



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“DISEÑO DE UN BIORREACTOR PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL USANDO  
GRASA ANIMAL DEL CAMAL MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE AMBATO”**

**Trabajo de Titulación para obtener el grado académico de**

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: DIEGO ANDRÉS CISNEROS GALARZA**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2015**





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“DISEÑO DE UN BIORREACTOR PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL USANDO  
GRASA ANIMAL DEL CAMAL MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE AMBATO”**

**Trabajo de Titulación para obtener el grado académico de  
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: DIEGO ANDRÉS CISNEROS GALARZA**

**TUTORA: Dra. Yolanda Díaz**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2015**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS**

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación:

**“DISEÑO DE UN BIORREACTOR PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL USANDO GRASA ANIMAL DEL CAMAL MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE AMBATO”**, de responsabilidad del egresado Sr. Diego Andrés Cisneros Galarza, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dra. Nancy Veloz		
<b>DECANO DE LA</b>	.....	.....
<b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>		
Ing. Fernanda Rivera		
<b>DIRECTORA ESC.</b>	.....	.....
<b>CIENCIAS QUÌMICAS</b>		
Dra. Yolanda Díaz	.....	.....
<b>TUTOR DE TESIS</b>		
Dra. Mayra Espinoza	.....	.....
<b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		
<b>NOTA DE TESIS</b>	.....	

Yo, **Diego Andrés Cisneros Galarza**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en ésta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

---

**DIEGO ANDRÉS CISNEROS GALARZA**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por la vida y el haberme permitido llegar a este punto de mi vida donde con empeño y dedicación voy a lograr cumplir este gran sueño en mi vida.

A mis padres Galo y Cristina que siempre estuvieron conmigo en todos estos años brindándome su apoyo incondicional en mi día a día para así lograr cumplir con mis metas.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme abierto sus puertas y haberme enseñado la ciencia de mi carrera

De igual manera agradezco a todas las personas que conocí en el transcurso de mi vida universitaria que de una u otra manera fueron un apoyo para que esta investigación se haya concluido satisfactoriamente.

Por último, por su ayuda, por su tiempo y la dedicación que le prestaron a mi trabajo de investigación, doy mi más sincero agradecimiento a la Dra. Yolanda Díaz y a la Dra. Mayra Espinoza. Que con su experiencia y conocimiento supieron guiarme para la realización y conclusión del presente trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

### ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados
g	Gramos
L	Litros
ASTM	American Society for Testing and Material Standard
Cst	CentiStokes
ppm	Partes por millón
Kcal/L	Kilocaloría por Litro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
NaOH	Hidróxido de Sodio
KOH	Hidróxido de Potasio
°API	American Petroleum Institute
Kg/m <sup>3</sup>	kilogramo por metro cubico
mm <sup>2</sup> /s	Milímetro cuadrado por segundo
mg/kg	Miligramo por kilogramo
Min	Mínimo
Max	Máximo
Mg	Magnesio
Ca	Calcio
Na	Sodio
K	Potasio

V	Volumen
Q	Calor Transmitido
U	Coficiente global de Transferencia de Calor
$\Delta T$	Gradiente de Temperatura
p	viscosidad del fluido
$\mu$	Densidad del fluido
fc	Factor de Corrección
NRe	Número de Reynolds
Np	Número de Prandt
$\emptyset$	Diametro
Pa.s	Pascales por segundo
Ap	Alto de la paleta
Er	Espesor del rodete
DF	Distancia del fondo del tanque con el rodete
Hp	Caballos de Fuerza
mL	mililitros
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
IPCC	Panel Intergubernamental del Cambio Climático
ONU	Organización de las Naciones Unidas
EEUU	Estados Unidos
GEI	Gases de Efecto Invernadero
UE	Unión Europea

PIB      Producto Interno Bruto

cc      Centímetro cúbico

EEUU    Estados Unidos

psi      Pounds Square Inch

cp      Caloric power

rpm     Revoluciones por minuto

GE      Gravedad Específica

CEDINET Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Cuadro comparativo de propiedades de Biodiesel y Diesel de Petróleo

Tabla 1-2: Especificaciones de calidad para Biodiesel (B100)

Tabla 1-3 Especificaciones para Biodiesel

Tabla 1-4: Tipos de Mezcladores

Tabla 2-1 Determinación de la densidad de la grasa animal líquida

Tabla 2-2 Determinación de la viscosidad de la grasa animal líquida

Tabla 2-3 Determinación de la capacidad calorífica de la grasa animal líquida

Tabla 2-4 Balance de Masa de Obtención de Biodiesel por transesterificación

Tabla 2-5 Determinación de pH

Tabla 2-6 Determinación de Densidad

Tabla 2-7 Determinación de Viscosidad

Tabla 2-8 Determinación de Humedad

Tabla 2-9 Determinación de Gravedad API

Tabla 2-10 Determinación de Fósforo

Tabla 2-11 Determinación de Acidez

Tabla 2-12 Determinación de Punto de Ebullición

Tabla 2-13 Determinación de Índice de Cetano

Tabla 3-1 Volúmenes de grasa producidos en el camal de Ambato

Tabla 3-2 Volúmenes promedio de grasa producidos en el camal de Ambato

Tabla 3-3 Propiedades Físico Químicas de la grasa animal

Tabla 3-4 Cantidad de Producto por 500 mL de Aceite

Tabla 3-5 Cantidad de Reactivos Utilizados por cada 500 mL de Aceite

Tabla 3-6 Cantidad de Agua de Lavado

Tabla 3-7 Análisis Físico químico del biodiesel obtenido

Tabla 3-8 Dimensiones del Biorreactor

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Aumento de la temperatura global

Gráfico 1-2: Reacción de Transesterificación de un triglicérido

Gráfico 1-3: Dimensiones del tanque del reactor

Gráfico 2-1 Tanques cilíndricos de almacenamiento de grasa

Gráfico 2-2 Nomograma de Índice de Cetano

Gráfico 2-3 Correlaciones de potencia para impulsores y deflectores

Gráfico 3-1 Diseño de Biorreactor para obtención de Biodiesel

Gráfico 3-2 Diseño en 3D del Biorreactor para Obtención de Biodiesel

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Obtención de biodiesel por transesterificación

ANEXO 2: Propiedades físico químicas del biodiesel obtenido

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1.....	1
1 MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Marco Filosófico o Epistemológico de la investigación .....	1
1.2 Antecedentes de la Investigación.....	2
1.2.1 Cambio Climático.....	2
1.2.2 El Efecto Invernadero.....	4
1.2.3 La Cumbre de Copenhague.....	5
1.2.4 Los biocombustibles como solución a los problemas de contaminación.....	6
1.2.5 Antecedentes históricos en la producción de biodiesel.....	6
1.3 Bases Teóricas.....	8
1.3.1 Generalidades sobre Biodiesel.....	8
1.3.1.1 Biodiesel.....	8
1.3.1.2 Materias primas para producción de biodiesel.....	10
1.3.1.3 Aplicaciones del Biodiesel.....	13
1.3.2 Tecnología para la obtención de biodiésel.....	15
1.3.2.1 Reacción de Transesterificación.....	15
1.3.2.2 Materias Primas.....	16
1.3.2.3 Características de Biodiesel.....	18
1.3.3 Biorreactor.....	18
1.3.3.1 Proceso Continuo.....	19
1.3.3.2 Proceso Discontinuo o Batch.....	19
1.3.4 Clasificación de Reactores.....	20
1.3.4.1 Componentes de un Reactor tipo Batch o Discontinuo.....	21
1.3.4.2 Diseño de Biorreactores.....	22
CAPÍTULO 2.....	25
2 Metodología.....	25
2.1 Parte Experimental.....	25
2.1.1 Determinación de volumen de grasa que produce el camal de Ambato.....	26
2.1.2 Obtención de biodiesel usando grasa animal.....	27
2.1.2.1 Determinación de la muestra y sus propiedades físico químicas.....	27
2.1.2.2 Obtención de biodiesel.....	29
2.1.2.3 Procedimiento para la obtención de biodiesel por transesterificación.....	30

2.1.2.4	Cuantificación de productos obtenidos.....	31
2.1.2.5	Determinación de propiedades físico químicas del biodiesel.....	32
2.1.3	Diseño del biorreactor batch para obtención de biodiesel.....	37
2.1.3.1	Cálculos de diseño para los componentes el reactor batch.....	37
CAPÍTULO 3.....		43
3	Resultados y Discusión.....	43
3.1	Volumen de Grasa Generado en el Camal Municipal de Ambato.....	43
3.2	Producción de Biodiesel.....	45
3.3	Propiedades Físico Químicas del biodiesel y grasa animal.....	46
3.4	Dimensiones de los componentes del Reactor Batch Agitado.....	47
3.5	Diseño en 2D y 3D del Reactor Batch Agitado.....	48
CONCLUSIONES.....		51
BIBLIOGRAFÍA.....		52
ANEXOS.....		54

## **RESUMEN**

En el presente trabajo de investigación se diseñó un biorreactor para obtención de biodiesel mediante el uso de grasa animal; es un residuo no aprovechable producto del faenamiento de las reses del camal de la ciudad de Ambato en la provincia de Tungurahua. Para lo cual fue necesario determinar el volumen diario de grasa, y encontramos mediante mediciones diarias que se generaba un promedio de 276 Litros por día. Este valor fue útil para el diseño del reactor, equipo que mediante una reacción química de interés genera un producto, donde se controlan las condiciones específicas para maximizar la conversión. El biodiesel es un biocombustible con las mismas propiedades del diesel convencional pero está hecho de productos orgánicos, y sus emisiones a la atmósfera están libres de contaminantes. Fue obtenido por transesterificación de un triglicérido, en este caso la grasa de desecho. Se necesitaron 1.9 gramos de hidróxido de Sodio y 100 mililitros de metanol por cada 500 mililitros de grasa para que se obtengan 430 mililitros de biodiesel. Esta relación es la ideal para grasa animal que fue encontrada en anteriores trabajos de investigación académicos. Después de la obtención decidimos realizar un análisis físico químico para conocer sus propiedades. Encontramos que los parámetros están dentro de los límites permisibles para la norma INEN 2482: 2009 para biodiesel; a excepción de la viscosidad. Con esta información se diseñó el biorreactor en dos y tres dimensiones para producir 321 litros de biodiesel al día con un rendimiento de reacción de 71.66%. Este proyecto trae beneficios ambientales y económicos para el Gobierno Autónomo Descentralizado de la ciudad de Ambato y es una iniciativa para promover la producción de biocombustibles en el país.

## **PALABRAS CLAVES**

<BIORREACTOR><BIODIESEL><TRANSESTERIFICACIÓN><TRIGLICÉRIDO  
[grasa animal] ><ENERGÍA ALTERNATIVA><APROVECHAMIENTO><GESTIÓN  
DE RESIDUOS>

## **ABSTRACT**

Through the present research designed a bio reactor to obtain diesel from animal fat which is a residue not used of cattle slaughter al camal of Ambato city – Tungurahua province. There by it was necessary to determinate the daily volumen of fat. Trough dialy measurements it was posible to determinate 276 liters of fat that are obtained everyday, whose value was useful for designing the reactor. A chemical reaction generates a product through the equipment in which the specific conditions are controlled to msximize the conversión. The biodiesel is a combustible with the same properties of the conventional one. It is made with organic products doing its emissions toward the atmosphere do not have pollutants. The combustible was obtained by the transesterification of a triglyceride by discarding the fat. On the other hand 1.9 gr of sodium hydroxide and 100 mililiters of metanol for each 500 mililiters of fat were required to obtain 430 mililiters of biodiesel. This ideal relation for animal fat was found in prior academic researches. After obtaining the fuel decided to make physicochemical analysis to know its properties. The parameters found are according to the allowed limits by norm INEN 1248: 2009 for biodiesel with an exception of viscosity. By using this information the biorreactor was made in two and three dimensions to produce 321 liters of biodiesel daily with a performance in terms of reactivity of 71.66%. The Project allows getting enviromental and economic benefits for Gobierno Autonomo Descentralizado of Ambato city motivating the production of biofuel in the country.

## **KEY WORDS**

<BIORREACTOR><BIODIESEL><TRANSESTERIFICATION><TRIGLICERIDE  
[animal fat]><ALTERNATIVE ENERGY><ADVANTAGE><WASTE  
MANAGEMENT>

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad los problemas de contaminación ambiental son inminentes y la consecuente búsqueda de energías alternativas limpias ha llevado a la producción de biocombustibles.

Protocolos y acuerdos internacionales como el de Kyoto han acordado con los países tratantes reducir sus emisiones de gases contaminantes a la atmósfera en el periodo comprendido entre los años 2008 y 2009 en un 1.8%. Esto es viable si los países industrializados toman medidas de control sobre sus procesos industriales optando por tecnologías limpias y tratando en lo posible de utilizar materias primas libre de sustancias tóxicas para el ambiente.

Las emisiones a la atmósfera producidas por los automotores en las ciudades de todo el mundo son en mayoría los causantes del calentamiento global que afecta al planeta con la elevación de la temperatura, debido a que estos gases no salen de la atmósfera y de esta manera suben la temperatura global de manera progresiva.

Estos biocombustibles buscan reemplazar el consumo de los combustibles fósiles, a causa de que el biodiesel tiene un bajo impacto ambiental en comparación con el resto de combustibles derivados del petróleo.

El biodiesel resulta ser un combustible ideal por que presenta propiedades similares al del combustible derivado de petróleo, ambos se pueden mezclar en cualquier proporción y no presenta problema alguno en la combustión sino más bien beneficios ambientales debido a su baja emisión de contaminantes a la atmósfera, además que es biodisponible considerando de que estos son extraídos de materias primas vegetales o animales y residuos no aprovechables.

Hoy en día las empresas están comprometidas con la reducción de la contaminación controlando sus emisiones, modificando sus procesos por técnicas de producción más limpias y enfocadas al aprovechamiento de residuos. El aprovechamiento de residuos es el proceso por el cual el manejo integral de la basura le da un valor agregado a lo que anteriormente se consideraba un desecho.

En nuestra investigación el enfoque se dirige al aprovechamiento de un residuo en particular que es la grasa animal. Grasa que es producida diariamente en grandes

volúmenes y que la municipalidad de Ambato no da tratamiento alguno convirtiéndose en un residuo no aprovechable.

Es posible la transformación de esta grasa mediante la reacción de transesterificación en condiciones específicas y transformarla en biodiesel dentro de un reactor que maximiza la conversión. El objetivo de nuestra investigación es probar que la obtención de biodiesel usando grasa animal es posible y que la misma puede llevarse a cabo en volúmenes grandes mediante el diseño de un reactor.

De esta manera la empresa pública se ve beneficiada económica y ambientalmente al tratar un residuo que se pensaba era inaprovechable y convertirlo en un producto de interés común.

## **ANTECEDENTES**

La producción de residuos se incrementa día a día en la ciudad de Ambato conforme la población crece y el consumismo aumenta. Existe un desconocimiento en la población acerca del reaprovechamiento de residuos sólidos en la actualidad, y el beneficio de recuperar y aprovechar un residuo que es considerado no aprovechable, para ser utilizados como materia prima en la elaboración de nuevos bienes o elementos útiles para el ser humano. El camal municipal de Ambato uno de los más grandes de la zona central del País que está ubicado en el parque industrial, está a las órdenes del Gerente General el Ing. Eduardo Crespo y funciona con total normalidad para la ciudadanía y el país. En el mismo se faenan un promedio diario de 133 reses. El proceso de faenamiento tiene un subproducto de gran utilidad, la grasa, la cual es desechada los días donde hay faenamiento en tanques de almacenamiento para finalmente ser eliminado al final del día. El desconocimiento general de la utilidad de ciertos subproductos que son considerados desechos, nos lleva a un problema de un aumento de residuos sólidos en las ciudades de todo el mundo. Se conoce que más de la mitad de la basura total en la ciudad de Ambato está conformada por residuos sólidos orgánicos. Es por esta razón que la grasa del camal la queremos reutilizar y convertirla en biodiesel por medio de reacciones químicas y adición de sustancias que intervienen en este proceso. Actualmente, con la intensa explotación petrolera en todo el mundo se estima que se agotará por completo la explotación de este recurso. Este es un gran problema porque existe un gran número de máquinas y automotores que trabajan con combustibles derivados del petróleo. Es por esto que surge la alternativa de buscar nuevas formas de combustibles que sean derivados de plantas y animales, con un bajo costo y que su impacto ambiental sea mínimo en comparación a los combustibles convencionales. El biodiesel se puede extraer de plantas, aceites vegetales y grasas. Con la utilización de este subproducto estamos evitando problemas de contaminación ambiental por materia orgánica en suelos y agua, y además de esto trae beneficios ambientales y económicos para el Gobierno Autónomo descentralizado de la ciudad de Ambato.

## **JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad la comunidad mundial sigue en busca de alternativas para frenar el problema de la contaminación ambiental que está presente en el planeta día a día y afecta nuestros recursos naturales y a la salud de las personas. La falta de aprovechamiento de los residuos sólidos necesita una solución inmediata debido al alto nivel de contaminación y afecciones a la salud que esto genera, además, se conocen diferentes alternativas y con buenos resultados.

En los últimos años se ha dado mucha importancia a los temas que contemplen el aprovechamiento de residuos implementando diversos métodos para el tratamiento de residuos orgánicos, siendo en nuestro caso la transformación por medio de la reacción química de transesterificación de la grasa animal en biocombustible una gran alternativa para solucionar problemas ambientales, por lo cual la investigación se basa en el diseño de un biorreactor que permita el aprovechamiento de las características de estos residuos en este caso la grasa animal. Esta investigación ayudaría a la empresa municipal debido a que no se utiliza la grasa y se convierte en un desecho inservible. Gracias al diseño de un biorreactor que transforme este residuo en biocombustible se podría generar una alternativa de energías limpias y una solución al problema de los residuos existentes en el camal municipal de Ambato beneficiándolo económica y ambientalmente.

La investigación es aplicable ya que se trata del diseño de un biorreactor que contempla planos y medidas reales para la futura construcción del mismo, los gastos que contemplaron las diferentes pruebas y ensayos en laboratorio para la obtención de parámetros de diseño además de los cálculos de ingeniería que estos requirieron fueron costeados con recursos propios, sin embargo, de ser requerida a futuro la construcción y puesta en marcha del biorreactor, el Camal Municipal de la ciudad de Ambato cuenta con amplias zonas de terreno para la construcción del reactor; y además se obtuvo la aprobación de la realización de la presente investigación y el acceso y la información necesaria por parte de la Municipalidad de Ambato entidad que maneja el Camal Municipal.

La presente investigación ofrece una innovadora idea en el tema de aprovechamiento de residuos y busca dar una alternativa a los combustibles fósiles que se han venido usando a lo largo de los años, y que gran parte de la contaminación ambiental es causada por el uso de estos combustibles, en el país la mayor fuente de contaminación existente es

producida por los gases de combustión provenientes de automotores. Vehículos terrestres, aviones y el uso de combustibles derivados del petróleo, son los grandes culpables de que hoy suframos la contaminación ambiental como un grave problema mundial. Convenciones como la de Kioto en la que se llegó al acuerdo de la nueva búsqueda de energías alternativas y que plantea como eje fundamental la desutilización de combustibles fósiles nos motiva a buscar nuevas soluciones al problema de la contaminación y el calentamiento global. El biodiesel siendo un combustible de origen vegetal o animal reduce considerablemente los efectos de la contaminación atmosférica reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub>; elimina la lluvia ácida debido a que no contiene azufre, y por lo tanto reduce la contaminación del suelo y la toxicidad.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar un biorreactor para la obtención de biodiesel usando grasa animal en el camal municipal de Ambato

### **Objetivos Específicos**

- Determinar el volumen de grasa diario y semanal que es producido en el camal municipal de Ambato.
- Obtener y caracterizar el biodiesel a partir de la grasa animal en el camal municipal de la ciudad de Ambato.
- Realizar el dimensionamiento de los componentes del biorreactor.

# CAPÍTULO 1

## 1. MARCO TEÓRICO

### *1.1 Marco Filosófico o Epistemológico de la Investigación*

El punto de partida filosófico se considera desde la importancia del Ambiente para el ser humano como un ser que interactúa y se desarrolla dentro de él, en tal sentido mencionamos el pensamiento de algunos filósofos:

Herbert George Wells considera que una ley natural que olvidamos es que la versatilidad intelectual es la compensación por el cambio, el peligro y la inquietud. Un animal en perfecta armonía con su medio ambiente es un perfecto mecanismo.

Para Kofi Annan salvaguardar el medio ambiente es un principio rector de todo nuestro trabajo en el apoyo del desarrollo sostenible; es un componente esencial en la erradicación de la pobreza y uno de los cimientos de la paz.

Jane Goodall nos dice que finalmente nos hemos dado cuenta del terrible daño que hemos ocasionado al medio ambiente, estamos extremando nuestro ingenio para hallar soluciones tecnológicas.

Fidel Castro considera que es necesario señalar que las sociedades de consumo son las responsables fundamentales de la atroz destrucción del medio ambiente. Ellas nacieron de las antiguas metrópolis coloniales y de políticas imperiales que, a su vez, engendraron el atraso y la pobreza que hoy azotan a la inmensa mayoría de la humanidad.

Según Víctor Hugo produce una inmensa tristeza pensar que la naturaleza habla mientras el género humano no la escucha.

John Woolman determina que afirmar que amamos a Dios sin verle y al mismo tiempo ejercer crueldad hacia la más diminuta criatura que se mueve por su vida o por la vida derivada de él es una contradicción en sí misma.

Joaquín Araujo comparte su pensamiento y nos dice que quien planta árboles está al lado de la eternidad. Nuestra codicia legítima de más bosques es la búsqueda de una humanidad más humana

Santiago Kovadloff determina que durante centenares de miles de años, el hombre luchó para abrirse un lugar en la naturaleza. Por primera vez en la historia de nuestra especie, la situación se ha invertido y hoy es indispensable hacerle un lugar a la naturaleza en el mundo del hombre

## **1.2 Antecedentes de la Investigación**

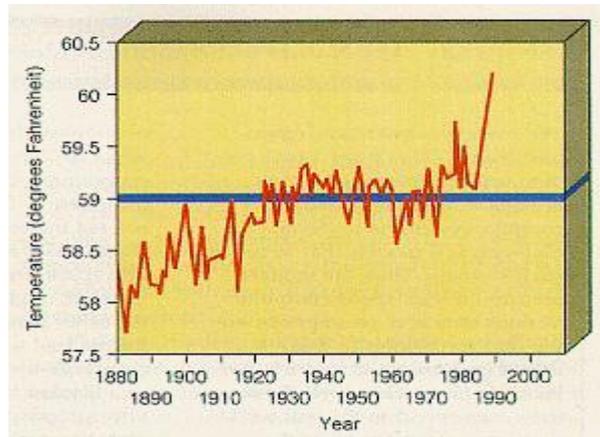
### ***1.2.1 Cambio Climático***

Según Benjumea: “El ser humano está cambiando el clima del planeta Tierra. Por encima de las incertidumbres relacionadas a los cambios repentinos del clima en la Tierra, los científicos han reunido suficientes pruebas que indican que se llevará a extremas modificaciones en el sistema climático global durante el siglo en el que vivimos, y dichos cambios se producirán a una velocidad muy superior a cualquier otro ocurrido en los últimos diez mil años. En 1995 el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, señaló que “el balance de las evidencias sugieren una influencia humana discernible sobre el cambio climático”. Actualmente, el IPCC ha mostrado que la temperatura global se ha ido incrementando desde 1861. Durante el siglo veinte ese incremento fue de alrededor de 0.6°C. Hoy se reconoce que la década del 90 fue la década más caliente y el año 1998 es el año que presenta el record de temperaturas globales registradas. Acompañando este proceso, se ha producido una elevación en el nivel del mar que oscila entre los 10 y 20 cm”. (Benjumea, 2007)

En el ámbito internacional se observa la aparición de un consenso respecto al cambio climático, que manifiesta que seguir como hasta ahora no es una opción válida y que el mundo debe cambiarse a una economía basada en energías limpias. Algunos argumentan

que afrontar el cambio climático es un reto desalentador y que el cambio es, en cierto modo, demasiado costoso para las economías y la industria. (Secretaría de Energía de la Nación, 2015)

Gráfico 1-1 Aumento de la temperatura global



Fuente: (Secretaría de Energía de la Nación, 2015)

La gráfica 1-1 nos muestra claramente el aumento progresivo de temperatura desde el año 1800 hasta el año el 2000 donde se puede evidenciar que la temperatura ha ido creciendo conforme el paso del tiempo, en la actualidad se ven los efectos de este cambio climático en el deshielo de los glaciares en los polos que trajo por consecuencia un aumento en el nivel del mar y la disminución del hábitat de algunas especies de animales que habitan en los polos. Un grupo de expertos tuvieron una reunión en Bangkok Tailandia donde declararon que la disminución del calentamiento global tendría un precio equivalente al 0,2% del PIB mundial, y de no tomarse medidas correctoras este valor tendría un alza del 3% del PIB.

Según expertos las emisiones atmosféricas seguirán aumentando hasta el presente año y luego irán descendiendo progresivamente.

Científicos afirmaron que si se quiere tener resultados positivos acerca del problema del calentamiento global es necesario tomar medidas correctoras antes del año 2015. En este caso en la reunión en Tailandia los líderes mundiales de 120 países aprobaron un plan para frenar las emisiones de gases de efecto invernadero a través de medidas de anti calentamiento que por razones urgentes deberán ser adoptadas por los países miembros y así frenar el aumento de la temperatura en el planeta en los próximos años.

Un grupo de expertos agrupados por las Naciones Unidas advierten que el mundo tiene que luchar en contra de las grandes emisiones atmosféricas que provocan el calentamiento del planeta de manera progresiva y hace énfasis en la utilización de biocombustibles, mejorar la eficiencia de la energía, y decidimos por energías renovables.

El mundo tiene la tecnología y los recursos monetarios necesarios para hacer frente a este gran problema mundial. El plan es optar por reducir las emisiones gaseosas en un plazo de 8 años para que a partir del 2015 se mantenga en 2°C el aumento total de temperatura. (Secretaría de Energía de la Nación, 2015)

### ***1.2.2 El Efecto Invernadero***

La energía recibida por la Tierra desde el Sol, debe ser balanceada por la radiación emitida desde la superficie terrestre. En la ausencia de cualquier atmósfera, la temperatura superficial sería aproximadamente de  $-18^{\circ}\text{C}$ . De hecho, la temperatura superficial terrestre es de alrededor de  $15^{\circ}\text{C}$ . La razón de esta discrepancia de temperatura, es que la atmósfera es casi transparente a la radiación de onda corta, pero absorbe la mayor parte de la radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre. Varios componentes atmosféricos, tales como el vapor de agua, el dióxido de carbono, tienen frecuencias moleculares vibratorias en el rango espectral de la radiación de onda larga, devolviéndola a la superficie terrestre, causando el aumento de temperatura, fenómeno denominado Efecto Invernadero.

El efecto invernadero consiste en el calentamiento de la atmósfera debido a la presencia de gases que retienen el calor emitido por la superficie terrestre. La absorción del calor se produce por los llamados gases de efecto invernadero, principalmente el dióxido de carbono y el metano.

Los gases que están produciendo este calentamiento global se conocen como Gases de Efecto Invernadero (GEI). (Secretaría de Energía de la Nación, 2015).

### ***1.2.3 La cumbre de Copenhague***

En la cumbre de Copenhague se tenían grandes expectativas: se buscaba que los países desarrollados aceptaran emitir menos gases de efecto invernadero y que las potencias emergentes contuvieran su ritmo de producción. Así se evitaría un aumento en la temperatura de 2°C con respecto a los niveles preindustriales (1.2°C si se cuenta desde el 2009), que es el umbral que indica un calentamiento asumible. La 15ª Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, dice en sus conclusiones finales que la comunidad internacional debería evitar que las temperaturas aumenten los citados 2°C. La ONU ha calculado que sería necesario que los países desarrollados emitieran entre un 25% y un 40% menos que en 1990, pero las ofertas anunciadas fueron de un 17%. (Avellaneda Vargas, 2010)

El acuerdo también incluye la puesta en marcha de un plan de ayuda para que los países más desfavorecidos puedan hacer frente a los estragos del cambio climático. Los países desarrollados deberán aportar 21000 millones de euros en el período 2010-2012, aunque no especifica qué país los pondrá y quiénes los recibirán. El texto se refiere a “una variedad de fuentes” para la obtención del dinero, por lo que deja la vía libre al mercado de compraventa de emisiones o a nuevos impuestos. Las donaciones anunciadas por Japón fueron de 7700 millones de euros, la UE donó 7300 millones de euros y EEUU finalmente 2500 millones de euros han sido voluntarias. Las cantidades irían en aumento hasta llegar a 72000 millones de euros anuales en el 2020 (Avellaneda Vargas, 2010)

Frente a la gravedad del problema y sus consecuencias, el protocolo de Kioto se torna en un tímido intento y la Unión Europea ha propuesto reducir “2°C menos” para el 2020. Esta tarea es grande, compleja y requerirá decisiones radicales tanto en los países industrializados como en los países “en desarrollo”, los cuales argumentan que mientras los industrializados no disminuyan sus emisiones no harán nada al respecto porque tienen derecho “al desarrollo”. La pregunta que surge es ¿cuál desarrollo? ¿El mismo que experimentaron los países industrializados y que nos llevó a la situación actual de calentamiento? ¿Es válido ética y pragmáticamente el argumento de tener derecho a crecer contaminando porque no han cumplido la cuota de contaminación y que en teoría tienen derecho a llegar a los niveles de los habitantes de los países “desarrollados”? ¿Es ésa una buena lógica? (Avellaneda Vargas, 2010)

#### ***1.2.4 Los biocombustibles como solución a los problemas de contaminación***

Una de las mayores propuestas para frenar los problemas de contaminación que afectan hoy en día al planeta ha sido el de los biocombustibles a partir de biomasa. Estos combustibles son conocidos por poseer las mismas características de los combustibles fósiles a diferencia que estos provienen de fuentes naturales explotables.

La primera rama de los biocarburantes la constituye el bioetanol obtenido de materias primas azucaradas (caña, remolacha), amiláceas (maíz, yuca) o la celulosa. El proceso a partir de almidón y la celulosa es más complejo que a partir de sacarosa, pues implica procesos adicionales de pre tratamiento de la materia prima (algunas veces residuos vegetales de otros procesos), que pueden consistir en una combinación de trituración, pirólisis y ataque con ácidos y otras sustancias, para que la biomasa pueda ser luego atacada por enzimas hidrolizantes en reactores de fermentación. (Avellaneda Vargas, 2010)

Otra fuente para la producción de los biocarburantes y de gran interés para la realización de esta investigación es la que lo constituyen los aceites vegetales reciclados y las grasas animales, estas se pueden encontrar fácilmente en locales de comida alrededor de las ciudades y en mercados, plazas y camales municipales donde estos productos representan un problema para el usuario al tratarse de un residuo sin utilidad el cual tiene que darse un tratamiento específico para su posterior eliminación. Es ahí donde al tratarse de un problema de contaminación por residuos en esta investigación hemos encontrado una oportunidad, al darle un uso a un desecho el cual al ser convertido en biodiesel trae beneficios económicos y ambientales.

#### ***1.2.5 Antecedentes Históricos en la producción de Biodiesel***

Los biocombustibles son combustibles orgánicos debido a su procedencia, estos pueden presentarse en distintas fases, sólidos, líquidos y gas. El biodiesel un combustible de origen natural es obtenido a partir de aceites vegetales y grasas animales, se caracteriza por tener las mismas características que el diésel convencional.

En el año de 1900 el científico Rudolf Diésel fue el pionero en la utilización de aceites vegetales para el funcionamiento de su motor de ignición y compresión y sería el quien predijera el uso de biocombustibles en el futuro. Otto y Vivacqua en Brasil debido a que

en la segunda guerra mundial existía una escasez de combustibles derivados de petróleo, realizaron investigaciones sobre biocombustibles de origen vegetal.

En Europa es fabricado a partir de aceites vegetales como el de semilla de canola y el producto denominado RME en español metil éster de semilla, es utilizado en máquinas en proporciones del 5% al 20%, pero en Alemania y Austria es utilizado 100% puro para aprovechar el máximo beneficio ambiental. Hoy en día el biocombustible es fabricado industrialmente en países de Europa y Estados Unidos y Argentina en América Latina.

En América del sur, existen diversos países que se encuentran actualmente trabajando en el tema: Bolivia ha instalado una planta de producción de biodiesel de aceite de soya ubicada en la provincia de Santa Cruz; Argentina es el mayor productor de biodiesel en Sudamérica y posee diversas plantas instaladas donde utilizan aceite de soya proveniente de los excedentes de producción; Brasil, gran productor de etanol para su utilización en mezclas con gasolina, produce biodiesel de aceite de soya utilizando alcohol etílico debido a la gran producción que tiene de este insumo; y finalmente en Colombia, la Universidad de los Llanos ha trabajado a escala experimental con aceite de palma y actualmente comercializan sus productos como aditivo para motores diésel. (Bueno Molina, 2012)

En nuestro país en las últimas décadas se ha incrementado notablemente la producción de Biodiesel. Se incorporó a la política nacional el apoyo a la utilización de biocombustibles a través del decreto ejecutivo 2332, Registro Oficial 482, 15 de diciembre de 2004. En él se dictamina que es de interés nacional la producción, la utilización y la comercialización de biocombustibles, como parte complementaria de los combustibles que funcionan en automotores e industrias que trabajan con combustibles en el país.

## **1.3 Bases Teóricas**

### **1.3.1 Generalidades sobre Biodiesel**

#### **1.3.1.1 Biodiesel**

El biodiesel es un biocombustible líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo la colza, el girasol y la soja las materias primas más utilizadas para este fin. Las propiedades del biodiesel son prácticamente las mismas que las del diesel de automoción en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el biodiesel puede mezclarse con el diesel para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si logran adaptarse convenientemente. (Bastida Yañez, 2009)

El biodiesel es 100 por ciento biodegradable, porque en menos de 21 días desaparece cualquier residuo en la tierra y su toxicidad es inferior a la de la sal de mesa.

La definición de biodiesel propuesta por las especificaciones ASTM (American Society for Testing and Material Standard, asociación internacional de normativa de calidad) lo describe como: “Ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión. Sin embargo, los ésteres más utilizados, son los de metanol y etanol (obtenidos a partir de la transesterificación de cualquier tipo de aceites vegetales o grasas animales o de la esterificación de los ácidos grasos) debido a su bajo costo y sus ventajas químicas y físicas”. (Anon., 2015)

A diferencia de otros combustibles, los biocombustibles presentan la particularidad de utilizar productos vegetales como materia prima. Esto es la causa de que sea preciso tener en cuenta las características de los mercados agrícolas, junto a la complejidad que ya de por sí presentan los mercados energéticos. En este sentido, hay que destacar que el desarrollo de la industria de los biocombustibles no depende principalmente de la disponibilidad local de materia prima, sino de la existencia de una demanda suficiente. (Bastida Yañez, 2009)

Tabla1-1 Cuadro comparativo de propiedades de Biodiesel y Diesel de Petróleo

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Diesel</b>	<b>Biodiesel</b>
Poder Calorífico	Kcal/L	8.74	7.795
Densidad (15°C)	g/cc	0.820-0.845	0.860.0.900
Punto de Inflamación	°C	55(mínimo)	101(mínimo)
Azufre	ppm	350(máximo)	10(máximo)
Contaminación Total	ppm	24(máximo)	-
Agua	ppm	200(máximo)	500(máximo)
Viscosidad Cinemática	cSt	2.0-4.5	3.5-5.0

Fuente: (Bueno Molina, 2012)

Refiriéndonos a la tabla 1-1 se determina que:

1. El diesel tiene un poder calórico más alto que el biodiesel pero no hay una diferencia significativa en este valor habiendo una disminución de 0.95 Kcal/L
2. La densidad de biodiesel es apenas más alta que la del diesel convencional con un valor de 0.86 a 0.90 g/cc
3. El punto de inflamación del diesel es mayor casi duplicando el valor de inflamación del biodiesel con valores de 55 °C para diesel y 101 °C para biodiesel.
4. El contenido de azufre en biodiesel es mínimo y en diesel tenemos un contenido de 350 ppm lo cual indica que el biodiesel es amigable con el ambiente
5. El contenido de agua en biodiesel es mucho mayor que en diesel convencional

### ***1.3.1.2 Materias primas para la producción de Biodiesel***

La producción de biodiesel en su mayoría se produce de materias primas como el aceite reciclado, aceite de plantas oleaginosas y de grasas animales. Sin embargo se puede extraer de cualquier triglicérido.

A continuación se presenta una detallada información acerca de la materia prima donde se puede extraer biocombustibles.

#### *Aceites Vegetales Convencionales*

Las materias primas utilizadas convencionalmente en la producción de biodiesel han sido los aceites de semillas oleaginosas como el girasol y la colza de Europa, la soya en Estados Unidos y el coco de Filipinas; y los aceites de frutos oleaginosos como la palma (Malasia e Indonesia). Por razones climatológicas, la colza se produce principalmente en el norte de Europa y el girasol en los países mediterráneos del sur, como España o Italia. (Bastida Yañez, 2009)

#### *Aceites de Frituras Gastados*

El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costos de tratamiento como residuo. Por su parte, los aceites usados presentan un bajo nivel de reutilización, por lo que no sufren grandes alteraciones y muestran buenas características para su aprovechamiento como biocombustible. Además, como valor añadido, la utilización de aceites usados significa la buena gestión y uso del residuo. El informe sobre el marco regulatorio de los carburantes propone reciclar aceite de fritura en biodiesel. Esta alternativa es la que más ventajas tiene porque además de producir combustible elimina un residuo contaminante como es el aceite usado. (Bastida Yañez, 2009)

En la actualidad existen muchas franquicias de comida rápida en el mundo ellos representan la mayor fuente de obtención de aceites quemados y con una gestión adecuada y logística sería factible la recolección diaria de aceites para la producción de biodiesel. Además de ser una alternativa con resultados positivos para una mejor gestión de residuos considerando que el aceite es un contaminante ambiental.

### *Grasas Animales*

Además de los aceites vegetales y los aceites de fritura usados, las grasas animales, y más concretamente el sebo de vaca, pueden utilizarse como materia prima de la transesterificación para obtener biodiesel. El sebo tiene diferentes grados de calidad respecto a su utilización en la alimentación, empleándose los de peor calidad en la formulación de los alimentos de animales. La aplicación de grasas animales surgió a la prohibición de su utilización en la producción de forrajes, como salida para los mismos como subproducto. (Bastida Yáñez, 2009)

### *Composición de Aceites y Grasas*

En el trabajo de investigación de Bastida Yáñez define: “Los aceites y grasas vegetales o animales están compuestos principalmente por moléculas denominadas triglicéridos, que son ésteres de tres ácidos grasos unidos a un glicerol. Se caracterizan por ser insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos no polares. Los ácidos grasos son compuestos carboxílicos de cadena abierta alifática de C8 a C24 de longitud. Pueden ser saturados cuando no contienen dobles ni triples enlaces entre los átomos de carbono; o insaturados cuando contienen uno o más dobles o triples enlaces entre los átomos de carbono. Un ácido graso con dos o más insaturaciones se denomina poliinsaturado, es más inestable y reacciona con hidrógeno, oxígeno y otros elementos aún más fácilmente que los ácidos grasos monoinsaturados. El glicerol es un trioxialcohol, 1,2,3-propanotriol, es decir, está formado por una cadena de tres carbonos, cada uno unido a un grupo alcoholico OH.” (Bastida Yáñez, 2009)

Cuando todos los ácidos grasos de un triglicérido son idénticos, éste se denomina triglicérido simple. Sin embargo, los más comunes son los triglicéridos mixtos, en los cuales se encuentran presentes dos o tres ácidos grasos diferentes. Cuando los triglicéridos han perdido uno o dos de sus ácidos grasos, se denominan di- y monoglicéridos, respectivamente, y éstos pueden estar presentes también en aceites no refinados o ya degradados. Los aceites y grasas animales y vegetales son mezclas de triglicéridos diferentes, los cuales a su vez están compuestos frecuentemente por ácidos grasos diferentes. Sus propiedades físicas y químicas están relacionadas directamente con el número y estructura química de los ácidos grasos unidos al glicerol, así como con el grado de saturación de los ácidos grasos y su longitud de cadena. (Bastida Yáñez, 2009)

Comúnmente, las grasas se clasifican en aceites y mantecas. Los aceites son líquidos a temperatura ambiente y contienen una mayor proporción de ácidos grasos insaturados, mientras que las mantecas son sólidas a temperatura ambiente y contienen mayor proporción de ácidos grasos saturados. (Bastida Yañez, 2009).

#### *Propiedades químicas de la Grasa Animal*

**Hidrólisis:** En álcalis las grasas tienen a hidrolizarse, con lo que se tiene de producto, jabones y glicerina. Este fenómeno tiene lugar debido a un grupo de enzimas que actúan en la reacción conocidas como lipasas.

**Oxidación:** Se forman aldehídos y cetonas después de la oxidación de ácidos grasos no saturados.

**Antioxidante:** Las grasas naturales tienen una gran resistencia a la oxidación debido a la presencia de sustancia antioxidante que protegen a los ácidos grasos hasta que ellas mismas son transformadas en cuerpos inertes. Hay una serie de sustancias que poseen capacidades antioxidantes, entre ellas tenemos los fenoles, quinonas, tocoferoles, ácido gálico y galato.

**Hidrogenación:** Es el proceso mediante el cual se fija hidrógeno a los dobles enlaces de los ácidos no saturados de una grasa convirtiéndolos en los saturados correspondientes. Este proceso tiene importancia comercial, ya que, permite tener de los aceites de los vegetales y pescado grasa consistente para la fabricación de las margarinas.

#### *Propiedades físicas:*

**Carácter anfipático:** Son aquellos lípidos que se comportan como una molécula hidrófila, esto significa que atraen el agua y tienen una parte hidrófoba que repele el contenido de agua.

**Punto de fusión:** Esta propiedad depende de la cantidad de carbonos que exista en la cadena hidrocarbonada y del número de enlaces dobles que tenga esa cadena. Mayor será el punto de fusión cuanto más energía sea necesaria para romper los enlaces, es por ello que las grasas saturadas tiene un punto de fusión más alto que las insaturadas. (Bueno Molina, 2012)

### ***1.3.1.3 Aplicaciones del Biodiesel***

La más frecuente utilidad que se le otorga al biodiesel es el uso en automotores en el sector del transporte terrestre, también es útil en la generación de energía. Al ser de origen orgánico estos combustibles son beneficiosos para el ambiente ya que ayudan a reducir la contaminación atmosférica, disminuyendo las emisiones gaseosas de azufre y CO<sub>2</sub> esto hace que se cumplan los acuerdos que se trataron en el Protocolo de Kyoto. Por otra parte esto nos presenta una alternativa diferente a los tradicionales combustibles derivados del petróleo. Es de conocimiento común que el petróleo es un recurso no renovable y que tiende a agotarse en nuestro país, de darse el caso, los combustibles tendrán que ser reemplazados por biocombustibles a base de productos orgánicos, esto daría una ventaja económica a los productores rurales y agricultores.

Las aplicaciones más destacadas del biodiesel las citamos a continuación:

#### *Combustión en Calderas*

Esta aplicación no cuenta con especificaciones para biodiesel, es decir que puede ser quemado libremente en calderas de cualquier tipo en las industrias que lo requieran para la obtención de energía, sin realizar algún cambio o incluir aditivos.

#### *Calefacción en casas y hogares*

Existen calefactores en el mercado que funcionan a base de diesel convencional que puede funcionar con biodiesel sin ningún inconveniente, tomando en cuenta ciertas precauciones como revisar que todos los materiales que entren en contacto con el biodiesel estén en buenas condiciones, de no ser así, deberán ser sustituidos por nuevos materiales, o materiales más resistentes. Si el depósito de biocombustible se encuentra en el exterior de la vivienda se recomienda mezclarlo con diesel de petróleo para bajar su punto de congelamiento y evitar que el biodiesel se solidifique a bajas temperaturas. Al igual que la gasolina para automóvil, el biodiesel usado en el calefactor deberá estar correctamente lavado, secado y filtrado. Aunque en principio una caldera pueda parecer menos exigente, se evita daños a medio y largo plazo.

### *Motores diesel estacionarios para generación de energía eléctrica*

Existen generadores de energía en el mercado, móviles o estacionarios que pueden funcionar con biodiesel con toda normalidad sin el uso de ningún aditivo, además es económico, limpio y renovable para generar electricidad.

### *Maquinaria*

Los combustibles biodiesel de primera generación funcionan perfectamente con cualquier motor a diesel, sin necesidad de modificaciones. Ya existen empresas de maquinaria como Caterpillar que están utilizando mezclas de biocombustibles. Zimmermann representante de Caterpillar dijo que sus motores Caterpillar C7 están funcionando con biodiesel al 30% con buenos resultados, además de que hay gente que lo usa al 100% pero no prevén que ciertos motores presentan complicaciones.

El contenido energético del biodiésel, que es inferior, puede afectar el rendimiento, pero Zimmermann señala que las investigaciones realizadas hasta la fecha indican que la pérdida de potencia es insignificante. “En una prueba de campo realizada como parte de un proyecto 6 Sigma en Alemania, controlamos una cargadora frontal alimentada con biodiésel al 100 por ciento en una situación de poca carga. El operario no pudo percibir ninguna diferencia. De modo que en realidad depende de cada aplicación. Incluso entonces la reducción de potencia es del 8 al 10 por ciento”. (Caterpillar, 2007).

### *Automóviles y Transporte*

El biodiésel puede ser utilizado en estado puro (B100) o puede ser mezclado con diésel de petróleo. La nueva extrema alta presión de 29.000 psi de los motores tiene límites estrictos de fábrica de B5 o B20, según el fabricante. El biodiesel tiene diferentes propiedades disolventes que el petrodiesel y degradará las juntas de caucho natural y las mangueras en los vehículos en su mayoría vehículos fabricados antes de 1992, aunque éstos tienden a reemplazarlos en su mantenimiento normal por lo que es muy probable que ya hayan sido reemplazadas por FKM, que no es reactiva al biodiésel. Se sabe que el biodiésel elimina los depósitos de residuos en las líneas de combustible en las que se ha utilizado el petrodiesel. Como resultado, los filtros de combustible pueden ser obstruidos con partículas si se realiza una transición rápida de biodiésel puro. Por lo tanto, se

recomienda cambiar los filtros de combustible en los motores y calentadores poco después de comenzar el cambio a una mezcla de biodiesel. (Benjumea, 2007)

### 1.3.2 Tecnología para la Obtención de Biodiesel

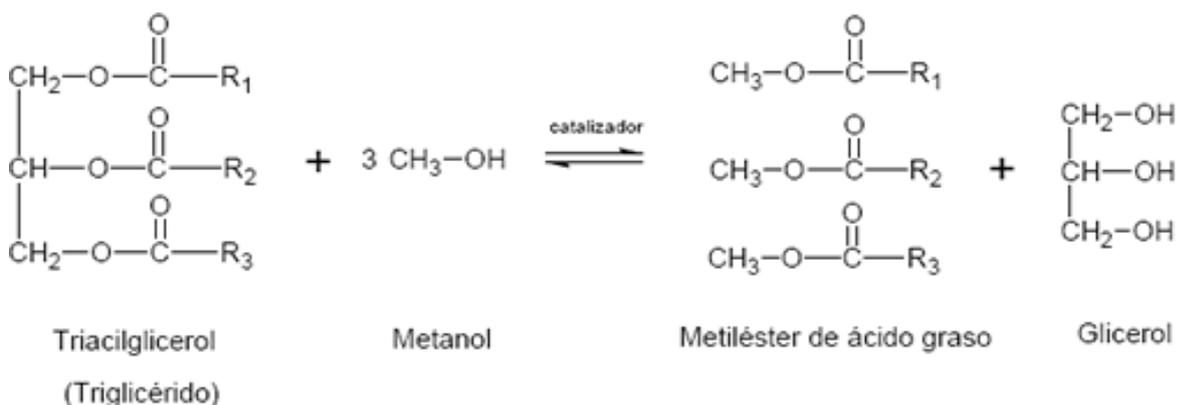
#### 1.3.2.1 Reacción de Síntesis

##### Reacción de Transesterificación

Existen diversas formas para la obtención de biocombustibles entre las que tenemos dilución, micro emulsión, pirolisis y transesterificación, esta última es de las más empleadas en la industria ya que es la más económica y la que mejores resultados presenta y ofrece ventajas como: elevada conversión es decir esta reacción química trabaja en un rango del 98% siendo así aprovechada casi al máximo, con pocas reacciones secundarias, reduciendo el tiempo de reacción y permite la reacción directa a éster sin pasos intermedios. La transesterificación de grasas y aceites, comprende la reacción de estas con alcohol metílico en ambiente básico, una molécula de triglicéridos, componente mayoritario en una grasa, reacciona con un alcohol primario, bajo la acción de un catalizador, para producir una mezcla de ésteres de ácidos grasos y glicerina, esta consta de tres etapas consecutivas en las que el triglicérido es convertido en diglicérido, monoglicéridos y glicerina. (Tejada Tovar & Tejada Benitez, 2013).

La reacción de transesterificación es la ideal en el proceso de obtención de biodiesel por las ventajas que presenta y por su precio de fabricación. En el gráfico 1-2 se observa la reacción mencionada.

Gráfico 1-2: Reacción de transesterificación de un triglicérido para la producción de biodiesel



Fuente: (Zapata, 2015)

Los catalizadores a emplear pueden ser soda cáustica o metilato sódico, ambos en solución metanólica. La tecnología básica de producción consta de un reactor en el cual se lleva a cabo la transesterificación. Por un lado, en un tanque auxiliar, se prepara la solución de metóxido de sodio, a partir de alcohol usualmente metílico de alta pureza e hidróxido de sodio, cabe mencionar que el agua interfiere en la reacción. No se utiliza alcóxido anhidro pues la reacción de dicha sustancia en agua es muy violenta y tiende a la autoignición. Esta mezcla fuertemente cáustica es vertida en el reactor principal que contiene los lípidos fundidos. La reacción a menudo se realiza a unos 50°C para agilizar la misma. En los procesos industriales más complejos, se procede a separar el biodiesel y la glicerina formada mediante el uso de centrifugas que permiten remover constantemente los productos de reacción. Sin embargo, aún son comunes los procesos por lotes, en los que se procede a una decantación de la glicerina. Luego de separar la misma, el éster es lavado para eliminar jabones y otros subproductos de reacción indeseados. (Tejada Tovar & Tejada Benitez, 2013)

### ***1.3.2.2 Materias Primas***

#### *Alcohol Metílico*

Conocido como Metanol, Alcohol Metílico, Metil Alcohol, Carbinol, Hidroximetano, Metilol, Monohidroximetano, espíritu de la madera, alcohol de madera.

El Metanol es un líquido incoloro, volátil e inflamable con un ligero olor alcohólico en estado puro. Es miscible en agua, alcoholes, ésteres, cetonas y muchos otros solventes; además, forma muchas mezclas azeotrópicas binarias. Es poco soluble en grasas y aceites. Se emplea alcohol metílico o metanol de 95% de pureza. La cantidad requerida para la elaboración de biodiésel es de aproximadamente el 15% ó 20% del volumen de aceite a reaccionar. Esta sustancia es tóxica cuando se ingiere, se inhala o tiene contacto con la piel, es altamente inflamable y arde con llama incolora. Su manipulación debe hacerse tomando todas las precauciones del caso. De hecho, también se puede utilizar alcohol etílico o etanol, siempre y cuando sea anhidro o tenga una pureza de 99.5%. (Bueno Molina, 2012)

### *Catalizador (Hidróxido de Sodio)*

El catalizador puede ser hidróxido de sodio NaOH, soda cáustica o hidróxido de potasio KOH, potasa cáustica, de grado industrial, en escamas o en perlas.

La desventaja de la Soda Cáustica (NaOH) es que se solidifica y hace difícil la separación del biodiesel por decantación en el reactor.

La cantidad a aplicar de catalizador depende 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. (Bueno Molina, 2012)

### **1.3.2.4 Características del Biodiesel**

#### ✓ *Especificaciones técnicas para la producción de Biodiesel*

En la tabla 1-2 se muestra las especificaciones técnicas que requiere el biodiesel para su uso y comercialización según la norma INEN 2482: 2009.

Tabla 1-2 Especificaciones de calidad para Biodiesel (B100)

<b>Propiedad</b>	<b>Límites</b>	<b>Unidad</b>
Punto de inflamación	130,0 mín.	°C
Agua y sedimentos	0,050 máx.	% vol
Viscosidad cinemática a 40 °C	1,9 – 6,0	mm <sup>2</sup> /seg
Cenizas sulfatadas	0,020 máx.	% masa
Azufre (Grado S 15)	0,0015 máx.	ppm
Azufre (Grado S 500)	0,05 máx.	ppm
Corrosión en lámina de cobre	Nº 3 máx.	-
Índice de cetano	47 mín.	-
Punto de enturbiamiento	A informar por cliente	°C
Residuo carbonoso	0,050 máx.	% masa
Acidez	0,80 máx.	mg KOH/g
Glicerina libre	0,020 máx.	% masa
Glicerina total	0,240 máx.	% masa
Contenido de fósforo	0,001 máx.	% masa
Temperatura de destilación, equivalente en temperatura atmosférica, 90% recuperado	360 máx.	°C

Fuente: (INEN, 2009)

La Norma ASTM D6751 (American Society of Testing Materials) es una de las más importantes organizaciones de estándares en el mundo, establece estándares para diferentes tipos de materiales.

A continuación las especificaciones de esta norma para Biodiesel (B100)

Tabla 1-3 Especificaciones para Biodiesel (B100)

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Métodos de Ensayo
Densidad a 15° C	kg/m <sup>3</sup>	860	900	ASTM D 1298
Punto de Inflamación	°C	120	--	ASTM D 93
Punto de Turbidez	°C	Reportar <sup>1</sup>		
ΦAgua y sedimento	%	---	0,05	ASTM D 1796
Contenido de Agua	mg/kg	---	500	ASTM D 95
Viscosidad Cinemática a 40° C	mm <sup>2</sup> /S	3,5	5	ASTM D 445
Cenizas Sulfatadas	% (m/m)	---	0,02	ASTM D 874
Contenido de Azufre	mg/kg	---	10	ASTM D 1552
W <sub>Carbón Residual</sub> <sup>2</sup>	%	---	0,05	ASTM D 4530
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	---	3	ASTM D 130
Número de cetano	-	49	---	ASTM D 613
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	---	360	ASTM D 1160
W <sub>Glicerina libre</sub>	%	--	0,02	ASTM D 6584
W <sub>Glicerina total</sub>	%	--	0,25	ASTM D 6584
W <sub>Contenido de ésteres</sub>	%	96,5	--	EN 14103
Índice de yodo	g yodo/100 g	---	120	EN 14111
W <sub>Contenido de metanol</sub>	%	--	0,20	ASTM D 4815 EN 14110
Contenido de fósforo	mg/kg	---	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na + K)	mg/kg	---	5	EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca + Mg)	mg/kg	--	5	prEN 14538
Número de acidez	mg KOH/g	---	0,5	ASTM D 664

Fuente: (Giraldo & Rios, 2006)

### 1.3.3 Biorreactor

Según la página biorincón de biotecnología, un biorreactor es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un biorreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos. Este proceso puede ser aeróbico o anaeróbico. Estos biorreactores son comúnmente cilíndricos, variando en tamaño desde algunos mililitros hasta metros cúbicos y son usualmente fabricados en acero inoxidable.

Un biorreactor puede ser también un equipo, recipiente o sistema empleado para hacer

crecer células o tejidos en operaciones de cultivo celular. Estos equipos se encuentran en desarrollo para su uso en ingeniería de tejidos.

En términos generales, un biorreactor busca mantener ciertas condiciones ambientales propicias (pH, temperatura, concentración de oxígeno, etcétera) al organismo o sustancia química que se cultiva. En función de los flujos de entrada y salida, la operación de un biorreactor puede ser de tres modos distintos: Discontinuo (batch), Semicontinuo (Fed Batch) y Continuo o quimiostato. (Morante, 2012)

Hoy en día existen diversidad de técnicas industriales y máquinas que son capaces de realizar reacciones de interés, es por esto que vamos a detallar dos procesos industriales dentro de biorreactores los cuales son los más eficaces de acuerdo a producción y rendimientos de reacción en la obtención de Biodiesel.

#### ***1.3.3.1. Proceso Continuo***

Este tipo de reactores es conocido también como reactor de tanque agitado o sus siglas en inglés CSTR (Continuos Stirred Tank Reactor). Esta clase de biorreactores puede ser variable en su volumen de almacenamiento, para permitir mayores tiempos de residencia y lograr un aumento en los resultados de la reacción de transesterificación. Esto quiere decir que al finalizarse la reacción después de que el glicerol se decanta en el tanque de almacenamiento esta se vuelve mucho más rápida dentro del proceso continuo. Un elemento importante en el diseño de reactores de tanque agitados es asegurarse que la mezcla se realice continua y eficazmente en el proceso de la reacción, esto tiene por efecto el aumento de la dispersión del glicerol en la fase éster. (Espinoza Guerrero, 2009)

En esta clase de reactores agitados se producen reacciones que liberan energía en forma de calor, llamadas reacciones exotérmicas. Para evitar que esto traiga inconvenientes y para liberar el calor inmerso en el tanque es necesario que el reactor cuente con una camisa de refrigeración que atrape el tanque en su totalidad y por la cual circule un refrigerante.

#### ***1.3.3.2 Proceso Discontinuo o Batch***

Este tipo de reactores se los conoce por no poseer una corriente de entrada ni de salida de productos y reactivos en el proceso mientras se lleva cabo el proceso dentro del reservorio del reactor. Es un tanque que puede o no tener un agitador o mezclador, y funciona

herméticamente el tiempo requerido para que se realice la reacción. Inicialmente son cargados todos los reactantes, y se finaliza con la reacción completa dentro del mismo. Es el método más simple para la producción de biodiesel, se trata de reactores con agitación donde el reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo. Las condiciones de operación óptimas son a 65 °C, aunque rangos de temperatura entre 25 °C a 85 C también han sido aceptadas. El catalizador más usado es el NaOH (Hidróxido de Sodio), aunque también se utiliza el KOH, en rangos del 0.3% al 1.5% dependiendo si el catalizador usado es KOH o NaOH respectivamente. (Espinoza Guerrero, 2009)

### **1.3.4 Clasificación de Reactores**

En la actualidad hay diversos tipos de reactores químicos y biológicos y cada uno de ellos es útil para cubrir las necesidades en particular de quien requiera su uso, entre los más comúnmente conocidos podemos citar a los siguientes:

- a) Reactor Continuo
- b) Reactor Discontinuo
- c) Reactor Semicontinuo
- d) Reactor Tubular
- e) Reactor con agitación continua
- f) Reactor de lecho fluidizado
- g) Reactor de lecho fijo
- h) Reactor de lecho con escurrimiento
- i) Reactor de lecho de carga móvil
- j) Reactor de burbujas
- k) Reactor con combustible en suspensión
- l) Reactor de mezcla perfecta
- m) Reactores de recirculación
- n) Fermentadores
- o) Reactor Trickle Bed (Espinoza Guerrero, 2009).

### ***1.3.4.1 Componentes de un Reactor tipo Batch o Discontinuo***

#### *Cámara de Calefacción*

Es llamada también camisa externa o chaqueta de calefacción, es una estructura que forma parte de la parte externa del reactor. Libera calor latente a la cámara de ebullición. En su parte interna contiene agua o vapor según se requiera. (Espinoza Guerrero, 2009)

#### *Cámara de Ebullición*

También se la conoce como camisa interna, va a aflojar al fluido en su interior. Dicho fluido va a incrementar su temperatura gradualmente. Absorbe calor latente de la cámara de calefacción. (Espinoza Guerrero, 2009)

#### *Ventajas del Uso de Reactores tipo Batch*

Un solo recipiente puede realizar una secuencia de diversas operaciones sin la necesidad de romper la contención. Esto es particularmente útil cuando se procesan tóxicos o componentes altamente potentes.

A pesar de que estos reactores son muy usados en procesos industriales y aplicaciones de control de contaminación, para el tratamiento de aguas residuales son poco prácticos pues se necesita tener entrada y salida de agua para que se puedan tratar volúmenes de agua residual considerables. (Puebla, 2012)

A continuación presentamos la reacción de balance de masa para entender más el concepto del funcionamiento de estos reactores:

TASA DE MATERIA ACUMULADA = TASA DE MATERIA ENTRANTE – TASA DE MATERIA SALIENTE ± TASA DE MATERIA REACCIONANTE

En un reactor Batch no hay flujos de entrada ni de salida por lo tanto los dos primeros términos de la ecuación son equivalentes a cero.

### 1.3.4.2. Diseño de Biorreactores

#### *Diseño de Tanque Reactor*

El biorreactor debe estar diseñado para las características del proceso a realizar, en nuestra investigación está dirigido a la producción de biodiesel. El tanque reactor es el reservorio que va a contener los reactivos y materiales que entren en la reacción por consiguiente este debe ser de un volumen que esté por encima del nivel del líquido que entre a reaccionar, tomando en cuenta que hay movimiento interno en la agitación para evitar que rebosen los materiales.

A continuación un ejemplo del cálculo del diseño del tanque reservorio del reactor asumiendo un volumen de 20 L de capacidad tomado de un trabajo realizado por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CEDINET; el biorreactor se diseñó para una capacidad de 20 litros, ya que considerando que al agitar el nivel de la mezcla se incrementa debido a que en el caso específico de una fermentación, existen partículas sólidas flotantes dadas por la combinación entre el mosto y levaduras y que se elevan por la acción del CO<sub>2</sub>. En el gráfico 1-3 se muestran las dimensiones del biorreactor, note que la capacidad volumétrica del biorreactor es en realidad de 24.7 litros. (Flores Hernandez & Flores Montiel, 2013)

Cálculo del volumen total del reactor:

Para la parte cilíndrica:

$$V1 = \left(\frac{\pi * D^2}{4}\right) * \alpha = 21206 \text{ cm}^3,$$

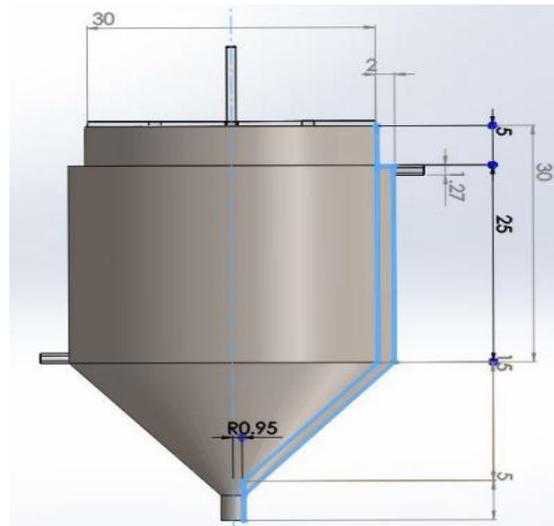
Para la parte cónica:

$$V2 = \left(\frac{\pi * D^2}{12}\right) * \alpha = 3534.3 \text{ cm}^3$$

Volumen total:

$$VT = V1 + V2 = 24740.3 \text{ cm}^3 = 24.7 \text{ L}$$

Gráfico 1-3: Dimensiones del tanque del reactor



Fuente: (Flores Hernandez & Flores Montiel, 2013)

### *Transferencia de Calor en un Reactor*

La transferencia de calor en biorreactores se produce de dos maneras: por conducción cuando el calor es transmitido de partícula a partícula, por contacto de los sólidos, y por convección que consiste en la transferencia de calor por la diferencia de densidades propia de los líquidos. (Espinoza Guerrero, 2009)

Las dos se rigen por la siguiente ecuación de calor:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Donde:

Q= Calor Transmitido

U= Coeficiente global de Transferencia de Calor

$\Delta T$ = Gradiente de Temperatura

### *Agitación*

Agitación se puede definir como el movimiento circulatorio inducido a un fluido dentro de un contenedor, fundamentalmente de forma circular y provocando vértices. El objeto de la agitación puede ser incrementar la transferencia de calor en el fluido, o incrementar el transporte de materia es decir mezclar. (Espinoza Guerrero, 2009)

La Agitación es producida por paletas o rodetes que giran en la mezcla a velocidades determinadas para cada reacción.

En la práctica el diseño de los agitadores debe satisfacer dos factores importantes, el grado de homogeneidad y el tiempo de mezcla requerido. Dado que el resultado de la mezcla nunca es perfecto, el grado de homogeneidad se hace depender de la calidad deseada en el producto final. Por último, la potencia requerida en la agitación depende de estos dos factores así como del rendimiento. (Espinoza Guerrero, 2009)

### *Tipos de Mezcladores*

A la hora de elegir un tipo de mezclador debemos fijarnos en factores como la forma del recipiente contenedor, ya que el trabajo que realiza una paleta mezcladora dentro del reactor difiere de su forma y del líquido que la contiene.

En el mercado existen diversos tipos de mezcladores para reactores según las necesidades del usuario. En la tabla 1-4 se muestran mezcladores con sus respectivas características.

Tabla 1-4 Tipos de Mezcladores

MEZCLADORES	CARACTERISTICAS	TIPOS DE MEZCLADORES
Mezcladores de Paletas o Brazos	Son los más conocidos, y los más tradicionales. Son a menudo de construcción casera. Tienen costos muy bajos. Resultan muy útiles en todo tipo de mezcla.	
Mezcladores de Hélice	Su principio de funcionamiento radica en que sus paletas helicoidales giran y empujan constantemente hacia adelante, aunque su movimiento produce turbulencias trabaja muy bien con mezclas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hélice con eje vertical</li> <li>2. Hélice descentrada</li> <li>3. Hélice al costado del recipiente</li> <li>4. Hélice en un tubo de aspiración</li> <li>5. Hélice para gases</li> </ol>

Mezcladores de Turbina	En un recipiente casi sin contrapresión el material entra por el impulsor axialmente por su abertura central, los álabes aceleran el material y lo descargan del impulsor o rodete más o menos tangencialmente a una velocidad elevada.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mezclador sencillo de turbina</li> <li>2. Mezclador de turbina con paletas Turbo dispersador</li> <li>3. Absorbedor turbogas</li> </ol>
------------------------	---	---

Fuente: (Espinoza Guerrero, 2009)

## CAPÍTULO 2

### 2. METODOLOGÍA

#### 2.1 Parte Experimental

La parte experimental en esta investigación está enfocada al cumplimiento de tres objetivos que presentan un orden específico para ser realizados. Primero se determinó el volumen promedio semanal de grasa que se produce en el camal de la ciudad de Ambato, de este modo se supo con qué volumen de grasa se iba a trabajar en el diseño del reactor, sabiendo que el tanque debe estar diseñado para un volumen específico de funcionamiento. Después se llevó una muestra de grasa animal a laboratorio para mediante técnicas específicas realizar la reacción de transesterificación y obtener biodiesel a partir de un volumen de grasa conocido. De esta manera se pudo determinar la producción de biodiesel trabajando con el volumen de grasa determinado en las mediciones de volumen, diario o semanal. Finalmente el diseño del biorreactor estuvo basado en los parámetros anteriormente mencionados para lograr así el dimensionamiento del biorreactor.

## 2.1.1 Determinación de Volúmenes de Grasa Animal que produce el Camal Municipal de la ciudad de Ambato

### 2.1.1.1 Descripción del método de obtención de Volúmenes por el cálculo de Área del cilindro

En los procesos de faenamiento de reses en el camal, existen encargados de extraer, retirar y almacenar la grasa de los animales que se faenan diariamente. Los días de funcionamiento del camal son de domingo a jueves. El promedio de faenamiento diario es de 133 reses. Esta grasa es depositada en cilindros contenedores de diferentes tamaños. Cada día el volumen de grasa que se colecta en el camal es variable y dependiente del número de reses que hayan sido faenadas. Es por esto que después de una visita al camal se observó los cilindros que contenían la grasa, y se realizó mediciones de altura y diámetro para lograr obtener el volumen por la fórmula del Área del cilindro:

$$V = \pi * r^2 * h$$

Gráfico 2-1: Tanques cilíndricos de almacenamiento de grasa



Fuente: Diego Andrés Cisneros Galarza

Después de realizar la visita de reconocimiento y conocer los tanques de almacenamiento de grasa, se procedió a realizar las mediciones con la utilización de una cinta métrica, se tomó exactamente la altura hasta donde llegaba el nivel de grasa en el contenedor, y después se midió el diámetro del cilindro. Posteriormente se realizaron los cálculos en Excel para determinar por el área del cilindro el volumen de grasa generado durante 30 días en unidades de metros cúbicos.

## 2.1.2 Obtención de Biodiesel usando grasa animal

### 2.1.2.1 Determinación de la muestra y sus propiedades físico químicas

La muestra que utilizamos para nuestra experimentación en laboratorio fue de 500 mL de grasa animal fundida

Tabla 2-1 Determinación de la densidad de la grasa animal líquida

Materiales	Procedimiento	Cálculos y Resultados
Balanza analítica Picnómetro Probeta de 10 mL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar 10 mL de aceite en la probeta.</li> <li>• Pesar el picnómetro vacío (P1)</li> <li>• Añadir los 10 mL de aceite al picnómetro y pesar en la balanza analítica. (P2)</li> <li>• Anotar el volumen del picnómetro. (V)</li> </ul>	$d = \frac{P2 - P1}{V}$ $d = \frac{25.7gr - 11.8gr}{10ml}$

Fuente: (Espinoza Guerrero, 2009)

Tabla 2-2 Determinación de la viscosidad de la grasa animal líquida

Materiales	Procedimiento	Cálculos y Resultados
Probeta de 25 mL Bola de vidrio (canica) Cronómetro Regla Calibrador Balanza analítica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar la esfera de vidrio y anotar su peso</li> <li>• Determinar el diámetro de la esfera con el calibrador</li> <li>• Añadir 15 mL de aceite a la probeta</li> <li>• Tomar el tiempo que se tarda en</li> </ul>	$u = \frac{2g(dsol - dliq)r^2}{9v}$ <p>Donde:</p> <p>V= velocidad de la esfera g= gravedad específica d= densidad del sólido y líquido u= viscosidad dinámica (g/cm*s) r= radio de la esfera</p>

	<p>recorrer la esfera desde el punto en que toca el líquido hasta el fondo de la probeta.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir esta distancia recorrida( realizar varias mediciones hasta tener valores constantes)</li> </ul>	
--	--	--

Fuente: (Espinoza Guerrero, 2009)

Tabla 2-3 Determinación de la capacidad calorífica de la grasa animal líquida

Materiales	Procedimiento	Cálculos y Resultados
Calorímetro Termómetro Agitador Vaso de precipitación de 250 mL Reverbero Balanza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la constante de calorímetro k</li> <li>• Pesar el vaso de precipitación vacío</li> <li>• Pesar el vaso de precipitación con agua</li> <li>• Determinar el cp</li> <li>• Pesar el vaso de precipitación vacío</li> <li>• Pesar el vaso de precipitación con la muestra</li> <li>• Introducir el vaso con agua al calorímetro</li> <li>• Determinar la</li> </ul>	$k = \frac{m(T - T_e)}{(T_e - T_o)} - M$ <p>Donde</p> <p>K= cte. del calorímetro</p> <p>m=masa del agua dentro del calorímetro (g)</p> <p>T=temperatura del agua en probeta (centígrados)</p> <p>Te= Temperatura de equilibrio</p> <p>To=Temperatura del agua dentro del calorímetro</p>

	<p>temperatura del agua dentro del calorímetro</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentar el vaso con la muestra a temperatura conocida</li> <li>• Introducir la muestra al calorímetro y determinar la variación de temperatura del agua, hasta que alcance el equilibrio térmico con el vaso de aceite.</li> </ul>	
--	---	--

Fuente: (Espinoza Guerrero, 2009)

### 2.1.2.2 Obtención de Biodiesel

#### ✓ *Materiales*

- Estufa
- Vaso de precipitación de 1000 mL
- Soporte Universal
- Pipetas de 10 mL (3)
- Agitador
- Bureta de 100 mL
- Vidrio reloj
- Mortero
- Balanza
- Espátula
- Embudo de separación de 1000 mL

- Probeta de 25 mL
- Picnómetro
- Termómetro
- ✓ *Reactivos*
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Metanol (CH<sub>3</sub>OH)
- Agua Destilada
- Ácido Acético ( CH<sub>3</sub>COOH)

### ***2.1.2.3 Procedimientos para la obtención del biodiesel por transesterificación.***

#### *Preparación de la muestra de grasa animal.*

Se fundió la muestra de grasa de aproximadamente poco más de un litro en una estufa a 100 °C después de haber sido seleccionada y lavada con agua destilada para limpiar las impurezas, se procedió a filtrar la grasa por medio de un tamiz, este puede ser una media nylon o un filtro de tela, de este modo evitamos la presencia de sustancias extrañas y materia orgánica. Logrando así un volumen de un litro de grasa líquida.

#### *Preparación del metóxido de Sodio*

En un vaso de precipitación de 500 mL vertimos 200 mL de metanol y se añadieron 3.8 g de hidróxido de sodio que fueron molidos en un mortero para favorecer la reacción. Se agitó en la estufa a 35 °C hasta disolver el hidróxido de sodio.

#### *Reacción de Transesterificación*

Se calentó el volumen de muestra de grasa animal a 50 °C para favorecer la reacción en un vaso de precipitación de 1L.

Mientras se agitó el contenido de grasa con una varilla de agitación, se añadió cuidadosamente el metóxido de sodio a la mezcla y se continuó agitando por un lapso de 25 minutos para que se produzca la reacción. Durante la transesterificación los ácidos grasos se separan de la glicerina, y el metanol se une a ellos formando metiléster que es el biodiesel propiamente. El hidróxido de sodio estabiliza la glicerina.

### *Separación del Biodiesel y glicerina*

Una vez que la mezcla se dejó reposar y se enfrió, se pasó a un embudo de separación y se dejó reposar por 8 horas, en este tiempo la glicerina se separó del biodiesel por diferencia de densidades. Después se abrió la llave de seguridad para separar los productos.

### *Lavado de Biodiesel*

Una vez lograda la obtención y separación total del biodiesel se realizó un lavado del mismo para que de esta manera sean eliminadas las impurezas como los jabones que se forman en el proceso. El proceso de lavado se realizó con agua destilada y unas pequeñas gotas de vinagre para estabilizar el pH y neutralizarlo. En un recipiente se vertió la solución de agua destilada y vinagre y a la misma se le añadió el biocombustible obtenido, se realizó una mezcla homogénea y se la dejó reposar en un embudo de separación para que el biodiesel limpio permanezca sobre el agua con jabón y se dejó caer libremente en el fondo del embudo de separación. (Anexo 1)

#### ***2.1.2.4 Cuantificación de productos obtenidos después del proceso de obtención de biodiesel a través de grasa animal.***

##### *✓ Balance de Masa*

Tabla 2-4 Balance de Masa de Obtención de Biodiesel por transesterificación

Productos y Reactivos	Unidades	Entrada	Salida
Aceite de grasa animal	Mililitros	500	
Hidróxido de Sodio	Gramos	1.9	
Metanol	Mililitros	100	
Biodiesel	Mililitros		430
Glicerina	Mililitros		75
Agua Destilada	Mililitros	50	
Ácido Acético	Mililitros	5	

Fuente: Diego Andrés Cisneros

✓ *Rendimiento de la Reacción*

La cantidad real obtenida de biodiesel, dividida por la cantidad teórica máxima que puede obtenerse se llama rendimiento de la reacción.

$$\%Rendimiento = \frac{\text{rendimiento real}}{\text{rendimiento teórico}} * 100$$

**2.1.2.5 Determinación de propiedades físico químicas del biodiesel obtenido.**

Una vez realizada la experimentación con exitosos resultados, hemos logrado la obtención de 430 mL de biodiesel y 75 mL de glicerina a partir de 500 mL de grasa, 100 mL de metanol y 1.9 g de hidróxido de sodio. Con las siguientes características físicas químicas:

Tabla 2-5 Determinación de pH

Materiales	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"><li>• pH metro</li><li>• 25 mL de biodiesel</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Poner 25 mL de muestra en una probeta</li><li>• Encender el pH metro y calibrarlo con las muestras standard</li><li>• Secar el electrodo y sumergir en la muestra de biodiesel</li><li>• Anotar el valor</li></ul>

Fuente: (ASTM, 2014)

Tabla 2-6 Determinación de Densidad

Materiales	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"><li>• Densímetro</li></ul>	Vertir 50 mL de muestra en un vaso de precipitación Absorber la muestra en el equipo, presionar el botón de READ y anotar el resultado

Fuente: (ASTM, 2014)

Tabla 2-7 Determinación de Viscosidad

Materiales	Procedimiento	Cálculos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esfera</li> <li>• Picnómetro</li> <li>• Calibrador pie de rey</li> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Probeta de 25 mL</li> <li>• Cronómetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar la esfera de vidrio y anotar su peso</li> <li>• Determinar el diámetro de la esfera con el calibrador</li> <li>• Añadir 15 mL de aceite a la probeta</li> <li>• Tomar el tiempo que se tarda en recorrer la esfera desde el punto en que toca el líquido hasta el fondo de la probeta.</li> <li>• Medir esta distancia recorrida (realizar varias mediciones hasta tener valores constantes)</li> </ul>	$u = \frac{2g(dsol - dliq)r^2}{9v}$

Fuente: (ASTM, 2014)

Tabla 2-8 Determinación de Humedad

Materiales	Procedimiento	Cálculos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtro de papel</li> <li>• Embudo</li> <li>• Estufa</li> <li>• Balanza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesarse el papel filtro y anotar m (papel filtro)</li> <li>• Pasar 25 mL de muestra en el filtro y llevar a la estufa a 110 grados por 30 minutos</li> <li>• Sacar el papel y poner 5 minutos en el desecador</li> <li>• Pesarse el papel y anotar el valor M</li> </ul>	$\% \text{Humedad} = (m - M) / m * 100$

Fuente: (ASTM, 2014)

Tabla 2-9 Determinación de Gravedad API

Materiales	Procedimiento	Cálculos
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar la fórmula de gravedad API, con el valor de gravedad específica del biodiesel calculado anteriormente.</li> </ul>	$\text{Gravedad API} = (141,5 / \text{GE a } 60 \text{ } ^\circ\text{F}) - 131,5$ <p>GE= Gravedad Especifica</p> $\text{GE} = 0.894$ $\text{Gravedad API} = (141,5 / 0.894 \text{ a } 60 \text{ } ^\circ\text{F}) - 131,5$

Fuente: (ASTM, 2014)

Tabla 2-10 Determinación de Fósforo

Materiales	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cápsula de Porcelana</li> <li>• Estufa</li> <li>• Pinza</li> <li>• Ácido Sulfúrico</li> <li>• Sorbona</li> <li>• Balón Aforado de 100 mL</li> <li>• Pipeta de 10 mL</li> <li>• Mufla</li> <li>• Reactivo Phosfiver Reagent 3</li> <li>• Espectrofotómetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertir 1 mL de muestra en una cápsula de porcelana</li> <li>• Calentar el contenido hasta vaporizar la muestra en una estufa, cuando no haya más vapores, colocar la capsula en una mufla a 500°C</li> <li>• Dejar enfriar y añadir 5 mL de ácido sulfúrico en la sorbona hasta que desprenda todos los vapores</li> <li>• Filtrar con 15 mL de agua, y pasar a un matraz aforado de 100 mL</li> <li>• Aforar a los 100 mL y tratar la muestra como fósforo en agua mediante espectrofotometría.</li> <li>• Colocar en un vaso de precipitación 10 mL de muestra y añadir un sobre de reactivo de fósforo (Phosfiver Reagent 3)</li> <li>• Agitar por 30 segundos y esperar 2 minutos a que ocurra la reacción.</li> <li>• Utilizar 10 mL de muestra como blanco</li> <li>• Leer en el espectrofotómetro</li> </ul>

Fuente: (ASTM, 2014)

Tabla 2-11 Determinación de Acidez

Materiales	Procedimiento	Cálculos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaso de precipitación de 10 mL</li> <li>• pH metro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hallar acidez mediante la fórmula de pH y concentración de iones hidrogeno</li> </ul>	$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ $[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$ $[\text{H}^+] = 10^{-7.71}$

Fuente: (ASTM, 2014)

Tabla 2-12 Determinación de Punto de Ebullición

Materiales	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matraz de fondo plano de 500 mL</li> <li>• Corcho</li> <li>• Termómetro</li> <li>• Núcleos de ebullición</li> <li>• Reverbero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llenar 20 mL de muestra en un balón de fondo plano con un corcho para ingresar un termómetro</li> <li>• Calentar el contenido añadiendo núcleos de ebullición.</li> <li>• Observar el aumento de temperatura, una vez que la temperatura haya llegado a su límite, anotar el valor en Grados Celsius y Fahrenheit.</li> </ul>

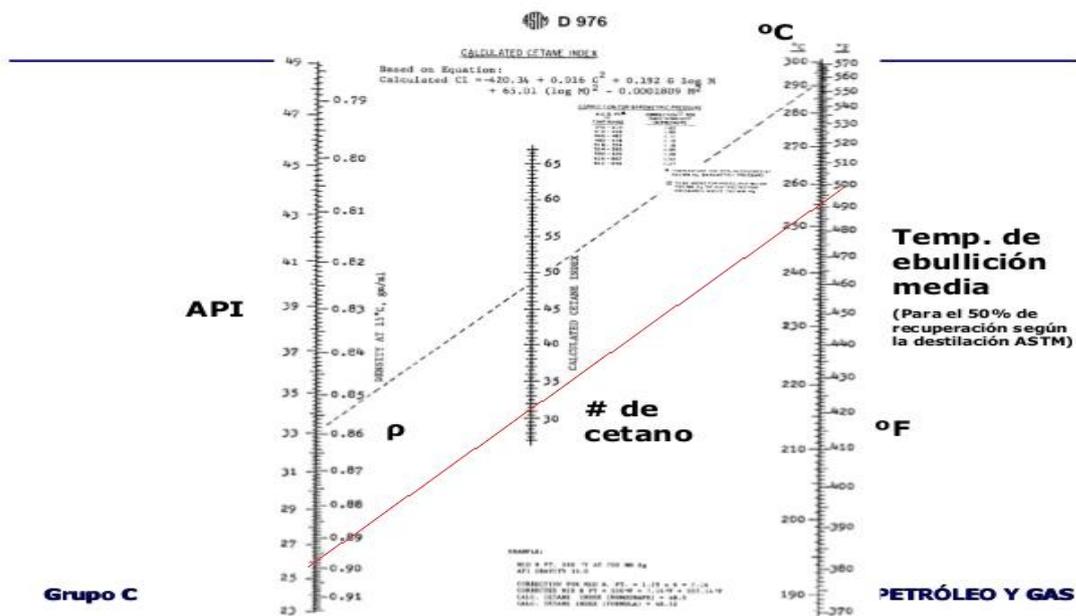
Fuente: (ASTM, 2014)

Tabla 2-13 Determinación de Índice de Cetano

Materiales	Procedimiento
<p>Nomograma de Índice de Cetano</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar el nomograma de índice de cetano para calcular I.C, con los valores de gravedad API y punto de ebullición que fueron calculados anteriormente. Ver Gráfico 2-8</li> </ul>

Fuente: (ASTM, 2014)

Gráfico 2-8 Nomograma de Índice de Cetano



Fuente: (Anon., 2015)

(Anexo 2)

### 2.1.3 Diseño del biorreactor batch para obtención de biodiesel a partir de grasa animal.

El diseño del biorreactor batch para obtención de biodiésel, fue realizado con el software AutoCAD

#### 2.1.3.1 Cálculos de diseño para los componentes del reactor batch

##### *Cálculo del volumen del tanque reactor*

Con la intención de producir 321L de biodiesel diariamente partiendo de un volumen de grasa animal de 276 L que es la producción media diaria de grasa del camal más 55.2 L de metóxido de sodio que es la relación estequiométrica calculada para este caso, tuvimos que diseñar un tanque reactor de un volumen de 332 L y utilizamos un factor de corrección de 0.15, en relación al volumen de la caída cónica de 30 grados, tenemos que:  
 $V_r = 332 \text{ L}$

$$V = f_c * V_r$$

$$V = 0.15 * 332$$

$$V = 49.8 \text{ L}$$

Tenemos un volumen total de:

$$V_T = 332 + 49.8$$

$$V_T = 381.8 \text{ L}$$

$$V_T = 0.381 \text{ m}^3$$

##### *Cálculo de la altura del tanque reactor*

Mediante la utilización de la fórmula del área del cilindro se calculó la altura, considerando un diámetro de diseño de 0.70 metro de diámetro.

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$h = \frac{V}{\pi * r^2}$$

$$h = \frac{0.381}{\pi * 0.35^2}$$

$$h = 0.990 \text{ m}$$

$$h = 1 \text{ m}$$

##### *Cálculo del volumen del tanque de calefacción y chaqueta*

Por recomendaciones técnicas para la construcción y manejo, el diámetro de la camisa de calefacción que encierra el tanque reactor equivale a un aumento de 6 cm al diámetro total del tanque reactor

$$\Theta_{\text{DIAMETRO}} = 0.76 \text{ m}$$

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * 0.38^2 * 0.990$$

$$V = 0.449 \text{ m}^3$$

✓ *Volumen de la Chaqueta de Calefacción*

Volumen de Chaqueta de Calefacción = Volumen de tanque de calefacción –  
Volumen de tanque reactor

$$\text{Volumen de Chaqueta de Calefacción} = 0.449 \text{ m}^3 - 0.381 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de Chaqueta de Calefacción} = 0.131 \text{ m}^3 = 131 \text{ L}$$

*Cálculos para el sistema de agitación*

Para establecer los parámetros de diseño del agitador, es necesario determinar la potencia para activar el rodete. El cálculo de la potencia de la bomba que accionará el rodete se realizó basándose en las pruebas de laboratorio donde obtuvimos el biodiesel enfatizando la parte de agitación donde por medio de una varilla se logró completar la reacción, por esta razón se determinó lo siguiente:

Agitación media para realizar la reacción: 110 rpm = 1.83 rev/s

Diámetro del Tanque = 0.70 m

• *Cálculo del diámetro del rodete*

✓ Longitud del brazo de agitación

Por criterios propios basándonos en la altura del tanque reactor que mide 0.990 m se determinó que la altura ideal del brazo es de:

$$L_b = 70 \text{ cm}$$

✓ Espesor del rodete

$$E_r = \frac{1}{4} L_b$$

$$E_r = \frac{1}{4} * 70 \text{ cm}$$

$$E_r = 17.5 \text{ cm}$$

- ✓ Diámetro del Rodete

$$\Theta_{\text{RODETE}} = 2/3 \Theta_{\text{DIÁMETRO DEL TANQUE}}$$

$$\Theta_{\text{RODETE}} = 2/3 * 0.70\text{m}$$

$$\Theta_{\text{RODETE}} = 0.46\text{m}$$

$$\Theta_{\text{RODETE}} = 46 \text{ cm}$$

- ✓ Distancia entre el fondo del tanque y el rodete

Altura del tanque = 0.990 m

Longitud del brazo y paleta = 0.84 m

$$DF = h - Lb$$

$$DF = 0.990\text{m} - 0.84 \text{ m}$$

$$DF = 0.15 \text{ m}$$

$$DF = 15 \text{ cm}$$

- ✓ Alto de la paleta

$$Ap = 1/5 Lb$$

$$Ap = 1/5 * 0.70$$

$$Ap = 0.14 \text{ m}$$

$$Ap = 14 \text{ cm}$$

*Cálculo de la Potencia para accionar el rodete*

*Cálculo de Número de Reynolds (NRe)*

$$NRe = \frac{\varnothing t^2 * N * \rho}{\mu}$$

Donde:

$\varnothing t$  = Diámetro del Tanque

N = número de revoluciones por segundo (hz)

$\mu$  = viscosidad del fluido (Pa.s)

$\rho$  = densidad del fluido (Kg/m<sup>3</sup>)

Después de haber encontrado en el laboratorio valores de viscosidad y densidad del aceite de:

$$\mu = 0.2345 \text{ (Pa.s)}$$

$$\rho = 1390 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

Calculamos NRe

$$NRe = \frac{\phi t^2 * N * \rho}{\mu}$$

$$NRe = \frac{0.700^2 * 1.83 * 1390}{0.2345}$$

$$NRe = 5315.19$$

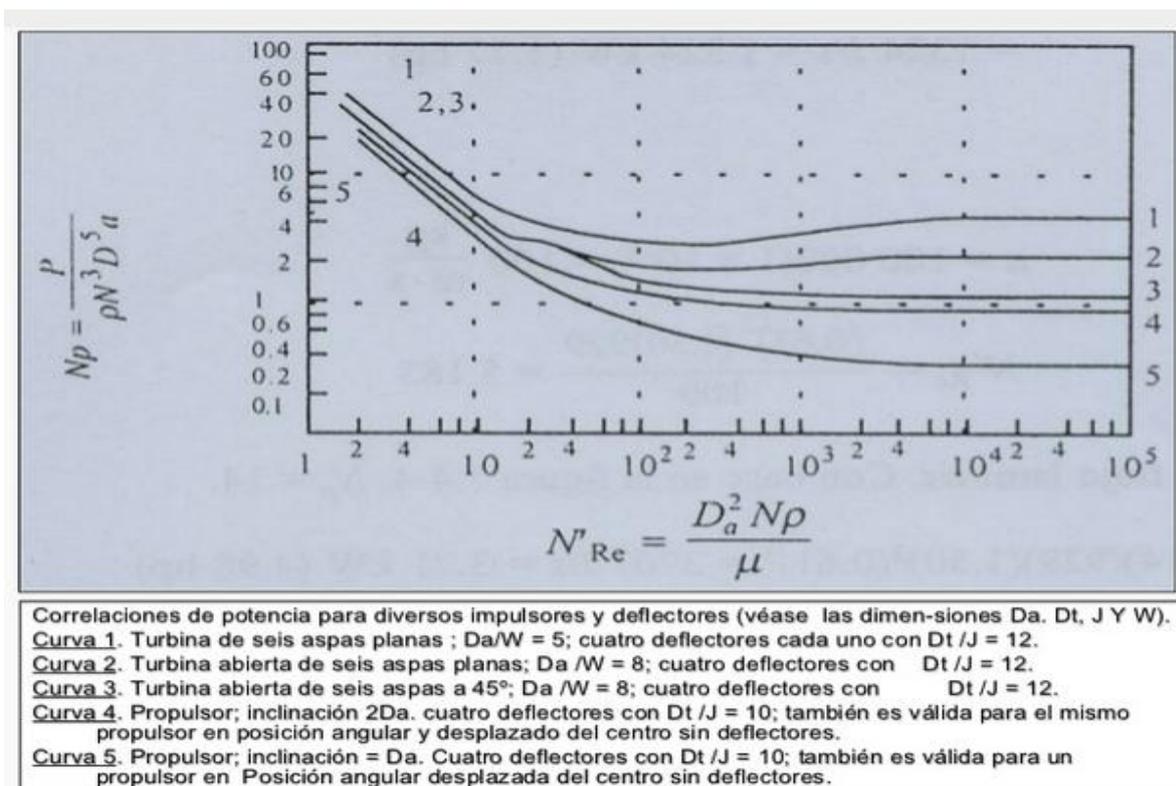
Cálculo de la Potencia del Agitador (variable adimensional)

✓ Número de Potencia

$$Np = \frac{P}{\rho * N^3 * \phi t^5}$$

Para el cálculo de la potencia nos basamos en la gráfica de Número de Potencia NP en correlación con el Número de Reynolds (Ver Gráfico 9-2). Realizando una interpolación seleccionamos la curva 5 con un valor de Número de Potencia de 0.36 hp.

Gráfico 2-9 Correlaciones de Potencia para Impulsores y deflectores



Fuente: (Giraldo & Rios, 2006)

Entonces despejando Potencia de la ecuación de Número de Potencia tenemos:

$$P = (\rho * N^3 * \phi t^5 * Np)$$
$$P = (1390 * 1.83^3 * 0.70^5 * 0.363)$$
$$P = 572.52 \text{ W}$$
$$P = 0.7 \text{ hp}$$

*Cálculos del Sistema de transferencia de calor para tanques enchaquetados.*

La temperatura a la cual se debe realizar la reacción de transesterificación es de 50°C y esta se tuvo que mantener a lo largo del proceso de principio a fin durante el tiempo de reacción que fueron 20 minutos, previamente la grasa debió ser fundida a 110°C por lo tanto el reactor deberá llegar a una temperatura de 110°C y después enfriarse hasta 50°C.

*Cálculo del Coeficiente de Transferencia de Calor*

La transferencia de calor en soluciones con agitación en el interior de un recipiente o reactor viene dado por:

$$U = \frac{a * (NRe)^b * Np^{\frac{1}{3}} * (u/uw)^{m*k}}{\phi}$$
$$NRe = \frac{\phi t^2 * N * \rho}{\mu}$$
$$Np = \frac{cp * u}{k}$$

Donde:

U= Coeficiente de transferencia de calor (J/s\*m<sup>2</sup>K)

ϕ= Diámetro interno del tanque

k= conductividad térmica (J/s\*m<sup>2</sup>K)

NRe= Número de Reynolds

ϕt= Diámetro del Agitador (m)

N= Velocidad Rotacional (rpm)

ρ= Densidad del fluido (Kg/m<sup>3</sup>)

u= Viscosidad del fluido (Pa.s)

Np= Número de Prandt

Cp= Capacidad Calorífico (J/Kg K)

$\mu$  = viscosidad del fluido a temperatura de la pared (Pa.s)

a,b,m = constantes del agitador

- ✓ Obtenemos Número de Reynolds

$$NRe = \frac{\phi t^2 * N * \rho}{\mu}$$
$$NRe = \frac{0.46^2 * 1.83 * 1390}{0.2345}$$
$$NRe = 2295.24$$

- ✓ Obtenemos el Número de Prandt

$$Np = \frac{cp * u}{k}$$
$$Np = \frac{15240 * 0.2345}{50.2}$$
$$Np = 71.20$$

Tomando en cuenta que:

$Cp_{\text{Aceite}} = 15240 \text{ J/Kg K}$

Conductividad térmica del acero inoxidable

$K = 50.2 \text{ J/ msK}$

Las constantes a, b y m se determinan de acuerdo al tipo de paleta que vayamos a utilizar, en nuestro caso en particular fue una paleta tipo ancla por lo tanto:

a= 0.55

b= 0.66

m= 0.14

Finalmente tenemos que el coeficiente de transferencia de calor es:

$$U = \frac{0.55 * (2295.24)^{0.66} * 71.20^{\frac{1}{3}} * (0.2345/0.1023)^{0.14} * 50.2}{0.70}$$

$U = 121.59 \text{ J/s m}^2 \text{ K}$

$U = 0.121 \text{ KJ/ s m}^2 \text{ K}$

### *Calculo del Flujo de Calor*

$$Q = m C_p \Delta T$$

Donde:

Q= Flujo de calor necesario para elevar la sustancia a la temperatura ideal

m= masa del fluido 383.64 Kg

C<sub>p</sub>= Capacidad calorífica del fluido 15.24KJ/Kg K

ΔT= Gradiente de temperatura a la que se produce la reacción 50°C = 323.15 K

$$Q = m C_p \Delta T$$

$$Q = 383.64 \text{Kg} * 15.24 \text{KJ/Kg K} * 323.15 \text{ K}$$

$$Q = 1889.35 \text{ KJ}$$

Este es el valor necesario de calor que se tiene que suministrar al fluido en mezcla para aumentar su temperatura a 50°C.

## **CAPÍTULO 3**

### **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Volumen de Grasa Generado en el Camal Municipal de Ambato**

Tabla 3-1 Volúmenes de grasa producidos en el Camal Municipal de Ambato

Semanas	Dias	Fecha	Numero de Reses Faenadas	Volumen de grasa(m3)	Grasa Semanal Producida(m3)
1	Domingo	05/04/2015	240	0,466	1,768
	Lunes	06/04/2015	95	0,269	
	Martes	07/04/2015	93	0,345	
	Miercoles	08/04/2015	100	0,326	
	Jueves	09/04/2015	143	0,362	
2	Domingo	12/04/2015	230	0,285	1,295
	Lunes	13/04/2015	90	0,227	
	Martes	14/04/2015	125	0,26	
	Miercoles	15/04/2015	112	0,288	
	Jueves	16/04/2015	144	0,235	
3	Domingo	19/04/2015	215	0,385	1,565
	Lunes	20/04/2015	103	0,225	
	Martes	21/04/2015	127	0,291	
	Miercoles	22/04/2015	107	0,348	
	Jueves	23/04/2015	132	0,316	
4	Domingo	26/04/2015	170	0,159	0,886
	Lunes	27/04/2015	75	0,233	
	Martes	28/04/2015	120	0,18	
	Miercoles	29/04/2015	117	0,155	
	Jueves	30/04/2015	119	0,159	
		Total	2657	5,514	5,514

Fuente: Diego Andrés Cisneros

Tabla 3-2 Volúmenes promedio de grasa producidos en el camal de Ambato

Media diaria de grasa generada	0.2757 m <sup>3</sup>	276 L
Media semanal de grasa generada	1.3758 m <sup>3</sup>	1379 L
Media diaria de reses faenadas	133	

Fuente: Diego Andrés Cisneros

- ✓ Para la determinación del volumen diario y semanal de grasa promedio que genera el camal de Ambato se hicieron 30 mediciones diarias durante un mes y obtuvimos como resultado que la media diaria de grasa animal generada es de 276 L y la media semanal fue de 1379 L.

### 3.2 Producción de Biodiesel a partir de grasa generada en el camal municipal de Ambato

Tabla 3-3 Propiedades físico químicas de la grasa animal

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	1390	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad	0.2345	Pa*s
Capacidad Calorífica	15.24	KJ/kg K

Fuente: Diego Andrés Cisneros

Tabla 3-4 Cantidad de Producto por 500 mL de Aceite

Producto	Volumen (mL)	Porcentaje (%)
Biodiesel	430	61.42
Glicerina	75	10.71

Fuente: Diego Andrés Cisneros

Tabla 3-5 Cantidad de Reactivos Utilizados por cada 500 mL de Aceite

Reactivo	Cantidad
Metanol	200mL
Hidróxido de Sodio	1.9g

Fuente: Diego Andrés Cisneros

Tabla 3-6 Cantidad de Agua de Lavado

Cantidad
50 mL de Agua destilada y 5 mL de Ácido acético

Fuente: Diego Andrés Cisneros

- ✓ Se realizó la obtención de biodiesel en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH con resultados favorables tenemos que a partir de 500 ml de grasa animal se obtuvieron 430 mL de biodiesel y 75 mL de glicerina. Además se utilizaron 200 mL de metanol y 1.9 g de hidróxido de sodio para la reacción. Y finalmente en el proceso de lavado del biodiesel se utilizaron 50 mL de agua destilada y 5mL de ácido acético. Se tuvo un rendimiento de reacción de 71.66% que es considerado un buen rendimiento según el autor (Vogel, 1996) que afirma: “Los rendimientos cercanos al 100% son denominados cuantitativos, los rendimientos sobre

el 90% son denominados excelentes, los rendimientos sobre el 80% muy buenos, sobre el 70% son buenos, alrededor del 50% son regulares, y debajo del 40% son pobres”.

### 3.3 Propiedades Físico Químicas del biodiesel obtenido

Tabla 3-7 Análisis físico químico del biodiesel obtenido

Parámetro	Valor	Unidad
pH	7.71	
Densidad a 15C	0.894	g/cc
Viscosidad	1.3	mm <sup>2</sup> /s
Humedad	34.55	%
Gravedad API	26.77	
Fósforo	0.09	mg/Kg
Acidez	1.94E <sup>-8</sup>	mol/L
Punto de Ebullición	492.80	°F
Índice de Cetano	34	

Fuente: Diego Andrés Cisneros

Gracias al apoyo del Gerente General de EMAPA-A Ambato se realizó el análisis físico químico del biodiesel en el laboratorio de control de calidad con los siguientes resultados: pH 7.71, densidad 0.893 g/cc, viscosidad 1.3 mm<sup>2</sup>/s, humedad 34.55%, gravedad API 26.77, fósforo 0.09 mg/kg, acidez 1.94E<sup>-8</sup> mol/L, punto de ebullición 492.80 F, índice de cetano 34.

En base a la Norma INEN 2482: 2009 para Biodiesel en el Ecuador y después del análisis de los parámetros anteriormente mencionados sabemos que todos los parámetros del biodiesel se encuentran dentro de norma a excepción de la viscosidad, podemos asegurar que este biocombustible es apto para ser usado puro (B100) en motores de combustión para biocombustibles, o en mezcla (B20) para cualquier motor de combustión interna.

### 3.4 Dimensiones de los componentes del Reactor Batch Agitado para Obtención de Biodiesel a partir de grasa animal.

Tabla 3-8 Dimensiones del Reactor

Componente	Valor	Medida
Tanque Reactor		
Volumen	0.381	m <sup>3</sup>
Altura	0.990	m
Diámetro	0.76	m
Material	Acero Inoxidable 304	
Tanque de Calefacción		
Volumen	0.131	m <sup>3</sup>
Altura	0.9	m
Diámetro	0.76	m
Material	Acero Inoxidable 304	
Sistema de Agitación o Mezcla		
Longitud del Brazo	0.7	m
Distancia del fondo de tanque y Rodete	0.15	m
Diámetro del Rodete	0.46	m
Alto de Paleta	0.14	m
Número de Paletas	2	
Espesor del Rodete	0.17	m
Potencia Requerida	0.7	hp

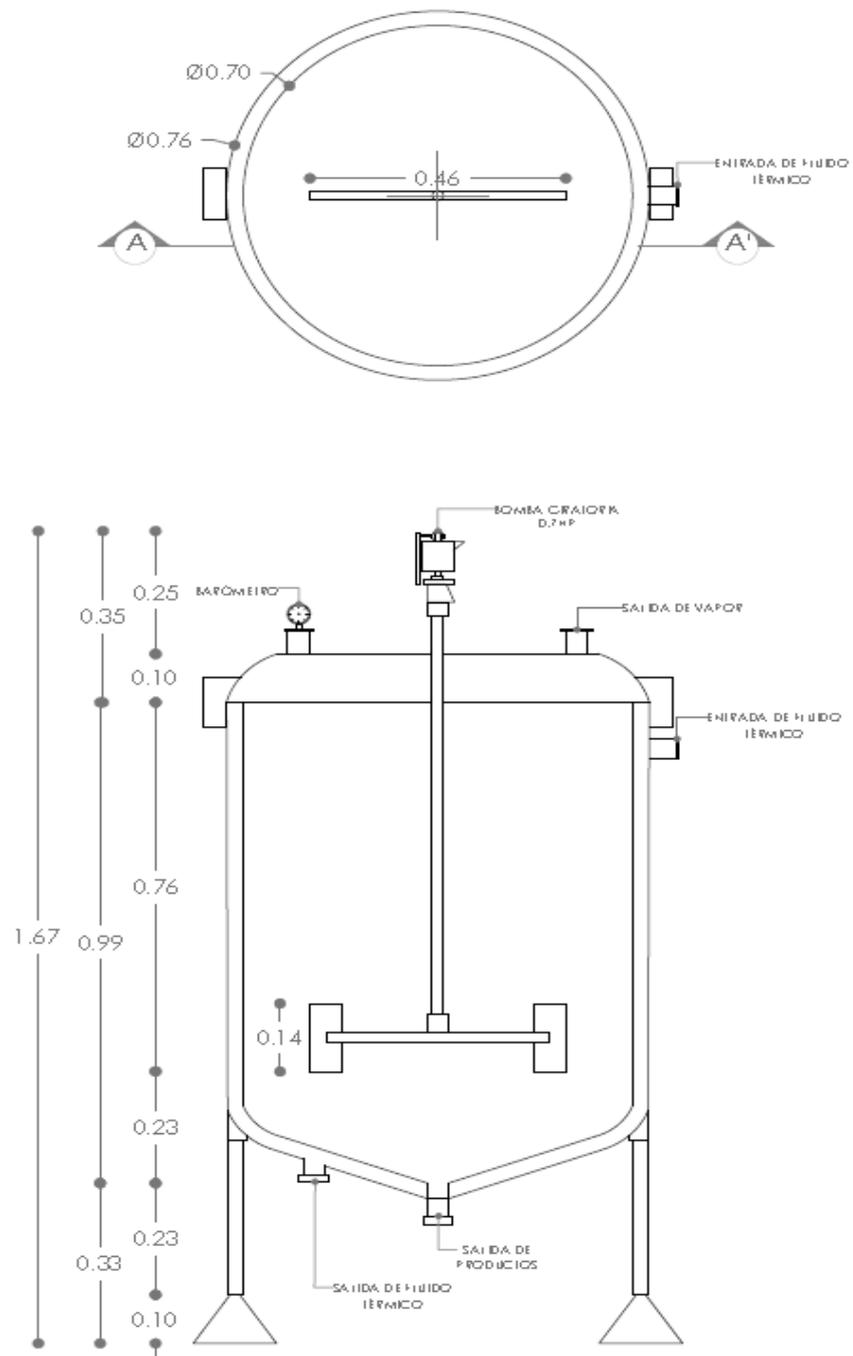
Fuente: Diego Andrés Cisneros

- ✓ Una vez que determinamos la producción diaria de grasa en el camal de 276 L, y las condiciones para la reacción de transesterificación que son 110 rpm de agitación media, y 50 grados la temperatura óptima de reacción, se diseñó un biorreactor tipo Batch agitado con una chaqueta de calefacción con una caída cónica de 30° para la separación de productos. Tiene una altura de 0.990 m y un diámetro de 0.70 m, recubierto por una camisa de calefacción de diámetro 0.76 m, tiene además una bomba giratoria de 0.7 hp para la agitación de dos paletas.

### 3.5 Diseño en 2D y 3D del Reactor Batch Agitado para Obtención de Biodiesel a partir de grasa animal.

#### 3.5.1 Planos 2D del Biorreactor en Vista Superior y Corte A-A

Gráfico 3-1 Diseño de Biorreactor para obtención de Biodiesel



Fuente: Diego Andrés Cisneros

### 3.5.2 *Diseño 3D del Biorreactor*

Gráfico 3-2 Diseño en 3D del Biorreactor para Obtención de Biodiesel (vista superior)



Fuente: Diego Andrés Cisneros

Gráfico 3-3 Diseño en 3D del Biorreactor para Obtención de Biodiesel (vista lateral)



Fuente: Diego Andrés Cisneros

## CONCLUSIONES

- En el Camal Municipal de Ambato se producen semanalmente un promedio de 1379 litros de grasa animal que es un residuo no aprovechable y representa un volumen considerable para la producción de biodiesel.
- Se obtuvieron 430 mL de biodiesel por transesterificación, a partir de 500 ml de grasa animal en el laboratorio de físico química de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH con las siguientes propiedades físico químicas pH 7.71, densidad 0.894 g/cc, viscosidad 1.3 mm<sup>2</sup>/s, humedad 34.55%, gravedad API 26.77, fósforo 0.09 mg/Kg, acidez 1.94E<sup>-8</sup> mol/L, punto de ebullición 492.80 F, índice de cetano 34, estos parámetros se cumplen en las normas INEN y ASTM a excepción de la viscosidad.
- El dimensionamiento de los componentes del biorreactor se obtuvo con los siguientes resultados: Volumen de tanque reactor de 0.381 m<sup>3</sup> con una caída cónica de 30 grados para la separación de productos, altura del tanque reactor de 0.990 m, un diámetro de tanque reactor de 0.70 m, envuelto en una camisa de calefacción de diámetro 0.76m. Posee un sistema de agitación que tiene un rodete de diámetro 0.46m con una paleta accionado por una bomba de 0.7 hp.
- En base al dimensionamiento de los componentes del biorreactor se pudo diseñar en AutoCAD los planos en dos y tres dimensiones con las medidas respectivas de lo que es el biorreactor para obtención de biodiesel.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **AVELLANEDA VARGAS, F.** (2010). *Producción y Caracterización de Biodiesel de palma y de aciete reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal*. Tarragona.
2. **BASTIDA YAÑEZ, O.** (2009). *Microprocesos Aplicados a la producción de Biodiesel*. Zaragoza: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.
3. **BENJUMEA, P.** (2007). Propiedades de flujo a baja temperatura del biodiesel de aceite de palma. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 1-6.
4. **BUENO MOLINA, M.** (2012). *Diseño y construcción de un reactor para obtención de biodiesel a partir de grasa animal generada en el camal de la ciudad de abancay apurimac*. Abancay: Universidad Alas Peruanas.
5. **CATERPILLAR.** (14 de 04 de 2007). Combustibles Alternativos Uso del Biodiesel en motores Industriales. *Viewpoint*. Obtenido de [https://mining.cat.com/cda/files/2785315/9/AlternativeFuels\\_SP.pdf](https://mining.cat.com/cda/files/2785315/9/AlternativeFuels_SP.pdf)
6. **ESPINOZA GUERRERO, A. J.** (2009). *Diseño y construcción de un reactor batch para la obtención por transesterificación de biodiesel a partir de aceite de cocina reciclado*. Riobamba: ESPOCH.
7. **FLORES HERNANDEZ, A. A., & FLORES MONTIEL, M.** (2013). *Diseño y modelado de un reactor tipo batch y continuo para aplicaciones de control automático*. Baja California: CENIDET.
8. **GIRALDO, S., & RIOS, L.** (2006). *Síntesis de aditivos para biodiésel a partir de modificaciones químicas de la glicerina*. Chile: Centro de Información Tecnológica .
9. **GUATEMALTECA, C.** (2006). *Biocombustibles*. Guatemala: Ministerio de Ciencia y Tecnología.
10. **INEN.** (2009). *Requisitos del Biodiesel*. Quito: INEN.
11. **LATINA, A. P.** (2013). Siete muertos por intoxicación con alcohol metílico en la habana. *Escambray*.
12. **MORANTE, J.** (9 de 06 de 2012). *Biotecnología*. Recuperado el 27 de 05 de 2015, de Biorincon: <http://biorincon.blogspot.com/2012/06/biorreactor.html>
13. **NORMA ASTM D-525.** (09 de Junio de 2015). Obtenido de Norma ASTM D-525: <http://www.astm.org/DownloadStandardA.html?ASTM%20HC=ASTM&DESIGNATION=D525&AdID=&Split=&Campaign=Individual%20Standards%207&gclid=CJC-hZ-ohMYCFUyPHwodCzcARA>
14. **PUEBLA, U. D.** (24 de 05 de 2012). Recuperado el 29 de 04 de 2015, de Fundamentos de Diseño de Reactores: [http://caterina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/munoz\\_c\\_r/capitulo3.pdf](http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/munoz_c_r/capitulo3.pdf)

15. **SECRETARÍA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN.** (9 de abril de 2015). *DESCRIPCIÓN DESARROLLO Y PERSPECTIVAS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA ARGENTINA Y EN EL MUNDO.* Obtenido de [http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fenergia3.mecon.gov.ar%2Fcontenidos%2Farchivos%2Fpublicaciones%2Fprotocolo\\_kyoto.doc&ei=rNAiVfV\\_yfGwBdi8gJgF&usg=AFQjCN Eebss-4N3gCQrv2T2eVnVqhHUijA](http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fenergia3.mecon.gov.ar%2Fcontenidos%2Farchivos%2Fpublicaciones%2Fprotocolo_kyoto.doc&ei=rNAiVfV_yfGwBdi8gJgF&usg=AFQjCN Eebss-4N3gCQrv2T2eVnVqhHUijA)
16. **TEJADA TOVAR, C., & TEJADA BENITEZ, L.** (2013). Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. (36).
17. **VOGEL, A. I.** (1996). *Química Orgánica Práctica.* Luxemburg: Prentice Hall.
18. **ZAPATA, C.** (2015). *Producción de Biodiesel a partir de aceite crudo de palma.* Medellín: Dyna.

## ANEXOS

### Anexo 1: Obtención de biodiesel por transesterificación

- ✓ Grasa Animal Fundida



- ✓ Metóxido de Sodio



- ✓ Separación de biodiesel y glicerina



## Anexo 2: Propiedades físico químicas del biodiesel obtenido

- ✓ Determinación de pH



✓ Determinación de Punto de Ebullición



✓ Densímetro



✓ Viscosímetro



✓ Determinación de Fósforo por Espectrofotometría



