vez cosechado el grano, en un molino de soja se extrae el aceite y se vende la harina o pulpa de soja, de la que se extrae hasta la última gota de Aceite con hexáno, destilando luego a vacío para separar el disolvente del aceite. Luego se hace un desgomado con agua, recuperando la lecitina de soja (fosfolípido: fosfatidilcolina), y la venta de ésta casi costea la planta entera. Una vez desgomado, el aceite va a la planta de transesterificación.

Otros aceites son muy ácidos y hay que convertir primeramente a éster (proceso de esterificación) los ácidos grasos libres, haciéndolos reaccionar con alcohol. Es necesaria la eliminación de los ácidos grasos libres ya que posteriormente en el proceso de transesterificación se utiliza unos álcalis (Hidróxido de Sodio) como catalizador para mejorar el rendimiento de la reacción. Los álcalis en presencia de ácidos forman jabones, reacción química denominada (hidrólisis) saponificación. La formación de jabones consume parcialmente el catalizador reduciendo sensiblemente el rendimiento de la reacción.

Una cualidad fundamental es que los aceites sean sustancialmente anhidros (<0,06% v/v), ya que el agua hace que la reacción cambie parcialmente hacia una saponificación.

No se considera muy indicado utilizar el Aceite de Girasol por varias razones. Este aceite posee un alto contenido en ceras por lo que en el pretratamiento del aceite habrá que hacer un winterizado (mantener el aceite durante cierto tiempo a 5 °C para que las ceras solidifiquen), está unidad que necesita enfriamiento, además de ser costosa como inversión, representa un coste energético adicional (en torno a 150-200 Kw). Por último, el aceite de girasol tiene más beneficios en su venta como alimento que como biodiesel.

También se pueden utilizar aceites usados (por ejemplo, aceites de fritura) para lo que se requiere un proceso de tratamiento inicial por su elevado contenido ácido e impurezas.

Para grandes unidades y en el caso donde se procesen semillas oleaginosas que tengan un alto contenido de ácidos grasos libres, se utilizan procesos convencionales de eliminación por destilación de gomas y ácidos. Los ácidos grasos separados pueden ser vendidos en el mercado internacional. Con plantas más pequeñas se utiliza una unidad integrada donde la eliminación de gomas y ácidos tiene lugar por medio de un intercambio catalítico y un proceso de extracción por solventes.

A continuación la **tabla 3** nos informa sobre las especificaciones de los principales Aceites Vegetales utilizados en la producción del BioDiesel.

ACEITE	GIRASOL Refinado	SOYA Semiengomado	COLZA Refinado	PALMA Refinado
Índice de yodo	139	132,6	104,3	53
Densidad a 25 °C	0,917	0,92	0,908	0,899
Aspecto	Líquido	Líquido	Líquido	semisólido
Índice de refracción a 25 °C	1,473	1,473	1,472	40°C-1,454
Índice de saponificación	190	193	175	200
Ácidos grasos saturados	12,5	15,8	6,8	51
Ácidos grasos no saturados	87,5	84,2	93,2	49
Ácidos grasos libres %	0,5	0,5	1,3	>5
Materia insaponificable	<1,5	<1,5	<1,5	<0,8

Tabla 3: Composición química de los principales Aceites Vegetales empelados como Materias Primas.

Podemos apreciar el mayor contenido de Ácidos Grasos Libres del Aceite de Palma (>0,5%) y del Aceite de Colza. El Aceite de Palma es semisólido a temperatura de 25 °C por lo que su manipulación obligará al calentamiento de líneas y recipientes.

El Índice de Saponificación representa la cantidad de Sosa que puede consumir durante su hidrólisis. En el caso del Aceite de Palma es mayor que en el resto.

El índice de yodo mide el número de insaturados, y una mayor proporción de dobles enlaces supone una mayor tendencia a la oxidación. La especificación de 120 máx. podría excluir a los ésteres de girasol, algo más insaturados y con el índice de yodo más alto, pero se viene fijando el índice de yodo en 140 por lo que ya no existe este problema con lo que sí que entrarían dentro de las especificaciones productos como el girasol.

La longitud de la cadena carbonada y la cantidad de enlaces dobles (o grado de saturación) de los ácidos grasos influyen en el punto de fusión de las grasas o aceites. Esto determina que el lípido sea sólido (sebo, grasa) o líquido (aceite). Los ácidos grasos saturados se acomodan muy juntos, y forman una estructura sólida a temperatura ambiente (el Aceite de Palma). Sin embargo, los dobles enlaces permiten la flexibilidad de la cadena de ácidos grasos, por lo que se mantienen separados a

temperatura ambiente, formando una estructura líquida (el resto de los Aceites de la Tabla). Los aceites vegetales tienden a contener más ácidos grasos insaturados, mientras que las grasas animales son ricas en ácidos grasos saturados.

4.2 El uso directo del Aceite Vegetal en motores.

Se vienen usando de manera directa el Aceite Vegetal (AV) en motores. Esta forma implica modificaciones en los motores. Se comercializan sistemas en kits con los componentes que hay que sustituir y agregar en el motor para que funcionen con AV directamente.

Entonces se puede comprar un sistema para el auto, o construir uno para que el motor pueda funcionar con aceite de cocina usado. Casi no es necesario depurar el aceite, sólo llenar el depósito y arrancar. No es tan fácil como parece: el aceite de cocina usado, que suele ser gratuito, hay que procesarlo de todas formas, aunque menos que el biodiesel. Y después de purificarlo sigue sin ser tan buen combustible como el biodiesel.

Se dice muchas veces sobre los sistemas AV: "Este kit está listo para instalar, permite que cualquier motor diesel funcione con aceite vegetal." ¿Es eso cierto? Sí, ¿pero cuánto tiempo durará el motor?

Los motores diesel duran mucho, hasta cerca del millón de kilómetros y más, y hay muy pocos estudios minuciosos y a largo plazo sobre los efectos que produce el aceite de cocina en los motores. Lo que está claro, sin embargo, es que decir "funcionará en cualquier motor diesel" es una exageración.

Unos aceites son mejores que otros. Unos motores son más adecuados que otros. Unas bombas de inyección funcionan mejor que otras. Algunos sistemas electrónicos de distribución de combustible no toleran los aceites vegetales. Hay dudas sobre el uso de aceites vegetales en los motores de inyección directa. También hay dudas sobre la utilización como combustible para motores del aceite usado en la cocina.

El problema principal es la mayor viscosidad (mucho mayor) del aceite vegetal respecto al diesel normal proveniente del petróleo. Hay que calentar el aceite para que los inyectores puedan pulverizarlo bien. Si no está bien pulverizado no arde bien y forma depósitos en los inyectores y en los cilindros, empeora el rendimiento, aumenta las emisiones contaminantes y acorta la vida del motor.

Eso también ocurre con aceites inadecuados, por ejemplo aquellos con un alto índice de yodo, como el de linaza, que pueden formar restos epóxicos duros, malos para los motores.

"Con las altas temperaturas que suele haber en los motores de combustión interna el proceso se acelera y el motor puede engomarse rápidamente con el aceite polimerizado.

Veamos brevemente los Sistemas AV (Aceite Vegetal). Los mejores sistemas tienen dos depósitos, uno para el aceite y otro para diesel mineral o bioDiesel. Hay que arrancar el motor con diesel o con bioDiesel mientras el aceite del otro depósito se calienta por lo menos hasta 70° C (160° F) usando el refrigerante del motor o un calentador eléctrico (o los dos métodos a la vez). Cuando se ha calentado bastante se corta el suministro de diesel al motor y empieza a bombearse el aceite. Unos minutos

antes de parar el motor se cambia otra vez, sustituyendo el aceite por diesel como al principio. Esto se hace para que el aceite salga del sistema de distribución de combustible porque al enfriarse atascaría los filtros y los inyectores. Es recomendable añadir filtros adicionales. Lo anterior nos resulta complicado.

Elsbett, Alemania – Ofrece un Kit integral. Modificación profunda del motor para que pueda funcionar con aceite vegetal -- incluye inyectores nuevos, bujías, intercambiadores de calor, todo lo necesario. Este sistema es realmente profesional. Los motores modificados por Elsbett funcionan con aceite vegetal, diesel mineral, biodiesel, o cualquier mezcla de los tres. Sirve para bombas de inyección directa, pero no para las bombas rotatorias Lucas-CAV. Garantía de un año para las piezas y también para cualquier daño probado producido por el uso del AV. La garantía se limita al aceite nuevo (que no ha pasado por la freidora) y el aceite de colza, pero no cubre el aceite de cocina usado.

También encontramos promociones como la que sigue. *"Uso de Aceites Vegetales Sin Refinar Como Sustitutos del Diesel"* ... la mayoría de las investigaciones con aceites sin refinar han demostrado que se reduce la vida del motor por la polimerización en los cilindros y espesamiento del lubricante, empeora el rendimiento y puede haber un fallo repentino y catastrófico.

En el norte de Europa se está investigando mucho con aceite vegetal como combustible, y allí se puede encontrar mucha información interesante, pero con cuidado. Algunos norte - europeo simplemente llenan el depósito y arrancan, sin sistema de dos depósitos, sin precalentamiento, sin ninguna modificación, y aseguran que recorren grandes distancias sin problemas. Hay que tener en cuenta que suelen utilizar aceite nuevo, del que no ha pasado por la freidora, normalmente de colza, uno de los mejores aceites para usar como combustible. Un viejo Mercedes IDI diesel puede soportarlo, pero otros autos probablemente no. También hay mucha desinformación, e información errónea, especialmente sobre la comparación entre AV y bioDiesel. Hay muchas historias sobre los horrores del bioDiesel. Estas son frecuentes en el norte de Europa, especialmente en sitios Web que promueven el kit para el AV.

Parece que el motivo es la clasificación que se hace en Alemania de los riesgos de contaminación del agua, donde el riesgo de contaminación por aceite de colza no está considerado, mientras que el BioDiesel está clasificado como riesgo de clase 1 y el diesel fósil como riesgo de clase 2 (que es peor que la clase 1). Sólo se refiere al riesgo de contaminación del agua, y no a otros riesgos ni a la toxicidad.

Un vertido de biodiesel es menos problemático que un vertido de aceite porque el aceite vegetal se pega a todo formando una capa, igual que el aceite mineral. En cambio el BioDiesel se utiliza para limpiar vertidos de petróleo en las costas. En Norte América no está clasificado como un producto peligroso.

"El biodiesel es un compuesto 'fácilmente biodegradable' conforme al Standard EPA (EPA, 1982) y se degrada relativamente deprisa en el medio acuático... El biodiesel puede acelerar la degradación del diesel mineral. Cuanto mayor sea la proporción de BioDiesel en una mezcla de BioDiesel y diesel mineral, más deprisa se degrada la mezcla. En estas mezclas los microorganismos degradan el BioDiesel y diesel fósil al mismo tiempo y casi a la misma velocidad... el aceite de colza y el de soya tienen un porcentaje de degradación un poco menor. Su mayor viscosidad puede limitar su solubilidad, y por tanto su biodegradabilidad.

De lo anteriormente apuntado resumimos que la mejor forma de utilizar el AV, es convertirlo en BioDiesel mediante un proceso de transesterificación.

Por ser el Aceite de Soya ampliamente utilizado para la producción de BioDiesel y su producción extendida en muchos países de América, es la mejor opción para la producción del BioDiesel en USA y UE. En los EEUU se importa la Soya desde Centro y Sur América. El precio CIF estimado 2008, se encuentra alrededor de 1000 USD/ton. Es conocida la severa controversia por el uso de aceites vegetales y cereales para la producción de los Biocombustibles, los que a su vez son fuentes de fabricación de alimentos.

4.3 El uso de fuentes vegetales amigas del medio ambiente como materia prima principal.

4.3.1. Jatropha.

Jatropha curcas, conocida como "**piñón de tempate**" o "jatropa", es una Euphorbiacea que tiene propiedades medicinales, nativa de América Central, fue difundida a Asia y África por comerciantes portugueses, como planta para cercar y hoy en día se ha expandido por el mundo entero.

Las semillas contienen un aceite no comestible, que se puede utilizar directamente para aprovisionar de combustible lámparas y motores de combustión o se puede transformar en BioDiesel, mediante un proceso de transesterificación. Además se usa para fabricar jabones. Un colorante también se puede derivar de la semilla.

Resiste en un alto grado la sequía y prospera con apenas 250 a 600 mm de lluvia al año. El uso de pesticidas no es importante, gracias a las características pesticidas y fungicidas de la misma planta. La planta puede vivir hasta 40 años.

Resumiendo, la Jatropha es un árbol fuerte, resistente a la sequía, que puede ser plantado por pequeños y medianos campesinos en terrenos desérticos o marginales, que no son productivos a la siembra de plantas destinadas a alimentos. Su fruto que es tóxico (contiene Phorbol esters and curcin, a highly toxic proteína similar to ricin in Castor, aunque existen variedades reportadas como no tóxicas en México y América Central), contiene aceite vegetal que puede ser fuente para la producción de biocombustible. Por las características. Se estima que contiene entre el 35 al 40% de aceite en la semilla y del 55 al 60% en la almendra (www.jatropha.org), cantidades que estarán en dependencia de la forma que se emplee para la extracción del aceite. Por ello la Jatropha se ha convertido entre otras materias que se proponen, como una fuente amigable con el medio ambiente y que a la vez podría ofrecer soluciones de nuevas formas de trabajo para la agricultura de los países pobres. La Jatropha es ampliamente plantada para usos medicinales en Centro y Sur América, en el África y Asia

Para que este tipo de cultivo sea viable, tiene que ser destinado a tierras verdaderamente marginales, plantarse adecuadamente de manera que la recolección del fruto sea productiva y así garantizar una fuente estable de materia prima para la industria de producción de aceite. De ahí que la siembra de Jatropha se complemente con otros cultivos similares, de manera de mantener la continuidad de la producción de escala y poder obtener costos de producción y utilidades rentables.

Datos sobre el rendimiento de la plantación de Jatropha se pueden encontrar en el sitio web www.jatropha.org. A continuación se trae el ejemplo de Nicaragua, realizado en la década de los 90.

Ejemplo Nicaragua: El Ministerio de Energía de Nicaragua en conjunto con la Universidad Técnica de Managua y la empresa austriaca Sucher&Holzer crea a mediados de los años noventa un proyecto de desarrollo agropecuario industrial basado en el cultivo y procesos de producción de la planta Jatropha Curcas L. Bajo la integración de los campesinos locales se planta Jatropha en el año 1997 en una superficie de aproximadamente **2.500 hectáreas**. El énfasis del proyecto se orienta en la utilización y posterior venta de los elementos residuales producidos durante la elaboración de aceite y bencina Diesel.

Datos sobre la producción en **1.000 hectáreas cultivadas**:

1500 - 1700 toneladas de aceite (la mitad fue refinada como Diesel biológico)
1600 toneladas de fardos de alimentación para animales (previo procesamiento)
144 toneladas de glicerina (producto residual de la producción de Diesel biológico, el cual fue vendido a industrias farmacéuticas y cosméticas). Este ejemplo nos muestra como hace décadas ya existían proyectos de siembra y producción de BioDiesel con esta planta.

En la actualidad tenemos ejemplos concretos, en el año 2008 se construye la mayor Central de Generación de Electricidad y Calor (CHP) que utiliza el crudo de Jatropha. La Central está ubicada en un área rural agrícola en Merksplas, Bélgica y se propone iniciar su operación comercial en febrero del 2009.

4.3.2. Otros cultivos energéticos para la producción de BioDiesel.

La tecnología Biomasa a Líquido (BTL) puede producir BioDiesel de alta calidad utilizando varias fuentes de biomasa, aunque hasta hoy implica una alta inversión inicial, desarrollándose investigaciones para reducir este lado negativo. A través de un proceso de gasificación y tecnología Fischer-Tropsch se realiza la conversión de la biomasa sólida (desechos de madera, agro biomasa) en diesel líquido sintético.

4.3.3. Grasa Animal

Como ya se ha visto, muchas plantas productoras de BioDiesel utilizan los desechos de grasa animal procedentes de la producción de carne animal (puerco, pollo, res). De este proceso y mediante la hidrogenación de la grasa se llega a obtener un Super BioDiesel.

En estos tiempos, utilizando grasa animal, Dynamics Fuel en Louisiana, una de las mayores plantas de BioDiesel de USA, produce 284 millones de litros de BioDiesel anualmente, con un costo de operación estimado en 0,10 USD/litro. Esta planta además de producir diesel renovable, produce combustibles para aviones Jet, certificados para B52. Una ventaja adicional es que esta planta puede utilizar una mezcla de estas grasas recuperadas, las que tiene un costo inferior que los aceites vegetales (fuentes de alimentos) como el aceite de soya. El costo de estas mezclas de grasa animal de bajo costo (de pollo, puerco, res) se negocia a unos 0,48 USD/kg, que comparado con el aceite de soya refinado que es de 1.05 USD/kg ofrece amplias ventajas económicas. Otra ventaja es que la grasa animal utiliza menos hidrogeno en el proceso de hidrogenación para su refinación.

5 Otras Materias Primas Complementarias y servicios Auxiliares requeridos.

5.1 Metanol.

Es obtenido generalmente de los combustibles fósiles por la conversión del Gas Natural sobre catalizador mediante su oxidación controlada, tiene un punto de ebullición de 66 °C, bajo relativo al resto de los alcoholes primarios y con una densidad de 0,798 kg/l.

Es una sustancia clasificada internacionalmente como nociva. El metanol también es llamado alcohol metílico, alcohol de madera, nafta de madera, espíritus de la madera, metil hidrato, carbinol, espíritus coloniales, metilol, metil hidróxido, hidroximetano, monohidroximetano, o MeOH (CH₃OH o CH₄O) -- todos son lo mismo. Pero, confusamente, "metilcarbinol" o "metil carbinol" se usa tanto para el metanol como para el etanol.

Está categorizado como líquido inflamable Clase B, por lo que es obligatorio almacenarlo en tanques bien protegidos, soterrados y con sistemas anti incendio.

El mejor consejo es no exponerse directamente a los gases de Metanol. El mayor peligro es el metanol caliente. Cuando está frío o a temperatura ambiente desprende muy pocos gases y es fácil ventilarlos. No se debe operar en reactores abiertos. Los reactores para BioDiesel deben estar cerrados, sin escapes de gases, de entrada son generalmente presurizados. Todos los recipientes que contienen metanol deben estar cerrados herméticamente para que no entre la humedad del aire.

El proceso de transesterificación convierte los ésteres triglicéridos en ésteres alcalinos (BioDiesel) mediante un catalizador (la lejía) y un alcohol (normalmente metanol, que da metilésteres). En la transesterificación la molécula de triglicérido se divide en tres moléculas de metiléster y una de glicerina. La lejía rompe los enlaces que unen a los ácidos grasos con la glicerina, la glicerina se hunde hasta el fondo del recipiente y las cadenas de ácidos grasos se unen al metanol. El costo del Metanol (2005-2006) es de 315 a 320 USD/t.

5.2 Hexáno.

Es un hidrocarburo saturado, compuesto formado por 6 átomos de carbono y 14 de hidrogeno que se obtienen de los procesos de destilación y refinación del petróleo. Su punto de ebullición es de 69 °C y su densidad de 0,66 kg/l. Es un solvente muy activo por excelencia y por ello se utiliza para disolver el aceite vegetal de la pasta que se forma al triturar el grano de soya. No deben inhalarse los vapores que desprende, es una sustancia que puede ser irritante a la piel y corrosiva en los ojos por lo que debe ser utilizada con cuidado. El costo de hexáno (2005-2006) es de 1800 a 2000.00 USD/t.

5.3 Hidróxido de Sodio.

Se produce por la hidrólisis del Sodio con el agua, reacción que es altamente exotérmica, desprendiendo gran cantidad de calor, formando una solución jabonosa al tacto. El Hidróxido de Sodio formado (lejía) es unos álcalis y corroe intensamente la piel y los tejidos. Hay que proceder con este producto evitando todo contacto con él. Reacciona con todos los ácidos neutralizándolos y con el Alcohol Metílico, formando el Metóxido de Sodio, catalizador de las reacciones de Transesterificación de producción del BioDiesel.

La lejía reacciona con el aluminio, el cobre y el zinc. Se debe utilizar para el metóxido recipientes de vidrio, esmalte, acero inoxidable o HDPE (polietileno de gran densidad).

El trasiego hay que realizarlos con medios mecánicos de bombeo. El costo (2005-2006) es de 1150 USD/t.

5.4 Acido Fosfórico

Es un ácido semifuerte y poco volátil que se obtiene tratando fosfatos minerales con ácido sulfúrico. También es una sustancia corrosiva y dañina a la piel y los tejidos por lo que debemos manipularla con sumo cuidado. Se utiliza para neutralizar el BioDiesel obtenido en el proceso básico de transesterificación. Su costo (2005-2006) es de unos 1800 a 2000.0 USD/t.

5.5 Agua Su uso es fundamental en todo el proceso, principalmente durante el lavado de los productos. El costo (2005-2006) es de unos 0,04 USD/m³

5.6 Electricidad Se consume en todo el proceso tanto para los motores de fuerza, izaje, bombeo de materias primas y agua, agitación, aire comprimido, como para la iluminación, ventilación y extracción del aire en los locales. Su costo (2005-2006) es de unos 0,10 USD/kwh.

6. Proceso tecnológico y su control.

6.1 Descripción del Proceso Tecnológico.

El BioDiesel es un combustible obtenido mediante un proceso sostenible a partir de materias primas vegetales renovables, a diferencia de los derivados del petróleo, que dependen de reservorios fósiles no renovables. Por ello se dice que el BioDiesel tiene un efecto positivo sobre el ciclo del carbono.

En el 4.1 anterior se describieron las tres rutas básicas para la elaboración de ésteres metílicos a partir de aceites y grasas:

- Transesterificación catalítica del aceite en medio básico con metanol
- Transesterificación catalítica directa del aceite en medio ácido con metanol
- Conversión del aceite en ácidos grasos en una primera etapa y luego a ésteres metílicos con catálisis ácida.

La tecnología preferida es la basada en la transesterificación catalítica del aceite en medio básico con metanol, por conveniencia y economía, condiciones operativas moderadas de P y T, altos rendimientos de conversión (hasta 98%) con tiempos de residencia relativamente cortos y muy pocas reacciones secundarias. En esta ruta se realiza la conversión directa al producto final en una sola etapa de reacción.

Veamos la reacción química que ocurre y las proporciones entre los reactivos y los productos en las [figuras 2 A y B](#) siguientes:

Los reactivos:

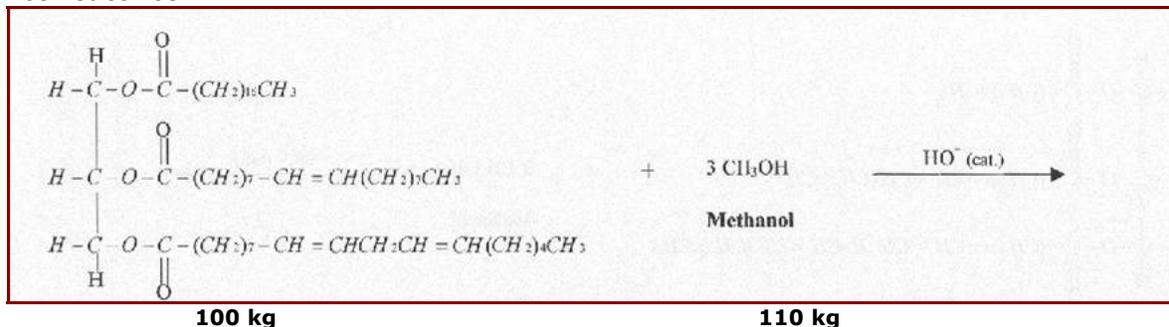


Figura 2A: Reactivos

Los productos:

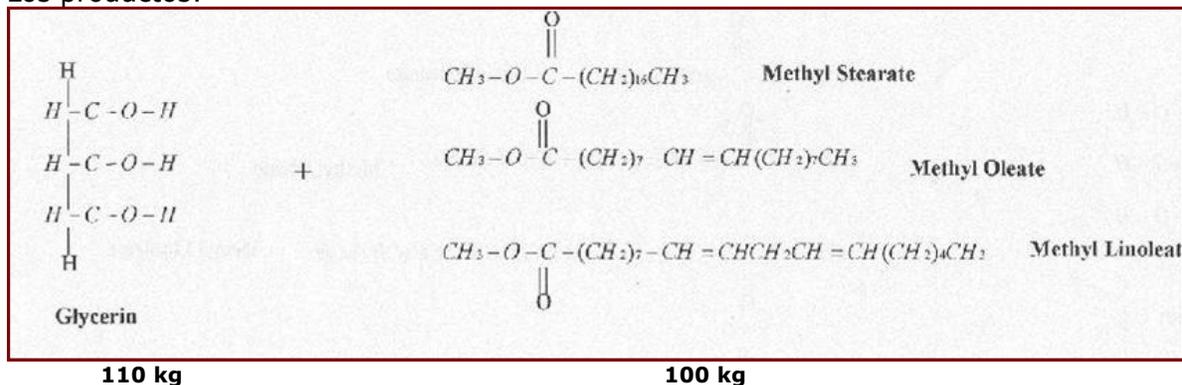


Figura 2 B: Productos

El proceso de transesterificación consiste en combinar, el aceite (normalmente aceite vegetal) con un alcohol ligero, normalmente metanol. El residuo es glicerina. Estequiométricamente, la reacción de transesterificación necesita una **proporción molar** de alcohol a triglicérido de 3:1, aunque en la práctica esta proporción necesita ser algo mayor para desplazar el equilibrio hacia un máximo rendimiento en Ester.

Como productos se obtienen **tres moles de esteres** del correspondiente alcohol y un mol de glicerina. Se utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final. Los catalizadores pueden ser ácidos, básicos o enzimáticos. Los álcalis (básicos) incluyen NaOH, KOH, carbonatos y los correspondientes alcóxidos sodicos y potásicos tales como metóxido sódico, etóxido sódico, propóxido sódico y butóxido sódico. Entre los catalizadores ácidos, cabe citar el ácido sulfúrico, clorhídrico y los ácidos sulfónicos.

El proceso químico es relativamente sencillo, sin embargo para producir un BioDiesel de calidad deben optimizarse las variables de proceso, tales como el efecto del catalizador, el tiempo y la temperatura de reacción, establecer un riguroso control operacional, valorar el Balance de Materia y Energía constantemente y la proporción molar de alcohol a triglicérido.

Los pasos o etapas anteriores forman el Control Operacional del Proceso. Hay diversas variables que influyen y que hay que mantener en constante supervisión control y corrección. Podemos resumirlas en el cuadro de la **figura 3** siguiente:

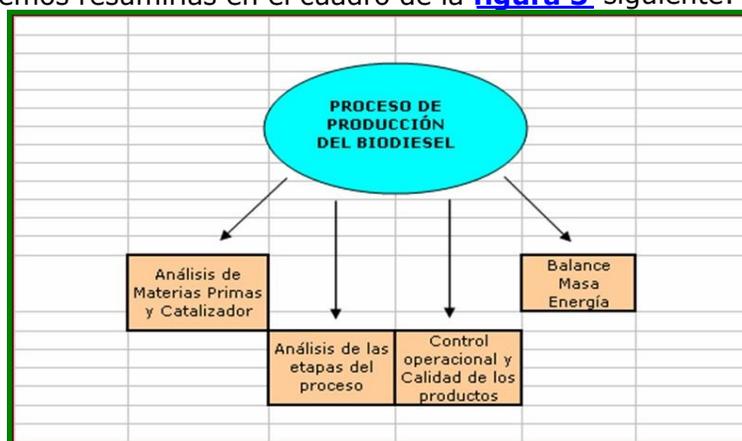


Figura 3: Control operacional integral del proceso

En el proceso encontramos que la transesterificación catalizada por álcalis es mucho más rápida que la catalizada por ácidos y es la que se suele utilizar a escala comercial. La utilización de álcalis implica que los glicéridos y el alcohol deben ser sustancialmente anhidros (<0,06% v/v), ya que el agua hace que la reacción cambie parcialmente hacia una saponificación.

Para la utilización de álcalis se requiere que los triglicéridos tengan una baja proporción de ácidos grasos libres y se evite así su neutralización que conduce también a la formación de jabones. Esta formación de jabones consume parcialmente el catalizador y disminuye sensiblemente el rendimiento del proceso.

Para evitar esto, se pueden utilizar catalizadores ácidos o bien someter a los triglicéridos a un proceso previo de saponificación (conocido como tratamiento alcalino) y después utilizar el catalizador básico.

También se pueden utilizar aceites con baja proporción de ácidos grasos libres (<0,5%), si bien muchas veces estos no son los más rentables económicamente. Este es, por ejemplo, el caso de los aceites y grasas usadas, si bien son muy rentables desde el punto de vista económico, contienen una cierta proporción de ácidos grasos libres.

Una de las variables más importantes que afectan al rendimiento de ester es la proporción molar de alcohol a triglicérido. La proporción molar está asociada con el tipo de catalizador.

Las temperaturas de reacción más elevadas aceleran la reacción y acortan el tiempo de la misma. La reacción es lenta al principio durante un corto período de tiempo, luego continúa de forma rápida y después se ralentiza nuevamente. Las reacciones de transesterificación con un catalizador alcalino se terminan básicamente en una hora.

Después de la transesterificación de los triglicéridos, los productos son una mezcla de ésteres, glicerol, alcohol, catalizador y tri-, di- y monoglicéridos (ver [Fig. 2B](#) anterior). La presencia de estos últimos se debe a que la cinética de la reacción es gradual, es decir se producen tres reacciones consecutivas y reversibles por las que el triglicérido se va transformando en diglicérido, monoglicérido y finalmente glicerol mediante reacción en cada etapa con un mol del alcohol. En cada etapa se libera un mol del correspondiente ester.

Una vez separados los ésteres, estos se tratan para separar una parte del alcohol no reaccionante (50%) y eliminar restos de impurezas. A su vez la glicerina también se purifica para poder ser utilizada en diversas aplicaciones. En la purificación de la glicerina se separa la otra parte del alcohol no reaccionante y ácidos grasos, que pueden esterificarse nuevamente para formar más BioDiesel, o utilizarse como materia prima para producir jabón u otros productos.

6.2 Aceites empleados, control de calidad, principales métodos analíticos para comprobar la composición y especificaciones, preparación del Aceite Vegetal para la transesterificación.

Las materias primas que se destinan a la obtención del BioDiesel que hemos conocido anteriormente han sido:

- a) Aceites crudos: desgomado o filtrado
- b) Aceites usados consumo humano: requieren su refinación para eliminar las impurezas de uso, las toxinas y olores desagradables (lo que implica una pérdida del 4 al 8% respecto de la masa original de aceite crudo)

Antes de la utilización de las materias primas para producir BioDiesel, se analiza su composición química y se compara con las especificaciones establecidas según las exigencias previamente definidas en la hoja de especificaciones. De no cumplirse con los parámetros, habrá que realizar tratamientos que ajusten las propiedades a los requerimientos de la tecnología. Lo correcto es que la materia prima se contrate acorde a las especificaciones establecidas para el proceso. Los límites principales en la composición química que ya hemos visto, los resumimos en:

Índice de saponificación	menos del 0,5 % peso
Ácidos grasos libres	menos del 0,5 % peso
Contenido de Agua	<0,06% v/v
Gomas y de ceras	libre
Índice de yodo	menor a 140

6.3 Principales determinaciones analíticas par evaluar la composición química del Aceite. Métodos empleados.

a) ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN DE UNA GRASA. DETERMINACIÓN

Objetivos:

- Comprender el mecanismo de las reacciones de esterificación y saponificación.
- Determinar la calidad de un determinado éster.
- Sacar consecuencias en cuanto a su pureza y composición, si se trata de una mezcla.
- Extender las consecuencias a otras áreas de conocimiento.

Material y reactivos:

- Dos matraces y reflujos para cada uno.
- Bureta.
- Pie y pinza.
- Baño María
- Muestra puede ser grasa o ácido acetilsalicílico.
- Alcohol etílico de 95 °
- Hidróxido de potasio.
- Ácido clorhídrico 0,5 M.
- Fenolftaleína.

Fundamento teórico:

Se define como "índice de saponificación" **de una grasa o de un éster** en general, la cantidad de hidróxido de potasio, expresada en mg, que se precisa para saponificar un gramo de problema (Aceite).

La reacción en conjunto es, por tanto:



En el caso de las grasas, se produce el "jabón " y glicerina.

Método operativo:

Se prepara potasa alcohólica 0,5 molar. Para ello se pesa la cantidad deseada de potasa y se disuelve en una mínima cantidad de agua, enrasándose con etanol hasta la cantidad precisa.

Se mide una cantidad de muestra, alrededor de 1,5 g de grasa. Se lleva la muestra a uno de los balones y se le agrega 20 ml de potasa alcohólica muy bien medida.

Se prepara de forma análoga el otro balón pero sin muestra. Ambos balones se ponen a calentar a reflujo en un baño María durante unos 20 minutos. Al cabo de ellos se enfría y se añade al balón problema 2 ml de agua. Si la disolución se enturbia es señal de que todavía no ha completado la saponificación (el éster es soluble en alcohol, pero no en agua). En este caso se añade 10 ml más de potasa y se vuelve poner al baño 20 minutos más.

Completada la saponificación se valora el contenido de ambos matraces con ácido clorhídrico que se habrá titulado previamente usando como indicador fenolftaleína.

Tomando como volumen gastado la diferencia entre ambas pruebas se obtiene el número de equivalentes de potasa saponificados.

b) ÁCIDOS GRASOS LIBRES. DETERMINACIÓN

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta marcha analítica establece el procedimiento para la determinación de ácidos grasos libres en grasas y aceites. Esta norma se aplica a aceites vegetales crudos y refinados, aceites marinos y grasas animales.

2 FUNDAMENTO

Los ácidos grasos libres causantes de la acidez en grasas y aceites se extraen con alcohol caliente y es determinada por titulación con una base valorada hasta el cambio de color del indicador.

3 MATERIAL Y EQUIPO

- Balanza analítica, sensibilidad 0,000 1 g;
- Placa de calentamiento;

- Bureta de 25 cm³;
- Probeta de 100 cm³;
- Pipeta graduada de 5 cm³, y
- Matraces Erlenmeyer de 250 cm³.

4 REACTIVOS

- Solución de alcohol etílico al 95 % en agua;
- Neutralizar la solución con hidróxido de sodio 0,1 N a rosa tenue, utilizando como indicador la solución de fenolftaleína.
- Solución de fenolftaleína al 1 % en alcohol etílico;
- Solución de hidróxido de sodio 0,1 N, y
- Agua destilada.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Homogeneizar la muestra.
- 5.2 Pesar en un matraz Erlenmeyer de 250 cm³ de 2 g a 5 g de muestra dependiendo de la concentración de ácidos grasos libres esperados.
- 5.3 Adicionar 75 cm³ de alcohol caliente.
- 5.4 Agitar hasta disolución de la muestra.
- 5.5 Adicionar 2 cm³ de indicador.
- 5.6 Titular con hidróxido de sodio 0,1 N con agitación vigorosa hasta la aparición y permanencia por aproximadamente 30 s de un color rosa tenue.

6 EXPRESIÓN DE RESULTADOS

$$\% \text{ ácidos grasos libres como oleico} = \frac{\text{cm}^3 \text{ de hidróxido de sodio} \times N \times 28,2}{\text{peso de la muestra}}$$

$$\% \text{ ácidos grasos libres como láurico} = \frac{\text{cm}^3 \text{ de hidróxido de sodio} \times N \times 20,0}{\text{peso de la muestra}}$$

$$\% \text{ ácidos grasos libres como palmítico} = \frac{\text{cm}^3 \text{ de hidróxido de sodio} \times N \times 25,6}{\text{peso de la muestra}}$$

c) DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE YODO

INTRODUCCIÓN

Se define como el peso de yodo absorbido por la muestra en las condiciones de trabajo que se especifican. El índice de yodo se expresa en gramos de yodo por 100 g de muestra.

REACTIVOS

- Yoduro potásico, solución de 100 g/L, exento de yodatos o de yodo libre.
- Engrudo de almidón (Mezclar 5 g de almidón soluble con 30 ml de agua, añadir la mezcla a 1000 ml de agua en ebullición, hervir durante 3 minutos y dejar enfriar.)
- Solución volumétrica patrón de tiosulfato sódico. (0,1 mol/l de Na₂S₂O₃·5H₂O, valorada como máximo 7 días antes de su uso).
- Disolvente, preparado mezclando volúmenes iguales de ciclohexano y ácido acético.
- Reactivo de Wijs, que contenga monocloruro de yodo en ácido acético. Se utilizará reactivo de Wijs comercializado (el reactivo contiene 9 g de ICl₃ + 9 g de I₂ en ácido acético)

MATERIAL

- Frascos pequeños de vidrio, apropiados para la muestra problema y que puedan introducirse en los matraces.
- Matraces erlenmeyer de 500 ml de capacidad con boca esmerilada, provistos de sus correspondientes tapones de vidrio y perfectamente secos.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA QUE DEBERÁ ANALIZARSE

Secar la muestra homogeneizada con sulfato sódico y filtrarla.

PROCEDIMIENTO

El peso de la muestra varía en función del índice de yodo previsto, como se indica en el cuadro:

Índice de yodo previsto	Peso de la muestra problema
menos de 5	3,00 g
5 - 20	1,00 g
21 - 50	0,40 g
51 - 100	0,20 g
101 - 150	0,13 g
151 - 200	0,10 g

- Pesar la muestra problema con precisión de 0,1 mg en un frasco o capsula cápsula de pesadas de vidrio.
- Introducir la muestra problema en un matraz de 500 ml. Añadir 20 ml del disolvente para disolver la grasa. Agregar exactamente 25 ml del reactivo de Wijs, tapar el matraz, agitar el contenido y colocar el matraz al abrigo de la luz. No deberá utilizarse la boca para pipetear el reactivo de Wijs.
- Preparar del mismo modo un ensayo en blanco con el disolvente y el reactivo, pero sin la muestra problema.
- Para las muestras con un índice de yodo inferior a 150, mantener los matraces en la oscuridad durante 1 hora; para las muestras con un índice de yodo superior a 150, así como en el caso de productos polimerizados o considerablemente oxidados, mantener en la oscuridad durante 2 horas.
- Una vez transcurrido el tiempo correspondiente, agregar a cada uno de los matraces 20 ml de solución de yoduro potásico y 150 ml de agua.
- Valorar con la disolución de tiosulfato sódico hasta que haya desaparecido casi totalmente el color amarillo producido por el yodo. Añadir unas gotas de engrudo de almidón y continuar la valoración hasta el momento preciso en que desaparezca el color azul después de una agitación muy intensa. (Se permite la determinación potenciométrica del punto final).
- Efectuar 2 determinaciones de la muestra problema.

EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

El índice de yodo se expresa del siguiente modo:

$$\frac{12,69 \cdot c \cdot (V_1 - V_2)}{P}$$

siendo:

- c : valor numérico de la concentración exacta, expresada en moles por litro, de la solución volumétrica patrón de tiosulfato sódico utilizada
- V₁ : valor numérico del volumen, expresado en mililitros, de la solución de tiosulfato sódico utilizada para el ensayo en blanco.
- V₂ : valor numérico del volumen, expresado en mililitros, de la solución de tiosulfato sódico utilizada para la determinación.
- p : valor numérico del peso, expresado en gramos, de la muestra problema. Se tomará como resultado la media aritmética de las dos determinaciones, siempre que se cumpla el requisito establecido con respecto a la repetibilidad

d) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA MEDIANTE EL VALORADOR COLUMBIMÉTRICO KARL FISCHER.

Para muestras con bajo contenido de humedad (aceites comestibles, aceites de freideras, grasas sólidas)

Primero, secar la celda hasta que la constante de la misma sea inferior a 10 µg/min, entonces endulce la jeringuilla (sin su aguja) tres veces con el aceite muestra. Cárguela finalmente, tomado entre 0,5 a 1 gr de muestra para introducir la celda de titración y determine el contenido de agua. Las grasas sólidas hay que derretirlas previamente.

Utilice el método volumétrico para las muestras con alto contenido de agua. (mantequillas, margarinas). Los valores aproximados:

Aceite de Oliva	= 260.0 +/- 1.5 ppm
Aceite cacahuete	= 253.7 +/- 1.1 ppm
Mantequilla	= 15.40 +/- 0.22 %
Margarina	= 18.87 +/- 0.13 %

6.4 Preparación del Aceite Vegetal para la reacción.

Antes de ponerlo en contacto con el catalizador en el reactor de transesterificación, el Aceite es pre calentado, a 50 °C aproximadamente mediante el uso de vapor u otra fuente energética de manera indirecta, sin que el Aceite se mezcle o contamine con la fuente de calor. La cantidad de Aceite Vegetal estará determinada por la capacidad del reactor de transesterificación o el volumen de BioDiesel que se programe producir. Las cantidades a emplear las comprobaremos en el Capítulo destinado al Balance de Materia y Energía. Anticipamos que se utiliza algo mas de la misma cantidad que el BioDiesel a obtener (1,03 por 1,0 unidad de masa de BioDiesel)

6.5 Preparación del catalizador Metóxido de Sodio. (Preparación de la solución de la lejía (Sosa) con metanol. Proceso de mezclado. Medidas de seguridad. Proporciones a emplear).

Preparación.

Se mezcla la lejía (Hidróxido de Sodio) con el volumen de metanol en un recipiente cerrado, con agitación mecánica y si es posible encamisado, por donde circule un fluido refrigerante como agua, para reducir el aumento de temperatura implícito en la reacción química. Si el recipiente es metálico, debe ser diseñado y construido de un acero resistente al medio corrosivo, o de materiales resistentes e inertes a la acción cáustica del Metóxido de sodio. Se deben evitar salpicaduras al exterior. La mezcla es exotérmica, generando calor y desprendiendo gases, por lo que deben extraerse al exterior. La reacción es rápida y se completa en minutos.

Las proporciones empleadas varían entre **3 y 6 gramos de sosa por cada litro** de Aceite Vegetal a transesterificar. La cantidad de metanol se encuentra entre un **15 y un 20 %** en volumen del Aceite Vegetal. La proporción entre el metanol y la sosa resulta entre **23 a 25 gramos de metanol por gramo de sosa.**

Es un proceso sumamente peligroso y debe realizarse con mucho cuidado. No deberán inhalarse los gases que se desprenden y evitar el contacto del Metóxido de Sodio con la piel y el organismo humano.

6.6 Realización de la reacción de transesterificación. (Temperatura adecuada. Control de adición de los productos a mezclar, aceite y catalizador. Agitación. Tiempo de residencia y de reacción. Control de la composición del producto para saber si hay concluido la reacción.)

El proceso químico es relativamente sencillo, sin embargo para producir un BioDiesel de calidad deben optimizarse las variables de proceso, tales como el efecto del catalizador, el tiempo, agitación para un buen mezclado, la temperatura de reacción y la proporción molar de alcohol a triglicérido.

La tecnología preferida es la reacción catalítica en medio básico, por conveniencia y economía, condiciones operativas moderadas de P y T, altos rendimientos de conversión (hasta 98%) con tiempos de residencia relativamente cortos y muy pocas reacciones secundarias. Conversión directa al producto final en una sola etapa de reacción.

Estequiométricamente, la reacción de transesterificación necesita una proporción molar de alcohol a triglicérido de **3:1**, aunque en la práctica esta proporción necesita ser algo mayor para desplazar el equilibrio hacia un máximo rendimiento en ester.

La catálisis alcalina en la práctica requiere una relación molar alcohol / triglicérido de **6:1** para el mayor rendimiento final. En general se puede decir que mayores proporciones molares dan por resultado una mayor tasa de conversión en un tiempo más corto. En base a los resultados obtenidos en varios aceites con diferentes proporciones, la proporción comúnmente aceptada y óptima es **6:1**. Una relación superior afectaría la posterior separación de la glicerina del BioDiesel, ya que se disolvería en el metanol en exceso. Las reacciones de transesterificación con un catalizador alcalino se terminan básicamente en una hora.

Las temperaturas de reacción más elevadas aceleran la reacción y acortan el tiempo de la misma. La reacción es lenta al principio durante un corto período de tiempo, luego continúa de forma rápida y después se ralentiza nuevamente. Muy alto el valor de temperatura hace que el metanol se evapore, el que tiene un punto de ebullición comparativamente bajo (64,7° C, 148,5° F). Por eso se indica una temperatura de **55 °C** como la óptima para la reacción de transesterificación.

La reacción se realiza en un reactor acondicionado para ello, con medios para mantener el calentamiento controlado y un agitador mecánico. En el Reactor se adicionan el Aceite Vegetal o Materia Prima y el catalizador preparado de Metóxido de Sodio, procediendo a agitar la mezcla por más de una hora, tiempo promedio en que debe concluir la reacción. Al final de ese tiempo se trasvasa la mezcla a un recipiente donde se dejará reposar para comprobar si hay dos fases separadas, el biodiesel más ligero y la glicerina mas pesada. Después de la transesterificación de los triglicéridos, los productos son una mezcla de esteres, glicerol, alcohol, catalizador y tri-, di- y monogliceridos. La presencia de estos últimos se debe a que la cinética de la reacción es gradual, es decir se producen tres reacciones consecutivas y reversibles por las que el triglicérido se va transformando en diglicérido, monoglicérido y finalmente glicerol mediante reacción en cada etapa con un mol del alcohol. En cada etapa se libera un mol del correspondiente ester.

El proceso de decantación es de unas 12 horas. Una vez separados los esteres, estos se tratan para separar una parte del alcohol no reaccionante (50%) y eliminar restos de impurezas. A su vez la glicerina también se purifica para poder ser utilizada en diversas aplicaciones. En la purificación de la glicerina se separa la otra parte del alcohol no reaccionante y ácidos grasos, que pueden esterificarse nuevamente para formar más BioDiesel, o utilizarse como materia prima para producir jabón u otros productos. La separación franca de la Glicerina y el BioDiesel nos indicará que la reacción ha concluido.

Mucho del metanol sobrante puede recuperarse después de la reacción para reutilizarlo, simplemente calentándolo en un recipiente cerrado con salida a un condensador. A diferencia del etanol, el metanol no forma un azeotropo con el agua, y puede obtenerse un metanol relativamente puro, lo suficiente para volver a usarlo.

Puede recuperarse al final del proceso, o también de la capa de subproductos, ya que el 70% del metanol sobrante acaba en esa capa y es mejor calentar sólo los subproductos que calentarlo todo (subproductos y BioDiesel).

Parece mejor recuperar el metanol al final del proceso porque ya está caliente y además se recupera también el que queda en el BioDiesel, no sólo el de los subproductos. Pero puede invertirse la reacción y convertir el BioDiesel en glicéridos. Por eso, "no es conveniente sacar el metanol sobrante cuando acaba el proceso porque así se invierte la reacción. Sin el metanol sobrante, la glicerina y el biodiesel reaccionan para recuperar el equilibrio. Ese exceso de metanol tiene una función importante porque mantiene el equilibrio sin que reaccionen la glicerina y el BioDiesel. Una vez separados estos, ya no se produce la reacción y puede recuperarse el metanol.". El BioDiesel así obtenido continua el proceso de decantación.

6.7 Proceso de Decantación y Lavado de los productos obtenidos. Método a seguir.

Una vez separado el BioDiesel procederemos a su lavado. Juntos estarán mezclados ácidos grasos libres, metanol y restos de glicerina.

Procederemos a realizar múltiples lavados o por etapas, como mínimo debemos asegurar que el volumen de agua de lavado en las etapas realizadas sea igual o algo superior al volumen de bioDiesel lavado. Para la tecnología por bache, el procedimiento recomendado es que se haga cada lavado y se deje reposar el BioDiesel una o dos horas para realizar el segundo lavado. Por ejemplo, si el volumen de Biodiesel a lavar es de 1000 l procederíamos de la siguiente forma:

Primer lavado:	250 l agua pura
Segundo lavado:	250 l Igual al primero
Tercer lavado:	250 l + 50 l Salmuera. Con agua con el 5 al 10 % de Salmuera
Cuarto lavado:	250 l agua pura.

Entre lavados se dejaría reposar de 1 a 2 horas el Biodiesel.

En la medida que se hagan mas lavados con menos volumen de agua en cada uno, el resultado final es mejor, hay menor riesgo de emulsión. Se lavaría con Salmuera cada dos lavados. En caso de que se produzca una emulsión se lavaría con una Salmuera concentrada. La salmuera neutraliza la saponificación y con ello la formación de emulsión. Los jabones se mezclan con el BioDiesel dando una mala calidad.

La temperatura del BioDiesel deberá mantenerse a 60 °C al efectuar los lavados. Al volumen de agua resultante del primer y segundo lavado la cual arrastra los jabones de los ácidos grasos del BioDiesel en forma de mezclas, si la acidificamos, llevándola a PH 3 a 4 y la dejamos reposar de 2 a 3 días, se separaran los ácidos grasos los que pudieran ser usados como combustibles de calentamiento. El agua entonces nos queda cristalina y podemos reusarla.

Finalmente pasamos a la neutralización del BioDiesel, (generalmente se utiliza el ácido fosfórico diluido), con el propósito de eliminar los residuos de lejía que pudieran haber quedado sin reaccionar durante el proceso de la transesterificación (recordemos que el catalizador es una combinación de alcohol metílico e hidróxido de sodio).

Los ésteres son lavados dos veces con agua acidificada. De esta manera podemos llevar el BioDiesel a la pureza requerida para combustible completando el proceso con una etapa de Destilación al Vacío. (>98%)

La glicerina obtenida es separada de los ésteres en pocos segundos, de ese modo es posible obtener BioDiesel de muy alta calidad, el cual cumple con todos los requerimientos de las normas estándar americanas. El glicerol posteriormente, para ser utilizado debe ser refinado.

6.8 Recuperación del Metanol

Posteriormente en la unidad de destilación flash se despoja al producto de los volátiles, compuestos fundamentalmente por el alcohol metílico (Metanol) en exceso. Los vapores de metanol se condensan y se envían al tanque de almacenamiento, del cual será nuevamente introducido en el ciclo.

7. Balance de Materia y Energía. Demanda Energética Acumulada.

7.1 Comparación del insumo de energía fósil con la bioenergía producida en la cadena de producción. Efecto energético de la producción del BioDiesel en el medio ambiente. Materia Prima Grano de Soya.

Referencias consultadas:
 Base de Datos ECOINVENT Data v2.0 (2007) y RENEWABLE RESOURCES • CASE STUDY Life cycle assessment of soybean-based biodiesel in Argentina for export. November 2008)

Hemos definido en este documento un escenario de trabajo para evaluar el impacto ambiental de este producto, que abarca la siembra-producción-transporte-utilización de BioDiesel. Se estudian los insumos de energía fósil en las 4 fases principales de la cadena de producción del Biocombustible cosechado y producido en Sur América, exportado y utilizado en Europa (la fase Agrícola, el proceso de Extracción Refino del Aceite, el proceso de Transesterificación o producción del BioDiesel y transporte marítimo y distribución en el país europeo). El objetivo del análisis es calcular la Demanda Energética fósil Acumulada (DEA) y los Gases Efecto Invernadero que se emiten a la atmósfera como consecuencia de la producción del biocombustible a partir de la soya y compararlo con la bioenergía producida a través de la Relación de Energía Fósil.

7.1.1. Fase Agrícola (siembra, cultivo y cosecha), **tabla 4.** Base: 1 kg de grano de Soya.

Datos e Insumos	unidades	Valores medios	%
Datos			
Rendimiento Agrícola	Kg grano/ha	2500	
Precio Grano de Soya,	USD/kg	0,22	
PCS del Grano de Soya	Mj/kg	20,45	
Energía. (Insumos)			
Fertilizantes y Pesticidas	Mj/kg	7,0735E-01	17
Sembrado	Mj/kg	1,8798E-01	4,7
Labores de la Cosecha	Mj/kg	2,9330E+00	72
Transportación con Tractores	Mj/kg	1,9459E-01	4,8
Transportación Camiones	Mj/kg	4,5032E-02	1,5
Total	Mj/kg	4,068E+00	100
Total	Kcal/kg	977,9	
REF		5,0	

Tabla 4: Consumos energéticos en la Fase Agrícola del cultivo de Soya

Resultados: La energía fósil que se invierte, en diferentes formas, por cada Kg de grano de soya cosechado es de 4,068 MJ/Kg (977,9 kcal/kg). Se obtiene un kg de grano de Soya con un contenido energético de 20,45 MJ/kg (4890 kcal/kg). La Relación de Energía Fósil (REF) respecto a la energía limpia que se obtiene es de 5,0 ya que se libera 5 veces más energía limpia que la energía sucia que se consume. En esta fase las labores de cosecha son las de mayor densidad energética, con el 72 % del consumo.

7.1.2. Fase producción de Aceite Vegetal. (Incluye la extracción y refinación). **tabla 5.** Base: 1 kg de Aceite de Soya

Asumiendo un 97% en el proceso de extracción, de una tonelada de granos de soya se obtienen:

Aceite de Soya	0,1881 kg
Pellets de Soya	0,794 kg

Para producir un kg de aceite de soya se requerirá entonces procesar 1/0,1881 kg de grano de soya, lo que es equivalente a 5,32 kg de granos. Considerando un rendimiento del 97% en la extracción, habrá que prensar algo más, 5,48 kg de granos. Se obtiene el kg de Aceite Bruto. La demanda energética fósil asociada a esta cantidad es de $4,068 \text{ MJ/kg} * 5,48 = 22,29 \text{ MJ/kg}$. El consumo de energía en el proceso de extracción y refinación del Aceite, referido a 1 kg de Aceite Refinado, se registra en la siguiente **tabla**:

Datos e Insumos	unidades	Proceso	Base 1 kg Aceite	%
Datos				
Grano de Soya	kg	1,00	5,48	
Aceite de Soya	kg	0,1881	1,00	
Pellets o Harina	kg	0,794	4,22	
Precio del Aceite	USD/kg	0,521	0,521	
Precio de la Harina o Pellets	USD/kg	0,205	0,205	
PCS del Grano de Soya	MJ/Kg	20,45	20,45	
PCS del Aceite	MJ/Kg	40,5	40,5	
Energía (Insumos)				
Siembra + Cosecha	MJ/Kg	4.068E+00	2,2293E+01	86,87
Electricidad	MJ/Kg		1,356E-01	0,53
GN en Hornos (100kw)	MJ/Kg		9,92E-01	3,87
Transporte	MJ/Kg		1,944E+00	7,58
Molinado	MJ/Kg		1,846E-02	0,07
Agua	MJ/Kg		9,879E-04	0,00
Hexáno	MJ/Kg		2,714E-01	1,06
Ácido Fosfórico	MJ/Kg		6,849E-03	0,03
Tratamientos	MJ/Kg		1,044E-03	0,00
Total	MJ/Kg		2,57E+01	100
Total	Kcal/kg		6163	
REF			1,58	

Tabla 5: Consumos energéticos en la Fase de Extracción – Refinación del Aceite de Soya

Resultados: La demanda energética acumulada, (agregando los insumos de la Fase Agrícola que representan el 86,87% en el proceso), por cada Kg de Aceite de Soya producido y refinado, es de 25,7 MJ/Kg (6163 kcal/kg). Se obtiene un kg de grano de Aceite de Soya con un contenido energético de 40,5 MJ/kg (9700 kcal/kg).

En esta etapa, la Relación de Energía Fósil (REF) respecto a la energía limpia que se obtiene es de 1,58. Le sigue en orden de importancia en la densidad energética el insumo transporte, con el 7,58%.

7.1.3. Fase producción de BioDiesel. (proceso de transesterificación y purificación), **tabla 6**. Base de Cálculo: 1 kg de metil ester (BioDiesel puro) producido en la Planta.

Datos e Insumos	unidades	Proceso	Base 1 kg de BioDiesel	%
Datos				
Metyl Ester producido	kg	0,973	1,00	
Glicerina Producida	kg	0,106	0,109	
Precio del Metyl Ester	USD	0,833	0,833	
Precio de la Glicerina	USD	0,100	0,100	
PCS del Metyl Ester	Mj/kg	40,8	40,8	
PCS de la Glicerina	Mj/kg	18	18	
Energía (Insumos)				
Proceso de Extracc. Y Refinación Aceite		2,57E+01	2,65E+01	81,26
Metanol	Mj/kg		4,194E+00	12,86
Electricidad	Mj/kg		3,475E-01	1,07
GN en Hornos	Mj/kg		1.152E+00	3,53
Transportación	Mj/kg		1,186E-01	0,36

Agua	Mj/kg		1,493E-04	0,00
Acido Clorhídrico	Mj/kg		7,432E-02	0,23
Acido Fosforito	Mj/kg		2,257E-01	0,69
Tratamiento Residuales	Mj/kg		3,450E-04	0,00
Total	Mj/kg		3,26E+01	100
Total	Kcal/kg		7817	
REF			1,23	

Tabla 6: Consumos energéticos en la Fase de producción de BioDiesel

Resultados: La demanda energética acumulada, (agregando el saldo de las dos fases anteriores lo que representan el 81,26% en el proceso), por cada Kg de BioDiesel producido, es de 32,6 MJ/Kg (6163 kcal/kg). Se obtiene un kg de BioDiesel con un contenido energético de 40,8 MJ/kg (9700 kcal/kg). En esta etapa, la Relación de Energía Fósil (REF) respecto a la energía limpia que se obtiene es de 1,23 sin tomar en cuenta la posible utilización de la glicerina. Le sigue en orden de importancia el insumo energético del metanol, con el 12,86%.

7.1.4. Fase Transporte y Distribución, hasta la gasolinera **tabla 7**. Base de Cálculo: 1 kg de metil ester de soya producido en la Planta de BioDiesel.

En esta fase se considera la transportación interna desde la fábrica a la Terminal portuaria, el almacenamiento en puerto, el transporte transoceánico a la UE desde América del Sur (unos 12000 km), la recepción en puerto europeo, el transporte a las instalaciones del comprador, su almacenamiento y el transporte interno a los Centros de Ventas de Biodiesel o Gasolineras.

Datos e Insumos	unidades	Proceso	%
Datos			
PCS del Metyl Ester Bruto	Mj/kg	40,8	
Energía (Insumos)			
Proceso de Transesterificación	Mj/kg	3,26E+01	91,55
Electricidad	Mj/kg	5,577E-02	0,16
Fuel Ligero en Calderas para Calentamiento	Mj/kg	8,104E-04	0,00
Bombeo en Planta	Mj/kg	1,1811E-02	0,03
Transporte país de partida	Mj/kg	1,427E+00	4,01
Transporte Transoceánico	Mj/kg	1,075E+00	3,02
Transporte por FFCC	Mj/kg	3,8544E-01	1,08
Manipulación en país receptor	Mj/kg	5,3649E-03	0,15
Total	Mj/kg	3,56E+01	100
Total	kcal/kg	8537	
REF		1,15	

Tabla 7: Consumos energéticos en la Fase de Transporte y Distribución.

Resultados: La demanda energética acumulada, (agregando el saldo de las tres fases anteriores lo que representan el 91,55% en el proceso), por cada Kg de BioDiesel transportado, la demanda energética acumulada es de 35,6 MJ/Kg (8537 kcal/kg). Comparando el insumo con el contenido energético de 40,8 MJ/kg (9700 kcal/kg) la Relación de Energía Fósil (REF) respecto a la energía limpia que se obtiene es de 1,15 sin tomar en cuenta la posible utilización de la glicerina. Le sigue en orden de importancia el insumo energético de las operaciones de transportación, terrestres y marítimas.

7.1.5 Demanda de Energía Acumulada. (DEA) Comprobamos que la fase agrícola es la de mayor intensidad energética con un peso del 63% en la Demanda Acumulada de Energía Fósil. Influyen varios factores, principalmente la baja relación de conversión en Aceite respecto al kg del grano de soya cultivado (se requieren 5,48 kg de granos de soya para producir 1 kg de aceite bruto) y las labores de la cosecha. Sigue en la cadena el proceso de Extracción – Refinación del Aceite, donde se destaca el insumo

de las operaciones de transportación del grano desde el campo a la fábrica con el 57%.
 Ver **tabla 8**.

Fase / Insumos	MJ/kg	% X Insumo	Acumulado	% X Fase
Agrícola	4,068E+00	100		63
Cosecha	2,9330E+00	72		
Consumo de la Fase Agrícola 4,06 * 5,48 = 22,3	22,29E+00		22,29E+00	
Extracción + refinación	3,407E+00	100		11,7
Transporte	1,944E+00	57		
Por rendimiento	8,0E-01		26,5E+00	
Transesterificación	6,1E+00	100		17
GN en Hornos	1.152E+00	19	32,6E+00	
Transportación	3,00+00	100		8,4
Transporte en tierra	1,427E+00	48		
TOTALES	35,6E+00		35,6E+00	100

Tabla 8: Intensidad de los consumos energéticos por fase y en el total de la cadena de producción.

La demanda acumulada de energía fósil depende sensiblemente, entre otros factores, de los rendimientos empleados como Base de Cálculo. Visto ya, determinan en la demanda las relaciones grano de soya/kg de Aceite refinado, kg de Aceite Refinado/kg de BioDiesel obtenido. También influye el tipo de materia prima vegetal o animal utilizada en la producción de aceite refinado, la tecnología empleada para producir el metiléster y la eficiencia de las operaciones de mayor intensidad energética por cada fase. En la siguiente **tabla 9** se compara el resultado obtenido en el análisis anterior con otros reportados en diferentes países del continente.

Total de la demanda acumulada,	MJ/kg BioDiesel.
Estados Unidos	15,17
Brasil	35,10
Argentina	20,76
Nuestro análisis	35,6

Tabla 9: Demanda acumulada en la producción de BioDiesel en países de América

Finalmente, el análisis de la Demanda de Energía Acumulada realizado muestra una relación favorable, se produce más bioenergía que la energía fósil que se utiliza en toda la cadena productiva (no se tomó en cuenta el uso de la glicerina como combustible, lo cual reportaría un mayor resultado). Se suma que en este proceso, se fabrica una energía renovable, que no se agota, pues el ciclo se repite mediante la siembra y cultivo del grano. En la **tabla 10** siguiente se registran las cifras de emisiones de CO₂ a la atmósfera asociadas a la cadena de producción del BioDiesel.

Fase / Insumos	Kg CO ₂ /kg	% X Insumo	Acumulado
Agrícola	0,5533		
Relación kg grano/kg aceite	5,48		
Sub Total	3,03	72	
Extracción + refinación	0,7767	18	3,8067
Relación kg aceite/kg Biodiesel	1,03		
Transesterificación	0,229	5,5	4,0357
Transportación	0,166	4,2	4,2017
TOTALES	4,2017	100	
Consumo en otros países del continente.			
Chile	1,435		
Brasil	4,03		
Argentina	1,734		

Tabla 10. Emisiones de CO₂ en la cadena de producción del BioDiesel.

El total de emisiones en la cadena de producción del Biocombustible obtenido de nuestro análisis, es de 4,2 kg CO₂/kg de BioDiesel, destacándose nuevamente la fase agrícola como la de mayor impacto medio ambiental. Se aproxima el resultado total con el escenario en Brasil. Existen un grupo de medidas que en la actualidad se vienen estudiando y aplicando para favorecer el balance de carbono de la producción de bioenergía y con ello la reducción de las emisiones contaminantes a la atmósfera, y así reforzar la sostenibilidad del BioDiesel. Entre estas medidas están:

- ✚ Adaptación de Motores de Combustión Interna (MCI) a la utilización de BioDiesel. En la medida que los motores de combustión interna se adapten al consumo de BioDiesel (B100) o sus mezclas, el insumo de combustibles de la cadena de producción de los biocombustibles irá tendiendo a la bioenergía, mejorando la REF.
- ✚ Aumento de los rendimientos y la eficiencia agrícola. En la medida que los rendimientos de la cosecha mejoren, se reduce el consumo de energía sensiblemente pues es en esta fase donde la intensidad energética es mayor.
- ✚ Aumento de los rendimientos en las etapas de extracción y producción. La mejora de los rendimientos y la reducción de las pérdidas, reduce el consumo de materias primas en cada etapa.
- ✚ Aumento de la eficiencia energética de la cadena productiva. Aumentando la eficiencia del uso de la energía e introduciendo el uso de la glicerina como combustible alternativo en el propio proceso de extracción o transesterificación.
- ✚ Tendencias a la utilización de materias primas de especies con mayores rendimientos en la producción de aceite y menos costo de transportación a fábrica.
- ✚ Adaptación de las tecnologías a nuevos cultivos más resistentes a la sequía y con ello de bajo consumo de agua, de fertilizantes, laboreo y operaciones de cosecha, o a desechos de la producción de carne, tales como grosuras o sebos, grasas de puerco, pollo, res, el balance energético tenderá favorablemente hacia la producción de biocombustibles con un efecto positivo sobre el balance de CO₂.

7.2 Balance de Energía en el proceso de Transesterificación Base grano y Aceite Vegetal de Soya. Ver [tabla 11](#). Hacemos énfasis en esta fase de la cadena de producción del BioDiesel por esta asociada con los índices de los insumos fundamentales del proceso de transesterificación y a la Relación de Energía Fósil.

Base: 1 kg de Metyl Esters o BioDiesel B100 producido						
Entradas o Mat Primas	U	Cant	Precio, USD	Valor, USD	MJ/U	MJ
Aceite Refino Soya	kg	1,015	0,521	0,537	40,5	4,176 E+01
Metanol	kg	0,1121	0,45	0,05045	37,4	4,194E+00
Electricidad	KWh	0,04175	0,10	0,0042	8,32	3,475E-01
Coque, Hornos	MJ	0,1158			1,30	1,50 E-01
Fuel Oil ligero Horno	MJ	0,04924			1,35	6,627 E-02
GN en Hornos	MJ	0,7468			1,25	9,359 E-01
Transportación	tkm	0,03197			3,71	1,186E-01
Agua	kg	0,02697			0,00554	1,493E-04
Acido Clorhídrico	kg	0,004543			16,4	7,450E-02
Acido Fosfórico	kg	0,01121			20,1	2,257E-01
Tratamiento residuales	m3	0,00006172			5,59	3,450 E-04
Totales	kg	2,155				47,87
Salidas Productos	U	Cant	Precio, USD	Valor, USD	MJ/U	MJ
Metyl Esters	kg	1,000	0,8330	0,8333	40,8	40,8E+01
Glicerina	kg	0,109	0,1000	0,0109	18	1,96E+00
Ajuste *	kg	1,046				5,099E+00
Totales	kg	2,155				47,87

Tabla 11: Balance de Materias, energía en proceso de transesterificación

Ajuste*. Incluye **salidas** de materias que no se determinaron. El Metanol se recupera, por lo que debe estar incluido en el ajuste con una cifra algo menor a la del valor de entrada, así como el agua de lavado y los productos de la combustión de los combustibles. El agua de lavado a su vez arrastra parte del calor entregado al proceso el que se pierde; al igual el calor que se disipa al medio ambiente tampoco está determinado. Tampoco la energía que acompaña a los productos de la combustión del Gas Natural y el que se pierde por las superficies calientes de los equipos y conductos. El índice de consumo de la materia prima Aceite de Soya es de 1,015 kg de Aceite Refino/ kg de BioDiesel. El de electricidad, es de 0,04175 kWh/kg, combustibles sólidos y líquidos 0,1650 MJ/kg y de Gas Natural de 0,7468 MJ/kg, todos de fuentes fósiles directas. Estos suman 1,00 MJ/kg (240 kcal/kg) que representa el 2,0 % del total de energía en los insumos empleados en el proceso de transesterificación del BioDiesel.

En este proceso ejemplo se ha empleado como materia prima una energía parcialmente limpia, el Aceite de Soya, que tiene un poder calórico de 4,05E+01 MJ/kg y una DEA de 2,66E+01. En la medida que utilicemos materias primas con una demanda energética acumulado menor, mayor será el peso de la energía limpia en ella. Por ello resulta destacar la REF favorable que la fase de transesterificación reporta a la cadena de producción del BioDiesel, donde se produce energía limpia 42,76 MJ/kg y el insumo fósiles de 3,26E+01 MJ/kg. Respecto al costo de la producción, no ha sido completada la tabla por diversos motivos. La dinámica actual de las variaciones de precios de las materias primas, no disponer de información precisa de los costos de transportación, de la fuerza de trabajo, del cargo por amortizaciones, gastos de administración, intereses, impuestos y gastos generales. Si destacamos que el precio del BioDiesel estará fuertemente determinado por las variaciones de precio de la materia prima, la que tiene el mayor peso en los costos. Los precios que aparecen en el Balance se corresponden con el mercado del 2006-2007.

8. Equipos, condiciones a cumplir del proceso de transesterificación.

8.1 Característica del equipamiento.

Resumiremos las características de los principales equipos que componen el proceso de transesterificación y el impacto medio ambiental de este tipo de tecnología. Este tipo de proyecto, su tecnología y por supuesto su equipamiento debe cumplir con los principios básicos como son:

- ✚ Generar pocos residuos: el proceso tiene que cumplir con la condición de ser altamente eficiente en la conversión de productos a materias primas y trabaje con materias primas limpias para reducir la generación de residuos.
- ✚ Usar materias primas menos peligrosas: emplee materias primas que se conozca su operación y se dispongan de los medios técnicos para su manejo con seguridad.
- ✚ Considerar en todo el flujo de producción la recuperación de materias y energía: cuando no se pueda obtener un producto final de alta calidad, se considerarán los medios para su tratamiento para que dicho producto tenga comerciabilidad y se pueda procesar en otras plantas (es el caso de la glicerina de baja calidad).
- ✚ Optimizar el uso de materias primas: el equipamiento y la tecnología deberá asegurar una relación aceite: biodiesel es 1,03:1.
- ✚ Optimizar el consumo energético: emplear equipos eficientes de generación, transferencia y almacenamiento de calor y vapor, considerando la posibilidad de producción de energía eléctrica o cogeneración, así como la reutilización de la glicerina como fuente energética.
- ✚ Disminuir los riesgos de accidentes: se dispondrán de los medios de trabajo y de protección personal que posibiliten un entorno seguro. Los almacenamientos de combustibles y materias primas tienen que cumplir con las condiciones exigidas para evitar escapes, derrames, explosiones, etc.

A la vez hay que tener en cuenta las emisiones que se producen al medio, su disposición, tratamiento y control. (gases, líquidas y sólidas). En general la producción de biodiesel se trata de un proceso sin grandes emisiones a la atmósfera y vertimientos terrestres. Las principales emisiones de gases son:

- ✚ Gases de combustión del gas natural (calderas y quemadores) para la generación del vapor requerido para el proceso.
- ✚ Pequeñas emisiones de los tanques de almacenamiento (escapes): el principal compuesto volátil almacenado es el metanol, las emisiones del resto de tanques pueden considerarse despreciables ya que los compuestos almacenados son poco volátiles.

Los efluentes líquidos de la Planta de BioDiesel provienen de:

- ✚ Aguas de lluvia contaminadas.
- ✚ Aguas pluviales limpias.
- ✚ Aguas sanitarias asimilables a urbanas.
- ✚ Aguas contaminadas de los tanques de lavado.
- ✚ Aguas de proceso.

Los residuos sólidos que se pueden generar en una planta de producción de BioDiesel, como consecuencia de su actividad, serán:

- ✚ Desechos de Filtros de metanol.

- ✚ Residuo pastoso obtenido en el proceso de destilación de la glicerina.
- ✚ Filtros de carbón activo del proceso de blanqueo de la glicerina.
- ✚ Residuos de limpieza de las instalaciones
- ✚ Aceite del separador (tratamiento de aguas).
- ✚ Lodos del tratamiento biológico de aguas residuales.

8.2 Etapas o secciones principales de una planta industrial son:

1. **Materia Prima.** Almacenamiento y preparación del Aceite o Grasa a transesterificar.
2. **Catálisis.** Preparación del Metóxido de Sodio.
3. **Transesterificación.** Sección de reactores para la realización de la conversión del Aceite o Grasa en metiléster.
4. **Separación.** Separador de Metiléster /glicerina y Centrifugación final de metiléster /glicerina.
5. **Recuperación del Metano.** Flash. Purificación del Metiléster - flash de metanol. Condensación.
6. **Purificación.** Purificación de glicerina. Separador de metanol. Rectificación de Metanol.
7. **Sección de Lavado y purificación BioDiesel.** Lavados, Tratamiento de líquidos y vertimientos.
8. **Almacenamiento y Entrega del BioDiesel.**
9. **Servicios Auxiliares** compuesto por la Sala de Generación de Vapor y Agua Caliente, estación de Transformación de Electricidad y las Pizarras de Distribución Interna, Sala de Aire Comprimido, Estación de Recepción, Regulación de presión y medición del Gas Natural, Estación de Recepción y medición del agua industrial.
10. **Sección de Control Operacional y Control de la Calidad.** Operadores y Personal de Mantenimiento, Panel de Control, los medios de medición y control, análisis químicos, Área de Instrumentación y Automatización, Oficinas Administrativas.

8.3 Los equipos

Los reactores generalmente son presurizados, con calefacción a vapor, y utilizan tecnología de agitado/mezclado de alta velocidad. Están dotados de aislamiento de poliuretano expandido, para reducir las pérdidas de calor, mas regulación automática de presión y temperatura de proceso.

La construcción es en acero inoxidable o de polietileno alta densidad, materiales resistentes a la corrosión, con espesor de pared de 3 a 4 mm. La construcción tiene que cumplir con las normas DIN y ASTM para seguridad industrial y ambiental.

La pizarra o tablero de control es hermético; los circuitos eléctricos están entubados.



Foto 1

En la **foto 1** anterior puede verse los reactores de una Planta de 8000 l de capacidad por bache, proceso discontinuo, de mediana capacidad.

También se obtiene el BioDiesel en pequeña escala. Un reactor de este tipo, de 50 l de capacidad, construido como Planta para su operación doméstica, se puede ver en la **foto 2** a continuación



Foto 2: Reactor de 50 l de capacidad por bache.

Otros equipos y tanques que forman parte del flujo tecnológico son:

Tanque de Alcohol Metílico
Reactor de Metóxido para la reacción del Alcohol Metílico con el Hidróxido de Sodio
Intercambiadores de Calor.
Tanques de Lavado y de Decantación
Tanque de la materia prima, Aceites Vegetales.

Tanque de precalentamiento del Aceite (Termo Tanque) de acero inoxidable o de polietileno de alta densidad, con aislamiento exterior con poliuretano expandido, para reducir las pérdidas de calor, recubierto con forro de aluminio brillante. El tanque cuenta con serpentines para precalentamiento con vapor para el acondicionamiento térmico del Aceite antes de su entrada al reactor.

Los equipos de Bombeo tienen que ser resistentes a líquidos corrosivos, considerando que los materiales de la carcasa, impelente, ejes y sellos deberán cumplir con estos requisitos. Igualmente con las sondas que se utilizan para las mediciones de presión y temperatura y los medios de medición y control.

Se construyen Plantas de BioDiesel en gran escala para niveles de producción de millones de litros anuales como la que se muestra en la **foto 3** siguiente.



Foto 3 Planta Industrial

9 Especificaciones y Control de Calidad

9.1 Especificaciones, métodos de análisis empleados. tabla 12

En la siguiente tabla se reportan los Análisis, parámetros y sus Métodos de Análisis según Normas americana ASTM y europeas UNE EN. Hemos hecho una amplia selección de ambos sistemas de normas para ofrecer la interpretación de causas y efectos que tiene en la calidad del BioDiesel, los valores fuera de parámetros especificados de cada uno de estos análisis.

Parámetros y límites operacionales			
Análisis	Método	Límites max - min	Unidades
Calcio / Magnesio	EN 14538	5 max	ppm (mg/kg)
Sodio / Potasio	EN 14538	5 max	ppm (mg/kg)
Punto de Inflación	D 93 / EN ISO 3679	130 min.	Degrees C
Densidad	EN ISO 12185	860-900	kg/m3
Agua y Sedimentos	D 2709 / ISO 12937	0.05/500 max.	% vol/(mg/kg)
Viscosidad Cinemática, 40 C	D 445/EN ISO 3104	3,5 - 5.0	mm2/sec.
Residuos de Sulfatos	D 874	0.02 max.	% masa
Contenido de Metanol	EN 14110	0,2 max	% masa
Azufre			
S 15 Grade	D 5453/ EN ISO 20846	0.0015 max	% masa (ppm)
S 500 Grade	D 5453/ EN ISO 20847	0.05 max.	% masa (ppm)
Corrosión tira de cobre	D 130 / EN ISO 2160	No.3/Clase1 max.	3 h a 50 °C
Cetano	D 613 / EN ISO 5165	47 / 51 min.	
Cloud Point (POFF)	D 2500 / EN 116	Report	Degrees C
Residuo carbonoso	D 4530* / EN ISO 10370	0.05 /0,30 max.	% masa
Cenizas sulfatadas	ISO 3987	0,02 max	% masa
Índice de acidez	D 664/ EN 14104	0.50 max.	mg KOH/g
Índice de Yodo	UNE 14110	120 - 140 max	g/g
Glicerina libre	D 6584 / UNE 1405	0.020 max.	% masa
Glicerina Total	D 6584 / UNE 1405	0.250 max.	% masa
Contenido de Mono	UNE 14105	0,8 max	% masa
Contenido de Di Gliceridos	UNE 14105	0,20 max	% masa
Contenido de Tri Gliceridos	UNE 14105	0,20 max	% masa
Contenido en Ester	EN 14103	96,5 min	% masa
Contenido Ester de metilo de Ac. Linolenico	EN 14103	12 max	% masa
Contenido Ester de metilo de Ac. Poli-insaturados	EN 14104	1 max	% masa
Contenido de fósforo	D 4951 / UNE 1407	0.001/ 10 max.	% masa/ (mg/kg, ppm)
Destilación, T90 AET	D 1160	360 max.	Degrees C
Estabilidad oxidación	EN 14112	6 min	horas
Contaminación total	EN 12662	24 max	mg/kg
Norma UNE 14214: 2003			

Tabla 12: Análisis, parámetros, límites operacionales.

En la tabla 13 se muestra los efectos que provocan estas alteraciones, tanto en la utilización como combustible en un motor de combustión interna, como combustible en calderas y hornos así como en su manipulación, bombeo, almacenamiento y transportación final.

Las alteraciones de estos parámetros fuera de sus límites mínimo y máximo provocan diversas alteraciones que a continuación se explica en la tabla 13.

9.2 Control de Calidad del proceso del BioDiesel

Análisis	Interpretación de los resultados	
	Bajo	Altos
Calcio / Magnesio		Presencia de Calcio Magnesio indica jabones insolubles (13)
Sodio / Potasio		Presencia sodio potasio indican resto del catalizador (13)
Punto de Inflación	Residuo elevado de Alcohol (3)	
Densidad	Excesivo resto alcohol	
Agua y Sedimentos		Reacciones de hidrólisis (aparición ácidos grasos libres), corrosión en el motor, crecimientos bacteriológicos (obstrucción de filtros) y trazas de Ac Sulfúrico.
Viscosidad Cinematica, 40 C	Exceso de Metanol	Degradación térmica / Polimerización (2)
Residuos de Sulfatos		
Contenido de Metanol		pobre recuperación de Metanol en el producto (10)
Azufre		
S 15 Grade		Contaminación del BioDiesel /Emisiones de SO ₂
S 500 Grade		Contaminación del BioDiesel /Emisiones de SO ₂
Corrosión tira de cobre	Clase diferente indica presencia de ácidos grasos libres y compuestos azufrados (7)	
Cetano	Poca tendencia a la ignición (4)	
Cloud Point (POFF)	El valor de POFF es un indicador de los límites de operabilidad y tiene vital importancia	
Residuo carbonoso		Altos contenidos de glicéridos, presencia de metales (jabones, resto de catalizador), otras impurezas (2)
Cenizas sulfatadas		Presencia sólidos abrasivos, presencia de metales (jabones, resto de catalizador) (5)
Índice de acidez		Presencia de ácidos grasos libres y ácidos inorgánicos. (8)
Índice de Yodo		Presencia de dobles enlaces (9)
Glicerina libre		Pobre lavado del BioDiesel y decantación.(14)
Glicerina Total	Buena transesterificación de los Aceites o grasas	
Contenido de Mono		Reacción incompleta Aceites que no han reaccionado (11)
Contenido de Di Glicéridos		Reacción incompleta Aceites que no han reaccionado (11)
Conenido de Tri Glicéridos		Presencia de aceite o grasa sin reaccionar.(12)
Contenido en Ester	Reacción incompleta. Presencia de Aceite (1)	
Contenido Ester de metilo de Ac. Linolenico		Valor bajo de POFF, bajo numero de cetano, alto índice de Yodo
Contenido Ester de metilo de Ac. Poli-insaturados		Favorecen los proceso de polimerización, que provocan depositos y deterioran el aceite lubricante.
Contenido de fosforo		Problemas en el motor, daña los catalizadores utilizados para reducir las emisiones.
Destilación, T90 AET		
Estabilidad oxidación	Aceite degradado o degradación del BioDiesel en el proceso. Inestabilidad del BioDiesel durante el almacenamiento	
Contaminación total		Presencia de insaponificables, jabones, impurezas mecánicas. (6)
Norma UNE 14214: 2003		

Tabla 13: Interpretación de los resultados de los análisis

Explicamos cada uno de los efectos que provocan las alteraciones de los resultados:

- (1) Viscosidad alta, disminución del efecto de spray, peor combustión y aumento de carbón

- (2) Problemas en los inyectores y sistemas de bombeo, acortando la vida del motor
- (3) Problemas operativos de seguridad, en el almacenamiento y transporte
- (4) Mayor cantidad de depósitos carbonosos en el motor, mas desgaste en los pistones.
- (5) Cenizas en el motor que saturan filtro. Desgaste en el motor.
- (6) Los insaponificables dejar residuos en el motor por su mayor punto de evaporación. Los jabones dan lugar a cenizas sulfatadas. Las impurezas mecánicas obstruyen filtros.
- (7) Problemas de corrosión en el motor y durante el almacenamiento.
- (8) Problemas de corrosión en el motor y aumento de la velocidad de degradación del BioDiesel.
- (9) Favorecen la polimerización y la hidrólisis.
- (10) Baja temperatura de inflamación, de la viscosidad y de la densidad. Corrosión de piezas de aluminio y zinc.
- (11) Depósitos en inyectores y cilindros. Provocan cristalización (los mono glicéridos tienen un punto de fusión alto y solubilidad baja por lo que cristalizan a baja temperatura del BioDiesel)
- (12) Viscosidad elevada del BioDiesel, depósitos carbonoso en cilindros y válvulas
- (13) Los metales en el BioDiesel provocan depósitos y catalizan reacciones de polimerización
- (14) Incremento de las emisiones de aldehídos y acroleína.

El BioDiesel (B100) puede ser usado directamente. Regularmente se comercializan mezclas de 20% de BioDiesel con Diesel (Gas Oil) fósil.

Densidad y Valor Calórico medio del BioDiesel y Diesel Fósil tabla 14

Fuel	Density, g/cm3	Valor Cal. Neto medio, Btu/gal. (kcal/kg)	% Diferencia vs. No. 2 Diesel medio
No. 2 Diesel	0.850	129,500 (10400)	0
Biodiesel (B100)	0.880	118,296 (9180)	8.65 %
B20 Mezcla (B20)	0.856*	127,259* (10150)	1.73 %*
B2 Mezcla (B2)	0.851*	129,276* (10370)	0.17 %*

* Referido a Diesel No. 2 Diesel y BioDiesel (B100)

Propiedades del Metiléster de soja (BioDiesel) tabla 15

Parámetros	Unidades	Valor, kg
Poder Calórico Inferior	MJ	32,2
Poder Calórico Superior	MJ	40,8
Densidad 20 °C	Kg/l	0,87
Oxígeno		0,11
Carbono Fósil		0,041
Carbono biogénico		0,731
Hidrógeno		0,119
Factor de CO2 (energía)	Kg CO2/MJ	0,0761
Factor de CO2 (masa)	Kg CO2	2,8298
Fórmula		C ₁₉ H ₃₅ O ₂
Peso Molecular	kmol	295,0

10 Impacto Ambiental del BioDiesel.

En el desarrollo de esta recopilación documental ya hemos hecho varias referencias al comportamiento ambiental de las emisiones que genera la producción y utilización del BioDiesel como sustituto del Diesel Fósil. En este epígrafe destacaremos el efecto específico sobre cada uno de los gases nocivos (GHG) que contaminan la atmósfera.

Se estudiará el impacto de emisiones promedio de BioDiesel en los motores de combustión interna (MCI) para equipos de carrocería pesada (Valores medios, tomados de análisis proveniente de BioDiesel de distintas materias primas vegetales). Encontramos que la mayoría de las emisiones de GHG disminuyen, menos las emisiones de NOx que se incrementan.

Emisiones de CO₂: Para el caso de quemar BioDiesel en el MCI, el CO₂ emitido a la atmósfera es reciclado por las plantas que luego serán utilizadas para producir el biocombustible. Un estudio llevado a cabo por el Departamento de Energía y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDOE/USDA), concluyó que el biodiesel reduce las emisiones de dióxido de carbono netas en 78% comparado con el diesel proveniente de petróleo. El porcentaje anterior está referido al **balance neto de CO₂**, entendiéndose que están incluidas las emisiones de CO₂ en toda la cadena de producción del BioDiesel y las emisiones producidas en la utilización como combustible.

Resto de los GHG: La [figura 4](#) muestra el gráfico comparativo de la reducción de las concentraciones de 3 gases contaminantes en los productos de la combustión del BioDiesel comparados con la línea base del Diesel Fósil, datos obtenidos del comportamiento en los MCI. Hagamos un análisis individual.

1. **Monóxido de Carbono:** Las emisiones de monóxido de carbono del escape de un motor a BioDiesel son en promedio 48% menores que las de diesel. El BioDiesel tiene un contenido mayor de oxígeno, lo que ayuda a alcanzar un punto de combustión más alto.
2. **Reducción en las emisiones de SOx:** Básicamente el biodiesel es libre de azufre. Por lo tanto, los óxidos y sulfatos del biodiesel son esencialmente eliminados cuando se comparan con el diesel común.

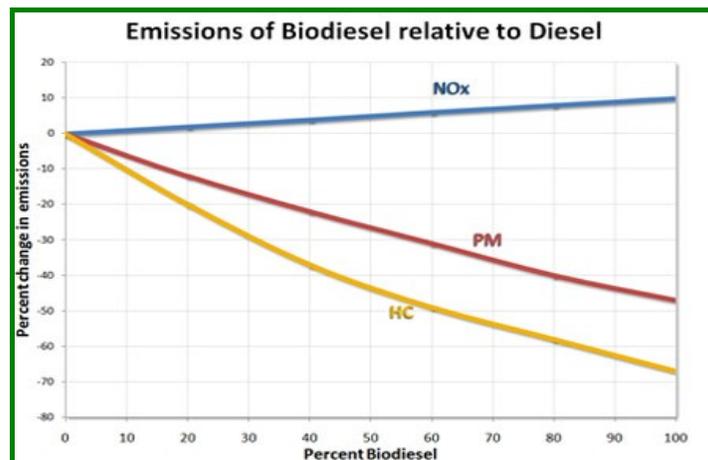


Figura 4: Emisiones en los productos de combustión de los MCI de equipos de transporte carrocería pesada.

3. **Partículas:** Las emisiones de partículas (PM) en el escape de un motor a biodiesel son 47% menores a las emisiones de partículas de motores a diesel.

4. **Hidrocarburos:** Las emisiones de hidrocarburos (HC) son 67% menores a las emisiones de Diesel Fósil.
5. **Óxidos de Nitrógeno:** Las emisiones de **NOx** de BioDiesel puro en promedio se **incrementan en un 10%**. Sin embargo, actualmente existen tecnologías, así como aditivos para reducir esta desventaja.

Los valores de las emisiones producto de la combustión del BioDiesel en la Industria y su comparación con los del Diesel Fósil, están registrados en el documento *Directrices del IPCC de 2006* (inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Vol 2-Cap. 2, para los diferentes sectores industriales representativos de la economía mundial. En la **tabla 16** que sigue se extraen los valores representativos para el Diesel Fósil y el BioDiesel con vista a compararlo con el reportado en la **tabla 15** anterior de 2,83 kg CO₂/kg de BioDiesel.

FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO (FED) PARA LA COMBUSTIÓN ESTACIONARIA EN LAS INDUSTRIAS ENERGÉTICAS (kg de gas efecto invernadero por TJ sobre una base calórica neta)									
Combustible	CO ₂			CH ₄			N ₂ X		
	FED	Inferior	Superior	FED	Inferior	Superior	FED	Inferior	Superior
Gas/Diesel	74100	72600	74800	r 3	1	10	0,6	0,2	2
BioDiesel	n70800	59800	84300	r 3	1	10	0,6	0,2	2
n Indica un factor de emisión nuevo que no estaba presente en las directrices <i>Directrices del IPCC de 1996</i>									
r Indica un factor de emisión que se revisó a partir de las <i>Directrices del IPCC de 1996</i>									
Fuente: <i>Directrices del IPCC de 2006</i> para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Vol 2									

Tabla 16: Factores de emisión por defecto para la actividad de la Industria Energética.

Nota: Hemos revisado los valores del FED registrados en tablas en el documento *Directrices del IPCC de 2006* para los demás sectores de la economía y hemos comprobado que se mantienen constantes, por lo que son representativos para todo el sector industrial.

Como se comprueba, los valores emitidos de los GHG, CO₂, CH₄ y N₂X son similares para ambos combustibles.

Notas del redactor: Comparemos los valores en ambas tablas. Para ello convertiremos la unidad de kg CO₂/TJ de la **tabla 16** a la unidad kg CO₂/kg de BioDiesel de la **tabla 15**, calculando la equivalencia entre los TJ energéticos y los kg de BioDiesel que hay que combustionar para generar esa energía, sobre una base calórica neta.

Multipliquemos los Kg de CO₂ emitidos por cada TJ energético por el Poder Calórico Inferior dado en MJ/kg del combustible. Para el BioDiesel este valor es de 70800 kg CO₂/10¹² J * 32,2 10⁶ J/kg de BioDiesel = 2,28 kg CO₂/ kg de BioDiesel. La diferencia entre el 2,28 calculado y 2,83 de la **tabla 15** está dada por el Poder Calórico Inferior seleccionado para el cálculo, ya que las *Directrices del IPCC de 2006* consideran un valor calórico para el BioDiesel inferior al de la **tabla 15** por estar basado sus Bases de Datos de este parámetro en una muestra global de plantas con diferentes tecnologías y materias primas, lo cual da por resultado una dispersión amplia, con una gran diferencia entre el valor del Poder Calórico mínimo y el valor máximo. (27,0 TJ/Gg medio, 13,6 inferior y 54,0 superior). En la **tabla 15** empleamos el Poder Calórico Inferior de la producción de BioDiesel basado en la transesterificación de la soya, que es la tecnología de referencia de cálculo en nuestro documento. Para el Diesel Oil Fósil realizamos iguales cálculos. Los Poderes Calóricos en TJ/Gg que establece el documento *Directrices del IPCC de 2006* para el Diesel Fósil en la **tabla 16** son 43,0 medio, 41,4 inferior y 43,3 superior, una dispersión estrecha. Haciendo los cálculos llegamos al resultado de 3,06 kg CO₂/Kg de Diesel Fósil.

Los datos de la **tabla 16** confirman que las emisiones a la atmósfera de CO₂ por cada TJ son inferiores en los productos de la combustión del BioDiesel que en el Diesel Oil Fósil, en un 5% (70800/74100). Es oportuno destacar que este 5% de reducción se refiere solo al proceso de combustión del BioDiesel durante su utilización como combustible, la que es solo una de las etapas dentro de la cadena de producción del biocombustible. Este valor parcial no puede ser comparado con el nivel de reducción del 78% anterior, el que resulta de los cálculos en el balance neto de emisiones incluyendo la cadena de producción.

Si a las emisiones derivadas del proceso de combustión del BioDiesel (su utilización) le agregamos las emisiones de los insumos de su cadena de producción, ver **tabla 10** anterior, que son de 4,2 kg CO₂/kg de

BioDiesel, obtenemos la cifra total de emisiones (Cadena de Producción más utilización) : $2,83 + 4,2 = 7,03$ kg CO₂/kg de BioDiesel. Ahora de ellos retorna al cultivo de la soya el parcial de 2,83 kg de CO₂ emitido, utilizado en la formación de los tejidos vegetales de la planta, para un balance neto de 4,2 kg de CO₂/kg de BioDiesel. Ahora comparemos la emisión de CO₂ en la cadena de producción y utilización del Diesel Fósil según lo que hemos estudiado anteriormente.

Base: 1 kg de Diesel Fósil

CO₂ emitido a la atmósfera al combustionar el Diesel Fósil = $7,4 \cdot 10^4 \text{ Kg CO}_2 \cdot 41,4 \cdot 10^{-6} = 3,06 \text{ kg CO}_2/\text{kg}$

CO₂ en la cadena de producción del Diesel Fósil (similar) = 4,2 kg CO₂/kg

CO₂ Total emitido a la atmósfera = 7,38 kg de CO₂/kg. Este valor es superior en 3,18 kg de CO₂/kg al del BioDiesel (un impacto negativo del 176% mayor).

Recalquemos nuevamente que la combustión del BioDiesel libera a la atmósfera dióxido de carbono (CO₂), elemento que se asocia al "efecto invernadero". Pero ese CO₂ liberado está en relación directa con el contenido de carbono en el BioDiesel, carbono que a su vez ha sido incorporado por las materias primas empleadas en su fabricación, el Aceite Vegetal, y que siguiendo la cadena de producción hasta su nacimiento, por la planta de soya que lo tomó del medio ambiente (atmósfera y suelos) y mediante la fotosíntesis lo empleó en su formación y crecimiento. Por ello las plantaciones favorecen la reducción del contenido de CO₂ que el propio BioDiesel libera a la atmósfera, mejorando el balance y reduciendo la agresividad del medio ambiente.

Se comprueba la desventaja ambiental del combustible fósil. Se obtiene del petróleo crudo, materia prima que contamina severamente la atmósfera, el suelo, los recursos hídricos, ríos y océanos en todas sus operaciones de extracción, procesamiento y transportación. El Diesel Fósil se obtiene de **fuentes no renovables** que a la vez que se agotan por ser su ciclo de formación milenario, el insumo de CO₂ atmosférico para su formación se hace imperceptible en el tiempo, considerándose realmente que todo el CO₂ que emite, incrementa el efecto invernadero y el calentamiento global.

Finalmente, el BioDiesel es totalmente biodegradable, comparable a la dextrosa y al no contener azufre, permite un mejor rendimiento de los catalizadores, para tratar los gases de escape. Su uso reduce riesgos de la salud, dado que sus emisiones presentan niveles nulos de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH) e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos nitrogenados (nHPAH) ambos con efectos altamente cancerígenos y de partículas.

11. Conclusiones

Concluimos que la producción de biocombustibles es una vía sostenible y que apunta a quedarse para siempre, principalmente como sustituto de combustibles de motor para el transporte. Los resultados obtenidos del análisis de insumos energéticos y emisiones producidas al medio ambiente lo demuestran para el ejemplo que hemos seguido que es la semilla y el aceite de Soya.

En la medida que se incorporen nuevas fuentes de materias primas y tecnologías amigas del ambiente, se irá reduciendo hasta eliminar la controversia por el uso de materias primas fuentes de alimentos y los incrementos de precios quedando el camino despejado al desarrollo de este potencial reforzando la sostenibilidad de los Biocombustibles. En este documento se muestran cifras de rendimientos de otras fuentes diferentes a la soya y se brindan información sobre las nuevas rutas que se seguirán a **corto plazo** en el desarrollo de esta tecnología limpia.

12. Referencias

Selección realizada atendiendo al volumen de información que de ellas fue consultado y su aporte a las ideas y datos de esta recopilación.

1. Scientific Organisations/Institutions/Research Institutes international American Oil Chemist's Society (AOCS) <http://www.aocs.org/>
2. Association Française pour l' Etude des Corps Gras (AFECG) <http://www.afecg.org/>
3. Chilean Corporation of Oils and Fats (CORCHIGA) <http://www.corchiga.cl/>
4. Czech Chemical Society, Working Group "Fats, Detergents and Cosmetic Chemistry " <http://www.csch.cz/>
5. European Federation for Lipid Science and Technology (EuroFedLipid) <http://www.eurofedlipid.org/>
6. European Federation of Biotechnology <http://www.efbweb.org/>
7. International Society for Fat Research (ISF) <http://www.isfnet.org/>
8. Japanese Oil Chemists Society <http://www.soc.nii.ac.jp/jocs/index-e.html>
9. Austrian Energy Agency. www.eva.wsr.ac.at
10. Austrian Biofuels Institute. www.biodiesl.at
11. Biodiesel, Barreras, Potenciales e Impacto. http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/06-07/Biodiesel/homes.htm
12. Utilización de aceites vegetales usados para la obtención de Biodiesel. Laboratorio de Procesos Químicos y Bioquímicos Integrados Universidad Complutense de Madrid. Mercedes Martínez Rodríguez
13. Akers, M.S. et al, "Determination of the Heat of Combustion of Biodiesel Using Bomb Calorimetry", Journal of Chemical Education, Vol. 83, No 2, February 2006
14. Biodiesel – Handling and use guidelines, Third Edition, September 2006, US Department of Energy
15. Clean Cities Alternative Fuel Price Report. June 2006. US Department of Energy. Energy Efficiency and Renewable Energy
16. Noticias sobre combustibles. Organización Latinoamericana de Energía. Boletín No. 13. Enero 31, 2007 y Boletín No. 14. Febrero 15, 2007.
17. Booth, E., et al, "Economic Evaluation of Biodiesel Production from Oilseed Rape grown in North and East Scotland", October 2005
18. Costa R. E. & Lora, E.E.S., "The energy balance in the production of palm oil biodiesel - two case studies: Brazil and Colombia"
19. Demirbas, A., "Progress and recent trends in biofuels", Progress in Energy and Combustion Science 33 (2007), pp. 1-18
20. Fernando, S., Hal, C. and Jha S., "NOx Reduction from Biodiesel Fuels", Energy & Fuels 2006, 20, pp. 376-382
21. www.greencarcongress.com/2005/08/shell_takes_min.html
22. www.biorefineryworkshop.com/presentations/Blades.pdf
23. www.fas.usda.gov/pecad2/highlights/2005/01/btl0104/syntheticdiesel.Htm
24. www.biocombustibles.es/informes.htm
25. www.fnr-server.de/cms35/Production.792.0.html
26. Renewable Energy World Magazine. Volúmenes 10 y 11 (2007 - 2008). www.renewableenergyworld.com/
27. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) <http://www.ipcc.ch/>
<http://www.ipcc-wg2.org/>
<http://www.climatechange.gov.au/international/ipcc.html>
<http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>
28. Water and Waste Water Internacional. Volúmenes 22 y 23 (2007-2008) <http://www.pennnet.com/>

29. Power Engineering International. Vol 15 Issue 9 2007, and Vols 16 - 2,3,4,5,6 2008 [http://www. Peimagazine.co.uk](http://www.Peimagazine.co.uk)
30. United Nations Environment Programme Division of Technology, Industry, and Economics. <http://www.uneptie.org>
31. Cogeneration On-Site Power Production. Vol 9 - 3,4, y 5 2008. <http://www.cospp.com>
32. Friedrich, S., "A world wide review of the commercial production of biodiesel - A technological, economic and ecological investigation based on case studies", Des Institutes für Technologie und Nachhaltiges Produktmanagement, Vienna, 2004
33. Frondel , M., Peters, J., "Biodiesel: A new Oildorado?", Energy Policy 35, pp. 1675-1684
34. Hancock, N., "Global Biodiesel Market", Oilseeds WA, Biodiesel Workshop, August 2005
35. Mourad A.N., "Principais Culturas para Obtenção de Óleos Vegetais Combustíveis no Brasil", AGRENER 2006, São Paulo, Brazil, June 2006
36. ECOINVENT, 2006^a Life Cycle Assessment of oil-based biofuels. A. Dauriat (ENERS Energy Concepts, Lausanne) and G. Gnansounou (Laboratory of Energy Systems-LASEN, EPFL)
37. EUROSERVER 2006. Biofuels Barometer 2006. <http://www.energies-renouvelables.org/observer>
38. Pinto et al. , "Biodiesel: An Overview", Journal of the Brazilian Chemistry Society., Vol. 16, No. 6B, 2005, pp. 1313-1330.
39. Sheehan, J., "Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles", National Renewable Energy Laboratory, USA, Colorado, May 1998
40. Thevenot N., "Alternative Fuels in the World - Diesel Outlook", Hart World Refining & Fuels, Conference Rio 2006, 2006.
41. U.S. EPA, "A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions" Draft Technical Report, October 2002.
42. "Biodiesel production", Fuel Fact Sheets - National Biodiesel Board, http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/Production.PDF
43. "Energy content", Fuel Fact Sheets - National Biodiesel Board, < http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/BTU_Content_Final_Oct2005.pdf>
44. "BioMethanol Chemie plant to produce methanol from glycerine", Chemisch2Weekblad, 6 Nov 2006
45. "Researchers finding new uses for glycerine", Biodiesel Magazine, November 2005
46. Heming, M.P.D, "Glycerine Market Report", no 71, December 2005 Oleoline®
47. Hillgrub, J., "What is the Global Market Outlook for Glycerine in 2006?", Frost & Sullivan, May 2006
48. Nilles D., "A Glycerin Factor", Biodiesel Magazine, August/September 2005
49. Nilles D., "Combating the Glycerin Glut", Biodiesel Magazine, September 2006
50. Pachauri, N. & He B., "Value-added Utilization of Crude Glycerol from Biodiesel Production: A Survey of Current Research Activities", 2006 ASABE Annual International Meeting, 9 - 12 July 2006
51. Robra, S., Oliveira, A.S and Cruz, R.S., Usos alternativos para a glicerina proveniente da produção de biodiesel: Parte 2 - Geração de biogás, Bahia, Brasil
52. "Conversion of Glycerol Stream in a Biodiesel Plant", Biodiesel Whitepaper, Virent Technology. <http://www.virent.com/whitepapers/Biodiesel%20Whitepaper.pdf>>
53. João Guilherme Rocha Poço, IPT - Bate-papo Programado / Biodiesel, <<http://www.ipt.br/atividades/servicos/chat/?ARQ=174>>

54. Maurício Assumpção Trielli , IPT - Bate-papo Programado / Aspectos técnicos do uso do biodiesel em motores de combustão interna, <<http://www.ipt.br/atividades/servicos/chat/?ARQ=74>>
55. The US National BioDiesel Board Specification for BioDiesel (B100) – ASTM D6751-06b.
56. Estudio para determinar la factibilidad técnica y económica del desarrollo del BioDiesel Ing. Jorge Ugolini, Abril 2000
57. A Study on the Feasibility of Biodiesel Production in Georgia. George A. Shumaker, John McKissick, Christopher Ferland, and Brigid Doherty. Professor, Professor and Director, Research Coordinator, Agricultural Statistician.
58. Biocombustibles de Zierbena S.A. Documento Síntesis del Estudio de Impacto Ambiental. Mayo 2.004. Idom
59. Los biocombustibles: Situación actual, análisis y perspectivas de la producción en Mercosur y del comercio con la UE. Gustav Rubió. Marzo 2005 (Borrador).
60. Aspectos da Produção em Larga Escala de Biocombustíveis. Seminário Internacional de Biocombustíveis MME – OLADE. Abril de 2006. Alfred Szwarc.
61. Situación actual y perspectivas del uso de biocombustibles en Cuba. Abril /2006. MSc Guillermo Pereira Hernández.
62. BioDiesel: perfiles de negocio. Argentina 2007. Gerardo D. López - Coordinador Internacional Red IV.E CYTED
63. Programa Nacional de Biocombustibles. Argentina Abril 2006. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos.
64. El Combustible Amigable y Limpio para Motores Diesel. Administración de Asuntos de Energía. Fuentes Renovables, Combustibles Alternos y Planificación.
65. Proceso para la producción de BIODIESEL (metilester o ésteres metílicos de ácidos grasos) Marzo 2001. Ing. Rodolfo José Larosa.
66. Journey to Forever. Aceite vegetal usado como combustible diesel. http://journeytoforever.org/es/biodiesel_cav.html
67. Elsbett, Alemania -- Modificación profunda para que el motor pueda funcionar con aceite vegetal <http://www.elsbett.com/> <http://www.eco-tuning.com/>
68. Cómo funcionan los motores diesel. <http://www.howstuffworks.com/diesel.htm>
69. Motores diesel (Chevron). http://www.chevron.com/prodserv/fuels/bulletin/diesel/L2_6_fs.htm
70. Combustibles diesel -- descripción técnica (Chevron) http://www.chevron.com/prodserv/fuels/bulletin/diesel/L1_toc_fs.htm
71. "Así que este es tu primer diesel" <http://www.dieselpage.com/art1110fd.htm>
72. Cómo romper un motor diesel.
73. <http://www.thedieselstop.com/contents/getitems.php3?Breaking%20in%20a%20Diesel%20Engine>
74. Sistemas de inyección diesel. <http://www.dieselpage.com/art1110ds.htm>
75. Bosch -- Pasado, presente y futuro. <http://www.dieselpage.com/art0898pf.htm>
76. Robert Bosch Bomba de inyección del tipo VE -- Cómo funciona, ilustraciones. <http://www.cs.rochester.edu/u/jag/vw/engine/fi/injppump.html>
77. Oils -- King's American Dispensatory, por Harvey Wickes Felter, M.D., y John Uri Lloyd, Phr. M., Ph. D., 1898. <http://www.ibiblio.org/herbmed/eclectic/kings/olea.html>
78. Reacciones químicas de aceites, grasas y productos grasos. <http://alfa.ist.utl.pt/~fidel/creac/reac.html>
79. Grasas y aceites comestibles (1994) -- Libro online (Archivo acrobat, 1,3 Mb): <http://www.iseo.org/foodfatsoils.pdf>
80. Balance de Carbono en los Suelos. Abril 2007. Roberto Álvarez. Facultad de Agronomía-Universidad de Buenos Aires [Engormix.com](http://www.engormix.com). <http://www.engormix.com/index.asp>
81. The NEED Project. www.NEED.org

82. BioKing Canada, Inc. www.bioking-norte.es/
83. Analysis of edible oils and fats. Application Bulletin No. 141/3 e. Metrohm
84. Detroit Diesel Corporation. February 2006. John F. Gustafson. Manager, Medium-Duty Application Engineering
85. 2005 Interlaboratory Crosscheck Program on BioDiesel. ASTM Internacional.
86. Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de la producción de BioDiesel (B100) en Argentina. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Escuela para Graduados Alberto Soriano. Noviembre 2006, Autor: Ing. Amb. Luis Panichelli.
87. Master Monsanto. Secretaria de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación. Argentina.
88. Alternative Fuels: Biodiesel. EPA US. Environmental Protection Agency. Office of Transportation and Air Quality EPA420-F-06-044. October 2006
89. Proyecto BIOFAA. Federación Agraria Argentina.
90. Opciones para la producción de biodiesel a pequeña escala en el Perú. PhD José Luis Calle Maraví y otros, UNALM. Abril 2004.
91. Economic Issues Related to Biofuels. August 2006.
92. Effects of Biodiesel on Pollutant Emissions. National Renewable Energy Laboratory. Golden, Colorado. March 16, 2005. Bob McCormick.
93. Investigación y desarrollo de biodiesel en Chile. Chile. Facultad de Ingeniería Agrícola -Universidad de Concepción. José Fernando Reyes. Ingeniero Civil Metalurgico, MSc., PhD.
94. Biocarburantes líquidos: Biodiésel y Bioetanol. Juan Manuel García Camas y José Ángel García Laborda. Fundación para el conocimiento Madrid. CEIM www.madrimasd.org



Sobre el Autor: René Ruano Domínguez tiene mas de 30 años de experiencia en actuaciones en sistemas y equipos energéticos, tanto en los que utilizan energía fósil como fuentes renovables. Se inició como operador, posteriormente tecnólogo y Gerente Técnico en la Industria de Conversión y Refinación de los Combustibles. Ha sido fundador y Gerente Técnico de varios Equipos de Ingeniería Energética dirigidos al Proyecto, Montaje y los Servicios Técnicos en los Sistemas de Calor y Frío, abarcando la generación, distribución y uso del vapor y el agua caliente en mediana y pequeñas instalaciones, hasta 10 bar de presión; y en los sistemas de Frío las bajas temperaturas (refrigeración y producción de hielo industrial), medianas temperaturas (conservación) y altas temperaturas (Aire Acondicionado) para instalaciones industriales y comerciales. Ha realizado múltiples actuaciones en proyectos, ejecución y servicios de Ingeniería Energética General.