



**UNIVERSIDAD LIBRE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**  
**PROYECTO DE GRADO**



**AUTOR DEL PROYECTO:** Dávila Barrera Juan David  
**CÓDIGO:** 065101053  
**CEDULA:** 1118555927  
**TELÉFONO:** 3142891441  
**CORREO ELECTRÓNICO:** juand.davilab@unilibrebog.edu.co



**AUTOR DEL PROYECTO:** Cortés López Chrystian Camilo  
**CÓDIGO:** 065072034  
**CEDULA:** 1022324258  
**TELÉFONO:** 3106198873  
**CORREO ELECTRÓNICO:** chrystianc.cortesl@unilibrebog.edu.co



## OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE FRITURA

**DIRECTOR:** Márquez Lasso Ismael  
**PROFESIÓN:** Ingeniero Mecánico  
**CORREO ELECTRÓNICO:** Ismael.marquezl@unilibrebog.edu.co  
**TEMA DE ÁREA DE INVESTIGACIÓN:** Energías alternativas

---

Cortés López Chrystian Camilo

---

Davila Barrera Juan David

---

Márquez Lasso Ismael

# OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE FRITURA

JUAN DAVID DÁVILA BARRERA  
CHRYSYTIAN CAMILO CORTÉS LÓPEZ

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ENERGÍAS RENOVABLES  
BOGOTÁ, COLOMBIA

2017

2

# OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE FRITURA

JUAN DAVID DÁVILA BARRERA  
CHRYSYTIAN CAMILO CORTÉS LÓPEZ

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniería Mecánica

Director:

Ing. Ismael Márquez Lasso

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ENERGÍAS RENOVABLES  
BOGOTÁ, COLOMBIA

2017

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros padres por el apoyo incondicional que nos han brindado para poder culminar con esta etapa de nuestras vidas, por haber formado personas de bien e inculcarnos valores éticos que contribuirán para nuestro buen desempeño en el ámbito laboral como ingenieros mecánicos y ante la sociedad.

A nuestro director Ing. Ismael Márquez Lasso, por la dedicación y ayuda en cada una de las etapas de este proyecto, por brindarnos las asesorías pertinentes, por su paciencia y comprensión, así mismo al ingeniero Gabriel de Jesús Camargo Vargas por aquellas asesorías brindadas y a aquellos docentes que de una manera u otra contribuyeron con la finalización del proyecto.

Por último, agradecer a la Universidad Libre de Colombia y a la Facultad de Ingeniería Mecánica por la formación que nos brindaron tanto personal como profesional para llegar a ser ingenieros mecánicos contribuyentes al desarrollo de la sociedad.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	10
1.1 ANTECEDENTES .....	10
1.2 DESCRIPCIÓN .....	12
1.3 FORMULACIÓN .....	15
2. JUSTIFICACIÓN .....	16
3. OBJETIVOS .....	17
3.1 GENERAL .....	17
3.2 ESPECÍFICOS.....	17
4. MARCO REFERENCIAL.....	18
4.1 MARCO TEÓRICO.....	18
4.1.1 Biocombustible. ....	18
4.1.2 Tipos De Biocombustibles .....	18
4.1.2.1 Bioetanol. ....	18
4.1.3 Clases de aceites .....	19
4.1.4 Proceso para Obtención de Biodiesel.....	20
4.1.4 Características de los Aceites Vegetales. ....	21
Fuente: Autores del proyecto. ....	22
4.1.5 Ventajas y Desventajas del Biocombustible .....	22
4.1.7 Diferencias entre Biodiesel y Diésel.....	23
4.1.8 Transesterificación .....	24
4.1.9 Tipos de Reactores Biodiesel para realizar la Transesterificación.....	25
4.2 MARCO CONCEPTUAL.....	25
4.3 ESTADO DEL ARTE .....	26
4.3.1 Generación de Biodiesel .....	26
4.3.2 Materias Primas.....	27
4.4 MARCO LEGAL Y NORMATIVO .....	30
4.4.1 Constitución de Colombia 1991 .....	30
4.4.1.1 Artículo 8. ....	30

4.4.3 Ley 1715 de mayo del 2014 .....	31
4.4.4 Documento Conpes 3510 .....	31
4.4.5 Norma NTC 5444:2006 .....	31
5. DISEÑO METODOLÓGICO.....	32
5.1 DISEÑO DE EXPERIMENTOS .....	32
5.2 METODOLOGÍA .....	35
5.2.1 Obtención del material.....	35
5.2.2 Preparación del Reactor.....	35
5.2.3 Obtención de biodiesel .....	36
5.2.4 Decantación biodiesel obtenido.....	37
5.2.5 Caracterización Físico Química de las Pruebas. ....	38
5.2.6 Prueba de Poder Calorífico. ....	38
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	40
6.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS.....	40
6.2 ANÁLISIS PODER CALORÍFICO .....	43
6.3 ANÁLISIS ANOVA.....	51
7.1 CONCLUSIONES.....	54
7.2 RECOMENDACIONES.....	55
8. BLIOGRAFÍA.....	56

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades físicas de aceites vegetales.....	22
Tabla 2. Número de repeticiones según su confiabilidad .....	34
Tabla 3. Número de pruebas a realizar .....	37
Tabla 4. Resultados pruebas caracterización biodiesel prueba 1.....	40
Tabla 5. Resultados pruebas caracterización biodiesel prueba 2.....	41
Tabla 6. Resultados pruebas de caracterización biodiesel prueba 3. ....	41
Tabla 7. Resultados pruebas de caracterización biodiesel prueba 4. ....	42
Tabla 8. Resultados pruebas de caracterización biodiesel prueba 5. ....	42
Tabla 9. Resultados pruebas de caracterización biodiesel prueba 6. ....	43
Tabla 10. Datos prueba 1 poder calorífico. ....	45
Tabla 11. Datos prueba 2 poder calorífico. ....	46
Tabla 12. Datos prueba 3 poder calorífico. ....	47
Tabla 13. Datos prueba 4 poder calorífico. ....	48
Tabla 14. Datos prueba 5 poder calorífico. ....	49
Tabla 15. Datos prueba 6 poder calorífico. ....	50
Tabla 16. Análisis de varianza de un factor .....	51

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Producción y venta de biodiesel en Colombia en el 2016 .....	14
Ilustración 2. Precios de Biodiesel, Mezcla y Diesel. ....	15
Ilustración 3. Esquema general del proceso de para la obtención de Biodiesel.....	21
Ilustración 4. reacción de transesterificación de un triacilglicérido con alcohol .....	24
Ilustración 5. Reactor biodiesel.....	36
Ilustración 6. Muestras en decantación.....	37
Ilustración 7. Muestras en decantación una semana después.....	38
Ilustración 8. Bomba Calorimétrica.....	39
Ilustración 9. Poder calorífico prueba 1.....	45
Ilustración 10. Poder calorífico prueba 2.....	46
Ilustración 11. Poder calorífico prueba 3.....	47
Ilustración 12. Poder calorífico prueba 4.....	48
Ilustración 13. Poder calorífico prueba 5.....	49
Ilustración 14. Poder calorífico prueba 6. ....	50
Ilustración 15. Comparación poder calorífico del biodiesel obtenido vs Gnv y Gasolina ...	52
Ilustración 16. Comparación poder calorífico biodiesel obtenido vs diésel.....	53

## INTRODUCCIÓN

Para poder obtener biodiesel a partir de aceite de frituras, se utilizó el proceso transesterificación, proceso en el cual se convierten los aceites y grasas en biodiesel, mediante una reacción química que consiste en la mezcla de un triglicérido con un alcohol para formar alquil ésteres y glicerol.

Todo el proceso de obtención de biodiesel se realizó en las instalaciones de la Universidad Libre, utilizando el reactor biodiesel (tipo batch) que se encuentra en el laboratorio de plantas térmicas de la universidad. Se realizó la recolección del aceite como primera medida, después se procedió a realizar una limpieza del aceite mediante el proceso de filtrado para retirar impurezas, después de tener el aceite y los reactivos (metanol y KOH) listos se utilizó el reactor biodiesel tipo batch. Se realizaron 6 pruebas, cada una consistió en realizar un precalentamiento del aceite a 45°C, mientras tanto se realizó la mezcla de los reactivos, posteriormente se realizó la mezcla del aceite con los reactivos a una temperatura entre 50°C y 60°C, al pasar una hora mezclando el aceite y los reactivos se procedió a una decantación del biodiesel, para separar la glicerina que se generó. Se dejaron decantar las muestras durante 1 semana en los decantadores del laboratorio de química de la universidad Libre, posteriormente a la decantación se realizó la caracterización física y química de las muestras obtenidas junto con un análisis de poder calorífico.

Parte del trabajo consistió en la puesta a punto del equipo, realizando como primera medida un análisis del estado operativo del reactor, posteriormente se realizaron los arreglos necesarios para que el reactor funcionara de forma idónea y finalmente se realizó un manual de operación para el reactor biodiesel tipo batch, en el cual se encuentran detalladas cada una de las partes de este junto a su funcionamiento y una recomendación de cómo se debe realizar el proceso de obtención de biodiesel.

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1 ANTECEDENTES

La búsqueda de nuevos combustibles sustitutos de los combustibles de origen fósil, hace que aparezca en escena el biodiesel, como fuente alternativa. Estudios realizados, entre otros por Canakci, M, Sanli ,H en 2008 y referenciados en su trabajo titulado *“biodiesel Production from various feedstocks and their effects on the fuel properties”*. En donde se menciona, que la generación de combustibles de origen natural, no es del todo nueva, porque desde que se creó el motor diésel ya había generación de combustible a partir del aceite de maní en 1900. En esa investigación se menciona que la unión europea y los Estados Unidos son los mayores productores y consumidores de biodiesel, presentando un crecimiento significativo en su utilización. Hoy en día se implementan materias primas, como el aceite de cocina usado, con el cual el costo de obtención del biocombustible disminuye y además el precio comercial de la materia prima es la quinta parte, del costo del combustible fósil. De este estudio se puede afirmar, que el biocombustible presenta mejores características en ciertos aspectos y es posible generarlo a partir de diferentes tipos de materia prima; como el aceite de colza, con el cual el precio, que es uno de los grandes problemas del biodiesel, disminuye; aunque hasta el momento no es muy fácil realizar el proceso de transesterificación, con este tipo de materias primas.[3]

En este orden de ideas, la Universidad de los Andes ha promovido y aportado en el desarrollo de tecnologías de investigación. Para la producción de biocombustibles, a partir de la esterificación de ácidos grasos tales como: la tusa de la palma de aceite o residuos domiciliarios en la producción de etanol, obtención de hidrógeno y combustibles líquidos a partir de digestión anaerobia y pirolisis entre otros, generando respuestas, que abarcan el espectro de fuentes hidroeléctricas,

nucleares, de biomasa, eólicas, geotérmicas, solares. como el panorama es alentador; aunque se debe construir con mucho trabajo, para lograr los resultados esperados, en cuanto a la viabilidad de estas tecnologías, y dar primero solución a estos problemas, tales como; la consecución de catalizadores de buen desempeño, la obtención de condiciones óptimas de reacción y la adquisición de materias primas, que provean viabilidad económica al proceso; para que en un futuro se pueda utilizar la tecnología del ADN recombinante, (para mejorar los rendimientos de procesos actuales a partir de Ingeniería de proteínas y análisis de flux metabólico, y también la obtención de alcoholes ramificados, como alternativa al etanol.).[11]

Como materia prima se está utilizando el aceite de cocina usado, con el cual se busca obtener biodiesel, para diezmar la problemática ambiental, que genera la excesiva utilización de combustibles fósiles, como lo plantea el estudio realizado en 2014 por HAIGH, F. Kathleen; VLADISAVLJEVIC, Goran; et al. Titulado "*kinetics of the pre-treatment of used cooking oil using novozyme 435 for biodiesel production*". En donde trabajan con este aceite y utilizan una enzima, con la cual realizan tres diferentes procesos, para determinar, cuál es el que mejor que se adecua. Para la obtención del biodiesel, se evaluaron tres mecanismos donde se realiza la hidrólisis, la esterificación y la transesterificación, este último proceso es el que mejor se ajusta para la obtención del biocombustible, de acuerdo al aceite de cocina; que fue la materia prima utilizada para este estudio. Como conclusión se determinó, que la enzima utilizada para la reacción, puede funcionar en los tres métodos mencionados anteriormente.[12]

Con referencia a la generación de biocombustibles, se han realizado distintos estudios, en los cuales se hacen comparaciones o análisis, de cómo se puede obtener un mejor rendimiento, o qué tipo de modificaciones deben realizarse en los diferentes sistemas mecánicos al implementar el biocombustible; tales modificaciones se mencionan en el estudio realizado en 2014 por FILIPOVIC, Ivan;

PIKULA, Boran y KEPNIK, Goran titulado *“Impact of physical properties of mixture of diesel and biodiesel fuels on hydrodynamic characteristics of fuel injection system”*, este estudio indica que en un sistema de inyección, se debe evaluar el porcentaje de biodiesel mínimo con el cual se deberían hacer modificaciones al sistema de inyección y de esta manera obtener un rendimiento igual o superior al que se proporciona cuando se utiliza combustible de origen fósil. Gracias a este estudio se pudo concluir, que los sistemas de inyección no van a requerir de cambios significativos, cuando el porcentaje de biodiesel que se mezcla con el diésel está por debajo del veinte por ciento (20%). Por encima de este porcentaje, hay que hacer modificaciones geométricas a los pistones y otros componentes del sistema.[10]

En la búsqueda de solventar distintos problemas con el combustible fósil y la necesidad de obtener nuevas formas de combustible; llevó a realizar estudios como el realizado en 2014 por YAMIK, Hasan. *“An investigation of effect of biodiesel and aviation fuel jet a-1 mixtures performance and emissions on diesel engine.”* Donde se busca obtener un combustible más amigable con el medio ambiente, generando menores cantidades de emisiones y buscando obtener mejores propiedades físicas y químicas. [19]

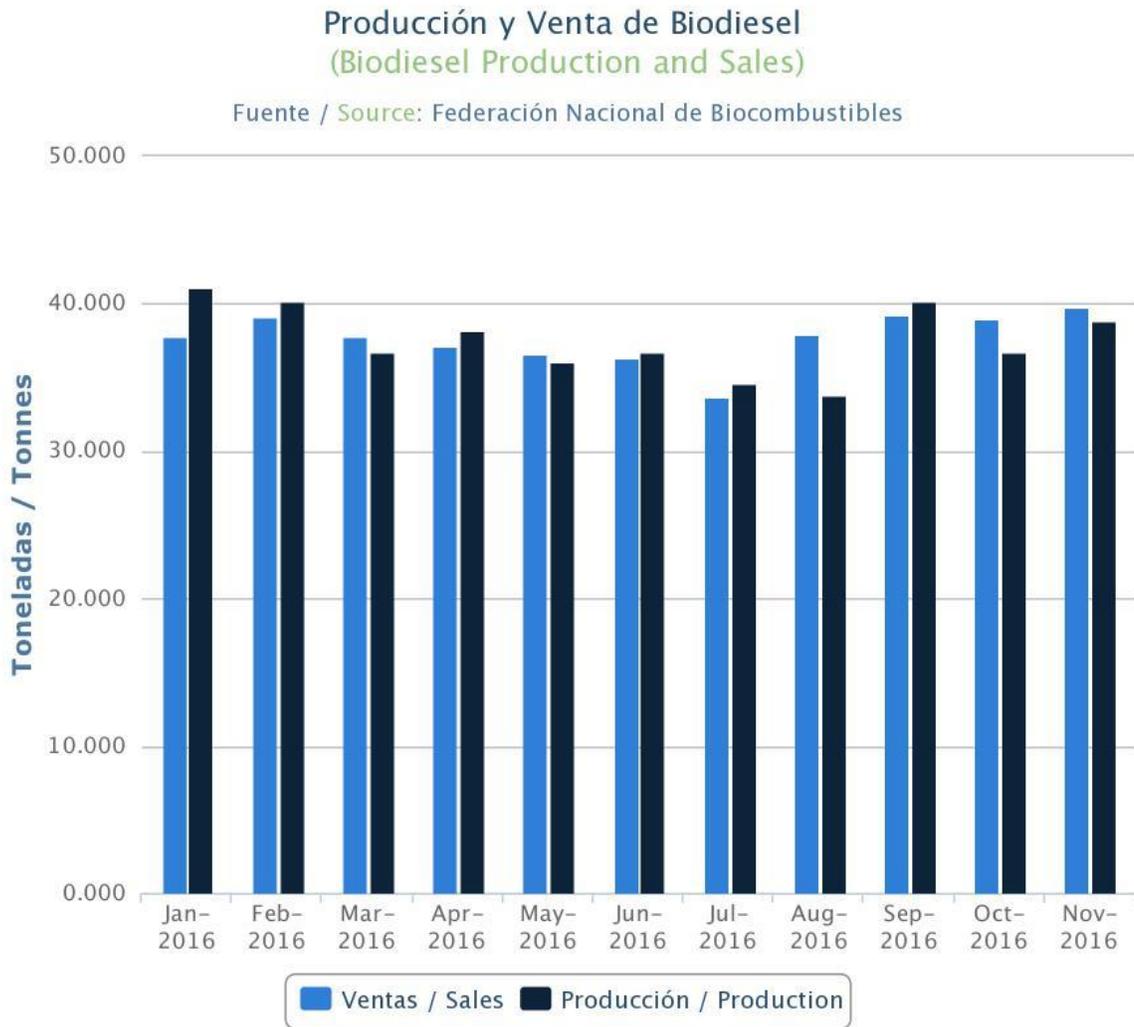
## 1.2 DESCRIPCIÓN

En la actualidad, el mundo necesita disminuir los niveles de contaminación del ambiente, fundamentalmente aquellos, que traen como consecuencia el calentamiento global y el efecto invernadero, problemas que afectan a todos los seres vivos. Colombia es responsable de la emisión de aproximadamente 178,2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, el 44% de estas emisiones provienen de la fabricación y quema de combustibles fósiles.

El aceite de cocina es un producto utilizado en todo el mundo, utilizado por lo general en la preparación de los alimentos, por lo general después de ser utilizado este aceite es desechado por la cañería, lo que genera un impacto ambiental negativo debido a que se desconoce que 1 litro de aceite de cocina usado puede contaminar 1000 litros de agua, observando esta situación se debe fomentar el reciclaje de este aceite y más sabiendo que con 1.1 litros de aceite usado se puede obtener 1 litro de biodiesel.

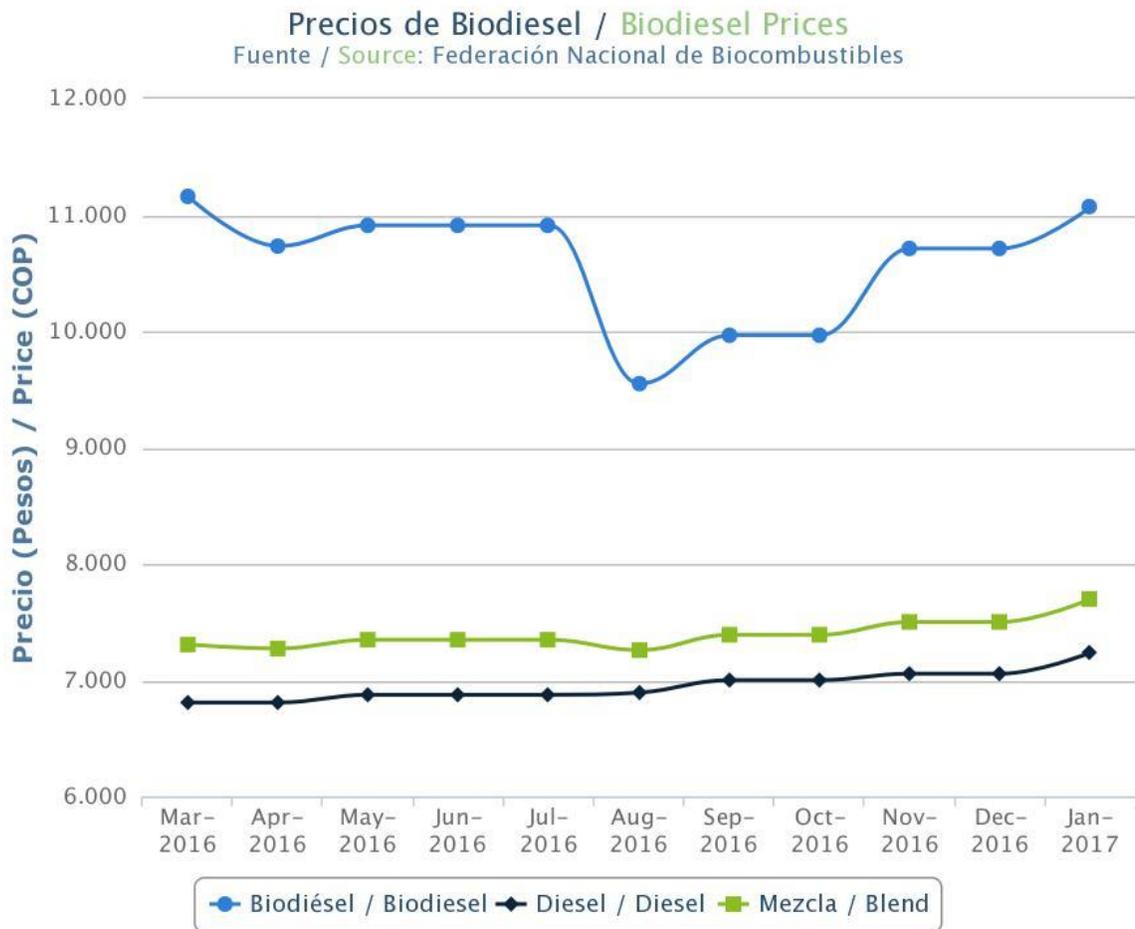
Otro aspecto muy importante es el comportamiento de la oferta y demanda del biodiesel en Colombia como se puede observar en la **ilustración 1**, la cual indica el comportamiento de las ventas y la producción de biodiesel en el año 2016 en Colombia, se puede concluir que con el paso del tiempo las ventas aumentaron hasta acercarse o en algunos casos superar la producción de biodiesel.

**ILUSTRACIÓN 1. PRODUCCIÓN Y VENTA DE BIODIESEL EN COLOMBIA EN EL 2016**



Un aspecto muy importante en los diferentes combustibles y biocombustibles es su costo de producción, se puede observar en la **ilustración 2** que, si se compara el precio del biodiesel con el diésel o con la mezcla de estos dos, se puede concluir que obtener biodiesel resulta más costoso debido al valor elevado de las materias primas con las que se produce y el precio del metanol o etanol.

## ILUSTRACIÓN 2. PRECIOS DE BIODIESEL, MEZCLA Y DIESEL.



### 1.3 FORMULACIÓN

La investigación estuvo enfocada en la búsqueda de un biodiesel que gracias a sus características físicas y químicas pueda ser mezclado con el diésel, de esta manera se busca reducir del daño ambiental que se produce en el proceso de combustión, por lo tanto, se buscó la obtención de un biodiesel a partir de aceite de frituras, se realizará el respectivo análisis físico y químico para poder caracterizarlo, teniendo como resultado los criterios necesarios para aceptar o rechazar este biodiesel.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Cuidar el ambiente es un tema que en los últimos años ha tomado mucha importancia, de ahí que se deben buscar alternativas para disminuir la contaminación. Los combustibles fósiles que son los que más se utilizan en la actualidad, son perjudiciales para el ambiente, además tiene un alto costo de producción. En la búsqueda de nuevas alternativas de generación de energía ha surgido una muy llamativa que es el biodiesel, un biocombustible que contribuye a la disminuir las emisiones CO<sub>2</sub> y puede ser obtenido de diferentes aceites vegetales lo que le permite ser amigable con el ambiente.

Al observar que una de las materias primas que se puede utilizar para la obtención de biodiesel es el aceite de frituras que utilizan en las cocinas de las casas, restaurantes, entre otros y que es un aceite que en muchas ocasiones no se le proporciona un tratamiento adecuado, se decide utilizar este aceite para obtener biodiesel, generando un doble impacto positivo, se está generando un combustible amigable con el ambiente al reducir las emisiones de algunos gases tóxicos para el ambiente (CO, CO<sub>2</sub>) y se contribuye a dar mejor manejo a estos residuos líquidos. Al utilizar esta materia prima se buscan reducir los costos de producción para que pueda ser de mayor acceso a toda la comunidad.

Teniendo en cuenta que actualmente en Colombia hay una producción de 430.000 toneladas de aceite para generar biodiesel y que día a día va a crecer su demanda para poder suplir el 9% que se mezclará en el combustible automotor. Se analiza que el costo de producción del biodiesel pudiese ser menor al reciclar aceite de cocina usado, generando así la oportunidad de crear un negocio de producción de biodiesel.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 GENERAL

Evaluar la producción de Biodiesel a partir de aceite vegetal de frituras en la planta piloto de la Universidad Libre.

#### 3.2 ESPECÍFICOS

- Adecuar y poner a punto del reactor biodiesel de la Universidad Libre.
- Elaborar el manual de funcionamiento del reactor de biodiesel de la universidad libre.
- Determinar de las características físicas y químicas del biodiesel.
- Elaborar tablas comparativas del poder calorífico del biodiesel obtenido frente al gas natural vehicular y a la gasolina.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO TEÓRICO

A continuación, se encontrará aquella información necesaria para entender aquellos aspectos teóricos que fundamentan la investigación que se realizó.

#### 4.1.1 Biocombustible.

Es un combustible de origen biológico renovable, que se origina de restos orgánicos (azúcar, trigo, maíz, oleaginosas). Este combustible reduce el volumen total de CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera, que es mezclado con otros carburantes en un 5 - 10 % reduciendo de manera favorable, la emisión de gases, que dan origen al Efecto Invernadero.

Es considerado un producto novedoso, que comienza a tomar fuerza en el mercado colombiano en pequeñas cantidades, FERNANDEZ, José. , 2010 que poco a poco irá creciendo al tener más apoyo de los entes de control para la generación de biocombustibles y así generando interés de todos los habitantes por contribuir a cuidar el medio ambiente utilizando biocombustibles que tendrán un menor costo.[9]

#### 4.1.2 Tipos De Biocombustibles

##### 4.1.2.1 Bioetanol.

Es alcohol etílico producido a partir de la fermentación de sustancias ricas en azúcar, por ejemplo: caña de azúcar, remolacha, maíz, trigo, cebada, tallos de maíz, paja de cereal, etc. También se denomina: Etanol de Biomasa, ya que es un alcohol que se obtiene de la destilación de azúcares, que provienen de los residuos agrícolas, como las cascarillas de los cereales, frutas y hortalizas.[9]

#### 4.1.2.2 Biodiesel.

Es un éter metílico, que se obtiene de aceites vegetales, como (colza, girasol, palma, soja), y grasas animales. El proceso de obtención se denomina transesterificación, la materia principal es aceite vegetal, y puede obtenerse de diferentes plantas oleaginosas.

Otra de las formas de obtener el biodiesel, es partiendo de las fuentes renovables, como las grasas animales, los aceites de pescado, e incluso aceites de micro algas, pero estas posibilidades, no han sido utilizadas a gran escala, en la industria.

Este tiene algunas maneras de uso, como lo son puro o mezclado, en bajos porcentajes para motores de compresión (Diésel) y calderas de calefacción.

La semilla de Jatropha, (proveniente de centro América), está siendo utilizada como método para lograr biodiesel en nuestro país; su cáscara (afrecho) se puede usar, para potabilizar el agua, o como alimento animal, podemos decir que el peso total de la semilla es un treinta y siete por ciento (37 %) de aceite, por lo que se calcula que 3.000 kg de semillas aportan 1.000 litros de aceite.

Algunos de los países pioneros en el desarrollo de este proceso son España e Italia, que durante el 2008 comercializaron el aceite de jatropha a 400 euros y el litro de aceite se está comercializando a 12 euros en la actualidad.

#### 4.1.3 Clases de aceites

Los aceites son líquidos grasos que se clasifican según su origen, una de sus características es su imposibilidad de ser disueltos en agua, esto se debe a que su densidad es menor a la del agua.

Según su origen se clasifican en: Vegetales, Animales y minerales.

#### 4.1.3.1 Origen Vegetal.

Los aceites procedentes de plantas generalmente contienen ácidos grasos, fosfolípidos, esteroides y otras impurezas. Para ello es recomendable no utilizarlos directamente como combustibles y así poder superar inconvenientes con el aceite, que en ocasiones debe sufrir una modificación química.

#### 4.1.3.2 Origen Animal

Son productos que se originan de los tejidos adiposos de los animales, por lo general los animales marítimos son de los que más se obtienen estos aceites. Son destinados para el consumo animal, la industria del jabón, entre otros.

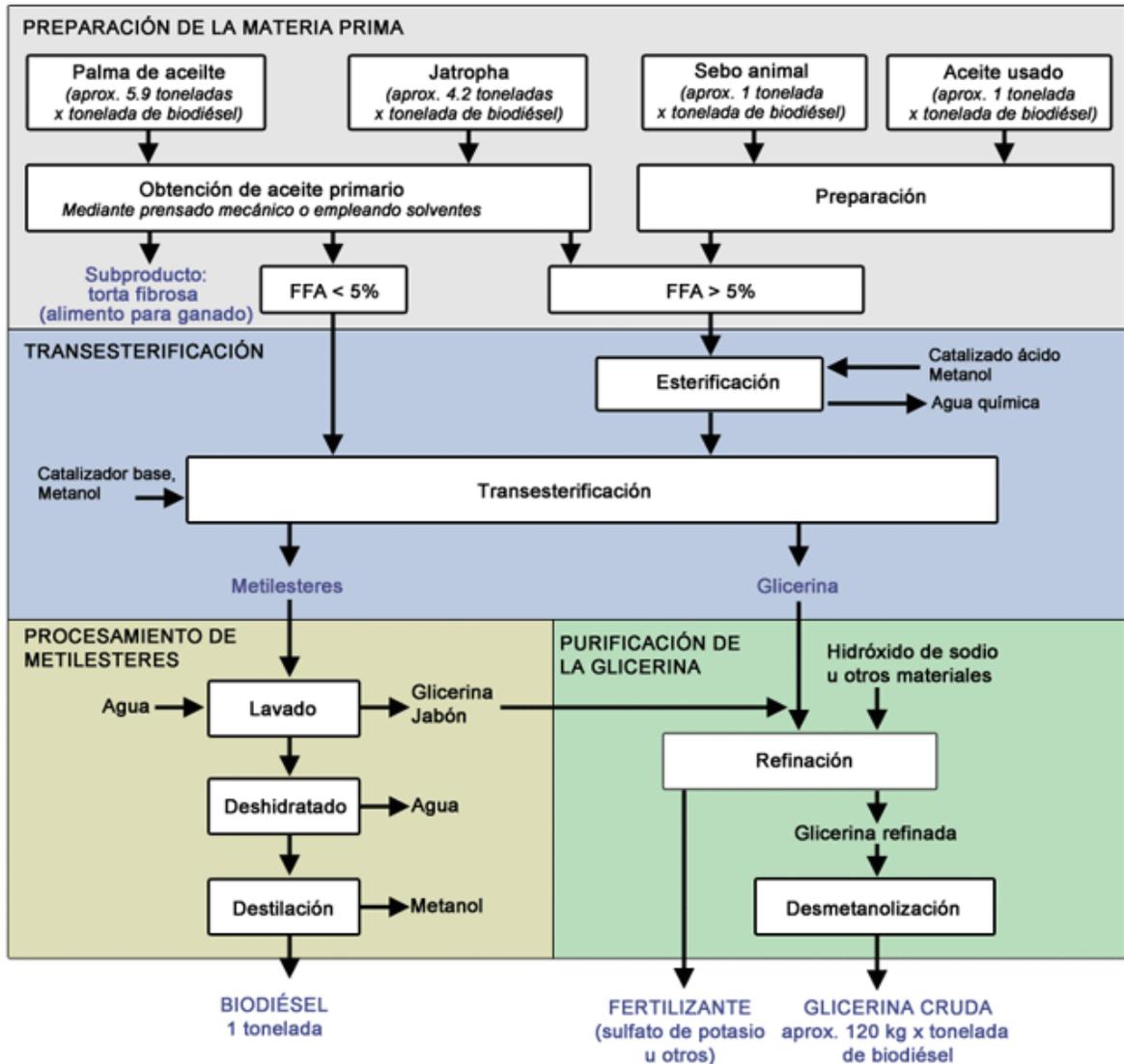
#### 4.1.3.3 Origen Mineral

Son aquellos que se obtienen mediante la refinación del petróleo, son utilizados por lo general como lubricantes.

#### 4.1.4 Proceso para Obtención de Biodiesel

A continuación, se encontrará un esquema que explicará cómo es el ciclo para la obtención de biodiesel, observando las diferentes materias primas que se pueden utilizar, el proceso de transesterificación y su procesamiento final.

ILUSTRACIÓN 3. ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL



Fuente: <http://www.bioenergeticos.gob.mx/bio/index.php/biodiesel/produccion-de-biodiesel.html>

#### 4.1.4 Características de los Aceites Vegetales.

Son compuestos orgánicos que se obtienen a partir de semillas u otras partes de las plantas, estos aceites se encuentran compuestos por lípidos (ácidos grasos), la proporción en la que se encuentren estos ácidos grasos y sus características son las que otorgan las propiedades de los diferentes aceites vegetales que existen.

**TABLA 1. PROPIEDADES FÍSICAS DE ACEITES VEGETALES**

Aceite	Densidad 15°C (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	Viscosidad 100°C (mm <sup>2</sup> /s)	Índice Viscosidad	Temperatura de inflamación (°C)	Temperatura de fluidez (°C)
Ricino	950-975	250,00	19,90	90	295	-10
Girasol	920	28,00	7,30	210	202	-12
Colza	920	32,60	7,90	210	230	-4
Soya	914	32,40	8,08	225	254	-6

Fuente: Autores del proyecto.

#### 4.1.5 Ventajas y Desventajas del Biocombustible

##### 4.1.5.1 Ventajas

- Diversificación de la producción agrícola.
- Fuente de energía renovable.
- Polivalencia del producto, para la transformación de energía.
- La disminución en la generación de partículas de CO<sub>2</sub> en el ambiente.

##### 4.1.5.2 Desventajas

- Las operaciones y tratamientos que requieren los biocombustibles, antes de ser empleados en un motor.
- Las modificaciones que requieren los motores, para su pleno uso (por encima de un 10 a 20 %).
- El costo de la materia prima es muy elevado debido a la demanda mundial. Representando el 70% del costo de producción.

Comparando con otros tipos de combustible, se puede afirmar que el biocombustible presenta una característica principal, la utilización de productos vegetales, como materia prima, con lo cual se debe tener en cuenta; que el desarrollo de estas tecnologías, no depende solo de ser amigable con el ambiente, sino también con la existencia de una demanda, lo suficientemente grande para su uso.

En algunos países de Europa, como España, se ha implementado desde hace algún tiempo, el reciclaje de los aceites de cocina usados, con lo cual se logró obtener el control de ciertos tipos de desechos mejorando el manejo de la materia prima; que va a dar origen a biocombustibles, para el uso automotriz, o para otros usos en particular.

El aceite de cocina usado representa un gran impacto ambiental, debido a que la mayoría de estos son desechados, únicamente un pequeño porcentaje se recoge y se emplea como materia prima, para la fabricación de jabones, sin embargo, si estos aceites se reciclaran de manera eficaz, podría realizarse el debido proceso, para obtener un combustible ecológico biodiesel.

En Latinoamérica ha aumentado el interés por el uso y la generación de estos tipos de combustibles, generando fuentes de empleo y energía, de materias renovables, como es el caso por ejemplo de un investigador chileno; quien, por medio del aceite de cocina usado, ha logrado que funcione un automóvil de motor diésel. [9]

#### 4.1.7 Diferencias entre Biodiesel y Diésel.

El diésel es un derivado del petróleo, así mismo al utilizar este combustible se aumentan las emisiones de CO<sub>2</sub> y en los motores produce desgaste, por otro lado, se observó que el biodiesel es un derivado de aceites vegetales, al ser utilizado se busca reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, como beneficios en los motores otorga un gran poder de lubricación, así mismo se esperan tener cambios positivos desde el punto de vista ambiental y económico.

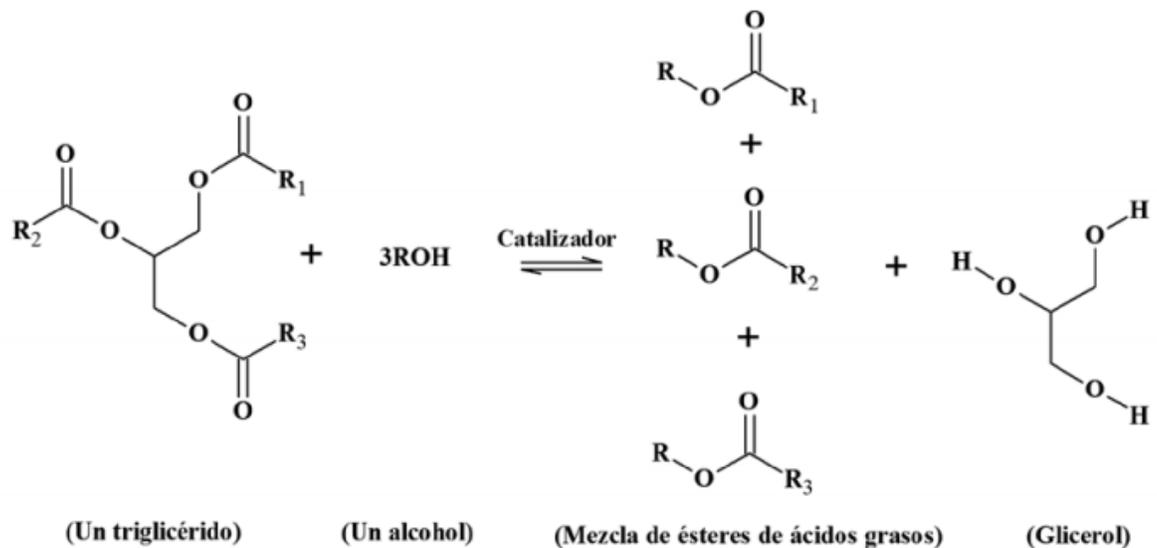
El biodiesel posee propiedades físicas y químicas similares a las de combustible diésel empleado para la gran mayoría de automotores, se puede mezclar hasta en un 20% de biodiesel con el diésel obtenido de la refinación del petróleo, desde el

punto de vista de la inflamabilidad el biodiesel es más seguro debido a su punto de inflamación elevado respecto al del diésel.

#### 4.1.8 Transesterificación

La transesterificación consiste en la reacción de un triéster de glicerilo (triglicérido) con un alcohol para formar alquil ésteres y glicerol. Debido a que la reacción es reversible, se utiliza alcohol en exceso para desplazar el equilibrio hacia el lado de los productos. El metanol y el etanol son los alcoholes usados con mayor frecuencia, especialmente el metanol debido a su bajo costo y a sus ventajas físicas y químicas (es polar y es un alcohol de cadena corta); además, el metanol reacciona rápidamente con los triacilglicéridos y se disuelve fácilmente en álcalis. Para realizar una transesterificación estequiométricamente completa es necesario mantener una relación molar de alcohol a triacilglicérido de 3:1. En la práctica es necesaria una relación mayor para desplazar el equilibrio y aumentar el rendimiento; desde luego, la velocidad de transesterificación no solo depende de las condiciones de operación o del tipo de catalizador sino también del tipo y variedad de triacilglicéridos presentes en el aceite o en la grasa. [20]

ILUSTRACIÓN 4. REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN DE UN TRIACILGLICÉRIDO CON ALCOHOL



Fuente: Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos [20]

#### 4.1.9 Tipos de Reactores Biodiesel para realizar la Transesterificación.

- Reactores tipo Batch o discontinuos: Los reactores discontinuos se utilizan para la mayoría de las reacciones llevadas a cabo en un laboratorio. Los reactivos se colocan en un tubo de ensayo, frasco o vaso de precipitados. Se mezclan juntos, se calientan para que se lleve a cabo la reacción, después se mezclan con el aceite para llevar a cabo la reacción química, posteriormente se dejan enfriar. Este procedimiento también se lleva a cabo a nivel industrial, la diferencia radica en el tamaño del reactor y las cantidades de reactivos. [21]
- Reactores Continuos: Una alternativa a un proceso discontinuo, tipo batch o 'por lotes' es alimentar, por un punto, continuamente al reactor los reactivos correspondientes, permitir que la reacción tenga lugar y retirar los productos por otro extremo. Debe haber una tasa de flujo igual de reactivos y productos. Los reactores continuos rara vez se utilizan en el laboratorio. Un ablandador de agua puede ser un ejemplo de proceso continuo. El agua dura se pasa a través de un tubo que contiene una resina de intercambio iónico. La reacción se lleva a cabo en el tubo y el agua blanda sale por el otro extremo. [21]

#### 4.2 MARCO CONCEPTUAL

- Biocombustible: considerado como una derivación de la biomasa, se utiliza como combustible de motores, de combustión interna y es originalmente una mezcla de hidrocarburos.[9]
- Hidrocarburos: compuestos orgánicos formados por átomos de hidrogeno y carbono.[1]
- Biomasa: materia orgánica utilizada, como fuente energética. Se agrupa generalmente en agrícolas y forestales.[9]
- Biodiesel: líquido obtenido a partir de un lípido natural, como aceite vegetal y se obtiene mediante procesos industriales.[16]
- Destilación: proceso por el cual se separan diferentes componentes líquidos.[7]

- Transesterificación: Proceso por el cual se hace un intercambio del grupo alcoxi de un alcohol. Es usada generalmente para producción de biodiesel y poliéster.[16]
- Plantas oleaginosas: vegetales de los cuales se puede extraer aceite, para uso comestible o industrial.[7]
- Esteroles: compuestos derivados del esterano, con moléculas de carbono se encuentran principalmente en los organismos animales (colesterol) y vegetales (ergosterol).

### 4.3 ESTADO DEL ARTE

#### 4.3.1 Generación de Biodiesel

En el estudio de nuevas formas de generación de biocombustibles, un tema de interés es la búsqueda de nuevas materias primas; por ejemplo la investigación que se realizó en 2007, por DUFRECHE, Stephen; HERNANDEZ, R. et al. titulado “*Extraction of lipids from municipal wastewater plant microorganisms for production of biodiesel*”. Donde se indica sobre la utilización de lodos que funcionan también, como fertilizante. Mediante el proceso de transesterificación se realiza la obtención del biodiesel, con el cual se pretenden suplir distintas necesidades; como la generación de energía; por medio de la separación química, de esta materia prima se obtienen diferentes componentes, que también son útiles en otras áreas de investigación. En Estados Unidos se realiza este proceso con el fin de obtener agua. Como resultado de este estudio se pudo observar que para separar las moléculas que componen esta materia prima, se deben utilizar diferentes tipos de solventes dependiendo de la materia prima que se utilice para así obtener el biodiesel.[8]

#### 4.3.2 Materias Primas

En la profunda investigación de materias primas, para obtención de nuevos combustibles, apareció la *jatropha* y el *karanj*, de los cuales se deriva un aceite que posee características, para funcionar como materia prima de biocombustible. Este estudio se realizó en 2008 por KALBANDE, S.; MORE, G. Y NADRE, R. denominado *“biodiesel production from Non-edible oils of jatropha and karanj for utilization in electrical generator”*. Se utilizaron estos componentes con el fin de poder proporcionar en el sector agrícola, la manera de generar su propio biodiesel. Con la utilización de un reactor, que a una temperatura no muy elevada y en aproximadamente 1.5 horas; permite la obtención de biodiesel, en diferentes porcentajes de mezcla por separado, con la *jatropha* y el *karanj*. También se utilizaron diferentes porcentajes para generadores, que van desde los 4500, hasta los 6000 W. como finalidad del estudio, los componentes utilizados son viables para la obtención de biodiesel; que en porcentajes inferiores a cuarenta por ciento (40%) son útiles en una mezcla.[13]

Por lo tanto, las investigaciones realizadas a lo largo del tiempo, en busca de nuevos biocombustibles; han permitido llegar a una segunda generación, como lo plantea el estudio realizado en 2008 por SCHENK, Peer; SKYE, R.; et al. Denominado *“second generation biofuels: high efficiency microalgae for biodiesel production”*. Con este tipo de material se realiza un procedimiento eléctrico, con el cual se busca obtener una enzima que permite facilitar el proceso de obtención de biodiesel. Requiriendo menor cantidad de terrenos, para cultivar se obtendrá una mayor eficiencia, con micro algas y lignocelulosa. Como finalidad de este estudio se puede observar, que este tipo de material funciona también. para captar las emisiones de CO<sub>2</sub> y del mismo modo, las facilidades técnico-económicas, para su generación.[18]

Los microorganismos también son parte de la extensa investigación, que se realiza para la generación de biocombustibles; como lo muestra el estudio realizado en

2009 por LOPES DA SILVA, Teresa; AMARELO, Carla y REIS, Alberto. Llamado "*Multi-parameter flow cytometry as a tool to monitor heterotrophic microalgal batch fermentations for oil production towards biodiesel*". En donde se hace el seguimiento, por medio de la citometría de los lotes de micro algas, los cuales deben estar bajo ciertas condiciones. Como conclusión de este estudio se determinó, que a partir de las micro algas se puede obtener un buen biocombustible; pero se debe establecer si cumple con los estándares existentes para su uso.[14]

El biodiesel es uno de los llamados a remplazar al diesel, ya que se compone de grasas naturales y vegetales, las grasas vegetales se pueden someter al método transesterificación álcali catalizada, el proceso comúnmente empleado para la producción de biodiesel a nivel comercial, el cual fue empleado con los materiales siguientes: metanol grado industrial al noventa y nueve (99%), el catalizador seleccionado fue hidróxido de sodio al noventa y ocho por ciento (98%) de pureza, con un procedimiento por réplicas de combinación de tres(3) factores, para cada uno de los niveles empleados, que dio como Resultado, que se utilicen mezclas con diésel en diversas proporciones, para que el uso de combustible pueda ser aceptado, puesto que la viscosidad cinemática y el índice de cetano, del proceso, no cumplió con la norma técnica colombiana.[15]

Con materias primas originarias en ciertas regiones del mundo se estudia también sus características y propiedades, con el fin de obtener sustancias que permitan la generación de combustibles, más amigables con el medio ambiente; como se ve en el estudio realizado en 2010 por CHEAH, K; TOH, T; Y KOH, P. Llamado "*palm fatty acid distillate biodiesel*". Donde por medio de la transesterificación se busca obtener biocombustible. Se examinan distintas variables que influyen en el estudio, como el costo de la palma, que se da en Malasia; con otros tipos de materias primas. Para determinar su viabilidad. De la misma manera, se analizan químicamente, otros tipos de plantas, que permitan la obtención de aceites, que puedan ser procesados, para la generación de biocombustibles. Haciendo énfasis en un bajo costo, contra

un buen porcentaje de funcionamiento. Como conclusión de este estudio se observa que el reto de encontrar nuevas alternativas renovables, para la generación de biocombustible es una actividad sumamente importante, a nivel mundial.[4]

Por los problemas con los que se enfrenta la sociedad, en la actualidad, en cuanto al calentamiento global, y cómo realizar un adecuado tratamiento, para el desecho de los aceites, sin que ello siga afectando fuertemente el ambiente, el estudio ASBÚN, Abularach Elías, DERPIC, David. llamado “*obtencion de biodiesel apartir de aceite desechado de frituras*”. Tiene como fuente esencial de análisis, tres puntos esenciales: la transesterificación, la esterificación ácida–básica y la desacidificación directa del aceite. Para ello centraron en el biodiesel usando como materias primas: la colza, el girasol y la soya. Así como, probar si con el etanol y el aceite desechado de frituras, se podía llegar a generar biodiesel en mejores condiciones.

El resultado de este estudio generó, por medio de un balance de energía, una evaluación de costos y una estimación en la cantidad de aceite desechado, se establecieron las condiciones óptimas del procedimiento, para la producción de biodiesel. con etanol, mediante la comparación, entre la producción de biodiesel con etanol y metanol; y fue así como, dichos resultados arrojaron que fue la esterificación ácida-básica, el procedimiento más factible, en el cual quedó demostrado; que es un combustible renovable, óptimo y energéticamente viable, tanto por costos, como por aceptación, pero aclarando que esto no es la solución a todo sino que debe existir una concientización, de reducir el consumo energético, tanto en cambios de hábitos, como en tecnología. Teniendo claro que el biodiesel no es una solución inmediata. [2]

En la búsqueda de nueva información y obtención de combustibles, que partan de residuos orgánicos, se realizó un estudio en 2014 por PERDOMO, Felipe; PERDOMO, Luis; et al. titulado “*Design and improvement of biodiesel fuels blends by optimization of their molecular structures and compositions.*” en donde se hace

el análisis químico, de manera profunda, para explicar puntualmente, cómo se realiza su descomposición molecular y cómo cambia su estructura. Por medio de procesos, como el modelado termodinámico; así mismo, se realiza un análisis, de cómo debe ser el biocombustible ideal, mencionando su viscosidad y otras características químicas y físicas, que se comparan. Con los combustibles actuales. Como resultado se obtuvo, una herramienta útil, en la búsqueda de materias primas,<sup>1</sup> que permitan obtener una mejor mezcla de biocombustible.[17]

#### 4.4 MARCO LEGAL Y NORMATIVO

##### 4.4.1 Constitución de Colombia 1991

###### 4.4.1.1 Artículo 8.

Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.

###### 4.4.1.2 Capítulo 3.

De los Derechos Colectivos y del Ambiente el estado colombiano debe proteger tanto la diversidad como la integridad del medio ambiente y planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, con el propósito de garantizar el desarrollo sostenible de la nación, previniendo y controlando factores de deterioro ambiental.

###### 4.4.1.3 Artículo 79.

El derecho a gozar de un ambiente sano, estableciendo como un deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, así mismo conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

##### 4.4.2 Ley 939 de diciembre de 2004

Por medio de la cual se subsanan los vicios de procedimiento en que incurrió en el trámite de la Ley 818 de 2003 y se estimula la producción y comercialización de

biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en Motores diesel y se dictan otras disposiciones.

#### 4.4.3 Ley 1715 de mayo del 2014

La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda. Reglamentado Parcialmente por el Decreto Nacional 1594 de 1984.

#### 4.4.4 Documento Conpes 3510.

Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia.

#### 4.4.5 Norma NTC 5444:2006

Especificaciones para el uso de Biodiesel en motores: La norma NTC o norma técnica colombiana 5444, es creada por ICONTEC el día 25 de Octubre del 2006, la cual define los requisitos que debe cumplir los alquil esterres de ácidos grasos para ser usados como combustible o componente de mezcla de combustibles diesel, además, relaciona la normatividad internacional como ISO y ASTM.

## 5. DISEÑO METODOLÓGICO

### 5.1 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Se realizará una investigación de tipo experimental, en la cual se manipulará una variable y se controlan las demás para observar sus consecuencias. Se definirán las variables que intervienen en el proyecto y se clasificarán en dependientes e independientes según corresponda:

- Variable dependiente
  - Poder Calorífico
- Variables independientes
  - Cantidad de catalizador
  - Cantidad de Metanol
  - Temperaturas de la mezcla

Por tanto, para el diseño de experimentos se tendrá un factor: Temperatura de la mezcla entre el aceite y los reactivos. Las otras variables tendrán las siguientes características.

- Dosis de catalizador constante para las pruebas.
- Porcentaje de pureza del Metanol de un 99% constante en todas las pruebas.
- Temperaturas (de la mezcla): Se trabajó temperaturas con valores de cincuenta (50), cincuenta y cinco (55), sesenta (60) grados Celsius respectivamente.

Debido a que se tiene un factor con niveles diferentes de trabajo y diferentes variables de respuesta, se decidió realizar un diseño factorial mixto, por tanto el factorial sería  $3 \times 1$ , lo que significa que el factor temperatura se trabajara con tres niveles y el porcentaje de pureza constante en todas las pruebas, dando así un total

de 6 combinaciones totales para este procedimiento. Para la mayoría de los casos experimentales la confiabilidad manejada es del 95% según (GUTIÉRREZ PULIDP. Humberto y DE LA VARA SALAZAR, Román.), por tanto para la determinación del número de réplicas necesarias para alcanzar este valor de confiabilidad se usó la siguiente formula:

$$n = \frac{2(t_{(\frac{\alpha}{2}, N-k)})^2}{d_T^2} \sigma^2$$

Dónde:

- $t_{(\frac{\alpha}{2}, N-k)}$  es el punto crítico de la distribución T-student,  $\alpha$  es el valor de significancia.
- $N = k \times n_0$ ,  $k$  es el número de procedimientos a realizar y  $n_0$  un número de réplicas que se asume de acuerdo a los siguientes aspectos: implementos utilizados, calidad de materias primas, si se espera una pequeña brecha en los resultados de los tratamientos se deberá tener en consideración una mayor cantidad de réplicas y viceversa, si la variación es muy grande entre procedimientos debido a fuentes no controladas, como sistemas de medición, calidad de materiales (porcentaje de pureza de compuestos químicos utilizados) entre otros, se deberá tener un mayor número de réplicas.
- $\sigma$  es la desviación estándar del error aleatorio, la cual se asume debido a factores no controlados como error en tiempos de medición, error en lecturas de temperatura, etc.
- $d_T$  la magnitud máxima de diferencia entre procedimientos.
- $\alpha = 1 - \text{Confiabilidad}$

Por tanto se asume  $n_0 = 4$ , además se establece que  $dT=30$  según (TORRES SALCEDO, Jaime y LASCANO FARAK, Sheila.), y  $\sigma = 20$  para una confiabilidad del 95% de acuerdo a (GUTIÉRREZ PULIDP. Humberto y DE LA VARA SALAZAR, Román., 2012), también  $k=3$  y  $\alpha=0.05$ , reemplazando:

$$n = \frac{2(2.1788^2)}{30^2} 20^2 = 4.548$$

Por tanto el número de réplicas que se debe usar es 2. Así, tenemos un número total de experimentos de 6 procedimientos con 2 réplicas.

Se evalúan otras confiabilidades para evaluar cuál es la mejor opción según la Tabla 3:

**TABLA 2. NÚMERO DE REPETICIONES SEGÚN SU CONFIABILIDAD**

Confiabilidad (%)	No. De repeticiones	Cantidad total de experimentos
90%	1	3
95%	2	6
99%	5	15

Fuente: Autores del proyecto

Con la anterior tabla se demuestra que si es viable la escogencia de una confiabilidad del 95% ya que es la recomendada según la bibliografía consultada

## 5.2 METODOLOGÍA

### 5.2.1 Obtención del material.

El aceite de frituras utilizado fue suministrado por el restaurante choribraza, el cual aportó 20 litros de aceite de cocina usado. Los reactivos necesarios (KOH, metanol) con un porcentaje de pureza del 99% para el KOH y el metanol de Chemi (reactivo analítico) para la obtención del biodiesel fueron adquiridos de los laboratorios de la Universidad Libre de Colombia.

### 5.2.2 Preparación del Reactor

El reactor de biodiesel que se utilizó se encuentra en las instalaciones de la Universidad Libre de Colombia, dicho reactor está clasificado como tipo batch, para su preparación se realizaron pruebas de funcionamiento en el laboratorio de máquinas térmicas.

#### 5.2.2.1 Puesta a Punto Reactor

- Se hizo un análisis de cómo se encontraba el reactor en el momento que se fue a utilizar por primera vez.
- Se realizó la identificación de cada una de las partes del reactor para así saber cómo es funcionamiento.
- Se realizaron arreglos a las termocuplas de los tanques de aceite, reactivos y mezcla.
- Se sellaron las uniones de los tanques y de las llaves que presentaban fugas.
- Se hizo una prueba final para corroborar el funcionamiento adecuado del reactor llenándolo con agua, de esta manera se verificó que no tuviera fugas y que la temperatura en los tanques fuera la misma que la del panel de control.

### ILUSTRACIÓN 5. REACTOR BIODIESEL



Fuente: Autores del proyecto

#### 5.2.3 Obtención de biodiesel.

Se realizó en el reactor de biodiesel que tiene la Universidad libre de Colombia.

Se realizaron 2 pruebas para cada una de las temperaturas a analizar 50°C, 55°C y 60°C.

**TABLA 3. NÚMERO DE PRUEBAS A REALIZAR**

N. de prueba	Temperatura
1	50°C
2	50°C
3	55°C
4	55°C
5	60°C
6	60°C

Fuente: Autores del proyecto

Teniendo como cantidad de aceite 1 litro, las relaciones con respecto al metanol y al KOH son:

Metanol: 15% respecto a la cantidad de aceite correspondiente a 150 mililitros de metanol

KOH: 1% respecto a la cantidad de aceite correspondiente a 10 mililitros de KOH

#### 5.2.4 Decantación biodiesel obtenido.

Se realizará la decantación de las muestras de biodiesel obtenidas ya que se debe separar el biodiesel de la glicerina.

#### ILUSTRACIÓN 6. MUESTRAS EN DECANTACIÓN.



Fuente: Autores del proyecto

**ILUSTRACIÓN 7. MUESTRAS EN DECANTACIÓN UNA SEMANA DESPUÉS.**



Fuente: Autores del proyecto

**5.2.5 Caracterización Físico Química de las Pruebas.**

Se llevará a cabo en un laboratorio externo en donde se analizará: La densidad, Apariencia, Viscosidad a 40°C, Punto de inflamación, % de Agua y T.A.N.

**5.2.6 Prueba de Poder Calorífico.**

Esta prueba será realizada en las instalaciones de la Universidad Libre de Colombia, para esto se necesita 1 gramo de cada una de las muestras de biodiesel.

Para la prueba se utilizará la bomba calorimétrica que se encuentra en la Universidad libre de Colombia.

### ILUSTRACIÓN 8. BOMBA CALORIMÉTRICA



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/parr-instrument-company/product-28323-1291563.html>

## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 6.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS

Dando cumplimiento al objetivo que busca determinar las características físicas y químicas del biodiesel se obtuvieron 6 muestras de biodiesel que fueron resultado del proceso de transesterificación realizado en el reactor de biodiesel de la Universidad Libre de Colombia, se realizaron los análisis de las características físicas y químicas del biodiesel obtenido a cada una de las 6 muestras, estos análisis se realizaron en el laboratorio SAIN Lubricantes, arrojando los siguientes resultados:

**TABLA 4. RESULTADOS PRUEBAS CARACTERIZACIÓN BODIESEL PRUEBA 1.**

PRUEBA 1	
PRUEBA	RESULTADO
APARIENCIA (VISUAL)	TURBIO
VISCOSIDAD 40°C (ASTM D-445)	32,02 cSt
DENSIDAD (gravimetría)	0,924 g/MI
PUNTO DE INFLAMACIÓN	80 °C
AGUA (ASTM D-95)	0,07 %
T.A.N (ASTM D-974)	0,34 mg KOH/g

Fuente: Autores del proyecto

**TABLA 5. RESULTADOS PRUEBAS CARACTERIZACIÓN BIODIESEL PRUEBA 2.**

PRUEBA 2	
PRUEBA	RESULTADO
APARIENCIA (VISUAL)	TURBIO
VISCOSIDAD 40°C (ASTM D-445)	31,85 cSt
DENSIDAD (gravimetría)	0,923 g/MI
PUNTO DE INFLAMACIÓN	90 °C
AGUA (ASTM D-95)	0,03 %
T.A.N (ASTM D-974)	0,41 mg KOH/g

Fuente: Autores del proyecto

**TABLA 6. RESULTADOS PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN BIODIESEL PRUEBA 3.**

PRUEBA 3	
PRUEBA	RESULTADO
APARIENCIA (VISUAL)	TURBIO
VISCOSIDAD 40°C (ASTM D-445)	30,08 cSt
DENSIDAD (gravimetría)	0,925 g/MI
PUNTO DE INFLAMACION	100 °C
AGUA (ASTM D-95)	0,01 %
T.A.N (ASTM D-974)	0,49 mg KOH/g

Fuente: Autores del proyecto

**TABLA 7. RESULTADOS PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN BIODIESEL PRUEBA 4.**

PRUEBA 4	
PRUEBA	RESULTADO
APARIENCIA (VISUAL)	TURBIO
VISCOSIDAD 40°C (ASTM D-445)	30,75 cSt
DENSIDAD (gravimetría)	0,919 g/MI
PUNTO DE INFLAMACION	100 °C
AGUA (ASTM D-95)	0,01 %
T.A.N (ASTM D-974)	0,51 mg KOH/g

Fuente: Autores del proyecto

**TABLA 8. RESULTADOS PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN BIODIESEL PRUEBA 5.**

PRUEBA 5	
PRUEBA	RESULTADO
APARIENCIA (VISUAL)	TURBIO
VISCOSIDAD 40°C (ASTM D-445)	30,91 cSt
DENSIDAD (gravimetría)	0,925 g/MI
PUNTO DE INFLAMACION	100 °C
AGUA (ASTM D-95)	0,02 %
T.A.N (ASTM D-974)	0,53 mg KOH/g

Fuente: Autores del proyecto

**TABLA 9. RESULTADOS PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN BIODIESEL PRUEBA 6.**

PRUEBA 6	
PRUEBA	RESULTADO
APARIENCIA (VISUAL)	TURBIO
VISCOSIDAD 40°C (ASTM D-445)	30,47 cSt
DENSIDAD (gravimetría)	0,924 g/MI
PUNTO DE INFLAMACION	100 °C
AGUA (ASTM D-95)	0,02 %
T.A.N (ASTM D-974)	0,55 mg KOH/g

Fuente: Autores del proyecto

Prueba T.A.N (Numero acido total). Esta prueba determina el grado de oxidación del biodiesel debido a la formación de ácidos corrosivos. De esta manera, las muestras estudiadas presentan un numero acido total bastante bajo y aceptable que demuestra buen rendimiento del catalizador usado en algunas pruebas y en las otras se observó la falta de este, además se analizó la importancia de una buena etapa de limpieza del aceite para no encontrar impurezas, ya que dichas características influyen en este valor.

## 6.2 ANÁLISIS PODER CALORÍFICO

Siendo uno de los objetivos específicos elaborar tablas comparativas del poder calorífico del biodiesel obtenido frente al gas natural vehicular y a la gasolina, se realizó el análisis del poder calorífico de las 6 muestras obtenidas, para caracterizar cada una de las muestras se utilizó la bomba calorimétrica, para la obtención de los resultados se tuvo en cuenta la siguiente formula:

$$N = \frac{(V_a * \rho_a * Cp_a + K_b) * (T_2 - T_1) - (Cp_a * L_a)}{M_c} \quad (1)$$

Donde:

$N = \text{Poder calorífico} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$

$M_a = \text{Masa de agua la cual se sustituye por la multiplicación del volumen y densidad, cuyos datos conocemos de la prueba (kg)}$

$Cp_a = \text{Poder calorífico del agua} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$

$\Delta T = \text{Diferencia de temperaturas (final menos inicial)} \left( ^\circ\text{C} \right)$

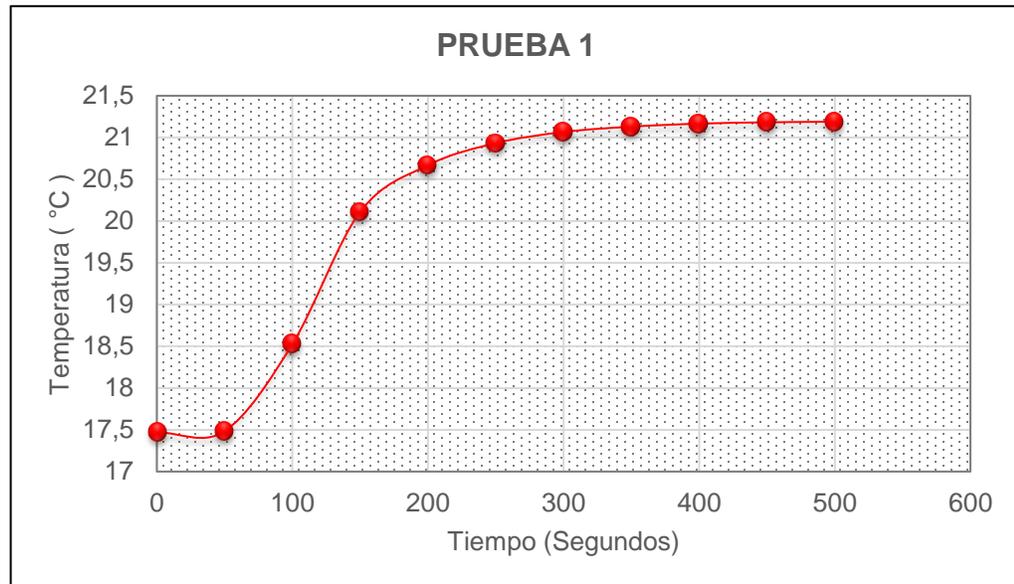
$K_b = \text{Capacidad térmica de la absorción de la bomba calorimétrica} \left( \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{C}} \right)$

$e_1 = \text{corrección por el calor generado por la ignición del alambre, en términos de poder calorífico por unidad de longitud quemado ( kJ )}$

$M_c = \text{Masa del combustible (kg)}$

Para poder comparar el poder calorífico de cada una de las muestras obtenidas, se realizaron 6 pruebas utilizando la bomba calorimétrica, teniendo como resultado 6 gráficas, estas gráficas arrojaron el comportamiento de la temperatura del biodiesel con el paso del tiempo para así conocer la cantidad de calor requerido para elevar 1 grado la temperatura del calorímetro. A continuación se presentaran las gráficas de los resultados que se obtuvieron en el análisis del poder calorífico de cada una de las muestras.

**ILUSTRACIÓN 9. PODER CALORÍFICO PRUEBA 1.**



Fuente: Autores del proyecto

**TABLA 10. DATOS PRUEBA 1 PODER CALORÍFICO.**

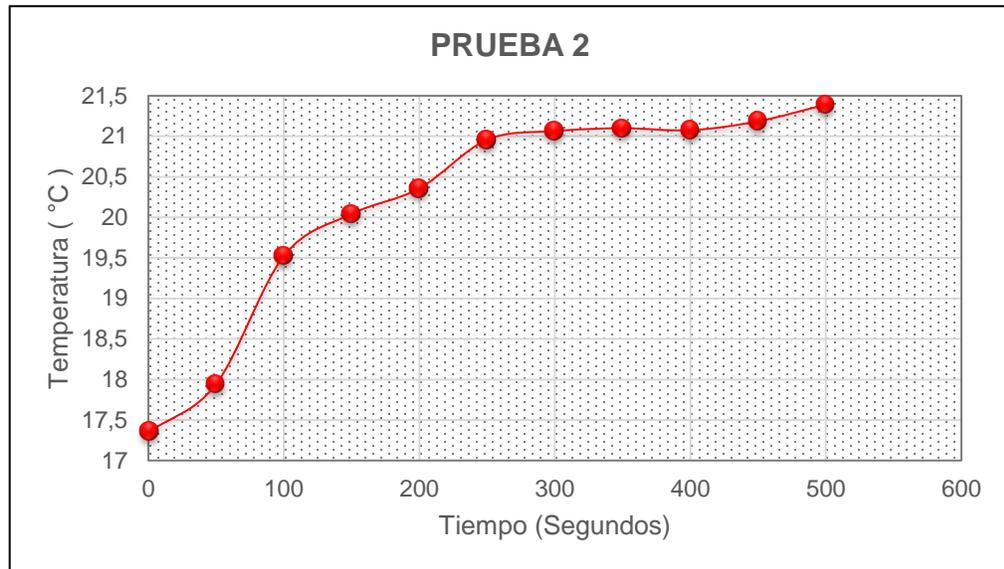
TIEMPO (Segundos)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (Segundos)	TEMPERATURA (°C)
1	17,467	300	21,066
50	17,484	350	21,13
100	18,527	400	21,166
150	20,11	450	21,182
200	20,669	500	21,189
250	20,933		

Fuente: Autores del proyecto

$$N = \frac{\left(0.002 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 4.186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{°C}} + 10150.384 \frac{\text{KJ}}{\text{°C}}\right) * (21.189 \text{ °C} - 17.467 \text{ °C}) - (112.968 \frac{\text{KJ}}{\text{cm}} * 7.2 \text{ cm})}{0.001 \text{ Kg}}$$

$$N = 36.997 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

**ILUSTRACIÓN 10. PODER CALORÍFICO PRUEBA 2.**



Fuente: Autores del proyecto

**TABLA 11. DATOS PRUEBA 2 PODER CALORÍFICO.**

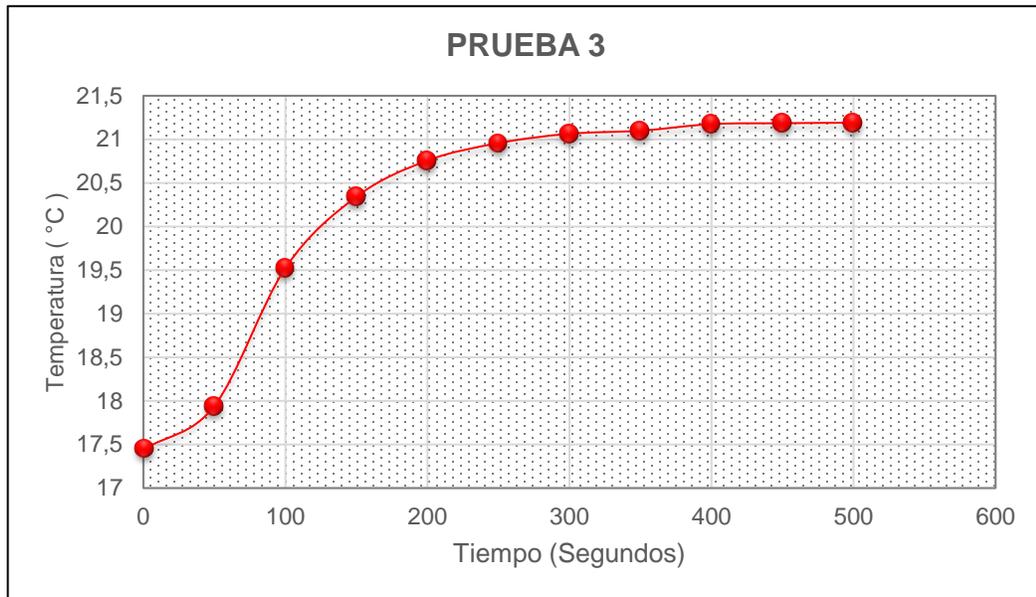
TIEMPO (Segundos)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (Segundos)	TEMPERATURA (°C)
1	17,357	300	21,064
50	17,943	350	21,099
100	19,524	400	21,075
150	20,042	450	21,185
200	20,357	500	21,391
250	20,957		

Fuente: Autores del proyecto

$$N = \frac{\left(0.002 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 4.186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} + 10150.384 \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{C}}\right) * (21.391 \text{ } ^\circ\text{C} - 17.357 \text{ } ^\circ\text{C}) - (112.968 \frac{\text{KJ}}{\text{cm}} * 7 \text{ cm})}{0.001 \text{ Kg}}$$

$$N = 40.189 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

**ILUSTRACIÓN 11. PODER CALORÍFICO PRUEBA 3.**



Fuente: Autores del proyecto

**TABLA 12. DATOS PRUEBA 3 PODER CALORÍFICO.**

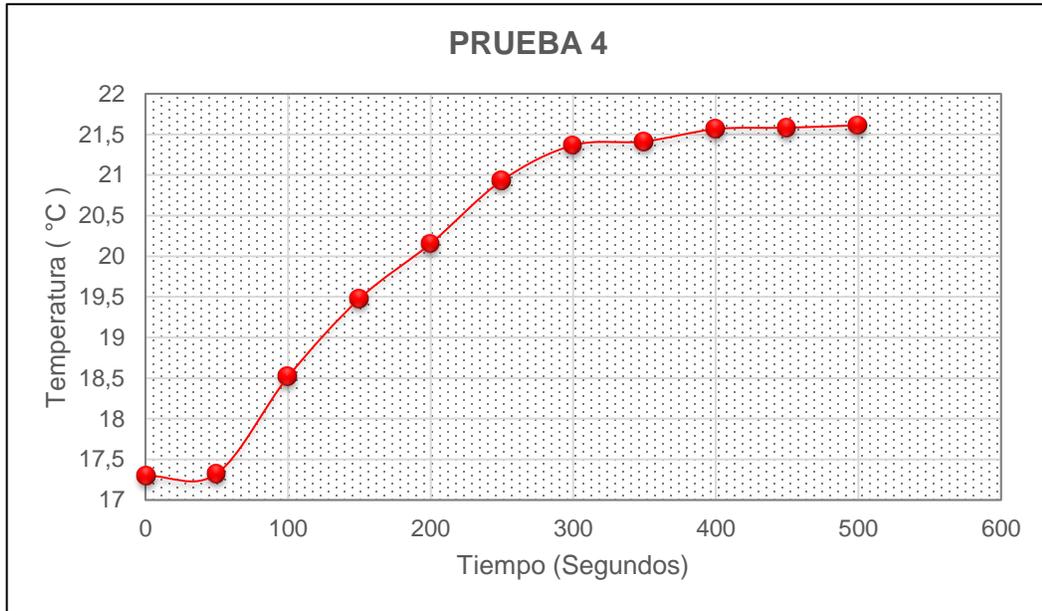
TIEMPO (Segundos)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (Segundos)	TEMPERATURA (°C)
1	17,451	300	21,064
50	17,943	350	21,099
100	19,524	400	21,175
150	20,342	450	21,185
200	20,757	500	21,191
250	20,957		

Fuente: Autores del proyecto

$$N = \frac{\left(0,002 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 4,186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} + 10150,384 \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{C}}\right) * (21,191 ^\circ\text{C} - 17,451 ^\circ\text{C}) - (112,968 \frac{\text{KJ}}{\text{cm}} * 7,5 \text{ cm})}{0,001 \text{ Kg}}$$

$$N = 37,146 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

**ILUSTRACIÓN 12. PODER CALORÍFICO PRUEBA 4.**



Fuente: Autores del proyecto

**TABLA 13. DATOS PRUEBA 4 PODER CALORÍFICO.**

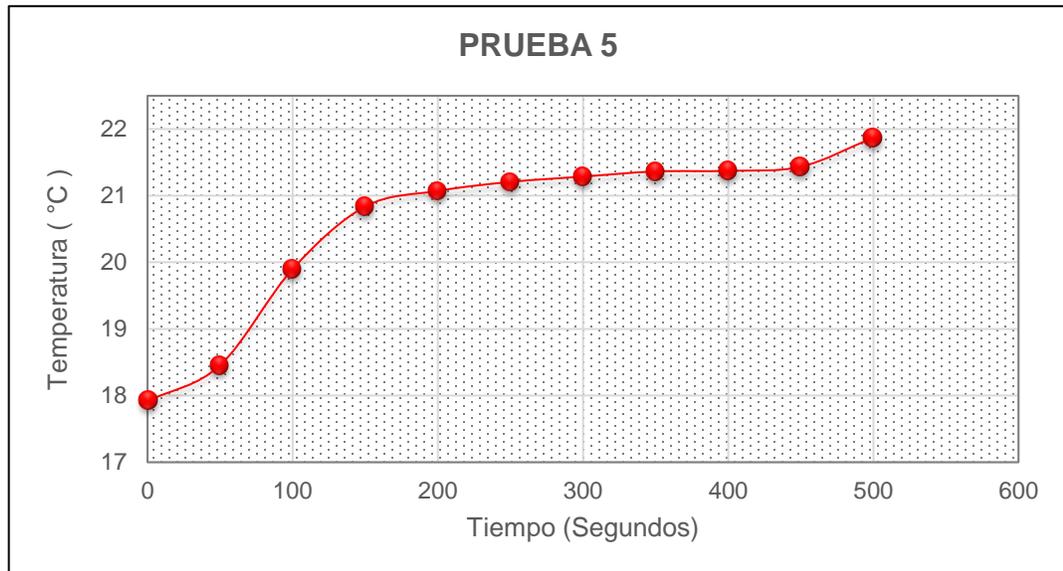
TIEMPO (Segundos)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (Segundos)	TEMPERATURA (°C)
1	17,298	300	21,366
50	17,324	350	21,413
100	18,517	400	21,566
150	19,476	450	21,582
200	20,157	500	21,612
250	20,933		

Fuente: Autores del proyecto

$$N = \frac{(0.002 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 4.186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} + 10150.384 \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{C}}) * (21.612 \text{ } ^\circ\text{C} - 17.298 \text{ } ^\circ\text{C}) - (112.968 \frac{\text{KJ}}{\text{cm}} * 7 \text{ cm})}{0.001 \text{ Kg}}$$

$$N = 43.034 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

**ILUSTRACIÓN 13. PODER CALORÍFICO PRUEBA 5.**



Fuente: Autores del proyecto

**TABLA 14. DATOS PRUEBA 5 PODER CALORÍFICO.**

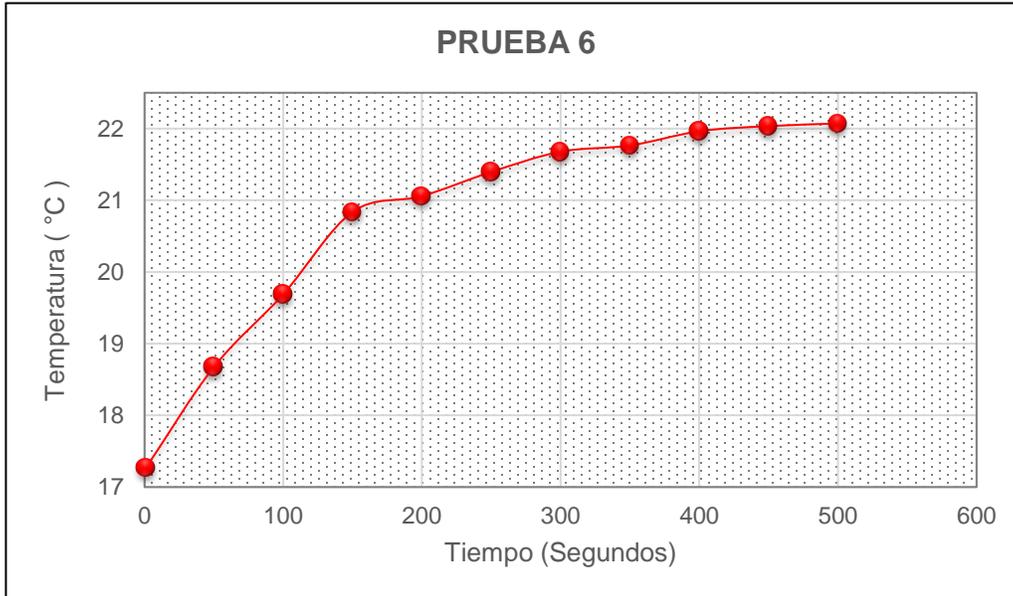
TIEMPO (Segundos)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (Segundos)	TEMPERATURA (°C)
1	17,925	300	21,287
50	18,455	350	21,364
100	19,9	400	21,373
150	20,838	450	21,435
200	21,072	500	21,971
250	21,207		

Fuente: Autores del proyecto

$$N = \frac{\left(0.002 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 4.186 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} + 10150.384 \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{C}}\right) * (21.971 ^\circ\text{C} - 17.925 ^\circ\text{C}) - (112.968 \frac{\text{KJ}}{\text{cm}} * 7.5 \text{ cm})}{0.001 \text{Kg}}$$

$$N = 40.255 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

**ILUSTRACIÓN 14. PODER CALORÍFICO PRUEBA 6.**



Fuente: Autores del proyecto

**TABLA 15. DATOS PRUEBA 6 PODER CALORÍFICO.**

TIEMPO (Segundos)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (Segundos)	TEMPERATURA (°C)
1	17,878	300	21,678
50	18,675	350	21,764
100	19,689	400	21,963
150	20,838	450	22,035
200	21,058	500	22,071
250	21,396		

Fuente: Autores del proyecto

$$N = \frac{(0.002 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 4.186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} + 10150.384 \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{C}}) * (22.071 ^\circ\text{C} - 17.269 ^\circ\text{C}) - (112.968 \frac{\text{KJ}}{\text{cm}} * 7 \text{ cm})}{0.001 \text{ Kg}}$$

$$N = 41.748 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

### 6.3 ANÁLISIS ANOVA

Este análisis de varianza (ANOVA) consiste en probar la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Este análisis evalúa la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población son iguales, mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente.

Se realizó este análisis con la herramienta informativa Excel, obteniendo los siguientes resultados.

**TABLA 16. ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR**

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
50°C	2	77186	38593	5094432
55°C	2	80180	40090	17334272
60°C	2	82003	41001,5	1114525

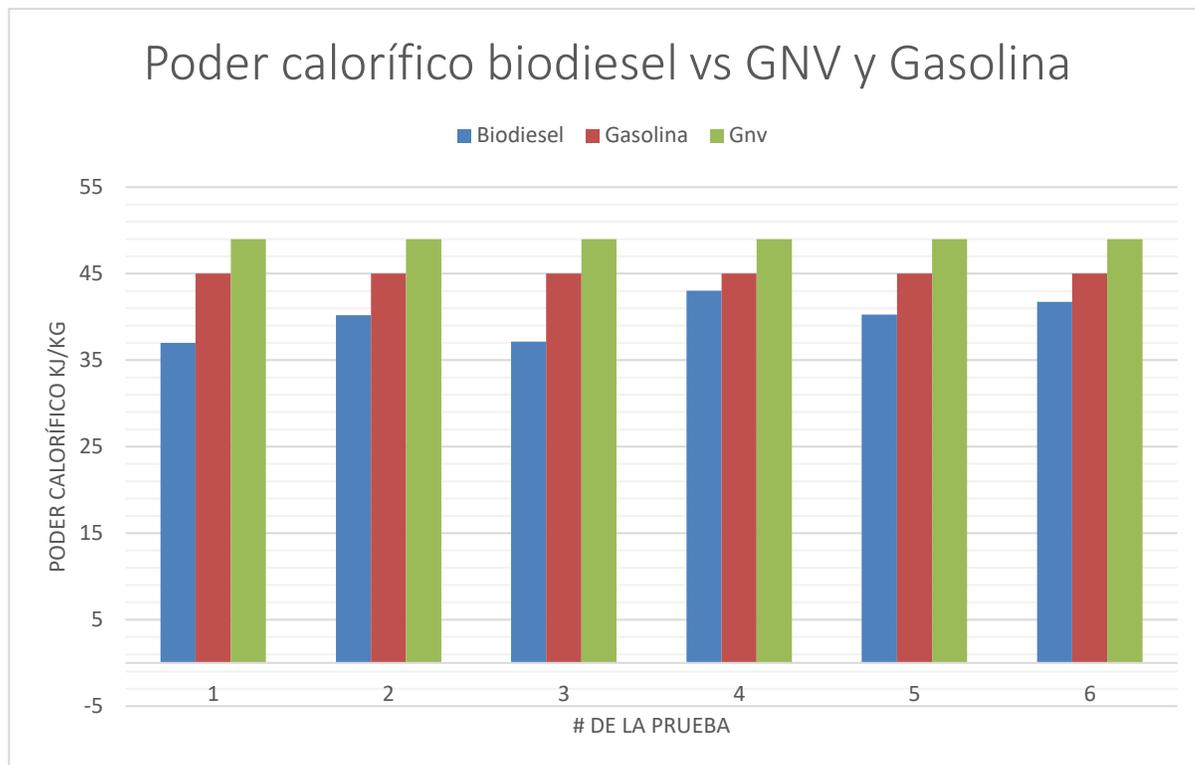
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	5915142,333	2	2957571,167	0,376869	0,714473194	9,5520945
Dentro de los grupos	23543228,5	3	7847742,833			
Total	29458370,83	5				

Fuente: Autores del proyecto

Al ser la probabilidad (P) mayor al alfa utilizado de 0,05 se acepta la hipótesis nula, lo que establece que todas las medias son iguales entre los datos obtenidos.

Después de observar el comportamiento del poder calorífico en las 6 pruebas realizadas se observa que el comportamiento de las muestras es similar, se compararon los poderes caloríficos obtenidos contra el del gas natural vehicular (Gnv) y la gasolina dando como resultado la siguiente gráfica:

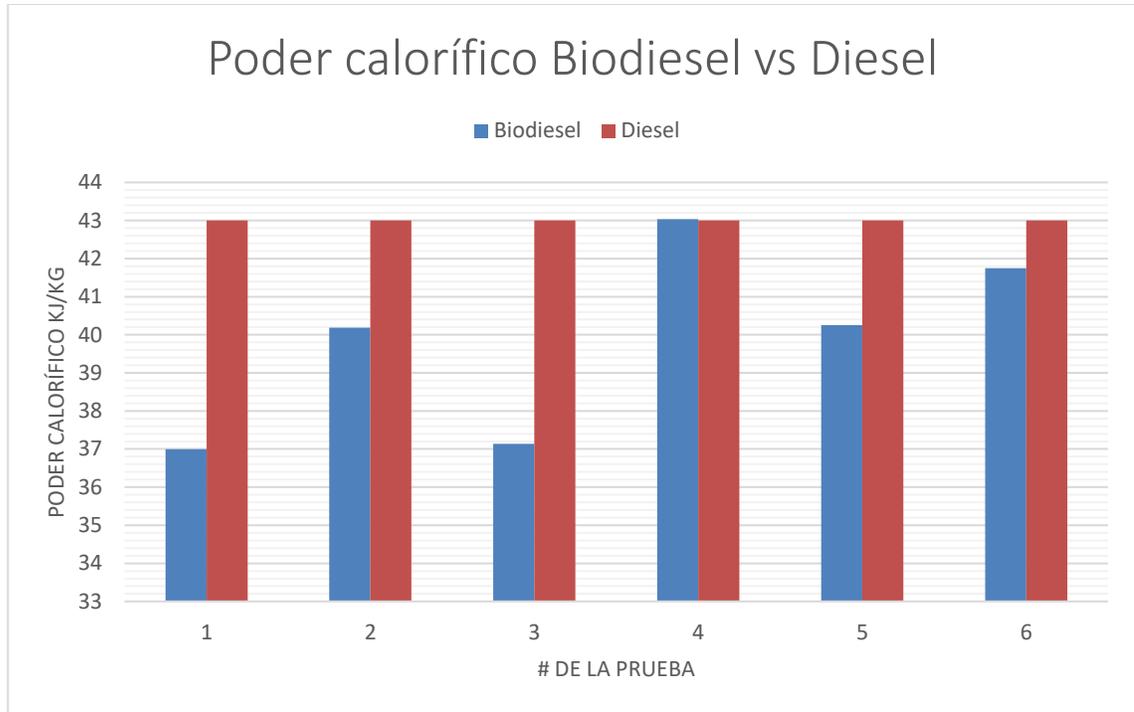
**ILUSTRACIÓN 15. COMPARACIÓN PODER CALORÍFICO DEL BIODIESEL OBTENIDO VS GNV Y GASOLINA**



Fuente: Autores del proyecto

Se puede observar que el poder calorífico del GNV es mayor al obtenido por el biodiesel a base de aceite de frituras y en comparación con la gasolina se acerca un poco en cuanto a su poder calorífico, por lo tanto, el biodiesel obtenido se puede utilizar en algunas aplicaciones en el sector industrial (generación de vapor, sistemas de calefacción, entre otros).

**ILUSTRACIÓN 16. COMPARACIÓN PODER CALORÍFICO BODIESEL OBTENIDO VS DIÉSEL**



Fuente: Autores del proyecto

Se observa que hay una diferencia significativa entre los poderes caloríficos del biodiesel obtenido respecto al diésel derivado del petróleo, esto se debe a que la materia prima del biodiesel utilizado, en este caso el aceite de frituras no tiene las mismas características físicas y químicas que hidrocarburo líquido que se utiliza para el diésel, esta comparación se realiza debido a que el biodiesel es el sustituto natural del diésel, buscando así una posible sustitución o complementación entre los dos combustibles.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

Con el biodiesel obtenido a partir de aceite de frituras se puede llegar a incursionar en la industria de los biocombustibles, aprovechando el uso inadecuado de este aceite después de ser utilizado, desarrollando un plan de recolección del aceite se podrán reducir los costos de la materia prima, que en el caso de la obtención del biodiesel corresponde al 70% del costo de producción.

El reactor biodiesel de la universidad libre resultó ser adecuado para la realización de este proyecto debido a que la escala de producción es mucho más pequeña y resulta más práctico para etapas investigativas, si se quisiera producir en mayores cantidades se necesitaría de un reactor con mayor capacidad y de etapas continuas.

La materia prima para obtener el biodiesel, en este caso aceite de frituras debe tener su debido proceso de limpieza, se debe filtrar para quitar las impurezas, bajar la concentración de agua del aceite para que la reacción química se lleve a cabo con éxito, si esto no se realiza puede no se obtenga biodiesel y si se obtiene no tendrá las mejores características físicas y químicas.

Debido a que el estudio no se centra en solo una clase de aceite de frituras, se puede llegar a realizar un análisis para saber qué diferencia puede haber en el biodiesel final al mezclar distintos tipos de aceites (diferentes proveedores), de esta manera se podrán identificar variables que intervengan en la calidad del biodiesel.

El rango de temperatura idóneo para realizar el proceso de obtención de biodiesel a partir de aceite de frituras está entre 55°C y 60°C según los resultados obtenidos, ya que en estas temperaturas el poder calorífico se acerca al poder calorífico del

diésel, siendo una buena alternativa para remplazar el diésel derivado del petróleo en algunas de sus aplicaciones (calefacción, calderas, generación de energía).

Al obtener muestras de biodiesel con baja densidad y un punto de inflamación alto, aumenta la posibilidad que este biodiesel a partir de aceite de frituras pueda ser utilizado en el mercado, pero se debe analizar la viscosidad del biodiesel ya que presenta niveles altos debido a las propiedades físicas del aceite utilizado. Así mismo se debe tener en cuenta que el porcentaje (%) de agua no debe ser elevado de ahí la importancia en el tratamiento del aceite cuando es recibido.

Desde el punto experimental el tiempo de decantación recomendado es de una (1) semana aproximadamente para que se dé una separación adecuada entre el biodiesel y la glicerina que se formará, si se llegara a realizar de forma industrial la producción de biodiesel se debe contemplar reducir significadamente el tiempo de decantación.

## 7.2 RECOMENDACIONES

Brindar el debido mantenimiento al reactor biodiesel de la universidad libre para que no presente ningún deterioro y pueda ser usado por todos los estudiantes de la universidad. Cualquier duda observar el manual que servirá como guía en el proceso de obtención de biodiesel.

Verificar el estado del sistema electrónico del reactor cada vez que se vaya a utilizar, comenzando por las conexiones del tablero de control y su calibración para la toma de temperaturas, para que las mediciones de los controladores sean acordes a lo que sucede en los tanques, además se recomienda verificar el estado de las termocuplas.

## 8. BLIOGRAFÍA

- [1] ARJONA, Ricardo; LUNA, Manuel; MARTIN, Alfredo; et al. (2008). "Combustibles Alternativos en Automoción."
- [2] ASBÚN, Abularach Elías, DERPIC, David. (2010). "obtencion de biodiesel apartir de aceite desechado de frituras".
- [3] CANAKCI, M.; SANLI, H. (2008). "biodiesel Production from various feedstocks and their effects on the fuel properties".
- [4] CHEAH, K; TOH, T; Y KOH, P. (2010). "palm fatty acid distillate biodiesel".
- [5] CHERNG, Yuan Lin. (2013). "Effects of biodiesel blend on marine fuel characteristics for marine vessels".
- [6] CORPORAN, Edwin; REICH, Richard; et al. (2005). "impacts of biodiesel pollutant emissions of a jp-8 fueled turbine engine".
- [7] DUFÉY, Annie. . (2006). "produccion y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas."
- [8] DUFRECHE, Stephen; HERNANDEZ, R. et al. (2007). " Extraction of lipids from municipal wastewater plant microorganisms for production of biodiesel".
- [9] FERNANDEZ, José. . (2010). "Guia Completa de la Biomasa y los Biocombustibles".
- [10] FILIPOVIC, Ivan; PIKULA, Boran y KEPNIK, Goran. (2014). "Impact of physical properties of mixture of diesel and biodiesel fuels on hydrodynamic characteristics of fuel injection system".
- [11] GONZALEZ, Andres; JIMENEZ, Isabel; et al. (2008). "biocombustibles de segunda generación y biodiesel".
- [12] HAIGH, F. Kathleen; VLADISAVLJEVIC, Goran; et al. (2014). "kinetics of the pre-treatment of used cooking oil using novozyme 435 for biodiesel production".
- [13] KALBANDE, S.; MORE, G. Y NADRE, R. (2008). "biodiesel production from Non-edible oils of jatropha and karanj for utilization in electrical generator".

- [14] LOPES DA SILVA, Teresa; AMARELO, Carla y REIS, Alberto. (2009). "Multi-parameter flow cytometry as a tool to monitor heterotrophic microalgal batch fermentations for oil production towards biodiesel".
- [15] LOZADA, Ricardo; VELASQUEZ, Jorge. (2009). "transesterificación alcali-catalizada del aceite de higuera".
- [16] MICHELENA, Manuel; MARTIN, Francisco. (2008). "Los Biocombustibles".
- [17] PERDOMO, Felipe; PERDOMO, Luis; et al. (2014). "Design and improvement of biodiesel fuels blends by optimization of their molecular structures and compositions".
- [18] SCHENK, Peer; SKYE, R.; et al. (2008). "“second generation biofuels: high efficiency microalgae for biodiesel production”".
- [19] YAMIK, Hasan. (2014). "An investigation of effect of biodiesel and aviation fuel jet a-1 mixtures performance and emissions on diesel engine".
- [20] Grey C. Castellar Ortega, Edgardo R. Angulo Mercado, Beatriz M. Cardozo Arrieta (2014). "Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos".
- [21] Gomez O. Cristian (2015). "Introducción al Diseño de Reactores".

## ANEXO

Anexo A. Manual Reactor Biodiesel

# MANUAL DE OPERACIÓN REACTOR BIODIESEL UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA

JUAN DAVID DAVILA, CHRYSTIAN CORTES



Universidad Libre  
Seccional Bogotá



MANUAL DE  
OPERACIÓN REACTOR  
BIODIESEL  
UNIVERSIDAD LIBRE  
DE COLOMBIA

JUAN DAVID DAVILA, CRISTIAN CORTES

## CONTENIDO

<u>1. Datos técnicos</u> .....	4
<u>2. Esquema reactor</u> .....	5
<u>3. Operación</u> .....	7
<u>3.1 sistema de encendido y apagado</u> .....	7
<u>3.2 Transesterificación</u> .....	7
<u>3.3 Control de calidad del proceso de transesterificación</u> .....	9
<u>4. Medidas de seguridad</u> .....	9
<u>4.1 Guantes:</u> .....	9
<u>4.2 Máscara:</u> .....	10
<u>4.3 Lentes protectores:</u> .....	10
<u>4.4 Delantal:</u> .....	10
<u>4.5 Botas:</u> .....	10
<u>4.6 Extintores:</u> .....	10
<u>5. Solución a problemas frecuentes</u> .....	10
<u>6. Bibliografía</u> .....	12

## 1. DATOS TÉCNICOS.

Tanque metóxido y aceite:

Motoreductor trifásico, 220V, 0.34hp, Vout 340 rpm.

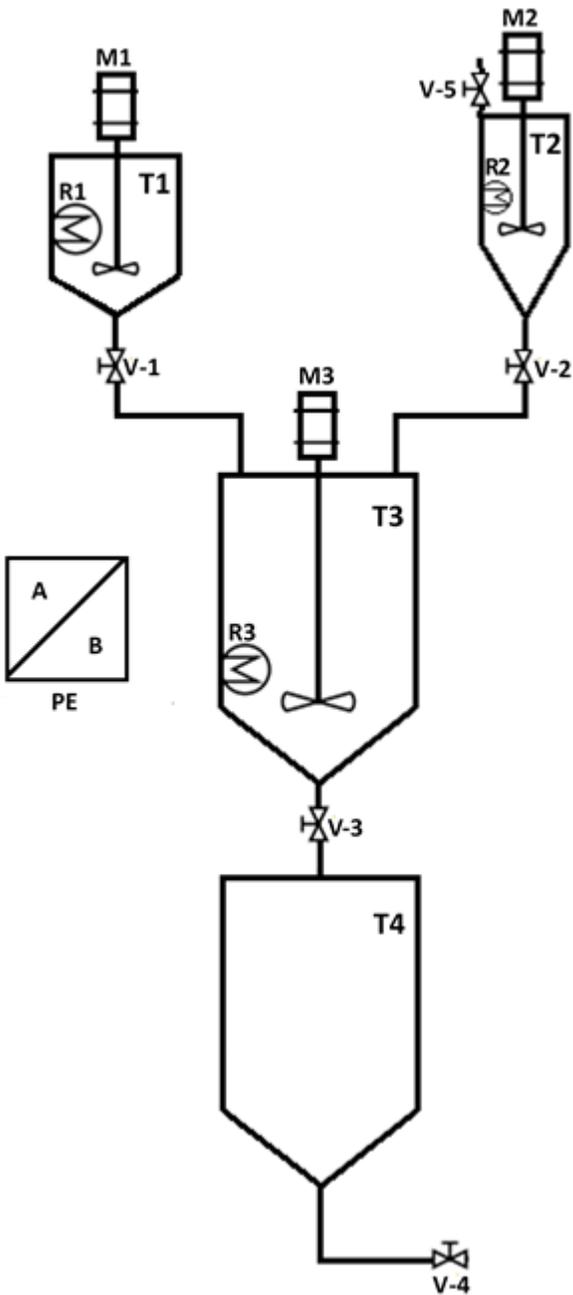
Tanque Reactor:

Motoreductor trifásico, 220V, 0.5hp, Vout 340 rpm.

TABLA DE CONVERSION HZ-RPM		
FRECUENCIA(HZ)	VELOCIDAD (RPM)	
10	57	BAJA RPM
15	85	
20	113	ZONA DE TRABAJO RECOMENDADA
25	142	
30	170	
35	198	
40	227	
45	255	
50	283	
55	312	
60	340	
65	368	
70	397	
75	425	
80	453	

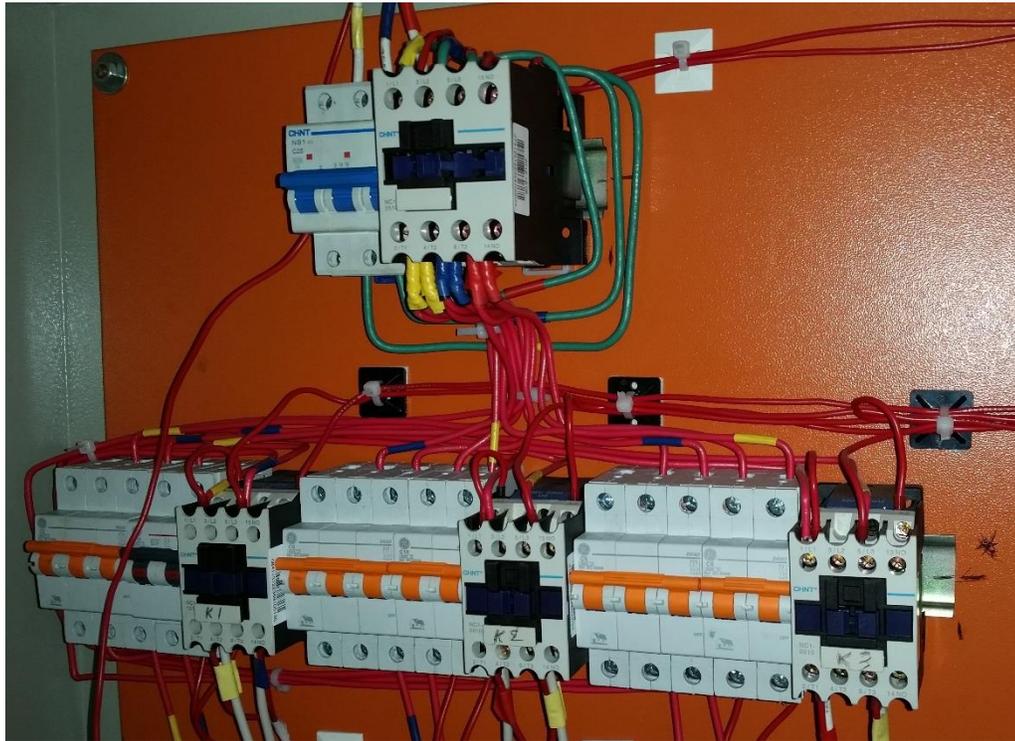
Tanque	Capacidad de los tanques (litros)
T1	20
T2	7
T3	25
T4	23

## 2. ESQUEMA REACTOR

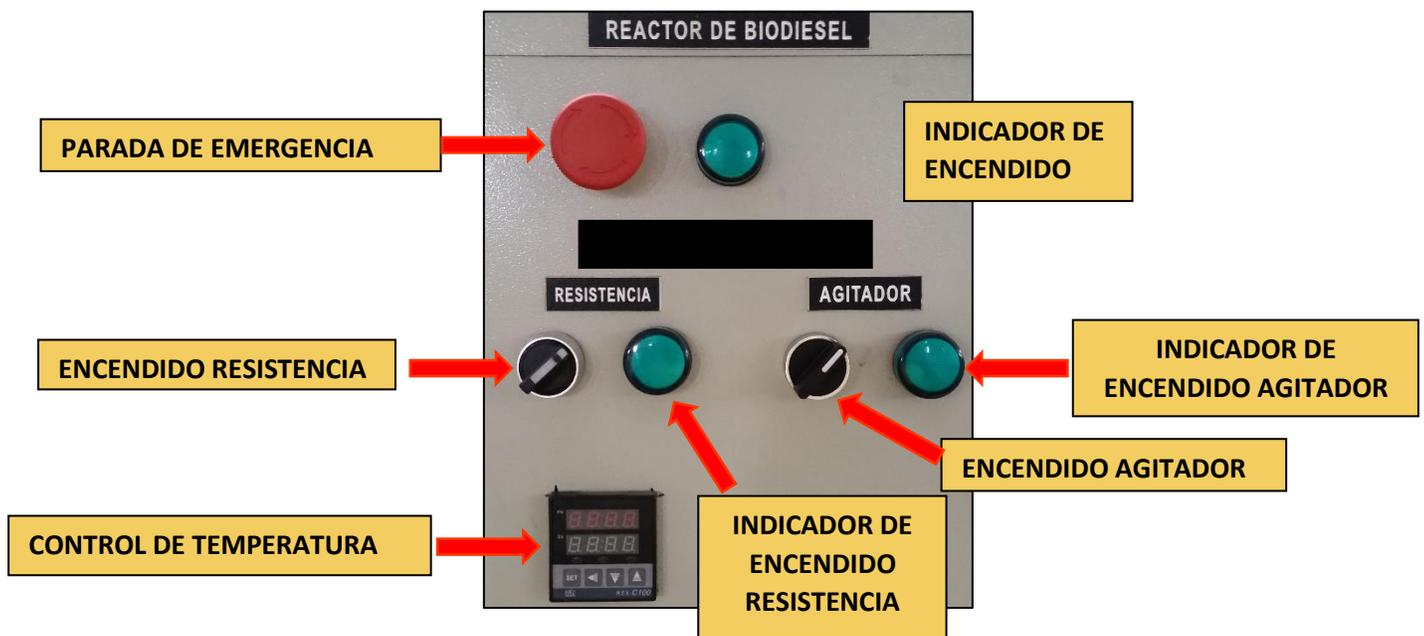


Código	Descripción
T1	Tanque de Aceite
T2	Tanque de metóxido
T3	Reactor
T4	Tanque decantador
PE	Panel eléctrico
M1-M3	Motores
R1-R3	Resistencias
V1-V5	Válvulas

## INTERRUPTORES PARA ENCENDIDO

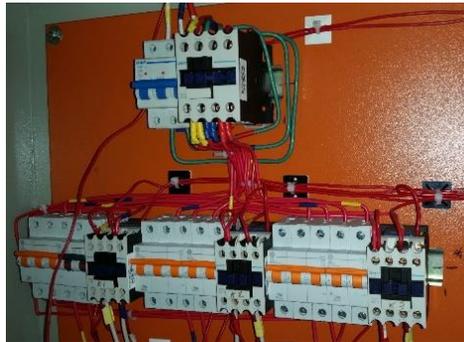


## ESQUEMA PANEL DE CONTROL REACTOR



## 3. OPERACIÓN

### 3.1 SISTEMA DE ENCENDIDO Y APAGADO



- Cada vez que se vaya a utilizar el reactor se debe hacer la verificación del estado del sistema electrónico, comenzando por las conexiones del tablero de control y su calibración para la toma de temperaturas, para que las mediciones de los controladores sean acordes a lo que sucede en los tanques, además se recomienda verificar el estado de las termocuplas.

### 3.2 TRANSESTERIFICACIÓN

Se deberán tener en cuenta algunos pasos para la utilización del reactor:

- Asegurarse de que todas las válvulas que entran al reactor (T3) y salen de él están cerradas (V1, V2 y V3).
- Almacenar aceite en T1 (previamente colado), depositar manualmente el aceite por la boquilla del tanque de aceite, encender la resistencia (R1) para realizar un precalentamiento del aceite a 50°C.
- Después del precalentamiento del aceite abrir válvula que comunica el tanque del aceite con el reactor (V1) para que el aceite caiga al reactor (T3), encender la resistencia (R3) y el motor de agitación del reactor (M3) y mantener el aceite a 50°C con agitación constante.

- Usar un mínimo de 15 litros de aceite o una cantidad que cubra por completo la resistencia para que esta no se malogre.
- Mezclar en el tanque de metóxido (T2) el catalizador (KOH) con el alcohol (metanol) en las proporciones calculadas, se vierten manualmente en el taque por una boquilla en la parte superior y cerrar válvula (V5). Encender el motor M2 y agitar hasta que el catalizador se disuelva (mínimo 15 minutos).
- Evitar respirar vapores del alcohol o catalizador, ni manipularlos con las manos, ya que ambos son dañinos.
- Sellar con teflón en las conexiones para evitar escape de los gases formados por el metanol y el catalizador.
- Registrar las cantidades de insumos utilizados (aceite, metanol y catalizador) y cualquier otro parámetro que afecte la reacción.
- Cuando el aceite llegue a los 50°C, se debe abrir la válvula que comunica el tanque de metóxido con el reactor (V2).
- Transferido todo el metóxido al reactor, cerrar la válvula (V2).
- Dejar la mezcla en agitación por 1.5 horas manteniendo una temperatura constante.
- Abrir la válvula que comunica el reactor con el tanque decantador (V3) drenar la mezcla en el tanque de decantador (T4).
- Apagar el equipo y dejar reposar hasta el día siguiente (mínimo 8 horas).
- Luego del reposo, se habrán separado dos productos: el biodiésel (arriba) y la glicerina (abajo).
- Drenar primero la glicerina abriendo la válvula V4. Almacenar la glicerina en un recipiente aparte. La glicerina se reconoce por su color marrón oscuro y porque es bastante viscosa (espesa). Cuando el líquido se empieza a aclarar y hacer menos espeso, es que ya está saliendo una mezcla de glicerina y biodiésel. En este momento, se deben cerrar las válvulas, esperar unos segundos a que el contenido del reactor se asiente y, luego, volver a abrirla ligeramente, para drenar lo último que quede de glicerina.

- En el proceso de drenaje de la glicerina, usar una máscara protectora para vapores y evitar respirar cualquier emanación, ya que la glicerina sigue conteniendo cantidades significativas de metanol. Es preciso utilizar guantes.

### 3.3 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 biodiésel 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.

## 4. MEDIDAS DE SEGURIDAD

Debido a que se trabajará con insumos químicos peligrosos, se deberá tener algunas medidas de seguridad respecto a la ropa y al equipamiento a utilizar para el funcionamiento del reactor, así mismo se debe tener en cuenta el contacto entre los diferentes materiales y los químicos utilizados. A continuación, el equipamiento básico para operar el reactor.

### 4.1 GUANTES:

- Emplear guantes de caucho o de nitrilo (preferiblemente) mientras se esté trabajando con metanol y con KOH o NaOH.
- Lavar los guantes después de manipular el KOH o NaOH con abundante agua, debido que estas sustancias atacan el caucho.
- Utilizar guantes de cuero cuando se trabaje con superficies calientes.

#### 4.2 MÁSCARA:

- Usar máscara con respirador para gases orgánicos y para partículas.
- Utilizar la máscara obligatoriamente a la hora de trabajar con metanol y con KOH o NaOH.

#### 4.3 LENTES PROTECTORES:

- Portar lentes de protección cuando se trabaje con metanol y con KOH o NaOH.

#### 4.4 DELANTAL:

- Uso obligatorio en todo momento.

#### 4.5 BOTAS:

- Botas de caucho.

#### 4.6 EXTINTORES:

- Se debe contar con extintores de espuma o de polvo seco.
- Ubicarlos en lugares de fácil acceso y adecuadamente marcados.

### 5. SOLUCIÓN A PROBLEMAS FRECUENTES

Problema	Posible causa	Solución
No se da separación entre biodiésel y glicerina luego de la transesterificación	No se agregó suficiente metanol al aceite.	Revisar el registro de insumos utilizados y verificar que la cantidad de metanol utilizada sea al menos de un 20% del aceite usado. Si hay duda al respecto, añadir más metanol al lote de biodiésel, calentar a 50 °C y mezclar por 1 hora más.
	No se agregó suficiente catalizador para que se diera la reacción.	Revisar el registro de insumos utilizados y verificar que la cantidad de catalizador corresponda a lo requerido según la acidez del aceite. Si hay dudas al respecto, añadir más catalizador disuelto en una pequeña cantidad de metanol al lote de biodiésel, calentar a 50°C y mezclar por 1 hora más.
	Alguno de los insumos (metanol o catalizador) se encuentra vencido o no es el apropiado.	Verificar los envases de los insumos para determinar que sean los apropiados, se encuentren dentro de la fecha de expiración, tengan buen estado y estén adecuadamente guardados (el NaOH o KOH no deben estar en contacto con el aire o agua). Hacer una prueba pequeña de biodiésel para verificar si ahí funcionan los insumos.
	La determinación de acidez del aceite no se hizo adecuadamente,	Volver a titular el aceite para verificar que su acidez sea la correcta y corregir la cantidad de catalizador añadido en caso haga falta

	por lo que falta o sobra catalizador en la reacción.	
Cuando se hace la prueba de lavado, se forma una emulsión de biodiésel y agua que no se puede separar	No se dejó la mezcla reaccionar durante suficiente tiempo.	Volver a calentar a 50 °C la mezcla de aceite, metanol y catalizador y dejar en agitación durante 1 hora más.
	No se agregó suficiente catalizador para que la reacción sea completa.	Revisar el registro de insumos utilizados y verificar que la cantidad de catalizador corresponda a lo requerido según la acidez del aceite. Si hay duda al respecto, añadir más catalizador disuelto en una pequeña cantidad de metanol al lote de biodiésel, calentar a 50 °C y mezclar por 1 hora más.
	No se agregó suficiente metanol al aceite y la reacción no ha sido completa.	Revisar el registro de insumos utilizados y verificar que la cantidad de metanol utilizada sea al menos un 20% del aceite usado. Si hay duda al respecto, añadir más metanol al lote de biodiésel, calentar a 50 °C y mezclar por 1 hora más.
	La determinación de acidez del aceite no se hizo adecuadamente, por lo que falta o sobra catalizador en la reacción.	Volver a titular el aceite para verificar que su acidez sea la correcta, y corregir la cantidad de catalizador añadido en caso haga falta. Volver a poner la mezcla a reaccionar durante 1 hora más.
	Alguno de los insumos (metanol o catalizador) se encuentra vencido o no es el apropiado, y la reacción no ha sido completa.	Verificar los envases de los insumos para comprobar que sean los apropiados, se encuentren dentro de la fecha de expiración, se encuentren en buen estado y adecuadamente guardados (el NaOH o KOH no deben estar en contacto con el aire o agua). Hacer una prueba pequeña de elaboración de biodiésel para corroborar si funcionan los insumos.
Cuando se abre la válvula inferior del reactor para sacar la glicerina, no sale nada	La tubería de salida del reactor se puede haber obstruido con glicerina o jabón solidificados.	Utilizando guantes de jebe y con un balde debajo, introducir un alambre por la tubería de salida y tratar de remover la sustancia que haya quedado atorada.
En la transesterificación, en lugar de biodiésel y glicerina, se obtiene un producto lechoso o jabonoso	El aceite o alguno de los insumos contenían agua, por lo que se produjo jabón en lugar de biodiésel.	Este lote de aceite se pierde. Controlar adecuadamente la calidad de los insumos antes del proceso.
Cuando enciendo el motor de agitación del reactor, este no gira	El reactor se encuentra desconectado.	Verificar la conexión a la toma de corriente.
	El fusible se quemó.	Verificar el estado del fusible correspondiente ubicado en la parte delantera del panel de control del reactor y, de ser necesario, reemplazarlo por uno nuevo.
	El motor está atascado.	Apagar el interruptor del motor y, manualmente, dar un par de vueltas al eje del motor para desatascarlo. Volver a encender el interruptor.
	Hay un problema eléctrico en el reactor	Llamar a un técnico especializado para revisar el sistema eléctrico.

[1]

## 6. BIBLIOGRAFÍA

[1]. Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala/ Fernando Acosta, Paula Castro, Elsa Cortijo. - Lima: Soluciones Prácticas-ITDG; 2008