

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN**

**“HUERTOS ENERGÉTICOS VERSUS HUERTOS ALIMENTARIOS EN EL USO  
DEL SUELO EN ECUADOR. ASPECTOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS”**

**INFORME DE MATERIA DE GRADUACION**

**Previo a la obtención del Título de:**

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACION POTENCIA**

**Presentada por:**

**Abel Rodolfo Carrasco Andrade**

**Diana Mariel Choez Mejía**

**GUAYAQUIL-ECUADOR.**

**AÑO: 2009 - 2010**

## AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios y a todas las personas que hicieron posible con su colaboración, la culminación de la presente tesis.

## DEDICATORIA

A Dios todo poderoso que con sus bendiciones, nos dio uno de los regalos más importantes en nuestra vida, que es el haber nacido en el seno de un hogar con profundo amor a Dios sobre todas las cosas y amor al prójimo; virtudes espirituales y disciplina férrea que nos sirvieron como ayuda y guía para ser cada día de mejor.

A nuestros padres , que siempre creyeron en nosotros, que aparte de ser nuestros padres son nuestros amigos, que han estado con nosotros en las buenas y en las malas, apoyándonos en los aciertos y desaciertos que nos da la vida.

A nuestros hermanos, con quienes hemos compartido parte de nuestra vida diaria, los sueños y metas que ansiamos conseguir en el transcurso de nuestras vidas y que siempre tengan presente que con perseverancia, esfuerzo, sacrificio, y sobre todo con la bendición de Dios todo se puede en la vida.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este INFORME DE MATERIA DE GRADUACION, corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

ABEL RODOLFO CARRASCO ANDRADE

---

DIANA MARIEL CHOEZ MEJIA

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo principal, encontrar fuentes energéticas que posibiliten la producción y crecimiento de los pueblos, planteando una de las tantas vías de solución para la generación energética, estrictamente apegada al concepto de sustentabilidad ambiental como es el tema de “Huertos energéticos versus huertos alimentarios en el uso del suelo en Ecuador. Aspectos técnicos y económicos”.

Además detallar los diferentes tipos de procesos para la obtención de Biocombustible tomando como materia prima, un aceite vegetal, cualesquiera que este fuera, e incluso quedando abierta la posibilidad del uso de aceites o grasas de origen animal, con la ayuda del transesterificador y de un reactor.

Un reactor es un equipo que en su interior por medio de una reacción química, gracias a elementos mecánicos, luego de la aplicación de calor, energía eléctrica y mecánica hace posible la transformación de varios reactivos en un combustible de procedencia orgánica y de bajo impacto ecológico, por medio de esta tesis planteo una solución a un problema que radica en la incorrecta operación de este equipo (reactor) con resultados que pueden incluso llevar a la explosión del mismo.

Se partió del problema, de analizar cuáles son las ventajas y desventajas de crear biocombustible en el Ecuador, garantizando la Seguridad Alimentaria de nuestros ecuatorianos y poniendo en tela de juicio si es recomendable crear cultivos energéticos en nuestro territorio nacional, además de saber utilizar el reactor experimental para transesterificación de aceites para producir biodiesel, para esto, se buscó analizar factores importantes a considerar, variables de control, entre otros, es así como en la primera parte de esta tesis se hace una síntesis histórica desde el nacimiento hasta la evolución en el uso de aceites vegetales en el mundo entero, haciendo un enfoque en las zonas donde se ha hecho más extensivo el desarrollo de esta materia prima altamente energética que es además amigable con el medio ambiente, mencionando además de manera rápida, las principales variedades de oleaginosas existentes en el planeta con potencial energético.

Más adelante se hace énfasis en el Biodiesel como resultado de un proceso químico usando materia prima vegetal orgánica, una síntesis histórica con fechas y personajes representativos y los inventos de la época vinculados con este producto energético de origen netamente orgánico.

Posteriormente se hace una descripción detallada de los métodos más reconocidos para la producción de Biodiesel, haciendo una inducción a compararlos en factores como lo económico, pragmático y ecológico. Luego se selecciona el proceso de Transesterificación como el más idóneo para la obtención del biodiesel, detallando los insumos utilizados para la producción del biocarburante, haciendo el detalle extensivo y completo del procedimiento de operación del reactor, que es un tema principal de esta tesis.

Finalmente se proponen sugerencias para mejorar la obtención de biodiesel a partir de cualquier tipo de aceite vegetal e incluso de aceite reciclable y mostrar el diseño del reactor existente, y como elemento motivante para la investigación de temas relacionados, se hace una comparación de los resultados obtenidos en la caracterización química del biodiesel sacado de variedades vegetales vs. Las características del diesel de petróleo y opciones para mejorar el proceso de producción de biodiesel.

## **INDICE GENERAL**

RESUMEN

INDICE GENERAL

ABREVIATURAS

SIMBOLOGIA

INDICE DE FIGURAS

INTRODUCCION

## **CAPÍTULO 1**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **1.1. BIOMASA**

##### 1.1.1. DEFINICIÓN

##### 1.1.2. TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES

#### **1.2. SEGURIDAD ALIMENTARIA**

##### 1.2.1. DEFINICIÓN

##### 1.2.2. CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR

##### 1.2.3. ANÁLISIS ACTUAL

##### 1.2.4. POLÍTICAS AGRÍCOLAS PARA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE

#### **1.3. CULTIVO ENERGÉTICOS**

##### 1.3.1. DEFINICIÓN

##### 1.3.2. CARACTERÍSTICAS IDEALES QUE DEBEN CUMPLIR LOS CULTIVOS DEDICADOS A FINES ENERGÉTICOS

##### 1.3.3. FUENTES DE BIOMASA PARA FINES ENERGÉTICOS

##### 1.3.4. VENTAJAS DIRECTAS DE LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS

##### 1.3.5. DESVENTAJAS DIRECTAS DE LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS

##### 1.3.6. CLASIFICACIÓN DE LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS APROVECHADOS EN LA ACTUALIDAD

##### 1.3.7. TIPOS DE CULTIVOS ENERGÉTICOS

##### 1.3.8. SITUACIÓN ACTUAL DE CULTIVOS ENERGÉTICOS EN ECUADOR

##### 1.3.9. CARACTERÍSTICAS DE ACEITE VEGETAL NO COMESTIBLE

## **CAPÍTULO 2**

### **RESEÑA HISTÓRICA DEL COMBUSTIBLE**

#### **2.1. HISTORIALES DE ACEITE VEGETAL COMO COMBUSTIBLE**

#### **2.2. USO DEL BIODIESEL**

#### **2.3. VENTAJAS DEL USO DEL BIODIESEL EN APLICACIONES ENERGETICAS CONVENCIONALES**

#### **2.4. DESVENTAJAS DEL USO DEL BIODIESEL EN APLICACIONES**

## ENERGETICAS CONVENCIONALES

- 2.5. JUSTIFICACIÓN DEL USO DEL BODIESEL EN MAQUINARIA DEL USO COMÚN

### **CAPÍTULO 3**

#### **ESTACIONES Y NORMALIDADES DEL BODIESEL**

- 3.1. OBTENCIÓN DEL BODIESEL
- 3.2. CALIDAD DEL BODIESEL
- 3.3. CAPTACIÓN DE INSUMOS PARA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE
- 3.4. ASPECTOS RELATIVOS EN LA PRODUCCIÓN DEL BIOCOMBUSTIBLE
- 3.5. TECNOLOGÍA PREFERIDA EN LA ACTUALIDAD
- 3.6. ESTÁNDARES ESTABLECIDOS PARA USO DEL BIOCOMBUSTIBLE
- 3.7. NORMATIVAS ESTABLECIDAS EN LA CALIDAD DEL BIOCOMBUSTIBLE

### **CAPÍTULO 4**

#### **PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BODIESEL**

- 4.1. MÉTODOS APARA OBTENCIÓN DEL BODIESEL
  - 4.1.1. MESCLAS DE BODIESEL
  - 4.1.2. PIROLISIS
  - 4.1.3. MICRO ESTERIFICACIÓN
  - 4.1.4. TRANSESTERIFICACIÓN
- 4.2. PROCESOS CATALITICOS DE TRANSESTERIFICACIÓN
  - 4.2.1. CATÁLISIS ACIDA
  - 4.2.2. CATÁLISIS BÁSICA
  - 4.2.3. CATÁLISIS ENZIMÁTICA
- 4.3. EQUIPOS Y REACTIVOS PARA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN
  - 4.3.1. DETALLE DE EQUIPOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO PARA EL PROCESO
- 4.4. PRODUCTOS DE REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN



## **CAPÍTULO 5**

### **ANÁLISIS FINANCIEROS**

#### **5.1. GASTOS ADMINISTRATIVOS**

##### **5.1.1 GASTOS DE SUMINISTROS DE OFICINA Y SERVICIOS BÁSICOS**

#### **5.2. GASTOS OPERATIVOS**

##### **5.2.1 MATERIALES DIRECTOS Y COSTOS DE PRODUCCIÓN**

##### **5.2.2 MATERIALES INDIRECTOS**

##### **5.2.3 DETALLE DE MANO DE OBRA**

##### **5.2.4 DETALLE DE MAQUINARIA DE PRODUCCIÓN UTILIZADA**

#### **5.3. PROYECCIÓN DE VENTA**

#### **5.4. CÁLCULO DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO**

#### **5.5. RESULTADO DEL PROYECTO**

#### **5.6 ANÁLISIS FODA DEL BIODIESEL**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1**

**ANEXO 1.1.** ELEMENTOS USADOS PARA LA PREPARACIÓN DEL  
BIOCOMBUSTIBLE A PARTIR DE ACEITE RECICLADO

**ANEXO 1.2.** EXPERIMENTO PARA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE EN UN  
LABORATORIO UTILIZANDO ACEITE DE HIGUERILLA

### **ANEXO 2**

**ANEXO 2.1.** PREVENCIÓN PARA ACTIVAR EN EL LABORATORIO MIENTRAS  
SE REALIZA EL EXPERIMENTO

### **ANEXO 3**

**ANEXO 3.1.** COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL  
BODIESEL PRODUCIDO DE DIFERENTES TIPOS DE OLEAGINOSAS PARA  
USO COMUN EN ESTACION DE SERVICIO

**ANEXO 3.2.** CARTILLAS DE SEGURIDAD DE INSUMOS QUÍMICOS  
UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL

**ANEXO 4**

**ANEXO 4.1** TRANSTERIFICACIÓN PROCESO DISCONTÍNUO

**ANEXO 4.2** TRANSTERIFICACION EN PROCESO DISCONTÍNUO CON  
UTILIZACION DE REACTORES

**ANEXO 5** TABLA DE CALORES ESPECÍFICOS DE VARIOS ELEMENTOS

**ANEXO 6** PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN ALCALINA

**ANEXO 7** PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN CONVENCIONAL

**ANEXO 8** CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO DE  
TRANSESTERIFICACIÓN

**ANEXO 9** PLANOS ALTERNATIVOS DE UN REACTOR DE  
TRANSESTERIFICACIÓN NO INDUSTRIAL

**ANEXO 10** SISTEMA MECÁNICO DEL REACTOR

**ANEXO 11** TABLA DE COMPATIBILIDADES DE MATERIALES

## ABREVIATURAS

°C grado centígrado

°K grado Kelvin

AC Corriente Alterna

AISI American Iron and Steel Institute

API American Petroleum Institute

aprox Aproximadamente

BXXX Porcentaje de biodiesel combinado con Diesel de Petróleo

cp centipoise

CSTR Continuous Stirred Tank Reactor

EPA Environment Protection Agency

etc. etcétera

FFA Ácidos grasos libres

Frac. Vol Fracción volumétrica

gr gramo

Ha Hectárea

HP caballos de Fuerza

Kg Kilogramo

KJ kilo Joule

KOH Hidróxido de Potasio

L litro

m metro

M3 metro cúbico

Max Máximo

min mínimo

min minuto

ml mililitro

ml mililitro

mm milímetro

MPG Millas/galón

NaOH Hidróxido de Sodio

NBB National Biodiesel Board

NO<sub>x</sub> Óxidos Nitrosos

NPT National Pipe Thread Taper

Pa pascales

PAHs Hidrocarburos policíclicos aromáticos

PFR Plug Flow Reactor

PSI. Poundal Square inche (libras/pulg<sup>2</sup>)

pulg Pulgada

PVC Polivinilo Clorado

RME Rapeseed Methyl Ester

RPM Revoluciones/minutos

t/ha Toneladas / hora

W watt

## SIMBOLOGÍA

% Porcentaje

A Amperio

C<sub>p</sub> Calor específico a presión constante

C<sub>V</sub> Calor específico a volumen constante

D Diámetro

J Momento de Inercia

Q<sub>r</sub> Calor de reacción

Re Número de Reynolds

V Voltio

W Peso

w espesor

X Fracción

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPITULO 1

<b>FIGURA 1.1</b>	SUPERFICIE DE REGIÓN Y USO DEL SUELO.....	7
<b>FIGURA 1.2</b>	REACTIVACIÓN DEL AGRO 2008 – 2011 EN EL ECUADOR.....	8
<b>FIGURA 1.3</b>	RENDIMIENTO MUNDIAL SEGÚN TIPO DE ACEITE VEGETAL DURANTE AÑO 2001.....	12
<b>FIGURA 1.4</b>	DESCRIPCION TAXONOMICA DE LA JATROPHA CURCAS (PIÑÓN).....	13
<b>FIGURA 1.5</b>	PRODUCCION DE JATROPHA CURCAS/ HA.....	14
<b>FIGURA 1.6</b>	FOTOGRAFIA EN VARIAS ETAPAS DE SEMILLA DE PIÑÓN.....	15
<b>FIGURA 1.7</b>	FOTOGRAFIA EN VARIAS ETAPAS DE SEMILLA DE HIGUERILLA.....	17
<b>FIGURA 1.8</b>	ZONAS DE SIEMBRA DE CAÑA DE AZÚCAR DEL ECUADOR.....	18
<b>FIGURA 1.9</b>	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS 50.000 HAS PARA SIEMBRA DE PALMA AFRICANA.....	19
<b>FIGURA 1.10</b>	DEMOSTRACIÓN SATELITAL DE LA SIEMBRA DEL PIÑÓN EN EL ECUADOR.....	20
<b>FIGURA 1.11</b>	PROPIEDADES DEL ACEITE DE HIGUERILLA.....	22
<b>FIGURA 1.12</b>	ZONA CULTIVADA DE COLZA ETÍOPE.....	23
<b>FIGURA 1.13</b>	ZONA CULTIVADA DE CYNARA CARDÚNCULUS.....	24

### CAPITULO 2

<b>FIGURA 2.1</b>	ORIGEN DE LA NECESIDAD USO DE ACEITES VEGETALES.....	25
<b>FIGURA 2.2</b>	PENSAMIENTO VISIONARIO DE RUDOLPH DIESEL.....	27
<b>FIGURA 2.3</b>	CICLO DEL BODIESEL.....	31
<b>FIGURA 2.4</b>	PRODUCCIÓN EN LITROS DE ACEITE SEGÚN VARIEDADES DE OLEAGINOSAS.....	35

### **CAPITULO 3**

<b>FIGURA 3.1</b> ESPECIFICACIONES DEL BIODIESEL B=100 USO PURO.....	39
<b>FIGURA 3.2</b> PORCENTAJE EXTRACCION DE ACEITE SEGÚN LA SEMILLA (CADA 199KGR.).....	41
<b>FIGURA 3.3</b> RELACIONES CAPACIDAD INSTALADA - INVERSIÓN PROCESO BATCH.....	43
<b>FIGURA 3.4</b> CUADRO COMPARATIVO DE NORMAS PARA CALIDAD DE BIODIESEL.....	45

### **CAPITULO 4**

<b>FIGURA 4.1</b> ESQUEMA DE CATÁLISIS BÁSICA.....	55
<b>FIGURA 4.2</b> PROCESO DE DECANTACION DE GLICERINA LUEGO DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACION .....	64

### **ANEXO 1.1**

**FIGURA ANEXO 1 .1 A** FRASCO CON MENTO

**FIGURA ANEXO 1 .1 B** HIDRÓXIDO DE POTASIO EN ESCAMAS

### **ANEXO 1.2**

**FIGURA ANEXO 1.2 A** SOLUCIÓN DE FENOLTALEINA Y VASO PARA  
MEDICIÓN DE PH

**FIGURA ANEXO 1.2 B** REACCIÓN DE TITILACIÓN

### **ANEXO 3**

**FIGURA ANEXO 3.1 A** ESPECIFICACIONES DE CALIDAD INEN PARA DIESEL  
DE PETRÓLEO

**FIGURA ANEXO 3.1 B** PROPIEDADES BIODIESEL DE HIGUERILLA Vs. DIESEL  
DE PETRÓLEO

**FIGURA ANEXO 3.1 C** PROPIEDADES Y ESPECIFICACIONES BIODIESEL DE  
PALMA

**FIGURA ANEXO 3.1 D** PROPIEDADES Y ESPECIFICACIONES BIODIESEL DE  
JATROPHA CURCAS O PIÑON BAJO NORMA ASTM

## **ANEXO 4**

**FIGURA ANEXO 4.1** DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN DISCONTINUO

**FIGURA ANEXO 4.2** DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN MEDIANTE REACTORES DE FLUJO PISTÓN

## **ANEXO 5**

**FIGURA. ANEXO 5.1** TABLA DE CALORES ESPECÍFICOS DE VARIOS ELEMENTOS

**FIGURA. ANEXO 5.2** PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN ALCALINA

**FIGURA. ANEXO 5.3** PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN CONVENCIONAL

**FIGURA. ANEXO 5.4** PLANOS ALTERNATIVOS DE UN REACTOR DE TRANSESTERIFICACIÓN NO INDUSTRIAL

**FIGURA. ANEXO 5.5** TABLA DE COMPATIBILIDADES DE MATERIALES



## INTRODUCCION

En la actualidad, existe un tema que se ha tornado de gran importancia para gran parte de la sociedad, el cual defino como la necesidad de la humanidad por encontrar fuentes energéticas que posibiliten la producción y crecimiento de los pueblos, causando incertidumbre, debido a la variación indescifrable de los precios del petróleo, recurso energético no renovable proveniente de yacimientos fósiles que hasta el momento sigue siendo el recurso más importante que mueve al mundo. Diferencias políticas, guerras, situaciones de intereses personales y demás factores provocan subidas y bajadas del precio del denominado “oro negro”, cuyos resultados afectan directamente a todos los países, especialmente a los más necesitados

(Primordialmente a aquellos que no lo producen).

Además de la variación de los precios, otro factor que vuelve insostenible la matriz energética global, son los efectos altamente contaminantes que la industria petrolera infiere sobre nuestro planeta, desde el proceso de explotación hasta el uso mismo de sus derivados en la vida diaria, las estadísticas diarias que vemos en los medios de comunicación , muestran resultados completamente aterradores que hablan incluso del fin de la humanidad prematuramente, sino se toman medidas drásticas en la reducción de fuentes de energía con base de carbono, que son en gran parte los responsables del Calentamiento Global que amenaza con la desaparición de centenares de pueblos alrededor del mundo con inundaciones, ciclones, tsunamis, tornados, deshielos, sequías y demás desastres, que en estos tiempos observamos por doquier con mayor frecuencia.

Es por esta razón que organismos internacionales han venido luchando contra la depredación ambiental del hombre, creando leyes y estatutos contra países encargados de la explotación del Petróleo, creación de Bonos Verdes.

Afortunadamente, y como motivo de inspiración de esta tesis, me he dado la tarea de buscar una solución alternativa, para la obtención de Energía Eléctrica a partir de fuentes Renovables de Energía.

Es por esta razón que en el presente documento, se plantea una de las tantas vías de solución para la generación energética, estrictamente apegada al concepto de

sustentabilidad ambiental como es el tema de “Huertos energéticos versus huertos alimentarios en el uso del suelo Ecuatoriano. Aspectos técnicos y económicos”.

Para enfocarme en esta vía de solución, he tenido que investigar de manera exhaustiva, sobre uno de los principales enemigos de los Cultivos Energéticos, llamada Seguridad Alimentaria.

Los biocombustibles, son una importante alternativa energética que cobra fuerza en estos momentos en países en vías de desarrollo como es el caso de nuestro Ecuador. Fue hace muchos años atrás cuando Rudolph Diesel, con su genial invento, descubrió como su motor “Diesel” funcionaba utilizando aceite de maní, quedando grabado en la historia, que el primer combustible para mover un motor fue un biocombustible.

La producción de biocombustibles en nuestro país se está comenzando a dar de manera progresiva, con la exposición en el presente documento, de los pasos a seguir para la obtención de Biocombustible con la ayuda de un reactor de transesterificación de aceites vegetales.

El Ecuador posee absolutamente todos los recursos necesarios para una producción continua y sustentable de biodiesel, utilizando recursos vegetales, y hasta animales, que en ocasiones pueden ser incluso productos de desecho, la inclusión de trabajadores nacionales, la explotación de la tierra y otras virtudes que convierten esta tarea en un fin rentable y con un alto impacto positivo en la ecología.

En el presente texto se encontrará en detalle todos los antecedentes históricos, evolución, y descripción de procesos de manera detallada, de cómo obtener Electricidad a partir de Biocombustible utilizando el reactor para transesterificación de aceites, con una comparación entre características del Diesel de Petróleo y el Biodiesel.

## **CAPITULO 1**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **1.1. BIOMASA**

##### **1.1.1. DEFINICIÓN**

Abarca todo un conjunto heterogéneo de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza. En el contexto energético, el término biomasa se emplea para denominar a una fuente de energía renovable basada en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica en un pasado inmediato o de los productos derivados de ésta.

Biomasa tiene carácter de energía renovable ya que su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Esta energía se libera al romper los enlaces de los compuestos orgánicos en el proceso de combustión, dando como productos finales dióxido de carbono y agua. Por este motivo, los productos procedentes de la biomasa que se utilizan para fines energéticos se denominan biocombustibles, clasificados, según su estado físico mencionados a continuación:

Biocombustibles sólidos utilizados básicamente para fines térmicos y eléctricos.  
Biocombustibles líquidos como sinónimo de los biocarburantes para automoción.

##### **1.1.2. TIPOS DE COMBUSTIBLES**

Biomasa es una excelente alternativa energética por dos razones.

Primera:- A partir de ella se pueden obtener una gran diversidad de productos.

Segunda.- Se adapta perfectamente a todos los campos de utilización actual de los combustibles tradicionales. Así, mediante procesos específicos, se puede obtener toda una serie de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que

pueden ser aplicados para cubrir las necesidades energéticas de confort, transporte, cocinado, industria y electricidad, o servir de materia prima para la industria.

### ➤ **BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS**

Dentro del grupo de los biocombustibles sólidos, los más importantes son los de tipo primario y secundario.

#### **DEL TIPO PRIMARIO**

Constituidos por materias lignocelulósicas procedentes del sector agrícola o forestal y de las industrias de transformación que producen residuos de dicha naturaleza. La paja, la leña, las cortezas, los restos de poda, olivo y frutales, además restos de alcaeos de las masas forestales son materia típica para elaboración de biocombustibles sólidos de origen agrario.

Las cáscaras de frutos secos, huesos de aceituna y otros frutos, los orujillos procedentes de la extracción del aceite de orujo en las almazaras y los restos de las industrias del corcho, la madera y el mueble, también constituyen una buena materia prima para la fabricación de biocombustibles sólidos.

#### **DEL TIPO SECUNDARIO**

Es otro grupo de biocombustibles sólidos que son el resultado de una alteración termoquímica de biomasa del tipo primario, constituidos por el carbón vegetal, que resulta de un tratamiento térmico con bajo contenido en oxígeno de la biomasa leñosa. Aunque una parte importante de biomasa se utiliza directamente, como por ejemplo la leña en hogares y chimeneas, la utilización energética moderna de los biocombustibles sólidos requiere un acondicionamiento especial. Las formas más generalizadas de utilización de este tipo de combustibles son astillas, serrín, pelets y briquetas.

#### ✓ **LAS ASTILLAS**

Constituyen un material adecuado para ser empleado en hornos cerámicos, de panadería, viviendas individuales, calefacción centralizada de núcleos rurales o pequeñas industrias. Se obtienen a partir de los restos leñosos de los tratamientos silvícolas, de las operaciones de corte de madera o de las podas de árboles de cultivos leñosos. Cuando las astillas se van a utilizar en

quemadores específicos (que necesiten inyectores, por ejemplo), previamente hay que molerla para obtener un combustible más fino y a fin de eliminar restos (piezas metálicas, arena, piedras o vidrios).

#### ✓ **LAS BRIQUETAS**

Son cilindros (de 50 a 130 mm de diámetro y de 5 a 30 mm de longitud). Tienen una densidad elevada (entre 1.000 y 1.300 kg/m<sup>3</sup>) y se fabrican por medio de prensas, en las que el material es sometido a altas presiones y se calienta, produciendo en su interior procesos termoquímicos que generan productos adherentes que favorecen la cohesión del material. También se pueden añadir adherentes artificiales para facilitar la cohesión y reducir la presión de prensado. Es una forma normal de tratar el serrín procedente de las industrias del mueble y la madera.

#### ✓ **LOS PELETS (O PELLETS)**

Son cilindros más pequeños. Se preparan mediante prensas de granulación, análogas a las utilizadas para la fabricación de los piensos compuestos. La compactación se consigue de forma natural o mediante la adición de elementos químicos que no contengan elementos contaminantes en la combustión. La materia prima, al igual que en el caso de las briquetas, debe tener poca humedad y baja granulometría. Es un producto muy manejable que puede servir para automatizar instalaciones de pequeño o mediano tamaño.

El carbón vegetal se obtiene mediante la combustión lenta y parcial de biomasa leñosa con un cierto contenido en humedad a una temperatura variable entre 250 y 600° C . El contenido calórico del carbón vegetal (cisco) es de unas 6.000 a 8.000 kcal/kg según su contenido en cenizas. En el proceso de transformación se forman también un conjunto de aceites pesados y de productos de naturaleza diversa que se aglutinan con la denominación de breas o “aceites de pirólisis”, y que pueden utilizarse para fines energéticos en sustitución de combustibles líquidos. Este último proceso está todavía en fase de I+D.

### ➤ **BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS**

La denominación de biocombustibles líquidos se aplica a una serie de productos de origen biológico utilizables como combustibles de sustitución de los derivados del petróleo o como aditivos de éstos para su uso en motores.

### ➤ **BIOCOMBUSTIBLES GASEOSOS**

Entre los biocombustibles gaseosos que se pueden obtener a partir de la biomasa están el gas de gasógeno, el biogás y el hidrógeno.

#### ✓ **GAS DE GASÓGENO**

Al someter la biomasa (o el cisco y la brea resultantes de la pirólisis) a altas temperaturas (entre 800 y 1.500°C) en ausencia de oxígeno, se originan productos gaseosos, con un poder calorífico bajo (de 1.000 a 1.200 kcal/m<sup>3</sup>) consistentes, principalmente, en N<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en proporciones variables. Este proceso se realiza en los llamados gasógenos, que se utilizan con fines térmicos o, en combinación con motores, para producir energía mecánica o eléctrica. En principio, el destino del gas de gasógeno suele ser la producción de calor por combustión directa en un quemador o la generación de electricidad por medio de un motor o turbina. En la actualidad, los procesos de gasificación avanzada, basados en sistemas de lecho fluidizado, son los más prometedores para la generación de electricidad, con una alta eficiencia en base a ciclos combinados de turbina de gas y ciclo de vapor. Para esta finalidad es muy importante la obtención de gases limpios.

#### ✓ **BIOGÁS**

La digestión de la biomasa en condiciones anaerobias da origen al llamado "biogás", a razón de unos 300 l por kg de materia seca, con un valor calórico de unos 5.500 kcal/m<sup>3</sup>. La composición de biogás es variable, pero está formado principalmente por metano (55-65%) y CO<sub>2</sub> (35-45%); y, en menor proporción, por nitrógeno, (0-3%), hidrógeno (0-1%), oxígeno (0-1%) y sulfuro de hidrógeno (trazas).

El poder calorífico del biogás está determinado por la concentración de metano (9.500 kcal /m<sup>3</sup>), pudiéndose aumentar ésta, eliminando todo o parte del CO<sub>2</sub>

que le acompaña. Este tipo de transformación se produce de manera espontánea en pantanos o fondos de lagunas y lagos en los que haya depósitos de materia orgánica. Por este motivo al metano se le ha llamado el “gas de los pantanos”. También se produce en los vertederos de RSU, pudiéndose obtener el gas mediante perforaciones. El biogás se suele utilizar para generar electricidad. En el caso de los vertederos, su uso para este fin tiene como ventajas añadidas la quema del metano y su transformación en CO<sub>2</sub> y agua. De esta forma se reduce el efecto perjudicial del metano como gas de efecto invernadero (su potencial de absorción de la radiación infrarroja es muy superior al del CO<sub>2</sub>). La digestión anaerobia es un proceso típico de depuración, por lo que también se emplea para el tratamiento de aguas residuales y efluentes orgánicos de industrias agrarias o de explotaciones ganaderas.

#### ✓ **HIDRÓGENO**

El hidrógeno se considera actualmente como un “vector energético” de enorme potencial. Su combustión produce agua y una gran cantidad de energía (27 kcal/g), por lo que resulta idóneo para múltiples aplicaciones en la industria, el transporte y el hogar. La obtención del hidrógeno a partir de compuestos orgánicos hidrogenados, tales como hidrocarburos o alcoholes, se realiza mediante un proceso denominado “reformado”. Consiste en romper las moléculas orgánicas en sus componentes elementales (carbono e hidrógeno y eventualmente oxígeno) mediante reacciones con vapor de agua en presencia de un catalizador. Entre las moléculas orgánicas con posibilidad de ser la vía limpia de obtención de hidrógeno destaca el bioetanol, que se puede obtener a gran escala a partir de biomásas alcoholígenas.

## **1.2. SEGURIDAD ALIMENTARIA**

### **1.2.1. DEFINICIÓN**

Es el derecho de toda persona, en todo momento a tener acceso físico y económico a una alimentación asegurada y nutritiva, que cubra sus necesidades dietéticas y sus preferencias alimenticias para una vida sana.”

### **1.2.2. CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR**

La soberanía alimentaria creada dentro de la carta Magna Vigente, dispone:

” El derecho de los pueblos a definir sus propias políticas agropecuarias a fin de proteger y reglamentar la producción nacional y el mercado domestico a fin de alcanzar el desarrollo sustentable con el fin de producir sus propios alimentos de acuerdo a las condiciones de sus territorios y su cultura alimentaria”.

### **1.2.3. ANÁLISIS ACTUAL**

En la actualidad el Ecuador está ejecutando el Plan de Reactivación del Agro 2.008 – 2.011, que considera la incorporación de 650.000 has de cultivos de la canasta alimentaria, productos de exportación y productos no tradicionales con una inversión estimada de 769 millones de dólares, en un esfuerzo consistente y dirigido a reanimar el agro, dinamizar la economía rural y brindar alternativas de empleo e ingresos no convencionales a la población rural, especialmente de los pequeños productores.

Destinando 5 MILLONES DE HECTAREAS SUBUTILIZADAS, para desarrollar el programa de biocombustibles sin afectar en lo más mínimo la SEGURIDAD ALIMENTARIA (las necesidades alimentarias de la población nacional).

La superficie que se pretende utilizar en la generación de materias primas para la producción de biocombustibles, etanol y biodiesel, está sujeta a un estudio de viabilidad de cultivos y no contempla, en modo alguno, la actual superficie dedicada a la producción de alimentos.



REGION	TOTAL	CULTIVOS PERMANENTES	CULTIVOS TRANSITORIOS	DESCANSO	PASTOS CULTIVADOS	PASTOS NATURALES	PARAMOS	MONTES Y BOSQUES	OTROS USOS
TOTAL NACIONAL	11.833.341	1.219.655	1.008.456	187.014	3.623.893	1.373.045	615.585	3551.174	254.519
COSTA	4.637.532	266.504	380.212	78.503	1.024.908	1.041.323	571.907	1.137.942	136.233
SIERRA	4.625.127	870.007	606.057	101.381	1.707.369	248.468	1.094	991.233	98.818
ORIENTE	2.570.687	82.444	22.187	7.130	891.616	83.254	42.584	1.421.999	19.467

### FIG 1.1 SUPERFICIE DE REGIÓN Y USO DEL SUELO EN EL ECUADOR

Fuente: Información brindada por Maestro de Materia de Graduación

El número total de HAS que se encuentran en nuestro territorio es de 11.833.341 las mismas que han sido clasificadas como cultivos permanentes, cultivos transitorios, terrenos de descanso, pastos cultivados, pastos naturales, paramos, montes y bosques entre otros.

De los mismos que son de principal interés los siguientes:

- Terrenos de descanso con una superficie de 187.014 HAS.
- Pastos naturales con una superficie de 1.373.045 HAS.
- Montes y Bosques con una superficie de 3551.174HAS.

Los datos mencionados anteriormente demuestran que en nuestro país si es factible la siembra de cultivos energéticos sin poner en riesgo la seguridad alimentaria de nuestros ecuatorianos.

#### 1.2.4. POLÍTICAS AGRÍCOLAS PARA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE.

Según el decreto dispuesto en la Carta Magna vigente, se ha mencionado políticas en el sector agrario para la sustentabilidad en la producción de biocombustible mencionadas posteriormente:

➤ **ZONIFICACIÓN AGRARIA**

Estudio demográfico del terreno, caracterización Biofísica y Económica que será destinado para la utilización Cultivos Energéticos.

Regulación del manejo y uso del recurso natural en forma sustentable

Manejo eficaz del recurso hidráulico para el riego del cultivo.

➤ **FOMENTACIÓN DE LA AGROFORESTERIA.**

Fomento de la agroindustria con énfasis en el sector rural y con enfoque de cadena

Articulación directa entre producto – comprador agroindustrial.

Fomento a las estrategias de promoción de exportaciones

Líneas de crédito flexibles CFN – BNF

Líneas de crédito con plazos adecuados y tasas de interés que incentiven los procesos productivos para reconversión productiva de los cultivos.

Investigación y transferencia de tecnología

INIAP UNCE – Ingenios.

Asociatividad y fortalecimiento gremial, Solamente el 5% se encuentra articulado

PRODUCTO	SUPERFICIE ACTUAL (HA)	META PROPUESTA (HA)
Arroz	351.870	50.000
Cacao	336.000	50.000
Café	220.000	50.000
Canasta Básica	300.000	110.000
Caña de Azúcar	135.000	50.000
Ganadería de Carne	2.000.000	88.000
Ganadería de Leche	3.000.000	112.000
Maíz Duro	150.000	50.000
Palma Aceitera	210.000	50.000
Productos Nuevos de Exportación	190.000	20.000
Productos No Tradicionales de Exportación	96.000	20.000
TOTAL (HA)	6.988.870	650.000

**FIG 1.2 REACTIVACIÓN DEL AGRO 2008 – 2011 EN EL ECUADOR**

Fuente: Información brindada por Maestro de Materia de Graduación

La fig 1.2 muestra la cantidad de tierra destinadas para la siembra de otros cultivos, garantizando la seguridad alimentaria para nuestra población ecuatoriana, teniendo un total de 650.000 HAS destinadas para cultivos de origen tradicional.

### **1.3. CULTIVOS ENERGÉTICOS**

#### **1.3.1. DEFINICIÓN**

Los cultivos energéticos son cultivos agrícolas o forestales producidos expresamente con fines energéticos en lugar de alimenticios, como ha sido la actividad tradicional en la agricultura.

La biomasa obtenida puede transformarse tanto en biocombustibles líquidos para utilizarse en motores de combustión interna y motores diesel o también en biocombustibles sólidos para su aprovechamiento en aplicaciones térmicas para la generación de calor y electricidad.

#### **1.3.2. CARACTERÍSTICAS IDEALES QUE DEBEN CUMPLIR LOS CULTIVOS DEDICADOS A FINES ENERGÉTICOS.**

- Altos niveles de productividad en biomasa con bajos costos de producción para que la producción de biocombustibles sea económicamente viable en relación con los combustibles de origen fósil.
- No contribuir a la degradación del medio ambiente, de tal forma que el balance ambiental producido por el cultivo sea mejor al que se produciría si la tierra no estuviese cultivada o fuera ocupada por un cultivo tradicional.
- Requerimientos técnicos convencionales, normalmente disponibles por los agricultores, similares a los empleados para otros cultivos propios de la zona.
- Tener un balance energético positivo en dos ámbitos con respecto a la energía neta contenida en la biomasa producida:
  - 1.- Sea superior a la gastada en el cultivo, en la obtención de los productos, en la generación y distribución de energía utilizable.

2.- Sea superior a la gastada en el cultivo más la parte proporcional correspondiente a la gastada en la obtención de los productos y equipos utilizados

- Posibilidad de desarrollarse en tierras marginales o en tierras agrícolas marginalizadas por falta de mercado para los productos tradicionalmente cultivados.
- Posibilidad de recuperar fácilmente las tierras después de finalizado el cultivo energético para realizar otros cultivos si las condiciones socioeconómicas así lo aconsejaren.

### **1.3.3. FUENTES DE BIOMASA PARA FINES ENERGÉTICOS**

Como fuentes de biomasa para la obtención de energía se pueden considerar:

#### **➤ BIOMASA NATURAL**

La leña procedente de árboles crecidos espontáneamente en tierras no cultivadas ha sido utilizada tradicionalmente por el hombre para calentarse y cocinar. Sin embargo, este tipo de biomasa no es la más adecuada para su aprovechamiento energético masivo ya que ello podría conllevar a la destrucción de los ecosistemas que la producen, y que constituyen una reserva con un valor incalculable.

Se pueden aprovechar los residuos de las partes muertas o restos de podas y aclareos, para evitar posibles incendios, pero siempre respetando al máximo el equilibrio y la estabilidad de los ecosistemas.

La biomasa natural constituye la base del consumo energético de los pueblos en vías de desarrollo y a medida que aumenta su población y su demanda de energía, mayor es la presión que se ejerce sobre los ecosistemas naturales, llegando en ocasiones a un sobre consumo, lo que genera situaciones de desertización

### ➤ **BIOMASA RESIDUAL**

Es la que se genera como consecuencia de cualquier proceso en que se consume biomasa. Se produce en explotaciones agrícolas, forestales o ganaderas, así como los residuos de origen orgánico generados por industrias y núcleos urbanos.

La utilización de biomasa residual es, en principio, atractiva, pero limitada: en general, es más importante la descontaminación que se produce al eliminar estos residuos que la energía que se puede generar con su aprovechamiento. En muchos casos, sin embargo, puede hacer autosuficientes desde el punto de vista energético a las instalaciones que aprovechan sus propios residuos tales como granjas, industrias papeleras, serrerías o depuradoras urbanas.

### ➤ **EXCEDENTES DE COSECHAS AGRÍCOLAS**

La presión del sector agrario ha hecho que en ocasiones se destinen los excedentes de algunos productos agrícolas a su transformación en biocarburantes, con la correspondiente subvención de origen público. Sin embargo, sólo por razones sociales o estratégicas, o en el caso de que el precio de los carburantes tradicionales crezca considerablemente, podría llegarse a situaciones de rentabilidad.

#### **1.3.4. VENTAJAS DIRECTAS DE LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS**

Los cultivos energéticos son perennes, protegen al suelo de la erosión, eliminando las labores de barbecho y la pérdida de suelo que se deriva de su práctica continuada.

Para ser rentables deben tener bajos niveles de insumos, por lo que la agricultura resultante produciría un menor impacto ambiental que la tradicional.

#### **1.3.5. DESVENTAJAS DIRECTAS DE LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS**

Dependencia a las condiciones climatológicas y sus fluctuaciones.

Uso de fertilizantes y pesticidas.

Erosión del suelo (si el manejo no es adecuado).

Pérdida de ecosistemas y biodiversidad (si se sustituye vegetación natural por monocultivos) y el deterioro del paisaje.

### 1.3.6. CLASIFICACIÓN DE CULTIVOS ENERGÉTICOS APROVECHADOS EN LA ACTUALIDAD

Cultivos productores de biomasa lignocelulósica para aplicaciones térmicas:

- Especies herbáceas: cardo (*Cynara cardunculus*);
- Especies leñosas: sauces (*Salix*), chopos (*Populus*), eucaliptos (*Eucalyptus* sp.), acacias (Familia *Mimosaceae*).
- Cultivos alcoholígenos, productores de azúcares o polisacáridos fermentables y que sirven para la producción de bioetanol. Por ejemplo: caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), patata (*Helianthus tuberosus*), remolacha (*Beta vulgaris*), sorgo azucarero (*Sorghum bicolor*).
- Cultivos oleaginosos, productores de aceite para su transformación en biodiesel. Por ejemplo: colza (*Brassica napus*), girasol (*Helianthus annuus*), soya (*Glycine max*), palma aceitera (*Elaeis guineensis*), piñón (*Jatropha curcas*).

#### ➤ PRODUCCION MUNDIAL DE ACEITES

Con esta descripción de los más importantes y reconocidos tipos de cultivos energéticos y especies vegetales, disponibles para la producción de aceite vegetal con fin energético, es relevante, hacer un análisis más detallado de las variedades de oleaginosas cuyo cultivo es más extensivo y sustentable para países como el Ecuador.

Dentro de los más relevantes se encuentran la *Jatropha Curcas* (Piñón), el *Ricinus Communis* (Ricino o Higuerrilla).

TIPO DE ACEITE VEGETAL	MILLONES DE TONELADAS MÉTRICAS
Colza	4,0
Girasol	4,5
Soya	8,0
Palma	4,0
Maní	4,0
Algodón	3,0
Coco	3,0
Olivo	2,0

**FIG 1.3 RENDIMIENTO MUNDIAL SEGÚN TIPO DE ACEITE VEGETAL DURANTE AÑO 2001**

### 1.3.7. TIPOS DE CULTIVOS ENERGÉTICOS

#### ➤ JATROPHA CURCAS (PIÑÓN)

Se puede enumerar las características taxonómicas, de uso y demás de la *Jatropha Curcas* o Piñón, que es un árbol de aproximadamente 3 mts de altura que produce frutos con un alto contenido de aceite apropiado para ser usado como Biodiesel, la completa descripción taxonómica se muestra a continuación en la siguiente tabla:

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
SubClase	Rosidae
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Genero	<i>Jatropha</i>
Especie	<i>Curcas</i>

**FIG. 1.4 DESCRIPCION TAXONOMICA DE LA JATROPHA CURCAS  
( PIÑON)**

Fuente: <http://www.bio-ter.5u.com/PINON/pinon.html>

Es una oleaginosa de tipo arbustivo con más de 3500 especies agrupadas en 210 géneros, originaria de México y Centroamérica, pero crece en la mayoría de los países tropicales.

Se cultiva en terrenos semiáridos con una precipitación pluvial de 600 mm. Anuales, temperaturas de alrededor de 28 °C y altura hasta 2.500 m. sobre el nivel del mar.

Es preferible cultivarla en espacios de 0.5 metros entre árboles y se pueden propagar por semilla o estaca, por semilla su desarrollo se completa en 2 a 3 años, en cambio en la propagación por estacas la producción puede iniciarse

en un año. Se pueden disponer hasta 400 árboles por hectárea y se obtienen los siguientes resultados:

Densidad de Plantación	300-400 ÁRBOLES/ Ha(aprox)
Producción de Frutos	33 Toneladas/ Ha (aprox.)
Producción de Semillas	5 Toneladas/ Ha(aprox.)
Producción de Aceite	2.5 Toneladas/ Ha(aprox.)

### **FIG 1.5 PRODUCCION DE JATROPHA CURCAS POR HECTAREA**

Fuente: <http://www.bio-ter.5u.com/PINON/pinon.html>

La Densidad de árboles se puede incrementar notablemente en suelos de mejor calidad. Las semillas de la Jatropha Curcas contienen hasta un 50% de aceite de alta viscosidad, que puede ser utilizado en la fabricación de velas, jabones, en la industria cosmética, como combustible para iluminación y cocimiento, asimismo es factible su empleo como energía renovable.

Su follaje no es apto para consumo animal, ya que son toxicas, pero la torta de aceite sometida a un tratamiento, se la puede emplear como forraje o fertilizante.

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

Todas estas características brindan una versatilidad que hacen que el cultivo de esta planta sea una alternativa interesante para zonas erosionadas y no aptas para otros cultivos.

Se la cultiva en América Central, Sudamérica, Sureste de Asia, India y África.

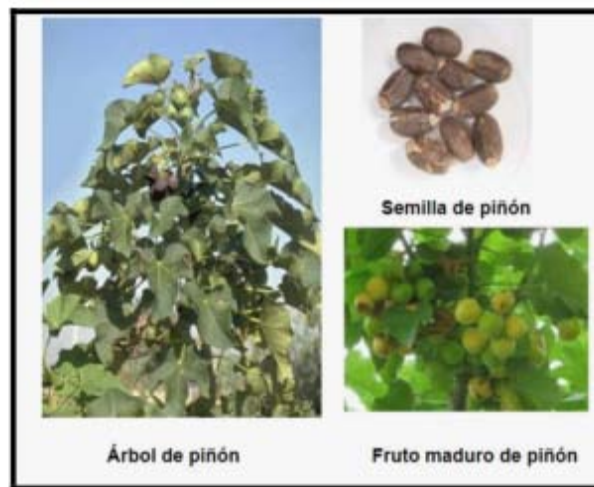
En la India, actualmente se tiene planeado sembrar hasta 40 millones de hectáreas de Jatropha Curcas debido a que British Petroleum tiene un proyecto experimental para producir biodiesel a partir de una plantación de 100 mil hectáreas en Indonesia. Daimler Chrysler experimenta con tres automóviles Mercedes movidos exclusivamente con diesel de Jatropha.



Esta planta tiene diferentes denominaciones según el país donde se la explote como: Coquito, Capate, Tempate, Piñón, Piñoncito, Piñol, Piñón Botija, Higos del duende, Barbasco, Piñones purgativos, Higo de infierno, Purga de fraile, Tua tua, nuez del physic, pinhao manso, etc.

Es una planta especialmente resistente, pero también es objeto del ataque de plagas y enfermedades tales como:

- Plagas: Hormiga termita (carcome la base del tronco), arañas y pulgones.
- Enfermedades: Marchites del fruto (provocado por ácaros),
- Pudrición seca de las ramas (provocado por el hongo fusarium), Clorosis foliar (falta total de nutrientes)



**FIG 1.6 FOTOGRAFIA EN VARIAS ETAPAS DE SEMILLA DE PIÑÓN**

Fuente: <http://www.bio-ter.5u.com/PINON/pinon.html>

## ➤ RICINO (HIGUERILLA)

### DESCRIPCION TAXONOMICA DE RICINUS COMMUNIS (HIGUERILLA)

Es una especie de planta de flores perteneciente a la familia Euphorbiaceae.

El ricino es un arbusto de tallo grueso y leñoso, hueco por dentro que, lo mismo que los rabillos y nervios de las hojas, puede tomar un color púrpura oscuro, y suele estar cubierto de un polvillo blanco, semejante a la cera.

Las hojas son muy grandes, de nervación palmeada y hendidas de 5 a 9 lóbulos, de bordes irregularmente dentados; las hojas son alternas, con peciolo muy largo, unido por su parte inferior.

Las flores están dispuestas en grandes inflorescencias, erguidas, que rematan los tallos; en la parte inferior de las mismas están las flores masculinas, con un cáliz, con cinco piezas lanceoladas y múltiples estambres soldados, con forma de columna, ramificada en forma de coliflor. Las flores femeninas se encuentran en la parte superior de la panícula, con ovario, formado por tres hojas carpelares y rematadas por tres ramitas bifurcadas, con papilas destinadas a captar el polen. Florece casi todo el año. El fruto es globuloso, trilobulado, casi siempre cubierto por abundantes púas, que le dan un aspecto erizado; tiene tres cavidades, cada una con una semilla, grande y jaspeada, de superficie lisa y brillante, rematada por una excrecencia y que contiene una toxina llamada ricina.

Requiere un clima cálido sin heladas, está disperso, por casi todas las regiones cálidas del globo, habiéndose naturalizado, por ser una planta cultivada desde la antigüedad; parece ser originario del cuerno de África (Abisinia).

Las semillas son muy tóxicas, por la presencia de una albúmina llamada ricina, ya que basta la ingestión de unas pocas para producir la muerte. Y hasta hoy, es la toxina biológica más potente que se conoce.

El aceite de ricino, obtenido por prensado de las semillas y calentado para destruir la ricina, es uno de los purgantes más reputados, debiéndose su acción al ácido ricinoléico; tiene el inconveniente de su desagradable sabor. En la actualidad encuentra aplicaciones, en la industria de pinturas y barnices, así como para la fabricación de lubricantes y líquidos para frenos.

Esta planta tiene diferentes denominaciones según el país donde se la explote como: Palmacristi, ricino, higuera, higuera del diablo, en idioma inglés, se denomina Castor Bean.

- **Plagas:** Jogoto, gusano alambre, gusano soldado, que producen daño a la semilla, perforándola y cortan el tallo de las plántulas, y en estado más avanzado se comen las raíces.
- **Enfermedades:** Marchitez o fusariosis, manchas de las hojas y virosis, son enfermedades causadas por diferentes tipos de hongos.



**FIG 1.7 FOTOGRAFIA EN VARIAS ETAPAS DE SEMILLA DE HIGUERILLA**

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Illustration\\_Ricinus\\_communis0.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Illustration_Ricinus_communis0.jpg)

### 1.3.8. SITUACIÓN ACTUAL DE CULTIVOS EN ECUADOR.

#### ➤ CAÑA DE AZÚCAR

En la actualidad, el gobierno ecuatoriano ha destinado una cantidad considerable de 130.000 Has para la siembra de caña de azúcar donde:

1.- 80.000 Has son destinadas para la producción de Azúcar, constando con 6 ingenios azucareros, 3 plantas alcoholeras de una producción diaria de 120.000 litros de alcohol.

2.- 50.000 has son destinadas para la producción de panela y agua ardiente.

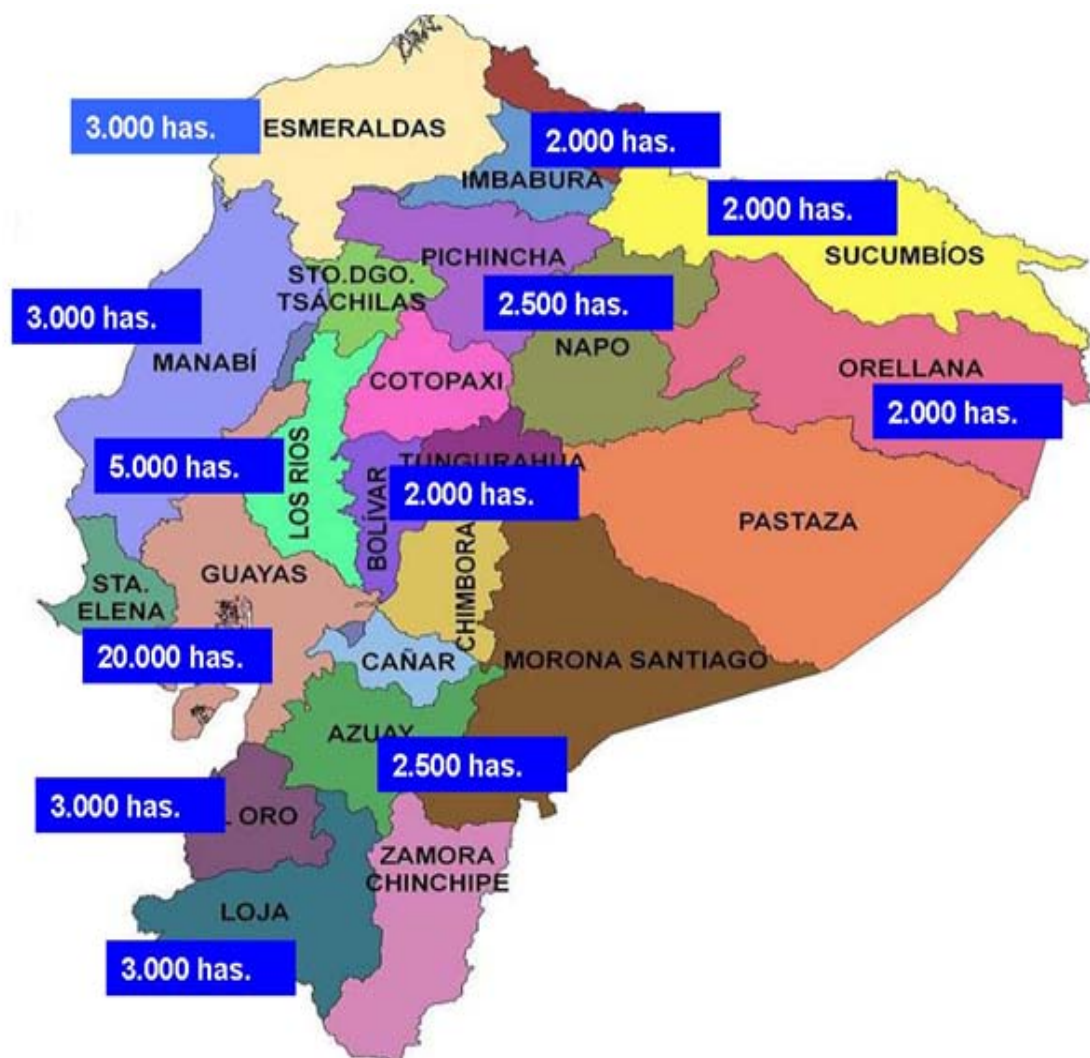


FIG 1.8 ZONAS DE SIEMBRA DE CAÑA DE AZÚCAR DEL ECUADOR

Fuente: Información brindada por Maestro de Materia de Graduación

## ➤ PALMA AFRICANA

El gobierno ecuatoriano ha destinado una cantidad considerable para la siembra de palma africana que es de 210.000has, donde:

370.000 TM están destinadas para la producción de aceite de palma de las cuales:

Donde 210.000 TM están destinadas para el consumo del aceite.

Y 160.000 TM son de excedentes del mismo producto.

PROVINCIA ZONA	DISTRIBUCION SUPERFICIE
ESMERALDAS Cantón: San Lorenzo Eje: San Lorenzo-Santa Rita-Yalaré Eje: Santa Rita-La Boca-Quinto Piso-Maldonado-Telenvi-Mataie	PLANTACIONES NUEVAS 2.000 HA (nuevas) 2.000 HA (nuevas)
LOS RIOS Cantón: Quevedo Eje: Patricia Pilar-Paraiso-Buena Fé-Fumisa-San Vicente del Nilo-La Bramadora-La Reserva-Los Vergeles	8.000 HA (nuevas)
SUCUMBIOS - ORELLANA Cantón: Shusufindi - La Joya de los Sachas Eje: Shusufindi-La Joya de los Sachas-El Proyecto-Coop. Atahualpa-Reina del Oriente-Nuevo Paraiso	8.000 HA (nuevas)
PICHINCHA Cantón: Santo Domingo de los Colorados Eje: Santo Domingo-La Concordia	PLANTACIONES RENOVADAS 10.000 HA (renovación)
SUCUMBIOS - ORELLANA Cantón: Shusufindi - La Joya de los Sachas Eje: Shusufindi-La Joya de los Sachas	2.000 HA (renovación)
ESMERALDAS Cantón: Rosa Zárate (Quinindé) Eje: Las Golondrinas-Cristóbal Colón Eje: Las Golondrinas-Simón Bolívar-Quinindé Eje: Quinindé-Malimpia-Canandé Eje: Quinindé-La Concordia	2.000 HA (renovación) 5.000 HA (renovación) 1.000 HA (renovación) 5.000 HA (renovación)
PICHINCHA Zona No Delimitada Eje: Monterrey-Matamba-Villegas-San Jacinto del Búa-Puerto Nuevo	2.000 HA (renovación)
LOS RIOS Cantón: Buena Fé-Quevedo Eje: Patricia Pilar-El Paraiso Eje: Buena Fé-Quevedo-San Carlos	2.000 HA (renovación) 1.000 HA (renovación)

**FIG 1.9 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS 50.000 HAS PARA SIEMBRA DE PALMA AFRICANA.**

Fuente: Información brindada por Maestro de Materia de Graduación

La grafica nos ayuda a reconocer que el mayor porcentaje de tierras destinadas para la siembra están en las provincias de los Ríos y Orellana.

## ➤ JATROPHA CURCAS (PIÑON)

El porcentaje de terreno ecuatoriano ubicado en la parte baja de la provincia de Manabi se ha destinado para la siembra del Piñon, planta Oleaginosa y también tóxica, famosa en Latinoamérica, incluso en India, la *Jatropha curcas* o Piñón, es considerada como una especie relevante para el desarrollo de la bioenergía.



**FIG 1.10 DEMOSTRACIÓN SATELITAL DE LA SIEMBRA DEL PIÑÓN EN EL ECUADOR**

Fuente: Información brindada por Maestro de Materia de Graduación

El objetivo principal de la siembra de piñón en Ecuador, es generar tecnologías para la producción sostenible de *JATROPHA CURCAS* (PIÑÓN) con aplicación a la formulación de biocarburos en tierras marginales del trópico seco del litoral ecuatoriano.

Producción local de aceite de piñón procedente de cercas vivas para ser utilizado en el plan piloto de generación eléctrica en la Isla Floreana.

### **1.3.9. CARACTERÍSTICA DE ACEITES VEGETALES NO COMESTIBLES**

Los aceites y grasa vegetales son sustancias orgánicas formadas por esteres de ácidos grasos y glicerina, a los que se denominan glicéridos; la glicerina puede estar mono, di, o tri esterificada, por los ácidos grasos, en cuyo caso se forman los mono, di o triglicéridos. Además de los esteres de la glicerina, el aceite contiene pequeñas cantidades de vitaminas, fosfátidos (lecitinas), esteroides, colorantes (caroteno, clorofila, xantofilas), agua e hidrocarburos que constituyen el material insaponificable

#### **➤ CARACTERÍSTICAS DEL ACEITE DE JATROPHA CURCAS (PIÑÓN)**

La semilla de Jatropha Curcas o Piñón, contiene un 42 % de aceite el cual tiene propiedades fisicoquímicas semejantes a la de los aceites comestibles y además no es tóxico, El contenido de lípidos en este aceite, está dentro del orden de las semillas oleaginosas con un valor nutritivo es semejante al del aceite de maíz.

El color del aceite es amarillo claro, inoloro y tiene un ligero sabor a nuez.

El índice de saponificación fue de 196, el de yodo de 99.06, el de acidez de 13.86, el de esteres de 182.1, el de hidroxilo 8.53, el de acetilo 8.48, la materia insaponificable de 0.82 %, el índice de refracción a 25°C fue de 1.4688 la gravedad específica a 25°C fue de 0.9100, la viscosidad a 25°C fue de 62 cp.

El índice de yodo indica que contiene mayor cantidad de ácidos grasos insaturados que los aceites de oliva, palma y ricino e igual cantidad que el aceite de cacahuete y menor que el aceite de maíz. Los índices de hidroxilo y acetilo indican que el aceite de Jatropha curcas contiene mono y/o diglicéridos.

#### **➤ CARACTERÍSTICAS DEL ACEITE DE RICINO (HIGUERILLA)**

El aceite de higuera, está constituido en un 90% por el ácido ricinoleico que es un ácido monoinsaturado de 18 carbonos con un sustituyente hidróxido. Si bien el ricino es sumamente tóxico para los seres humanos, el aceite de ricino se usa como un componente "no tóxico" en los aceites de corte y en los

lubricantes para la laminación del acero a altas temperaturas y en otros líquidos para trabajos con metales. La versión oxidada y esterificada del aceite de ricino se usa como lubricante en la industria de la aviación. Es posible tabular las más importantes propiedades características del aceite de Higuierilla por medio de la tabla ilustrada a continuación:

Propiedad	Unidades	Estándar ASTM	Valor típico
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	D-5	0.96
Agua y sedimentos	% Volumen	D-96	-
Corrosión	-	D-665	-
Contenido de cenizas	% por peso	D-482	< 0.01
Residuo carbonoso	% por peso	D-189	0.22
Punto de inflamación	°C	D-93	270
Punto de fluidez	°C	D-97	-10
Viscosidad a 40 °C	cSt (mm <sup>2</sup> /s)	D-445	297
Índice de acidez	mg KOH/g aceite	D-1980	-
Índice de saponificación	mg KOH/g aceite	D-5558	-
Índice de Yodo	g yodo/100 g aceite	D-5554	81-97

**FIG 1.11 PROPIEDADES DEL ACEITE DE HIGUERILLA**

Fuente: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/viewFile/951/11642/25470>

➤ **OTRAS PLANTAS OLEAGINOSAS UTILIZADAS PARA OBTENCION DE ACEITE VEGETAL**

Como se menciona anteriormente, existen una gran variedad de plantas oleaginosas utilizadas como materias primas para la obtención de aceite para producción de biodiesel, de las cuales, voy a mencionar especies de reconocida explotación en zonas europeas, continente pionero en la explotación de biocarburantes.

**DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN**

Con fines netamente demostrativos, haré una breve descripción de dos variedades de plantas oleaginosas, estas son: Brassica Carinata y Cynara Cardúnculus, las cuales he citado anteriormente por poseer altos niveles de industrialización.



## **CARACTERÍSTICAS DE LA BRASSICA CARINATA (COLZA ETÍOPE)**

La especie oleaginosa Brassica Carinata, conocida como colza o mostaza etíope debido a la procedencia de ese país africano, es muy parecida a la colza europea, si bien muestra algunas diferencias importantes. Se trata de una especie que presenta una elevada resistencia a la sequía y a muchas de las plagas y enfermedades que afectan a la colza. Se pueden obtener rendimientos de hasta 3-4 toneladas/ha en condiciones de sequía moderada, con un contenido en aceite del 32%, rendimientos que son muy superiores a los obtenidos con otras oleaginosas. Los estudios realizados con esta especie han llevado a la identificación de los cultivares más adaptados al clima mediterráneo que, además de no requerir frío ofrecen todos los requisitos necesarios.



**FIG 1.12 ZONA CULTIVADA DE COLZA ETÍOPE**

Fuente:[http://www.musicayvino.com/modules/tiny\\_mce/tiny\\_mce/jscripts/tiny\\_mce/plugins/imagemanager/images](http://www.musicayvino.com/modules/tiny_mce/tiny_mce/jscripts/tiny_mce/plugins/imagemanager/images)

## CARACTERÍSTICAS DE LA CYNARA CARDÚNCULUS

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



**FIG 1.13 ZONA CULTIVADA DE CYNARA CARDÚNCULUS**

Fuente: [http://www.biodiesel.com.ar/download/cinea\\_plaganacional.pdf](http://www.biodiesel.com.ar/download/cinea_plaganacional.pdf)

## CAPITULO 2

### 2.1. HISTORIA DEL USO DE ACEITE VEGETAL COMO BIOCOMBUSTIBLE.

Luego de importantes avances en la investigación de nuevas alternativas energéticas, fueron varios los investigadores, que intentaron con diferentes técnicas, producir energía, de fuentes no convencionales, uno de estos, fue el reconocido Rudolph Diesel, llamado el padre del Biodiesel.

De manera general, se puede ilustrar el origen de la necesidad y uso de los aceites vegetales con fines energéticos a través de la historia por medio de la siguiente figura:



**FIG 2.1 ORIGEN DE LA NECESIDAD USO DE ACEITES VEGETALES**

Fuente: <http://energiaslimpias.org/wp-content/uploads/2006/10/biodiesel2>

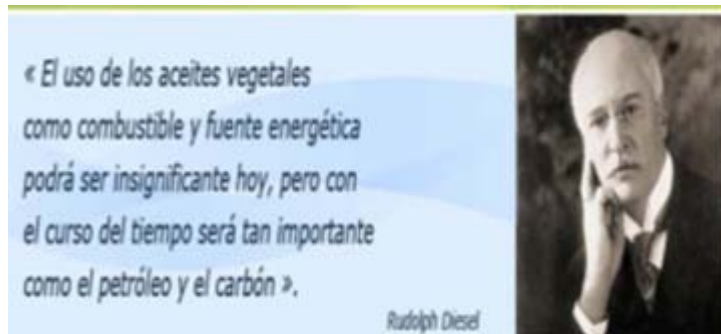
## ➤ RUDOLF DIESEL Y SU GENIAL INVENTO

La idea de usar aceites vegetales como combustible para los motores de combustión interna data de 1895, cuando el Dr. Rudolf Diesel desarrollaba su motor. En la presentación del petróleo y motor diesel en la Exposición Mundial de París, en 1900, el Ing. Diesel usaría aceite de maní como combustible, o, mejor dicho, como biocombustible.

Años después Diesel fue muy claro al señalar que “el motor diesel puede funcionar con aceites vegetales, esto podría ayudar considerablemente al desarrollo de la agricultura de los países que lo usen así”. Hacia 1912 afirmaría que “el uso de los aceites vegetales como combustibles para los motores puede parecer insignificante hoy en día, pero con el transcurso del tiempo puede ser tan importante como los derivados del petróleo y el carbón en la actualidad”.

Las predicciones de Diesel tomarían su tiempo para empezar a tomar cuerpo y, en este lapso de, más o menos un siglo, los motores diesel evolucionarían y se perfeccionarían utilizando fundamentalmente destilados medios de petróleo con mucha menor viscosidad que los aceites vegetales. La principal razón por la que actualmente no se podría usar aceites vegetales directamente en los motores es, precisamente, su mayor viscosidad. La química proporciona una solución para disminuir esta viscosidad mediante la transesterificación como ya se ha mencionado.

Durante el siglo XX, algunos intentos se realizaron para utilizar aceites como combustible para vehículos. Antes de la segunda guerra mundial se introdujo el uso de aceites transesterificados como combustible en vehículos pesados en África. Durante la década de los años 40, los franceses trabajaron con el aceite de piñón (*Jatropha curcas*) como combustible sin tener resultados positivos. Posteriormente se realizaron algunos ensayos en la República Federal de Alemania y Austria con aceite de colza (*Brassica napus*); y en Cabo Verde y en Malí también con aceite de piñón, obteniéndose excelentes resultados.



**FIG 2.2 PENSAMIENTO VISIONARIO DE RUDOLPH DIESEL**

### ➤ **EL PRIMER BIODIESEL**

El uso por primera vez de aceites vegetales como combustibles, se remontan al año de 1900, siendo Rudolph Diesel, quien lo utilizara por primera vez en su motor de ignición - compresión quien predijera el uso futuro de biocombustibles.

Durante la segunda guerra mundial, y ante la escasez de combustibles fósiles, se destacó la investigación realizada por Otto y Vivacqua en el Brasil, sobre diesel de origen vegetal, pero fue hasta el año de 1970, que el biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética que se sucedía en aquel momento, y al elevado costo del petróleo.

Las primeras pruebas técnicas con biodiesel se llevaron a cabo en 1982 en Austria y Alemania, pero solo hasta el año de 1985 en Silberberg (Austria), se construyó la primera planta piloto productora de RME (Rapeseed Methyl Ester - Metil Estero Aceite de semilla de colza).

Hoy en día países como Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles.

El biodiesel es un combustible líquido muy similar en propiedades al aceite diesel, pero obtenido a partir de productos renovables, como son los aceites vegetales y las grasas animales.

## **2.2. USOS DEL BIODIESEL**

El biodiesel, como una fuente energética renovable, vino a revolucionar el mundo, al incrementar la productividad de la industria, en la historia existen usos importantes por destacar, los cuales mencionaremos a continuación.

### **➤ USOS DESTACADOS EN LA HISTORIA**

Como reiteradamente he mencionado, el primer Biodiesel provino del aceite de maní producido por el científico Rudolph Diesel, pero se generó una interrogante sobre el uso directo del aceite vegetal, el principal motivo por el cual los aceites vegetales no se pueden utilizar directamente como combustibles en los motores diesel de hoy en día es la viscosidad. Es así que históricamente y cronológicamente se puede detallar este proceso que ha tomado varias decenas de años.

- El procedimiento químico recomendado para disminuir la viscosidad a los aceites, es la transesterificación que fue desarrollado en 1853 por los científicos E. Duffy y J. Patrick, cuarenta años antes que el Dr. Diesel desarrollara su motor de combustión interna.
- En 1937 se concede la primera patente a un combustible obtenido a partir de aceites vegetales (aceite de palma), a G. Chavanne, en Bruselas-Bélgica. (Patente número 422.877).
- La primera experiencia conocida de utilización de biodiesel en transporte público data del año 1938 en un ómnibus de la línea Bruselas-Lovaina en Bélgica.
- Antes de la segunda guerra mundial se introdujo el uso de aceites transesterificados como combustible en vehículos usados en el África.
- Durante el transcurso de la 2ª Guerra Mundial (1939 – 1945) el biodiesel obtenido a partir de distintos tipos de aceites vegetales fue empleado en una parte importante de la flota de guerra.

- La crisis energética (1973 – 1979) disminuyó la oferta de petróleo y disparó su precio en forma exorbitante. Crisis que obligó a la mayoría de los países en desarrollo, a reducir o retrasar sus programas de desarrollo para poder adquirir el petróleo que necesitaban para mantener sus economías. Se planteó entonces la urgente necesidad de encontrar y desarrollar fuentes alternativas de energía, tales como el biodiesel que durante aquella época volvió a resurgir con fuerza.
- Las recientes preocupaciones por la preservación del medio ambiente y los compromisos asumidos por muchos países en el Protocolo de Kyoto, han provocado un resurgimiento del interés por este combustible en diferentes partes del planeta.
- Durante las últimas décadas, en los países industrializados, la tecnología de producción del biodiesel ha sido desarrollada satisfactoriamente y su uso en motores diesel ha sido probado con ostensible éxito. No obstante, aún persisten dos aspectos no resueltos que limitan una mayor expansión y difusión de su uso: por un lado, el alto costo de los aceites vegetales para la producción de biodiesel cuando se utilizan cultivos oleaginosos convencionales; y por el otro, la logística para el aprovisionamiento de los insumos en el caso de la utilización de aceites comestibles usados.

### ➤ **UTILIZACIÓN ACTUAL DEL BIODIESEL**

El Biodiesel está registrado como combustible y aditivo según la agencia de protección del medio ambiente (ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY-EPA - EEUU). Puede utilizarse puro al 100 % o en proporciones de 20 % ,30 %, etc. o a su vez como aditivo del 1% al 5%.

El resurgimiento de la idea de Diesel, de emplear aceites vegetales en sus motores, empieza a cobrar fuerza nuevamente hacia finales del siglo XX, esta vez bajo la forma de biodiesel, e impulsado, principalmente, por preocupaciones ambientales relacionadas con el cambio climático y la necesidad de encontrar alternativas al uso de combustibles fósiles.

Hasta hace pocos años era posible identificar otras motivaciones, además de las ecológicas, para impulsar su uso en diferentes regiones; por ejemplo, los excedentes de la producción de soya en los Estados Unidos, o los excedentes de la producción agraria en Europa que impulsaron la política de poner tierras en descanso para no afectar los precios de los productos agrícolas. En ambos casos, la producción de biodiesel, sea a partir de soya en los Estados Unidos, o de otros cultivos energéticos como la colza o el girasol en Europa, aparecía como excelente alternativa a estas situaciones específicas, a la vez que contribuía con la mitigación del cambio climático. No obstante, requería aún de importantes subsidios o exenciones tributarias para asegurar su viabilidad, ya que los precios de los aceites vegetales eran sustancialmente mayores que los del diesel.

Es con la espectacular subida de los precios del petróleo a partir del 2004, que los precios de los aceites vegetales y las grasas animales se empiezan a equiparar con los del diesel y generan este reciente boom de los biocombustibles líquidos a nivel mundial, que incluye también al bioetanol, que es básicamente etanol o alcohol etílico, que puede utilizarse como complemento o sustituto de la gasolina. Es justo luego de esta explicación que es conveniente referirnos al biodiesel y sus aplicaciones actuales como un complemento o sustituto del diesel pero obtenido a base de aceites vegetales o grasas de origen animal, obteniendo una matriz energética muy similar a la del diesel de petróleo pero con repercusiones ambientales mínimas, se puede resumir que el Biodiesel está siendo y será usado en aplicaciones industriales, en automóviles, en locomoción de trenes, aeronaves, buques y toda la gama de usos convencionales de los derivados del petróleo.

### ➤ **SITUACIÓN ACTUAL A NIVEL MUNDIAL**

En el ámbito mundial se han hecho grandes esfuerzos para aprovechar las diferentes fuentes de grasas y aceites presentes en cada región, con el fin de generar biodiesel con características similares al diesel del petróleo, e impulsar así mismo, su desarrollo agropecuario.



En Europa se producen principalmente ésteres metílicos de aceite de colza y en los Estados Unidos, la mayor producción está enfocada en el empleo de aceite de soya; en países con clima tropical (como Malasia), el enfoque está dado hacia el biodiesel de aceite de palma.

Junto con estos aceites, se presenta el uso de otras materias grasas recicladas y de origen animal como la de cerdo y pescado, para producción de biodiesel, que de acuerdo con algunos estudios presentan características muy similares a sus homólogos obtenidos con aceites vegetales refinados.

➤ **ESCALA MUNDIAL:**

Solo entre el 5 y el 6% de la producción de oleaginosas se utiliza como semilla para alimentar el ganado

Alrededor del 8% se emplea en la alimentación humana en forma directa

El porcentaje restante se procesa para la fabricación de aceite



**FIG 2.3 CICLO DEL BODIESEL**

**2.3. VENTAJAS DEL USO DE BODIESEL EN APLICACIONES ENERGÉTICAS CONVENCIONALES**

- El único combustible alternativo que puede utilizarse directamente en cualquier motor diesel, sin requerir ningún tipo de modificación es el Biodiesel. Hoy en día, dichos motores requieren un combustible que al ser sometido a distintas condiciones en las que opera, permanezca estable y por otra parte sea limpio al quemarlo.

- Al poseer propiedades similares al combustible diesel de petróleo, ambos se pueden mezclar en cualquier proporción, sin generar problema alguno.
- El biodiesel resulta un combustible ideal por sus bajas emisiones, en las áreas marinas, parques nacionales y bosques y sobre todo en las grandes ciudades como por ejemplo Estados Unidos que lo utiliza en sus distintas mezclas para el transporte público.
- Está libre de sulfuros y bencenos carcinogénicos (que producen cáncer), dos elementos que la EPA (Environmental Protection Agency) regula legalmente por sus consecuencias medioambientales y sanitarias.
- En un estudio de la norteamericana National Biodiesel Board (NBB) muestra que el uso de biodiesel reduce en un 14% la emisión de hidrocarburos, un 9% el monóxido de carbono y en un 8% el material participado.
- El uso de biodiesel supone un ahorro de entre un 25% a un 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por los combustibles fósiles, constituyendo así un elemento importante para disminuir los gases invernadero producidos por el transporte.
- El uso de biodiesel alarga la vida útil del motor por ser más lubricante.
- Una ventaja al momento de comercializarlo, es ser menos inflamable que la gasolina. Además, no necesita tanques especiales para almacenarlo y se puede expender con los mismos surtidores que ya están en uso.

## **2.4. DESVENTAJAS DEL USO DE BIODIESEL EN APLICACIONES ENERGÉTICAS CONVENCIONALES**

Reducción de las prestaciones del motor, entre el 3% y el 5% promedio en la potencia máxima.

Problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0 °C),

Incremento del consumo específico.

Incompatibilidad de algunos componentes de caucho y elastómeros (retenedores, mangueras) del motor, etc.

Tendencia a aflojar cierto tipo de pinturas.

Escasa estabilidad oxidativa (vida útil / período máximo de almacenamiento inferior a seis meses).

Dilución del aceite del cárter por presencia de combustible, debiendo acortarse los períodos de cambio de aceite.

Formación de mayores depósitos carbonosos en válvulas de admisión.

Su producción causa potenciación de los monocultivos intensivos, con el consiguiente uso de pesticidas y herbicidas y la posible pérdida de biodiversidad.

Causan mayores emisiones de óxidos de nitrógeno.

Puede requerir la renovación de los filtros de combustible a intervalos más cortos en los motores con varios años de uso con diesel de petróleo, porque tiene un efecto diluyente que hace despegar fácilmente la suciedad del tanque y sus cañerías.

## **2.5. JUSTIFICACIÓN DEL USO DEL BIODIESEL EN MAQUINARIA DE USO COMÚN**

Finalmente, a manera de resumen del capítulo, se puede justificar el uso de Biodiesel, con las siguientes razones:

El biodiesel es un combustible renovable que reemplaza ventajosamente al diesel de petróleo.

Se elabora el rendimiento a partir de cualquier aceite vegetal virgen o usado o de grasas animales.

Su energía específica es ligeramente menor que la del diesel de petróleo, pero su elevada lubricidad compensa esta diferencia. Es por esto que el rendimiento energético de ambos combustibles sea esencialmente el mismo.

Puede usarse puro, o mezclado en cualquier proporción con diesel de petróleo, y no requiere modificación alguna de los motores.

La lubricidad del biodiesel es notable, al punto de duplicar la vida útil de los motores. Es por ello que se le adiciona biodiesel al diesel de petróleo con baja cantidad de azufre, devolviéndole la lubricidad perdida por el bajo contenido de azufre.

La fabricación de biodiesel es sencilla, y no responde a economías de escala: Se parte de un aceite vegetal, o grasa animal, a los que se somete a un proceso de transesterificación. Como resultante de este proceso se obtiene biodiesel, y un subproducto conocido como glicerina.

La transesterificación se logra mezclando el aceite vegetal, o la grasa animal, con un alcohol liviano y un catalizador. Al cabo de un tiempo de reposo, se separan por decantación el biodiesel, y la glicerina. Si fue correctamente elaborado el biodiesel este requerirá solo de filtrado antes de ser usado.

Sus derrames en el agua provocan menor contaminación ambiental por degradarse rápidamente. Desaparecen en tres semanas los vestigios de derrames en tierra. Su toxicidad es 10 veces menor que la sal común (ClNa) Reduce la contaminación hasta un 90%. Al ser libre de azufre no genera emanaciones ni lluvias ácidas

No es tóxico, por ello la manipulación durante su transporte y almacenamiento no generan riesgos para la salud.

El biodiesel reduce la contaminación.

Las emisiones netas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de dióxido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) se reducen un 100 %.

La emisión de hollín se reduce un 40-60%, y

Emisión de hidrocarburos (HC) un 10-50 %. La emisión de monóxido de carbono (CO) se reduce un 10-50%.

Se reduce igualmente la emisión de hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), y en particular de los siguientes derivados, de comprobada acción cancerígena:

Fenantrén 97%;

Benzoflúorantren 56%;

Benzopirenos - 71%.

Finalmente, la emisión de compuestos aromáticos y aldehídos se reduce un 13%, y las de óxidos nitrosos (NOx) se reducen, o aumentan, 2-5% de acuerdo al desgaste del motor, y a la calibración de la bomba inyectora.

El biodiesel es 100% biodegradable, y su toxicidad es inferior a la de la sal de mesa. Su combustión genera, de acuerdo al precursor que se utilice, un olor similar al de las galletas dulces, o al de las papas fritas.

Los litros de biodiesel por hectárea que se obtengan dependerán del cultivo que dé origen al aceite vegetal. Los ejemplos a continuación dan una idea del potencial de cada cultivo.

<b>Variedad Oleaginosa</b>	<b>Producción de aceite en litros</b>
Algodón ( <i>Gossypium Hirsutum</i> )	270
Arroz ( <i>Oriza sativa</i> ):	770
Girasol ( <i>Helianthus annuus</i> ):	890
Colza ( <i>Brassica napus</i> ): litros	1100
Jatropha ( <i>Jatropha curcas</i> ):	1590
Coco ( <i>Cocos nucifera</i> ):	2510
Palma ( <i>Elaeis guineensis</i> ):	5550
Soja ( <i>Glicine max</i> ):	420
Maní ( <i>Arachis hipogaea</i> ):	990
Ricino ( <i>Ricinus communis</i> ):	1320
Aguacate ( <i>Persea americana</i> ):	2460
Cocotero ( <i>Acrocomia aculeata</i> ):	4200

**FIG 2.4 PRODUCCIÓN EN LITROS DE ACEITE SEGÚN VARIEDADES DE OLEAGINOSAS**

El alcohol se utiliza en una proporción del 15 al 25% y el catalizador es menos del 1.5% del volumen procesado. Preferentemente se utilizan alcoholes metílicos o etílicos, e hidróxidos de sodio o de potasio.

La glicerina que se obtiene puede venderse tal cual, transformarse en otros productos de mayor valor agregado, como se menciono al principio de este, o ser refinado para obtener glicerina. La venta de glicerina generalmente cubre el costo del alcohol, catalizador, la electricidad y la mano de obra.

## **CAPITULO 3**

### **ESTÁNDARES Y NORMATIVAS DEL BIODIESEL**

#### **3.1. OBTENCIÓN DEL BIODIESEL**

Químicamente, el biodiesel se define como esteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadenas largas derivados de lípidos naturales.

El biodiesel es típicamente producido a través de reacciones de aceites vegetales o grasa animal con metanol o etanol en la presencia de un catalizador para producir glicerina y biodiesel.

Este biocombustible se obtiene mediante un proceso químico llamado transesterificación, en el cual los aceites orgánicos son combinados con un alcohol y alterados químicamente para formar un éster etílico o metílico, el cual recibe finalmente el nombre de biodiesel.

El combustible utiliza metanol para la esterificación del aceite vegetal y es químicamente referido como ester metílico . En los Estados Unidos, ha sido registrado en la Agencia de Protección Ambiental como un combustible puro o como un aditivo de combustible siendo un combustible legal para el comercio.

Metanol alcohol de mayor uso en la producción de biodiesel (ésteres metílicos), debido a que la alcoholólisis o transesterificación con este alcohol ha sido ampliamente estudiada desde la década de 1950 como una manera simplificada de obtener detergentes y jabones.

Sin embargo, se considera que el etanol es el siguiente paso para el desarrollo de procesos de obtención de biodiesel por las ventajas que presenta en cuanto a renovabilidad y baja toxicidad.

## ➤ DENOMINACIONES DE EL BIODIESEL SEGÚN ORGANISMOS REGULADORES

EPA (La Agencia de Protección Ambiental /EE.UU.) lo tiene registrado para utilización como combustible puro (100% de biodiesel, o B100), como mezcla-base (con 20% de biodiesel y el resto de gasoil, B20), o como aditivo de combustibles derivados del petróleo en proporciones del 1 al 5%.

En diferentes países se han establecido diversas normas y ensayos para estandarizar este biocombustible.

La ASTM (American Society for Testing and Materials) define biodiesel como esteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasa de animales y que se emplea en los motores de ignición por compresión.

La National Biodiesel Board (la Asociación de Productores norteamericanos de biodiésel) lo define como un combustible compuesto de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de aceites o grasas, vegetales o animales.

### 3.2. CALIDAD DEL BIODIESEL

El biodiesel es un combustible alternativo el cual puede ser usado en forma pura, o mezclado con diesel de petróleo, para ser usado en la combustión de motores de compresión.

Sus propiedades físicas y químicas en relación con la operación de motores diesel son similares a la del combustible diesel tradicional.

Las especificaciones Austriacas, Alemanas, y Francesas con respecto al biodiesel han sido aprobadas por sus respectivas organizaciones para fijar estándares. Además, la International Standards Organization (ISO) también se encuentra considerando una especificación para el combustible.



Las especificaciones para el biodiesel puro (100%) son descritas en la siguiente Tabla, la misma que se encuentra aprobada en los Estados Unidos por la ASMT.

<b>PROPIEDAD</b>	<b>METODO (ASTM O IRAM)</b>	<b>LIMITES</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Punto de inflamacion</b>	ASTM D 93	100. min	°C
<b>Agua y sedimentos</b>	ASTM D 1796	0.050 max	%
<b>Viscosidad cinematica a 40°C</b>	IRAM - IAP A 6597	3,5 a 5	centistokes
<b>Azufre</b>	ASTM D 4294 o IRAM - IAP A 6539 o A 6516	0.01 max	% en peso
<b>Numero de Cetano</b>	ASTMD 613/96	46 min	
<b>Densidad</b>	ASTM D 1298	0.875 a 0.900	
<b>Alcalinidad</b>	ASTM D 664	0.50 max	mg KOH/g
<b>Glicerina libre</b>	ASTM 6584-00 o NF T 60-704	0.020 max	% en peso
<b>Glicerina total</b>	ASTM 6584-00 o NF T 60-704	0.24 max	% en peso

**FIG 3.1 ESPECIFICACIONES DEL BIODIESEL B=100 USO PURO**

### **3.3. CAPTACIÓN DE INSUMOS PARA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE**

El único sector industrial que está en condiciones de proveer materia prima con todos los requisitos técnicos para su elaboración es el EL AGRO, de acuerdo a la Calidad en los volúmenes demandados para uso extendido y continuo, para una Actividad sustentable.

- **PRODUCCIÓN:** Los insumos se comercializan, excepto en el caso del aceite de palma en cuyo caso se reporta la producción como aceite, en peso.

- **ÁREA DE COSECHA (EN HECTÁREAS):** superficie efectivamente cosechada, excluyendo zonas con plantaciones no recolectadas por distintos factores (climáticos, desastres naturales, etc.). Para cultivos que se plantan más de una vez al año en el mismo sitio, el área se reporta multiplicada por el número de cosechas efectivas anuales.
- **RENDIMIENTO POR HECTÁREA COSECHADA:** producción total efectivamente cosechada (suma de la comercializada en el mercado y de la auto consumida por el productor) por unidad de área y se reporta en hectogramos (100 gramos/ hectárea).
- **CANTIDAD DE SEMILLAS:** medida en toneladas métricas (ton), reflejan la cantidad del recurso que es reservado para futuras plantaciones.
- **POR EL TIPO DE RECURSO OLEAGINOSO (MATERIA PRIMA):** Los productos primarios no pueden ser agregados por la suma de sus pesos naturales para definir una producción global de oleaginosas.

Por esta razón, es necesario recurrir a un “equivalente en aceite” para determinar la producción agregada

### 3.3.1. GRANOS MÁS UTILIZADOS:

- **SOJA:** a nivel mundial, en la actualidad, es la más importante fuente de aceite, aunque también es ampliamente consumida como grano y como un conjunto de productos derivados (leche de soja, sucedáneos de la carne) debido a su alto contenido en proteínas de las oleaginosas.
- **PALMA ACEITERA:** produce racimos de frutos cuyo mesocarpio carnoso rodea una almendra con una cáscara sumamente dura. El aceite de palma se extrae de la pulpa (el rendimiento de un racimo oscila entre el 17 y el 27%) mientras que las almendras también son oleaginosas, con un contenido de aceite de entre el 4 y el 10%.

- **GIRASOL:** sus semillas son valorizadas fundamentalmente por su contenido en aceite, aunque un pequeño porcentaje de la producción total se destina al consumo directo como alimento humano y componente en las raciones para alimentación de pájaros.
- **COLZA:** el valor comercial de la colza (“rapeseed”) reside básicamente en su contenido en aceite, (también llamado aceite de canola), con la salvedad de que las variedades más antiguas son ricas en ácido erúxico, considerado insalubre.
- **ALGODÓN:** se cultiva tanto por su fibra como por sus semillas, que contienen entre un 55 y un 65% de aceite.

<b>PALMA</b>	<b>36 LITROS</b>
<b>SESAMO</b>	50 LITROS
<b>COLZA</b>	37 LITROS
<b>MOSTAZA</b>	35 LITROS
<b>LINO</b>	42 LITROS
<b>ALGODÓN</b>	13 LITROS
<b>SOJA</b>	14 LITROS
<b>PALMA</b>	20 LITROS
<b>MANI</b>	42 LITROS
<b>CASTOR RICINO</b>	36 LITROS
<b>GIRASOL</b>	32 LITROS
<b>JATROPHA CURCA</b>	62 LITROS

**FIG 3.2 PORCENTAJE EXTRACCION DE ACEITE SEGÚN LA SEMILLA (CADA 199KGR.)**

### 3.3.2. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE MATERIA PRIMA.

- **MÉTODOS TRADICIONALES:** requieren de varias operaciones preliminares (molienda, pelado, descascarado, etc.) luego de las cuales el producto se compacta como una pasta y se hierve en agua agitando hasta que el aceite se separe.
- **MÉTODOS MODERNOS:** incluyen tanto la molienda como el prensado a escala industrial, además de la extracción del aceite mediante un solvente adecuado, usualmente hexano, que es la técnica más eficiente. El residuo de extracción se usa habitualmente en raciones animales.
- **EFICIENCIA:** las técnicas más convencionales (que por lo general son manuales) presentan muy baja eficiencia. Si en cambio el aceite se extrae por prensado sin calentar, se consigue la calidad más pura desde el punto de vista de alimento que no requiere refinado posterior

### 3.4. ASPECTOS RELATIVOS EN LA PRODUCCION DE BIOCOMBUSTIBLE

#### ➤ ASPECTOS TÉCNICOS EN PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

**PROCESO:** Transesterificación catalítica de glicéridos, en el cual se hace reaccionar aceite vegetal o grasa animal, en presencia de un catalizador adecuado, a baja presión y temperatura.

**PRODUCTOS:** se genera biodiesel con un rendimiento de conversión del 98% y, como subproducto principal, glicerina.

**TECNOLOGÍAS:** A escala industrial existen tres rutas básicas para la elaboración de ésteres metílicos a partir de grasas y aceites:

Transesterificación catalítica del aceite en medio básico con catalizadores

Transesterificación catalítica directa del aceite en medio ácido con reactivos

Conversión del aceite en ácidos grasos en una primera etapa y luego a ésteres orgánicos.

### ➤ ASPECTOS ECONÓMICOS EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

Los valores indicados con 1\* incluyen costos de:

- Maquinarias, tanques, cañerías, equipo de laboratorio + costos de instalación, puesta en marcha y comisionado de la planta.

No incluyen tanques de almacenamiento de productos, obra civil, acondicionamiento del terreno ni servicios. Los valores son FOB U.S.A..

Los valores indicados con 2\* corresponden a:

- Límites de baterías de distintas plantas de tamaño comercial, sin incluir obra civil, acondicionamiento del terreno ni servicios.

Capacidad (m <sup>3</sup> /año)	Inversión (U\$)
750*	375000
1.500*	575000
3.000*	900000
4.000**	1485000
6.000*	1700000
12.000**	3000000
33.000**	6000000
120.000**	15000000

**FIG 3.3 RELACIONES CAPACIDAD INSTALADA - INVERSIÓN PROCESO BATCH**

### 3.5. TECNOLOGÍA PREFERIDA EN LA ACTUALIDAD:

Reacción catalítica en medio básico, por conveniencia y economía

- Condiciones operativas moderadas de P y T
- Altos rendimientos de conversión (hasta 98%) con tiempos de residencia relativamente cortos y muy pocas reacciones secundarias
- Conversión directa al producto final en una sola etapa de reacción
- Posibilidad de utilizar materiales convencionales en la construcción de equipos, por la baja agresividad química de los reactivos empleados

### **3.6. ESTANDARES ESTABLECIDAS PARA EL USO DE BIOCOMBUSTIBLE**

- **OXIDACIÓN, ESTABILIDAD TÉRMICA Y ESTABILIDAD DEL BIODIESEL EN DEPÓSITO**

Si se desea guardar biodiesel por períodos de tiempo más prolongados se recomienda agregar aditivos estabilizantes. El NBB ha investigado la utilización de una variedad de aditivos estabilizantes para ser utilizados tanto en diesel de petróleo como en biodiesel con un buen nivel de éxito. Estabilizadores tradicionales para los aceites vegetales (TBHQ - Butil Hidroquinona Terciaria) son más efectivos para el biodiesel que los aditivos tradicionales para petróleo y las mezclas de TI3HQ con aditivos tradicionales, son mejores para las mezclas.

- **IMPACTOS SOBRE EL MOTOR DIESEL**

Las pruebas realizadas utilizando B20 en motores diesel, sean estos nuevos o usados, con inyección directa o indirecta, demuestran que ningún hecho negativo puede ocurrirles y que posiblemente aumente la vida útil de los mismos. El uso de mezclas de biodiesel mayores que B20 en motores con IDI, viejos o nuevos, debería producir resultados iguales o mejores, mientras que el uso de mezclas mayores a B20 puede producir en algunos motores antiguos con DI un espesamiento en el aceite

- **FLUIDEZ A BAJA TEMPERATURA**

Estos resultados positivos de las pruebas de durabilidad con biodiesel puro, los resultados de la utilización de B 20 en USA en más de 30.000.000 de km. recorridos, combinado con el hecho de que virtualmente todos los fabricantes de motores diesel mantienen sus garantías sobre los mismos cuando se utiliza B20, implican suficiente evidencia de que el uso de B 20 en motores diesel existentes permite una durabilidad similar a la del diesel de petróleo y puede a lo largo de los años mejorar la durabilidad debido a una combustión más limpia y a la naturalmente elevada lubricidad del biodiesel.

La mayoría de los motores diesel reciclan una cantidad sustantiva de combustible a través del motor volviendo al tanque de combustible y esto sirve

para calentar el combustible en el tanque. Esto elimina los problemas de fluidez en el tiempo frío una vez que el motor ha arrancado.

### 3.7. NORMATIVAS ESTABLECIDAS EN LA CALIDAD DEL BIOCOMBUSTIBLE

En la tabla siguiente se muestra un cuadro comparativo, de los normativas establecidas por el C.E.N (Comité Europeo de Normalización - Norma Europea) valores reflejados en la norma EN1424 y por la normativa vigente de los Estados Unidos de Norteamérica, A.S.T.M D 6751-02 (Norma Americana ) Los países que integran el C.E.N aplicable a Biodiesel valores reflejados en la norma EN1424:

Parámetro	Unidad	Especificaciones		Parámetro	Unidad	Especificaciones	
		EN 14214-03	A.S.T.M D 6751 -02			EN 14214-03	A.S.T.M D 6751 -02
Contenido de esteres	% masa	Mín. 96,5	----	Estabilidad a la oxidación	horas	Mín. 6	----
Densidad a 15 °C	g/cm 3	0,86 - 0,90	----	Índice de acidez	mg KOH/g	Máx. 0,50	Máx. 0,80
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm 2 /s	3,50 - 5,00	1,90 ◆ 6,00	Contenido en metanol	% masa	Máx. 0,20	----
Punto de Inflamación	°C	Mín. 120	Mín. 130	Contenido en monoglicéridos	% masa	Máx. 0,80	----
Punto de obstrucción de filtro frío (P.O.F.F)	°C verano	Máx. 0	----	Contenido en diglicéridos	% masa	Máx. 0,20	----
	°C invierno	Máx. -20	----	Contenido en triglicéridos	% masa	Máx. 0,20	----
Azufre total	% masa	Máx. 0,001	Máx. 0,05	Glicerol libre	% masa	Máx. 0,02	Máx. 0,02
Residuo carbonoso Conradson al 100%	% masa	Máx. 0,05	Máx. 0,05	Glicerol ocluido	% masa	Máx. 0,23	----
Número de cetano	----	Mín. 51	Mín. 47	Glicerol total	% masa	Máx. 0,25	Máx. 0,24
Contenido en cenizas	% masa	Máx. 0,03	Máx. 0,02	Índice de yodo	----	Máx. 120	----
Contenido en agua	mg/Kg.	Máx. 500	----	Fósforo	ppm.	Máx. 10	Máx. 10
Agua y sedimentos	% volumen	----	Máx. 0,05	Sales Metálicas (Na+K)	mg/Kg.	Máx. 5	----
Corrosión al cobre (3h/50 °C)	Grado de Corrosión	Máx. 1	Máx. 3				

**FIG 3.4 CUADRO COMPARATIVO DE NORMAS PARA CALIDAD DE BIODIESEL**

EN: Norma Europea (EN 14214)

A.S.T.M : American Society for Testing and Materials .(A.S.T.M. D 6751-02)

## CAPITULO 4

### PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

#### 4.1. MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL

Existen varios métodos para obtener Biodiesel, los más importantes y que mencionaré son: Mezcla con Petrodiesel, Pirólisis, Microemulsificación y Transesterificación.

##### 4.1.1. MEZCLA CON PETRODIESEL

El biodiesel se puede utilizar, tanto puro (B100) como mezclado con Diesel de origen fósil (petrodiesel) en cualquier proporción.

La forma de realizar las mezclas puede ser:

➤ **SIMPLE VERTIDO:**

Se vierte en un depósito o recipiente un componente sobre otro. En este caso, conviene poner primero el "petrodiesel" y añadir el Biodiesel sobre él. Aquí se hace necesario un mínimo de agitación posterior, con el fin de conseguir la necesaria homogeneización de la mezcla.

Se aconseja incorporar primero el Biodiesel y añadir después el "petrodiesel" para que éste "borbotee" a través del primero (que es más denso que el segundo). Con esto y el movimiento del líquido mezclado en la carga durante el viaje a destino, más la operación de descarga, debe ser suficiente para conseguir la deseada homogeneización de la mezcla.

➤ **INYECCIÓN (CONTINUA O A POR MEDIO DE IMPULSOS):**

Añade cierta proporción de Biodiesel al "petrodiesel" en el brazo de carga o tubería de vertido de éste, con lo que la propia turbulencia provocada por el flujo al que discurre el producto por dichos conductos logra una buena mezcla. Este último es el método más típico y extendido en la práctica.



- **USADO POR REFINERÍAS:**

Se lo realiza mediante simple vertido de uno y otro componente a un tanque (aquí da igual el orden en que se haga) y posterior homogenización, mediante los potentes y eficaces sistemas de recirculación que poseen estas instalaciones.

Porcentajes crecientes de biodiesel, a partir del 20%, en mezclas con "petrodiesel", podrían llegar a dar algún problema relacionado con:

Su comportamiento a bajas temperaturas y/o en almacenamientos prolongados.

Su comportamiento frente a diversas partes de los aparatos surtidores, depósitos y equipos de inyección del carburante, tales como: juntas, racores, mangueras, etc., por la incompatibilidad del Biodiesel con algunos materiales específicos, como el cobre y ciertos tipos de caucho (Véase Apéndice G)

El rendimiento del motor se verá afectado negativamente a medida que se incremente la presencia del Biodiesel en la mezcla con "petrodiesel" (por el menor poder calorífico del primero frente al segundo) y en cuanto a las emisiones a través del escape, en éstas irán disminuyendo los valores de CO, Partículas e Hidrocarburos no quemados, mientras los NOx no ofrecen una tendencia claramente definida.

Como las propiedades de frío del Biodiesel (aunque varían según los aceites de los que provengan) son, generalmente, peores que las del "petrodiesel", se debe tener especial atención a este parámetro a la hora de planear el uso de mezclas de ambos carburantes. En base a esta propiedad y al hecho de que la densidad del Biodiesel es mayor que la del "petrodiesel", es muy conveniente tratar de realizar la mezcla, procurando la máxima homogeneización de ambos componentes de la misma.

Es de hacer notar que, tanto para corregir las deficientes propiedades de frío de un Biodiesel como su estabilidad a la Oxidación, existe la posibilidad de incorporarle aditivos específicos para cada uno de esos parámetros. Ello

evitará la formación de cristales (por congelación) y sedimentos (por oxidación), que obstruirían los filtros e impedirían un buen manejo del carburante sobre todo en los sistemas de inyección de los vehículos, donde es vital la consecución de la dosificación y atomización correcta del producto para lograr el óptimo rendimiento del motor

#### **4.1.2. PIROLISIS**

La Pirólisis, también conocida como Craqueamiento térmico, es la conversión de una sustancia en otra por medio de su calentamiento a altas temperaturas (superiores a 450°C) en ausencia de oxígeno.

En algunas situaciones se utilizan, además, catalizadores que ayudan a romper los enlaces químicos de las moléculas, de manera que se forman moléculas de menor tamaño.

La pirólisis de las grasas, con ayuda de óxido de silicio o de aluminio como catalizador, es una manera de obtener combustibles químicamente similares al diésel de petróleo. Sin embargo, es un proceso caro. Además, al remover el oxígeno del proceso se pierden los beneficios ambientales de ser un combustible oxigenado (como la mejor combustión y menores emisiones contaminantes).

Este combustible obtenido del craqueamiento térmico de las grasas no es biodiésel (no está compuesto por ésteres de ácidos grasos), pero es también un combustible renovable semejante al diésel de petróleo.

#### **4.1.3. MICROEMULSIFICACIÓN**

Las microemulsiones son dispersiones de aceite y otras sustancias líquidas, termodinámicamente estables, isotrópicas, claras o traslúcidas. Debido a su naturaleza de mezcla el poder calorífico es más bajo y por lo tanto tiene los inconvenientes de mayor consumo de combustible y caída en la potencia en el eje del motor.

#### 4.1.4. TRANSESTERIFICACIÓN

La idea del proceso de transesterificación es reemplazar el glicerol de los triglicéridos por alcoholes simples, como el metanol o etanol, (1 triglicérido + 3 alcohol <catalizador alcalino > 3 biodiesel + 1 glicerol).

De esta manera, se obtienen moléculas en forma de cadena larga, muy similares en su forma y sus características físicas a las moléculas de los hidrocarburos. La principal ventaja que se logra con este proceso es reducir la viscosidad del aceite hasta un nivel muy cercano al del diesel. En la práctica se necesita más de 3 alcoholes por cada triglicérido para que la reacción ocurra completamente. Si no se usa este exceso de alcohol, el producto obtenido no será biodiesel puro: consistirá en una mezcla de biodiesel, triglicéridos sin reaccionar, y productos intermedios como los monoglicéridos y diglicéridos.

Estas impurezas pueden afectar las características del combustible, de manera que no cumpla con las normas técnicas de calidad, además de tener efectos indeseados como producir depósitos carbonosos en el motor, taponamiento de los filtros, combustión incompleta, etc. Igualmente, para que la reacción se lleve a cabo, también se sabe que se necesita la presencia de un catalizador y de ciertas condiciones de reacción (tiempo, temperatura, agitación). Asimismo, se ha visto que la calidad del aceite es uno de los condicionantes más importantes para que la transesterificación se lleve a cabo adecuadamente y que debe asegurarse con un análisis químico previo y, si es necesario, con un pretratamiento adecuado.

Los siguientes pasos de la transesterificación alcalina, tal como se aprecian en la figura **(Véase el Anexo 6)**.

La primera operación consiste en disolver el catalizador sólido (hidróxido de sodio o potasio – NaOH o KOH) en el alcohol (metanol o etanol). La cantidad de catalizador a utilizar depende de la acidez del aceite, pero suele variar entre un 0,5 y 1%. Se necesita aproximadamente media hora de agitación constante para lograr una disolución completa. Si se trabaja con un catalizador líquido (metilato de sodio) no se requiere este paso.

Luego se realiza la transesterificación propiamente dicha. Para ello, se necesita un reactor cerrado herméticamente, con agitación constante y calor. En plantas de producción pequeñas este proceso se realiza por lotes, pero en plantas de gran escala se realiza en reactores de flujo continuo. En este reactor se mezclan el aceite y el metanol con el catalizador disuelto y se agita durante una hora. Para que la reacción sea completa se requiere un tiempo de reacción de 1 hora a 60°C de temperatura, o de 4 horas a 32°C de temperatura.

La transesterificación resulta en la separación de dos fases: una fase más viscosa y densa, que consiste en una mezcla de glicerol, jabones, catalizador, metanol y agua (denominada glicerol crudo (Véase Apéndice B) y una fase más liviana, que consiste en los metil-ésteres (el biodiésel), también con metanol, una menor proporción de catalizador y jabones, y mono y diglicéridos (en caso que la reacción no haya sido completa). Se requiere de un tanque decantador donde ambas fases se puedan separar por gravedad, o con la ayuda de una centrífuga para separarlas más rápidamente. Asimismo, se puede añadir agua luego de la transesterificación para mejorar la separación del glicerol. A partir de este punto, se separan dos líneas de proceso: una para purificarlos metilésteres, y otra para purificar y recuperar el glicerol.

### ✓ **TRANSESTERIFICACIÓN EN DOS ETAPAS**

Muchas plantas de producción, sobre todo en Europa donde los estándares de calidad para el biodiésel son más exigentes, realizan la transesterificación del aceite en dos etapas. El objetivo de este método es reducir la cantidad de metanol que interviene en la transesterificación, y mejorar la eficiencia de la reacción, consiguiendo altas tasas de transformación del aceite en biodiésel y una mayor pureza del producto.

Este proceso consiste en agregar sólo una parte de la mezcla de alcohol y catalizador en cada etapa y separar el glicerol después de cada etapa. Usualmente, se agrega primero un 80% del alcohol y catalizador al aceite, se realiza la transesterificación, se separa el glicerol, y el producto se lleva a una segunda reacción con el 20% de alcohol y catalizador restante.

Su fundamento reside en una característica importante de la reacción química de transesterificación: que es una reacción de equilibrio. Las reacciones de equilibrio pueden ocurrir en los dos sentidos. En el caso de la transesterificación, el aceite y el alcohol reaccionan para producir ésteres metílicos y glicerol, pero igualmente los ésteres metílicos pueden reaccionar con el glicerol para producir triglicéridos y alcohol nuevamente. Cuando se mezclan el aceite, alcohol y catalizador, la reacción transcurre hasta que alcanza un punto de equilibrio en el que ya no se generan más productos. La reacción ocurre en ambos sentidos al mismo tiempo y está en un equilibrio dinámico.

Como el objetivo del proceso es obtener la mayor cantidad de ésteres, lo ideal es desplazar lo más posible este equilibrio hacia la derecha de la reacción (es decir, hacia los productos).

Hay dos maneras de hacerlo: agregar más insumos (es por esto que se utiliza una razón molar alcohol: aceite de 6:1 en lugar de 3:1), o quitar parte de los productos. Al realizar la reacción en dos etapas se está justamente quitando uno de los productos (la glicerina o glicerol) y forzando a la reacción a avanzar aún más para producir ese glicerol faltante para reestablecer el equilibrio.

#### ✓ **TRANSESTERIFICACIÓN ALCALINA CON ETANOL**

En muchos países se está experimentando con la transesterificación utilizando etanol en lugar de metanol. Las ventajas de este proceso serían la procedencia renovable del alcohol (caña de azúcar, remolacha, maíz, etc.) y su mucha menor toxicidad. Sin embargo, la producción de ésteres etílicos es difícil en comparación con la de ésteres metílicos, debido principalmente a la fácil formación de emulsiones estables.

que dificultan severamente la separación del biodiésel y el glicerol y la purificación del biodiésel.

Se requiere mucho mayor cuidado con la pureza de los insumos así como con los parámetros de reacción – tiempo, temperatura, agitación – para asegurar el éxito. En Brasil, se ha experimentado con un método que usa dos catalizadores

para permitir la transesterificación con etanol, con un tiempo de reacción de sólo 30 minutos.

## **4.2. PROCESOS CATALÍTICOS DE TRANSESTERIFICACIÓN**

Dentro de los procesos Catalíticos a mencionar, se destacan la Catálisis Ácida, Catálisis Básica, Catálisis Enzimática

### **4.2.1. CATÁLISIS ÁCIDA**

Los catalizadores ácidos son efectivos pero requieren un intervalo de tiempo extremadamente largo y temperaturas superiores a 100°C para su acción. Se usan en transesterificación, cuando los aceites poseen grados de acidez muy altos y que perjudican la acción de los catalizadores alcalinos (acidez mayor a 10 %). La humedad de las materias primas no restringe su uso como en la catálisis básica, aún cuando los rendimientos de la reacción se ven favorecidos si el agua no está presente.

Se emplean ácido sulfúrico, clorhídrico y ácidos sulfónicos; recientemente en los procesos con aceites crudos de acidez muy alta, se están empleando resinas ácidas que permiten altas conversiones de los ácidos libres y adicionalmente ayudan a la transesterificación de los triglicéridos; esta operación corresponde a una etapa inicial de preesterificación, seguida de una transesterificación con catalizador básico

### **4.2.2. CATÁLISIS BÁSICA**

Los catalizadores básicos o alcalinos son los más usados, y dentro de estos, el KOH, NaOH, Carbonatos de sodio y potasio, así como alcóxidos metálicos (metilato, etilato, propilato ó butilato de sodio o potasio), son los más estudiados.

Los hidróxidos poseen la mayor aplicación industrial pues son económicos y muy efectivos cuando las materias primas lo permiten. Dan buenos resultados siempre y cuando el contenido de agua en el medio de reacción sea mínimo y la acidez para los aceites sea menor al 1 %, ya que contenidos superiores

tienden a formar jabones y geles que inhiben la capacidad catalítica de las bases, y evitan la separación del glicerol de la mezcla reactante.

Los catalizadores como KOH y NaOH se emplean en proporciones variadas, que oscilan entre 0.5 y 1.5 % w. del aceite, encontrándose para la mayoría de las reacciones de transesterificación con aceites refinados 1 % como la cantidad óptima, sin embargo, con aceites de elevada acidez se recomienda ajustar este valor aún cuando esta práctica puede llevar a formación de jabones y emulsiones que reducen el rendimiento de la reacción.

Para el metilato de sodio se recomiendan valores entre 0.3 y 0.5 % w. con respecto al aceite, este catalizador es altamente efectivo aunque más costoso que los hidróxidos, las condiciones de reacción deben ser cuidadosas ya que con aceites no refinados puede generar subproductos que disminuyen la calidad y rendimiento de la reacción.

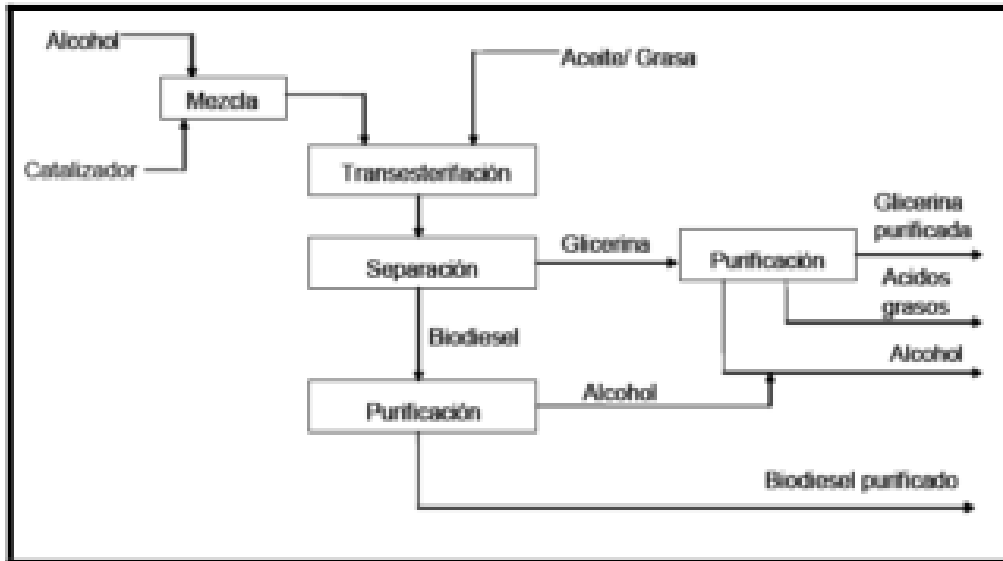
El metanol y etanol suelen emplearse en excesos de 6:1 molar, aunque excesos mayores se pueden aplicar cuando las condiciones de reacción lo requieran, como por ejemplo, en los aceites de palma que tienden a formar glicéridos parciales al final de la reacción y un exceso mayor favorece la conversión de estos. Adicionalmente a mayores excesos los subproductos y reacciones indeseadas disminuyen; se ha comprobado que el uso de elevados excesos de alcohol (relaciones 12:1 hasta 40:1 alcohol/aceite), son adecuados cuando se emplean aceites con alto contenido de ácidos grasos libres; a pesar de estas ventajas los excesos mayores a 6:1 impiden la decantación de la glicerina y se hace necesario retirar el alcohol en exceso por destilación para que se presente la separación.

La literatura presenta diferentes condiciones de temperatura en las cuales puede llevarse a cabo la transesterificación; las temperaturas recomendadas van desde la ambiente, hasta la de ebullición del alcohol empleado, y aún mayores dependiendo del catalizador; sin embargo, la mayoría de autores coincide en afirmar que esta última es la más apropiada, ya que se aumenta la velocidad y disminuye el tiempo de reacción ostensiblemente.

El proceso de obtención de biodiesel por la vía alcalina consta principalmente de 6 etapas básicas, las cuales son:

- ✓ **MEZCLA ALCOHOL Y/O CATALIZADOR:** La base empleada como catalizador es previamente disuelta en el alcohol con ayuda de agitación, para posteriormente mezclarse con el aceite. La reacción de mezclado es exotérmica.
- ✓ **REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN:** La mezcla alcohol-catalizador y el aceite, son mezclados y con ayuda de agitación se promueve el contacto entre los reactivos y de esta manera dar lugar a la reacción de transesterificación. Esta reacción se lleva a cabo a una temperatura determinada y generalmente a presión atmosférica.
- ✓ **SEPARACIÓN:** Al finalizar la reacción hay una mezcla de glicerina y alquilesteres (biodiesel), los cuales son separados por decantación al cabo de varias horas. La glicerina por su mayor densidad queda en el fondo del tanque.
- ✓ **LAVADO DEL BIODIESEL:** Cuando ya se ha separado el biodiesel de la glicerina, ambos son lavados con agua con el fin de retirar los residuos de metanol y jabones formados por las reacciones secundarias. En ocasiones se agrega un ácido para neutralizar los alquilesteres.
- ✓ **SECADO DEL BIODIESEL:** Una vez lavado el biodiesel este debe ser secado con el fin de eliminar el remanente de agua. El secado tiene un tiempo y temperatura determinada.
- ✓ **PURIFICACIÓN DE LA GLICERINA:** Las características y propiedades que tiene la glicerina una vez se separa del biodiesel, no permiten su aplicación directamente debido a su alta alcalinidad y contenido de metanol, por lo que debe someterse a un proceso de purificación.





**FIG.4.1 ESQUEMA DE CATÁLISIS BÁSICA**

#### **4.2.3. CATÁLISIS ENZIMÁTICA**

La catálisis enzimática es llevada a cabo normalmente con lipasas; las enzimas más empleadas en los estudios realizados son obtenidas de microorganismos como la candida antártica, mucor miehei, Rhizopus delemar y pseudomona cepacea.

La reacción suele llevarse a cabo con aceite o grasa, alcohol, un solvente orgánico poco polar (como hexano o éter de petróleo), que solubiliza las fases y una enzima que es inmovilizada sobre resinas de intercambio aniónico macroporosas.

Este tipo de catálisis tiene la ventaja de permitir el uso de alcohol con altos contenidos de agua (mayor a 3%) y en relación estequiométrica, bajas temperaturas (50 °C), lo que supone un ahorro energético, elevados grados de acidez en los aceites (25 %) y la posibilidad de recuperar el catalizador que se encuentra inmovilizado.

Sin embargo, el costo de la enzima y las condiciones de reacción, hace prohibitivo este tipo de procesos para la obtención de un producto cuyo valor

agregado no es muy alto, ya que se requiere lipasa en una proporción 10 – 12 % w. del aceite, tiempos de 5 a 10 horas y un procesos de purificación del producto final para remover el solvente orgánico empleado, lo que aumenta el costo del proceso.

### **4.3. EQUIPOS Y REACTIVOS PARA LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN**

#### **4.3.1. DETALLE DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO PARA EL PROCESO.**

Los equipos principalmente utilizados durante el proceso de transesterificación se pueden resumir en: Reactor de Transesterificación, Catalizadores, Neutralizadores y Metóxidos

##### **➤ REACTOR DE TRANSESTERIFICACIÓN.**

La reacción de Transesterificación o Alcoholisis de esteres mediante la cual se obtiene el biodiesel, requiere de elevadas temperaturas (evitando pérdidas de alcohol por evaporación) y un sistema mecánico de agitación o mezclado, ya que la transformación química se da en los primeros minutos del proceso.

El reactor debe permitir que las moléculas de reactivos se confronten entre sí para que el glicerol se desprenda de los ésteres y el alcohol se adhiera para formar el nuevo compuesto (biodiesel).

Las condiciones operacionales deben permitir llevar a cabo la transesterificación en un periodo de tiempo muy corto, ya que el metóxido es sumamente inestable y se degrada rápidamente, estando inutilizado para la reacción.

A la hora de llevar a cabo un proceso de orden químico, el diseño de los reactores está orientado a maximizar los porcentajes de conversión de reactivos a productos. Los reactores de gran capacidad NO permiten alcanzar índices de conversiones respetables superiores al 97% - de aceites y/o grasas a biodiesel.

Los bajos índices de conversión hacen que sea necesario incorporar al proceso una etapa de lavado para “corregir” un biodiesel ineficazmente elaborado, generando efluentes que a su vez requerirán tratamiento.

El índice de conversión es inversamente proporcional a la capacidad del reactor.

El tamaño del reactor está íntimamente relacionado con la velocidad de homogenización de la mezcla. El diseño de este, dependerá principalmente de dos parámetros: la temperatura de elaboración y el tipo de mezclado.

### ➤ **CATALIZADORES**

Como ya se mencionó anteriormente, la transesterificación de los triglicéridos puede ser realizada mediante diferentes procesos catalíticos. Los catalizadores utilizados pueden ser clasificados detalladamente, de la siguiente manera:

#### • **CATALIZADORES ALCALINOS:**

En el caso de la catálisis alcalina, es muy importante que los catalizadores se mantengan en un estado anhidro. Debe evitarse su contacto prolongado con el aire, pues éste disminuye su efectividad debido a la interacción con la humedad y con el dióxido de carbono. Los tres catalizadores cáusticos tienen ventajas y desventajas, que se mencionaran más adelante, y su elección depende de cada caso concreto

#### • **HIDRÓXIDO DE SODIO (NAOH):**

El NaOH viene en forma de cristales que deben ser disueltos en el metanol antes de la transesterificación.

Es un producto muy barato y fácil de conseguir, pero es cáustico e irritante, y debe evitarse su manipulación de forma directa sin protección a vías respiratorias y para uso externo, la piel.

Al igual que en el caso del KOH, la manipulación de este insumo sólido puede ser complicada (especialmente en plantas de producción grandes, donde se quieren evitar operaciones manuales). Además, el NaOH es muy higroscópico (absorbe humedad del ambiente), lo cual hace que los cristales se peguen

entre sí y sean más difíciles de manipular, y además reduce su eficacia. Finalmente, la reacción con el metanol es exotérmica, genera calor, y el tanque donde se realiza esta disolución debe mantenerse refrigerado para evitar que se evapore el alcohol (causando pérdidas de este insumo y riesgos de incendio y para la salud de los trabajadores).

- **HIDRÓXIDO DE POTASIO (KOH):**

Muy similar al hidróxido de sodio, el hidróxido de potasio viene también en forma de cristales que deben ser disueltos en el metanol antes de la transesterificación. Es un producto barato y disponible en la mayoría de lugares. Debido a su mayor peso molecular, se necesita mayor cantidad de KOH que de NaOH para hacer el mismo trabajo, lo cual puede elevar costos. Las dificultades de operación y riesgos son similares a los que existen con NaOH, sin embargo, algunos estudios han demostrado que utilizando KOH se obtienen mejores rendimientos de transformación que con NaOH.

Además, el KOH se disuelve más fácilmente que el NaOH en el metanol, lo cual facilita el primer paso previo a la transesterificación. Los jabones de potasio son líquidos, a diferencia de los de sodio que son sólidos. Esto hace que la glicerina cruda sea más fácil de drenar luego de la separación del biodiesel cuando se trabaja con KOH. Por otra parte, las sales de potasio obtenidas como subproducto de la purificación de la glicerina pueden ser utilizadas como fertilizante agrícola, lo cual no es el caso con las sales de sodio.

- **METILATO DE SODIO:**

El metilato de sodio no está disponible en estado puro, debido a que es muy inflamable. Se presenta entonces comercialmente como una solución al 30% en metanol. Esta solución es un líquido, lo cual constituye la principal ventaja: su manipulación (pese a su alta inflamabilidad y toxicidad) es sencilla, puede ser adaptada a un proceso continuo y realizarse mecánicamente sin necesidad de intervención de los operarios. Algunos estudios arrojan que el metilato es un catalizador más efectivo que los anteriores, pero otros indican que NaOH es mejor que NaOMe. Igualmente, algunos autores indican que al utilizarse menor

cantidad de metilato, al final quedan menos sales de sodio disueltas en la glicerina, lo cual hace su purificación más sencilla. Otros, en cambio, mencionan que este catalizador causa la formación de diferentes subproductos, principalmente sales de sodio, que deben ser tratados como residuos, y que además requiere utilizar aceite de alta calidad.

En conclusión, el metilato de sodio parece ser un muy buen catalizador con materias primas adecuadas, pero su costo es alto y su disponibilidad limitada.

**CATALIZADORES ÁCIDOS:** Entre ellos Acido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido clorhídrico, ácido sulfónico.

Los catalizadores ácidos pueden ser utilizados tanto para la esterificación de ácidos grasos libres con el fin de convertirlos directamente en ésteres o para la transesterificación de los triglicéridos. Cuando la materia prima es un aceite con alto contenido de ácidos grasos libres (AGL), la esterificación ácida está recomendada como un primer proceso para tratar estos AGL, pero debe ser seguida por la transesterificación alcalina (con NaOH o KOH como catalizadores) para convertir los triglicéridos subsistentes.

Los catalizadores ácidos también pueden ser utilizados directamente para la transesterificación, pero esta reacción es extremadamente lenta y requiere de un exceso aún mayor de alcohol, lo cual la torna poco económica.

### **CATALIZADORES ENZIMÁTICOS: LIPASAS**

A pesar de que la transesterificación utilizando catalizadores alcalinos permite una alta tasa de conversión en tiempos de reacción lentos, este proceso tiene algunos inconvenientes: consume alta energía (calor y agitación constantes durante todo el proceso), la recuperación del glicerol es difícil, ya que es contaminado por las sales producidas por los catalizadores, el catalizador (ácido o básico) debe ser removido del combustible, requiriendo un proceso de purificación y lavado posterior a la transesterificación, se producen efluentes (aguas residuales) alcalinos, que deben ser tratados antes de verterlos a los desagües, la presencia de ácidos grasos libres y/o agua interfiere con la reacción.

Los catalizadores enzimáticos como las lipasas (enzimas que en los seres vivos están encargadas de descomponer las grasas para permitir su digestión y asimilación) son capaces de catalizar la transesterificación de los triglicéridos superando los problemas mencionados anteriormente. Especialmente, la glicerina puede ser removida fácilmente, los ácidos grasos libres pueden ser convertidos totalmente en ésteres, y la presencia de agua no es problemática. Sin embargo, los costos de producción de las lipasas aún son mucho más caros que los de los catalizadores alcalinos. Existen dos tipos de catalizadores enzimáticos:

Enzimas extra celulares: Son las que han sido extraídas de las células vivas que las producen y posteriormente purificadas

- **ENZIMAS INTRACELULARES:** Son las que aún están dentro de las células que las producen. En este caso, son organismos vivos como ciertas bacterias los que estarían realizando la catálisis.

Algunas ventajas de utilizar lipasas como catalizadores para la producción de biodiesel que pueden mencionarse son que se pueden regenerar y reutilizar luego de la reacción, simplemente el residuo sólido se deja en el reactor. , lo que permite una alta concentración de la enzima, lo cual ayuda a una mejor reacción, produciendo una separación y purificación del biodiesel más sencilla, ya que no deben eliminarse ningún componente alcalino o ácido.

Algunas desventajas son, por ejemplo, el mayor costo de este catalizador además que algunos estudios han reportado que la reacción con lipasas no llega a ser lo suficientemente completa como para cumplir con los estándares de calidad del biodiesel. En este caso, los Sistemas de inmovilización de la enzima y/o el uso de múltiples enzimas en secuencia podrían mejorar este aspecto existe también el riesgo de que el metanol inactive a las enzimas. Esto se supera añadiendo el alcohol por partes, o utilizando co-solventes que ayuden a disolver el metanol en el aceite

## **CATALIZADORES HETEROGÉNEOS:** Catalizadores en fase sólida.

El proceso más conocido, utilizado y hasta el momento más efectivo es el que se emplea con catalizadores alcalinos). Sin embargo, si el aceite tiene un alto contenido de ácidos grasos libres, la catálisis alcalina no es apropiada debido a que los hidróxidos reaccionan con los ácidos grasos formando jabones, lo cual reduce el rendimiento de producción de biodiesel. En este caso, se requiere otro tipo de transesterificación, o un pretratamiento con catalizadores ácidos.

Los catalizadores heterogéneos son aquellos que se encuentran en una fase diferente a la de los reactantes. Es decir, que no se encuentran disueltos en el alcohol o aceite, sino que son sólidos, y por lo tanto fácilmente recuperables al final de la reacción. Este tipo de catalizadores permiten superar algunos de los principales problemas de los catalizadores homogéneos como el hidróxido de sodio o potasio, o el metilato de sodio, los procesos de purificación del biodiesel para separar los restos de catalizador, y los de tratamiento de efluentes contaminados con los catalizadores.

Algunos de los primeros catalizadores sólidos probados fueron óxidos de estaño, magnesio y zinc, pero ellos actúan finalmente de forma similar a los catalizadores homogéneos, pues terminan convertidos en jabones metálicos o gliceratos metálicos. El uso de un óxido mixto de zinc y aluminio permite la transesterificación sin que haya pérdida del catalizador. Durante esta reacción, se requiere mayor temperatura y presión que en la transesterificación alcalina convencional, y además se máximos.

El biodiesel obtenido cumple con las especificaciones de calidad de la norma europea. Como ventajas del proceso, la purificación del biodiesel sólo requiere la evaporación del metanol sobrante y la adsorción de la glicerina, sin necesidad de lavado con agua.

Asimismo, la glicerina producida es incolora, de una pureza del 98%, sin presencia de cenizas u otros componentes inorgánicos. Las principales impurezas en la glicerina normalmente son agua, metanol y ésteres orgánicos. Esta mayor calidad otorga un valor agregado a este subproducto, que puede ayudar a mejorar la rentabilidad de la producción de biodiesel.

## ➤ **NEUTRALIZADORES**

Los Neutralizadores se utilizan para eliminar los catalizadores, ya sean ácidos o básicos de la mezcla final de biodiesel y glicerina, si se usa un catalizador básico, se usa un neutralizador ácido y viceversa. Si el biodiesel se encuentra en proceso de lavado, el neutralizador debe ser añadido en el agua de enjuague, ejemplos prácticos establecen que el Ácido Clorhídrico es el más comúnmente usado para neutralizar catalizadores básicos, pero si en cambio se decide usar ácido Fosforico para neutralizar un catalizador básico, se tiene una muy útil Sal, que tiene propiedades químicas fertilizantes.

## • **METÓXIDOS**

Químicamente, el metóxido se define como la molécula obtenida al hacer reaccionar alcohol con un catalizador. Para el proceso de transesterificación, generalmente la cantidad de metanol necesario es del 20% en masa respecto de la cantidad de aceite. Las densidades de los dos líquidos son bastante parecidas; también debería funcionar con el 20% en volumen. Para estar completamente seguros, se debe medir medio litro de cada líquido, pesarlos y calcular exactamente el 20% en masa. Distintos aceites pueden tener distintas densidades dependiendo de su procedencia y de cómo hayan sido utilizados.

Por ejemplo: para 100 litros de aceite hacen falta 20 litros de metanol.

Cuando se mezcla el metanol con el hidróxido de sodio (NaOH) se produce una reacción exotérmica (desprende calor), cuyo resultado es el METÓXIDO DE SODIO. Los utensilios que entren en contacto con la lejía deben estar totalmente secos.

Se debe tratar al metóxido de sodio con extremo cuidado, no se debe respirar sus vapores. Si cae sobre la piel, produce una quemadura que muchas veces no se nota porque va matando los nervios. Hay que lavar la zona con muchísima agua.

Cuando se manipula metóxido de sodio se debe tener siempre cerca agua corriente. El metóxido de sodio también es muy corrosivo para las pinturas. El hidróxido de sodio reacciona con el aluminio, el estaño y el zinc. Para la



manipulación de estos elementos se pueden utilizar recipientes de vidrio, acero inoxidable, o esmaltados, siendo los mejores los de acero inoxidable

#### **4.4. PRODUCTOS DE LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN**

Luego del Proceso de transesterificación es necesario dejar que la mezcla repose y se enfríe, como mínimo, ocho horas. La glicerina forma una masa gelatinosa y más oscura en el fondo y los metilésteres (biodiesel) flotan encima. Otra alternativa consiste en dejar que la mezcla repose al menos durante una hora después de la reacción, manteniendo la temperatura por encima de 38° C (100° F). De esta forma la glicerina se mantiene semilíquida (solidifica por debajo de 38° C) y se hunde antes. Después hay que decantar el biodiesel con cuidado.

Se pueden separar la glicerina y el biodiesel por un agujero del fondo del reactor a través de un tubo transparente. La glicerina semilíquida es de color marrón oscuro; el biodiesel es del color de la miel. Primero saldrá la glicerina y cuando empiece a salir biodiesel se cambia la salida del tubo a otro recipiente. Si cae algo de biodiesel en el recipiente de la glicerina es fácil recuperarlo cuando la glicerina se espesa.

Si la glicerina se solidifica antes de separarla del biodiesel, se puede calentar nuevamente para licuarla, pero evitar agitarla para que no se vuelva a mezclar con el biodiesel

#### **LA GLICERINA COMO RESIDUO DE LA TRANSESTERIFICACIÓN DEL ACEITE VEGETAL**

La glicerina se puede compostar después de un período de ventilación de tres semanas. En ese tiempo se evapora el metanol, que es malo para el compostaje. Pero como el metanol también es malo para el ambiente, se puede utilizar otro método para evaporarlo. Calentando hasta 66° C (150° F), el metanol se evapora a 64,7° C (148,5° F). Con este método se puede reutilizarlo haciendo que pase a través de un condensador para que se vuelva

nuevamente líquido. Lo que queda después de la transesterificación no es sólo glicerina, sino una mezcla de glicerina pura, metanol y cera.

Estas tres sustancias pueden separarse por destilación, pero es difícil porque para evaporar la glicerina hace falta mucho calor.

La glicerina pura tiene muchas aplicaciones: medicamentos, tintes, cremas, etc.



**FIG.4.2 PROCESA DE DECANTACION DE GLICERINA LUEGO DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACION**

### **USOS ALTERNATIVOS DE LA GLICERINA**

La glicerina procedente de la transesterificación es un estupendo desengrasante industrial. Una manera de purificarla es calentarla para que se evapore el metanol, haciéndola segura para el contacto con la piel. Cuando se enfría, las impurezas se hunden hasta el fondo y queda de un color marrón oscuro más uniforme. Añadiendo agua queda del color de la canela, más diluida, y es más fácil para utilizarla como jabón desengrasante para las manos.

Otra forma de aprovechar la glicerina es transformarla en gas metano en un digestor de metano, o mejor aún, mediante pirólisis.

La pirólisis se empleó mucho durante la Segunda Guerra Mundial para que los automóviles funcionaran con leña. El reactor calienta la materia prima (madera o glicerina) en un recipiente hermético sin oxígeno.

En estas condiciones la materia prima no arde, sino que desprende metano. El metano se almacena en una bolsa inflable o comprimido en un depósito.

## CAPITULO 5

### ANALISIS FINANCIERO

#### 5. Análisis Financiero

##### 5.1 GASTOS ADMINISTRATIVOS

En los gastos administrativos se detallan los gastos de suministros de oficina, gastos por servicios básicos, el sueldo que va a recibir la Asistente Administrativa, siendo este de \$300,00 mensuales. Además se incluyen los gastos de publicidad.

Los gastos de suministros de oficina y servicios básicos se detallan en la tabla 5.2.

Gastos Administrativos	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gastos de Oficina y Suministros	184,60	190,14	195,84	201,72	207,77	214,00	220,42	227,03	233,85	240,86
Gastos de servicios básicos	3.120,00	3.213,60	3.310,01	3.409,31	3.511,59	3.616,94	3.725,44	3.837,21	3.952,32	4.070,89
Sueldo Asistente	3.600,00	3.708,00	3.819,24	3.933,82	4.051,83	4.173,39	4.298,59	4.427,55	4.560,37	4.697,18
<b>Total de Gastos Administrativos</b>	6.904,60	7.111,74	7.325,09	7.544,84	7.771,19	8.004,32	8.244,45	8.491,79	8.746,54	9.008,94
Gastos de Ventas	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Publicidad	980,00	1.009,40	1.039,68	1.070,87	1.103,00	1.136,09	1.170,17	1.205,28	1.241,43	1.278,68
<b>Total de Gastos de Ventas</b>	980,00	1.009,40	1.039,68	1.070,87	1.103,00	1.136,09	1.170,17	1.205,28	1.241,43	1.278,68
<b>TOTAL</b>	7.884,60	8.121,14	8.364,77	8.615,72	8.874,19	9.140,41	9.414,62	9.697,06	9.987,98	10.287,61

**TABLA 5.1. DETALLE DE GASTOS ADMINISTRATIVOS DEL AÑO 2011 AL 2020**

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
248,09	255,53	263,20	271,09	279,22	287,60	296,23	305,12	314,27	323,70	333,41
2.096,51	2.159,40	2.224,19	2.290,91	2.359,64	2.430,43	2.503,34	2.578,44	2.655,80	2.735,47	2.817,53
4.838,10	4.983,24	5.132,74	5.286,72	5.445,32	5.608,68	5.776,94	5.950,25	6.128,76	6.312,62	6.502,00
7.182,70	7.398,18	7.620,12	7.848,73	8.084,19	8.326,71	8.576,51	8.833,81	9.098,82	9.371,79	9.652,94
2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.317,04	1.356,55	1.397,25	1.439,16	1.482,34	1.526,81	1.572,61	1.619,79	1.668,38	1.718,44	1.769,99
1.317,04	1.356,55	1.397,25	1.439,16	1.482,34	1.526,81	1.572,61	1.619,79	1.668,38	1.718,44	1.769,99
8.499,73	8.754,73	9.017,37	9.287,89	9.566,52	9.853,52	10.149,13	10.453,60	10.767,21	11.090,22	11.422,93

**TABLA 5.1.1 DETALLE DE GASTOS ADMINISTRATIVOS DEL AÑO 2021 AL 2031**

### 5.1.1 GASTOS DE SUMINISTROS DE OFICINA Y SERVICIOS BÁSICOS

En esta tabla se detalla el gasto programado de suministros de oficina y servicios básicos.

Detalle	Cantidad	Valor	Sub-Total	Veces	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>PUBLICIDAD</b>														
Paquete Hojas volantes	2,00	5,00	10,00	8,00	80,00	82,40	84,87	87,42	90,04	92,74	95,53	98,39	101,34	104,38
Radio	2,00	15,00	30,00	24,00	720,00	741,60	763,85	786,76	810,36	834,67	859,71	885,51	912,07	939,43
Diario	1,00	30,00	30,00	6,00	180,00	185,40	190,96	196,69	202,59	208,67	214,93	221,38	228,02	234,86
<b>Sub Total Publicidad</b>					<b>980,00</b>	<b>1.009,40</b>	<b>1.039,68</b>	<b>1.070,87</b>	<b>1.103,00</b>	<b>1.136,09</b>	<b>1.170,17</b>	<b>1.205,27</b>	<b>1.241,43</b>	<b>1.278,67</b>
<b>SERVICIOS BASICOS</b>														
Energia Electrica	1,00	50,00	50,00	12,00	600,00	618,00	636,54	655,64	675,31	695,57	716,44	737,93	760,07	782,87
Agua	1,00	30,00	50,00	12,00	600,00	618,00	636,54	655,64	675,31	695,57	716,44	737,93	760,07	782,87
Teléfono	1,00	10,00	10,00	12,00	120,00	123,60	127,31	131,13	135,06	139,12	143,29	147,59	152,02	156,58
Internet	1,00	20,00	20,00	12,00	240,00	247,20	254,62	262,25	270,12	278,22	286,57	295,16	304,02	313,14
<b>Sub Total Servicios Básicos</b>					<b>1.560,00</b>	<b>1.606,80</b>	<b>1.655,01</b>	<b>1.704,66</b>	<b>1.755,80</b>	<b>1.808,47</b>	<b>1.862,73</b>	<b>1.918,61</b>	<b>1.976,17</b>	<b>2.035,45</b>
<b>SUMINISTROS DE OFICINA</b>														
Papeleras	3,00	1,50	4,50	1,00	4,50	4,64	4,77	4,92	5,07	5,22	5,38	5,54	5,70	5,87
Grapadoras	2,00	2,00	4,00	1,00	4,00	4,12	4,24	4,37	4,50	4,64	4,78	4,92	5,07	5,22
Perforadoras														

	2,00	1,50	3,00	1,00	3,00	3,09	3,18	3,28	3,38	3,48	3,58	3,69	3,80	3,92
Plumas	6,00	0,25	1,50	1,00	1,50	1,55	1,59	1,64	1,69	1,74	1,79	1,85	1,90	1,96
Carpetas	10,00	0,20	2,00	3,00	6,00	6,18	6,37	6,56	6,76	6,96	7,17	7,38	7,60	7,83
Cajas de grapas	2,00	0,60	1,20	1,00	1,20	1,24	1,27	1,31	1,35	1,39	1,43	1,47	1,52	1,56
Sellos	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	2,06	2,12	2,19	2,26	2,32	2,39	2,46	2,54	2,61
Tintas	3,00	1,00	3,00	1,00	3,00	3,09	3,18	3,28	3,38	3,48	3,58	3,69	3,80	3,92
Borradores	2,00	0,15	0,30	1,00	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39
Marcadores	3,00	0,50	1,50	1,00	1,50	1,55	1,59	1,64	1,69	1,74	1,79	1,85	1,90	1,96
Borradores Líquidos	2,00	0,60	1,20	1,00	1,20	1,24	1,27	1,31	1,35	1,39	1,43	1,47	1,52	1,56
Reglas	2,00	0,20	0,40	1,00	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,47	0,48	0,50	0,51	0,53
Tijeras	2,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,19	1,23	1,26	1,30
<b>Sub Total Suministros de Oficina</b>					<b>29,60</b>	<b>30,51</b>	<b>31,38</b>	<b>32,36</b>	<b>33,33</b>	<b>34,33</b>	<b>35,36</b>	<b>36,42</b>	<b>37,51</b>	<b>38,64</b>
<b>OTROS GASTOS</b>														
Papel Higiénico	3,00	0,25	0,75	12,00	9,00	9,27	9,55	9,83	10,12	10,43	10,74	11,06	11,40	11,74
Desinfectantes	2,00	0,50	1,00	6,00	6,00	6,18	6,37	6,56	6,76	6,96	7,17	7,38	7,60	7,83
Jabón	2,00	0,50	1,00	6,00	6,00	6,18	6,37	6,56	6,76	6,96	7,17	7,38	7,60	7,83
Deja	2,00	0,50	1,00	6,00	6,00	6,18	6,37	6,56	6,76	6,96	7,17	7,38	7,60	7,83
Escobas														

	2,00	1,00	2,00	3,00	6,00	6,18	6,37	6,56	6,76	6,96	7,17	7,38	7,60	7,83
Trapeadores	2,00	1,00	2,00	2,00	4,00	4,12	4,24	4,37	4,50	4,64	4,78	4,92	5,07	5,22
Fundas de Basura	5,00	0,50	2,50	2,00	5,00	5,15	5,30	5,46	5,62	5,79	5,97	6,15	6,33	6,52
Tachos de Basura	3,00	1,00	3,00	1,00	3,00	3,09	3,18	3,28	3,38	3,48	3,58	3,69	3,80	3,92
Ducha	2,00	30,00	60,00	1,00	60,00	61,80	63,65	65,56	67,53	69,55	71,64	73,79	76,00	78,28
Lavamanos	1,00	50,00	50,00	1,00	50,00	51,50	53,05	54,64	56,28	57,97	59,71	61,50	63,34	65,24
<b>OTROS GASTOS</b>					<b>155,00</b>	<b>159,65</b>	<b>164,45</b>	<b>169,38</b>	<b>174,46</b>	<b>179,70</b>	<b>185,09</b>	<b>190,64</b>	<b>196,36</b>	<b>202,25</b>
<b>TOTAL POR AÑO</b>					<b>2.724,60</b>	<b>2.806,36</b>	<b>2.890,52</b>	<b>2.977,27</b>	<b>3.066,59</b>	<b>3.158,59</b>	<b>3.253,34</b>	<b>3.350,94</b>	<b>3.451,47</b>	<b>3.555,02</b>

**Tabla 5.1.2Detalle de Gastos Administrativos en cantidad y precio del año 2011 al 2020**

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
107,52	110,74	114,06	117,49	121,01	124,64	128,38	132,23	136,20	140,28	144,49
967,62	996,64	1.026,54	1.057,34	1.089,06	1.121,73	1.155,38	1.190,05	1.225,75	1.262,52	1.300,39
241,90	249,16	256,64	264,33	272,26	280,43	288,85	297,51	306,44	315,63	325,10
<b>1.317,04</b>	<b>1.356,55</b>	<b>1.397,24</b>	<b>1.439,16</b>	<b>1.482,33</b>	<b>1.526,80</b>	<b>1.572,61</b>	<b>1.619,79</b>	<b>1.668,38</b>	<b>1.718,43</b>	<b>1.769,98</b>
806,35	830,55	855,46	881,13	907,56	934,79	962,83	991,71	1.021,47	1.052,11	1.083,67
806,35	830,55	855,46	881,13	907,56	934,79	962,83	991,71	1.021,47	1.052,11	1.083,67
161,27	166,11	171,09	176,23	181,51	186,96	192,57	198,35	204,30	210,43	216,74
322,53	332,21	342,18	352,44	363,02	373,91	385,12	396,68	408,58	420,83	433,46
<b>2.096,52</b>	<b>2.159,41</b>	<b>2.224,19</b>	<b>2.290,92</b>	<b>2.359,65</b>	<b>2.430,44</b>	<b>2.503,35</b>	<b>2.578,45</b>	<b>2.655,80</b>	<b>2.735,48</b>	<b>2.817,54</b>
6,05	6,23	6,42	6,61	6,81	7,01	7,23	7,44	7,67	7,90	8,13
5,37	5,54	5,70	5,87	6,05	6,23	6,42	6,61	6,81	7,01	7,22
4,03	4,16	4,28	4,41	4,54	4,68	4,82	4,96	5,11	5,26	5,42
2,02	2,08	2,14	2,20	2,27	2,34	2,41	2,48	2,56	2,63	2,71
8,07	8,31	8,56	8,82	9,08	9,35	9,63	9,92	10,22	10,53	10,84



1,61	1,66	1,71	1,76	1,81	1,87	1,92	1,98	2,04	2,10	2,17
2,69	2,77	2,86	2,94	3,03	3,12	3,22	3,31	3,41	3,51	3,62
4,03	4,16	4,28	4,41	4,54	4,68	4,82	4,96	5,11	5,26	5,42
0,41	0,42	0,43	0,44	0,46	0,47	0,48	0,50	0,51	0,53	0,55
2,02	2,08	2,14	2,20	2,27	2,34	2,41	2,48	2,56	2,63	2,71
1,61	1,66	1,71	1,76	1,81	1,87	1,92	1,98	2,04	2,10	2,17
0,54	0,56	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73
1,34	1,38	1,42	1,46	1,51	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80
<b>39,80</b>	<b>40,99</b>	<b>42,22</b>	<b>43,49</b>	<b>44,79</b>	<b>46,14</b>	<b>47,52</b>	<b>48,95</b>	<b>50,42</b>	<b>51,93</b>	<b>53,49</b>
12,09	12,45	12,83	13,21	13,61	14,02	14,44	14,87	15,31	15,77	16,25
8,07	8,31	8,56	8,82	9,08	9,35	9,63	9,92	10,22	10,53	10,84
8,07	8,31	8,56	8,82	9,08	9,35	9,63	9,92	10,22	10,53	10,84
8,07	8,31	8,56	8,82	9,08	9,35	9,63	9,92	10,22	10,53	10,84
8,07	8,31	8,56	8,82	9,08	9,35	9,63	9,92	10,22	10,53	10,84
5,37	5,54	5,70	5,87	6,05	6,23	6,42	6,61	6,81	7,01	7,22
6,72	6,92	7,12	7,34	7,56	7,78	8,02	8,26	8,51	8,76	9,02

4,03	4,16	4,28	4,41	4,54	4,68	4,82	4,96	5,11	5,26	5,42
80,63	83,05	85,54	88,11	90,75	93,47	96,28	99,17	102,14	105,20	108,36
67,20	69,22	71,29	73,43	75,63	77,90	80,24	82,65	85,13	87,68	90,31
<b>208,32</b>	<b>214,57</b>	<b>221,00</b>	<b>227,63</b>	<b>234,46</b>	<b>241,50</b>	<b>248,74</b>	<b>256,20</b>	<b>263,89</b>	<b>271,81</b>	<b>279,96</b>
<b>3.661,67</b>	<b>3.771,52</b>	<b>3.884,66</b>	<b>4.001,20</b>	<b>4.121,24</b>	<b>4.244,88</b>	<b>4.372,22</b>	<b>4.503,39</b>	<b>4.638,49</b>	<b>4.777,64</b>	<b>4.920,97</b>

**Tabla 5.1.3Detalle de Gastos Administrativos en cantidad y precio**

## 5.2 GASTOS OPERATIVOS

En esta tabla se detallan todos los gastos comprendidos en cuanto a la producción del aceite, incluyendo los materiales involucrados directos e indirectos en la producción del aceite, la mano de obra correspondiente y la maquinaria involucrada en el proceso.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>MANO DE OBRA</b>		23.400,00	24.102,00	24.825,06	25.569,81	26.336,91	27.127,01	27.940,82	28.779,05	29.642,42	30.531,69
<b>COSTO DE PRODUCCION</b>		5.550,00	5.716,50	5.888,00	6.064,63	6.246,57	6.433,97	6.626,99	6.825,80	7.030,57	7.241,49
<b>MAQUINARIA UTILIZADA</b>	158.000,00										
<b>MATERIALES INDIRECTOS</b>	<b>400,00</b>	1.958,36	2.017,11	2.077,62	2.139,95	2.204,15	2.270,28	2.338,38	2.408,54	2.480,79	2.555,22
<b>TOTAL</b>	<b>158.400,00</b>	<b>30.908,36</b>	<b>31.835,61</b>	<b>32.790,68</b>	<b>33.774,40</b>	<b>34.787,63</b>	<b>35.831,26</b>	<b>36.906,20</b>	<b>38.013,38</b>	<b>39.153,79</b>	<b>40.328,40</b>

**TABLA 5.2 GASTOS OPERATIVOS DEL AÑO 2010 AL 2020**

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
31.447,64	32.391,07	33.362,80	34.363,69	35.394,60	36.456,44	37.550,13	38.676,63	39.836,93	41.032,04	42.263,00
7.458,74	7.682,50	7.912,97	8.150,36	8.394,87	8.646,72	8.906,12	9.173,30	9.448,50	9.731,96	10.023,92
2.631,87	2.710,83	2.792,15	2.875,92	2.962,20	3.051,06	3.142,59	3.236,87	3.333,98	3.434,00	3.537,02
<b>41.538,25</b>	<b>42.784,40</b>	<b>44.067,93</b>	<b>45.389,97</b>	<b>46.751,67</b>	<b>48.154,22</b>	<b>49.598,84</b>	<b>51.086,81</b>	<b>52.619,41</b>	<b>54.198,00</b>	<b>55.823,94</b>

**Tabla 5.2 .1 Gastos Operativos del año 2021 al 2031**

### 5.2.1 MATERIALES DIRECTOS Y COSTOS DE PRODUCCIÓN

Son aquellos materiales que están involucrados directamente en la producción del piñón, desde las semillas hasta la mano de obra contratada por tarea.

A	MATERIALES	CANTIDAD	APLICACIÓN ANUAL	Precio unitario		Precio total	TOTAL HECTAREAS
	Semillas	5	1	47,10		235,50	942,00
	Fertilizantes	2	1	30,00		60,00	240,00
	Nitrato de Amonio	60	1	1,20		72,00	288,00
	Superfosfato de calcio	200	1	1,20		240,00	960,00
	Pesticida	3	1	25,00		75	300,00
<b>PRECIO TOTAL DE INSUMOS</b>						<b>682,50</b>	<b>2430,00</b>
B	SERVICIOS	CANTIDAD	APLICACIÓN ANUAL	PRECIO POR HORA	HORAS POR JORNADA		
	Tractor	1	1	25,00	2	50,00	200,00
	Segadora	1	1	25,00	2	50,00	200,00
	Aradora	1	1	25,00	2	50,00	200,00
<b>PRECIO TOTAL DE SERVICIOS</b>						<b>150,00</b>	<b>600,00</b>
C	JORNALEROS	CANTIDAD	APLICACIÓN ANUAL	PRECIO POR JORNADA			
	Siembra	6	1	15,00		90,00	360,00
	Abonamiento	6	1	15,00		90,00	360,00
	Deshierbo	6	1	15,00		90,00	360,00
	Segundo Abonamiento	6	1	15,00		90,00	360,00
	Aplicación de pesticidas	2	1	15,00		30,00	120,00
	Cosecha	6	1	40,00		240,00	960,00
<b>PRECIO TOTAL DE JORNALEROS</b>						<b>630,00</b>	<b>2520,00</b>
E	COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN					<b>1.462,50</b>	<b>5.550,00</b>

**Tabla 5.2 .2 Materiales Directos y Costos de Producción**

### 5.2.2 MATERIALES INDIRECTOS

Son aquellos materiales que están involucrados indirectamente en la elaboración del Aceite, en la tabla se muestra el detalle de materiales y los costos con un incremento del 3% anual.

MATERIALES INDIRECTOS	Cant	Valor Un	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Guantes	64,00	0,71		45,44	46,80	48,21	49,65	51,14	52,68	54,26	55,89	57,56	59,29
Caja de herramientas	1,00	80,00		80,00	82,40	84,87	87,42	90,04	92,74	95,52	98,39	101,34	104,38
Mascarillas	64,00	0,40		25,60	26,37	27,16	27,97	28,81	29,68	30,57	31,48	32,43	33,40
Gorros	64,00	0,65		41,60	42,85	44,13	45,46	46,82	48,23	49,67	51,16	52,70	54,28
Botas de caucho	64,00	4,50		288,00	296,64	305,54	314,71	324,15	333,87	343,89	354,20	364,83	375,77
Mandiles	64,00	1,00		64,00	65,92	67,90	69,93	72,03	74,19	76,42	78,71	81,07	83,51
Reservorios	1,00	400,00	400,00										
Envases plásticos de 1lt	7.480,00	0,17		1.271,60	1.309,75	1.349,04	1.389,51	1.431,20	1.474,13	1.518,36	1.563,91	1.610,82	1.659,15
Etiquetas de embalaje	7.480,00	0,02		142,12	146,38	150,78	155,30	159,96	164,76	169,70	174,79	180,03	185,43
<b>TOTAL</b>			400,00	1.958,36	2.017,11	2.077,62	2.139,95	2.204,15	2.270,28	2.338,38	2.408,54	2.480,79	2.555,22

**Tabla 5.2.3 Materiales Indirectos del año 2010 al 2020**

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
61,07	62,90	64,79	66,73	68,73	70,79	72,92	75,11	77,36	79,68	82,07
107,51	110,74	114,06	117,48	121,01	124,64	128,38	132,23	136,19	140,28	144,49
34,40	35,44	36,50	37,59	38,72	39,88	41,08	42,31	43,58	44,89	46,24
55,91	57,58	59,31	61,09	62,92	64,81	66,76	68,76	70,82	72,95	75,13
387,05	398,66	410,62	422,94	435,63	448,69	462,16	476,02	490,30	505,01	520,16
86,01	88,59	91,25	93,99	96,81	99,71	102,70	105,78	108,96	112,22	115,59
1.708,92	1.760,19	1.813,00	1.867,39	1.923,41	1.981,11	2.040,54	2.101,76	2.164,81	2.229,76	2.296,65
191,00	196,73	202,63	208,71	214,97	221,42	228,06	234,90	241,95	249,21	256,68
2.631,87	2.710,83	2.792,15	2.875,92	2.962,20	3.051,06	3.142,59	3.236,87	3.333,98	3.434,00	3.537,02

**Tabla 5.2.4 Materiales Indirectos del año 2021 al 2031**

### 5.2.3 DETALLE DE MANO DE OBRA

En esta tabla se detalla los sueldos a percibir en los diferentes puestos de trabajo generados por la implementación del proyecto.

Mano de Obra Directa	Cantidad	Sueldo	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Jefe de Producción	1,00	750,00	9.000,00	9.270,00	9.548,10	9.834,54	10.129,58	10.433,47	10.746,47	11.068,86	11.400,93	11.742,96
Obreros	2,00	240,00	5.760,00	5.932,80	6.110,78	6.294,11	6.482,93	6.677,42	6.877,74	7.084,07	7.296,60	7.515,49
Guardián	2,00	240,00	5.760,00	5.932,80	6.110,78	6.294,11	6.482,93	6.677,42	6.877,74	7.084,07	7.296,60	7.515,49
Chofer	1,00	240,00	2.880,00	2.966,40	3.055,39	3.147,05	3.241,47	3.338,71	3.438,87	3.542,04	3.648,30	3.757,75
<b>Total Mano de Obra Directa</b>	<b>6,00</b>	<b>1.470,00</b>	<b>23.400,00</b>	<b>24.102,00</b>	<b>24.825,06</b>	<b>25.569,81</b>	<b>26.336,91</b>	<b>27.127,01</b>	<b>27.940,82</b>	<b>28.779,05</b>	<b>29.642,42</b>	<b>30.531,69</b>

Tabla 5.2.5Detalle de Mano de Obra

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
12.095,25	12.458,10	12.831,85	13.216,80	13.613,31	14.021,71	14.442,36	14.875,63	15.321,90	15.781,55	16.255,00
7.740,96	7.973,19	8.212,38	8.458,75	8.712,52	8.973,89	9.243,11	9.520,40	9.806,01	10.100,19	10.403,20
7.740,96	7.973,19	8.212,38	8.458,75	8.712,52	8.973,89	9.243,11	9.520,40	9.806,01	10.100,19	10.403,20
3.870,48	3.986,59	4.106,19	4.229,38	4.356,26	4.486,95	4.621,55	4.760,20	4.903,01	5.050,10	5.201,60
<b>31.447,64</b>	<b>32.391,07</b>	<b>33.362,80</b>	<b>34.363,69</b>	<b>35.394,60</b>	<b>36.456,44</b>	<b>37.550,13</b>	<b>38.676,63</b>	<b>39.836,93</b>	<b>41.032,04</b>	<b>42.263,00</b>

Tabla 5.2.6 Detalle de Mano de Obra

#### 5.2.4 DETALLE DE MAQUINARIA DE PRODUCCIÓN UTILIZADA

En esta tabla se muestra los precios cotizados de la maquinaria involucrada en el proceso de producción de biocombustible.

MAQUINARIA PRODUCCION	PRECIOS EN DOLARES
EXTRACTORA DE ACEITE	10.000,00
PURIFICADORA DE ACEITE	148.000,00
TOTAL	158.000,00

Tabla 5.2.7 Maquinaria de Producción



### 5.3 PROYECCIÓN DE VENTA

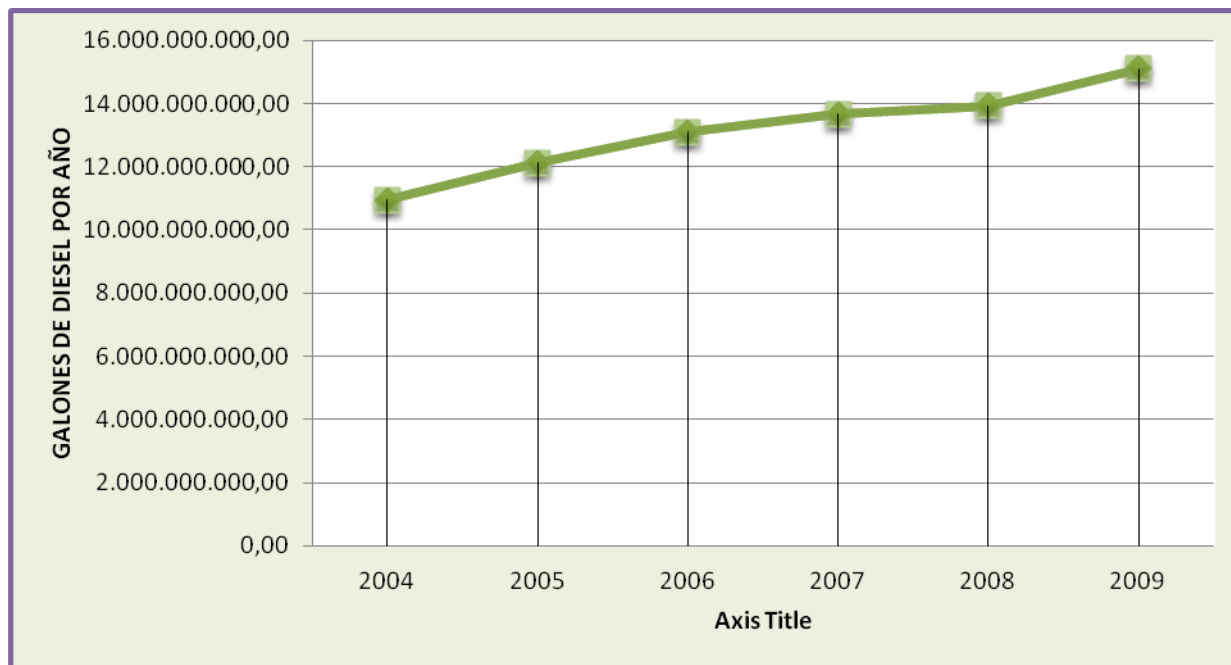
En la proyección de venta se utilizó una tasa de crecimiento del 7% anual basado en los resultados obtenidos en el consumo de diesel desde el año 2004 al 2009. (Véase Tabla 5.3.3)

DESCRIPCION	CANTIDAD MENSUAL	PVP	TOTAL	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
aditivo en litros	623,33	7,50	4.675,00	56.100,00	60.027,00	64.228,89	68.724,91	73.535,66	78.683,15	84.190,97	90.084,34	96.390,24	103.137,56

**TABLA 5.3.1 PROYECCIÓN DE VENTA DESDE EL AÑO 2011 AL 2020**

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
110.357,19	118.082,19	126.347,95	135.192,30	144.655,77	154.781,67	165.616,39	177.209,53	189.614,20	202.887,19	217.089,30

**TABLA 5.3.2 PROYECCIÓN DE VENTA DESDE EL AÑO 2011 AL 2020**



**TABLA 5.3.3 CONSUMO DE DIESEL EN GALONES POR AÑO**

<i>año</i>	<i>produccion</i>
2004	10.938.336.888,00
2005	12.125.273.267,00
2006	13.096.640.939,00
2007	13.657.516.903,00
2008	13.929.640.376,00
2009	15.111.937.596,00

**TABLA 5.3.4 DATOS DE CONSUMO DE DIESEL POR AÑO DESDE EL 2004 AL 2009**

#### 5.4 CÁLCULO DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>INGRESOS</b>											
VENTA		56.100,00	60.027,00	64.228,89	68.724,91	73.535,66	78.683,15	84.190,97	90.084,34	96.390,24	103.137,56
<b>TOTAL INGRESOS</b>		56.100,00	60.027,00	64.228,89	68.724,91	73.535,66	78.683,15	84.190,97	90.084,34	96.390,24	103.137,56
<b>EGRESOS</b>											
GASTOS POR MANTENIMIENTO		309,08	318,36	327,91	337,74	347,88	358,31	369,06	380,13	391,54	403,28
GASTOS ADMINISTRATIVOS		6.324,60	6.514,34	6.709,77	6.911,06	7.118,39	7.331,94	7.551,90	7.778,46	8.011,81	8.252,17
GASTOS OPERATIVOS	158.400,00	30.908,36	31.835,61	32.790,68	33.774,40	34.787,63	35.831,26	36.906,20	38.013,38	39.153,79	40.328,40
<b>TOTAL EGRESOS</b>		37.542,04	38.668,30	39.828,35	41.023,20	42.253,90	43.521,52	44.827,16	46.171,98	47.557,14	48.983,85
IMPUESTOS		2.000,00	2.060,00	2.121,80	2.185,45	2.251,02	2.318,55	2.388,10	2.459,75	2.533,54	2.609,55
BENEFICIO BRUTO		16.557,96	19.298,70	22.278,74	25.516,25	29.030,74	32.843,09	36.975,70	41.452,61	46.299,57	51.544,16
AMORTIZACION		20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00
BAIT		(3.862,04)	(1.121,30)	1.858,74	5.096,25	8.610,74	12.423,09	16.555,70	21.032,61	25.879,57	31.124,16
UTILIDADES (15%BAIT)		-	-	278,81	764,44	1.291,61	1.863,46	2.483,36	3.154,89	3.881,94	4.668,62
BASE IMPONIBLE		(3.862,04)	(1.121,30)	1.579,93	4.331,82	7.319,13	10.559,62	14.072,35	17.877,72	21.997,63	26.455,54
IMPUESTO A LA RENTA (25%BASE IMPONIBLE)		-	-	394,98	1.082,95	1.829,78	2.639,91	3.518,09	4.469,43	5.499,41	6.613,88
BENEFICIO NETO		(3.862,04)	(1.121,30)	1.184,94	3.248,86	5.489,35	7.919,72	10.554,26	13.408,29	16.498,22	19.841,65
AMORTIZACION		20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00
VALOR RESIDUAL											
<b>CASH FLOW</b>	<b>(408.400,00)</b>	<b>16.557,96</b>	<b>19.298,70</b>	<b>21.604,94</b>	<b>23.668,86</b>	<b>25.909,35</b>	<b>28.339,72</b>	<b>30.974,26</b>	<b>33.828,29</b>	<b>36.918,22</b>	<b>40.261,65</b>

**TABLA 5.4 .1CÁLCULO DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO DESDE EL AÑO 0 AL 10**

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
110.357,19	118.082,19	126.347,95	135.192,30	144.655,77	154.781,67	165.616,39	177.209,53	189.614,20	202.887,19	217.089,30
110.357,19	118.082,19	126.347,95	135.192,30	144.655,77	154.781,67	165.616,39	177.209,53	189.614,20	202.887,19	217.089,30
415,38	427,84	440,68	453,90	467,52	481,54	495,99	510,87	526,19	541,98	558,24
8.499,73	8.754,73	9.017,37	9.287,89	9.566,52	9.853,52	10.149,13	10.453,60	10.767,21	11.090,22	11.422,93
41.538,25	42.784,40	44.067,93	45.389,97	46.751,67	48.154,22	49.598,84	51.086,81	52.619,41	54.198,00	55.823,94
50.453,37	51.966,97	53.525,98	55.131,76	56.785,71	58.489,28	60.243,96	62.051,28	63.912,82	65.830,20	67.805,11
2.687,83	2.768,47	2.851,52	2.937,07	3.025,18	3.115,93	3.209,41	3.305,70	3.404,87	3.507,01	3.612,22
57.215,99	63.346,76	69.970,45	77.123,48	84.844,88	93.176,45	102.163,01	111.852,56	122.296,52	133.549,98	145.671,97
20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00
36.795,99	42.926,76	49.550,45	56.703,48	64.424,88	72.756,45	81.743,01	91.432,56	101.876,52	113.129,98	125.251,97
5.519,40	6.439,01	7.432,57	8.505,52	9.663,73	10.913,47	12.261,45	13.714,88	15.281,48	16.969,50	18.787,80
31.276,59	36.487,74	42.117,88	48.197,96	54.761,15	61.842,99	69.481,56	77.717,68	86.595,04	96.160,48	106.464,17
7.819,15	9.121,94	10.529,47	12.049,49	13.690,29	15.460,75	17.370,39	19.429,42	21.648,76	24.040,12	26.616,04
23.457,44	27.365,81	31.588,41	36.148,47	41.070,86	46.382,24	52.111,17	58.288,26	64.946,28	72.120,36	79.848,13
20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00	20.420,00
									3.342.271,01	
43.877,44	47.785,81	52.008,41	56.568,47	61.490,86	66.802,24	72.531,17	78.708,26	85.366,28	3.434.811,37	100.268,13

**TABLA 5.4.2 CÁLCULO DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO DESDE EL AÑO 11 AL 21**

## 5.5 RESULTADO DEL PROYECTO

Luego del respectivo análisis tenemos como resultado lo siguiente.

<b>VAN</b>	392.792,11
<b>TIR</b>	14,90%

**TABLA 5.5 RESULTADO DEL PROYECTO**

## 5.6 ANÁLISIS FODA DEL BIODIESEL

<p style="text-align: center;"><b>FORTALEZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Alta disponibilidad de mano de obra</li><li>• Disponibilidad de tierras aptas para producir OLEAGINOSAS</li><li>• Condición agrícola óptima</li><li>• Condiciones políticas, económicas y sociales favorables</li></ul>	<p style="text-align: center;"><b>OPORTUNIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Creciente demanda mundial de producción de biodiesel</li><li>• Legislación con incentivos tributarios.</li><li>• Vigencia del acuerdo de Kyoto</li></ul>
<p style="text-align: center;"><b>DEBILIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Falta de conocimiento sobre el cultivo y la industrialización</li><li>• Atomización de tierras</li><li>• No se consideró el mercado completo de aditivo para diesel, debido a falta de información sobre el mismo.</li></ul>	<p style="text-align: center;"><b>AMENAZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Infraestructura vial deficiente</li><li>• Escasa tecnificación y la falta de capacitación al campesinado</li><li>• Insuficiencia de crédito al sector rural</li><li>• Un mercado con características de monopolio</li></ul>

## CAPITULO

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES:

##### 1.- Seguridad alimentaria

- Actualmente existen 11.833.341 has en nuestro territorio que además con la ayuda del plan que está ejecutando nuestro gobierno;

Plan de Reactivación del Agro 2.008 – 2.011, QUE CONSISTE EN:

1. Incorporar de 650.000 has de cultivos para: Canasta alimentaria, Productos de exportación y Productos no tradicionales.
2. Destinar 5 MILLONES DE Has SUBUTILIZADAS, solo para desarrollar el PROGRAMA DE BIOCOMBUSTIBLES GARANTIZANDO LA SEGURIDAD ALIMENTARIA DE NUESTROS ECUATORIANOS.

##### 2.- Biodiesel

- Químicamente, se lo define como esteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadenas largas derivados de lípidos naturales, típicamente producido a través de reacciones de aceites vegetales o grasa animal con metanol o etanol como catalizador para producir glicerina y biodiesel.
1. Registrado como combustible y aditivo por la agencia de protección de medio ambiente (ENVIROMENT PROTECTION AGENCY-EPA -EEUU).

Utilización:

1. Como Biocombustible puede utilizarse puro al 100 % o en proporciones de 20 %, 30 % de mezclado con el combustible tradicional.
2. Como aditivo del 1% al 5%.

##### 3.- Ventajas directas parta su utilización como combustible para motor de combustión.

- Único combustible alternativo que puede utilizarse directamente en cualquier motor diesel, sin requerir ningún tipo de modificación.

- Ideal por bajas emisiones de CO<sub>2</sub>, en áreas marinas, parques nacionales y bosques y sobre todo en las grandes ciudades.
- Regulada por dos grandes institutos mencionados a continuación cuyo trabajo es:
  1. Garantizar que esté libre de sulfuros y bencenos carcinogénicos, dos elementos que la EPA (Environmental Protection Agency) regula legalmente por sus consecuencias medioambientales y sanitarias.
  2. Garantizar que el uso de biodiesel reduce en un 14% la emisión de hidrocarburos, un 9% el monóxido de carbono y en un 8% el material particulado. Este estudio es realizado por National Biodiesel Board (NBB).

#### **4.- Biocombustible vs combustible tradicional**

- Menor inflamabilidad y menor impacto tóxico, por ser biodegradable, e inocuo para el medio ambiente.
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) generado en la combustión, cumple ciclo regenerativo por ser absorbido por las mismas plantaciones que posteriormente producirán este producto.
- Según mediciones, demostraron que:  
Reducción en la emisión de monóxido de carbono (CO) de hasta un 50% en comparación, a la emisión producida por la combustión del diesel de petróleo, debido a que el Biodiesel no contiene azufre, y por ende no produce dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

#### **5.- Análisis financiero**

- Según los resultados dados, la implementación del proyecto es factible, pues tenemos un VAN de \$392.792,11, y un TIR de 14,90%, lo que quiere decir que tendremos este valor como ganancia en los 21 años de actividad de la empresa.



## RECOMENDACIONES:

1. El análisis financiero fue realizado en base al desarrollo de un cultivo oleaginoso (Piñón), desde la siembra hasta la cosecha, dando como resultado que el negocio sea factible para la inversión nacional y extranjera, este biocombustible a partir de Piñón, será utilizado como aditivo o como combustible para ser mezclado en proporciones.
2. El producto se venderá a un precio más económico comparado con los que se encuentran actualmente en el mercado, para captar el mismo, siendo este de \$7,50 la botella de un litro.
3. Nos basamos en el 10% del mercado comprendido entre las ventas anuales de las empresas QUALCO y CONAUTO, dando como resultado 74800 litros de aditivo para diesel vendidos, es decir nuestro mercado a captar es 7480 litros de aditivo al año.
4. Para calcular el incremento anual de venta de nuestro producto, nos basamos en el consumo anual de diesel (Tabla 5.3.3). Al analizar el promedio del incremento anual de consumo, obtuvimos un resultado del 7% de incremento anual, el mismo que fue utilizado para la proyección de ventas.
5. Se consideró contratar mano de obra para los procesos de siembra y cosecha, debido a que en nuestro país la mano de obra se cotiza en precios muy bajos.
6. No se consideró la compra de una máquina envasadora de aceite, debido a que la producción es muy baja y se la va a realizar manualmente.
7. La semilla de *Jatropha Curcas* o Piñón, contiene un 42 % de aceite con una viscosidad a 25°C, con propiedades fisicoquímicas semejantes al aceite comestible, no siendo tóxico.
8. Debido a su bajo grado de inflamación el biocombustible no necesita de tanques especiales para su almacenamiento.
9. Se recomienda estrictamente el uso de Acero Inoxidable AISI 304, para la construcción del reactor, pudiendo usarse otro de mejor calidad, dado

que en el mercado se encuentran reactores con tanques de plástico que no garantiza inocuidad en los procesos o durabilidad, exponiendo a los operadores a graves daños personales.

10. Evitar el contacto de piel, ojos y mucosas, con los reactivos y productos presentes en la reacción tanto la Potasa Cáustica (KOH), metanol, glicerina, glicerol y aceite, pueden ser irritantes, al momento de realizar Biocombustible por eso se recomienda el uso de mandil elementos de protección para ojos, manos, boca y nariz.
11. El Transesterificador deber ser parado cada 3 meses para una limpieza exhaustiva de cañerías y revisión de uniones para revisar el estado de las mismas, y verificar la hermeticidad del tanque.

## **ANEXOS 1**

### **ANEXO 1.1.**

#### **ELEMENTOS USADOS PARA LA PREPARACIÓN DEL BIOCOMBUSTIBLE A PARTIR DE ACEITE RECICLADO**

##### **ACEITE**

El aceite es el principal insumo para la producción. Puede provenir de cualquier origen orgánico, sea animal o vegetal, incluso aceites residuales utilizados en la industria alimentaria obtenidos mediante captura en trampas de grasa o directamente de los depósitos de cocción colocados en depósitos adecuados.

Sin embargo, de la calidad de este insumo dependerá la necesidad de un tratamiento previo con mayor o menor complejidad, lo que encarecerá el proceso, establezco como imposible, la elaboración de biodiésel a partir de aceites minerales como aceites lubricantes.

##### **METANOL**

Para la operación del reactor se utiliza alcohol metílico o metanol con una pureza de 95%. El volumen necesario para la elaboración de biodiésel es de un aproximado del 15% ó 20% del volumen del total de aceite a procesar. Hay que tener mucho cuidado con esta sustancia ya que es tóxica cuando se ingiere, se inhala o se contacta con la piel, es altamente inflamable y puede arder con llama incolora.

La manipulación de este tipo de insumos se debe hacer tomando todas las precauciones del caso. Es posible también utilizar alcohol etílico o etanol, siempre y cuando sea anhidro o tenga una pureza de 99.5%, se recomienda almacenarlo en un recipiente oscuro.



**FIG. ANEXO 1.1 A FRASCO CON MENTOL**

## **CATALIZADOR**

El catalizador a utilizar puede ser hidróxido de sodio (NaOH, soda cáustica) o hidróxido de potasio (KOH, potasa cáustica), de uso industrial, ya sea en escamas o en perlas. En este caso en particular se ha preferido el hidróxido de potasio en forma de escamas, pues presenta notables ventajas al momento de disolverlo en el alcohol, favoreciendo una transformación más completa del aceite en biodiésel.

En el caso que se desee purificar la glicerina para algún otro uso posterior, se permite obtener un subproducto utilizable como fertilizante (fosfato de potasio); en caso de trabajar con grasas, la glicerina se mantiene en estado líquido al momento de enfriarse, mientras que el NaOH se solidifica y hace difícil su separación del biodiesel por decantación en el reactor.

La cantidad a aplicar de catalizador es dependiente de la acidez del aceite a tratar. Tanto el NaOH como el KOH son corrosivos para diversos materiales, y resultan irritantes para la piel y las mucosas, por este motivo el acero AISI 304, con su característica de inoxidable es el medio idóneo para la reacción.



**FIG. ANEXO 1.1 B HIDRÓXIDO DE POTASIO EN ESCAMAS**

## **AGUA**

Se requiere agua corriente del caño para el lavado del biodiésel. El efluente que resulta de este lavado es de naturaleza alcalina con un alto contenido de jabones, grasas y trazas de metanol.

## **Energía**

Se necesita energía eléctrica monofásica (110V-120V) AC para poner en funcionamiento el motor reductor, resistencias eléctricas, bomba y todos los

equipos eléctricos usados en la producción, de preferencia se recomienda tomas aterrizadas de energía, pueden ser utilizadas además, fuentes de 220V, dependiendo si los aparatos a conectar soportan esta variación.

Insumos optativos.

Si de acuerdo con las regulaciones nacionales, sean estas constitucionales, o normas, se hiciera necesario tratar el efluente antes de desecharlo por las vías convencionales, se recomiéndale uso de sulfato de magnesio como floculante. Además se puede utilizar trampas de grasa para separar las emulsiones formadas durante el proceso de purificación

De la misma manera, para el proceso de neutralización y parcial purificación de la glicerina se requiere ácido fosfórico. Este ácido también es utilizado para facilitar y mejorar los resultados de la etapa de lavado del biodiésel, aunque no es del todo imprescindible, solo tiende a mejorar los resultados.

## **RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

El aceite que se recibe proviene de una empresa particular, la misma que lo entrega en condiciones optimas para la producción, de no ser este el caso, el aceite deberá ser filtrado por filtros gruesos y finos, tantas veces como sea necesario hasta que no queden partículas extrañas visibles al ojo humano, este proceso de filtrado se realiza con una bomba manual

El aceite debe ser recibido en depósitos plásticos o metálicos, de preferencia en volúmenes de máximo 20 litros para una fácil manipulación y transporte.

Es recomendable poseer un registro o bitácora de las cantidades, calidades y precios de los diferentes aceites utilizados para posteriormente realizar comparaciones entre los diferentes proveedores en factores como rendimiento y calidad del producto final, en este caso biodiesel.

Para el presente proyecto, se usa aceites usados o de desecho, para el cual se recomienda pasar el aceite a través de una malla metálica y un filtro grueso, lo cual sirve para separar las partículas gruesas que se encuentran en suspensión en el aceite, y se coloca el aceite filtrado al cilindro de almacenamiento.

Si el aceite es muy viscoso, el filtrado se facilita calentándolo ligeramente, los sólidos se almacenan en baldes para ser usado como compostaje o como alimento para animales.

### **DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EN EL ACEITE**

Se toma con un matraz, una muestra pequeña de aceite de no más de 500 ml., se coloca en una estufa eléctrica y se calienta la muestra hasta alcanzar 100 °C. Si el aceite empieza a bullir, con un burbujeo, crepitar o crujir, esto es un indicador de presencia de agua; entonces se deberá secarlo antes de transformarlo en biodiesel.

### **SECADO DEL ACEITE**

En el caso de que exista humedad en el aceite es imprescindible en secado del mismo, este procedimiento es fácil de lograr con implementos de laboratorio, el secado del aceite se puede realizar de dos maneras:

- Se emplea un cilindro de 50 galones abierto. Se calienta hasta 90°C y se deja que concluya el proceso de burbujeo y crujido; es importante un cuidadoso control de la temperatura para evitar que se queme el aceite, se acidifique o se rancie. No se recomienda utilizar el secador de biodiesel ya que quedaría sucio con aceite; es preferible emplear un recipiente que tenga base cónica, con un desfogue en el centro del cono, con la finalidad de ir purgando el agua que se vaya separando del aceite cuando se calienta. Este mecanismo ahorra tiempo y energía.
- Empleando el mismo reactor de biodiesel, se calienta hasta aproximadamente 60 ó 70 °C y después se deja sedimentar. Por diferencia de densidades, el agua se depositará al fondo y se podrá separar manualmente por la válvula de drenaje inferior. Después de esto, el aceite está listo para la transesterificación.

De entre las dos opciones presentadas, se recomienda la segunda, dado que no implica el uso de materiales, equipos o insumos adicionales a los que se utiliza en el proceso

## **DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ**

Este paso es bastante importante para saber qué cantidad de catalizador se necesita para la reacción. Se utiliza un equipo de laboratorio básico para medir pesos y volúmenes exactos.

### **MATERIALES NECESARIOS:**

- Equipo para titulación: bureta, soporte, vaso pequeño, matraz.
- Pipetas de 1 ml y 10 ml.
- Solución al 0.1% de KOH en agua destilada (1 gr de KOH diluido en 1 l de agua destilada).
- Fenolftaleína.
- Etanol.
- Muestra de aceite

### **ANEXO 1.2.**

#### **EXPERIMENTO PARA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE EN UN LABORATORIO UTILIZANDO ACEITE DE HIGUERILLA**

### **5. ESQUEMA DE LA PRÁCTICA**

- Tomar 1 ml de muestra de aceite con la pipeta y ponerlo en el matraz.
- Diluir con 10 ml de etanol. Mezclar bien. Si no se diluye totalmente, calentar ligeramente.
- Aplicar 5 gotas de fenolftaleína y volver a mezclar.



**FIG. ANEXO 1.2 A SOLUCIÓN DE FENOLTALEINA Y VASO PARA MEDICIÓN DE PH**

- Llenar la bureta con una solución de KOH al 0.1%.
- Dejar caer por goteo la solución de la bureta a la mezcla de aceite y metanol hasta que el color del contenido cambie a rosado, a este procedimiento se lo llama titulación



**FIG. ANEXO 1.2 B REACCIÓN DE TITILACIÓN**

- Anotar la cantidad gastada de KOH, a este valor se lo denominará X para cálculos posteriores.
- Repetir la prueba un mínimo de tres veces para asegurar que los resultados sean exactos.

Un método adicional para determinar la acidez, usando las mismas fracciones de reactivos, es midiendo por medio de la escala de colores, en un papel indicador, si se posee una tabla de colores, se podrá ver que un color verde azulado en el papel representa un PH de entre 8 y 9 (básico), valor ideal para la transesterificación del aceite

## **6. OBJETIVO Y SIGNIFICADO DE LA PRUEBA**

El objetivo de esta prueba es conocer principalmente la cantidad de insumos adecuada para la producción de biodiesel.

La cantidad X de KOH gastado en la titulación indica la acidez del aceite, causada por la presencia de ácidos grasos libres, liberados cuando reacciona en exceso. Este valor obtenido luego de la titulación es también la cantidad de catalizador que se necesita para neutralizar la acidez del aceite, la cual se expresa de esta manera: "X gramos de KOH / litro de aceite".



Si  $X$  resulta menor a 2 gr KOH/litro, entonces se puede hacer la transesterificación directamente. En este caso, la cantidad de catalizador a utilizar sería de  $7+X$  por cada litro de aceite que se vaya a procesar. Si en cambio,  $X$  resulta mayor a 2 gr KOH/litro, puede haber problemas de formación de jabones, lo cual interferiría en la producción de biodiesel. Se requerirá entonces neutralizar el aceite.

### **NEUTRALIZACIÓN DEL ACEITE**

Se coloca el aceite en un recipiente grande, preferentemente de acero inoxidable, ya que los otros materiales pueden resultar corroídos con mucha rapidez, con elementos como el KOH o el NaOH. Por cada litro de aceite que se vaya a procesar, se debe disolver  $X$  gramos de KOH en 20 ml de agua. Este procedimiento debe hacerse con sumo cuidado, utilizando guantes y lentes protectores, dado que el KOH es irritante y podría quemar las manos.

Cuando la solución esté completamente disuelta, se le agrega muy despacio y cuidadosamente el aceite, procurando remover constantemente, este proceso se deberá realizar entre dos personas como mínimo.

Como reacción inmediata a este procedimiento se podrá observar la aparición de pequeños grumos, los cuales son normales, estos son jabones producidos por la reacción del KOH con los ácidos grasos libres.

Después de que todo esté bien mezclado, se deberá filtrar nuevamente el aceite para separar el jabón que se formó. Finalmente se debe volver a titular el aceite para observar si disminuyó la acidez. Si esta es menor a 2 gr KOH/litro, se procederá a la transesterificación.

### **TRANSESTERIFICACIÓN**

A partir de este momento comienza el proceso en sí, de operación del reactor, se recomienda seguir de manera exacta los pasos enunciados en esta etapa.

- Asegurarse de que todas las válvulas de entrada y salida del reactor están cerradas.

## **ANEXOS 2**

### **ANEXO 2.1.**

#### **PREVENCIONES A PRACTICAR EN EL LABORATORIO MIENTRAS SE REALIZA EL EXPERIMENTO**

##### **➤ MANEJO DE INSUMOS QUÍMICOS**

Es de vital importancia, tomar en cuenta que se está trabajando con insumos químicos peligrosos: el metanol es altamente inflamable y tóxico por inhalación, ingestión y contacto; el KOH es corrosivo, irritante si se inhala el polvo y quema la piel si se toca. Por ello, la adecuada selección de ropa y equipamiento de seguridad, así como de los materiales que estarán en contacto con estos químicos, es fundamental.

##### **➤ ROPA Y EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD**

**GUANTES:** Se deberá emplear guantes de jebe (o de preferencia de nitrilo) todo el tiempo que se trabaje con metanol y con KOH o NaOH. Enjuagar los guantes de jebe inmediatamente con abundante agua luego de manipular el KOH o NaOH, porque estas sustancias atacan el caucho.

Emplear guantes de cuero cuando se trabaje con superficies calientes.

**MÁSCARA:** Usar máscara con respirador para gases orgánicos y para partículas. Utilizarla obligatoriamente cuando se trabaje con metanol y con KOH o NaOH  
**Lentes protectores:** Usar lentes de protección cuando se trabaje con metanol y con KOH o NaOH.

**Mandil:** Uso obligatorio todo el tiempo.

**BOTAS:** Usar botas de jebe.

**EXTINTORES:** Se debe contar con extintores de espuma o de polvo seco en todo lugar donde se almacene y/o manipule metanol, aceite y biodiesel, o mezclas de ellos. Ubicarlos en lugares de fácil acceso y adecuadamente marcados.

**SACO DE ARENA:** Como medida extra para casos de incendio, contar con un saco o barril lleno de arena en un lugar visible y adecuadamente marcado.

**DUCHA DE EMERGENCIA:** Contar con ducha de emergencia para casos de derrame o salpicadura con metanol o con soluciones concentradas de KOH, NaOH o ácidos.

Asimismo, contar con dispositivo de lavado de ojos para los mismos casos

### ANEXOS 3

#### ANEXO 3.1. COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL BIODIESEL PRODUCIDO DE DIFERENTES TIPOS DE OLEAGINOSAS PARA USO COMUN EN ESTACION DE SERVICIO.

El patrón a seguir en el Ecuador para determinar las propiedades más representativas de los Carburantes son las Normas INEN, en este caso, tratándose de hidrocarburos, las especificaciones de calidad y propiedades más importantes para el Diesel 2, según la Norma INEN, se ilustran en la tabla adjunta:

Análisis	Norma	Valor
Temperatura de Destilación (90°C)	NTE INEN 926	Max 360
Azufre (%peso)	NTE INEN 1490	Max 0,7
Cenizas (%peso)	NTE INEN 1492	Max. 0,01
Residuo Carbonoso sobre 10%	NTE INEN 1491	Max 0,15
Agua y sedimento (%Volumen)	NTE INEN 1494	Max 0,05
Punto de Inflamación (°C)	NTE INEN 1047	Min. 51
Corrosión de lámina de cobre	NTE INEN 927	Max N° 3
Viscosidad Cinemática a 37.8°C	NTE INEN 810	2,5 a 6
Índice de Cetano Calculado	NTE INEN 1495	Min. 45

**FIG. ANEXO 3.1 A ESPECIFICACIONES DE CALIDAD INEN PARA DIESEL DE PETRÓLEO**

Ahora que he mostrado las normativas nacionales que regulan los carburantes, en este caso específico para el Diesel 2, es evidente la diferencia de resultados en comparación con las normas ASTM que son tomadas como base internacional para el estudio y comercialización de los Biocombustibles, el

detalle de los procedimientos químicos a seguir para los diferentes análisis de las propiedades y especificaciones del Diesel 2 según el INEN, se encuentra en el Apéndice H.

A continuación, en base a las normas ASTM, comparo los resultados del Biodiesel con el Diesel de Petróleo. (Diesel 2), común de estación de servicio.

### PROPIEDADES BODIESEL DE HIGUERILLA Vs. DIESEL DE PETRÓLEO

Análisis	B100	B60	B30	B15	B5	Diesel	Especificación ASTM D-975	
							Min.	Máx.
Agua por Destilación, % por volumen	0.8	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	N/A (No Aplica)	
Cenizas, % por peso	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		0.01
Color Saybolt	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5		3.0
Corrosión Lámina Cobre	1A	1A	1A	1A	1A	1A		2.0
Destilación (T en °C)								
Punto Inicial de Ebullición	204.3	191.1	190.1	171.8	174.9	182.0	Reportar	
50% recobrado	333.3	327.2	319.1	299.8	298.8	297.8		300
90% recobrado	345.5	347.5	352.6	350.6	354.6	357.7		360
Punto Final de Ebullición	353.6	351.6	362.8	362.8	372.9	380.0		390
Densidad a 60°F (kg/m <sup>3</sup> )	926.05	901.85	882.17	871.30	868.63	865.97	Reportar	
Índice de Cetano	38.0	45.0	49.0	50.5	51.0	50.0	45	
Poder Calorífico, MJ/kg	37.52	40.0	42.95	44.2	45.01	45.43	N/A	
Punto de Inflamación, °C	84.3	64.3	64.3	62.3	62.3	62.3	52	
Punto de Fluidez, °C	-18.0	-12.0	-13.0	-18.0	-14.0	-14.0		4
Punto de Nube, °C	-4.0	4.0	3.0	2.0	1.0	1.0	N/A	
Residuo Carbonoso, % por peso	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		0.2
Viscosidad Cinemática a 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	14.89	8.75	6.11	5.02	4.79	4.66	1.9	5.0

**FIG. ANEXO 3.1 B PROPIEDADES BODIESEL DE HIGUERILLA Vs. DIESEL DE PETRÓLEO**

Es evidente que existe una diferencia radical, en su mayor parte para bien, entre el Diesel de Petróleo, y el Biodiesel, considerando que este último procede de una fuente ambientalmente sustentable, y es un recurso renovable, obviamente se observa que mientras menor es el porcentaje de biodiesel en la mezcla con Diesel de Petróleo, mas parecidos son ambos combustibles, en cambio que si se considera independencia total del derivado del Petróleo, se

puede observar una gran reducción en emisiones de Carbono, aun cuando el poder calorífico del Biodiesel es inferior al del Diesel común, es meritorio conocer que en rendimiento, el biodiesel es mucho mejor y por sus bajos contenidos de azufre, mejora sin duda la vida de los elementos del motor expuestos al contacto con este combustible de origen orgánico.

Existen ya en el Ecuador, vehículos “Flex” que pueden recibir en sus tanques un combustible del tipo B15 (85% Diesel 2, 15% Biodiesel), si un mayor numero de ensambladoras de vehículos pusieran a disposición de los ecuatorianos, la tecnología Flex, la matriz energética del país cambiaría notablemente, con una reducción de hasta un 20% de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

A continuación ilustro los resultados obtenidos en los parámetros de calidad para el caso del Biodiesel de aceite de Palma bajo la norma ASTM

Parámetro	Unidades	Biodiésel de palma
Punto de inflamación	°C, mín.	154
Punto de escurrimiento	°C, máx.	n.d.
Agua y sedimentos	% vol, máx.	0,07
Carbón Conradson	% masa, máx.	0,41
Cenizas	% masa, máx.	0,006
Temperatura de destilación	al 90%, °C	343
Viscosidad cinemática a 40°C	cSt	4,0
Corrosión en lámina de cobre	máx.	n° IA
Número de cetano	mín.	48,6
Azufre	% masa, máx.	n.d.
Poder calorífico bruto	kJ/kg	40 346
Poder calorífico neto	kJ/kg	39 054

**FIG. ANEXO 3.1 C PROPIEDADES Y ESPECIFICACIONES BIODIESEL DE PALMA**

En la siguiente figura, se pueden observar las propiedades del biodiesel proveniente de aceite de *Jatropha Curcas* o Piñón.

<b>ASTM D-6751 Tests</b>			
<b>Property</b>	<b>ASTM Method</b>	<b>Limits</b>	<b>Units</b>
Flash Point	93	130 min	Degree C
Water & Sediment	2709	0.05 max	Vol %
Carbon Residue (100% sample)	4530	0.05 max	Weight %
Sulfated Ash	874	0.02 max	Weight %
Kin. Viscosity, 40 C	445	1.9 — 6.0	mm <sup>2</sup> / sec
Sulfur	5453	0.05 max	Weight %
Cetane	613	47 min	
Cloud Point	2500	By customer	Degree C
Copper Corrosion	130	# 3 max	
Acid Number	664	0.80 max	mg KOH/g
Free Glycerin	6854	0.020	Weight %
Total Glycerin	6854	0.240	Weight %
Phosphorous	4951	10 max	ppm
Distillation, T90 AET	1160	360 max	Degree C

**FIG. ANEXO 3.1 D PROPIEDADES Y ESPECIFICACIONES BIODIESEL DE JATROPHA CURCAS O PIÑÓN BAJO NORMA ASTM**

## **ANEXO 3.2.**

### **CARTILLAS DE SEGURIDAD DE INSUMOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

#### **➤ HOJA DE SEGURIDAD METANOL**

FÓRMULA  $\text{H}_4\text{O}$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$

PESO MOLECULAR 32.04 g/mol

COMPOSICIÓN C: 37.48 %, H: 12.58 % y O: 49.93 %

SINÓNIMOS Alcohol metílico, hidrato de metilo, hidróxido de metilo, metilol, carbinol, alcohol de madera.

#### **RESUMEN DE LOS RIESGOS**

- El metanol puede afectarle al respirarlo y cuando pasa a través de su piel.
- El metanol es un teratógeno. Trátese a esta sustancia con mucho cuidado.
- El metanol puede irritar los ojos y causar visión borrosa y/o ceguera.
- Respirar el metanol puede irritar la nariz, la boca y la garganta, y causar tos y respiración con silbido.
- El contacto puede causar irritación de la piel. La exposición repetida o prolongada puede causar resecaimiento y grietas en la piel.
- Es posible que el metanol cause daño al hígado.
- La exposición a concentraciones altas puede causar dolor de cabeza, náuseas, vómitos y mareo. Puede causar la muerte.
- El metanol es un líquido inflamable y presenta un peligro de incendio.



## **GENERALIDADES**

El metanol es un líquido incoloro, venenoso, con olor fuerte parecido al etanol y cuando está puro puede tener un olor repulsivo; arde con flama no luminosa. Es utilizado industrialmente como solvente y como materia prima en la obtención de formaldehido, metil-ter-butyl éter, ésteres metílicos de ácidos orgánicos e inorgánicos. También es utilizado como anticongelante en radiadores de autos; en gasolinas y diesel; en la extracción de aceites de animales y vegetales, y agua de combustibles de automóviles y aviones; en la desnaturalización de etanol; como agente suavizante de plásticos de piroxilina, y otros polímeros; y como solvente en distintas industrias. El metanol se obtiene por destilación destructiva de madera a altas temperaturas; por hidrogenación catalítica de CO a presión y temperatura altas, con catalizadores de cobre-óxido de cinc; por oxidación de hidrocarburos y como subproducto en la síntesis de Fischer-Tropsch.

## **NÚMEROS DE IDENTIFICACIÓN**

CAS: 67-56-1

UN: 1230

NIOSH: PC 1400000

RCRA: U154

NOAA: 3874

STCC: 4909230

RTECS: PC1400000

HAZCHEM CODE: 2 PE

NFPA: Salud: 1 Reactividad: 0 Fuego: 3

El producto está incluido en CERCLA, 313

MARCAJE: Líquido inflamable, venenoso.

## **SINÓNIMOS EN OTROS IDIOMAS**

Inglés: Methanol, Methyl alcohol Wood spirit, Biekeski's solution, Colonial spirit, Columbian

spirit, Pyroxylic spirit, Wood naphta.

Francés: Alcool méthylique

Alemán: Methylalkohol

Polaco: Metylowy alcohol

Italiano: Metanolo, Alcohol metilico

## **PROPIEDADES QUÍMICAS**

Este producto reacciona violentamente con bromo, hipoclorito de sodio, dietilcinc, disoluciones de compuestos de alquilaluminio, trióxido de fósforo, cloruro cianúrico, ácido nítrico, peróxido de hidrógeno, sodio, ter-butóxido de potasio y perclorato de plomo. En general, es incompatible con ácidos, cloruros de ácido, anhídridos, agentes oxidantes, agentes reductores y metales alcalinos.

## **PROPIEDADES FÍSICAS Y TERMODINÁMICAS**

Densidad (g/ml): 0.81 g/ml (0/4°C), 0.7960 (15/°C), 0.7915 (20/4°C), 0.7866 (25/4°C).

Punto de fusión: -97.8°C.

Punto de ebullición (°C): 64.7 (760 mm de Hg), 34.8 (400 mm de Hg), 34.8 (200 mm de Hg),

21.2 (100 mm de Hg), 12.2 (60 mm de Hg), 5 (40 mm de Hg).

Índice de refracción a 20°C: 1.3292

Densidad de vapor (aire = 1): 1.11

Punto de inflamación (Flash point): 12°C.

Punto de congelación: -97.68°C.

Temperatura de ignición: 470°C.

Límites de explosividad (% en volumen en el aire): 6-36.5

Temperatura crítica: 240°C.

Presión crítica: 78.5 atm

Volumen crítico: 118 ml/mol

Temperatura de autoignición: 380°C.

Tensión superficial (din/cm): 22.6

Calor específico (J/g K): 1.37 (vapor a 25°C) y 2.533 (líquido a 25°C).

Presión de vapor (mm de Hg): 127.2 (a 25°C).

Viscosidad (cP): 0.541 (líquido a 25°C).

Conductividad térmica (W/m K): 0.202 (a 25°C).

Formación de azeótropos con muchos compuestos.

Solubilidad: miscible con agua, etanol, éter, benceno, cetonas y muchos otros disolventes orgánicos. Disuelve una gran variedad de sales inorgánicas; por

ejemplo: 43% de yoduro de sodio, 22% de cloruro de calcio, 4% de nitrato de plata, 3.2% de cloruro de amonio y 1.4% de cloruro de sodio.

## **NIVELES DE TOXICIDAD**

RQ: 5000

IDLH: 25000 ppm

LDLo (oral en humanos): 4.28 mg/kg

LD50 (oral en ratas): 5628 mg/kg

LC50 (inhalado en ratas): 64000 ppm/4h

LD50 (en piel con conejos): 15800 mg/kg

Niveles de irritación a piel de conejos: 500 mg/24 h, moderada

Niveles de irritación a ojos de conejos: 40 mg, moderada

Estados Unidos:

TLV TWA: 260 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

TLV STEL: 310 mg/m<sup>3</sup> (250 ppm)

Reino Unido:

Periodos largos: 260 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

Periodos cortos: 310 mg/m<sup>3</sup> (250 ppm)

Francia:

VME: 260 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

VLE: 1300 mg/m<sup>3</sup> (1000ppm)

Alemania:

MAK: 260 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

## **MANEJO**

### Vestimenta

Evite todo contacto de la piel con el alcohol metílico. Se debe usar ropa y guantes antiodisolventes; asimismo, toda la ropa de protección (trajes, guantes, calzado, gorros y cascos) debe estar limpia, disponible y emplearse cada día de trabajo. ACGIH califica el caucho de nitrilo o viton como material de protección muy bueno.

## **PROTECCIÓN DE LOS OJOS**

Cuando trabaje con líquidos, emplee gafas a prueba de salpicaduras de sustancias químicas y un escudo de protección de cara, o protección respiratoria con pieza facial de cara completa. No deben usarse lentes de contacto al utilizar metanol.

## **MANIPULACIÓN**

Donde sea posible, limitar las operaciones a un lugar cerrado con ventilación de escape local en el lugar de las emisiones químicas. Si no se usa un lugar cerrado o ventilación de escape local, deben usarse respiradores (máscaras protectoras), y el lugar debe estar siempre bien ventilado.

Donde sea posible, bombear el alcohol metílico líquido en forma automática desde los tambores u otros recipientes de almacenamiento a los recipientes de procesamiento. Al trasvasar pequeñas cantidades con pipeta, utilizar propipetas, y nunca aspirar con la boca.

Asimismo, no se debe comer, fumar o beber donde se manipula, procesa o almacena el metanol, pues se puede tragar la sustancia química.

Debe haber un lavado cuidadoso de manos antes de comer o fumar, inmediatamente después de exponerse al alcohol metílico y al término de la jornada de trabajo. Asimismo, resulta importante lavarse las partes del cuerpo que hayan podido estar en contacto con el metanol aunque usted no esté seguro si se produjo o no un contacto con la piel.

Si existe la posibilidad de exposición de la piel, deben suministrarse instalaciones para duchas de emergencia. Los trabajadores cuya ropa haya sido contaminada por el alcohol metílico deben cambiarse inmediatamente y ponerse ropa limpia.

## **ALMACENAMIENTO**

Cuando se trata de cantidades grandes, el metanol debe almacenarse en recipientes de acero al carbón rodeado de un dique, y con sistema de extinguidores de fuego a base de polvo químico seco o dióxido de carbono; en el caso de cantidades pequeñas, entonces puede manejarse en recipientes de vidrio. Sea como fuere, el metanol siempre debe mantenerse en recipientes bien cerrados, en áreas frías y bien ventiladas, alejado de fuentes de ignición y protegido de la luz directa del sol. Asimismo, está terminantemente prohibido fumar o prender fuego abierto donde se usa, maneja o almacena metanol.

De otra parte, se debe evitar el contacto con oxidantes fuertes (tales como cloro, bromo y flúor) porque se producen reacciones violentas. De igual modo, los envases de metal utilizados durante la transferencia de alcohol metílico deben estar conectados a tierra y unidos. Los cilindros deben estar equipados con válvulas automáticas, tapas de presión al vacío y para llamas. Se debe usar equipo y herramientas que no produzcan chispas, especialmente al abrir y cerrar envases de alcohol metílico.

## **TRANSPORTE Y EMPAQUE**

Transporte terrestre:

Marcaje: 1230

Líquido inflamable

Código HAZCHEM: 2 PE

Transporte aéreo:

Código ICAO/IATA: 1230 Clase: 3 (6.1)

Cantidad máx. en vuelos comerciales: 1 l

Cantidad máxima en vuelos de carga: 60 l

Transporte marítimo:

Código IMDG: 3087 Clase: 3.2

Marcaje: Líquido inflamable. Venenoso.

## **RIESGOS**

### **RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN:**

Es un producto inflamable. Sus vapores pueden explotar si se prenden en un área cerrada y pueden viajar a una fuente de ignición, prenderse y regresar al área donde se produjeron en forma de fuego. Los contenedores pueden explotar. Al incendiarse, se producen gases venenosos como el formaldehído.

### **RIESGOS A LA SALUD:**

El envenenamiento puede efectuarse por ingestión, inhalación o absorción cutánea. Ello se debe, posiblemente, a su oxidación en ácido fórmico o formaldehído, que se sabe que puede ser inhibida por etanol, pues el etanol es metabolizado de manera muy específica y desintoxica al organismo de metanol por medio de la respiración. Después de la muerte, el efecto más grave de este producto es la ceguera permanente. Veamos, seguidamente, un conjunto de riesgos posibles y sus efectos.

- **INHALACIÓN:** La exposición a una concentración mayor de 200 ppm produce dolor de cabeza, náusea, vómito e irritación de membranas mucosas. Concentraciones muy altas pueden dañar el sistema nervioso central y causar problemas en la visión. Los efectos del metanol son acumulativos y una exposición constante, aún a bajos niveles, puede causar muchos de los efectos mencionados arriba, así como daño al hígado. Estos efectos varían con cada individuo.
- **CONTACTO CON OJOS:** Tanto los vapores como el líquido son muy peligrosos, pues se ha observado que el metanol tiene un efecto específico sobre el nervio óptico y la retina.
- **CONTACTO CON LA PIEL:** El contacto directo produce dermatitis y los efectos típicos (mencionados arriba) de los vapores de metanol que se absorben por la piel.
- **INGESTIÓN:** El envenenamiento por este medio se lleva a cabo frecuentemente por etanol adulterado y sus efectos dependen de la cantidad ingerida, pues, como se mencionó arriba, el etanol afecta el metabolismo del metanol. Generalmente, una dosis de 25 a 100 ml

resulta fatal. Al principio se produce una narcosis similar a la producida por el etanol, pero después de 10 a 15 horas se presentan daños más graves sobre el sistema nervioso central, específicamente sobre el nervio óptico y, finalmente, se presentan los efectos agudos ya mencionados.

- **CARCINOGENICIDAD:** No se ha observado un incremento en los casos de cáncer en trabajadores expuestos a metanol, en estudios epidemiológicos.
- **MUTAGENICIDAD:** Resultó ser no mutagénico en estudios con *Salmonella typhimurium* y no indujo el intercambio de cromátida hermana.
- **Peligros reproductivos:** En estudios con concentraciones altas de vapor (10 000 ppm) se incrementan las malformaciones congénitas, las cuales incluyen órganos urinarios y cardiovasculares. A concentraciones de 5 000 ppm no se observaron estos efectos.

## **ACCIONES DE EMERGENCIA**

### **PRIMEROS AUXILIOS:**

- **INHALACIÓN:** Mover a la víctima a un área bien ventilada y mantenerla abrigada. Si no respira, dar respiración artificial y oxígeno.
- **OJOS:** Lavarlos con agua o disolución salina neutra en forma abundante durante al menos 15 minutos, abriendo los párpados con los dedos.
- **PIEL:** Lavar la zona dañada inmediatamente con gran cantidad de agua y jabón. En caso necesario, quitar la ropa contaminada rápidamente.
- **INGESTIÓN:** No inducir el vómito. Pueden utilizarse de 5 a 10 gr de bicarbonato de sodio para contrarrestar la acidosis provocada por este producto y en algunos casos, se ha informado de hemodiálisis como método efectivo para este tipo de envenenamiento.

En todos los casos de exposición, el paciente debe ser transportado al hospital tan pronto como sea posible.

#### **CONTROL DE FUEGO:**

- Usar agua en forma de neblina, pues los chorros de agua pueden ser inefectivos.
- Enfriar todos los contenedores involucrados con agua. El agua debe aplicarse desde distancias seguras.
- En caso de fuegos pequeños, puede utilizarse extinguidores de espuma, polvo químico seco y dióxido de carbono.

#### **FUGAS Y DERRAMES:**

- Utilizar el equipo de seguridad mínimo (bata, lentes de seguridad y guantes) y, dependiendo de la magnitud del siniestro, utilizar equipo de protección completo y de respiración autónoma.
- Alejar cualquier fuente de ignición del derrame.
- Ventilar el área del derrame o escape.
- Evitar que el metanol llegue a fuentes de agua y drenajes. Para ello construir diques con tierra, bolsas de arena o espuma de poliuretano, o bien, construir una fosa.
- Para aminorar los vapores generados, utilizar agua en forma de rocío y almacenar el líquido. Si el derrame es al agua, airear y evitar su movimiento mediante barreras naturales o bombas para controlar derrames y succionar el material contaminado.
- Absorber los líquidos mediante materiales como la vermiculita, arena seca, tierra, etc. y depositarlos en recipientes herméticamente cerrados. Tener la precaución debida pues el material utilizado para absorber



puede quemarse; asimismo, este y el agua contaminada deben almacenarse en lugares seguros y desecharlos posteriormente de manera adecuada.

- En el caso de derrames pequeños, el líquido puede absorberse con papel y llevarse a una área segura para su incineración o evaporación, después se debe lavar el área con agua.
- Evitar que el metanol llegue a espacios cerrados o confinados donde puede haber riesgos de explosión.

### **DESECHOS:**

En el caso de cantidades pequeñas, puede dejarse evaporar o incinerarse en áreas seguras.

Para volúmenes grandes, se recomienda la incineración controlada junto con otros materiales inflamables.

## ➤ **HOJA DE SEGURIDAD HIDRÓXIDO DE POTASIO (KOH)**

FÓRMULA KOH

PESO MOLECULAR 56.1047 g/mol

COMPOSICIÓN KOH: 84.50 – 90.5 %, H<sub>2</sub>O: 9.50 – 15.50 %

SINÓNIMOS Potasa cáustica

### **RESUMEN DE LOS RIESGOS**

- Puede causar quemaduras a los ojos, piel y membranas mucosas.
- Puede causar daño ocular permanente.
- La inhalación del polvo o aerosol puede causar daño pulmonar severo.
- Puede reaccionar violentamente con agua, ácidos y otras sustancias.
- Es altamente corrosivo.

### **GENERALIDADES**

El hidróxido de potasio es un sólido blanco sin ningún olor especial, que presenta en cristales, escamas, briquetas y se utiliza generalmente en solución acuosa. Se utiliza en la manufactura de vidrio, en jabones, fertilizantes, limpiadores industriales, electroplateado, procesos químicos en general y la industria petrolera.

### **NÚMEROS DE IDENTIFICACIÓN**

CAS: 1310-58-3

UN: 1813

RTECS: TT2100000

NFPA: Salud: 3 Reactividad: 1 Fuego: 0

MARCAJE: Corrosivo. No usar agua. Gases venenosos se producen en un incendio. Los contenedores pueden explotar en un incendio.

### **SINÓNIMOS EN OTROS IDIOMAS**

**Inglés:** Potassium hydroxide, Lye, Caustic potash, Potassa, Potassium hydrate

**Francés:** Potassium hydroxyde, potasse caustique

**Alemán:** Kalilumhydroxid

**Italiano:** Idrossido di potassio

## **PROPIEDADES QUÍMICAS**

El hidróxido de potasio es estable químicamente. Absorbe dióxido de carbono y humedad del aire.

### **REACCIONA CON:**

- Aire,
- Agua,
- Ácidos,
- Metales, Y
- Otros.

Se debe evitar el contacto directo con agua y ácidos para evitar reacciones violentas. El Producto es corrosivo para la lata, aluminio, zinc y aleaciones conteniendo estos metales, y reacciona con ellos si se encuentran en polvo. Evitar el contacto con cuero, lana, ácidos, compuestos halogenados orgánicos, o compuestos orgánicos nitrogenados. Se puede formar monóxido de carbono si el KOH entra en contacto con azúcares reductores, productos alimenticios y bebidas en espacios cerrados, y puede producir la muerte.

## **PROPIEDADES FÍSICAS Y TERMODINÁMICAS**

Gravedad específica (agua=1): 2.044 (20 °C).

Presión de vapor (mm de Hg): 60 (a 1013 °C).

Densidad de vapor (aire = 1): no aplicable.

Tasa de evaporación: no aplicable.

% de volátiles en peso: 0.

Punto de ebullición (°C): 1320 (760 mm de Hg).

Punto de congelación: 400°C.

Punto de fusión: no disponible.

Solubilidad en agua (% p/p): completamente soluble.

pH: 0.01 mol/litro tiene pH 12.0

Temperatura de descomposición térmica: no disponible.

## **NIVELES DE TOXICIDAD**

LD50 (oral en ratas): 365 mg/kg.

Niveles de irritación a piel de conejos (50 mg, 24 h): severa.

Niveles de irritación a ojos de conejos a las 24 h: severa.

## **EXPOSICIÓN DÉRMICA HUMANA:**

Sin importar la concentración, la severidad del daño y el grado de irreversibilidad del mismo se incrementan con la duración del tiempo de contacto. Un contacto prolongado con hidróxido de potasio, incluso diluido (>2%), puede causar un alto grado de destrucción de tejidos. El periodo de latencia luego del contacto con la piel, durante el cual no hay sensación de irritación, también varía con la concentración.

## **CONSIDERACIONES ECOTOXICOLÓGICAS:**

Este material no es biodegradable y produce una leve toxicidad a organismos acuáticos en pruebas de laboratorio. Por ser fuertemente alcalino, cuando se descarga a aguas superficiales el KOH ocasiona un incremento del pH de las mismas, dependiendo de su capacidad de amortiguamiento. Los organismos acuáticos se estresan a niveles de pH por encima de 9, aunque muchas especies son tolerantes a niveles de pH de alrededor de 10. Este compuesto no es bioacumulable en organismos, aunque se deben tomar precauciones para evitar su descarga accidental al ambiente. Límites de exposición en Estados Unidos:

TLV: 2 mg/m<sup>3</sup> (turno de 10 horas).

PEL: 2 mg/m<sup>3</sup> (concentración máxima instantánea).

## **MANEJO**

### **VESTIMENTA**

- Utilizar guantes resistentes a los químicos, como caucho, neopreno o vinilo.
- Utilizar ropa de protección para minimizar contacto con la piel, cerrada en el cuello y las muñecas.
- Lavar las ropas contaminadas y secar antes del reemplazo.

- Desechar los zapatos que no puedan ser descontaminados.

## **PROTECCIÓN DE LOS OJOS**

Utilizar gafas de protección química. Protección respiratoria. No es necesaria bajo condiciones normales de uso. En caso de que se puedan producir contaminantes aerotransportados, usar un respirador aprobado.

## **MANIPULACIÓN**

Utilizar equipo de protección personal cuando se trabaje con KOH. Se debe contar con una ducha de seguridad y con equipo de lavado de ojos cerca del lugar de trabajo. No se requiere equipo de ventilación especial para las condiciones normales de uso, pero siempre se debe evitar la inhalación de polvo y se recomienda el empleo de sistemas adecuados de ventilación local (extractores de aire).

Se puede formar gas de monóxido de carbono (CO) si el hidróxido entra en contacto con productos alimenticios o de bebida en espacios cerrados; este gas es venenoso y puede causar la muerte. En estos casos sí se requeriría de ventilación especial.

Los contenedores, incluso cuando están vacíos, retienen residuos y vapores del producto, y deben ser manejados como si estuvieran llenos. De igual modo, resulta importante evitar que entre en contacto con los ojos, piel o vestimenta. No se debe ingerir.

Es importante mantener el KOH alejado de ácidos, para evitar posibles reacciones violentas.

Asimismo, si el producto es añadido muy rápidamente, o sin agitar, y se concentra en el fondo del envase de mezclado, se puede generar un exceso de calor que resulta en peligro de ebullición y salpicaduras, y una posible erupción inmediata y violenta de solución altamente cáustica.

Después de toda manipulación, debe haber un aseo a fondo, pues la exposición puede causar quemaduras que no son visibles ni dolorosas inmediatamente. Instrucciones de mezclado y manipulación

- Cuando el producto es mezclado con agua se genera un calor considerable, por ello resulta importante seguir los siguientes pasos cuando se hagan soluciones:
- Usar siempre la ropa y gafas de protección.
- Nunca añadir agua al producto. Siempre añadir el producto, con agitación constante, lentamente a la superficie de agua tibia, para asegurar que el producto se disuelve completamente mientras se añade.
- El producto puede reaccionar explosivamente con ácidos, aldehídos y muchos otros Compuestos orgánicos, por eso añadirlo muy gradualmente mientras se agita constantemente.
- Siempre vaciar y limpiar los recipientes de todos los residuos de cualquier sustancia antes de poner ahí el KOH, para evitar posibles reacciones violentas entre este producto y los residuos desconocidos.
- Evitar el contacto con aluminio, lata, zinc y aleaciones de estos metales; asimismo, evitarlo también con cuero, lana, ácidos, compuestos orgánicos halogenados y compuestos orgánicos nitrogenados.

## **ALMACENAMIENTO**

- Mantener los contenedores bien cerrados y rotulados apropiadamente.
- Mantener los recipientes cerrados excepto cuando se transfiere material.
- Almacenar en una zona fresca y ventilada lejos de materiales incompatibles (ver sección anterior).

## **TRANSPORTE Y EMPAQUE**

### **TRANSPORTE TERRESTRE:**

**MARCAJE:** UN1813

Hidróxido de potasio, sólido

### **TRANSPORTE AÉREO:**

**CÓDIGO ICAO/IATA:** 1813 Clase: 8 (9.2)

## **RIESGOS**

### **RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN:**

El hidróxido de potasio no es combustible ni inflamable. Sin embargo, el contacto directo con agua o ácidos fuertes puede causar una reacción exotérmica violenta.

### **RIESGOS A LA SALUD:**

- Rutas de ingreso: Inhalación e ingestión.
- Órganos que pueden ser afectados: Ojos, piel, tracto respiratorio, tracto gastrointestinal.
- Irritabilidad: Líquidos, vapores o polvo pueden ser irritantes para los ojos, piel y tracto respiratorio.
- Carcinogenicidad: Ninguna conocida.

### **EXPOSICIÓN DE CORTO PLAZO (AGUDA):**

- **INHALACIÓN:** La exposición al vapor, polvo o líquido puede producir quemaduras del tracto respiratorio. Exposiciones severas pueden resultar en neumonía química.
- **CONTACTO CON OJOS:** El contacto puede causar daño severo, incluyendo quemaduras y ceguera. La severidad de los efectos depende de la concentración y de la rapidez con que se lavan los ojos después de la exposición.
- **CONTACTO CON LA PIEL:** Es corrosivo. El contacto puede causar quemaduras y destrucción de tejidos. La irritación puede ocurrir luego de

un periodo inicial de latencia (retraso entre el momento de la exposición y el momento en que se inicia la irritación). Este periodo de latencia puede variar entre muchas horas para una solución diluida (0.04%) y minutos para soluciones más concentradas (25-50%). El contacto prolongado o repetitivo, incluso en concentraciones diluidas, puede causar un alto grado de destrucción de tejidos.

- **INGESTIÓN:** Corrosivo. Causa quemaduras severas y perforación total del tejido de membranas mucosas de la boca, garganta y estómago.
- **EXPOSICIÓN REPETIDA (CRÓNICA):** No hay efectos crónicos conocidos.

## **ACCIONES DE EMERGENCIA**

### **PRIMEROS AUXILIOS:**

- **INHALACIÓN:** Mover a la víctima a un área bien ventilada y con aire fresco. Si la respiración es dificultosa, conseguir una persona entrenada para que administre oxígeno. Si la respiración cesa, administrar respiración artificial. Buscar atención médica inmediatamente.
- **OJOS:** Inmediatamente enjuagarlos con una corriente de agua directa durante al menos 15 minutos, abriendo los párpados con los dedos para asegurar una irrigación completa de todo el ojo y el tejido de los párpados. El lavado dentro de los primeros segundos es esencial para lograr una máxima efectividad. Buscar atención médica inmediatamente.
- **PIEL:** Enjuagar exhaustivamente con agua fresca bajo una ducha y quitar la ropa y calzado contaminados. Desechar el calzado que no sea de caucho. Lavar la ropa antes de volver a usarla. Buscar atención médica lo más pronto posible.



- **INGESTIÓN:** Nunca suministrar algo vía oral a una persona inconsciente. No inducir al vómito. Dar grandes cantidades de agua (de ser posible, múltiples vasos de leche). Si el vómito ocurre espontáneamente, mantener las vías respiratorias limpias y dar más agua. Buscar atención médica inmediata.

En todos los casos de exposición, el paciente debe ser transportado al hospital tan pronto como sea posible.

### **CONTROL DE FUEGO:**

El KOH no es inflamable ni combustible. Sin embargo, en caso de que haya fuego en las cercanías de su lugar de almacenamiento tomar las siguientes medidas:

- Mantener frescos los recipientes expuestos al fuego mediante aplicación de agua en forma de neblina.
- Usar agua para refrescar los contenedores pero evitar que el agua entre en contacto con el hidróxido.
- Utilizar equipo de respiración auto contenido y de presión positiva y ropa protectora completa.

### **FUGAS Y DERRAMES**

- Evacuar al personal innecesario.
- Contener el material y prevenir la acumulación de polvo.
- Precaución importante: este producto puede reaccionar fuertemente con ácidos y agua.

### **NUNCA VERTER AL DESAGÜE.**

• Métodos de limpieza: el material seco puede ser levantado con una pala. El material líquido puede ser removido con un tren de vacío. Neutralizar trazas remanentes con cualquier ácido inorgánico diluido (clorhídrico, sulfúrico o acético). Enjuagar el área del derrame con agua y luego poner una cubierta de carbonato de sodio. Todo el material de limpieza debe ser removido para un

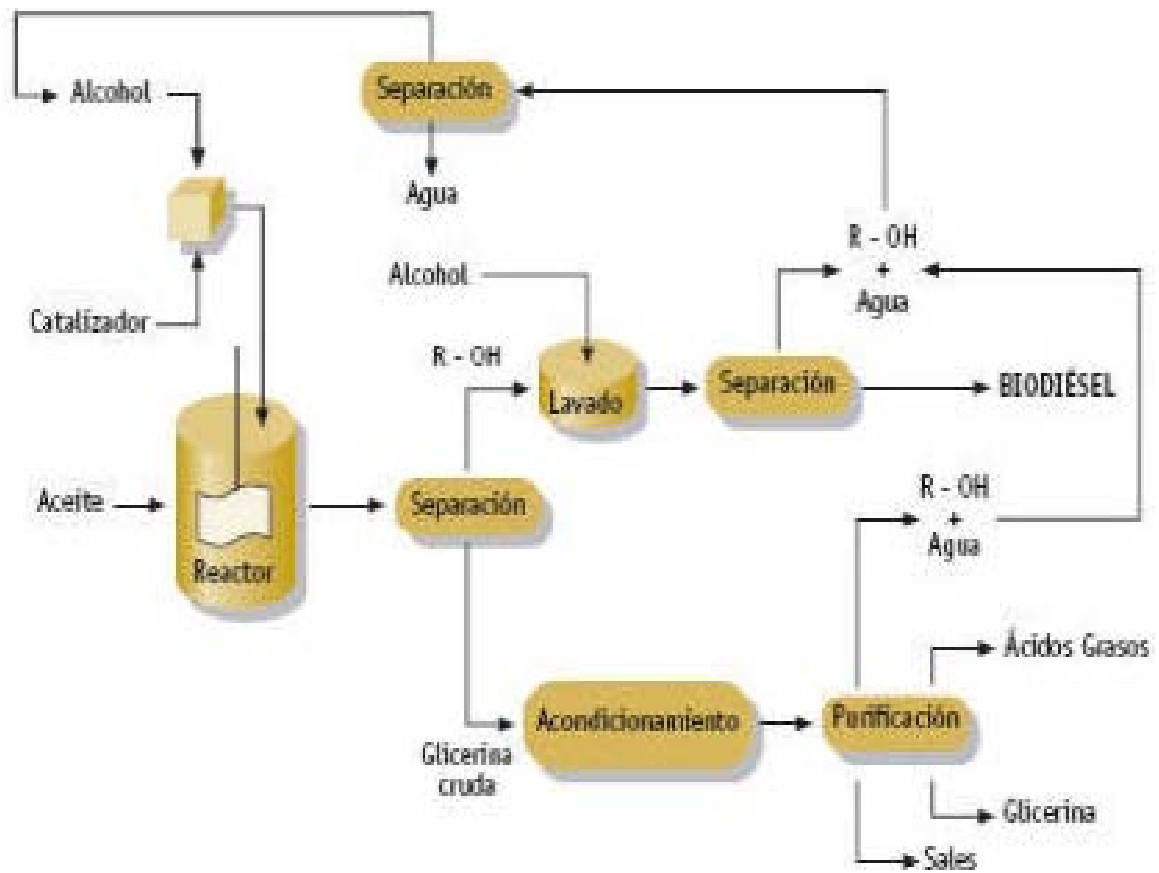
tratamiento adecuado o disposición final. Derrames en superficies no pavimentadas (por ejemplo, tierra o arena) pueden ser manejados mediante la remoción del suelo afectado y su disposición en contenedores apropiados.

## **ANEXO 4.1**

### **TRANSTERIFICACIÓN PROCESO DISCONTÍNUO**

Es el método más simple para la producción de biodiésel donde se han reportado ratios 4:1 (alcohol:triglicérido). Se trata de reactores con agitación, donde el reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo. Las condiciones de operación más habituales son a temperaturas de 65°C, aunque rangos de temperaturas desde 25°C a 85°C también han sido publicadas. El catalizador más común es el NaOH, aunque también se utiliza el KOH, en rangos del 0,3% al 1,5% (dependiendo que el catalizador utilizado sea KOH o NaOH). Es necesaria una agitación rápida para una correcta mezcla en el reactor del aceite, el catalizador y el alcohol. Hacia el fin de la reacción, la agitación debe ser menor para permitir al glicerol separarse de la fase éster. Se han publicado en la bibliografía resultados entre el 85% y el 94%.

En la transesterificación, cuando se utilizan catalizadores ácidos se requiere temperaturas elevadas y tiempos largos de reacción. Algunas plantas en operación utilizan reacciones en dos etapas, con la eliminación del glicerol entre ellas, para aumentar el rendimiento final hasta porcentajes superiores al 95%. Temperaturas mayores y ratios superiores de alcohol: aceite pueden asimismo aumentar el rendimiento de la reacción. El tiempo de reacción suele ser entre 20 minutos y una hora. En el gráfico 1 se reproduce un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación en discontinuo.



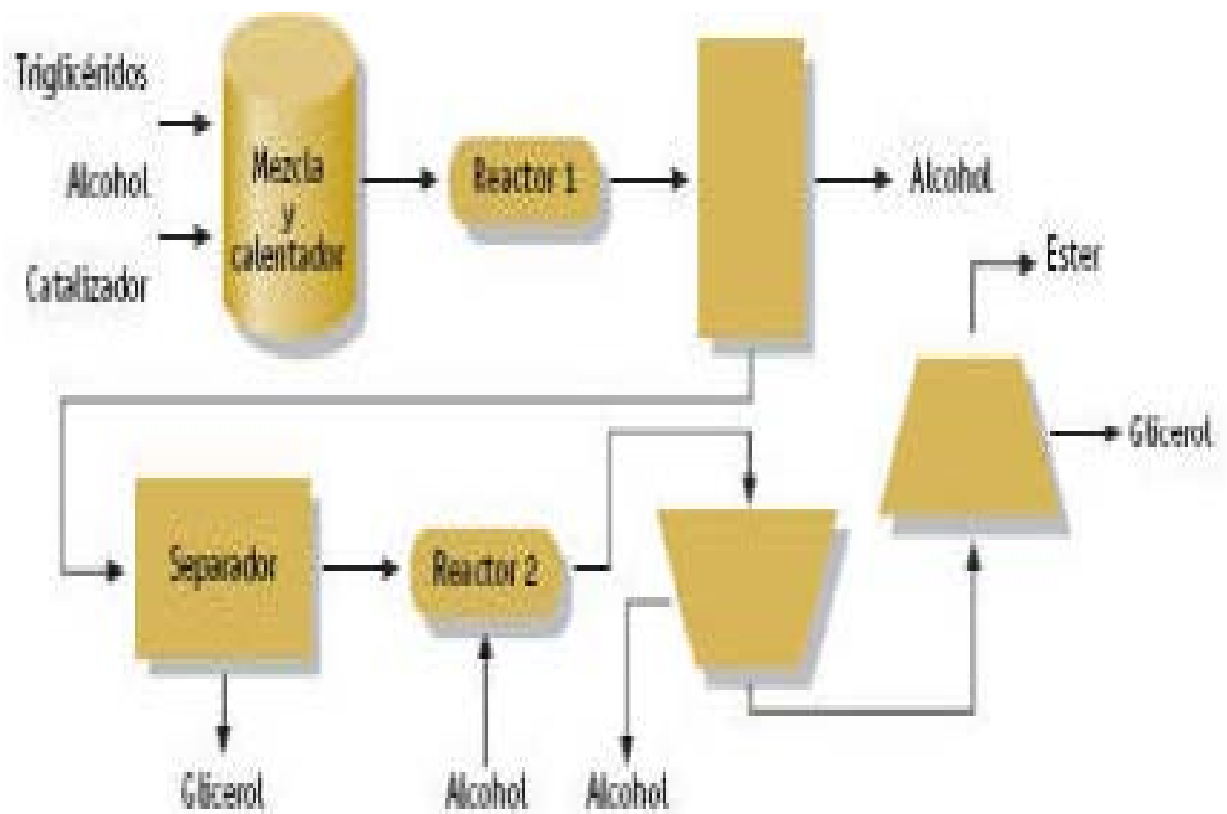
**FIGURA ANEXO 4.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN DISCONTINUO**

## **ANEXO 4.2**

### **TRANSTERIFICACION EN PROCESO DISCONTÍNUO CON UTILIZACION DE REACTORES**

Una variación del proceso discontinuo es la utilización de reactores continuos del tipo tanque agitado, los llamados CSTR del inglés, Continuous Stirred Tank Reactor. Este tipo de reactores puede ser variado en volumen para permitir mayores tiempos de residencia y lograr aumentar los resultados de la reacción. Así, tras la decantación de glicerol en el decantador la reacción en un segundo CSTR es mucho más rápida, con un porcentaje del 98% de producto de reacción. Un elemento esencial en el diseño de los reactores CSTR es asegurarse que la mezcla se realiza convenientemente para que la composición en el reactor sea prácticamente constante. Esto tiene el efecto de aumentar la dispersión del glicerol en la fase éster. El resultado es que el tiempo requerido para la separación de fases se incrementa. Existen diversos procesos que utilizan la mezcla intensa para favorecer la reacción de esterificación. El reactor que se utiliza en este caso es de tipo tubular. La mezcla de reacción se mueve longitudinalmente por este tipo de reactores, con poca mezcla en la dirección axial. Este tipo de reactor de flujo pistón, Plug Flow Reactor (PFR), se comporta como si fueran pequeños reactores CSTR en serie. El resultado es un sistema en continuo que requiere tiempos de residencia menores (del orden de 6 a 10 minutos) –con el consiguiente ahorro, al ser los reactores menores para la realización de la reacción. Este tipo de reactor puede operar a elevada temperatura y presión para aumentar el porcentaje de conversión. En este proceso, se introducen los triglicéridos con el alcohol y el catalizador y se somete a diferentes operaciones (se utilizan dos reactores) para dar lugar al éster y la glicerina. Dentro de la catálisis heterogénea los catalizadores básicos se desactivan fácilmente por la presencia de ácidos grasos libres (FFA) y de agua que favorece la formación de los mismos. Para tratar alimentaciones con cierto grado de acidez, se prefiere la esterificación de los ácidos grasos libres con superácidos que a su vez presenten una elevada velocidad de reacción de transesterificación, lo que

implica que se requiera de dos reactores con una fase intermedia de eliminación de agua. De este modo, alimentaciones con hasta un 30% en FFA se pueden esterificar con metanol, reduciendo la presencia de FFA por debajo del 1%. Esta etapa previa de esterificación se puede llevar a cabo con alcoholes superiores o glicerina que resulta atractiva en la producción de biodiésel puesto que es un subproducto del proceso.



**FIGURA ANEXO 4.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN MEDIANTE REACTORES DE FLUJO PISTÓN**

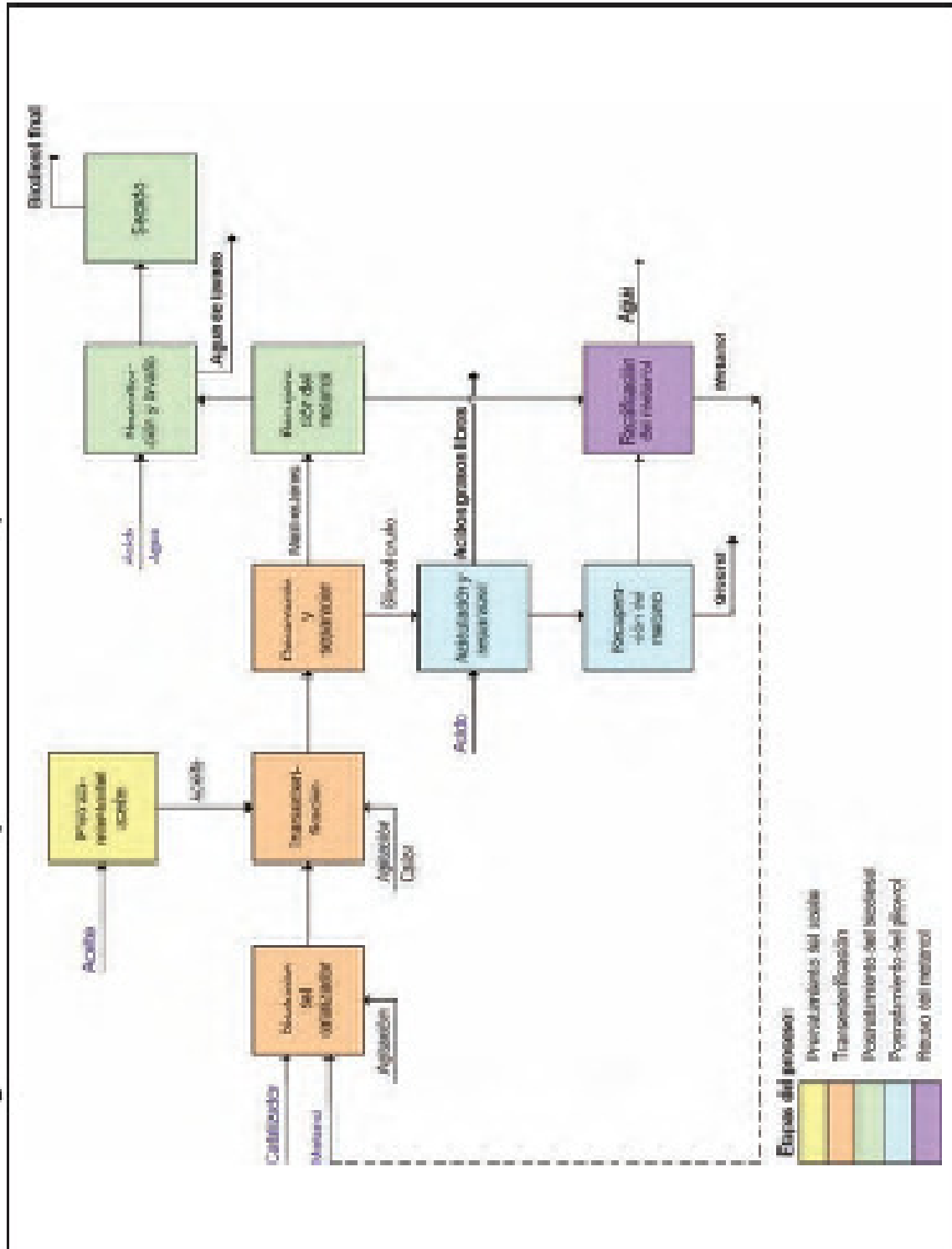
## ANEXO 5

Sustancia	Fase	$c_p$ (másico) $\text{kJ Kg}^{-1}$ $\text{K}^{-1}$	$c_p$ (molar) $\text{kJ mol}^{-1}$ $\text{K}^{-1}$	$c_v$ (molar) $\text{kJ mol}^{-1}$ $\text{K}^{-1}$	Capacidad calorífica volumétrica $\text{J cm}^{-3} \text{K}^{-1}$
<a href="#">Gas monoatómico</a> (Ideal)	gas		$\frac{5}{2}R = 20,8$	$\frac{3}{2}R = 12,5$	
<a href="#">Helio</a>	gas	5,1932	20,8	12,5	
<a href="#">Argón</a>	gas	0,5203	20,8	12,5	
Gas diatómico (Ideal)	gas		$\frac{7}{2}R = 29,1$	$\frac{5}{2}R = 20,8$	
<a href="#">Hidrógeno</a>	gas	<b>14,30</b>	28,82	20,4	
<a href="#">Nitrógeno</a>	gas	1,040	29,12	20,8	
<a href="#">Oxígeno</a>	gas	0,918	29,4	21,1	
Aire (en condiciones típicas de habitación <sup>[3]</sup> )	gas	1,012	29,19		
<a href="#">Aluminio</a>	sólido	0,897	24,2		2,422
Amoniaco	líquido	4,700	80,08		3,263
<a href="#">Antimonio</a>	sólido	0,207	25,2		1,386
<a href="#">Arsénico</a>	sólido	0,328	24,6		1,878
<a href="#">Berilio</a>	sólido	1,82	16,4		3,367
<a href="#">Cobre</a>	sólido	0,385	24,47		3,45
<a href="#">Diamante</a>	sólido	0,5091	<b>6,115</b>		1,782
<a href="#">Etanol</a>	líquido	2,44	112		1,925
<a href="#">Gasolina</a>	líquido	2,22	228		
<a href="#">Agua</a>	gas (100 °C)	2,080	37,47	28,03	
<a href="#">Agua</a>	líquido (25 °C)	4,1813	75,327	74,53	<b>4,184</b>
<a href="#">Agua</a>	sólido (0 °C)	2,114	38,09		1,938

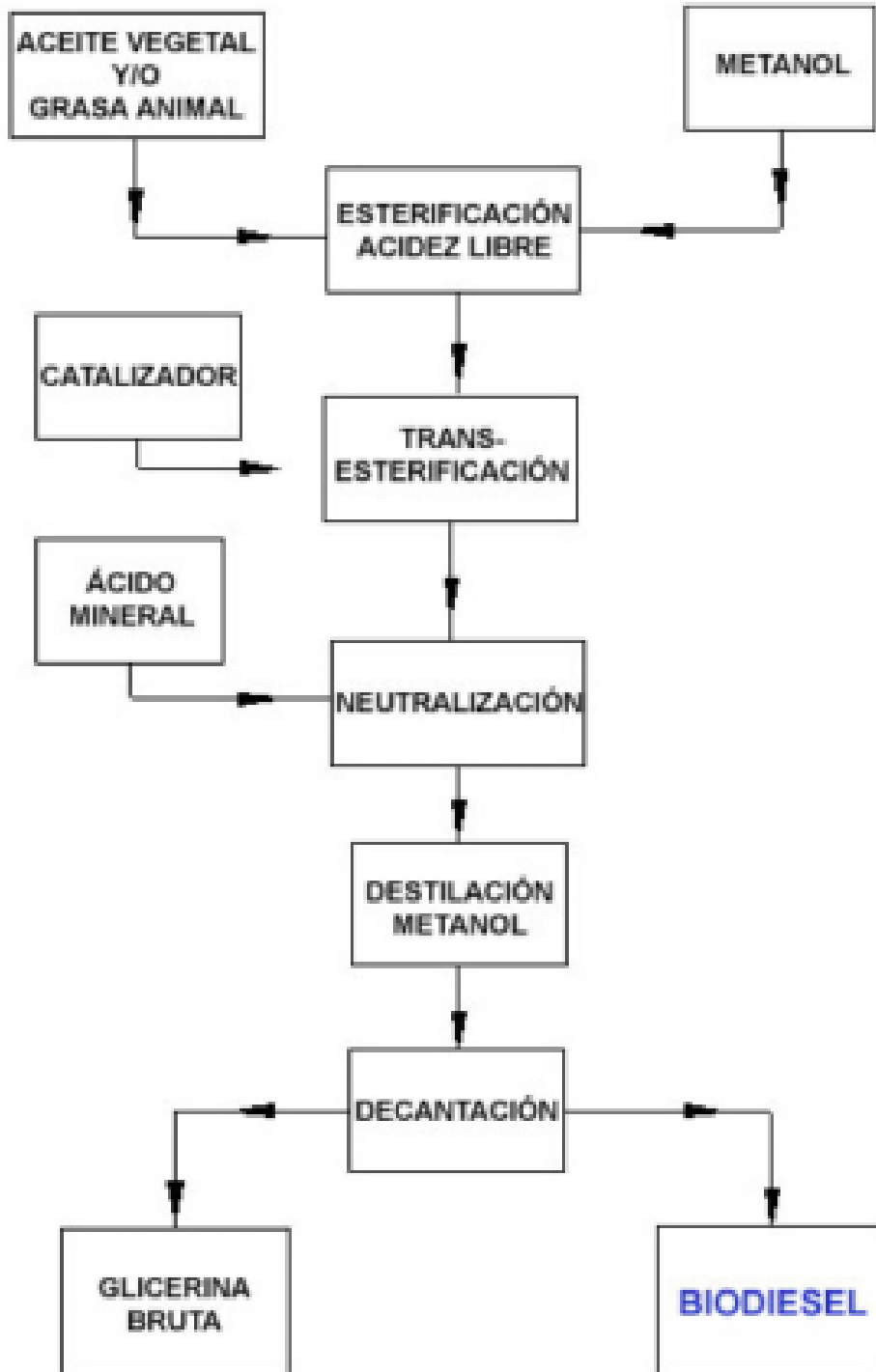
**Todas las medidas son a 25 °C a menos que se indique lo contrario,  
Los mínimos y máximos notables se muestran en negrita.**

**FIG. ANEXO 5 TABLA DE CALORES ESPECÍFICOS DE VARIOS ELEMENTOS**

## ANEXO 6 PROCESO DE TRANSESTEIFICACIÓN ALCALINA



**ANEXO 7**  
**PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN CONVENCIONAL**





## ANEXO 8

### CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN

Para verificar que la transesterificación se haya realizado con éxito, se deben controlar dos puntos:

- Se debe observar una separación de fases marcada de biodiesel y glicerina. Si no hay separación, entonces no ha habido reacción.

En este caso se debe evaluar cuál es el motivo de este problema.

- Observar que la prueba de lavado del biodiésel sea exitosa.

La prueba de lavado consiste en tomar una pequeña muestra de biodiésel (100 a 200 ml), ponerla en una botella limpia de vidrio o plástico, agregar aproximadamente la misma cantidad de agua, agitar por 10 a 15 segundos hasta que el agua y el biodiésel se mezclen completamente, y dejar reposar por algunos segundos. Si se da una separación rápida de ambos líquidos (30 minutos aproximadamente), significa que el biodiésel es de buena calidad.

Si se separan, pero entre ambas fases hay una capa de espuma o jabón, se puede continuar con el lavado de todo el lote añadiendo ácido fosfórico al agua para facilitar la separación, y se debe procurar mejorar el proceso de transesterificación. Si el agua y el biodiésel no se separan adecuadamente, sino que permanecen mezclados formando una emulsión lechosa, quiere decir que el proceso de transesterificación no ha sido completo.

### POSTRATAMIENTO DEL BIODIÉSEL (LAVADO, SECADO Y FILTRADO)

Se realizarán tres lavados durante los tres días posteriores a la transesterificación. La metodología para cada lavado es la siguiente:

- Agregar 25 litros de agua al tanque de lavado al que previamente se ha transferido el biodiesel.

- Soltar la piedra aireadora hasta el fondo del tanque de lavado y conectar la bomba de aire con las mangueras destinadas a tal fin.
- Prender la bomba de aire y dejar funcionar por lo menos durante 6 horas.
- A última hora de la tarde o a primera hora del día siguiente desconectar la bomba de aire.
- Dejar reposar por varias horas hasta que el agua se asiente al fondo.
- Drenar el agua sucia por la válvula y desechar.
- Cuando se haya drenado toda el agua de lavado, volver a echar otros 25 litros de agua al tanque y conectar de nuevo la bomba de aire. En la tarde volver a desconectar.
- Al siguiente día drenar el agua, volver a echar 25 litros de agua limpia y conectar la bomba de aire. En la tarde volver a desconectar.
- Cuando se separa el agua de lavado, en algún momento empezará a salir una mezcla de biodiésel con agua, posiblemente en forma de emulsión (color blanco a amarillo lechoso). Colectar esta emulsión en un balde o recipiente aparte y dejar reposar por 2 a 3 días. Lentamente, se separará una capa de biodiésel en la parte superior.
- Recuperar este biodiésel y mezclarlo con el que se esté lavando
- Desechar el agua con el jabón restante.

## SECADO

El secado se realizará una vez se hayan terminado los tres lavados y se haya dejado tiempo suficiente (mínimo 6 a 8 horas) para que el agua y el biodiésel se separen completamente. En este momento se transferirá el biodiésel al tanque usado para el secado por medio de una manguera conectada a la válvula de salida

- Primero verificar que salga biodiésel y no agua, y que el biodiésel esté relativamente transparente, no mezclado con agua.
- Si esto no es así, puede deberse a dos causas:
  - ✓ Demasiada agua en el tanque y por lo tanto aún estamos drenando la capa de agua en lugar de drenar la capa de biodiésel. En este caso, utilizando la válvula de salida, drenar un poco de agua de lavado (aprox. 5 litros) y descartar.
  - ✓ Una capa de emulsión, es decir mezcla de biodiésel con agua, que se produce por la presencia de impurezas. Esta emulsión (líquido de color lechoso, amarillento o blancuzco) se debe separar del biodiésel limpio. En este caso, drenar la emulsión en un balde por la válvula de purga, hasta que empiece a salir biodiésel limpio y dejar reposar durante unos días para que el biodiésel se vaya separando en la parte de arriba. Este biodiésel se recupera y el resto se puede descartar.
- Una vez que se tenga buen biodiésel saliendo por la válvula de salida, entonces habrá concluido el proceso.
- Después de realizar el lavado, se prende la resistencia eléctrica y se calienta el biodiésel manteniendo una temperatura constante de 90 °C, evitando llegar a temperaturas mayores a 100 °C pues el biodiésel se degrada y acidifica. Mientras se va calentando, hay que purgar poco a poco el secador abriendo la válvula para eliminar el agua que se vaya acumulando en la base, con esta operación se ahorra tiempo y energía.

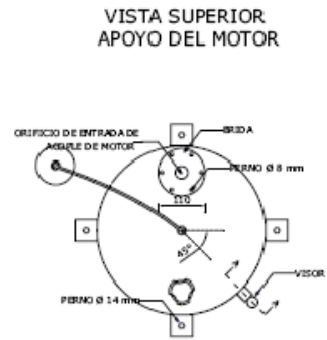
- El biodiésel estará totalmente seco cuando:
  - ✓ No se vea formación de burbujas ni se oigan crujidos del agua hirviendo.
  - ✓ El líquido esté totalmente translúcido (y se pueda ver el fondo). Si está un poco turbio, es que aún tiene agua o jabón.

## **FILTRADO**

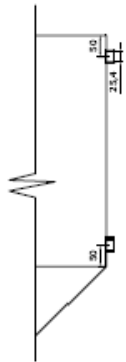
- Luego del secado, el biodiésel se filtra para evitar todo tipo de impurezas.
- Asegurarse de que el biodiésel no esté demasiado caliente antes del filtrado (la temperatura no debe superar los 50 °C).
- Se abren todas las válvulas y se filtra el biodiésel utilizando una bomba una vez filtrado está listo para ser utilizado puro o mezclado con diésel de petróleo.

## ANEXO 9

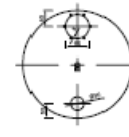
### PLANOS ALTERNATIVOS DE UN REACTOR DE TRANSESTERIFICACIÓN NO INDUSTRIAL



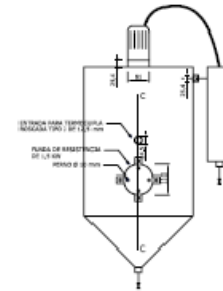
CORTE AA



VISTA SUPERIOR  
TAPA DEL CILINDRO

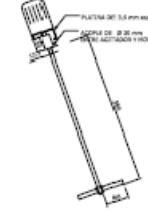


VISTA POSTERIOR



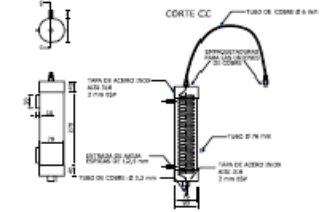
Esc: 1 / 15

AGITADOR



Esc: 1 / 15

CONDENSADOR DE METANOL



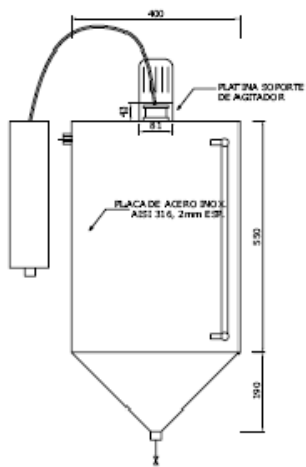
Esc: 1 / 15

TAPA

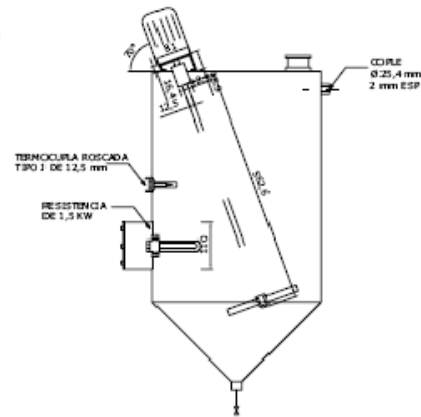


Esc: 1 / 5

VISTA FRONTAL



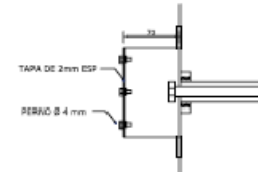
VISTA EN CORTE



RESISTENCIA

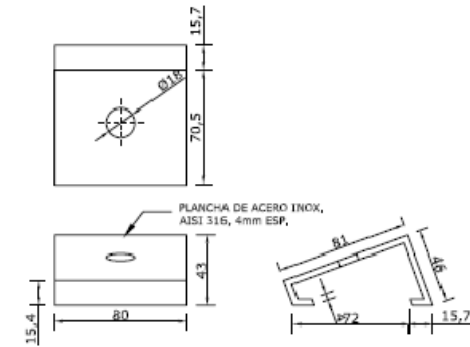


INSTALACION DE RESISTENCIA



Esc: 1 / 5

SOPORTE DE AGITADOR



Esc: 1 / 2.5

## ANEXO 10

### SISTEMAS MECÁNICOS DEL REACTOR

➤ **Lista de los Sistemas Mecánicos del Reactor:**

- Tanque Depósito Acero AISI 304, fondo y tapa combada
- Volumen total de almacenamiento del tanque: 50 litros
- Volumen de producción: 30 litros
- Tubo visor de vidrio con 5/8 pulg, Long: 50cm con valvula triple que permite, visualización de muestra, drenaje y mantenimiento de nivel.
- Abrazadera de acero AISI 304, cierra la tapa herméticamente
- Tubo curvo para entrada lateral de reactivos.
- Termómetro de Carátula 3 pulg. T max 300°C
- Manómetro de carátula 2 ½ pulg., P max 60Psig.
- Válvula de Seguridad de Acero Inoxidable
- Agitador, Potencia: 1/15 HP, 110V, 2ª
- Condensador, recuperador de componentes con entrada y salida de agua ½ pulg. NPT, unido al tanque por una manguera aislada por caucho para evitar la condensación en el camino del metanol al reactor.



## BIBLIOGRAFIA

1. GERHARD KNOTHE, JON VAN GERPEN, JÜRGEN KRAHL, The Biodiesel Handbook, AOCS PRESS Champaign, Illinois.
2. FEDERICO DELAGDO, aceite de higuera. <http://www.higueroil.com>.22 de febrero del 2010
3. LEONARDO QUIÑONES CANTOR, OSCAR MATEUS PRIETO, Dimensionamiento y montaje de un reactor piloto para la obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales gastados, 2003.
4. Perry, R. H., D. W. Green. "Perry's Chem. Eng. Handbook", McGraw Hill (1999).
5. J. VAN GERPEN, B. SHANKS, AND R. PRUSZKO, Biodiesel Production Technology, Iowa State University, 2004.
6. BENAVIDES ALIRIO, BENJUMEA PEDRO, PASHOVA VESELINA, El biodiesel de aceite de Higuera como combustible alternativo para motores diesel, 2007.
7. MC MURRY J., Química orgánica. International Thomson editores, México, 2001.
8. CASTRO PAULA, COELLO JAVIER, CASTILLO LILIANA, Opciones para la producción y uso del biodiesel en el Perú, 2007.
9. Acosta Fernando, Castro Paula, Cortijo Elsa, Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiesel a pequeña escala, 2008.
10. BALLESTEROS MERCEDES, Módulo V: Energía de la Biomasa (II): BIOCARBURANTES, Gestión de las energías renovables: Perspectivas de futuro, 6ª edición, 2008.