



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**USO DE LA GLICERINA, SUBPRODUCTO
DEL BIODIESEL, EN QUEMADORES INDUSTRIALES Y
OPTIMIZACIÓN DEL BIODIESEL**

Director del Proyecto:

Enrique Ballester Sarrias

Alumno:

Enrique J. Plaza Gutiérrez

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE GENERAL -----	2
ÍNDICE DE FIGURAS -----	5
ÍNDICE DE TABLAS -----	6
ABREVIATURAS -----	7
GLOSARIO -----	8
OBJETIVOS -----	10
INTRODUCCIÓN -----	11

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES DE LA COOMUNIDAD NUEVA ALIANZA

1.1 Localización -----	12
1.2 Historia -----	12
1.3 Economía -----	13

CAPÍTULO II

EL BIODIESEL COMO COMBUSTIBLE

2.1 Historia -----	15
2.2 El Biodiesel y sus características técnicas -----	18
2.2.1 Mezcla de Biodiesel -----	19
2.2.2 Los ácidos grasos libres (AGL) -----	19
2.3 Materia prima para la elaboración del Biodiesel -----	22
2.3.1 Aceite vegetal -----	22
2.3.2 Alcohol -----	25
2.3.3 Catalizador -----	28
2.4. Obtención del Biodiesel -----	30
2.4.1 Transesterificación o alcoholisis básica -----	30
2.4.2 Tipos de Biodiesel -----	31
2.5 Propiedades del Biodiesel -----	31
2.5.1 Definiciones de las propiedades del Biodiesel -----	31
2.6 Calidad del Biodiesel -----	33
2.7 Estándares Técnicos del Biodiesel -----	34
2.7.1 Normas para la producción del Biodiesel -----	35
2.7.1.1 Norma Europea de Estandarización de Biodiesel -----	36
2.7.1.2 Norma Norteamericana de Estandarización de Biodiesel --	37
2.8. Emisiones del Biodiesel -----	40
2.9 Ventajas y Beneficios del Biodiesel -----	41
2.10 Limitaciones del Biodiesel -----	44

CAPÍTULO III

MICRIPLANTA DE BIODIESEL DE LA COMUNIDAD NUEVA ALIANZA

3.1 Descripción de los componentes de la planta -----	46
---	----

3.1.1 Tanques de almacenamiento y reposo de aceite -----	46
3.1.2 Bomba de alimentación de aceite del motor -----	46
3.1.3 Reactor de Metóxido Potásico -----	47
3.1.4 Reactor de transesterificación -----	48
3.1.5 Depósito de lavado -----	48

CAPÍTULO IV

PARÁMETROS GENERALES DEL BIODIESEL

4.1 Análisis de parámetros del Biodiesel -----	49
4.2 Análisis de los resultados de pruebas realizadas a Biodiesel -----	54

CAPÍTULO V

METODOLOGÍA

5.1 Cálculo de densidad -----	55
5.2 Cálculo de viscosidad -----	55
5.3 Cálculo de punto de turbidez -----	56
5.4 Punto de ebullición -----	56
5.5 PH -----	57
5.6 Resistividad eléctrica -----	57
5.7 Sólidos en suspensión -----	57
5.8 Cálculo del Cp (Poder calorífico) -----	58

CAPÍTULO VI

RESULTADOS

6.1 Cálculo de densidades -----	60
6.2 Viscosidad -----	61
6.3 Punto de turbidez -----	63
6.4 Punto de ebullición -----	63
6.5 Ph -----	64
6.6 Resistividad eléctrica -----	64
6.7 Sólidos en suspensión -----	64
6.8 Cálculo de Cp -----	64

CAPÍTULO VII

OPTIMIZACIÓN DE LA GLICERINA

7.1 Introducción -----	66
7.1.1 Aplicaciones -----	66
7.1.2. Comentarios -----	67
7.2 Purificación de Glicerina en laboratorio Usac -----	68
7.2.1 Ionización-----	68
7.2.2 Neutralización-----	68

7.2.3 Destilación fraccionada a presión reducida -----	68
7.2.4 Desecación -----	69
7.2.5 Adsorción -----	69

CAPÍTULO VIII

OPTIMIZACIÓN DEL BIODIESEL

8.1 Introducción -----	70
8.2 Fases -----	70
8.2.1 Separación de los residuos que contenga el aceite-----	71
8.2.2 Titulación-----	72
8.2.3 Transesterificación (mezcla de metóxido y aceite) -----	73
8.2.4 Separación de Biodiesel y Glicerina -----	74
8.2.5 Lavado -----	75
8.2.6 Secado -----	76
8.2.7 Filtrado -----	77
8.2.8 Test 3/27 -----	77

CAPÍTULO IX

OPTIMIZACIÓN DEL BIODIESEL

9.1 Introducción -----	80
9.1.1 Principio de funcionamiento con combustible líquido -----	81
9.1.2 Principio de funcionamiento con combustible gaseoso -----	81
9.2 Antecedentes -----	82
9.3 Datos del quemador con Diesel -----	83
9.4 Pruebas con Biodiesel -----	83
9.4.1 Sin cambios de presión -----	83
9.4.2 Mezclándolo con Diesel -----	84
9.4.3 Con Cambios de presión -----	85
9.5 Pruebas con Glicerina -----	86

CAPÍTULO X

SEGURIDAD E HIGIENE

10.1 Introducción -----	88
10.2 Cartas Químicas de seguridad internacional -----	88

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	97
BIBLIOGRAFÍA -----	99
ANEXO -----	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Tanques de almacenamiento-----	46
2	Motor-----	47
3	Reactor-----	47
4	Reactor de transesterificación-----	48
5	Balanza-----	55
6	Viscosidad-----	55
7	Tubos de ensayo-----	56
8	Calentador eléctrico-----	56
9	Potenciometro-----	57
10	Voltmetro-----	57
11	Centrifugadora-----	58
12	Recipiente de Duroport-----	58
13	Molécula de glicerina-----	66
14	Transesterificación-----	73
15	Reactores de mezclado y transesterificación-----	74
16	Motor-----	74
17	Tanques de lavado y secado-----	75
18	Aspersor del tanque de lavado-----	76
19	Regaderas del tanque de secado-----	77
20	Motor-----	77
21	Comparativa con test 3/27-----	78
22	Prueba 3/27-----	78
23	Control de calidad-----	78
24	The Lurgi Biodiesel process-----	79
25	Quemador industrial-----	81
26	Quemador industrial Beckett-----	82
27	Biodiesel a 130 Psi-----	85
28	Biodiesel a 160 Psi-----	85
29	Temperatura de llama con Biodiesel-----	86
30	Pre calentamiento-----	86
31	Homogenizado-----	86
32	Glicerina Calentada-----	87
33	Niebla-----	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Página
2.1 Propiedades de los ácidos grasos-----	20
2.2 Propiedades de los mono-alquil esterres puros-----	21
2.3 Propiedades del Biodiesel según su composición-----	22
2.4 Composición típica del aceite vegetal puro-----	23
2.5 Rendimiento de materia prima para producción de Biodiesel-----	24
2.6 Producción mundial de aceites y grasas-----	25
2.7 Biodiesel producido con metanol o etanol-----	28
2.8 Diferencias entre Biodiesel metílico y etílico-----	28
2.9 Especificaciones para Biodiesel Norma EN 14214:2003-----	37
2.10 Comparación entre normas ASTM y EN-----	39
2.11 Comparación de la emisión neta de CO_2 para Diesel derivado del petróleo y mezclas de Biodiesel-----	41
2.12 Efecto del nivel de mezcla de Biodiesel en las emisiones de CO_2 -----	42
2.13 Reducción de emisiones de gases con Biodiesel-----	43
4.1 Análisis de los resultados del Biodiesel (MEM)-----	54
6.1 Densidad de la Glicerina-----	60
6.2 Densidad de Biodiesel-----	60
6.3 Densidad del Diesel-----	60
6.4 Tiempo para el calculo de viscosidades en la Glicerina-----	61
6.5 Tiempo para el calculo de Biodiesel (B_1)-----	62
9.1 Mezcla Diesel-Biodiesel-----	84

ABREVIATURAS

GPH / GPM Galones Por Hora / Galones Por Minuto
Atmosfera atm
BTU/lb Btu por libra
Ca Calcio
cm Centímetro
CO Monóxido de Carbono
CO₂ Dióxido de Carbono
cSt Centi Stokes
g Gramo
g/l gramo por litro
Hp Horse Power – Caballos de poder
Hz Hertz
K Potasio
K cal/mol kilo caloría por mol
Kg/m³ kilogramo por metro cúbico.
Km Kilómetro
KOH Hidróxido de potasio
Kw, Mw kilo Wat, Mega watt
lts Litros
m Metros
Mg Magnesio
mg KOH/g miligramos de hidróxido de potasio por gramo de muestra.
mg/Kg miligramos por kilogramo de muestra.
ml Mililitros
mm² /s milímetro cuadrado por segundo.
Na Sodio
NO_x Óxidos de Nitrógeno
°C / °F grado centígrados Celsius / grado Fahrenheit.
PSI Pounds square inch (libras por pulgada cuadrada)
RPM revoluciones por minuto
SO₂ Dióxido de azufre
Ton Tonelada
V Voltios
vol. Volumen
W Watts

GLOSARIO

Aceite: Producto de origen mineral, animal o vegetal, líquido a 25°C. Constituido en el primer caso por hidrocarburos pesados, y en los otros grupos de compuestos orgánicos existentes en la naturaleza que consisten en ésteres formados por tres moléculas de ácidos grasos y una molécula del alcohol glicerina.

Ácidos grasos libres: AGL - FFA (Free Fatty Acids) Son aquellos ácidos grasos que no se encuentran unidos a ningún glicérido. El contenido de estos en aceites y grasas se puede determinar mediante el índice de acidez y el ph.

Ácidos grasos: Grupo de ácidos capaz de neutralizar un sólo equivalente básico, por tener solo un hidrogeno sustituible. En la mayoría de los casos, se puede decir que la fórmula de un ácido graso es R - COOH. Entran en la composición de grasas y aceites, los más frecuentes son el oleico, palmítico, y esteárico.

Alcoholisis: Es la reacción química mediante la cual una molécula es desplazada por un alcohol.

Anhidro: Compuesto que no contiene agua.

Diglicérido: Diéster formado de un ácido graso y glicerol. Dicho de otra manera, molécula de glicerol en la cual dos de los tres grupos alcoholicos (-OH) han sido esterificados, es decir, dos de los grupos alcoholicos han sido sustituidos por dos moléculas de ácidos grasos.

Éster: Compuesto formado por la reacción de un ácido y un alcohol. Corresponde a la fórmula general R-COO-R.

Esterificación: Cuando un ácido se convierte en un éster en un medio alcoholico mediante el uso de un catalizador ácido, generalmente es usado el ácido sulfúrico concentrado.

Etanol: Se conoce como alcohol etílico, es un alcohol liviano, líquido incoloro, soluble en agua, inflamable.

Glicérido: Éster de glicerol y un ácido graso.

Glicerina: Es un alcohol con tres grupos hidroxilo (-OH). Alcohol pesado, líquido viscoso, soluble en agua.

Grasa: Ésteres de glicerol. Se caracteriza por ser sólido a 25 °C.

Metóxido de potasio: Compuesto formado de la disolución de hidróxido de potasio en metanol.

Monoglicérido: Molécula de glicerol en la cual uno de los tres grupos alcoholicos (-OH) ha sido esterificado, es decir, un solo grupo alcoholico ha sido sustituido por una molécula de ácido graso.

pH: término que indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se trata de una medida de la acidez de la disolución. El término se define como el logaritmo de la concentración de iones hidrógeno, H^+ , cambiado de signo:

$$pH = -\log [H^+]$$

donde $[H^+]$ es la concentración de iones hidrógeno en moles por litro. Debido a que los iones H^+ se asocian con las moléculas de agua para formar iones hidronio, H_3O^+ , el pH también se expresa a menudo en términos de concentración de iones hidronio.

Transesterificación: Es el proceso de desplazamiento de un alcohol pesado por un alcohol liviano en un éster

Transesterificación: Es el proceso de desplazamiento de un alcohol pesado por un alcohol liviano en un éster.

Triglicérido: Molécula de glicerol en la cual los tres grupos alcohólicos (OH^-) han sido esterificados, es decir, los tres grupos alcohólicos han sido sustituidos con moléculas de ácidos grasos.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Determinar la potencialidad de la glicerina, subproducto del Biodiesel de la finca Nueva Alianza, como combustible industrial y optimización del Biodiesel

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar las propiedades generales de la glicerina de la Nueva Alianza. Densidad, punto de turbidez, punto de ebullición, Ph, viscosidad, poder calorífico neto comparativo con diesel, resistividad eléctrica, sólidos en suspensión, cálculo del Cp.

Realizar las pruebas de combustión de la glicerina la finca Nueva Alianza en las instalaciones del laboratorio de Metalurgia del CUNOC, utilizando un quemador industrial.

Propuestas de usos de la glicerina como combustible en las instalaciones agroindustriales de finca Nueva Alianza.

Análisis de los resultados, tanto de las propiedades como de la combustión de la glicerina Nueva Alianza frente a glicerina pura, diesel y Biodiesel de Nueva alianza.

JUSTIFICACIÓN

La glicerina de la Nueva Alianza es un desperdicio de Biodiesel.

Convenio firmado en 2005 entre CUNOC y Nueva Alianza.

Varios proyectos de la finca necesitan de poder calorífico.

Voluntad de los gobiernos de diversificar sus fuentes energéticas y disminuir su dependencia energética externa.

La necesaria disminución de las emisiones de anhídrido carbónico a la atmósfera para cumplir el tratado de Kyoto.

La mayor concienciación social en torno a los temas medioambientales.

La necesidad de dar nuevos usos a los terrenos abandonados por la agricultura tras la aplicación de la PAC, impidiendo así el éxodo rural, y dotando a estas áreas de nuevas posibilidades económicas, etcétera, etcétera.

Intento de cooperación entre universidades.

Evitar la lucha directa entre alimentos y combustibles.

Fuga de divisas, intento de autogestión del combustible.

INTRODUCCIÓN

La Comunidad Nueva Alianza la forma un grupo de 40 familias, las cuales tienen como propósito unificar esfuerzos para lograr un mejor nivel económico y competitivo en las diversas actividades que desarrollan en la actualidad, entre las cuales se destaca la producción de Biodiesel.

El aumento en la producción de Biodiesel, no solo a nivel de la comunidad sino a nivel mundial, está generando la necesidad inmediata de encontrar un uso industrial para el subproducto que se genera del mismo, la Glicerina.

En este documento se incluyen muchos de esos usos, aunque no pudimos experimentar con todos. Nos centramos en el uso de quemadores industriales (Capítulo IX), para darle una rápida salida a estos excedentes, aunque desde aquí también recomendamos el uso en polímeros además de muchos otros.

Comparamos lo que ahora nosotros consideramos los tres combustibles fundamentales que además esperamos representen el pasado, presente y futuro de los combustibles. Intentando concienciar también de la necesidad de ellos para mejorar la vida del planeta. Sin olvidarnos de las repercusiones sociales y directas contra el monopolio de combustibles a través del petróleo en todas sus formas. Tratando de dar a esta comunidad una independencia, para su total autogestión y otra posibilidad de desarrollo.

En este documento se incluye la descripción del Biodiesel, su proceso productivo, propiedades y características de este biocombustible, beneficios y limitaciones de su uso así como las emisiones del mismo. Añadiendo también una optimización del proceso en todos sus ámbitos, tanto del Biodiesel como de la Glicerina.

A nivel internacional se han creado estándares para la calidad del Biodiesel por lo que se hace una recopilación de las principales normas que se aplican en otros países y en Guatemala para la regularización de la calidad del Biodiesel.

También se dedica una sección para el reporte y análisis de los resultados de las pruebas realizadas a una muestra de Biodiesel fabricado en la Comunidad las cuales fueron hechas en el laboratorio técnico del Ministerio de Energía y Minas; para conocer la calidad del producto, además de las pruebas propias realizadas a nivel de Laboratorio.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES DE LA COMUNIDAD NUEVA ALIANZA

1.1 Localización

La Comunidad “Nueva Alianza” se localiza en el área de Palajunoj del municipio El Palmar, del departamento de Quetzaltenango. Tiene acceso desde el sitio llamado Cuatro Caminos de Retalhuleu, de donde se parte hacia el norte a una distancia de 16 Km. Cuenta con una extensión territorial de 3 caballerías (3072 cuerdas), de las cuales el 70% están sembradas, con árboles de nuez de macadamia.

Se encuentra a 1000 m sobre el nivel del mar, su clima es templado cálido y sus coordenadas terrestres son:

Latitud: Norte 14° 40' 7.08''. (14.668633)

Longitud: Oeste 91° 38' 8.5'' (91.635694)

<http://maps.google.com/maps?f=q&hl=es&geocode=&q=14.668633+-1.635694&num=10&ie=UTF8&ll=14.684568,-1.241455&spn=1.19822,1.768799&t=h&z=9>

1.2 Historia

En la Finca Alianza se cosechaba café, pero en los años 90, debido a la caída global del precio y a la mala administración del patrón, éste llegó a adeudar a los trabajadores el equivalente a 18 salarios mensuales y las prestaciones laborales de ley, por este motivo, a aquellos se les hizo difícil la supervivencia.

Estos iniciaron una demanda legal en contra del patrón, con la ayuda de la UASP (Unidad de Acción Sindical Popular) y la UTQ (Unión de trabajadores de Quetzaltenango), para que les pagaran lo adeudado. Durante ese proceso legal el patrón hipotecó la Finca, cayó en quiebra y terminó perdiéndola, quedando esta en propiedad de una compañía financiera panameña.

Demostrando un alto sentido de solidaridad y unión en la causa emprendida los trabajadores de la Finca, formaron el Sindicato de Trabajadores Independiente Alianza El Palmar (STIAP), los cuales ante la inminente amenaza de perderlo todo, en un intento desesperado por obtener las tierras en las que habían trabajado sin ninguna remuneración, ocuparon la finca pacíficamente el 14 de mayo de 2002.

Luego de un largo proceso de negociación entre los trabajadores conformados ya en un grupo y el nuevo dueño de la Finca con apoyo de FONTIERRAS (Fondo de Tierras), institución gubernamental guatemalteca dedicada a devolver la tierra a los trabajadores, el grupo obtuvo finalmente el título de propiedad bajo un fideicomiso con Banrural, el 18 de Diciembre del 2004.

Las condiciones iniciales en que los trabajadores recibieron la finca eran paupérrimas estos no tenían un sustento económico. Con mucha voluntad y esfuerzo, se inició el proyecto de producción y comercialización de macadamia, proyecto que permitió rescatar a las personas de la crisis económica y dio inicio a la búsqueda de nuevos medios para explotar los recursos de la Finca. De esta manera se procuró el desarrollo y mejoramiento de las condiciones de vida de las familias que forman la Comunidad “Nueva Alianza”.

Entre los proyectos que ahora se han implementado se pueden citar: la Planta Purificadora de Agua, Proyecto Hidroeléctrico de 16 KW, financiado a través del Fondo del Medio Ambiente Mundial de Naciones Unidas, Proyecto de Fabricación de Biodiesel, Proyecto de Biogás, Tienda Comunal, Café Orgánico, Eco-Hotel, Internet, Crianza de Cerdos y de Vacas Lecheras.

En el año 2006, la Comunidad “Nueva Alianza” ganó el Premio a la Productividad de parte del Gobierno de la República de Guatemala.

1.3 Economía

La economía de la Comunidad se basó, en sus inicios, en la explotación de los recursos que tenían a su alcance, cosechando macadamia y café, lo que les ha permitido desarrollar otros proyectos subsidiados con los ingresos de éstos productos, generando así empleos para sus integrantes y para personas de otras comunidades vecinas.

Los proyectos son:

- Planta purificadora de agua “Alianza”. Se inauguró el 6 de Agosto del 2005.
- Actividad eco turística con servicio de hotel. La mayoría de sus huéspedes son extranjeros los cuales realizan un trabajo voluntario en la Comunidad, aportando también ingresos, esto debido a que pagan su hospedaje y alimentación.

Proyectos para satisfacer sus necesidades:

- Proyecto de Biodiesel siendo éste la fuente energética para el funcionamiento del motor que activa el generador eléctrico que provee de energía a siete viviendas e instalaciones de la Comunidad, haciendo posible el funcionamiento de otros proyectos.
- El proyecto de Biogás a partir de estiércol de ganado está siendo apoyado por la ONG Xelateco. Este proyecto protegerá El medio ambiente ya que el biogás se obtiene a través de la descomposición de los estiércoles.
- Rehabilitación de la Mini Hidroeléctrica de capacidad 16 KW.
- Crianza y engorde de cerdos, aprovechando los residuos sobrantes de aceite del cual se obtiene el Biodiesel

De igual manera, se están implementando nuevos proyectos que aprovechan los recursos naturales y disminuyen el costo de la adquisición de los mismos.

La Comunidad tiene como misión la protección del medio ambiente por lo que han procurado realizar proyectos que ayuden a conservar su propio entorno.

Hay organizaciones que están dándoles apoyo y colaboración, como las siguientes:

- Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) del Fondo del Medio Ambiente Mundial (FMAM), del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) , facilitando fondos para la rehabilitación de la micro hidroeléctrica de 16 KW.
- División de Ciencias de la Ingeniería (DCI) del Centro Universitario de Occidente (CUNOC), de la Universidad de San Carlos de Guatemala, dando asesoramiento para fabricación y donación de equipo de Biodiesel y en aspectos relacionados con Ingeniería Civil, Mecánica e Industrial (producción). Existe un convenio firmado el 29 de septiembre del 2005 de Investigación en Agro energía entre el STIAP y el CUNOC.
- Fondo Nacional de Tierras (FONTIERRAS), supervision para mejorar el uso de la tierra, asesoramiento para desarrollar procesos que den valor agregado a los productos de la tierra y capacitaciones.
- Unión de Trabajadores de Quetzaltenango (UTQ), para asesorar, capacitar y acompa;ar en aspectos de fortalecimiento y resolución de conflictos del STIAP.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), capacitación y asesoramiento e incluso en facilitación de implementos de trabajo.
- Piedmont Biofuels de Carolina del Norte de los Estados Unidos de América, asesoramiento y facilitación de instrumentos y equipo para la producción de Biodiesel, esto medio del señor Mathew Rudolph.
- Trabajo voluntario de extranjeros de distintos países.
- Gremio Hotelero de Retalhuleu, asesorándolos en aspectos de hotelería.
- Centro Recreativo Xetulul. Dando aceite vegetal, ya usado, a bajo costo para la producción de Biodiesel hasta junio 2.007.
- Instituto San Bonifacio, facilitando el ganado bovino y porcino para la producción lechera y carne de cerdo.

CAPÍTULO II

EL BIODIESEL COMO COMBUSTIBLE

2.1 Historia

El uso de aceites vegetales como combustible para motores de combustión interna, se remonta a los años de 1893 a 1897 cuando Rudolph Diesel construyó el primer motor del mundo que quemaba aceite vegetal de palma en funcionamiento, esto consistía en un volante en su base que hizo funcionar por primera vez en Augsburg, Alemania el 10 de agosto de 1893. En conmemoración a este acontecimiento, el 10 de agosto ha sido declarado el Día Internacional del Biodiesel. En 1898 en la exposición de la Feria Internacional de París Francia, presentó por su motor, que quemaba como combustible, aceite de maní.

En un discurso en 1912 Rudolph Diesel declaró “El uso de aceites vegetales como carburantes de motor puede parecer insignificante al día de hoy.

Sin embargo, y con el transcurso del tiempo, tales aceites podrán convertirse en combustibles tan importantes como el petróleo y productos basados en alquitrán de carbón de la época actual.

El Instituto de Ingenieros Mecánicos le concedió la Orden del Mérito por sus investigaciones y desarrollos sobre el uso de aceite de maní en motores de ignición-compresión, los cuales años más tarde recibieran el nombre de “Motores Diesel” en honor a su inventor. Posteriormente usaron petróleo por ser más barato, lo cual inhibió las investigaciones y uso de aceites vegetales en motores diesel.

Usar aceites vegetales en motores diesel modernos es potencialmente posible, cambiando el diseño de los mismos. Se instala un kit de sistema CAV (Combustible de Aceite Vegetal) que consiste en: 2 depósitos de combustible para arrancar y parar con Biodiesel o diesel, precalentamiento del CAV, el depósito de Biodiesel debe tener sistema de precalentamiento para calentar el aceite y disminuir su viscosidad, por lo que se debe modificar el sistema de inyección (inyectores nuevos, bujías, intercambiadores de calor, filtros). Ya existen motores fabricados especialmente para funcionar con aceite.

Para poder usar aceite vegetal en cualquier motor diesel sin modificarlo, es necesario aplicar un proceso químico sencillo al aceite, denominado transesterificación, que da como resultado Biodiesel.

En 1920 los fabricantes de motores diesel hicieron cambios en los motores para utilizar diesel fósil, debido a su viscosidad inferior, comparada con el aceite vegetal. El diesel derivado de petróleo logró entrar en los mercados de combustible porque era mucho más barato para producir que las alternativas de biocombustibles. El resultado fue, eliminar muchos años de investigación en la producción de combustible de biomasa e infraestructura, pero recientemente por la preocupación mundial en el tema de contaminación ambiental, y los cambios climáticos y la disminución del costo de

fabricación de biocombustibles (como Biodiesel y etanol), el Biodiesel es una alternativa creciente.

Mensier (1952) fue uno de los precursores del uso de ésteres metílicos de ácidos grasos para sustituir el diesel. En sus estudios, trabajó con aceite de palma y metanol como materias primas para el proceso de transesterificación de los triglicéridos del aceite. El producto obtenido (ésteres puros, conocidos como B100), que hoy se llama Biodiesel, fue probado en varios motores diesel sin presentar los problemas típicos del uso de aceites vegetales puros (StraightVegetable Oil - SVO). En sus mediciones, el consumo del motor operando con la mezcla de ésteres creció en un 5,3% (en masa) y 3,2% (en volumen) con relación al consumo de base (diesel), valores compatibles con las características técnicas de los ésteres y del diesel.

La investigación en el empleo de aceite de girasol transesterificado, y refinado de Biodiesel fue iniciada en Sudáfrica en 1979. Hacia 1983 el proceso para producir Biodiesel de calidad fue probado y publicado internacionalmente por la SAE en: (Técnica de Papel serie No 831356. Reunión de Carretera Internacional, SAE Milwaukee, Wisconsin, EEUU 1983).

La Empresa austriaca Gaskoks obtuvo la tecnología de los ingenieros agrícolas sudafricanos. En Silberberg (Austria) en noviembre de 1987 se construyó la primera planta piloto productora de Metil Éster Aceite de Semilla de Colza (REM - Rapeseed Methyl Éster)⁷. El 12 de abril de 1989, se construyó la primera planta industrial de fabricación de Biodiesel con una capacidad de 30000 toneladas de semilla de colza por año.

Durante la Segunda Guerra Mundial, y ante la escasez de combustibles fósiles, se destacó la investigación realizada por Otto y Vivacqua en Brasil, sobre Biodiesel, pero fue hasta el año de 1970, que el Biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética que sucedía en el momento, y al elevado costo del petróleo.

En los años 90, Francia lanzó la producción local de combustible de Biodiesel conocido en la zona como diéster obtenido por la transesterificación de aceite de semilla de colza. En mezclas de proporciones del 5 % en el diesel regular, y del 30 % en el diesel usado por algunas flotas cautivas (transporte público).

Durante esta época, muchas plantas fueron abiertas en muchos países europeos, incluyendo la República Checa, Francia, Alemania, Suecia. Al mismo tiempo, otros países del mundo iniciaron la producción local de Biodiesel, y hacia 1998 el Instituto de Biocarburantes Austriaco identificó 21 países con proyectos comerciales de Biodiesel.

Renault, Peugeot, y otros fabricantes han certificado motores de camión para el empleo con Biodiesel parcial. Los experimentos con el 50 % de Biodiesel están en marcha.

En septiembre de 2005 Minnesota se hizo el primer estado para requerir que todo el diesel vendido en ese estado contenga 2 % de Biodiesel.

Países como Alemania, Austria, Brasil, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de Biodiesel en motores de combustión interna. Fábricas europeas como Mercedes, Volvo y otras incluyen en sus unidades una garantía para ser usados con Biodiesel.

El Protocolo de Kioto sobre el Cambio Climático, instrumento que se encuentra dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), suscrita en 1992 dentro de lo que se conoció como la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro. Es un instrumento internacional que tiene por objeto reducir las emisiones de seis gases que provocan el calentamiento global como: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O); además de tres gases industriales fluorados:

hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), en un porcentaje aproximado de un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990.

El 11 de diciembre de 1997 los países industrializados se comprometieron, en la ciudad de Kioto, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero; el acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de la ratificación por parte de Rusia el 18 de noviembre de 2004. El objetivo principal es disminuir el cambio climático de origen antropogénico cuya base es el efecto invernadero. Según las cifras de la ONU, se prevé que la temperatura media de la superficie del planeta aumente entre 1.4 y 5.8 °C de aquí a 2100, a pesar de que los inviernos son más fríos y violentos. Esto se conoce como Calentamiento Global. *“Estos cambios repercutirán gravemente en el ecosistema y en nuestras economías”*, señala la Comisión Europea sobre Kioto.

Los gases de efecto invernadero son los gases que absorben radiación infrarroja, que calienta la tierra para posibilitar la vida. El problema en sí radica en, la intensificación del efecto invernadero natural, debido al incremento vertiginoso de los contenidos de estos gases en la atmosfera, pues colabora con el corrimiento de las zonas climáticas; esto condiciona fuertemente las posibilidades de supervivencia de la vida, ya que pone en juego la capacidad de adaptación al cambio de los distintos seres vivos.

Entre los gases que colaboran a la intensificación del efecto invernadero, el dióxido de carbono es el que más aumenta su concentración, debido a su relación directa con las emisiones de la quema de combustibles fósiles y a la deforestación masiva. Anualmente se emiten 800000 millones de toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera.

Poco ayudaría reforestar, pues la mayor incidencia proviene del aporte de las emisiones creadas por las actividades industriales del hombre (vehículos, chimeneas, fábricas, etc.).

A mediados de los años 90 se inició con las investigaciones del uso e implementación del Biodiesel en la matriz energética, con el objetivo de reducir la polución ambiental como una necesidad a nivel mundial. El calentamiento de la atmósfera es el principal desafío que hoy afronta la humanidad. Ninguna población es ajena al problema y a sus consecuencias. Lo ideal sería utilizar combustibles alternativos que sean capaces de reducir la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera; una de las alternativas es el Biodiesel, al sustituir a los combustibles fósiles (naftas, diesel, fuel oíl), para obtener un balance de emisiones más favorable al ambiente.

El balance energético, con las nuevas tecnologías, es positivo. También lo es el balance ambiental. En el plano económico, todavía no compiten con los derivados del petróleo,

pero muchos países están implementando políticas ambientales que permiten compensar estas diferencias de costos.

En 1998, el Departamento de Energía de Estados Unidos - Department of Energy (US DOE) designó al Biodiesel puro (“B100”), como un combustible alternativo y estableció un programa de créditos para el uso de Biodiesel. Sin embargo el Biodiesel mezclado, cuya forma más común se llama B20 (20% Biodiesel, 80% diesel convencional), no ha sido designado como un combustible alternativo.

2.2 El Biodiesel y sus características técnicas

El nombre “Biodiesel” se aplica a un grupo de combustibles que pueden ser usados en motores diesel que tienen características similares al diesel derivado del petróleo. El prefijo “Bio” se usa para identificar su origen biológico, pues se obtiene de aceites vegetales o grasas animales.

Las definiciones técnicas de “Biodiesel” son aquellas que caracterizan su composición química (mono-alquil ésteres de ácidos grasos), su origen (vegetal o animal), su empleo (motores diesel) y sus características técnicas (especificaciones). El término Biodiesel tiene una definición técnica específica que ha sido acordada por miembros de la industria, el Congreso de Estados Unidos y con la total aprobación de la American Society of Testing and Materials (ASTM), la primera organización que define los estándares para combustibles y aditivos de combustibles.

Definición técnica para Biodiesel: Biodiesel es un combustible renovable compuesto de mono alquil ésteres de ácidos grasos de cadena carbónica larga obtenidos de aceites vegetales y grasa animal, designado como B100, y cumple con :

- 1 Los requisitos de registro para combustibles y aditivos para combustibles establecidos por la EPA (Environmental Protection Agency) bajo la sección 211 del Clean Air Act (42 U.S.C. 7545).
- 2 Los requisitos de la ASTM (American Society of Testing and Materials) D6751.

La definición es empleada para propósitos tales como designación alternativa de combustibles, registro EPA, fines de tasación u otros propósitos regulatorios. Y podría ser adoptada por los clientes para definiciones legales o por entidades de gobierno para propósitos regulatorios.

Biodiesel es definido por el World Customs Organizations (WCO) como “una mezcla de mono-alquil ésteres de ácidos grasos de cadena carbónica larga (16-18 carbonos) derivado de aceites vegetales o grasas animales, que constituye un combustible domestico renovable para motores diesel y que cumple las especificaciones ASTM D 6751.”

En la Unión Europea, el uso de biocombustibles para transportes recibe atención, y su promoción fue motivo de una Directiva del Parlamento Europeo (Directiva 2003/30/EC). En esta Directiva, válida para todos los Estados miembros, la definición de Biodiesel es: “metil-ésteres producidos de aceites vegetales o animales, con calidad de diesel, para ser usado como biocombustible.

El Biodiesel constituye un grupo de biocarburantes, que se pueden producir a partir de aceites vegetales de cualquier oleaginosa y grasas vegetales o grasas de origen animal y, por lo tanto, es necesario conocer estos últimos químicamente.

El Biodiesel se produce por un proceso de transesterificación, agregando al aceite, alcohol, generalmente metanol, aunque se pueden utilizar otros alcoholes ligeros, como etanol, propanol o butanol y un catalizador como la potasa cáustica o sosa cáustica, para ceder mono-alquil ésteres y glicerina que son eliminados. Por medio de calentamiento, mezclado y decantación, se separan el Biodiesel, producto principal y, el subproducto glicerina, obteniendo un combustible para ser utilizado en motores diesel con el que pueden mezclarse en cualquier proporción, y que pueden utilizarse en los vehículos diesel convencionales sin necesidad de introducir modificaciones en el diseño básico del motor.

Cuando se emplean mezclas de Biodiesel en proporciones superiores al 5% es preciso reemplazar los conductos de goma del circuito del combustible por otros de materiales como el Vitón, debido a que el Biodiesel los ataca.

2.2.1 Mezcla de Biodiesel

Es la mezcla del Biodiesel (B100) con combustible diesel derivado del petróleo, denominada como BXX, donde XX representa el porcentaje volumétrico de Biodiesel presente en la mezcla.

Ejemplo:

B5 = 95% Diesel y 5% Biodiesel

B20 = 80% Diesel y 20% Biodiesel

Las mezclas B5 Y B20 no modifican significativamente las propiedades físicas y fisicoquímicas del diesel, en estas proporciones se toman como aditivos para mejorar la lubricidad del mismo.

2.2.2 Los Ácidos Grasos Libres (AGL)

Las grasas y aceites, sean de origen animal o vegetal, son triglicéridos compuestos por tres cadenas de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerina.

Los Ácidos Grasos Libres (AGL) son ácidos grasos que formaban parte de los triglicéridos, y se han desprendido dejando biglicéridos, mono glicéridos y glicerina. Esto ocurre por el calor, por el agua que contienen los alimentos que se fríen en el aceite, o por oxidación. Cuanto más se caliente el aceite y más tiempo se mantenga la temperatura, más cadenas de ácidos grasos se liberarán.

La glicerina ó glicerol es un alcohol; si tiene alguna cadena de ácido graso unida a ella forma un éster. La transesterificación es la transformación de un éster en otro sustituyendo el alcohol. En el Biodiesel la glicerina es sustituida por metanol o por etanol.

En la transesterificación hay que usar un exceso de catalizador para convertir los AGL en jabones, que se hunden en la capa de glicerina y desechos. En la transesterificación

la lejía actúa como catalizador, rompiendo los enlaces de los ésteres y el alcohol, quedando una cadena de ácido graso. El metanol ó el etanol se unen a la cadena con más facilidad que la glicerina y eso evita que la glicerina vuelva a unirse. El resultado es que se forma un nuevo éster donde el metanol (o el etanol) sustituye a la glicerina. La lejía sigue rompiendo los enlaces de los ésteres, incluso los del Biodiesel por ello se debe usar en la proporción adecuada. Algunos de esos enlaces se unen a la lejía y forman jabón, pero otros se unen a una molécula de agua y forman nuevos AGL que quedan disueltos en el Biodiesel.

Esa formación excesiva de AGL se conoce como número ácido que se regula en los estándares de calidad. Es inevitable que se formen algunos AGL.

Las características y propiedades del Biodiesel son determinadas por el porcentaje de ácido graso presente en el aceite o grasa del que se produjo. En la siguiente tabla se presentan propiedades de los ácidos grasos encontrados en los aceites vegetales.

Tabla 2.1

Propiedades de los ácidos grasos					
Ácido graso	Acrónimo	Masa molecular °C	Punto de fusión	Punto de ebullición	Calor de combustión Kcal/mol
Caprílico	C8:0	144.20	16.50	239.30	1453.07
Capricho	C10:0	172.27	31.50	270.00	1763.25
Láurico	C12:0	200.32	44.00	231.00	2073.91
Mirístico	C14:0	228.38	58.00	250.50	2384.76
Palmítico	C16:0	266.43	63.00	350.00	2696.12
Esteárico	C18:0	284.48	71.00	360.00	2657.40
Oleico	C18:1	282.47	16.00	286.00	
Linoléico	C18:2	280.45	-6.00	230.00	
Linolénico	C18:3	278.44	-11.00	232.00	
Erúcico	C22:1	338.58	33.00	265.00	

Fuente: Briggs, 2005

La nomenclatura del acrónimo indica el tamaño de la cadena de carbón y la existencia de enlaces dobles, por ejemplo: C18:1 indica que la cadena carbónica es de 18 átomos de carbón y existe un enlace doble en la cadena. Los enlaces dobles caracterizan el grado de saturación del ácido. Los ácidos saturados no poseen enlaces dobles de carbón; los insaturados poseen un enlace doble y los poliinsaturados poseen dos o más enlaces dobles.

Como se observa en la tabla 2.1, el punto de fusión aumenta con el tamaño de la cadena de átomos de carbón, para un mismo número de átomos de carbón, con la saturación. Los poliinsaturados poseen los más bajos puntos de fusión.

De modo general, el calor de combustión, el punto de fusión y la viscosidad aumentan con el tamaño de la cadena carbónica y disminuyen con el aumento de la insaturación.

La tabla 2.2 muestra propiedades de cada tipo de mono-alquil éster, que pueden ser comparadas con las de los ácidos grasos que les dieron origen. Algunos de estos ésteres poseen un punto de fusión muy alto, el origen del problema del uso de B100 a bajas temperaturas.

Las propiedades de cada Biodiesel serán determinadas por el porcentaje de cada éster presente en la mezcla. Por ejemplo, una muestra de Biodiesel de soya posee la siguiente composición de ácidos grasos: 11,3% de metil palmitato (C16:0), 3,5% de metil estearato (C18:0), 22,5% de metil oleato (C18:1), 54,6% de metil linoleato (C18:2) y 8,1% de metil linolenato (C18:3), las propiedades de este Biodiesel serán la combinación de las propiedades de cada uno de sus ésteres componentes.

Tabla 2.2

Propiedades de mono-alkil ésteres puros					
Éster de ácido	Masa molecular °C	Punto de fusión	Punto de ebullición	Número de Cetano	Calor de combustión Kcal/mol
Metil-Caprilato	158.24		193.00	33.60	1313.00
Metil-Cáprato	186.30		224.00	47.70	1625.00
Metil-Láurato	214.35	5.00	266.00	61.40	1940.00
Metil-Mirístato	242.41	18.50	295.00	66.20	2254.00
Metil-Palmítato	270.46	30.50	418.00	74.50	2550.00
Metil-Esteárate	298.51	39.10	443.00	86.90	2859.00
Metil-Oléato	296.49	-20.00	218.50	47.20	2828.00
Metil-Linoleato	294.48	-35.00	215.00	28.50	2794.00
Metil-Linolenato	292.46	-57.00	109.00	20.60	2760.00
Metil-Erucato	352.60		222.00	76.00	254.00

Fuente: Briggs, 2005

Las propiedades del Biodiesel varían dependiendo de las materias primas, por lo que se debe usar el criterio de saturación de las cadenas de ácidos grasos.

La tabla 2.3 indica cómo la saturación afecta tres propiedades importantes: el número de cetano, el punto de enturbiamiento y la estabilidad a oxidación.

El Biodiesel producido por ácidos grasos saturados posee mayor número de cetano y estabilidad que los insaturados, pero es difícil de emplear en bajas temperaturas por su alto punto de enturbiamiento.

Tabla 2.3

Propiedades del biodiesel en función de su composición			
	Saturados	Mono-Insaturados	Poliinsaturados
Ácido graso	C12:0 a C22:0	C16:1 a C22:1	C18:2,C18:3
Número de Cetano	Alto	Medio	Bajo
Punto de Enturbiamiento	Alto	Medio	Bajo
Estabilidad a la oxidación	Alto	Medio	Bajo

Fuente: USDOE, 2006

2.3 Materia prima para la elaboración de Biodiesel

Para fabricar Biodiesel se requieren los ácidos grasos de los aceites vegetales (crudos, refinados o usados en frituras, grasas animales); un alcohol (metanol o etanol); y un catalizador que bien puede ser ácido (ácido sulfúrico, entre otros) o básico (hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, entre otros).

2.3.1 Aceite Vegetal

Las materias primas que se pueden emplear en la producción de Biodiesel son variadas y pueden clasificarse en:

A. Aceites Vegetales:

Procedentes de más de 300 especies vegetales como:

- Aceites de semillas oleaginosas: girasol, colza (canola o rapeseed), soja, lino, piñón, higuierillo.
- Aceites de frutos oleaginosos: maní, coco, palma principal fuente vegetal utilizada en Malasia para la producción de Biodiesel más conocido como Palm Methyl Éster (PME) y Palm Ethyl Éster (PEE).
- Aceites de semillas oleaginosas alternativas: Brassica carinata, Camelina sativa, Pogianus.
- Aceites de semillas oleaginosas modificadas genéticamente: Aceite de girasol de alto contenido oleico.
- Aceites vegetales de final de campaña: Aceite de oliva de alta acidez.

B. Aceites vegetales reciclados de frituras o usados.

C. Grasas animales: Sebo de distintas calidades.

D. Excremento animal por descomposición anaeróbica.

E. Aceite extraído de algas marinas

Los aceites vegetales y grasas animales que pueden ser usados como materia prima para la producción del Biodiesel son los aceites fijos o triglicéridos y lípidos (gorduras).

No todos los aceites son adecuados para producción de Biodiesel, debido a sus propiedades los aceites esenciales forman una familia de productos volátiles que no se prestan para este fin, pertenecen a familias químicas de los terpenos, fenoles y otras sustancias aromáticas que poseen un valor muy alto por sus propiedades aromáticas, por ejemplo: el aceite de la cáscara de naranja y el aceite de pino.

El aceite es la materia base para la elaboración de Biodiesel, debido a su composición química parecida con el diesel, el aceite de cada especie vegetal posee una combinación de diferentes triglicéridos, que son moléculas grandes, compuestas por esterificación de tres ácidos grasos.

La estructura química de los aceites vegetales es muy parecida a la del Biodiesel. Las moléculas de Biodiesel son químicamente parecidas a las moléculas de diesel y las propiedades del Biodiesel son más próximas a las propiedades del diesel, siempre y cuando se lleve a cabo correctamente su fabricación. El aceite vegetal está compuesto por triglicéridos, mono y diglicéridos, así como otros componentes que son importantes, como las vitaminas y fosfolípidos.

La siguiente tabla presenta el porcentaje de cada componente:

Tabla 2.4

Composición típica del aceite vegetal puro	
Compuesto	Porcentaje
Triglicérido	95.00
mono y diglicéridos	0.1 - 2.0
Ácidos grasos libre (FFA)	0.3 - 2.0
Fosfolípidos	0.1 - 0.2
Vitaminas	0.10
Colorantes naturales	35 ppm
Minerales(Mg, Ca, Fe)	5 - 300 ppm
Azufre (glicosídeos)	5 - 50 ppm

Fuente: Knothe, 1997

El aceite vegetal puro, necesita de refinación (desgomado), el aceite está compuesto por los ésteres de glicerol y sustancias como las lecitinas o fosfolípidos que son compuestos orgánicos que contienen fósforo, que es necesario eliminar.

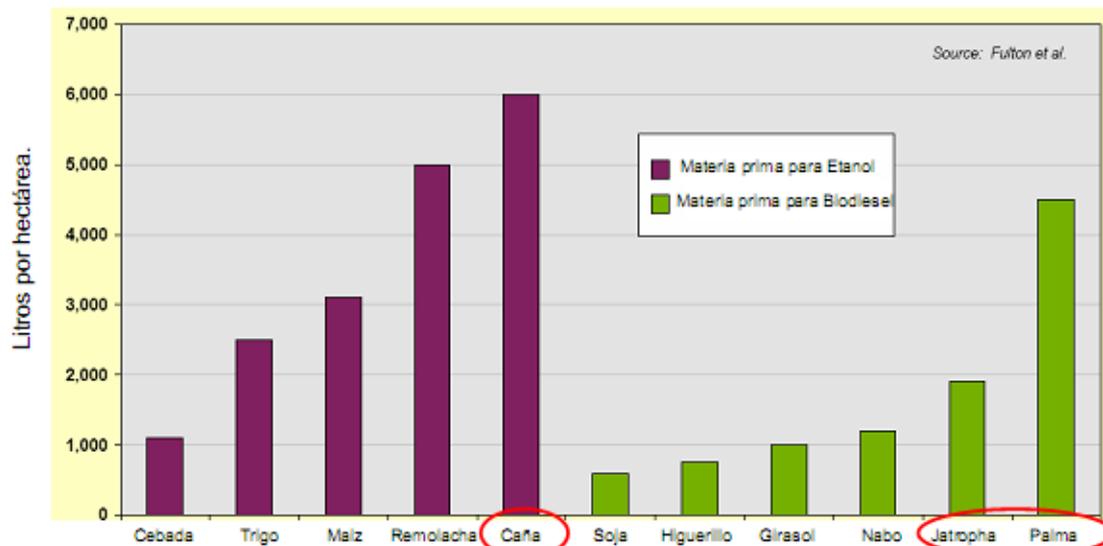
Luego de refinar el aceite éste ya puede ser utilizado como materia prima para la producción de Biodiesel.

Muchas especies de oleaginosas son empleadas exclusivamente para la alimentación, no para la producción de aceite. Su alto costo vuelve poco económica la extracción del aceite; como es el caso de: las nueces, avellanas, el pistacho, macadamia, marañón, etc. En el caso del aceite extraído de macadamia éste es también usado en la industria cosmética.

Una característica importante de las oleaginosas es la torta que proviene de la extracción del aceite que puede ser usada para alimento de animales. La torta de soya por su contenido en proteínas es empleada para alimentación humana. Muchas especies de oleaginosas son empleadas para la producción de biocombustibles, la siguiente tabla muestra las principales:

Tabla 2.5

Rendimiento de materia prima para producción de biocombustibles



Fuente: MEM (Fulton et al)

Los aceites vegetales son empleados para alimentación humana; en Europa el uso del aceite de oliva para fines de consumo humano es absoluto, en países donde el maíz es la base de la alimentación y la producción local no posee gran excedente, como en Centroamérica, donde no es común extraer el aceite de maíz. En África, el principal aceite de cocina es el aceite de palma. El aceite de soya, que hoy es el más usado en Brasil, prácticamente no era empleado hasta los años 70; los aceites más empleados entonces eran de algodón, de maní, de maíz.

También se usan en aplicaciones industriales como, la fabricación de jabones, perfumes y otros productos de cuidado personal o cosméticos, usos farmacéuticos, agentes de secado en tintas o en tratamiento de maderas. Otros usos industriales para aceites vegetales son el aislamiento eléctrico, los fluidos hidráulicos de uso múltiple y la fabricación de lubricantes sintéticos. Por ser biodegradable su uso en la industria es limitado debido a que dan problemas de estabilidad y se ponen rancios.

La siguiente tabla presenta la producción de aceites y grasas mundial.

Tabla 2.6

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ACEITES Y GRASAS					
<i>(Miles de toneladas)</i>					
ACEITE	2001	2002	2003	2004	2005
Aceite de soya	27829	29856	31284	30730	33540
Aceite de palma	23999	25424	27920	30920	33610
Aceite de colza	13723	13286	12548	14910	16040
Aceite de girasol	8191	7608	8915	9410	9730
Sebo y grasas animales	7693	8073	8029	8108	8186
Aceite de maní	5139	5162	4526	4750	4510
Aceite de algodón	4051	4233	3964	4410	5020
Aceite de fruto de palma	2941	3033	3314	3580	3960
Aceite de coco	3511	3155	3295	3070	3250
Aceite de oliva	2761	2718	2903	2978	2730
Aceite de maíz	1962	2016	2015	2015	2055
Otros aceites y grasas	15826	16000	16667	16267	15569

Fuente: Oil World Monthlies 2,006 y Oil World Annual 2,005.

Los aceites vegetales puros, son más viscosos que el diesel y ésta es la razón principal de los problemas para el uso directo de aceites vegetales en motores diesel, sin alteraciones.

El uso de aceites vegetales en motores diesel mostraron problemas como: formación de gomas en los inyectores, reducción de potencia y de eficiencia, depósitos de carbón, desgaste en los anillos de segmento y dilución del aceite lubricante por contaminación con aceite vegetal, operando con pérdidas de potencia y de eficiencia y con aumento de emisiones. Estos problemas, varían de motor a motor en grado e intensidad. Por esta razón no es posible emplear aceites vegetales en motores diesel sin hacer modificaciones ya sea en el aceite o en el motor.

2.3.2 Alcohol

El proceso de producción de Biodiesel necesita de alcohol para la reacción de transesterificación. Los alcoholes más adecuados por su costo y disponibilidad son:

a. Metanol

Al Metanol también se le conoce como: alcohol metílico o metanol, carbinol y alcohol de madera metil hidróxido, su fórmula es CH_3OH . Su punto de fusión es de $-97.8\text{ }^\circ\text{C}$, su punto de ebullición de $64.7\text{ }^\circ\text{C}$, y densidad relativa de 0.7915 a $20\text{ }^\circ\text{C}$. Riqueza mínima: $< 99,7\%$ en peso, Contenido en agua: $< 0,2\%$ en peso

Es el más simple de los alcoholes. Se puede producir por medio de dos procesos:

- Por destilación destructiva de la madera.
- Por procesos petroquímicos.

No es común producir metanol a base de madera, el metanol de origen fósil, obtenido de gas natural elaborado a partir de hidrógeno y monóxido de carbono o de procesos

petroquímicos es producido por gases de síntesis del gas natural, dominando el mercado debido a sus costos de producción más bajos. Por su origen fósil, su empleo disminuye el atractivo ambiental del Biodiesel. El alcohol que normalmente se usa para producir Biodiesel, es el metanol, aunque otros alcoholes de mayor cadena carbónica pueden también ser empleados, como el etanol, el propanol y el butanol.

El Metanol es el alcohol más empleado en la reacción de transesterificación pues en la reacción presenta ventajas:

- La cantidad de metanol es menor a la requerida de etanol.
- Mayor eficiencia en la reacción de transesterificación de aceites.
- Reacciona a temperaturas menores en menos tiempo.
- Mayor reactividad que los otros alcoholes
- Menor precio.

El mercado internacional de metanol estableció precios de alrededor de US\$ 500 por tonelada en 2007. Los precios del metanol están elevados porque los precios del petróleo y del gas natural también están muy altos. En el 2001 los precios estaban cerca de los US\$ 150 por tonelada, subieron a US\$ 280 en 2004 y llegaron hasta US\$ 600 en noviembre de 2006. (Methanex, 2007). Lo que ocasiona aumento en los costos de producción del Biodiesel.

Su manejo es peligroso, no sólo por su volatilidad e inflamabilidad, como también ocurre para el etanol, pero también porque es tóxico. Su MSDS (material safety data sheet) presenta varias posibles consecuencias a su exposición (Oxford University, 2006):

- Toxicología: tóxico por inhalación, ingestión o absorción por la piel. Puede tener efectos en la reproducción humana. Su ingestión puede ser fatal. Riesgos de serios daños irreversibles si es bebido. La exposición puede causar daños a los ojos, hígado y corazón.
- Una exposición crónica o aguda grave puede causar, incluso, ceguera.
- Irritante.
- Narcótico.
- Límites de exposición:
200 ppm para largo plazo
250 ppm para corto plazo.

Para su manejo, se debe emplear equipo de protección personal como: lentes, guantes y mascarilla.

b. Etanol

Alcohol etílico o etanol, su fórmula es: C_2H_5OH , su punto de fusión es de -114.1 °C, su punto de ebullición de 78.5 °C y densidad relativa de 0.789 a 20 °C. Es un compuesto químico incoloro, inflamable, de olor agradable, miscible (mezclable) con agua, líquido transparente e incoloro, con sabor a quemado. Se utiliza para diversos fines como: bebidas alcohólicas, perfumes, celuloideos, explosivos, disolventes, anticongelantes y combustibles, su utilidad radica en el tipo de etanol que se produzca. Como combustible, existen dos tipos de etanol, el etanol carburante hidratado, que tiene un contenido de agua de 9% en volumen y el etanol carburante anhidro, con hasta 0.7% de agua.

Las disoluciones alcohólicas de sustancias no volátiles se denominan tinturas. Si la disolución es volátil recibe el nombre de espíritu. Ciertos agentes deshidratantes extraen el agua residual y producen etanol anhidro. Desde la antigüedad, el etanol se ha obtenido por fermentación de azúcares. Todas las bebidas con etanol y casi la mitad del etanol industrial aún se fabrican mediante este proceso.

El etanol anhidro producido con la caña de azúcar (proceso que consiste en la fermentación, destilación y deshidratación para el etanol anhidro), es el producto con mayor atractivo ambiental para la producción de Biodiesel, pero sus precios y las dificultades técnicas en el proceso de transesterificación, aún constituyen barreras para su empleo. Los precios del etanol anhidro en Brasil en los dos últimos años oscilaron entre US\$ 450 y US\$ 600 por tonelada. Los precios del etanol anhidro en los Estados Unidos están en el rango de US\$ 680 hasta US\$ 920 por tonelada.

Para países que producen etanol de biomasa con eficiencia, el uso de etanol ofrece mayores beneficios ambientales y toda la materia prima utilizada es renovable (aceites y bioetanol).

No se puede usar exceso de catalizador porque esto conduce a la formación de jabones y reduce la producción de Biodiesel. Para uso de etanol, la potasa (KOH) es más soluble que la soda (NaOH).

La tecnología de producción en gran escala de Biodiesel con etanol aún debe ser desarrollada. A pesar de que los precios del metanol de origen fósil son menores que los precios del etanol, la gran ventaja de éste es su origen renovable, que contribuye a la valorización del Biodiesel obtenido con etanol (menores emisiones de gases de efecto invernadero).

Los ésteres etílicos poseen mayor número de cetano, calor de combustión y viscosidad. Se pueden producir ésteres de ácidos grasos con uso de otros alcoholes, como el propanol o el butanol, pero las diferencias de propiedades no justifican los precios muchos más elevados de los alcoholes superiores (arriba de dos átomos de carbón).

La limitante del empleo del bioetanol para producir Biodiesel es de naturaleza técnica debido a las propiedades intrínsecas que proporciona al Biodiesel. Desde el punto de vista de sostenibilidad, ésta sería la mejor opción. En Brasil, los productores de bioetanol destinan 130 litros (13% del volumen producido) para la producción de 1000 litros de Biodiesel.

El uso de metanol conduce a los ésteres metílicos y el uso de etanol a los etílicos. Las rutas metílica y etílica pueden ser comparadas por diferentes criterios como: la viabilidad para la reacción, costos de producción e impacto ambiental.

Tabla 2.7

BODIESEL PRODUCIDO CON METANOL O ETANOL		
Propiedad	Éster metílico	Éster etílico
Conversión aceite a Biodiesel	97.50%	94.30%
Glicerina total en el Biodiesel	0.87%	1.40%
Viscosidad a 40 °C (cSt)	3.9 a 5.6	4.2 a 6.0
Tiempo de reacción	Menor	Mayor
Δ potencia (relación al diesel)	2.5% menor	4% menor
Δ consumo (relación a diesel)	10% mayor	12% mayor

Fuente: Schuchardt 1998.

Tabla 2.8

DIFERENCIAS ENTRE BODIESEL METÍLICO Y ETÍLICO					
		Calor de combustión	Número de cetano	Densidad	Viscosidad
		MJ/kg		Kg/m ³	cSt
Soya	Metílico	39.8	47.2	0.89	4.1
	Etílico	40.0	48.3	0.88	4.4
Colza	Metílico	40.1	54.0	0.88	6.0
	Etílico	41.4	56.0	0.88	6.2
Ganado	Metílico	39.4	68.0	0.88	4.1
	Etílico	40.6	70.0	0.87	4.8

Fuente: Van Gerpen, 2006, NREL 2001.

Tanto el metanol como el etanol utilizado para producir etil ésteres deben ser alcoholes anhidros (99% de alcohol y 1% de agua). El agua en el alcohol empleado en la reacción es muy dañina, inhibe la formación del metóxido de sodio o potasio (catalizador), reduce la velocidad de la reacción y favorece la formación de jabones, que son productos indeseables en la producción del Biodiesel.

Con la destilación ordinaria sólo se consigue una pureza del 96.6%, el resto es agua, por ello se requiere deshidratarlo.

2.3.3 Catalizador

Un catalizador es necesario para la reacción, pero los catalizadores pueden variar de acuerdo con el proceso de producción adoptado. El hidróxido de sodio (NaOH) y el hidróxido de potasio (KOH) son los más eficaces y baratos. Aunque no sea consumido en la reacción, es difícil separar el catalizador de la glicerina y purificarlo para reutilizarlo. El hidróxido de potasio tiene la ventaja de ser usado como fertilizante agrícola.

Hoy en día hay investigaciones orientadas a obtener catalizadores más eficaces, en especial los de fase sólida, que pueden ser separados de los productos de la reacción con facilidad y reciclados para el inicio del proceso.

a. Hidróxido de Potasio (Potasa Cáustica):

El Hidróxido de Potasio o Potasa Cáustica es incolora, higroscópica, se vende en varias presentaciones, se usa en escamas para la producción de Biodiesel.

Algunas de sus aplicaciones son:

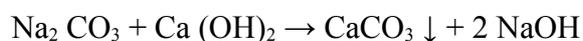
- Fertilizantes como nutriente básico para todo tipo de sembrad.
- Como materia prima para una serie de compuestos ambientales amigables, como por ejemplo el Acetato de Potasio, utilizado para evitar la formación de hielo en las pistas de aeropuertos en sustitución de la sal común (ésta es mucho más problemática por sus efectos al medio ambiente).
- Aplicaciones en la industria farmacéutica, aprovechando la menor velocidad de dilución en agua que la de los compuestos que tienen potasio, contra los que contienen sodio
- Fabricación de pilas alcalinas, ayudando a aumentar su vida útil.
- Como catalizador en la producción de Biodiesel, se disuelve con mayor facilidad que la sosa cáustica.

b. Hidróxido de Sodio (Sosa Cáustica):

El Hidróxido de Sodio es una sustancia incolora e higroscópica que se vende en forma de trozos, escamas, hojuelas, granos o barras. Se disuelve en agua, desprendiendo calor, la disolución acuosa se denomina lejía de sosa. Tanto la sosa cáustica como la lejía atacan la piel.

La sosa cáustica y la lejía cáustica se obtienen en la electrólisis cloro- álcali. También por caustificación de Carbonato de Sodio; se calienta una solución de Carbonato de Sodio con cal apagada (Hidróxido de Calcio) que precipita el Carbonato de Calcio insoluble, en la solución queda Hidróxido de Sodio. De este método se obtiene el nombre de sosa cáustica para el Hidróxido de Sodio.

Su fórmula química es:



La sosa cáustica tiene varias aplicaciones en la industria química, principalmente en forma de lejía de sosa, se prepara en cualquier concentración por disolución en agua de la sosa sólida.

Los campos principales de empleo son:

Industrias de algodón, seda artificial, plásticos, textiles y de jabón, en la fabricación de diversos productos químicos, fabricación de Biodiesel, etc.

Para almacenar y transportar la sosa cáustica sólida como es fuertemente higroscópica y reacciona rápidamente con el Dióxido de Carbono del aire, formando Carbonato de

Sodio, se envasa herméticamente para almacenarla y distribuirla. El material de los envases y depósitos adecuado es el hierro.

El aluminio no puede emplearse, porque la lejía de sosa lo disuelve formando aluminato. Para manejar sosa o lejía es necesario utilizar equipo de protección personal, especialmente gafas protectoras, porque tanto las escamas como gotas de solución provocan daño permanente a los ojos.

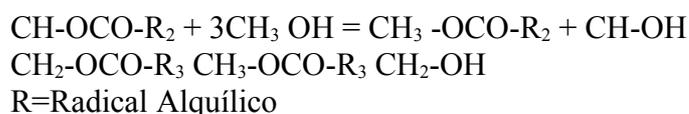
2.4 Obtención del biodiesel

El Biodiesel se obtiene de la reacción de transesterificación o alcoholisis de ésteres.

Los triglicéridos (ésteres con tres cadenas moleculares de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerina) que forman los aceites, se separan con metanol que substituye la molécula de glicerina, obteniendo tres moléculas de metil éster y una molécula de glicerina. Esta es básicamente la reacción de transesterificación, una molécula de triglicérido reacciona con tres moléculas de monoéster y una de glicerina.

2.4.1 Transesterificación o Alcoholisis Básica:

Aceite vegetal usado + Metanol = Éster Metílico de Ácidos Grasos + Glicerina



Esta reacción química consiste, en sustituir una molécula de alcohol pesado (glicerina) presente en los aceites por una molécula de alcohol liviano (metanol o etanol), obteniéndose como producto el Biodiesel y como sub-producto la glicerina.

Según la reacción global, por cada 100 kilogramos de aceite, 11 kilogramos de metanol, se obtienen 100 kilogramos de Biodiesel y 11 kilogramos de glicerina; que da como resultado el 100% de índice de conversión de aceite en Biodiesel.

Cuando se usan aceites vegetales, metanol e hidróxido de potasio, que son los insumos más utilizados, esto se lleva a cabo en cuatro pasos los cuales son:

1. Disolver el hidróxido de potasa en metanol, para formar metóxido de potasa.
2. Verter el metóxido en el aceite vegetal caliente (50-60°C).
3. Agitar la mezcla, para que el metóxido de potasa reaccione con el aceite vegetal.
4. Dejar reposar para que la separación por diferencia de pesos sea exitosa, el Biodiesel y la glicerina.

El Biodiesel producido en la transesterificación se lava, deshidrata y almacena por un lapso menor de seis meses a partir de su fabricación.

Para optimizar los recursos, se puede recuperar el metanol que contiene la glicerina, la glicerina se puede purifica para emplearla en otras aplicaciones industriales.

2.4.2 Tipos de Biodiesel

Según el origen del aceite usado, el Biodiesel se ha agrupado de la siguiente manera para identificarlo mejor:

- RME: Rapeseed Methyl Éster (Éster Metílico de Aceite de Colza)
- SME: Soya/sunflower Methyl Éster (Éster Metílico de Aceite de Soja o Girasol)
- PME: Palm Methyl Éster (Éster Metílico de Aceite de Palma)
- FAME: Fatty Acid Methyl Éster (Éster Metílico de Ácidos Grasos = Otros tipos de Aceites y/o grasas vegetales y/o animales y/o sus mezclas)
- VOME: Vegetable Oil Methyl Éster (Éster Metílico de Ácidos de Verduras)
- FAMAÉ: Fatty Acid Mono Alkyl Éster (Ésteres Mono Alcalinos de Ácidos Grasos)

2.5 Propiedades del Biodiesel

Las exigencias ambientales al día de hoy requieren de un combustible que reduzca las emisiones de contaminantes ambientales, además de permanecer estable bajo las distintas condiciones de operación.

El Biodiesel es el único combustible alternativo que puede usarse en cualquier motor diesel, sin modificarlo, debido a que sus propiedades son similares; se pueden mezclar ambos en cualquier proporción, debiendo cumplir con ciertas especificaciones técnicas.

Se han establecido en diversos países normas y ensayos para estandarizar los límites permisibles de acuerdo a sus propiedades como la Norma Europea, y la Norma Americana.

El Biodiesel debe tener propiedades similares a las del Diesel:

Físicas: Viscosidad cinemática a 40°C, densidad a 15°C.

Químicas: Número de cetano, índice de yodo y estabilidad a la oxidación.

Térmicas: Volatilidad, poder calorífico y entalpía de vaporización²³

2.5.1 Definiciones de las propiedades del Biodiesel:

a) Cenizas Sulfatadas: Residuo remanente después de que la muestra ha sido carbonizada, subsecuentemente tratada con ácido sulfúrico y calentada hasta sequedad y peso constantes.

La formación de cenizas puede presentarse en tres formas diferentes:

Sólidos abrasivos, jabones metálicos solubles y catalizador remanente

Es importante destacar que los sólidos abrasivos y el catalizador remanente pueden provocar un desgaste prematuro del inyector, la bomba inyectora, pistones y aros y la formación de depósitos en el motor.

b) Densidad: Razón masa/volumen medida a una determinada temperatura cuya unidad de medida es kg/m^3 .

c) Ésteres: Son los productos de la reacción entre un ácido graso y un alcohol.

d) Glicerina Libre: Es la cantidad de glicerina remanente en el combustible.

e) Glicerina Total: Es la suma de la glicerina libre y la porción de glicerina de un aceite o grasa que no ha reaccionado o que ha reaccionado parcialmente.

f) Número de Cetano: Es la fracción de volumen (% volumen) de nhexadecano (cetano) en mezcla con 1-metil-naftaleno, que produce un combustible con la misma calidad de ignición que una muestra.

Físicamente el número de cetano representa el retardo de la ignición, es decir un mayor número de cetano implica un menor retardo de auto ignición del combustible.

g) Número Ácido: Valor que expresa la acidez de una sustancia, equivalente al número de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar los ácidos presentes en un gramo de sustancia. Es importante, ya que indica la presencia de ácidos o contenido de sulfuros que puedan provocar corrosión en el motor.

h) Punto de Enturbiamiento: Es la menor temperatura en que se observa niebla o turbidez en la muestra, indicando el inicio de la cristalización de la misma, cuando es sometida a enfriamiento continuo.

i) Punto de Inflamación (“Flash point”): Es la menor temperatura a la cual el producto se vaporiza en cantidad suficiente para formar con el aire una mezcla capaz de inflamarse instantáneamente cuando se le acerca una llama.

El Flash Point (punto de inflamabilidad): es definido para la seguridad del manejo del producto (inflamabilidad) y para garantizar que el Biodiesel no posea mucho metanol libre, que hace caer el *Flash Point* (0,5% de metanol hace al *Flash Point* caer debajo de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$). En la Norma Europea, la máxima cantidad de metanol es definida de forma explícita.

j) Viscosidad Absoluta: Es la medida de la resistencia de una sustancia al fluir o la fuerza por unidad de área requerida para mantener el fluido a una velocidad constante en un espacio considerado, expresada en mm^2/s .

k) Viscosidad Cinemática: Es el cociente de la viscosidad absoluta entre la densidad, o el tiempo necesario para que un volumen dado de sustancia recorra una longitud dada.

l) Corrosión al Cobre: Es importante ya que indica la presencia de ácidos o contenido de sulfuros que puedan provocar corrosión en el motor.

m) Estabilidad a la Oxidación: Índice de yodo, es un buen indicador de la estabilidad a la oxidación.

La oxidación del Biodiesel aumenta la cantidad de sedimentos, esta propiedad es usada para evaluar si el Biodiesel está “viejo” por oxidación.

La norma europea mide separadamente agua, contaminantes y estabilidad a la oxidación.

n) La cantidad de agua y sedimentos: la presencia de agua contamina el combustible, lo que puede causar corrosión y el ambiente perfecto para micro-organismos.

o) Gravedad API: Es una escala arbitraria escogida por el Instituto Americano de Petróleo - American Petroleum Institute (API), en la cual la gravedad específica del agua pura, es tomada como 10. Líquidos más pesados que el agua tienen valores menores que 10.

La formula usada para obtener la gravedad API es la siguiente:

$$\text{Gravedad API} = (141.5/\text{GE a } 60^\circ\text{F}) - 131.5$$

La formula usada para obtener la Gravedad Específica del líquido derivada de los grados API es la siguiente:

$$\text{GE a } 60^\circ\text{F} = 141.5 / (\text{Gravedad API} + 131.5)$$

60°F (o 15.56 °C) es usado como el valor estándar para la medición y reportes de mediciones.

Ciertas propiedades del Biodiesel, tal como el Punto de Obstrucción de Filtros en Frío y el Punto de Fluidéz pueden variar considerablemente.

En climas fríos, estas propiedades determinan el grado de “viscosidad” del Biodiesel y su capacidad de fluir por el sistema de combustible del motor.

2.6 Calidad del Biodiesel

La mayoría de motores diesel están diseñados y fabricados para funcionar con un diesel que tiene ciertas características físicas y químicas, las normas que definen los valores aceptables para las diversas propiedades del combustible Biodiesel, se encargan que estos sean lo más cercano posible al diesel, para garantizar su calidad y aplicación sin problemas.

La calidad del Biodiesel depende de:

a. Propiedades del aceite o grasa de partida

- Contenido en agua, impurezas, insaponificables y ceras
- Acidez
- Contenido en fósforoIV. Estabilidad a la oxidación

- Índice de yodo distribución de ácidos grasos

b. Una correcta fabricación

Los puntos críticos en el proceso de fabricación de Biodiesel de calidad para usarlo en los motores diesel son:

- Lograr que la reacción sea completa hasta obtener el éster mono-alquil.
- Sacar totalmente la glicerina libre.
- Remover el catalizador residual del Biodiesel.
- Remover el alcohol del Biodiesel.
- Garantizar que el Biodiesel no contiene Ácidos Grasos Libres.

Los fabricantes de Biodiesel deben registrar sus combustibles y someterlos a pruebas de calidad para garantizar la calidad de los mismos.

Los ésteres de aceites vegetales son combustibles renovables adecuados para la sustitución del diesel, pero la calidad del Biodiesel es muy importante para que el motor no sufra problemas de operación y durabilidad.

La buena combustión en un motor diesel está ligada a la inyección del combustible; en especial el Número de Cetano. Así como que tampoco las diferencias entre el Biodiesel y el diesel de petróleo afecten el proceso de combustión (viscosidad, densidad, tensión superficial, volatilidad y módulo de elasticidad)

Las propiedades que regulan las normas y especificaciones de calidad están asociadas a ciertas características que deben ser controladas para que la calidad del producto sea garantizada al consumidor.

2.7 Estándares técnicos del Biodiesel

Las especificaciones técnicas del Biodiesel, garantizan la calidad del Biodiesel producido, por ser un producto nuevo y de diversos procesos de producción y aplicación de tecnología en desarrollo.

Los estándares de las propiedades del Biodiesel para garantizar su calidad, varían con: la materia prima de origen (aceite), y el proceso de fabricación pues se pueden formar contaminantes en el producto final. Estos deben ser eliminados para que el Biodiesel tenga las características adecuadas para asegurar el óptimo funcionamiento de los motores, y la aceptación de los consumidores y fabricantes de vehículos.

El pasado 28 de febrero de 2007 se realizó la primera conferencia internacional de estandarización de biocarburantes, organizada por la Comisión Europea CE, el Comité Europeo de Normalización CEN y las representaciones de EE.UU. y Brasil ante la Unión Europea UE; el objetivo de la conferencia fue crear especificaciones internacionales que permitan facilitar el comercio de biocarburantes.

Las conclusiones más importantes a las que se llegó tras la conferencia son:

a. El desarrollo de estándares internacionales facilitará y promoverá el comercio internacional de biocarburantes.

- b. Todo estándar internacional debe fijarse en el componente puro y no en mezclas con diesel o gasolina.
- c. El proceso de estandarización ISO es muy lento, por lo que en principio, el trabajo se realizará mediante reuniones entre CEN ASTM, ABNT
- d. El trabajo sólo comprenderá el Biodiesel y el bioetanol. Los biocarburantes de segunda generación, al estar muy poco desarrollados no serán tratados por ahora.
- e. Las diferencias entre los estándares actuales son superables: hay más igualdades que diferencias

2.7.1 Normas para la producción de Biodiesel:

La calidad del Biodiesel es variable y está directamente relacionada con:

El proceso de refinado del aceite, la materia prima utilizada para fabricarlo y el proceso de fabricación adecuado.

Además de los beneficios económicos, medio ambientales y de salud, el desarrollo de normas confiables que den seguridad a los consumidores de Biodiesel, fabricantes de motores y demás partes que intervienen, es de vital importancia para facilitar su comercialización. Los valores y límites de las características técnicas del Biodiesel están regidas por las normas que se han desarrollado en el país de su aplicación.

Debido a que se usa la materia prima que sea más abundante y de acuerdo al clima que influye en aspectos anteriormente mencionados, cabe mencionar que estas normas se han aplicado desde hace tiempo y siguen en desarrollo para mejorar la calidad de combustible producido.

Estas son:

- Norma Austriaca: **ONORM 1190 RME** (1991) Austria
ON C 1191 FAME (1997) Austria
- Norma Alemana: **DIN 51.606 FAME** (1997) Alemania
- Norma Norte Americana: **ASTM D 6751 03 FAME** (2002) USA
- Norma Europea **EN 14214 FAME** (2003) Europa
- Norma Argentina: **IRAM 6515-1 FAME** (2006) Argentina

Las principales normas de calidad desarrolladas son:

Norma Europea EN 14214 y Normas de Estados Unidos ASTM D 6751 03

2.7.1.1 Norma Europea de Estandarización de Biodiesel:

El Comité Europeo de Normalización (CEN) y la AENOR son los responsables de crear normas en Europa y España, usadas en la Unión Europea.

La Norma EN 14214:2003 “Automotive Fuels – Fatty Acid Methyl Esters (FAME) for Diesel Engines – Requirements and Test Methods” es la que rige dentro de Europa

(Combustibles de automóviles - Ésteres metílicos de ácido graso (FAME) para motores diesel – Requerimientos y métodos de prueba).

La Norma EN 14214:2003 armoniza las normas Francia, Italia y Suecia.

Austria con la Norma ONORM C 1190 y Alemania con la Norma DIN V51606 han desarrollado normas similares para el Biodiesel.

La Norma Europea EN 14214:2003 establece un límite máximo para el índice de yodo, de 120 y para la estabilidad de oxidación, que excluye la soja y girasol como fuentes de producción de Biodiesel.

La materia prima principal utilizada en Europa es el aceite extraído de la Semilla de Colza (“RSO”), también conocida como Canola. La Semilla de Colza es una de las mejores materias primas y la Norma Europea está basada en esta.

El Punto de Obstrucción de Filtros en Frío y el Punto de Fluidez del Biodiesel generado principalmente a partir de RSO son excelentes. Además, este tipo de Biodiesel puede ser mezclado sin ningún riesgo y utilizarse con un nivel bastante alto de mezcla en Europa.

Los estándares establecidos para el Biodiesel por el Comité Europeo de Normalización (CEN), a quien pertenecen además de los países integrantes a la Unión Europea, noruega y Suiza, se especifican en la tabla (2.9).

Tabla 2.9

Especificaciones para Biodiesel Norma EN 14214:2003				
ENSAYO	UNIDADES	LIMITES		NORMA DE ENSAYO
		Mínimo	Máximo	
Contenido en éster	%(m/m)	96.50		EN 14103
Densidad a 15°C	kg/m ³	860.00	900.00	EN ISO 3675
Viscosidad a 40°C	mm ² /s	3.50	5.00	EN ISO 3104
Punto de inflamación	°C	120.00		ISO 3679
Contenido en azufre	mg/kg		10.00	EN 20846
Residuo carbonoso	%(m/m)		0.30	EN ISO 10370
Número de Cetano		51.00		EN ISO 5165
Contenido en cenizas de sulfatos	%(m/m)		0.02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/kg		500.00	EN ISO 12937
Contaminación total	mg/kg		24.00	EN 12662
Corrosión en lámina de cobre	Clasificación	Clase 1		EN ISO 2160
Estabilidad a la oxidación	horas	6.00		EN 14112
Valor ácido	mg KOH/g muestra		0.50	EN 14104
Índice de yodo	gI/100g muestra		120.00	EN 14111
Metil éster linoléico	%(m/m)		12.00	EN 14103
Metil éster poliinsaturados	%(m/m)		1.00	
Contenido en metanol	%(m/m)		0.20	EN 14110
Contenido en mono glicéridos	%(m/m)		0.80	EN 14105
Contenido en biglicéridos	%(m/m)		0.20	EN 14105
Contenido en triglicéridos	%(m/m)		0.20	EN 14105
Glicerina libre	%(m/m)		0.02	EN 14105
Glicerina total	%(m/m)		0.25	EN 14105
Metales grupo I (Na+K)	mg/kg		5.00	EN 14108/14109
Metales grupo II (Ca+Mg)	mg/kg		5.00	EN 14538
Contenido en fósforo	mg/kg		10.00	EN 14107
POFF	°C		Según época y país	EN 116

POFF: Punto de Obstrucción de Filtros en Frío

Fuente: <http://www.cen.eu/cenorm>

2.7.1.2 Norma Norteamericana de Estandarización de Biodiesel:

La ASTM Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, es básicamente una casa editorial, de las normas de Biodiesel, mediante las cuales se rigen los valores permisibles para las características físico químicas del Biodiesel.

La Norma D 6751-03^a, es la especificación corriente para Biodiesel en Estados Unidos, que define las propiedades específicas (o características) del combustible para certificarse como Biodiesel en EEUU.

ASTM D 6751 especifica los métodos de prueba (también publicado por ASTM) que deben ser empleados para cuantificar las propiedades del combustible. Los métodos de prueba también definen el tipo de equipo y reactivo que se deben usar.

ASTM D 975 es la especificación para B20 que no está basado en los combustibles paternos, sino en el combustible terminado (mezclado) y que es satisfactorio para la operación en un motor diesel.

La ASTM D 6751-03 podría cambiarse, como una consecuencia de la especificación B20.

ASTM D 6751 es considerada adecuada para mezclas B20 o menores. Para mezclas con mayores porcentajes de Biodiesel, o para uso de B100, no existe aún consenso entre los fabricantes de Biodiesel, de vehículos, de sistemas de inyección y usuarios en los Estados Unidos.

ASTM D 6469 es la Guía para Contaminación Microbiana en Combustibles y Sistemas de Combustible. (Guide for Microbial Contamination in Fuels and Fuel Systems)

ASTM D 6751-06 es la Especificación Estándar para Combustible Biodiesel (B100) destinado para Mezcla con Combustibles Destilados Medios. "Standard Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Middle Distillate Fuels

El Consejo Nacional de Biodiesel (National Biodiesel Board - NBB), es la asociación nacional de comercio que representa la industria del Biodiesel, como el cuerpo coordinando la investigación y desarrollo en los Estados Unidos quienes iniciaron el programa BQ-9000.

El programa BQ-9000 administrado por La Comisión de Acreditación Nacional de Biodiesel de Estados Unidos, es una cooperación voluntaria para la acreditación de productores y comerciantes de combustible Biodiesel. El programa es una combinación de la norma ASTM D 6751 y la ISO 9000, un programa de sistemas de calidad que incluye como garantía de calidad: el almacenamiento, muestreo, pruebas, mezclas, embarque, transporte, distribución y directrices prácticas del Biodiesel. El proceso de certificación incluye una revisión de la aplicación por inspectores o interventores independientes.

BQ-9000 sigue implementando mejoras en el programa.

Como el Biodiesel se propone sustituir el diesel de petróleo, los estándares de calidad para Biodiesel (ASTM y otras) incluyen propiedades típicas de diesel, y otras específicas para este nuevo combustible, definiendo valores máximos, mínimos o el rango permitido para cada característica, así como el método de medición de cada característica.

Todos los productores de combustibles y aditivos de combustible para automóviles deben registrarse con la EPA (Ministerio de Ambiente de EEUU). La EPA tiene regulaciones muy estrictas sobre las emisiones de CO, HC, NO_x en la sección 211(b) y 211(e) de las Políticas de Aire Limpio. En la tabla siguiente (2.9) se muestran los estándares establecidos por el CEN en la Norma **EN 14214**, comparado con los valores fijados por la norma vigente **ASTM D 6751-02** que difieren ligeramente de la Norma Europea, e inclusive pasan por alto algunos parámetros de medición aplicables al Biodiesel.

Tabla 2.10

COMPARACIÓN ENTRE NORMAS ASTM Y EN			
Parámetro	Unidad	Especificaciones	
		EN 14214-03	ASTM D 6751 -02
Contenido de ésteres	% masa	mín. 96.5	----
Densidad a 15 °C	g/cm ³	0.86 – 0.90	----
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	3.50 – 5.00	1.90 – 6.00
Punto de Inflamación	°C	mín. 120	mín. 130
POFF	°C verano	máx. 0	----
	°C invierno	máx. -20	----
Azufre total	% masa	máx. 0.001	máx. 0.05
Residuo carbonoso al 100%	% masa	máx. 0.05	máx. 0.05
Número de cetano	---	mín. 51	mín. 47
Contenido en cenizas	% masa	máx. 0.03	máx. 0.02
Contenido en agua	mg/kg.	máx. 500	----
Agua y sedimentos	% volumen	-	máx. 0.05
Corrosión al cobre (3h/50 °C)	Grado de Corrosión	máx. 1	máx. 3
Estabilidad a la oxidación	horas	mín. 6	----
Índice de acidez	mg KOH/g	máx. 0.50	máx. 0.80
Contenido en metanol	% masa	máx. 0.20	----
Contenido en mono glicéridos	% masa	máx. 0.80	----
Contenido en biglicéridos	% masa	máx. 0.20	----
Contenido en triglicéridos	% masa	máx. 0.20	----
Glicerina libre	% masa	máx. 0.02	máx. 0.02
Glicerina ocluido	% masa	máx. 0.23	----
Glicerina total	% masa	máx. 0.25	máx. 0.24
Índice de Yodo	---	máx. 120	----
Fósforo	ppm.	máx. 10	máx. 10
Sales Metálicas (Na+K)	mg/Kg.	máx. 5	-

POFF: Punto de Obstrucción de Filtros en Frío

EN: Norma Europea

ASTM: American Society for Testing and Materials

Fuente: *National Standard for Biodiesel, Environment Australia. Marcha 2003*

Para fines legales, es considerado como Biodiesel el producto que cumpla todos los requisitos de la norma en uso del país que lo produce. Por ejemplo, el Biodiesel de soya (aceptado como tal en Estados Unidos) no se califica como Biodiesel en la Unión Europea por no ajustarse a todas las características de la norma europea.

En Guatemala la producción de Biodiesel está regulada por el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA), 75.02.43:06, “Biocombustibles. Biodiesel (B100) Y Sus Mezclas Con Aceite Combustible Diesel y sus Especificaciones (Nov. 2006), aprobado por el Subgrupo de Medidas de Normalización y el Subgrupo de Hidrocarburos de la Región Centroamericana. Este reglamento es una adaptación de las especificaciones que aparecen en las normas ASTM D 6751 y EN 14214:2003.

Algunas características técnicas del Biodiesel son mejores que las del diesel como:

- Número de Cetano más alto.
- Naturalmente oxigenado, reduce emisiones de CO, HC y humos.
- Cantidad de azufre baja, aunque ya existen combustibles diesel de bajo contenido de azufre (< 15 ppm). La cantidad de azufre del Biodiesel puede ser importante comparado con estos.
- La cantidad de hidrocarburos (o derivados) aromáticos es baja comparada con el diesel; esto implica menor tendencia a la formación de partículas en la combustión.
- Mayor lubricidad que el diesel, lo que le hace un aditivo natural, para diesel de muy baja cantidad de azufre pues este no tiene buena lubricidad.

2.8 Emisiones del Biodiesel

1) Monóxido de carbono (CO): es un gas inodoro, incoloro, inflamable y altamente tóxico. Puede causar la muerte por envenenamiento cuando se respira en niveles elevados. La emisión de combustión del Biodiesel es del 50% inferior comparada con la que produce el diesel.

2) Balance de dióxido de carbono (CO₂): es uno de los Gases de Efecto Invernadero (G.E.I.) que contribuye a que la Tierra tenga una temperatura habitable, siempre y cuando se mantenga dentro de un rango determinado. Sin dióxido de carbono, la Tierra sería un bloque de hielo. Por otro lado, un exceso de dióxido de carbono acentúa el fenómeno conocido como efecto invernadero, reduciendo la emisión de calor al espacio y provocando un mayor calentamiento del planeta. En los últimos años la cantidad de dióxido de carbono ha aumentado mucho y eso contribuye al calentamiento global del clima planetario. La emisión de dióxido de carbono por el Biodiesel es de 78% menos que la del diesel. El CO₂ de la combustión del éster no contribuye a aumentar su concentración en la atmósfera, ya que el CO₂ liberado es absorbido de la atmósfera en la fase de crecimiento de los cultivos oleaginosos por el proceso de fotosíntesis.

3) Hidrocarburos poli aromáticos: los hidrocarburos aromáticos poli nucleados y los nitratos de hidrocarburos aromáticos poli nucleados, son cancerígenos, altamente tóxicos y persisten durante mucho tiempo en el suelo. Con el Biodiesel se reducen los Hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (PAH) en un 80% y los Hidrocarburos aromáticos poli cíclicos nitrogenados (nPAH) en un 90%.

4) Óxidos de Nitrógeno (NO_x): produce entre 10% y 25% más de óxido de nitrógeno que el diesel. Como el Biodiesel tiene bajo contenido de azufre, usando convertidores catalíticos se pueden reducir las emisiones a niveles más bajos que los del diesel. No obstante, las emisiones del escape de NO_x del Biodiesel, sin un catalizador permanecerán mayores que las emisiones del diesel. Aunque el Biodiesel no contiene nitrógeno, el aumento en las emisiones de NO_x puede ser debido al alto índice de cetano que lo caracteriza y el volumen de oxígeno más alto que le permiten convertir el nitrógeno de la atmósfera más rápidamente en NO_x.

5) Dióxido de azufre (SO₂): es una partícula contaminante, es uno de los precursores del fenómeno conocido como 'lluvia ácida', altera las condiciones de la tierra de cultivo y las de los lagos y cuando llega hasta los pulmones de la población,

genera daño a la salud, especialmente en el sistema respiratorio. No emite SO_2 , por su bajo contenido de azufre.

6) Material Particulado o Partículas en Suspensión (MP): reduce 20% la emisión de partículas productos de la combustión comparado con vehículos que usan diesel bajo en contenidos de azufre (<50ppm). Y en un 50% de los que usan diesel.

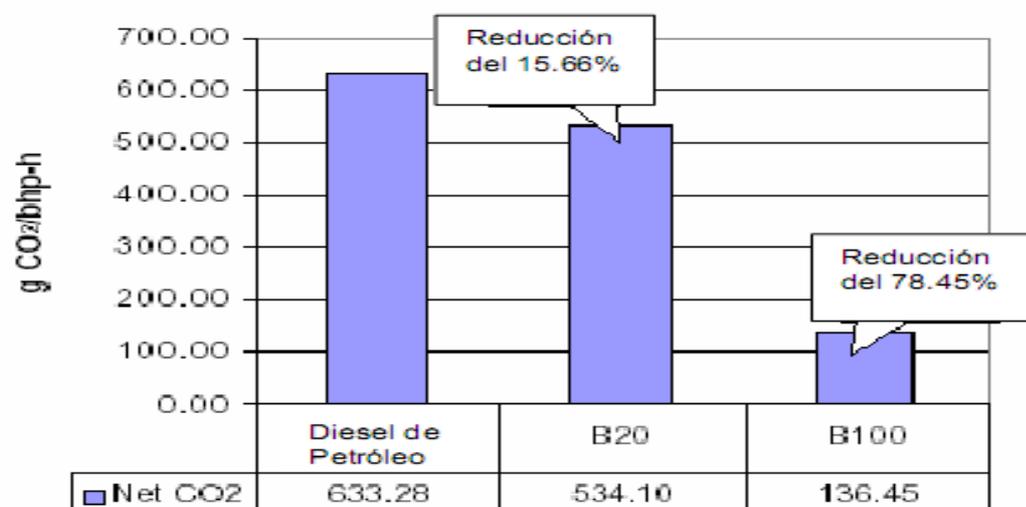
7) Hidrocarburos sin quemar (NM/ NEHC): menos Hidrocarburos totales sin quemar: 93% menos; esto cobra notoria importancia ya que estos hidrocarburos participan en la formación del smog y destrucción de la capa de ozono.

8) El smog (humo de combustión de automóviles): mezclado bajo los efectos de la radiación solar produce gas ozono, el cual es altamente tóxico cuando se encuentra a nivel del suelo.

2.9 Ventajas y Beneficios del Biodiesel

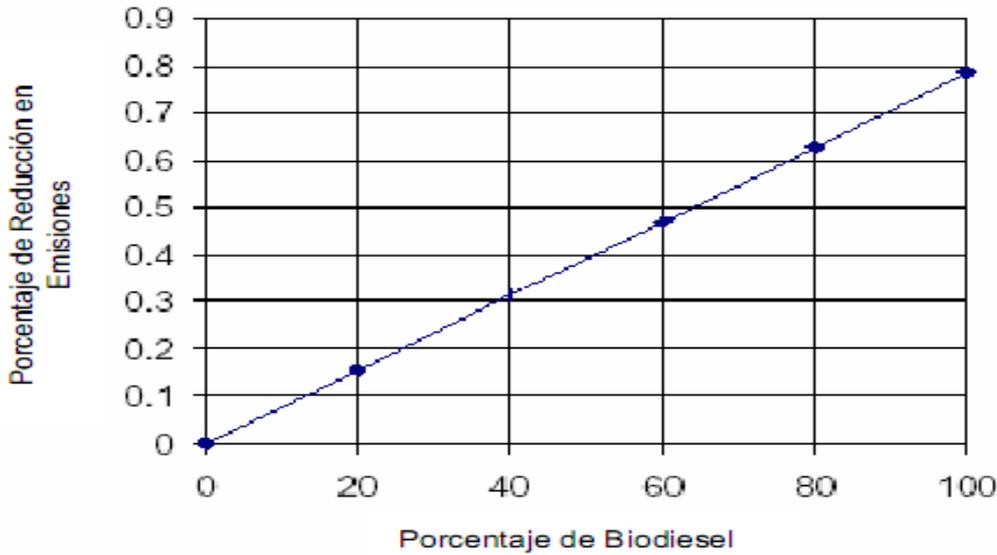
- La energía obtenida es mucho mayor que la invertida en su producción
- Disminuye la dependencia de los países de tener que importar derivados del petróleo.
- Es un combustible renovable que no contribuye al efecto invernadero del planeta terrestre, ya que la reducción global de CO_2 es de 16 a 78.4% para B20 y B100 respectivamente.
- La ventaja ambiental de tipo global del Biodiesel es el cierre del ciclo de vida del CO_2 (emisión nula), pues las plantas oleaginosas por medio del proceso de fotosíntesis toman este gas y lo transforman en biomasa.
- Su combustión presenta una reducción sustancial de emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos sin quemar y material particulado en el aire.
- Las emisiones de hollín se ven reducidas hasta en un 40% y el dióxido de azufre se reduce en un 100%.

Tabla 2.11



Comparación de la emisión neta de CO_2 para Diesel y mezclas de biodiesel

Tabla 2.12



Efecto del nivel de mezcla de Biodiesel en las emisiones de CO₂

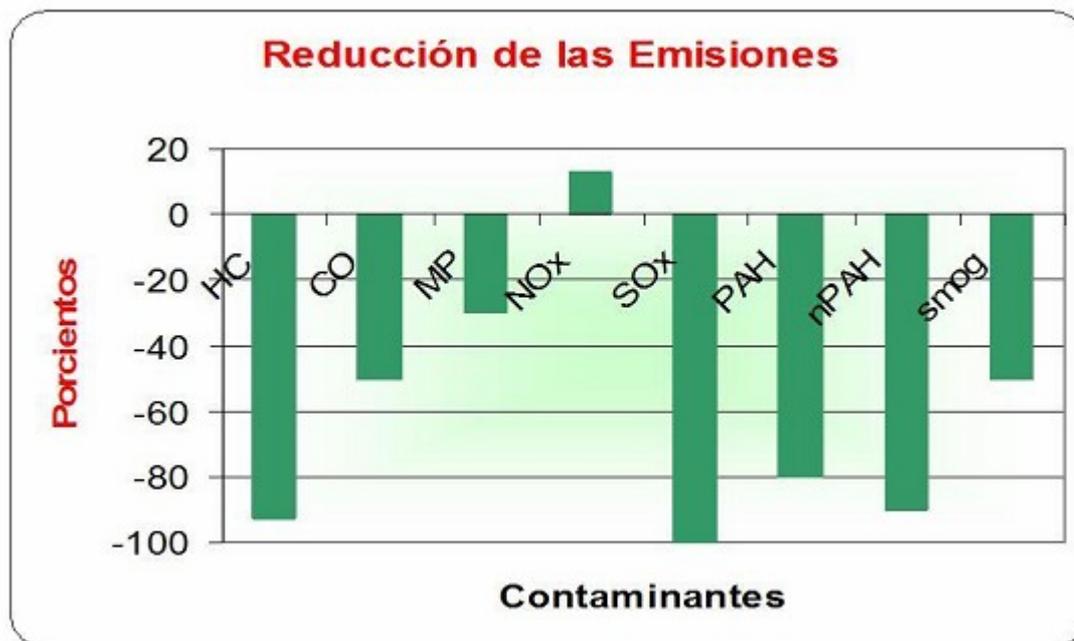
Una de las ventajas ambientales del biodiesel es que la acumulación neta de CO₂ en la atmósfera es equivalente a cero, debido a que el CO₂, generado en la combustión, ya fue absorbido por la planta durante su ciclo de vida; contrario al caso de los combustibles fósiles, los cuales liberan carbono que se ha fijado en el subsuelo durante millones de años. Esto aplica si y solo si el alcohol es renovable (Bioetanol).

Ha sido comprobado que la combustión de 1 tonelada de gasoil de petróleo libera 3.11 toneladas de CO₂ y que la combustión de 1 tonelada de Biodiesel libera casi la misma cantidad. Pero, debido a que el proceso de Biodiesel recicla el CO₂, el reemplazo de gasoil por el Biodiesel reduciría la emisión neta de CO₂ a un tercio. Una planta de Biodiesel que produce 50.000 toneladas de combustible cada año, por lo tanto, ayudaría a prevenir la emisión de alrededor de 150.000 toneladas de CO₂.

- El biodiesel tiene un contenido despreciable de azufre por lo cual las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) son prácticamente nulas.
- Las emisiones de todos los contaminantes principales (con la excepción de los óxidos de nitrógeno, NO_x) son netamente más bajas; reducciones de hasta 90% en los hidrocarburos no quemados, de 40% en el monóxido de carbono (CO) y de 30% a 50% en la materia particulada han sido reportadas en la literatura.
- El punto de ignición es significativamente más alto por lo cual el manejo del biodiesel es mucho más seguro.
- El biodiesel tiene propiedades lubricantes muy importantes lo cual hace innecesaria la adición de productos que puedan contribuir a las emisiones.
- El número de cetano tiende a ser más alto por lo cual el proceso de arranque del motor es más suave con menor tendencia hacia el cascabeleo.
- El biodiesel es biodegradable por naturaleza (aunque los aditivos pueden reducir su biodegradabilidad); a diferencia del petrodiesel, una avería en la cadena productiva no conduce a efectos desastrosos en el medio ambiente.

- El biodiesel hace innecesaria una cantidad equivalente de petrodiesel cuya extracción y refinación generan daños graves al ambiente aun antes de haberse quemado en un motor de combustión interna.
- El uso masivo del biodiesel en el transporte puede estimular un desarrollo significativo del campo ya que demanda un producto de mayor valor agregado.

Tabla2.13



Fuente: MEM

Por otra parte:

- Posee un 10% de oxígeno en su composición, lo que facilita su degradación
- No es tóxico y es biodegradable, es altamente biodegradable en agua si se diera el caso de derrames; pruebas patrocinadas por el Departamento de Estados Unidos de Agricultura (USDA) confirmaron que el Biodiesel es menos tóxico que la sal de mesa y se degrada tan rápidamente como el azúcar, el 85% en 21 días.
- Las bajas emisiones del Biodiesel, hacen de él un combustible ideal para el uso en las áreas marinas, parques nacionales, bosques y sobre todo en las grandes ciudades.
- Es el único combustible alternativo que funciona en cualquier motor diesel convencional, sin ser necesaria ninguna modificación al usar las proporciones adecuadas.
- El manejo es más seguro, pues su punto de inflamación es alto.
- No contiene ni benceno ni otras sustancias aromáticas cancerígenas.
- Sus emisiones de hollín alcanzan a la mitad y la emisión de partículas, comparada con el diesel mineral, disminuye, según el tipo de motor. Debido a que es un combustible casi libre de azufre, se puede usar el efecto de los catalizadores de oxidación con excelencia en estos motores.
- Su eficiencia es igual a la del petróleo, pero, gasta menos aire en su proceso. Para consumir un kilo de Biodiesel se usan 12.5 litros de aire; para un kilo de diesel mineral, 14.5 litros de aire.

- El Biodiesel posee entre 5% a 6% mayor densidad que el diesel, esto permite que en el momento de la inyección ingrese mayor cantidad de masa de combustible (aumento del consumo), permitiendo así compensar en parte la pérdida de potencia del motor, por tener un menor poder calorífico.
- Puede generar oportunidades de empleo, especialmente en la agricultura.
- El contenido de azufre es menor, lo que permite el uso de catalizadores para mejorar la combustión y minimizar los gases de escape.

2.10 Limitaciones del Biodiesel

- Pérdida de potencia y aumento del consumo de combustible.
- Efectos corrosivos, solventes y lubricantes sobre distintas partes en contacto.
- Los costos de la materia prima.
- Las emisiones de dióxido de nitrógeno no disminuyen al usar Biodiesel.
- Por sus propiedades solventes, puede ablandar y degradar ciertos materiales, tales como el caucho natural y la espuma de poliuretano de los que están hechos algunos componentes del motor, lo que conduce eventualmente a su sustitución, como: sellos, mangueras, juntas, diafragmas, partes de filtros y similares. Es recomendable cambiarlos antes de usar Biodiesel, especialmente con vehículos antiguos. El Vitón es el mejor material, así como los plásticos HDPE (polietileno de alta densidad No. 2, Polietileno Tereftalato).
- El Biodiesel no es compatible con el cobre y sus aleaciones (bronce, etc.), plomo, zinc y aluminio.
- Disuelve sedimentos presentes en el sistema de inyección de combustible, que pueden causar obstrucción de los filtros, los cuales se deben cambiar con mayor frecuencia para que no se dañe la bomba de inyección o el motor. Se recomienda cambiar los filtros antes de empezar a usar Biodiesel y hacer una limpieza de todo el sistema de combustible.
- Su producción implica la producción de glicerina como producto secundario, la cual necesita purificación para aplicarla en otros productos industriales.
- En lugares con temperatura ambiente debajo de 10 °C el Biodiesel se empieza a solidificar y puede obstruir los filtros, parando el motor o no encendiendo la ignición de partida. Este combustible se congela antes que los derivados del petróleo (2 ó 3 °C de diferencia). Necesita de adaptación a bajas temperaturas. Da problemas al arrancar en frío.
- Su baja estabilidad a la oxidación afecta sus cualidades técnicas durante su almacenamiento. Se recomienda usarlo antes de seis meses después de su fabricación. El Biodiesel viejo se vuelve ácido y forma sedimentos, saliendo de los estándares de calidad.
- Dependiendo del tipo de aceite del que proceda el Biodiesel, puede empezar a solidificarse a 4°C ó 5°C (40° F). Una solución es mezclarlo con diesel fósil, o instalar un calentador de combustible eléctrico.
- Adelantar el tiempo de inyección 2°C ó 3°C para compensar el mayor número de cetanos del Biodiesel.
- Generalmente, los motores de vehículos que funcionan con Biodiesel producen emisiones en casi el mismo rango que los vehículos a diesel convencionales. Emisiones de partículas, hidrocarburos y monóxido de carbono que tienden a ser menores que las de un diesel convencional
- Las emisiones de NO_x tienden a ser mayores.

- Las características y propiedades del Biodiesel son determinadas por el porcentaje de cada ácido graso presente en el aceite o grasa de donde fue producido.
- Alta dependencia del costo de las materias primas.
- Los filtros que se usan en aplicaciones especiales que utilizan mezclas con alto contenido de Biodiesel cercanas a B100 o B100 sin mezclar, deben utilizar materiales de sellado resistentes a los solventes.

CAPÍTULO III

MICROPLANTA DE BIODIESEL DE LA COMUNIDAD NUEVA ALIANZA

3.1 Descripción de los componentes de la Planta

3.1.1 Tanques de almacenamiento y reposo de aceite:

Tanques plásticos de forma cúbica, de capacidad de 250 galones (1000 litros)

El aceite vegetal reciclado que llega a la planta, se debe filtrar antes de llenar los tanques ya que contienen restos de comida, partículas indeseables en suspensión y otros desechos. Después de filtrarlo se deja reposando para que decanten las partículas que no fue posible eliminar al filtrar.

Estos alimentan el Reactor de transesterificación. Se sumerge una manguera que está conectada a la bomba que alimenta el Reactor de transesterificación de aceite, es mejor si el aceite que se extrae de los tanques no es el que se deposita en el fondo.

Fig.1 Tanques de Almacenamiento



Fuente: El autor

3.1.2 Bomba de alimentación de aceite del Reactor

Bomba centrífuga que alimenta de aceite el Reactor de transesterificación:

Marca MARONI-VILCO

Tipo: Centrífuga

Diámetro de succión/descarga: 1" x 1"

Capacidad de succión: 12 GPM

Altura máxima: 48 m

Caudal máximo: 40 l/min

Altura de succión: 9 m

Datos de motor:
Voltaje: 110/120 V
Potencia: 0.75 Hp (kw 0.5)
Frecuencia: 60 Hz
Revoluciones: 3400 RPM
Amperaje: 3.8 A

Fig.2 Motor



Fuente: El autor

3.1.3 Reactor de Metóxido Potásico

Tanque cilíndrico de fondo cónico con tapadera, de acero al carbono, con capacidad de 11.89 galones (45 Litros). Al cono, en el vértice se le soldó un niple de 2" de largo y $\frac{3}{4}$ " de diámetro roscado, pintado de negro mate, se graduó en galones marcando una manguera transparente reforzada que sirve de visor del nivel.

La manipulación de químicos como la potasa y el metanol es peligroso, para evitar riesgos se construyó este Reactor, se prepara el metóxido potásico vaciando la potasa en el metanol que está en el Reactor. Se circula la mezcla con ayuda de una bomba centrífuga, hasta que las escamas de potasa se disuelven completamente. El Reactor de metóxido está conectado por tubería de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, al Reactor de transesterificación, por la cual se trasiega el metóxido a éste.

Fig.3 Reactor



Fuente: el autor

3.1.4 Reactor de Transesterificación

La tecnología que se aplicará en el Reactor fue diseñada por María Girl Mark, es un Reactor seguro y de costo de fabricación bajo, ha sido usado por varios fabricantes de Biodiesel en Estados Unidos. El Biodiesel se fabrica mediante este Reactor con algunas modificaciones. El diseño del Reactor facilita la completa reacción de transesterificación, permite crear condiciones físicas de temperatura (55 °C) y con la ayuda de una bomba circular, el fluido.

El Reactor es un calentador de agua común al que se le hacen algunas modificaciones previas, las cuales son:

- Eliminar el tubo para agua caliente
- Sacar la barra anódica
- Quitar la válvula de drenaje
- Anular la resistencia superior

Fig.4 Reactor de transesterificación



Fuente: El autor

3.1.5 Depósito de lavado

Tanque cilíndrico de fondo cónico de acero al carbono, con capacidad de 55 galones. Al cono, en el vértice se le soldó un nicle de 2" de largo y $\frac{3}{4}$ " de diámetro roscado, pintado de negro mate.

Para el tanque de lavado se utilizó un tonel al que se le quitó la tapadera del fondo y se le soldó un cono, el fondo cónico ayuda a evacuar mejor el agua de jabones pues el Biodiesel se trasiega a este depósito para lavarlo por medio de agua, esto se hace para eliminar biglicéridos, jabones, partículas y metanol.

CAPÍTULO IV

PARÁMETROS GENERALES DEL BIODIESEL

4.1 Análisis de parámetros del Biodiesel

La calidad del Biodiesel depende principalmente de dos factores:

1. Tipo de aceite usado como materia prima
2. Calidad de fabricación

El aceite quemado contiene ácidos grasos libres que imprimen propiedades al Biodiesel.

Al fabricar el Biodiesel se pueden formar contaminantes en el producto final, éstos deben ser eliminados para que el Biodiesel producido tenga las características adecuadas para su uso en motores diesel.

Las propiedades del Biodiesel que son reguladas por las normas y especificaciones de calidad están asociadas a determinadas características, que deben ser controladas para que el producto sea garantizado al consumidor. Es necesario conocer la incidencia de estas propiedades en el funcionamiento del motor.

Los parámetros para medir la calidad del Biodiesel, según Normas ASTM D 51790 y EN14214 especifican:

- Parámetros a regular
- Especificación de límites y valores permisibles
- Técnica empleada por el laboratorio para medir valores

a. Punto de inflamación

El mínimo es definido, para la seguridad del manejo del producto (inflamabilidad) y para garantizar que el Biodiesel no contenga una cantidad excesiva de metanol libre, que hace caer el punto de inflamación (0.5% de metanol hace caer el punto de inflamación debajo de 55 °C).

b. Agua y sedimentos

En el Biodiesel el agua puede estar mezclada en él y, libre lo cual depende de la manipulación y transporte del mismo.

Es un parámetro que depende del proceso de secado del Biodiesel. La presencia de agua contamina el combustible y puede provocar tres problemas en el motor:

1. Corrosión en los componentes del motor. El agua se acidifica y ataca los materiales de los tanques de almacenamiento.

2. Crecimientos de microorganismos como bacterias que forman lodos que pueden obstruir los filtros, además de contribuir con la aparición de trazas de H_2SO_4 pues puede convertir el azufre que posea el combustible en ácido sulfúrico, que corroe la superficie del tanque.

3. Reacciones de hidrólisis (aparición de ácidos grasos libres). La oxidación del Biodiesel hace aumentar la cantidad de sedimentos, por lo que esta propiedad puede ser usada para evaluar si el Biodiesel está “viejo” por oxidación.

Los sedimentos pueden ser producto de un mal proceso de purificación del combustible o contaminación, que afectan la temperatura de cristalización y el número de cetano.

c. Índice de acidez

Depende del aceite usado para su fabricación y proceso. Valores altos de acidez indican presencia de ácidos grasos libres y de ácidos inorgánicos que provocan: Corrosión en diversas partes del motor y mayor degradación del Biodiesel.

d. Metanol

Residuos de metanol en el Biodiesel indican que éstos no se han eliminado correctamente durante el proceso de lavado.

Los residuos de metanol en el Biodiesel provocan problemas de:

- Baja lubricidad
- Disminución del número de cetano
- Baja temperatura de inflamación, viscosidad y densidad
- Corrosión en piezas de aluminio y cinc
- Disminución del punto de inflamación

e. Monoglicéridos y biglicéridos

La presencia de éstos depende de una conversión incompleta (mono, di y triglicéridos que no reaccionaron).

- Valores altos de mono glicéridos y biglicéridos provocan:
- Depósitos en inyectores y cilindros
- Los mono glicéridos tienen un punto de fusión alto y una solubilidad baja por lo que se cristalizan si no se mantiene el Biodiesel a alta temperatura
- Aumento de viscosidad del Biodiesel

f. Triglicéridos

Sí la concentración de triglicéridos es muy alta en el biodiesel, depende exclusivamente del proceso de transesterificación.

Un valor alto de triglicéridos indica presencia de aceite o grasa sin reaccionar lo cual provoca un: aumento de viscosidad del Biodiesel y depósitos en cilindros y válvulas.

g. Glicerina total

Niveles bajos significan que se ha producido un alto grado de conversión de transesterificación y se formaron la mayor cantidad de monoésteres.

h. Glicerina libre

Determina el nivel de glicerina presente en el Biodiesel, se debe a la mala purificación del mismo.

Niveles altos de glicerina indican una mala decantación y lavado del Biodiesel, sí el nivel es superior al 0.5% afecta el contenido de residuo carbonoso, que provoca:

- Incremento en las emisiones de aldehídos y acroleína
- Carbonización en inyectores
- Obstrucciones en filtros por la formación de sedimentos

i. Contenido de sodio, potasio y calcio, magnesio

Contribuyen al aumento del residuo carbonoso y cenizas, que generan residuos parcialmente quemados.

La presencia de estos metales en el Biodiesel depende exclusivamente del proceso de producción.

- Presencia de Na y/o K indican restos de catalizador.
- Presencia de Ca y/o Mg indican presencia de jabones insolubles.
- Los metales en el Biodiesel provocan: Depósitos y obstrucción de los filtros.

j. El punto de enturbamiento o punto de nube (Punto de Obstrucción de Filtros en Frío (CFPP ó POFF) - Cold Flow Plug Point (CFPP) / Low Temperature Flow Test – LTFT)

Indican la temperatura de operación a la cual empiezan a precipitarse ciertos compuestos del Biodiesel (materia insaponificable, parafinas). Es una medida importante sobre todo cuando el motor opera en climas fríos. El valor requerido depende del clima y de la estación en la cual el motor se utilice.

El POFF depende de la cantidad de ácidos grasos presentes en el aceite de partida y del proceso de producción (impurezas mecánicas).

k. Estabilidad a la oxidación

Determina la vida de almacenamiento y la degradación potencial de un combustible durante su almacenamiento. La oxidación de un combustible viene acompañada de la formación de gomas solubles e insolubles.

Este valor depende de la calidad del aceite usado y del proceso de producción:

- Baja estabilidad a la oxidación indica aceite de partida degradado y degrada el Biodiesel en el proceso.
- Las gomas insolubles provocan saturación de los filtros, las gomas solubles forman depósitos en las boquillas de los inyectores.

- Se pueden usar aditivos para mejorar este parámetro.

l. Índice de sodio

Es un valor que depende de la materia prima y que cuantifica el grado de instauración que poseen sus ésteres. Indica la tendencia del Biodiesel a oxidarse.

Valores altos del índice de yodo indican presencia de dobles enlaces, favoreciendo procesos de polimerización y de hidrólisis.

m. Viscosidad

El Biodiesel debe tener una viscosidad mínima para evitar pérdidas de potencia debidas a las fugas en la bomba de inyección y en el inyector. Además, imprime la capacidad de lubricación.

El diseño del motor también limita la viscosidad máxima debido a que los inyectores ya no pulverizarían correctamente, y obstruiría el sistema de inyección.

Es muy importante para determinar el tamaño promedio de las gotas que forman el chorro de combustible inyectado en el cilindro del motor, si la forma del chorro y tamaño promedio de gotas de combustible es diferente provocará:

- Problemas en la combustión
- Formación de depósitos
- El aceite de lubricación será contaminado por ésteres u otros productos de combustión incompleta.

n. Densidad

Da una idea del contenido de energía del combustible, mayores densidades indican mayor energía térmica y menor consumo de combustible.

o. Cenizas sulfatadas

Los materiales que forman cenizas en el Biodiesel se pueden presentar como sólidos abrasivos, jabones solubles y catalizador no eliminado en el proceso.

Indirectamente miden la cantidad del catalizador u otros compuestos que producen desgaste del inyector, bomba de inyección, pistón y anillos, además de formar depósitos en el motor.

p. Contenido total de azufre

Limita las emisiones de SO_x producidos en la combustión y que en la atmósfera producen ácidos de azufre.

q. Corrosión a al lámina de cobre

Indica si existen compuestos corrosivos o presencia de ácidos que atacan los componentes de cobre o sus aleaciones en el sistema de combustible del motor.

r. Número de cetano

Es una medida de la calidad de ignición y un indicador del comportamiento del combustible para empezar la combustión. Depende de la acidez del aceite usado para su fabricación.

Mayores números de cetano mejoran el arranque en frío, disminuyen los humos blancos de arranque, mejoran la durabilidad del motor y disminuyen el ruido del motor.

Los motores se diseñan para trabajar con un índice de cetano entre 40°C y 55°C, debajo de 38°C se incrementa el atraso en la ignición, y ruidos en el motor.

s. Residuos de carbón

Miden la tendencia a formación de depósitos de carbón en el inyector y en la culata del motor. Dependen de la calidad de purificación del Biodiesel cuando éste se fabrica.

t. Número de acidez

Indica la cantidad de ácidos grasos libres, depende de estos ácidos en el aceite base del Biodiesel, si es alto indica la mala calidad del Biodiesel y su rápida degradación por oxidación.

u. Contenido de fósforo

Es una medida indirecta de la eficacia de la conversión. El fósforo puede arruinar los catalizadores de los motores.

v. Destilación

Indica la temperatura máxima a la que se debe evaporar el combustible a una presión y temperatura dada.

La determinación del punto de destilación recuperando el 90% en la destilación ayuda a prever el comportamiento de la combustión, porque las gotas líquidas del Biodiesel que entran en el motor deben evaporarse y mezclarse con el aire caliente de la compresión, para entonces quemarse.

El Biodiesel, a la temperatura de 360 °C debe estar al 90% destilado, según la norma ASTM D-1160. Y al 95% destilado, según la norma ASTM D-86

w. Lubricidad del Biodiesel

Es la cualidad de un fluido para proporcionar lubricación adecuada para prevenir el desgaste entre dos superficies en movimiento. Su lubricidad es mayor que la del diesel de petróleo con baja cantidad de azufre. En realidad, la adición de un 2% de Biodiesel en el diesel mejora su lubricidad de forma importante. La lubricidad es importante porque el sistema de inyección posee alta precisión mecánica y es lubricado por el combustible.

4.2 Análisis de resultados de pruebas realizadas al Biodiesel

En pruebas realizadas a una muestra de Biodiesel fabricado en la Comunidad Alianza, en el Laboratorio Técnico del Ministerio de Energía y Minas, los resultados fueron:

Tabla 4.1

RESULTADOS DE ANÁLISIS			
<i>Descripción</i>	<i>Método de análisis</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidades</i>
Calor de combustión	ASTM D – 130	39.53	MJ/Kg
Gravedad API, 15.56°C	ASTM D – 287	27.7	°API
Gravedad específica	ASTM D – 287	0.8888	g/l
Viscosidad cinemática, 40°C	ASTM D – 445	4.9	mm ² /s
Densidad, 15°C	ASTM D – 1298	888	Kg/m ³

Observaciones:

- En el acuerdo ministerial No. 204-2007 no existen especificaciones para este producto
- Los resultados son válidos solo para el volumen de muestra presentada en este laboratorio
- 1mm² es equivalente a 1 cSt
- 39.53 MJ/Kg es equivalente a 9440 Kcl/Kg y 16993 Btu/Lb

Fuente: MEM

De la tabla comparativa se puede comentar lo siguiente:

a) **Calor de combustión:** Esta propiedad no está regulada para el Biodiesel pero se debe tomar en consideración debido a que es un indicativo de la energía que puede obtenerse de un combustible.

Por lo general el Biodiesel tiene menor poder calorífico que el diesel (entorno a 19300 Btu/Lb), lo confirma el resultado de la prueba. Esta propiedad es la razón por la cual se consume más combustible aunque por tener mayor cantidad de oxígeno equilibra la ecuación de consumo.

b) **Gravedad API:** Es importante debido a que afecta la inyección del Biodiesel pudiendo afectar su potencia. No es común que se considere para Biodiesel como una propiedad a regular, pero se especifica que para el diesel debe ser mayor de 30.5. En este caso el Biodiesel está demasiado viscoso fuera el límite exigido.

c) **Viscosidad Cinemática:** Esta propiedad dio un valor de 4.9 mm²/s en la prueba, debido a que está muy elevada puede dar como resultado pérdidas de potencia, pues perjudica la fluidez del Biodiesel por el sistema de inyección. Esta condición puede mejorar al mezclarlo con diesel.

En el siguiente enlace puede verse el reglamento técnico centroamericano y comprobar como nuestro Biodiesel cumple con los requisitos de dicho reglamento

www.reglatec.go.cr/descargas/RTCA_75.02.43.06_%20Biodiesel_CRnov06.pdf

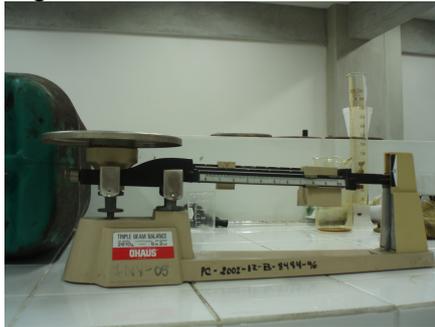
CAPÍTULO V

METODOLOGÍA

5.1 Cálculo de la densidad:

Balanza de laboratorio ± 0.1
Baker de 1litro

Fig.5 Balanza



Fuente: El autor

Pesar el baker (5 veces) para tarar, echar 100 ml de glicerina, volver a pesarlo (3 veces), promediar los resultados y utilizar la fórmula de cálculo densidades.

$$D = \frac{m}{v}$$

5.2 Cálculo de viscosidad:

Probeta
Esfera
Metro
Cronómetro

Fig.6 Viscosidad



Fuente: El autor

Medir el tiempo (50 veces) que tarda la esfera en caer a través de la probeta llena de glicerina, promediar los resultados y utilizar la fórmula de cálculo de viscosidades.

$$\mu = \frac{2r^2(\rho_V - \rho_G)g.t}{9L}$$

5.3 Cálculo del punto de turbidez:

6 Frascos con tapaderas
 Termo copla tipo K
 Frigorífico

Fig.7 Tubos de ensayo



Fuente: El autor

Introducir los frascos en un congelador, habiendo medido la temperatura con anterioridad tanto del ambiente, como del producto, medir la temperatura cada cierto tiempo.

5.4 Punto de ebullición:

Termo copla tipo k
 Baker
 Calentador eléctrico, UNIMANTLE de 150 W

Fig.8 Calentador eléctrico



Fuente: El autor

Llevar a ebullición y medir la temperatura

5.5 Ph:

Medidor de PH o potenciómetro

Fig.9 Potenciometro



Fuente: El autor

Poner en contacto con la glicerina y medir

5.6 Resistividad eléctrica:

Voltímetro de propiedades eléctricas.

Fig.10 Voltímetro



Fuente: El autor

Medir directamente, teniendo en cuenta las distancias entre los cátodos del voltímetro.

5.7 Sólidos en suspensión:

Filtros

Termo copla tipo K

Tubos de precipitados

Centrifugadora

Fig. 11 Centrifugadora



Fuente: El autor

Poner 6 tubos de precipitados con glicerina dentro de una centrifugadora, tras su filtrado y observar después de su centrifugado si existen sólidos suspendidos dentro del líquido o en el filtro.

5.8 Cálculo del C_p (Calor Calorífico):

Termo copla tipo K

Baker

Recipiente de Duroport

Calentador eléctrico tipo hornillo espiral

Fig.12 Recipiente Duroport



Fuente: El autor

1º Cálculo del C_p del Baker:

Calentamos el agua dentro del recipiente de Duroport y sumergimos el Baker ya pesado. Cerramos el recipiente y lo dejamos dentro hasta que se estabilicen las temperaturas. Con la siguiente fórmula calculamos las calorías consumidas de agua.

$$Q_b = m_b \cdot C_{p_{H_2O}} \cdot \Delta T$$

2° Cálculo del C_p de la glicerina:

Para ello sería igual que en el caso anterior con la diferencia que esta vez al introducir el Baker estará lleno de glicerina a temperatura conocida. De nuevo utilizamos la fórmula

$$Q_G = m_G \cdot C_{p_G} \cdot \Delta T$$

De donde Q_G quedará en función de su C_{p_G} y a través del principio de conservación de energía sacamos que:

$$Q_G + Q_{H_2O} + Q_B = 0$$

$$m_G C_{p_G} \Delta T_1 + m_{H_2O} C_{p_{H_2O}} \Delta T_2 + m_B C_{p_B} \Delta T_3 = 0$$

De aquí obtendremos el C_p de la glicerina

CAPÍTULO VI

RESULTADOS

6.1 Cálculo de densidades:

A continuación exponemos los resultados de las densidades de las cinco muestras de glicerina ($G_1, G_2, G_3, G_3(II), G_4$) de las tres muestras de Biodiesel (B_1, B_2 y B_3) y de Diesel (Texaco), a una temperatura de 20°C

Tabla 6.1

	DENSIDAD DE GLICERINA				
	G1	G2	G3	G3 (II)	G4
Densidad 1	0.978	0.986	0.948	1.010	0.981
Densidad 2	0.957	1.005	0.969	1.000	1.013
Densidad 3	0.960	0.989	0.975	1.012	1.022
Densidad T	0.965	0.993	0.964	1.007	1.005

Fuente: El autor

Tabla 6.2

	DENSIDAD DE BIODIESEL		
	B1	B2	B3
Densidad 1	0.873	0.842	0.854
Densidad 2	0.870	0.845	0.827
Densidad 3	0.851	0.857	0.841
Densidad T	0.864	0.848	0.837

Fuente: El autor

Tabla 6.3

	DENSIDAD DE DIESEL (TEXACO)
	Diesel
Densidad 1	0.830
Densidad 2	0.816
Densidad 3	0.841
Densidad T	0.829

Fuente: El autor

Observamos como las densidades van decreciendo de la Glicerina al Diesel. En el caso de las Glicerinas observamos como las densidades se parecen más a la densidad teórica (1.26g/cm^3) a medida que aumentamos la cantidad de KOH en el proceso de

fabricación. Pero hemos de tener en cuenta que la cantidad de KOH utilizado es un factor fundamental en la calidad del Biodiesel obtenido. Debemos añadir el indicado por la titulación para evitar trazas de glicéridos, di-glicéridos y tri-glicéridos.

6.2 Viscosidad:

Para el cálculo de la viscosidad primero debemos averiguar el volumen de la bola. Calculamos el volumen de la esfera a utilizar, para después poder calcular su densidad que es una de las incógnitas que necesitamos saber. Para el cálculo del volumen nos basamos en el principio de Arquímedes es decir, en una probeta medida y con agua vemos el aumento de volumen al introducir la esfera. Sabiendo el volumen desocupado ya podremos obtener el radio a través de la siguiente fórmula

$$V = \frac{4}{3} \pi .r^3$$

De donde sacamos que:

$$r = 1.42cm$$

De donde obtenemos la densidad de la bola, después de pesarla

$$D = \frac{m}{V} = 2.675g / cm^3$$

Para finalizar medimos la columna de glicerina ($L = 28cm$) dentro de la probeta donde realizaremos la prueba de medir 50 veces el tiempo que tarda en recorrer esa distancia.

Tabla6.4
TIEMPO(segundos)

4.78	5.05	5.20	5.18	5.29
5.03	5.10	5.05	6.30	5.03
5.29	5.09	5.03	5.07	5.42
5.26	5.03	5.29	5.07	5.80
5.03	4.98	5.20	5.22	5.07
5.03	5.05	5.07	5.40	5.03
5.29	5.29	5.86	5.89	5.42
5.30	5.09	5.96	5.18	5.08
5.28	5.03	5.07	6.30	5.92
5.03	5.10	5.07	5.45	5.53
				5.22

Fuente: El autor

De donde sacamos para G que:

$$\mu = 1.3958 Pa s$$

A continuación hacemos el mismo experimento, pero para G_4 . Obteniendo como tiempo medio 5.35 segundos, dando como resultado que:

$$\mu = 1.4305 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Muy cercano al valor teórico que se encuentra en $1.5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$

Realizamos la misma prueba para el Biodiesel (B_1) y así fue como quedaron los tiempos

Tabla 6.5

TIEMPOS(segundos)

0.94	1.06	1.03
0.89	0.94	1.00
1.09	1.09	0.94
1.10	0.89	0.89
0.94	1.07	0.90
1.03	1.10	1.03
0.94	1.03	1.10
1.03	0.93	1.09
0.94	0.87	1.00
1.03	1.10	0.93
		0.997

Fuente: El autor

Dando entonces una viscosidad de la siguiente forma:

$$\mu = 0.2829 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Para B_3 obtuvimos:

$$\mu = 0.3230 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

6.3 Punto de turbidez:

Introducimos 10 tubos precipitados tapados dentro de un frigorífico habiendo medido antes la temperatura ambiente, de la glicerina y del frigorífico dando los siguientes resultados:

Temperatura ambiente = 20° C
Glicerina = 18.4° C
Frigorífico = 5° C

Después vamos viendo como cambia la glicerina (temperatura y aspecto) a medida que transcurre el tiempo.

Tras 1 minuto baja a 17.5° C
Tras 2 minutos baja a 16.9 C
Tras 7 minutos alcanza 11.8°C
Tras 10 minutos obtenemos 10.3 ° C
A los 13 minutos ya tenemos 9.8 ° C
Después de 33 minutos bajo hasta 5.2 ° C

El aspecto no cambió en ningún momento entonces concluimos que se podría utilizar en este rango de temperaturas.

6.4 Punto de Ebullición:

Antes de calcular el punto de ebullición, primero calentamos la glicerina hasta 200°C para evitar confusión de evaporación de otros productos, bien sea agua, metanol o restos jabonosos. Después de este paso previo por medio de un calentador eléctrico llevamos el producto a ebullición.

El resultado de la prueba concluyo con:

$$P.E. = 288^{\circ} C$$

Prácticamente igual a la teórica de 290°C, teniendo en cuenta que nos encontramos a 1300 metros de altitud.

6.5 Ph:

Calculamos el *Ph* mediante un potenciometro dando como resultado que:

$$Ph=10$$

Es decir una base, esto era esperado ya que lo que obtenemos es un glicerato (Sal)

6.6 Resistividad eléctrica:

Para esta prueba utilizaremos 450 ml de glicerina dentro de un baker e introduciremos un voltímetro a una distancia de 8 cm entre cátodos.

Los resultados que obtuvimos fueron tan dispares que no concluimos nada, excepto que parece que el comportamiento de la glicerina es como el de una batería es decir, empieza con carga y esta va desapareciendo a medida que pasa el tiempo

6.7 Sólidos en suspensión:

Introducimos 6 tubos precipitados con 10ml de glicerina cada uno dentro de la centrifugadora y la centrifugamos a 3 velocidades distintas durante 120s obteniendo:

A 1000 rev / min no observamos sólidos en suspensión

A 2000 rev / min no observamos sólidos en suspensión

A 3000 rev / min no observamos sólidos en suspensión

Concluyendo que no tiene sólidos en suspensión

6.8 Cálculo del Cp:

1° Calentamos 3.2 litros de agua hasta 58°C en un envase de Duroport, introducimos un Baker a 17.8°C y observamos después de 2 minutos que es de 56.5°C (estable). Es decir:

$$\Delta T = -1.5^{\circ}\text{C (Agua)}$$

$$\Delta T = 38.7^{\circ}\text{C (Baker)}$$

Entonces, sabiendo que

$$Cp_{H_2O} = 4.184\text{J/g}^{\circ}\text{C}$$

Calculamos la Q_{H_2O}

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O} \cdot Cp_{H_2O} \cdot \Delta T$$

$$Q_{H_2O} = 3.2\text{Kg} \cdot 4.184\text{J/g}^{\circ}\text{C} \cdot (-1.5^{\circ}\text{C})$$

$$Q_{H_2O} = -2.00 \times 10^{-4}\text{J}$$

Calculamos la Q_B (Baker)

$$Q_B = Cp_B (56.5^{\circ}\text{C} - 17.8^{\circ}\text{C})$$

Sabiendo que tanto la Q del Baker como del Agua son el mismo obtenemos que:

$$Cp_B = 516.79\text{J}^{\circ}\text{C}$$

2° Calentamos 2 litros de agua hasta 58°C en un envase de Duroport, introducimos el mismo baker pero con 500 ml de glicerina (G_1) a 24.6°C y observamos que el equilibrio de temperatura se alcanza a 52.5°C. Es decir

$$\Delta T_{H_2O} = -5.5^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{G_1} = 27.9^\circ\text{C}.$$

Entonces:

$$2000\text{gr} \cdot 4.185\text{J}/^\circ\text{C}(-5.5^\circ\text{C}) + 516.79\text{J}/^\circ\text{C} \cdot 27.9^\circ\text{C} + 482.5\text{gr} \cdot C_{p_{G_1}} \cdot 27.9^\circ\text{C} = 0$$

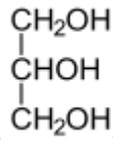
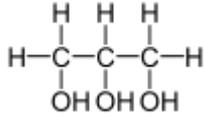
$$C_{p_{G_1}} = 2.34\text{J}/\text{gr}^\circ\text{C} = 0.56\text{Calorias}/\text{gr}^\circ\text{C}$$

CAPÍTULO VII

OPTIMIZACIÓN DE LA GLICERINA

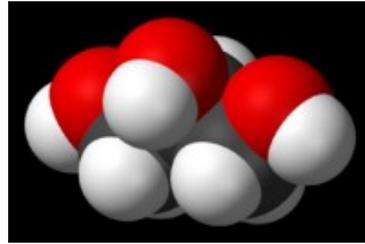
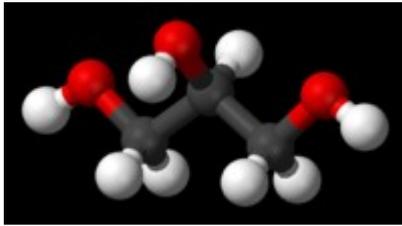
7.1 Introducción

El propanotriol, glicerol o glicerina ($C_3H_8O_3$) es un alcohol con tres grupos hidroxilos (OH), por lo que podemos representar la molécula como,



ó, en su forma semidesarrollada como,

Fig. 13 Molécula de Glicerina



Fuente: Wikipedia

7.1.1 Aplicaciones:

Dentro de los principales usos se encuentran: la elaboración de cosméticos, y la elaboración de medicamentos en forma de jarabes (como excipiente). Otros usos son:

- Conversión catalítica de glicerina
- Fabricación de Poliuretanos. Partimos de glicerina y adicionamos oxido de etileno, luego se hace reaccionar con isocianato y tenemos el poliuretano, para hacer espumas, colchones etc
- Como baño calefactor para temperaturas superiores a los 250 °C;
- Lubricación de maquinarias específicas. Por ejemplo, de producción de alimentos y medicamentos (por no ser tóxica), de petróleo, etc.;
- En la fabricación de explosivos, como la nitroglicerina.
- Anticongelante (bajo el punto de fusión del agua, por el descenso crioscópico).
- Elaboración de resinas alquídicas.
- Uso como combustible suplementario en calderas y calentadores
- Como agente de limpieza para la industria del petróleo usado

7.1.2 Comentarios

Mejora de durabilidad con glicerina:

Ayuda a mantener la textura y añade humedad, controla la actividad de agua prolongando la duración en muchas aplicaciones. La glicerina higroscópica ayuda a mantener la reducción de agua y prolonga la duración.

Otra aplicación de la Glicerina es que puede ser usado como materia prima en la construcción de ladrillos y este sector presenta cada vez mas oportunidades de uso. Cuando baja el coste de un químico, la utilización industrial se amplía y así se absorben los gastos producidos por otras transformaciones químicas. La Glicerina está cambiando como un intermediario químico a ser materia prima para una familia de compuestos.

Explotación de la Glicerina:

- Oxidación selectiva de glicerol para formar otros intermediarios
- Glicerol carbonatado como nuevo disolvente y producto
- Proceso de reducción selectiva
- Transformaciones bioquímicas

Recuperación de mercados de glicerina:

Hay oportunidades para el consumo de Glicerina en el segmento de mercados donde ha perdido su uso por alternativas más baratas. Por ejemplo, la Glicerina es un componente en la producción de resinas alquedias pero perdió su uso por el pentaerythritol y propileno glicol. También tiene competencia con el sorbitol en los mercados de higiene bucal, comida y del tabaco. Con la bajada de precios en la Glicerina se puede volver hacer razonable la reintroducción en estas áreas.

Importancia de la pureza de la glicerina:

Más del 95% de los usos de la glicerina se refieren a glicerina refinada. La aplicación final en los mercados serán importante en el desarrollo de procesos a gran escala en el consumo de glicerina. Entonces será importante determinar el efecto de la pureza de la glicerina en varios procesos de conversión.

Transformaciones catalíticas:

En un sentido la glicerina es también un azúcar y la tecnología catalíticas que funciona con glicerol también puede trabajar en conversiones de azúcar

Glicerina como sustituto de Polímeros:

Los polímeros no pueden ser totalmente sustituidos por glicerina. Antes se utilizaban polímeros, pero debido al bajo coste de la glicerina se está empezando a utilizar la glicerina.

Los investigadores japoneses encontraron que derivados de glicerina pueden ser utilizados efectivamente como un agente de anti-congelación. Este derivado está designado como un ecológico anti-congelante para uso en carreteras.

El Dr. Galen Suppes ha investigado tecnologías que conviertan glicerina natural, derivada de producción convencional de biodiesel, a propylene glycol, que puede ser utilizado para fabricar anti-congelante y otros productos.

Spooner Wyman ha sido responsable en el desarrollo del di-butoxy glycerine (DBG), un oxigenante de combustible que reduce las emisiones de materia, particularmente en motores de combustión.

Dr. Andrew Guo ha investigado el uso de la glicerina como un *cross linker* y como un material para mejorar la rigidez de materiales polyurethanes basados en soya.

El incremento en disponibilidad de glicerina en el mercado está alentando a la industria en la búsqueda de nuevos usos para la glicerina. Esto está alentando nuevas inversiones en R&D para desarrollar nuevas aplicaciones para la glicerina. Refinerías basadas en aceite vegetal, donde la glicerina puede ser utilizada como materia prima de construcción, está ganando más atención en la industria.

7.2 Purificación de glicerina en laboratorio Usac

Después de todas las pruebas técnicas, el estudio y análisis de los resultados nos disponemos a conseguir una glicerina de mayor pureza. Utilizaremos cinco pasos:

7.2.1 Ionización

Cuando se da la reacción de transesterificación la glicerina obtenida sale con OH^- lo que le da carácter básico a dicha glicerina, por tanto forma un glicerato.

Entonces habría que añadirle H_2O por exceso para disolver el glicerato separando de esta forma la parte metálica y básica.

7.2.2 Neutralización

Añadimos ácido clorhídrico a la solución acuosa glicerato consiguiendo de esta manera bajar el pH hasta hacerlo neutro. Mediante un potenciómetro se mide hasta que este lo más cercano al 7 (Neutro). Experimentalmente conseguimos obtener el valor de 7.2. Bajándose al mismo tiempo la viscosidad.

7.2.3 Destilación fraccionada a presión reducida:

En este método se intenta eliminar el metanol y el agua sobrante principalmente. Para este método llevamos a una temperatura de $80\text{ }^\circ\text{C}$ y 0.47 atm de presión la solución obteniendo glicerina de entre un 70% al 75% de pureza. Este dato lo sabemos gracias a un espectrofotómetro, por comparación con glicerina pura.

7.2.4 Desecación:

En este método se pretende eliminar el poco agua restante que pueda quedar. Para este método utilizaremos una desecadora marca Pirex lleno de “silica-gel” y un baker con la Glicerina. Introduciremos una cantidad de Glicerina pesada, después de una semana volvemos a pesar y vemos que cantidad de agua se ha eliminado es decir cuanto había y sobraba.

En nuestro caso introducimos 226.2 gr de glicerina y al cabo de una semana obtenemos tras la medición 224.2 gr es decir que 2 gr se evaporaron. La pureza no cambio demasiado con lo que concluimos que este método no es necesario.

7.2.5 Adsorción:

Este método trata de quitar iones metálicos remanentes, turbidez y la salinidad añadiendo carbono activo que debido a sus características y su estructura molecular es capaz de quitar elementos de la superficie de otros compuestos, esto se conoce como adsorción. Dándole al mismo tiempo transparencia a la Glicerina.

Con este método conseguimos aumentar su pureza hasta el 78%

CAPÍTULO VIII

OPTIMIZACIÓN DEL BIODIESEL

A medida que hemos ido trabajando para conseguir el mejor Biodiesel posible hemos tenido que realizar modificaciones a la planta y búsqueda de índices correctos principalmente. Entre las modificaciones se encuentran la instalación de una tubería para menor esfuerzo en la fase de filtrado, separación de glicerina y Biodiesel en tubo cónico con abertura en la parte inferior para una mejor separación de ambos componentes, instalación de un motor para obtener directamente aceite de sus propias semillas y la más importante ha sido el cambio de sus formulas para poder conseguir un Biodiesel de calidad, como el que ahora obtenemos

8.1 Introducción:

En la obtención del Biodiesel, utilizamos 3 componentes principalmente el aceite, la potasa y el metanol y se divide en 8 fases:

Para aceite no usado (digamos virgen) usualmente reaccionamos 20% metanol del volumen de aceite vegetal presente. Además, por el catalizador usamos 4 gramos de soda cáustica o 5.6 de hidróxido de potasio por litro de aceite, dependiendo del catalizador que escojamos. El Hidróxido de potasio tiene algunas ventajas, pero a menudo es más caro y por eso el uso de soda cáustica es más común. Si vamos a hacer Biodiesel de aceite vegetal usado, necesitamos asegurarnos que no haya agua en el aceite y necesitaremos agregar más catalizador. Agregamos mas catalizador porque el proceso de cocinar con aceite vegetal rompe los enlaces de los ácidos grasos, dejando ácidos grasos libres. Esos ácidos grasos libres reaccionarán con el catalizador, elegido, para formar jabones, gastando el catalizador antes del alcohol, lo cual puede hacer que el aceite reaccione. Para controlar esto, usamos una técnica de titulación para probar el contenido de los ácidos grasos libres y añadimos el catalizador hasta que los ácidos grasos libres estén neutralizados. La presencia de agua impedirá la reacción.

Cuando se use aceite quemado(usado) es necesario hacer la titulación (2ª Fase)

8.2 Fases

- 1ª Separación de los residuos que contenga el aceite
- 2ª Titulación
- 3ª Transerificación (mezcla del metóxido y aceite)
- 4ª Separación de glicerina y Biodiesel
- 5ª Lavado
- 6ª Secado
- 7ª Filtrado
- 8ª Prueba de calidad 3/27

8.2.1 Separación de los residuos que contenga el aceite

Para esta fase contamos con un tanque plástico de forma cúbica, de capacidad de 250 galones (1000 litros), orientado al sol para facilitar la decantación de las partículas.

El aceite vegetal reciclado que llega a la planta, en toneles plásticos, se debe filtrar antes de llenar los tanques ya que contienen restos de comida, partículas indeseables en suspensión y otros desechos.

Después de filtrarlo se deja reposando durante una semana para que se decanten las partículas que no fue posible eliminar al filtrar. Debido al peso y ayudado por la acción del sol cae el residuo al fondo de dicho tanque del cual se extrae y se recicla como comida para los cerdos de la propia comunidad.

Posteriormente se saca el aceite y se pasa a otro tanque de iguales características. Mediante una manguera conectada a una bomba y un motor se llevará al reactor de transesterificación para la posterior mezcla con el metóxido. Se recomienda no extraer el aceite que está depositado en el fondo

Bomba utilizada:

Marca MARONI-VILCO
Tipo: Centrífuga
Diámetro de succión / descarga: 1" x 1"
Capacidad de succión: 12 GPM
Altura máxima: 48 m
Caudal máximo: 40 l/min
Altura de succión: 9 m

Datos de motor:

Voltaje: 110/120 V
Potencia: 0.75 Hp (Kw. 0.5)
Frecuencia: 60 hz.
Revoluciones: 3400 RPM
Amperaje: 3.8 A

Fig.1 Tanques de almacenamiento



Fuente: El autor

Fig.2 Motor



Fuente: El autor

8.2.2 Titulación

Esta técnica se utiliza para probar el contenido de los ácidos grasos libres y añadimos el catalizador hasta que los ácidos grasos libres estén neutralizados. La presencia de agua impedirá la reacción. Es un proceso necesario cuando usemos aceites quemados.

Una vez introducimos el aceite limpio en el reactor sacamos una muestra de aceite, para calcular la cantidad de potasa necesaria para la obtención del Biodiesel. Se hace de la siguiente manera:

Se mezclan 1 g de potasa pura y un litro de agua, en ese orden, dando como resultado una disolución ($H_2O + KOH$) Esto será nuestra mezcla 1.

A continuación, y en este orden, se hace la muestra 2 con 10 ml de alcohol isopropílico 99%, 1ml de aceite y 3 gotas de fenofaleina (DPD-REAGENT#3)

En un frasco introducimos la mezcla 2 se le añade la mezcla 1, gota a gota ayudado por una jeringuilla, hasta que cambie de color (violeta) indicando que ácidos grasos libres se han neutralizado. En ese momento medimos la cantidad de mezcla 1 que fue necesaria, se hacen 3 pruebas y se saca la media. Consideramos el aceite bueno que toma 3 ml o menos del probador de la referencia y el aceite malo que requiere mas de 4 ml.

Llamamos al aceite “malo” porque necesitará más catalizador lo que significa: que será más difícil de disolverse en el metanol, será más caro, y hace más probable que produzcamos jabón excesivo en la reacción.

La reacción sería:

1 Aceite Vegetal + 3 Metanol \rightarrow (calor/catalizador) \rightarrow 3 Biodiesel + 1 glicerol libre
1 Aceite Vegetal + catalizador \rightarrow (calor) \rightarrow jabón

Una vez obtenidos los mililitros (X) necesarios se aplica la siguiente fórmula:

$$X + \text{índice} = \text{gramosPotasa} / \text{litro}$$

Como ya sabemos que cantidad del catalizador se requirió para neutralizar 1 mililitro de esta muestra de aceite, podemos calcular la cantidad de catalizador que se requeriría para cualquier cantidad del aceite que estemos reaccionando.

El índice puede cambiar, en nuestro caso empezamos la experimentación con un índice de 5.6, posteriormente de 7 y finalmente de 9. Concluyendo después de las pruebas de calidad que el mejor en nuestro caso es 7.

Para una mayor comprensión, supongamos que después de hacer las 3 pruebas obtenemos una media de 5ml de la mezcla 1 y que contamos con un reactor de 181,6901 litros(48 Galones). 1Galón=3.784375Litros

$$5ml + 7 = 12g.Potasa / litro$$

$$12gr \cdot 181.6901lros = 2180.28g.Potasa$$

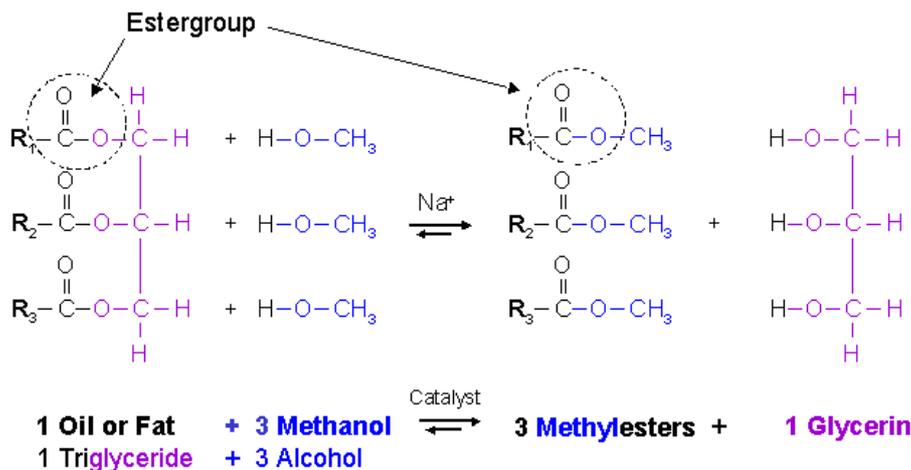
Esta es la cantidad de Potasa que hay que añadir al metanol para la obtención del metóxido

8.2.3 Transesterificación(mezcla de metóxido y aceite)

Por otra parte sabemos que la cantidad de Metanol necesario es el 20% del total de aceite añadida. Entonces en un recipiente de plástico mezclamos el Metanol, durante 10 minutos, con los gramos de potasa obtenidos en la titulación quedando mezclado uniformemente el metóxido, es decir todo la potasa disuelta.

Los introducimos en el reactor de transesterificación donde previamente el aceite se ha recirculado, mediante un motor y se ha llevado a 55°C gracias a una resistencia y un termostato(incluido en el reactor) Este proceso lleva aproximadamente 30 minutos.

Fig. 14 Transesterificación



Después introducimos el metóxido en el reactor por medio de una manguera acoplada al envase plástico con la ayuda de un motor. Una vez introducido en el reactor de transesterificación el mismo motor recircula durante 10 minutos la mezcla.

Anteriormente el proceso de mezcla y precalentamiento se hacía durante 1.5 horas, ahora solo 40 minutos.

La tecnología que se aplica en el Reactor fue diseñada por María Girl Mark, es un reactor seguro y de costo de fabricación bajo, ha sido usado por varios fabricantes de Biodiesel en Estados Unidos. El Biodiesel que se fabrica mediante este diseño cumple con las normas de calidad de la ASTM, La compañía Appleaseed comercializa el reactor con algunas modificaciones.

El diseño del reactor facilita la completa reacción de transesterificación, permite crear condiciones físicas de temperatura (55 °C) y con la ayuda de una bomba circular el fluido.

El Reactor es un calentador de agua común al que se le hacen algunas modificaciones previas, las cuales son:

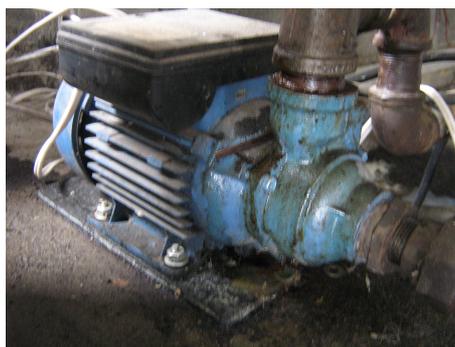
- Eliminar el tubo para agua caliente
- Sacar la barra anódica
- Quitar la válvula de drenaje
- Anular la resistencia superior

Fig.15 Reactores



Fuente: El autor

Fig.16 Motor



Fuente: El autor

Una vez transcurrido los 40 minutos, se pasa la mezcla al primer tanque cilíndrico de fondo cónico de acero al carbono, con capacidad de 55 galones.

8.2.4 Separación de Biodiesel y Glicerina

En este tanque cilíndrico de fondo cónico de acero al carbono, se deja reposar durante 12 horas y no 24 como anteriormente. También antes se dejaba reposar en el mismo reactor lo que provocaba que se desaprovechase parte del producto ya que la salida del reactor no está en la parte inferior del mismo sino elevado unos 5 cm (9 litros aproximadamente de desperdicio)

Después de las 12 horas se observan claramente diferenciadas las dos fases, por su color y densidad, del Biodiesel y glicerina.

La glicerina, más oscura y más densa, se deposita en el fondo del tanque el cual tiene acoplado un nicle de 2" de largo y $\frac{3}{4}$ " de diámetro roscado, pintado de negro mate, con una llave de paso y terminado en una manguera transparente.

De este tanque se extrae la glicerina por gravedad abriendo una llave de paso, viendo a través de la manguera el cambio de color. La cantidad de glicerina extraída debe estar en torno al 22% del total del depósito

Medidas Tonel:

Diámetro borde exterior: 57.8 cm

Altura aproximada: 90.0 cm de altura.

Medidas del cono:

$$r = 57.8 / 2 = 28.9 \text{ cm}$$

$$h = 30.5 \text{ cm}$$

$$hi (\text{generatriz del cono}) = 42 \text{ cm}$$

Fig.17 Tanques de lavado y secado



Fuente: El autor

8.2.5 Lavado

Una vez extraída la glicerina del tanque cónico y mediante una tubería acoplada a un aspersor se agrega el agua de forma que no incida directamente al Biodiesel, sino sobre una de las paredes del tanque cónico evitando que se creen emulsiones.

Para el lavado estamos utilizando aproximadamente 34 litros de agua por lavado. Este agua debido a su densidad va al fondo del tanque arrastrando las posibles trazas que pudieran quedar de glicéridos.

En nuestras ultimas investigaciones hemos considerado que unos 30 lavados son suficientes aunque hay ir viendo como sale el agua después de cada lavado para ver si hay que parar o continuar (aproximadamente 1000 litros de agua)

Para esta comunidad se recomienda:

El uso de tanques de almacenamientos de agua en el techo para no tener que depender de la presión con la que llega el agua, debido al mal funcionamiento en varias ocasiones de la misma, debido a la no independencia de la tubería que llega hasta la planta o por problemas bastantes usuales de roturas y demás debido al largo recorrido desde el nacimiento. De esta forma se garantizaría un continuo en la producción del Biodiesel.

Y el cambio del sistema de un solo aspersor por otro, bien sea tipo malla micro perforada o más aspersores de forma que toda la pared del tanque cónico fuese cubierta.

Se recomienda el uso de agua caliente, ya que la experimentación nos dice que reducimos a la mitad el consumo de agua

También se recomienda lo siguiente aunque esto sea más indicado para lugares con escasez de agua.

En este momento nuestro objetivo es reducir el consumo de agua, no ya por esta comunidad que cuenta con varios nacimientos naturales, sino para poder implementar la obtención del Biodiesel en zonas con escasez de la misma.. Para ello tenemos varias soluciones que combinadas nos darían una mejora:

- 1° Recirculación del agua a partir del 10 lavado (Aproximadamente)
- 2° Tratamiento del agua de esos primeros 10 lavados, para su posterior utilización
- 3° Combinar una serie de aspersores de tal forma que nos solo arrastrase desde una pared, sino abarcando la mayor superficie posible. Una solución factible es hacer una malla de tuberías micro perforadas o poner 4 aspersores de tal forma que colmasen toda la superficie del tanque.

Fig. 18 Aspersor en el tanque de lavado



Fuente: El autor

8.2.6 Secado

En el secado quitamos el agua y el posible metanol que aún pueden quedar. Para ello pasamos el Biodiesel al segundo tanque cónico de igual características que el primero, pero que además lleva en el fondo acoplada una resistencia y un motor que hace recircular el Biodiesel cayendo de nuevo al tanque mediante dos alcachofas de ducha.

Para secar el Biodiesel se usa la resistencia, para evaporar más rápido el agua y metanol que aun pueda éste contener y se recircula el Biodiesel en el depósito de lavado con bomba centrífuga.

Este proceso lo hemos reducido de 12 horas a 8 horas aunque se puede parar en el momento que el Biodiesel empiece a brillar y se vea cristalino. Una vez el Biodiesel se vea de esa forma pasamos a la fase de filtrado

Motor:

Voltaje: 110/120 V
Potencia: 0.75 Hp (0.5 Kw.)
Amperaje: 3.8 A

Resistencias:

Potencia: 1500 W
Voltaje: 120V

Fig. 19 Regaderas del tnaque de secado



Fuente: El autor

Fig.20 Motor



Fuente : El autor

8.2.7 Filtrado

Mediante el mismo motor con el que recirculábamos el Biodiesel en la fase de secado se trasvasa mediante una tubería, que hemos acoplado en la parte superior del tanque, a un filtro de manga de 5 micras para refinarlo y almacenarlo en recipientes plásticos. Para su posterior prueba de calidad y almacenamiento

8.2.8 Test 3/27

Este test se realiza para ver el contenido de glicéridos, di-glicéridos o tri-glicéridos restantes, que hacen que sea de menor calidad el producto como combustible.

Ponemos en relación 9 (Metanol) a 1 (Biodiesel) 225 y 25 ml por ejemplo a 20°C (68° F) y en ese orden en un frasco con tapadera, agitamos y esperamos 15 minutos para ver si forma trazas aceitosas, es decir si es más o menos cristalino.

Si no forma trazas es de alta calidad, tiene pocos tri-glicéridos, di-glicéridos y/o glicéridos. También hay que tener en cuenta si la temperatura ambiente es muy diferente de 20°C ya que en este caso debes mantenerla por ejemplo “baño maría”, es decir meterlo dentro de un recipiente con agua a esa temperatura.

Si sale con trazas lo más razonable sería bajar el índice, en la formula a la hora de hacer la titulación para no añadir tanta potasa en el proceso de fabricación del Biodiesel que es lo que forma más glicéridos.

Fig. 21 Comparativas con Test 3/ 27



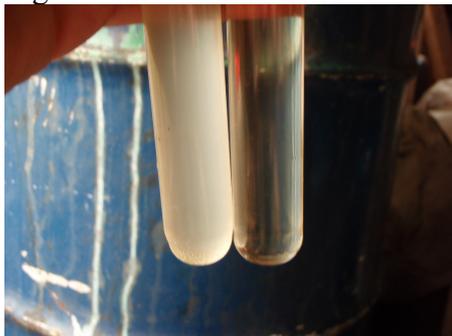
Fuente: El autor

Fig. 22 Prueba 3/27



Fuente: El autor

Fig. 23 Control de calidad



Fuente : El autor

El test 3/27 puede verse en:

<http://es.youtube.com/watch?v=R3jGvefA4OI>

Ejemplo práctico del proceso del Biodiesel

Hacemos las **titulaciones** y obtenemos un resultado medio de 11,2ml de solución de potasa y agua. Entonces aplicamos la fórmula con índice 5,6 obteniendo un resultado igual a 16.8 gramos de potasa por litro de aceite. En nuestro caso(al tener 181,69 litros) obtenemos que debemos añadir 3052.39 gramos de potasa al metanol. El metanol debe ser el 20% del total del aceite, es decir 36.33 litros de metanol.

$P = 11.2 \text{ ml} + 5.6 = 16.8 \text{ gr de potasa / litro} \Rightarrow$

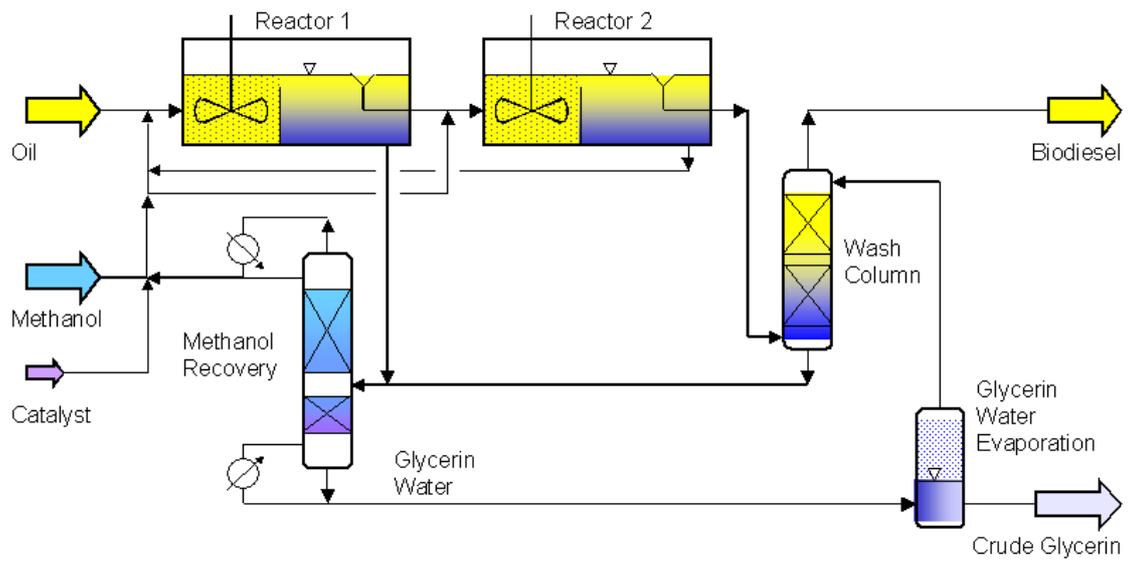
$16.8 \text{ gramos} \times 181.6901 \text{ litros} = 3052.39 \text{ gr de potasa}$

Utilizamos un 20% de metanol del total de aceite = 36.33 litros Metanol

Después de hacer la mezcla entre el metanol y la potasa, añadimos al aceite precalentado dicha mezcla. Lo recirculamos por 15 minutos a 55°, en el **reactor**, y lo pasamos al tanque de lavado donde permanecerá 12 horas, para la posterior **extracción de la glicerina** por gravedad. Una vez extraemos la glicerina, empezamos el **lavado** del Biodiesel, con agua desde arriba. Las impurezas son arrastradas por el agua. Realizamos 30 lavados de 34 litros y pasamos el producto al siguiente bidón donde empieza la fase de **secado** por un periodo de 12 horas

Después del **filtrado** realizamos el **test 3/27** y vemos la pureza del Biodiesel.

Fig.24 The Lurgi Biodiesel Process



CAPÍTULO IX

QUEMADOR INDUSTRIAL (Xelapan)

9.1 Introducción

Un quemador es un dispositivo para quemar combustible líquido, gaseoso o ambos (excepcionalmente sólido) y producir calor generalmente mediante una llama.

Habitualmente va asociado a una caldera o un generador de calor para calentar agua o aire, pero también se usa en procesos industriales para calentar cualquier sustancia.

Por su tamaño van desde uno como un encendedor de cigarrillos para calentar una probeta hasta uno gigantesco capaz de producir 30000 KW o más.

El combustible usado puede ser gaseoso, generalmente gas natural, butano propano etc., líquido generalmente gasóleo (también fuel) o una combinación de ambos (gas y gasóleo), por supuesto Biodiesel, Diesel y en según que casos Glicerina

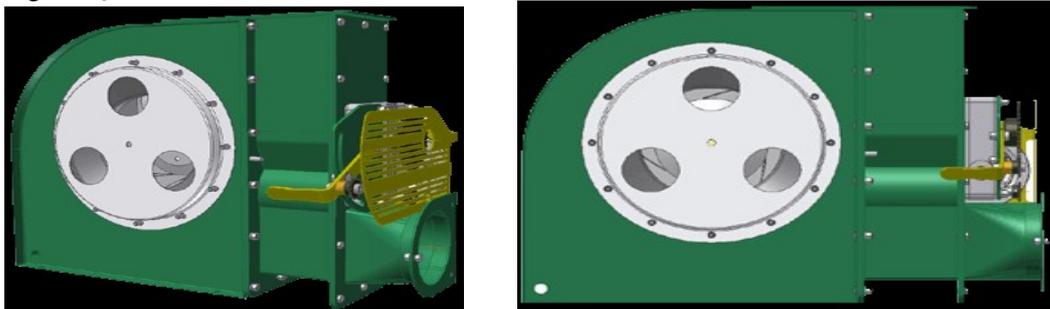
Los hay atmosféricos que producen la llama a presión ambiente y con soplante, donde un ventilador se encarga de aumentar la presión del aire necesario para la combustión, esto hace que se pueda quemar más cantidad de combustible y el rendimiento sea superior.

En algunos países del Este como Polonia y Ucrania también se solía mezclar polvo de carbón con gas para aumentar el poder calorífico del combustible, pero no es norma habitual hoy en día.

Está compuesto básicamente por cinco elementos:

1. Ventilador centrífugo de alta eficiencia, capaz de suministrar el comburente a una velocidad que sustenta y distribuye las partículas combustibles en la bóveda de combustión.
2. Tolva alimentadora de combustible.
3. Dispositivo dosificador del combustible.
4. Ducto de mezcla "Combustible - Comburente"
5. Dispositivo distribuidor de la mezcla hacia el interior del hogar de combustión.

Fig. 25 Quemador industrial



Fuente: www.pmtgi.com.mx

9.1.1 Principio de funcionamiento con combustible líquido

Una bomba se encarga de someter el combustible a una elevada presión que al introducirlo por un tubo hacia una boquilla con un orificio muy pequeño, hace que salga pulverizado (como un aerosol) y mezclado con aire que un ventilador se encarga de introducir en el hogar de la combustión y es justo en ese momento cuando se produce una ignición para prender una llama. Este por medio de un arco de ignición.

9.1.2 Principio de funcionamiento con combustible gaseoso

En este proceso no es necesario el paso de convertir el líquido en gas, se introduce directamente el gas mezclado con el aire en el hogar y mediante una chispa se prende la llama.

En este sistema hay más dispositivos de seguridad porque al contrario que con el líquido, el gas si arde en condiciones ambientales, el gasoleo es necesario calentarlo o someterlo a presión para que arda.

9.2 Antecedentes

En nuestro caso utilizamos un quemador industrial Beckett modelo “KCP 111 ESOO2BX” acoplado a una caldera para el calentamiento de agua. Esta agua es utilizada para el lavado de material en la fabrica de pan y dulces “Xelapan”, ubicada en las afueras de Quetzaltenango (Guatemala).

El combustible utilizado hasta el momento es Diesel, nuestra intención es probar que es posible utilizar Biodiesel al 100% y Glicerina (pura, emulsionada o mezclada).

Fig. 26 Quemador industrial Beckett



Fuente: El Autor

9.3 Datos del quemador con Diesel

Una vez revisada la información del encargado de suministrar el diesel al depósito de la caldera desde el 01-05-08 hasta el 08-08-08 se obtuvo el consumo promedio durante éste período de tiempo dando como resultado un consumo de 11.59 galones diarios.

Esta información fue corroborada con los registros de compras de biodiesel que se encuentran en el departamento de producción.

No obstante se procedió a tomar datos diarios del consumo real del quemador, llenando el tanque de suministro diariamente tomando datos del consumo, en el periodo comprendido entre el 14-08-08 y el 08-09-08 (26 días), dándonos como promedio general de consumo es de 13 galones diarios. Esta cifra tiene una desviación de galón pues varía según sea el caso.

Consumo = 13 galones /DIA

El tiempo del trabajo del quemador pudo ser establecido con la ayuda del horómetro, del cual se obtuvieron los datos a partir del día 12-08-08 al 05-09-08 (25 días), datos tomados a la misma hora durante este período de tiempo.

Estos datos arrojaron que el quemador de la caldera trabaja un tiempo promedio de 6.43 horas al día, teniendo fluctuaciones que son provocadas por las mismas expuestas en el consumo de combustible.

Tiempo promedio = 6.43 horas/dia

Estos dos datos nos llevan a saber que el quemador consume un promedio de 2.02 galones por hora, información que está acorde con las indicaciones del fabricante del quemador.

Consumo promedio = 2.02 Galones/hora

El quemador de la caldera funciona por ciclos de trabajo, los cuales pueden variar según el uso de agua caliente que se tenga en la fábrica, el consumo de agua caliente generalmente es mayor por las mañanas cuando se lavan bandejas y cuando hay cambio de turno en producción, en estos horarios el quemador funciona normalmente con ciclos de tiempo de 5.5 minutos teniendo un consumo promedio por cada ciclo de 1.2 galones de diesel.

Tiempo = 5.5 minutos/ciclo
Consumo = 1.2 Galones/ ciclo

El quemador trabaja con 80 PSI de presión, relación de aire de 5 y con una boquilla 1.5 otorgando así una temperatura sobre la llama de 950 °C y una temperatura en la llama de 1010 °C.

Temperatura de llama = 1010°C

9.4 Pruebas con Biodiesel

Para la prueba se utilizaron 5 galones de Biodiesel (Muestra 4°) provenientes de la finca Nueva Alianza

Sabiendo que las densidades eran muy parecidas (0.837 para el Biodiesel y 0.829 para el Diesel) y las viscosidades cinemáticas no eran tan dispares (para el Biodiesel y para el Diesel) todo hacia suponer que funcionaria. Después de estas premisas se procedió a realizar la prueba con Biodiesel.

9.4.1 Sin cambios de presión

Se suministró al quemador por medio de un depósito que tiene conexión con la tubería que suministra Diesel al quemador.El quemador calibrado en 80 PSI de presión y con mezcla de aire en 5.

Se pudo notar que al empezar el ciclo el quemador no lograba quemar el biodiesel instantáneamente, por lo que cuando lo empezaba a hacer ocurría un pequeño estallido. El quemador lograba encender el biodiesel alrededor de 5 segundos y luego despedía humo blanco (lo que indica que la mezcla era muy pobre).

Después de este fracaso se procedió a realizar mezclas de Biodiesel-Diesel para determinar hasta que proporción el quemador podía funcionar.

9.4.2 Mezclándolo con Diesel

Se realizaron pruebas con proporciones que iban desde 80% de biodiesel y 20 % de diesel (proporción 4:1) hasta la proporción 40% de biodiesel y 60% de diesel (proporción 2:3), de las cuales se obtuvieron los datos que se presentan a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 9.1 Mezcla Diesel-Biodiesel

Proporción	Presión	Aire	Tiempo de funcionamiento	Descripción.
Proporción 4:1	80 PSI	5	10 segundos	El quemador empezaba a funcionar con un pequeño estallido y en el tiempo de trabajo proporcionaba una llama muy oscura. No terminaba el ciclo.
Proporción 3.5:1.5	80 PSI	2, 5 y 8	25 segundos	El quemador empezaba despidiendo humo blanco y después de un pequeño estallido empezaba a quemar la mezcla. Al variarle la proporción de aire funcionaba el mismo tiempo. La cantidad de humo blanco aumentaba con la mezcla pobre y disminuía con la mezcla rica. (aire en 2)
Proporción 2:3	80 PSI	5	46 segundos	El quemador despedía humo blanco en menor proporción que en las pruebas anteriores y empezaba a quemar con más facilidad, la llama se tornaba más amarilla, pero no terminaba un ciclo completo.
Proporción 1:1	80 PSI	4,5,6 y 7	1.03 minutos para aire 4,5 y 6 20 segundos para aire en 7	Con esta proporción quemaba la mezcla casi instantáneamente. La llama era más amarilla y parecida para las distintas relaciones de aire, solo que con relación de aire 7 disminuyó el tiempo de trabajo.
Proporción 2:3	80 PSI	5	6.11 minutos	En este caso empezó a trabajar sin ningún problema, la llama se parecía mucho a la que se obtiene con Diesel puro. Logró terminar un ciclo completo e iniciar nuevamente sin ningún problema. El consumo promedio de cada ciclo fue de 1.2 galones

Nota: La información obtenida de las mezclas de biodiesel-diesel se logró realizando varias veces cada prueba por lo que los números presentados anteriormente son promedios de cada una de ellas

9.4.3 Con Cambios de presión

En esta última prueba realizada se procedió a variar la presión del quemador para determinar hasta qué punto éste podía quemar el Biodiesel y se partió de las condiciones normales de trabajo, es decir, las características del quemador que se presentaron anteriormente.

Al ver que en las condiciones de 80 PSI (5.445 Atm) de presión, no se producía la combustión deseada ni el tiempo de trabajo deseado, se aumento la presión de 10 en 10 PSI.(0.680 Atm)

Se procedió a aumentar la presión a 90, 100 y 120 PSI (6.126, 6.807 y 8.168 Atm) casi con las mismas consecuencias que el caso anterior. Estos cambios de presión presentaban mejorías mínimas tanto en el tipo de llama como en el arranque del quemador y el tiempo de trabajo de cada prueba.

Posteriormente se calibró a 130 PSI ,con mezcla de aire en 5, y fue cuando se obtuvo una quema del combustible con normalidad, sin el pequeño estallido que realizaba en las pruebas anteriores con relaciones de Biodiesel-Diesel, la llama es más amarilla que la que se obtiene con el Diesel, terminó bien el ciclo y empezó de nuevo sin problemas y se obtuvo un rango de temperaturas en la llama entre 960°C y 940 °C, muy parecidos al del Diesel (1000°C -1020°C). El consumo aumento de 1.2 galones a 2 galones por ciclo y el ciclo aumento en tiempo estos cambios pudieron ser ocasionados por muchas variables.

Tiempo = 6.3 minutos/ciclo
Consumo = 2 Galones /ciclo
Temperatura de llama = 950°C

Fig 27 Biodiesel a 130 Psi



Fuente: El autor

Fig 28 Biodiesel a 160 Psi



Fuente: El autor

Nota: También probamos a mayores presiones dando un buen resultado, lo que indica que a partir de 130 Psi funciona para este tipo de quemador industrial. Recomendándose el uso a la mínima presión que funciona para rentabilizar en el proceso.

Fig.29 Temperatura Biodiesel



Fuente: El autor

9.5 Pruebas con Glicerina

Sabiendo, por las pruebas anteriores, la importancia de los cambios de presión empezamos a realizar la prueba con la máxima presión que el quemador industrial podía dar (200 PSI) y fuimos bajando progresivamente hasta el rango en el cual trabaja el Diesel (80 PSI). Estas pruebas se realizaron a una temperatura ambiente de 20°C y los resultados obtenidos fueron siempre, para nuestra desilusión, casi los mismo. La prueba resultaba nula.

Supusimos entonces que con un precalentamiento la viscosidad disminuiría. Precalentamos y homegenizamos, mediante un agitador y una resistencia sumergible de 1000W a 60 C y a 80C, y empezamos la prueba a la máxima presión(200Psi) y fuimos disminuyéndola hasta la mínima(80 Psi) pero en todas las pruebas el quemador industrial no arranco, solo creo niebla

Fig.30 Precalentamiento



Fuente: El autor

Fig.31 Homegenizado



Fuente: El autor

Fig.32 Glicerina calentada



Fuente: El autor

Fig.33 Niebla



Fuente: El autor

CAPÍTULO X

SEGURIDAD E HIGIENE

10.1 Introduccion

En este tema vamos a mostrar las cartas de seguridad de los diferentes productos que utilizamos en el proceso de elaboración de Biodiesel, aparte de rogar la utilización de guantes, gafas, extintores, introducir el envase de metanol en un pozo con agua previniendo posibles fugas y la mayor precaucion en todo el manejo de dichos productos

10.2 Cartas químicas de seguridad internacional

GLICEROL

ICSC: 0624

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible.	Evitar llama abierta.	Polvos, espuma resistente al alcohol, pulverización de agua, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Riesgo de incendio y explosión por contacto con agentes oxidantes fuertes.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR LA PRODUCCION DE NIEBLAS!	
• INHALACION	Tos, dificultad respiratoria.	Ventilación.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y someter a atención médica.
• PIEL	Piel seca.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
• OJOS	Enrojecimiento.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con

			facilidad), después consultar a un médico.
<ul style="list-style-type: none"> INGESTION 	Calambres abdominales, dolor abdominal, diarrea, vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, náusea.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca; dar a beber una papilla de carbón activado y agua, provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!). Reposo y suministrar a atención médica.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Ventilación. Recoger el líquido procedente de una fuga en recipientes tapados, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).	Separado de oxidantes fuertes. Herméticamente cerrado. Mantener en lugar seco.		
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0624	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994		

International Chemical Safety Cards

GLICEROL

ICSC: 0624

D A T O S S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro viscoso, higroscópico.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación de sus nieblas.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire por pulverización.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al arder, en contacto con superficies calientes u oxidantes fuertes, bajo la influencia de sustancias higroscópicas, produciendo acroleína. Reacciona con oxidantes fuertes originando riesgo de incendio y explosión.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 10 mg/m ³ (nieblas) (ACGIH 1990-1991).	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición (se descompone): 290°C Punto de fusión: 18-20°C Densidad relativa (agua = 1): 1.261 Solubilidad en agua: Muy buena Presión de vapor, Pa a 20°C: <0.1	Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.17 Punto de inflamación: 160°C Temperatura de autoignición: 400°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 0.9-?
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
La alerta por el olor es insuficiente cuando se supera el valor límite de exposición. Código NFPA: H 1; F 1; R 0;		

METANOL

ICSC: 0057

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable. Arde con una llama invisible. Explosivo.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones (véanse Notas).	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR LA EXPOSICION DE ADOLESCENTES Y NIÑOS!	
• INHALACION	Tos, vértigo, dolor de cabeza, náuseas.	Ventilación. Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	¡PUEDE ABSORBERSE! Piel seca, enrojecimiento.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Dolor abdominal, jadeo, pérdida del conocimiento, vómitos (para mayor información véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!) y proporcionar asistencia médica.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Evacuar la zona de peligro. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos, eliminar el líquido derramado con agua abundante y el vapor con agua	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar fresco.	No transportar con alimentos y piensos. símbolo F símbolo T R: 11-23/24/25-39-23/24/25 S: (1/2-)-7-16-36/37-45	

pulverizada. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).



Clasificación de Peligros NU: 3
Riesgos Subsidiarios NU: 6.1

Grupo de Envasado NU: II
CE:

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

ICSC: 0057

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994

International Chemical Safety Cards

METANOL

ICSC: 0057

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p>
	<p>PELIGROS FISICOS El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.</p> <p>PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo monóxido de carbono y formaldehído. Reacciona violentamente con oxidantes, originando peligro de incendio y explosión. Ataca al plomo y al aluminio.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 200 ppm; 262 mg/m³ (piel) (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 250 ppm; 328 mg/m³ (piel) (ACGIH 1993-1994).</p>	<p>RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION CORTA La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central, dando lugar a una pérdida del conocimiento. La exposición por ingestión puede producir ceguera y sordera. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, dando lugar a dolores de cabeza persistentes y alteraciones de la visión.</p>
PROPIEDADES FISICAS	<p>Punto de ebullición: 65°C Punto de fusión: -94°C Densidad relativa (agua = 1): 0.79 Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 12.3 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.1</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.01 Punto de inflamación: (c.c.) 12°C Temperatura de autoignición: 385°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 6-35.6 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.82/-0.66</p>
DATOS AMBIENTALES	 <p>La sustancia presenta una baja toxicidad para los organismos acuáticos y terrestres.</p>	
NOTAS		
<p>EXPLOSION/PREVENICION: Utilídense herramientas manuales no generadoras de chispas. Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-36 Código NFPA: H 1; F 3; R 0;</p>		

HIDROXIDO DE POTASIO

ICSC: 0357

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible (véanse Notas).		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION			
EXPOSICION		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
• INHALACION	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Enrojecimiento, quemaduras cutáneas graves, dolor.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria si se trata de polvo.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Dolor abdominal, sensación de quemazón, diarrea, vómitos, colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito, dar a beber agua abundante y proporcionar asistencia médica.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Barrer la sustancia derramada,	Separado de ácidos fuertes,	No transportar con alimentos y	

<p>introducirla en un recipiente adecuado y eliminar el residuo con agua abundante. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).</p>	<p>metales, sustancias combustibles y alimentos y piensos. Mantener en lugar seco, bien cerrado (véanse Notas).</p>	 <p>piensos. símbolo C R: 22-35 S: (1/2-)26-37/39-45 Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II CE:</p>
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE		
<p>ICSC: 0357</p>	<p>Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994</p>	

International Chemical Safety Cards

HIDROXIDO DE POTASIO

ICSC: 0357

D A T O S P E L I G R O S	ESTADO FISICO; ASPECTO Sólido blanco, delicuescente, inodoro.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva en ambientes húmedos para metales tales como cinc, aluminio, estaño y plomo originando hidrógeno (gas combustible y explosivo). Rápidamente absorbe dióxido de carbono y agua a partir del aire. El contacto con la humedad o el agua puede generar desprendimiento de calor (véanse Notas).	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación del aerosol de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas).
	LIMITES DE EXPOSICION TLV (valor techo): 2 mg/m ³ (ACGIH 1993-1994).	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 1324°C Punto de fusión: 380°C Densidad relativa (agua = 1): 2.04	Solubilidad en agua, g/100 ml a 25°C: 110 Presión de vapor, kPa a 714°C: 0.13
DATOS AMBIENTALES	 Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.	
NOTAS		
INCENDIO/PELIGROS: El contacto con la humedad o el agua puede generar el suficiente calor para producir la ignición de sustancias combustibles. El valor límite de exposición laboral aplicable no debe superarse en ningún momento de la exposición en el trabajo. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello, imprescindibles. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión. Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-123 Código NFPA: H 3; F 0; R 1;		

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La calidad del Biodiesel depende de la acidez del aceite utilizado como materia prima y la calidad de fabricación, entre más ácidos grasos saturados contenga, posee mayor número de cetano y estabilidad a la oxidación, pero es más difícil de emplear en lugares con temperaturas bajas por su alto punto de enturbiamiento.
2. Las propiedades evaluadas del Biodiesel obtenido, cumplen con las especificaciones técnicas que exige el Reglamento Técnico Centro Americano basado en la norma ASTM D 6751 para Biodiesel, lo que da como resultado un buen combustible a la espera de saber el índice de cetano.
3. La utilización del Biodiesel como combustible contribuye con la reducción de emisiones de contaminantes ambientales que provocan el efecto invernadero.
4. Los principales retos que se deben superar para el uso de Biodiesel son: costo de fabricación para producir pequeñas cantidades, calidad variable con la utilización de materia prima para su fabricación (origen del aceite, metóxido potásico o sódico, alcohol metanol o etanol), ahorro de agua mediante tratamiento de aguas, estabilidad del combustible a la oxidación, contaminación, incompatibilidad con materiales como gomas naturales, cobre y aluminio, incremento de emisión de NOx comparado con el diesel.
5. Sería una elegante solución usar la glicerina en el precalentamiento del aceite vegetal en el proceso de fabricación del biodiesel, favoreciendo de esta manera el reciclaje.
6. El agua utilizada para el lavado debe ser filtrada, tratada y utilizada de nuevo, para posteriores lavados de biodiesel.
7. La implementación de nuevos usos de la Glicerina también ayudará a solucionar el problema del desperdicio de la misma. Bien sea mezclándola con PVC para la fabricación de ladrillos, como lubricante, para poliuretanos o bien, por poner otro ejemplo, como materia prima para la fabricación, junto con virutas, de maderas altamente inflamables.
8. El uso de la glicerina en quemadores industriales se puede hacer siempre y cuando se rebaje la viscosidad ya que de lo contrario obstruiría la boquilla una posible solución es mezclándolo con etanol aunque no es rentable en este momento. También podemos rebajarle la viscosidad añadiéndole un ácido
9. En principio parece viable el uso de la glicerina como combustible en el motor, tipo Lister, que se utiliza en el beneficio del café de la comunidad Nueva Alianza.
10. El Biodiesel puede hacerse con etanol, pero el etanol debe estar libre de agua. Una manera de secarlo es mediante la utilización de glicerina. El inconveniente es que la glicerina debe ser del 99% y esto es tarea difícil ya que el punto de ebullición es muy elevado
11. Se recomienda el uso de Biodiesel para el quemador industrial de Xelapan. Estando pendiente verificar y estudiar con más detenimiento lo relacionado al consumo y al tiempo de los ciclos.
12. El uso de Glicerina, directamente, en el quemador industrial de Xelapan no es posible. No queriendo decir con esto que no es posible para otros quemadores industriales o con solo la modificación de las distancias entre boquilla y arco(se necesita probar)
13. Se recomienda no obstante la búsqueda de un emulsionante, para su utilización con Bunker o con otro tipo de combustible

14. El uso de la Glicerina para la fabricación polímeros en la USAC de Guatemala ha sido relativamente exitosa ya que los compuestos obtenidos son demasiado gelatinosos, aún se esta estudiando un uso.
15. Partiendo de Glicerina y adicionando oxido de etileno, se hace reaccionar con isocianato y tenemos el poliuretano, para hacer espumas, colchones, etc. Este es un uso comercial actual de Glicerina y el que proponemos.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias:

Licht , F.O. (2003), *World Ethanol and Biofuels Report Vol 1, No. 19*

Koerbitz, W. (2003) and Kossmann, J. *Production and Use of Biodiesel*, Risoe Energy Report 2, Risoe National Laboratory

Resnick , Robert (1991), *Fisica Vol. 1 , 4° Edición*. Editorial Cecsca

Kotz, Jonh C. (2003), *Química y reactividad química 5° Edición*. Editorial Thomson

Chang, Raymond (2003), *Química, 4° Edición*. Editorial McGraw Hill

Bekett comercial - *Oil Burner Manual*

Hach(2006) - *Pruducts for water analysis*

Documentos electrónicos:

<http://www.gabioenergy.org/presentations.html>

<https://www.frost.com/prod/servlet/market-insight-top.pag?docid=77264824>

<http://www.eureka.be/inaction/AcShowProject.do?id=3590>

<http://www.lei.lt/main.php?m=260&k=9>

<http://www.seas.upenn.edu/courses/belab/LabProjects/2002/be210s02w4.doc>

http://www.journeytoforever.org/biodiesel_glycerin.html#burn

<http://www.eeci.net/archive/biobase/B10288.html>

<http://v3.espacenet.com/textdoc?DB=EPODOC&IDX=EP1852494&F=0>

<http://www.biodieselcommunity.org/methanoltest/>

<http://es.wikipedia.org/wiki/1,2,3-Propanotriol>

<https://www.frost.com/prod/servlet/market-insight-print.pag?docid=77264824>

<http://www.mtas.es/insh/ipsnspn/nspn0624.htm>

www.astm.org

<http://Biodieselamerica.org/>

<http://biodieselamerica.org/>

<http://www.eco2site.com/Biodieselenelmundo.html>

<http://www.Biodiesel-uruguay.com/>

http://www.cleanairnet.org/infopool_es/1525/propertyvalue-17757.html

<http://www.iram.com.ar/Normalizacion/departamentos/oe.asp?>

[mOrg=147483287&nOrg=SubComit%C3%A9%20Calidad%20de%20Combustibles](http://www.iram.com.ar/Normalizacion/departamentos/oe.asp?mOrg=147483287&nOrg=SubComit%C3%A9%20Calidad%20de%20Combustibles)

<http://www.SalonAuomotriz.htm>

<http://www.cemitec.com>

<http://JourneytoForever.org>

<http://www.Biodiesel.org/>

www.Biodiesel.org/fuelfactsheets/emissions.pdf

<http://www.abcBiodiesel.com.ve>

Articulos:

Reglamento Técnico Centroamericano, RTCA 75.02.43:0.pdf

Biodiesel yields a net energy balance ratio of 1.93 (i.e. 93% more energy produced than the energy invested in its production, whereas ethanol yields only 25% more energy): J. Hill, E. Nelson, D. Tilman, S. Polasky, D. Tiffany, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2006, 103, 11206

Glycerol based automotive fuels from future biorefineries
Sandun Fernando, Sushil Adhikari, Kiran Kota, Ranjitha Bandi
Department of Agricultural and Biological Engineering, Mississippi State University, Mississippi State, MS 39762, USA Received 22 June 2006; received in revised form 12 February 2007; accepted 9 March 2007 Available online 16 April 2007

Combustion of propanol–glycerol mixture droplets in reduced gravity
V. Dee, B.D. Shaw
Mechanical and Aeronautical Engineering Department, University of California, Davis, CA 95616, USA Received 6 June 2003; received in revised form 30 April 2004

Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels
Jason Hill, Erik Nelson, David Tilman, Stephen Polasky, and Douglas Tiffany
Departments of Ecology, Evolution, and Behavior and Applied Economics, University of Minnesota, St. Paul, MN 55108; and Department of Biology, St. Gandaf College, Northfield, MN 55057 Contributed by David Tilman, June 2, 2006

From Glycerol to Value-Added Products
Mario Pagliaro, Rosaria Ciriminna, Hiroshi Kimura, Michele Rossi, and Cristina Della Pina

ANEXO

ESTUDIO ECONÓMICO PARA LA OBTENCIÓN 45 GALONES DE BIO-DIESEL

MATERIA PRIMA:

Aceite	181.69 Litros (48 G)	* 5Q/Galón	= 240	Quetzales
Metanol	36.34 Litros (9.6 G)	* 34Q/Galón	= 326.4	Quetzales
Potasa	2500 gramos (5.51 L)	* 15Q/Libra	= 82.65	Quetzales
		Total	=	<u>649.05 Quetzales</u>

ENERGÍA ELÉCTRICA:

Resistencias de 1.5 KW:	0.75 horas	* 1.25Q/KW	= 1.40	Quetzales (Mezcla)
	12 horas	* 1.25Q/KW	= 22.5	Quetzales (Secado)
Bombas de 373W(0.5CV): (Extracción)	0.2 horas	* 1.25Q/KW	= 0.09	Quetzales
	0.66 horas	* 1.25Q/KW	= 0.30	Quetzales (Mezcla)
	12 horas	* 1.25Q/KW	= 5.59	Quetzales (Secado)
		Total	=	<u>29.88 Quetzales</u>

AGUA:

34 Litros(9 Galones)* 30 lavados * 0Q/galón = 0 Quetzales (se obtiene de manantial)

MANO DE OBRA Y TRANSPORTE:

Transporte del aceite = 150 Quetzales
2 Días * 30Q/Día * 2 trabajadores = 120 Quetzales

TOTAL = 948.93 Quetzales

Nota 1: Hay que tener en cuenta que el proceso se hará de forma continua. En el segundo día de proceso se puede empezar con la obtención de otros 45 galones de Bio-Diesel. Para la obtención de 90 galones el precio no será el doble si no algo menos ya que el trabajador puede estar haciendo dos fases a la vez.

Para la obtención de 45 galones se necesitan 34 horas, para 90 galones 55 horas (no 68), para 135 Galones 76 horas (no 102) y así sucesivamente.

También se podría ahorrar en transporte llevando más aceite de una vez ya que 150Q es valor fijo por servicio.

Nota 2: En el futuro, cuando el motor para la extracción de aceite esté en funcionamiento, se abaratarán más los costos de producción ya que no habrá que comprar la materia prima.