



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
EXTENSIÓN LATACUNGA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR AUTOMATIZADO  
PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A NIVEL SEMI  
INDUSTRIAL PARA MOTORES DIESEL”**

**LUIS STALIN PATAJALO VILLALTA**

**EDWIN PAÚL SORIA POZO**

**Tesis presentada como requisito previo a la obtención del grado  
de:**

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**Latacunga-Ecuador**

**2013**

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

### **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo: Luis Stalin Patajalo Villalta, y

Yo: Edwin Paúl Soria Pozo,

#### **DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado titulado **“IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR AUTOMATIZADO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A NIVEL SEMI INDUSTRIAL PARA MOTORES DIESEL”**, fue desarrollado con la debida investigación científica, sabiendo respetar todos los derechos intelectuales de terceros, acorde con las citas que se hace al pie de página correspondiente, las fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra exclusiva autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, la veracidad y el alcance científico que tiene este proyecto de grado realizado.

Latacunga, Junio del 2013

Luis Stalin Patajalo Villalta.

CI: 1718276825

Edwin Paúl Soria Pozo.

CI: 1719272435

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICADO**

Ing. Guido Torres (DIRECTOR)

Ing. Germán Erazo (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado “**IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR AUTOMATIZADO PARA PRODUCIR BIODIESEL A NIVEL SEMI-INDUSTRIAL**” realizado por LUIS STALIN PATAJALO VILLALTA Y EDWIN PAÚL SORIA POZO, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que es un proyecto de excelente calidad y contenido científico que servirá para la enseñanza, aprendizaje, aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional por lo que si recomendamos su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Luis Patajalo y Paul Soria que lo entregue al Ing. Juan Castro, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, Junio del 2013

---

ING. GUIDO TORRES

DIRECTOR

---

ING. GERMÁN ERAZO

CODIRECTOR

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, Luis Stalin Patajalo Villalta y

Yo, Edwin Paúl Soria Pozo

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR AUTOMATIZADO PARA LA PRODUCCIÓN BIODIESEL A NIVEL SEMI-INDUSTRIAL PARA MOTORES DIESEL”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Junio del 2013

---

Luis Stalin Patajalo Villalta

C.I. 1718276825

---

Edwin Paúl Soria Pozo

C.I. 1719272435

## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico a mi madre María Villalta, y a mi padre Luis Patajalo, quienes me han apoyado económica y moralmente a lo largo de mi formación profesional, pese a los obstáculos presentados en el camino.

A mis hermanos que me han brindado su amistad y cariño, a toda mi familia que de una u otra forma me han dado consejos que me han ayudado, A mi novia Diana que me ha brindado su amor, cariño y comprensión.

A mis amigos y compañeros de aula que compartimos buenos y malos momentos en la universidad.

Luis Patajalo V.

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedico a mis padres por el apoyo que me han brindado para que pueda cumplir mis objetivos y metas, a mi esfuerzo, perseverancia y deseo de superación que me han impulsado a seguir adelante.

Paúl Soria

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente agradezco a Dios por brindarme la vida, a mis padres por enseñarme valores y formarme como persona de bien para la sociedad.

A la ESPE sede Latacunga por darme la oportunidad de ser un profesional con principios, ética y moral para servir y ayudar al desarrollo de nuestro país.

Al Ing. Leónidas Quiroz quien me dio la idea para desarrollar este proyecto.

Finalmente a mi director Ing. Guido Torres y codirector German Erazo por su colaboración prestada en este tiempo.

Luis Patajalo V.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres Ángel Soria y Jessy Pozo que se han esforzado por darme la oportunidad de superarme y me han educado con buenos valores, a mis abuelos por sus buenos consejos y palabras de aliento en los momentos difíciles.

A mi tía Antonieta Soria, su esposo Pablo García y a mis queridos primos por el apoyo incondicional durante mi etapa de estudiante universitario.

A mi hermano, todos mis amigos y a mi novia Carolina Hernández, personas importantes que he conocido a lo largo de mi vida y han permanecido a mi lado.

Paúl Soria



## RESUMEN

La finalidad de este proyecto es implementar un reactor automatizado de tipo Fed Batch para producir biodiesel a nivel semi-industrial, el biocombustible debe cumplir con normas internacionales de calidad para utilizarse de manera segura en motores que utilicen diesel como combustible, la idea es comprobar la factibilidad de poder usar biodiesel como sustituto del diesel derivado del petróleo.

Se obtiene biodiesel mediante transesterificación por alcoholisis, usando hidróxido de potasio como catalizador, Para el desarrollo del proyecto es necesario realizar una investigación acerca de la reacción química que se produce en el proceso de obtención del biocombustible, conocer las características que deben tener los reactivos y la materia prima que en este caso es el aceite vegetal usado.

Se realizan pruebas de laboratorio que permiten determinar las proporciones adecuadas entre los reactivos y el aceite, además establecer las condiciones de temperatura e intensidad de agitación que optimicen la producción de biodiesel. La experimentación es una parte importante dentro del proyecto para posteriormente analizar los resultados obtenidos en las diferentes pruebas y producir biocombustible a mayor escala en el reactor.

Se diseña y construye el reactor, considerando elementos como: el cilindro principal, los depósitos de agua, metóxido y la estructura de soporte.

El reactor está dimensionado para producir un volumen de 10 litros de biodiesel por carga aproximadamente. La parte del diseño incluye la selección de materiales y otros dispositivos como electroválvulas, motor eléctrico, resistencia eléctrica de calefacción que intervienen en los diferentes procesos. El cilindro principal dispone de dos sistemas uno de calefacción y uno de agitación.

El sistema de calefacción consta de una resistencia eléctrica de 1300 watt que se encuentra en la parte interior del reactor, el sistema de agitación lo conforman un motor eléctrico de 1/3 HP y un agitador de tipo paletas planas. Las potencias y

características de los componentes de los dos sistemas se obtienen mediante cálculos.

Una vez terminada la fase de diseño y construcción se procede a la automatización de los procesos, se utiliza un LOGO marca Siemens modelo 230 RC, el control de la temperatura lo realiza un termostato con sensor de bulbo que fue implementado en la resistencia eléctrica de calefacción. Todo fue programado de manera que el reactor no necesite la intervención humana más que para la decantación de los productos y subproductos que se obtienen durante la producción del biodiesel.

En la parte final del proyecto se realizan pruebas de laboratorio que permiten determinar si las características del biodiesel obtenido cumplen con las normas de calidad y concluir si el biocombustible es o no apto para utilizarlo en un motor diesel.

## **ABSTRACT**

The purpose of this project is to implement an automated reactor type Fed Batch to produce biodiesel at semi-industrial level, biofuel must comply international quality standards and used safely in engines that used diesel as fuel, the idea is to test the feasibility of using biodiesel as a substitute for petroleum diesel.

Obtain biodiesel by transesterification by alcoholysis using potassium hydroxide as a catalyst for the development of the project is necessary to investigate about the chemical reaction that occurs in the process of obtaining biofuel, knowing the characteristics required reagents and the raw material in this case is used vegetable oil.

Laboratory tests are conducted for determining the appropriate proportions between the reactants and oil, also set conditions of temperature and intensity of agitation that optimize the production of biodiesel. Experimentation is an important part of the project to further analyze the results of the various tests and produce biofuel on a larger scale in the reactor.

The next step is to design and construct each one of the elements comprising the reactor; these are the main cylinder, water and methoxide reservoirs and the support structure. The reactor was dimensions to produce a volume of 10 liters of biodiesel per charge approximately. The design includes the selection of materials and other devices such as solenoid valves, an electric motor and an electrical heating resistance involved in different processes. There are two systems one heating and one of agitation in the master cylinder.

The heating system consists of an electrical resistance of 1300 watt which is located on the inside of the reactor; the agitation system is made up of an electric motor of 1/3 HP and a flat-pallet-type agitator. Powers and characteristics of the components of the two systems are obtained by calculations.

Once the design and construction phase proceeds to the automation of processes using a Siemens LOGO 230 RC model, thermostat performs the temperature control sensor bulb that was implemented in the electrical resistance of heating. Everything was programmed so that the reactor not needs human intervention rather than decanting the products and sub products obtained during the production of biodiesel.

At the end of the project are performed laboratory tests to determine if the characteristics of biodiesel obtained comply quality standards and conclude whether or not biofuel is suitable for use in a diesel engine.

# ÍNDICE

<b>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD</b> .....	ii
<b>CERTIFICADO</b> .....	iii
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	iv
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	vii
<b>RESUMEN</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>ÍNDICE</b> .....	xiii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xviii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xxii
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	xxiv
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>1. IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR AUTOMATIZADO PARA PRODUCIR BIODIESEL A NIVEL SEMI-INDUSTRIAL</b> .....	1
<b>1.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	1
<b>1.2.1. DIAGRAMA DE CAUSA- EFECTO</b> .....	2
<b>1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	2
<b>1.3. OBJETIVOS</b> .....	3
<b>1.3.1. OBJETIVO GENERAL</b> .....	3
<b>1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	3
<b>1.4. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	4
<b>1.4.1 OPERACIÓN DE VARIABLES</b> .....	4
<b>1.5 JUSTIFICACIÓN</b> .....	5
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	7
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	7
<b>2.1. BIOCOMBUSTIBLES</b> .....	7
<b>2.2. BIODIESEL</b> .....	8
<b>a. VENTAJAS</b> .....	9
<b>b. DESVENTAJAS</b> .....	11

2.2.1.	OBTENCIÓN DEL BIODIESEL .....	12
2.2.2.	USOS DEL BIODIESEL .....	12
a.	COMBUSTIBLES.....	12
b.	OTRAS APLICACIONES .....	14
2.2.3.	TRANSESTERIFICACIÓN .....	14
a.	TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITES VEGETALES.....	15
2.3.	PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.....	17
2.3.1.	ACEITES VEGETALES.....	18
2.3.2.	ALCOHOL .....	20
2.3.3.	CATALIZADOR.....	21
2.3.4.	RELACIÓN (ALCOHOL-KOH) /ACEITE.....	21
2.3.5.	MANEJO DE LOS REACTIVOS EMPLEADOS.....	22
	<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>24</b>
3.	<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>24</b>
3.1.	<b>MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
a.	<b>INDUCTIVO .....</b>	<b>24</b>
b.	<b>DEDUCTIVO .....</b>	<b>24</b>
c.	<b>EXPERIMENTAL.....</b>	<b>25</b>
3.2.	<b>PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL .....</b>	<b>25</b>
3.2.1.	<b>TRATAMIENTO DEL ACEITE VEGETAL USADO .....</b>	<b>27</b>
3.2.2.	<b>PREPARACIÓN DE METÓXIDO.....</b>	<b>28</b>
3.2.3.	<b>TRANSESTERIFICACIÓN.....</b>	<b>30</b>
3.2.4.	<b>DECANTACIÓN .....</b>	<b>32</b>
3.2.5.	<b>LAVADO .....</b>	<b>32</b>
3.2.6.	<b>SECADO .....</b>	<b>34</b>
	<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>35</b>
4.	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>35</b>
4.1.	<b>FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>35</b>
a.	<b>CALENTAMIENTO DEL ACEITE -INGRESO DEL METÓXIDO- AGITACIÓN.....</b>	<b>36</b>
b.	<b>CALENTAMIENTO DEL BIODIESEL -INGRESO DE AGUA- AGITACIÓN.....</b>	<b>36</b>

c.	SECADO DEL BIODIESEL.....	36
4.2.	DETALLE DE COMPONENTES.....	36
a.	ELEMENTOS EXTERNOS.....	37
b.	ELEMENTOS INTERNOS.....	38
4.2.1.	DEPÓSITO PRINCIPAL.....	39
a.	DISEÑO DEL CILINDRO:.....	39
b.	DISEÑO DEL CONO.....	40
c.	ANÁLISIS DE FUERZAS DEL DEPÓSITO PRINCIPAL.....	45
4.2.2.	CONTENEDORES DE METÓXIDO Y AGUA.....	52
4.2.3.	ELECTROVÁLVULAS.....	53
4.2.4.	RESISTENCIA ELÉCTRICA.....	55
a.	DISEÑO DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA.....	56
4.2.5.	MOTOR AGITADOR.....	58
a.	DISEÑO DEL AGITADOR.....	59
b.	SELECCIÓN DEL MOTOR.....	59
c.	DISEÑO DEL EJE.....	63
d.	ANÁLISIS DE FUERZAS DEL EJE Y ASPAS.....	67
4.2.6.	ESTRUCTURA DE SOPORTE.....	75
a.	ANÁLISIS DE FUERZAS DE LA ESTRUCTURA.....	76
4.3.	CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR.....	80
	CAPÍTULO 5.....	93
5.	AUTOMATIZACIÓN.....	93
5.1.	INSTRUMENTACIÓN.....	93
5.2.	PROGRAMACIÓN.....	95
a.	PROGRAMA LOGO! SOFT CONFORT V7.0.....	95
b.	PROGRAMACIÓN LADDER.....	96
c.	PROGRAMA DEL REACTOR.....	97
5.2.1.	MEDICIÓN DEL TIEMPO.....	99
5.2.2.	CONTROL DE TEMPERATURA.....	100
5.2.3.	APERTURA Y CIERRE DE ELECTROVÁLVULAS.....	102
5.2.4.	ENCENDIDO Y APAGADO DEL MOTOR DEL AGITADOR.....	104

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	105
<b>6. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	105
<b>6.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO REACTOR</b> .....	105
<b>6.1.1. CARGA DEL REACTOR</b> .....	105
<b>6.1.2. DESEMPEÑO DEL MOTOR- AGITADOR</b> .....	107
<b>6.1.3. DESEMPEÑO DE LA RESISTENCIA</b> .....	107
<b>6.2. OBTENCIÓN DE BIODIESEL EN EL REACTOR</b> .....	108
<b>6.3. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL BIODIESEL OBTENIDO.</b> .....	113
<b>6.3.1. NORMAS DE CALIDAD PARA EL BIODIESEL</b> .....	113
<b>6.4. PRUEBAS PARA DETERMINAR DENSIDAD</b> .....	115
<b>6.5. MEDICIÓN DEL PH</b> .....	118
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	122
<b>7. MARCO ADMINISTRATIVO</b> .....	122
<b>7.1. RECURSOS</b> .....	122
<b>7.1.1. RECURSOS HUMANOS</b> .....	122
<b>7.1.2. RECURSOS TECNOLÓGICOS</b> .....	122
<b>7.1.3. RECURSOS MATERIALES</b> .....	123
<b>7.2. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL REACTOR</b> .....	124
<b>7.3. COSTO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL</b> .....	126
<b>7.4. FINANCIAMIENTO</b> .....	127
<b>7.5. CRONOGRAMA</b> .....	127
<b>CONCLUSIONES.</b> .....	129
<b>RECOMENDACIONES.</b> .....	131
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	133
<b>ANEXO A. TABLAS DE PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS REACTIVOS</b> ..	135
<b>ANEXO B. PLANOS</b> .....	138
<b>ANEXO C. DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA</b> .....	149
<b>ANEXO D. PROGRAMACIÓN LADDER</b> .....	151
<b>ANEXO E. NORMAS PARA EL BIODIESEL</b> .....	155
<b>ANEXO F. INFORME DE PROPIEDADES QUÍMICAS DEL BIODIESEL OBTENIDO</b> .....	158



<b>ANEXO G. MANUAL DE USUARIO .....</b>	<b>160</b>
<b>ANEXO H. ARTÍCULO DEL PROYECTO.....</b>	<b>169</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de causa-efecto .....	2
Figura 2.1 Biocombustibles .....	8
Figura 2.2 Biodiesel .....	9
Figura 2.3 Ciclo del Biodiesel.....	12
Figura 2.4 Wolskwagen que utiliza 100% Biodiesel.....	13
Figura 2.5 Reacciones generales de la transterificación .....	15
Figura 2.6 Transesterificación general, con metanol y como catalizador hidróxido de potasio.....	16
Figura 2.7 Representación de las etapas de la transesterificación, con metanol y como catalizador hidróxido de potasio.....	17
Figura 2.8 Muestras de aceite utilizado para la obtención de biodiesel.....	20
Figura 2.9 Elementos de protección .....	23
Figura 3.1 Aceite vegetal usado luego de ser tratado .....	28
Figura 3.2 Pesaje de KOH.....	28
Figura 3.3 Medición del volumen de metanol.....	29
Figura 3.4 Solución de KOH y metanol .....	29
Figura 3.5 Agitación de la solución metanol y KOH .....	30
Figura 3.6 Calentamiento del aceite .....	30
Figura 3.7 Agitación de la mezcla .....	31
Figura 3.8 Embudo de decantación.....	31
Figura 3.9 Separación glicerina y biodiesel.....	32
Figura 3.10 Separación biodiesel – agua.....	33
Figura 3.11 Lavado y filtrado del biodiesel.....	33
Figura 3.12 Biodiesel antes y después del secado .....	34
Figura 4.1 Componentes externos del Reactor.....	37
Figura 4.2 Componentes internos del Reactor .....	38
Figura 4.3 Dimensiones del cilindro.....	39
Figura 4.4 Dimensiones del cono .....	40

Figura 4.5 Distancias de la circunferencia para formar el cono.....	42
Figura 4.6 Medidas del tanque y del cono .....	43
Figura 4.7 Nivel de aceite en el tanque .....	45
Figura 4.8 Aplicación de las presiones en el tanque.....	47
Figura 4.9 Esfuerzos de Von Mises del tanque .....	48
Figura 4.10 Desplazamiento a causa de la presión .....	49
Figura 4.11 Deformación unitaria en el tanque.....	50
Figura 4.12 Análisis térmico .....	50
Figura 4.13 Factor de seguridad.....	51
Figura 4.14Válvula solenoide instalada en el reactor para controlar el ingreso de metóxido.....	54
Figura 4.15Válvula solenoide instalada en el reactor para controlar el ingreso de agua .....	55
Figura 4.16 Resistencia eléctrica colocada en el depósito principal. ....	55
Figura 4.17Motor Agitador. ....	58
Figura 4.18 Agitador de paletas tipo planas. ....	58
Figura 4.19 Gráfica de curvas de potencias de distintos impulsores.....	60
Figura 4.20 Dimensionamiento del eje en Mdsolid.....	63
Figura 4.21 Diagrama de cuerpo libre del eje .....	64
Figura 4.22Diagrama de momentos de reacción .....	65
Figura 4.23Momentos internos.....	66
Figura 4.24 Aplicación del torque en el eje .....	67
Figura 4.25 Esfuerzos de Von Mises en el eje .....	68
Figura 4.26 Desplazamiento del eje.....	69
Figura 4.27 Deformación unitaria del eje .....	70
Figura 4.28 Factor de seguridad del eje .....	71
Figura 4.29 Fuerza ejercida en las aspas .....	72
Figura 4.30 Esfuerzos de Von Mises de las aspas .....	73
Figura 4.31 Deformaciones unitarias de las aspas .....	74
Figura 4.32 Factor de seguridad de las aspas .....	74
Figura 4.33 Estructura del reactor .....	75

Figura 4.34 Aplicación de las cargas en la estructura .....	76
Figura 4.35 Resultado-Esfuerzos de Von Mises .....	77
Figura 4.36 Resultados del análisis- Esfuerzos en XY .....	78
Figura 4.37 Resultados del análisis-Desplazamiento .....	79
Figura 4.38 Resultados del análisis-Factor de seguridad .....	80
Figura 4.39 Cilindro principal del reactor.....	82
Figura 4.40 Depósito de metóxido.....	84
Figura 4.41 Depósito de agua acoplado a la electroválvula .....	84
Figura 4.42 Corte del eje y la platina. ....	86
Figura 4.43 Eje y Aspa de agitación. ....	86
Figura 4.44 Estructura de soporte del reactor .....	88
Figura 4.45 Accesorios y tubería para acoplar a los depósitos y electroválvulas .....	90
Figura 4.46 Motor – agitador ensamblado.....	90
Figura 4.47 Reactor Automatizado para producir biodiesel .....	91
Figura 5.1 Estructura del Logo Siemens 230 RC .....	94
Figura5.2 Plataforma de conexión para diagrama Ladder .....	95
Figura5.3 Descripción de la ubicación de los elementos de entrada y salida.....	96
Figura 5.4 Símbolos básicos de diagrama ladder .....	97
Figura 5.5 Simulación de la alimentación de la resistencia eléctrica .....	100
Figura 5.6 Perilla de control de la temperatura .....	101
Figura 5.7 Diagrama de conexión del termostato .....	102
Figura 5.8 Funcionamiento de las memorias M1, M4, M11, M14.....	102
Figura 5.9 Funcionamiento de las memorias M4,M7,M11 .....	103
Figura 5.10 Funcionamiento de las memorias M2, M5, M9 .....	103
Figura 5.11 Activación de las electroválvulas.....	103
Figura 5.12 Activación del motor .....	104
Figura 5.13 Encendido y apagado del motor .....	104
Figura 5.14 Encendido del motor en la segunda etapa.....	104
Figura 6.1 Carga del cilindro principal .....	108

Figura 6.2 Carga del contenedor de metóxido .....	109
Figura 6.3 Carga del contenedor de agua .....	109
Figura 6.4 Pulsador de inicio de la primera etapa .....	110
Figura 6.5 Decantación de glicerina .....	110
Figura 6.6 Pulsador de inicio de la segunda etapa .....	111
Figura 6.7 Decantación de agua con impurezas.....	111
Figura 6.8 Pulsador de inicio de la tercera etapa .....	112
Figura 6.9 Picnómetros lavados y secos.....	115
Figura 6.10 Pesando picnómetro vacío .....	116
Figura 6.11 Picnómetros llenos de biodiesel .....	116
Figura 6.12 Picnómetros llenos antes de ser sumergidos.....	117
Figura 6.13 Retirando el picnómetro del baño María.....	117
Figura 6.14 Papel PH .....	119
Figura 6.15 Resultados de las mediciones .....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Operación de la variable Biodiesel obtenido a partir de aceite vegetal desechado .....	4
Tabla 1.2 Operación de la variable reactor automatizado para producir biodiesel..	5
Tabla 2.1 Ventajas del Biodiesel .....	11
Tabla 2.2 Aceites vegetales como materia prima para la producción de ésteres metilL .....	19
Tabla 2.3 Cantidad básica de catalizador por cada litro de aceite según la pureza del KOH por cada litro de aceite .....	22
Tabla 3.1 Proporciones establecidas de los elementos para cada prueba .....	25
Tabla 3.2 Propiedades del metanol usado para la obtención de biodiesel .....	26
Tabla 3.3 Propiedades del KOH usado en la obtención de biodiesel.....	27
Tabla 4.1 Propiedades del material usado.....	46
Tabla 4.2 Fuerzas de reacción del tanque .....	47
Tabla 4.3 Información técnica de las electroválvula del metóxido .....	53
Tabla 4.4 Información técnica de las electroválvula para la dosificar agua.....	54
Tabla 4.5 Clase de aislamientos más comunes usados en los motores. ....	62
Tabla 4.6 Datos técnicos del motor jaula de ardilla.....	62
Tabla 4.7Fuerzas de reacción en el eje .....	68
Tabla 4.8 Fuerzas de reacción de las aspas .....	73
Tabla 4.9 Materiales empleados en la construcción del reactor .....	92
Tabla 5.1 Listado de elementos empleados en la automatización .....	93
Tabla 5.2Entradas y salidas.....	97
Tabla 5.3 Entradas y salidas que intervienen en la programación .....	98
Tabla 5.4 Tiempo de funcionamiento de los actuadores en la etapa 1 .....	99
Tabla 5.5 Tiempo de funcionamiento de los actuadores en la etapa 2.....	100
Tabla 5.6 Tiempo de funcionamiento de los actuadores en la etapa 3 .....	100
Tabla 6.1 Cantidad de carga en los recipientes del reactor para producir biodiesel.....	106
Tabla 6.2 Pruebas de funcionamiento del motor agitador .....	107

Tabla 6.3	Procesos de cada etapa en el reactor .....	112
Tabla 6.4	Datos obtenidos para el cálculo de la densidad .....	118
Tabla 6.5	Valores de la medición del PH.....	119
Tabla 6.6	Propiedades del biodiesel producido en el reactor .....	120
Tabla 7.1	Recursos humanos .....	122
Tabla 7.2	Recursos tecnológicos .....	123
Tabla 7.3	Recursos materiales .....	124
Tabla 7.4	Gastos efectuados en materiales .....	125
Tabla 7.5	Gastos efectuados en la implementación e investigación.....	126
Tabla 7.6	Costo de obtención del biodiesel con aceite nuevo.....	126
Tabla 7.7	Costo de obtención del biodiesel con aceite usado .....	126
Tabla 7. 8	Cronograma de actividades .....	128

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Volumen de un cilindro.....	39
Ecuación 2	Volumen del cono.....	40
Ecuación 3	Volumen total del depósito total.....	41
Ecuación 4	Teorema de Pitagoras.....	43
Ecuación 5	Perímetro de un círculo.....	44
Ecuación 6	Sección a cortar para formar el cono .....	44
Ecuación 7	Ángulo del sector circular para formar el cono .....	44
Ecuación 8	Presión en un tanque con fluido .....	45
Ecuación 9	Incremento de temperatura.....	56
Ecuación 10	Potencia requerida en una resistencia .....	56
Ecuación 11	Densidad de un fluido .....	57
Ecuación 12	Conversión de Celsius a Fahrenheit.....	57
Ecuación 13	Ancho de las paletas de agitación.....	59
Ecuación 14	Número de reinolds .....	59
Ecuación 15	Potencia requerida de un motor eléctrico .....	56
Ecuación 16	Potencia de un motor eléctrico en función del torque .....	63
Ecuación 17	Esfuerzo cortante .....	66
Ecuación 18	Torque .....	71
Ecuación 19	Momento en las aspas de agitación .....	72



## **CAPÍTULO 1**

### **1. IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR AUTOMATIZADO PARA PRODUCIR BIODIESEL A NIVEL SEMI- INDUSTRIAL**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Surge un gran interés a nivel mundial por el cuidado y la conservación del medio ambiente, siendo la industria automotriz una de las actividades más contaminantes del planeta es necesario tomar medidas que permitan reducir el impacto ambiental.

Según Peñafiel J. en su artículo del Diario “El Universo” del 17 de julio del 2011, el parque automotor en Ecuador incrementó en un 113% en los últimos 10 años, este uno de los problemas que aquejan y contribuyen a la contaminación principalmente en las grandes ciudades debido a los gases emitidos por los vehículos.

El uso de combustibles derivados del petróleo es el más común en los motores de combustión interna en los automotores, se buscan fuentes de energía alternas que sean más amigables con la naturaleza.

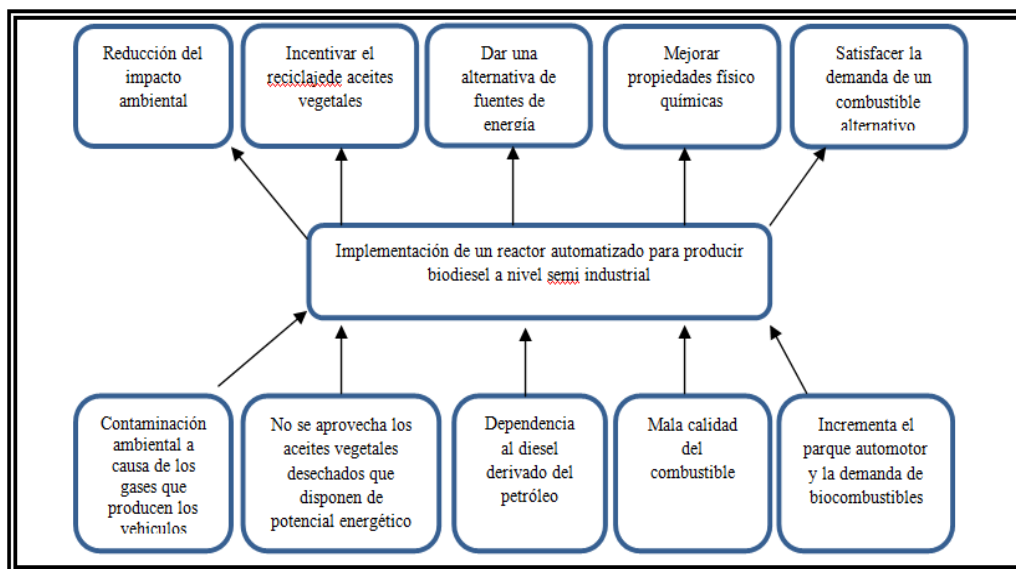
Una alternativa viable es la producción de biodiesel reutilizando aceite vegetal, para usarlo en motores de combustión interna como sustituto del diesel derivado del petróleo o al menos como un componente de baja concentración en el diesel fósil, de esta manera se obtendrán beneficios como una significativa reducción en las emisiones de dióxido de carbono, la ausencia de azufre y otros contaminantes ya que el combustible es de origen vegetal.

Reciclar el aceite vegetal también contribuye con la protección de ambiente, en ocasiones es arrojado por las cañerías produciendo contaminación, a diferencia del uso de aceite virgen que implica el cultivo indiscriminado lo que conlleva el desgaste del suelo, deforestación y una amenaza a la seguridad alimentaria.

El biodiesel se obtiene mediante una reacción química denominada transesterificación por alcoholísis, la reacción requiere una serie de procesos para lo cual se implementará un reactor automatizado. La importancia de automatizar los procesos para la producción de biodiesel es la obtención de un producto de mejor calidad.

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.2.1. DIAGRAMA DE CAUSA- EFECTO



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 1.1 Diagrama de causa-efecto**

### 1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los motores de los vehículos contribuyen con la contaminación atmosférica debido a los gases que son liberados en el ambiente. La mala calidad del combustible agrava el problema, es necesario terminar con la dependencia al diesel derivado del petróleo produciendo biodiesel, usando como materia prima aceite vegetal desechado que dispone de potencial energético y es desaprovechado, de esta manera se busca satisfacer la creciente demanda de combustible.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Implementar un reactor automatizado para la producción de biodiesel a nivel semi-industrial, para obtener biocombustible a partir de aceite vegetal desechado y usarlo en motores diesel.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer el proceso de transesterificación, aplicado en la obtención de biocombustible.
- Seleccionar los reactivos necesarios para la obtención del biocombustible.
- Experimentarlas proporciones adecuadas entre reactivos y aceite vegetal.
- Diseñar y construir un reactor de tipo Batch para obtener 10 litros de biodiesel por carga.
- Seleccionar los dispositivos para el diseño eléctrico y electrónico de la aplicación.
- Programar el módulo de control para la automatización de los procesos.
- Ensamblar la parte mecánica con el sistema electrónico.
- Realizar pruebas de laboratorio que certifiquen la calidad del biodiesel obtenido.

## 1.4. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

### VARIABLE DEPENDIENTE

Biodiesel a partir de aceite vegetal desechado.

### VARIABLE INDEPENDIENTE

Reactor automatizado para producir biodiesel.

#### 1.4.1 OPERACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 1.1 Operación de la variable Biodiesel obtenido a partir de aceite vegetal desechado**

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	PREGUNTAS
Es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, con o sin uso previo, mediante procesos industriales de transesterificación, y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del petrodiesel o gasóleo obtenido del petróleo.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tecnológica</li><li>• Académica</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Número de procesos necesarios para producir biodiesel. <math>\geq 3</math></li><li>• Número de reactivos utilizados <math>\geq 2</math></li><li>• Número de pruebas de calidad a realizar en el biodiesel <math>\geq 4</math></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• ¿Qué procesos adecuados se debe seguir para la obtención del biodiesel?</li><li>• ¿Qué reactivos se utilizan para el proceso de transesterificación?</li><li>• ¿Qué pruebas de calidad se realizarán en el biodiesel obtenido?</li></ul>

**Fuente:** Grupo de investigación

**Tabla 1.2 Operación de la variable reactor automatizado para producir biodiesel**

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	PREGUNTAS
Es un equipo en cuyo interior tiene lugar una reacción química denominada transesterificación necesaria para producir biodiesel, realiza los procesos con la ayuda de un módulo de control de manera que no necesita intervención humana.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnológica</li> <li>• Académica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño del reactor (<math>\geq 1</math>).</li> <li>• Materiales y equipo utilizado en la construcción del reactor (<math>\geq 3</math>).</li> <li>• Número de sistemas que constituyen del reactor (<math>\geq 2</math>).</li> <li>• Número de variables físicas que intervienen en la construcción de reactor (<math>\geq 2</math>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo se va a realizar el diseño del reactor?</li> <li>• ¿Cuáles son los materiales a usar para la construcción del reactor?</li> <li>• De que sistemas se compone el reactor</li> <li>• ¿Qué aspectos influyen en la producción del biodiesel?</li> </ul>

**Fuente:** Grupo de investigación

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

La contaminación ambiental aqueja al mundo entero, existe una tendencia a buscar alternativas que permitan seguir desarrollando las diferentes actividades pero procurando reducir el impacto que tienen en la naturaleza.

Para lograrlo se han realizado estudios, entre las alternativas se encuentra la utilización de biocombustibles que ayuden a controlar los altos niveles de contaminación atmosférica, específicamente el biodiesel.

En Ecuador aún no se han implementado plantas de producción de biodiesel. La falta de interés tal vez se deba a que es un país productor de petróleo y esta actividad constituye una de las principales fuentes de ingreso.

La implementación de este prototipo dará una pauta para futuras investigaciones que permitan la producción de biodiesel a nivel industrial y su comercialización a precios competitivos.

Se obtienen beneficios como la reducción del impacto ambiental gracias a la disminución de gases tóxicos, se fomenta el reciclaje de aceite vegetal desechado que puede ser utilizado como materia prima para la elaboración del biodiesel, que será utilizado como un sustituto del diesel fósil, reduciendo la dependencia y la explotación indiscriminada de un recurso no renovable como es el petróleo. Aun si el biodiesel no puede sustituir por completo al petrodiesel, se puede utilizar como un componente de baja concentración, lo cual mejora las propiedades físicas y químicas del combustible y reduce los niveles de contaminantes. La utilización de biocombustibles aumenta cada año debido al incremento del parque automotor, la producción de biodiesel ayudaría a satisfacer esta creciente demanda.

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. BIOCOMBUSTIBLES

José María Baso menciona que son combustibles que tienen su origen en la materia orgánica renovable. Existen biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos, los sólidos son utilizados en procesos de combustión en calderas, los líquidos en motores de combustión interna y los combustibles gaseosos, que se obtienen a partir de biomasa diversa mediante pirolisis o gasificación son quemados en calderas y en motores.<sup>1</sup>

Bp una empresa multinacional encargada de producir biocombustibles sostiene que los biocarburantes contienen componentes derivados a partir de biomasa, es decir, organismos recientemente vivos o sus desechos metabólicos, los biocomponentes actuales proceden habitualmente del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas.<sup>2</sup>

Su finalidad última es liberar la energía contenida en sus componentes químicos mediante una reacción de combustión. El uso de la biomasa con fines energéticos implica una adecuación de la materia prima para su empleo como combustible en los sistemas convencionales.

Todos ellos reducen el volumen total de CO<sub>2</sub> que se dispersa en la atmósfera, ya que lo absorben a medida que crecen y emiten prácticamente la misma cantidad que los combustibles convencionales cuando se queman, por lo que se produce un proceso de ciclo cerrado según datos de biodisol.<sup>3</sup>

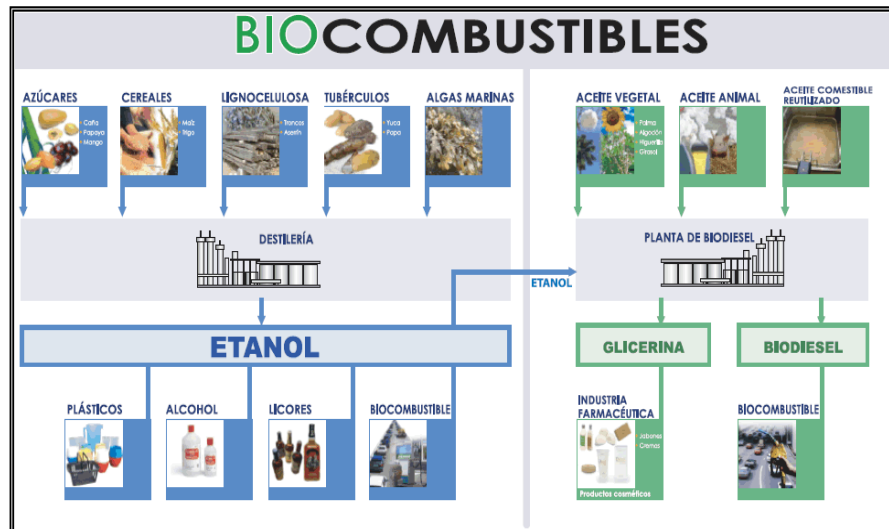
---

<sup>1</sup>(<http://193.146.36.56/lortiz/trabajos0708/JoseMariaBaso/Amorin-Losbiocombustibles.pdf>)

<sup>2</sup>(<http://www.bp.com/genericarticle.do?categoryId=9018139&contentId>)

<sup>3</sup> ([www.biodisol.com](http://www.biodisol.com))

Los biocombustibles son a menudo mezclados con otros combustibles en pequeñas proporciones, 5 o 10%, proporcionando una reducción útil pero limitada de gases de efecto invernadero.



Fuente: <http://tecnoblogsanmartin.wordpress.com/tag/biomasa/><sup>4</sup>

**Figura 2.1 Biocombustibles**

En Europa y Estados Unidos se ha implantado una legislación que exige a los proveedores mezclar biocombustibles hasta niveles determinados. Esta legislación ha sido copiada luego por otros países que creen que estos combustibles ayudarán al mejoramiento del planeta a través de la reducción de gases que producen el denominado “Efecto Invernadero”.<sup>5</sup>

## 2.2. BIODIESEL

Rubén Rodríguez Fernández en su documento Biodiesel ventajas y corrientes sociales, da una definición para el biodiesel como un biocombustible que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales,

<sup>4</sup>(La energía de la Biomasa)

<sup>5</sup> (www.biodisol.com)



nuevos o usados, mediante procesos químicos, para aplicar en la preparación de sustitutos totales o parciales de derivados del petróleo.<sup>6</sup>

El biodiesel está compuesto por ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables, como aceites vegetales. Dicho en términos más simples: el biodiesel es un combustible de origen orgánico. El término bio hace referencia a su naturaleza renovable y biológica en contraste con el combustible diesel tradicional derivado del petróleo; por su parte, diesel alude a su uso en motores de este tipo.<sup>7</sup>



**Fuente:** Grupo de Investigación  
**Figura 2.2 Biodiesel**

### **a. VENTAJAS**

El biodiesel es un carburante ecológico que posee grandes ventajas mencionadas en *environmental solutions*<sup>8</sup> como son:

#### **CON EL PLANETA**

- No contiene azufre.
- No presenta compuestos aromáticos.
- Reduce emisiones de material particulado.

---

<sup>6</sup> (Biodiesel Ventajas y corrientes sociales)

<sup>7</sup> (Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala, 2008, pág. 7)

<sup>8</sup> (<http://environmentalsolutions2010.weebly.com/biodiesel-de-jatropha.html>)

- Es biodegradable.
- No es tóxico.
- El biodiesel no daña el medio ambiente por ser un combustible de origen vegetal en su estado 100% puro.
- Cualquier vehículo a diesel lo puede utilizar sin ningún problema.
- Se produce a partir de materias primas renovables.
- El Biodiesel se produce a partir de aceites vegetales, vírgenes y reciclados.

### **CON EL MOTOR**

- Aumenta la lubricidad (mayor duración del motor)
- Incrementa el número de cetano (mejor combustión)
- Mejora el encendido.
- No existe gran diferencia con el diesel.

Otras propiedades importantes en el motor encontradas y tomadas de un blog de la web, en el artículo enuncian las ventajas e inconvenientes del biodiesel<sup>9</sup>, que son las siguientes:

- Por su mayor índice de cetano y lubricidad reduce el desgaste en la bomba de inyección y en las toberas
- No tiene compuestos de azufre por lo que no los elimina como gases de combustión.
- El biodiesel también es utilizado como una alternativa de aceite para motores de dos tiempos, en varios porcentajes; el porcentaje más utilizado es el de 10/1.

A continuación en la tabla se establece más ventajas del biodiesel tomada del documento de Rodrigo Aliseda Montero.

---

<sup>9</sup>(<http://biodieselhoy.blogspot.com/2007/03/ventajas-e-inconvenientes-del-biodiesel.html>)

**Tabla 2.1 Ventajas del Biodiesel<sup>10</sup>**

<b>BIODIESEL</b>
Alternativa a los combustibles derivados del petróleo
Emergía Renovable
Reducción de la importancia de crudos
Combustible tóxico y biodegradable
Reducción de las emisiones contaminantes
Disminución del efecto invernadero
Niveles de ingreso y empleo en el medio rural
Utilización de los excedentes de producción agrícola
Utilización de residuos orgánicos

**Fuente:** Rodrigo, Aliseda Montero

## **b. DESVENTAJAS**

Rubén Rodríguez Fernández considera que el biodiesel presenta algunas desventajas:<sup>11</sup>

- Para poder usarse se debería efectuar unas pequeñas modificaciones técnicas en los motores diesel.
- A bajas temperaturas puede empezar a solidificar y formar cristales, que pueden obstruir los conductos del combustible.
- Su utilización produce la pérdida de potencia del vehículo.
- Produce un mayor consumo en los vehículos debido a que tiene menos poder calorífico
- Sistema para respetar las normas europeas de polución
- Almacenamiento: se degrada más rápido que el diesel de petróleo y no se puede tener tanto tiempo sin usar.

---

<sup>10</sup>(Estudio de la transesterificación de aceite vegetal con metanol, 2002, pág. 10)

<sup>11</sup> (Biodiesel Ventajas y corrientes sociales)

### 2.2.1. OBTENCIÓN DEL BIODIESEL

Una reacción química que se produce al mezclar aceite vegetal con una solución de hidróxido de potasio o hidróxido de sodio, en alcohol metílico o alcohol etílico permite obtener el biocarburante.



Fuente: <http://tecnoblogsanmartin.wordpress.com/tag/biodiesel/>  
Figura 2.3 Ciclo del Biodiesel

### 2.2.2. USOS DEL BIODIESEL

#### a. COMBUSTIBLES

Puede emplearse en cualquier motor diesel sin modificaciones. Puede usarse puro o en mezclas, siendo la más empleada la de 20% de Biodiesel y 80% Diesel de petróleo más conocida como B-20. El laboratorio de Energías Renovables de E.E.U.U. recomienda el uso de Biodiesel como aditivo en un porcentaje entre 4% y 5% con el cual se logra un aumento de lubricidad del 88%.<sup>12</sup>

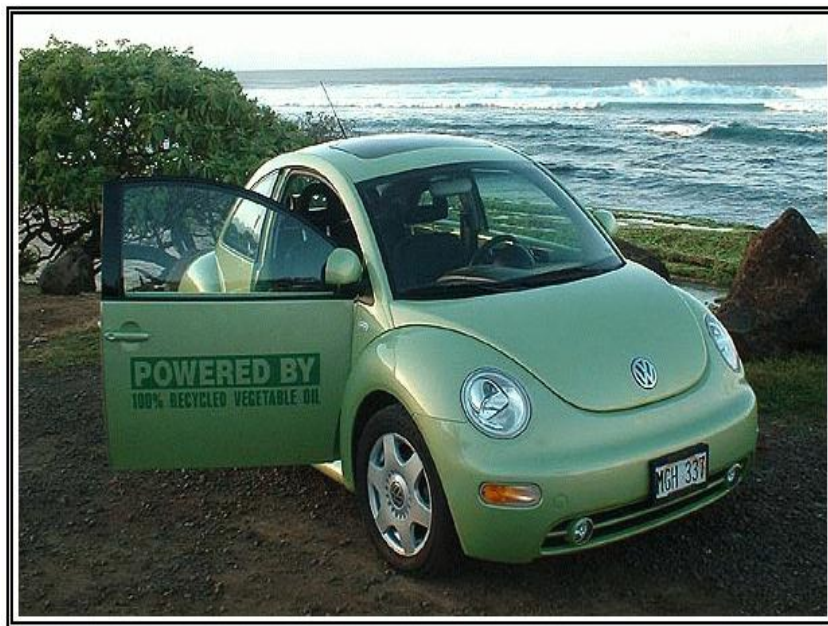
EL Biodiesel se usa en Estados Unidos y Europa. En Sur América su empleo es importante en Argentina y en Brasil, en ambos países se está legislando el uso obligatorio como aditivo, en una concentración del 5%.

<sup>12</sup>(<http://www.bio-ter.5u.com/BIODIESEL/USOS/usos.html>)

El telégrafo en su edición del 18 de septiembre del 2012 enuncia que en nuestro país al igual que en los otros países de Sur América el gobierno dispuso un decreto en el cual el diesel Premium, que se usa en el sector automotor, tenga una mezcla de biodiesel del 5% y se vaya incrementando hasta llegar al 10%.<sup>13</sup>

John Deere uno de los mayores fabricantes de maquinaria agrícola y pesada recomienda el uso de biodiesel. La producción y venta de biodiesel en Estados Unidos se duplica anualmente, en Europa, países como Alemania utilizan biodiesel en todos sus vehículos gubernamentales con el propósito de bajar la contaminación ambiental.

El aditivo biodiesel es totalmente soluble en todas proporciones con el diesel de petróleo, se puede mezclar en los depósitos o en el mismo tanque del vehículo directamente. El aumento en el porcentaje de aditivo biodiesel, disminuye la emisión de contaminantes.



**Fuente:** <http://www.bio-scope.com/bio-diesel.htm>  
**Figura 2.4** Wolskwagen que utiliza 100% Biodiesel

---

<sup>13</sup>(EL TELEGRAFO, 2012)

Así entonces este producto está destinado a unos cuantos usos particulares, los cuales son:

- Alimentación de vehículos destinados a trabajar con Biodiesel.
- Para proveer calefacción a los hogares en calderas que funcionan con este biocombustible.
- Alimentación de generadores de electricidad.
- Utilización en todos los automóviles modernos de motor diesel.

## **b. OTRAS APLICACIONES**

Debido a su alto poder de disolución, el biodiesel o metilester puede emplearse para remover la grasa con grandes ventajas como:

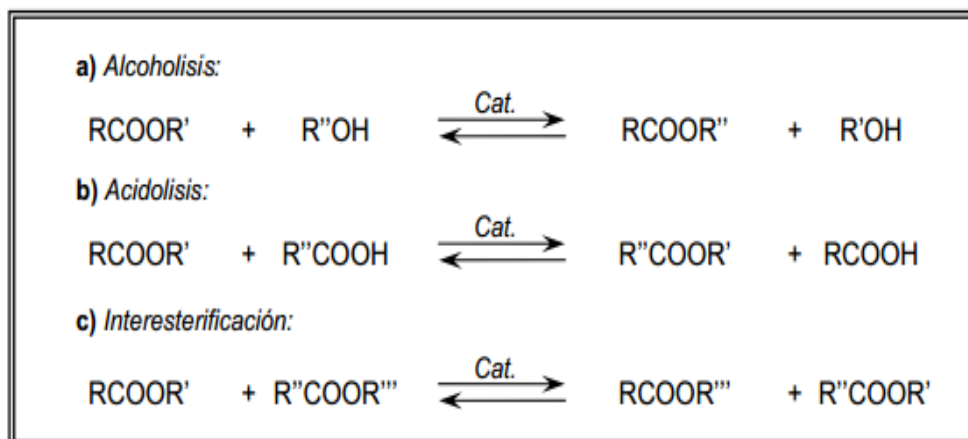
- No es tóxico ni corrosivo, puede usarse sin guantes
- No es inflamable.
- Puede emulsificarse fácilmente.
- No tiene vapores nocivos.
- Existen varios fabricantes que lo comercializan para limpieza de partes mecánicas, láminas, hornos domésticos, etc.

### **2.2.3. TRANSESTERIFICACIÓN**

La transesterificación se puede realizar de tres formas según un éster ( $\text{RCOOR}'$ ) reaccione con alcohol (alcohólisis), con un ácido (acidólisis), u otro éster (interesterificación).

- La transesterificación por alcohólisis se realiza en la presencia de un alcohol, ya sea metanol (metanólisis) o etanol (etanólisis) e inclusive con otro tipo de alcoholes, en la cual el éster intercambia un grupo alquilo ( $\text{R}'$ ) del triglicérido por otro grupo alquilo del metanol ( $\text{R}''$ ), (Figura 2.5 a).
- La transesterificación por acidólisis se realiza en la presencia de un ácido carboxílico, en la cual se intercambia el grupo acilo ( $\text{R}$ ), (Figura 2.5 b).

- La interesterificación se realiza entre dos ésteres diferentes en la cual se intercambia el grupo acilo (R) del triglicérido por el grupo alquilo (R'') del otro éster, (Figura 2.5 c).



**Fuente:** Rodrigo, Aliseda Montero<sup>14</sup>

**Figura 2.5 Reacciones generales de la transterificación**

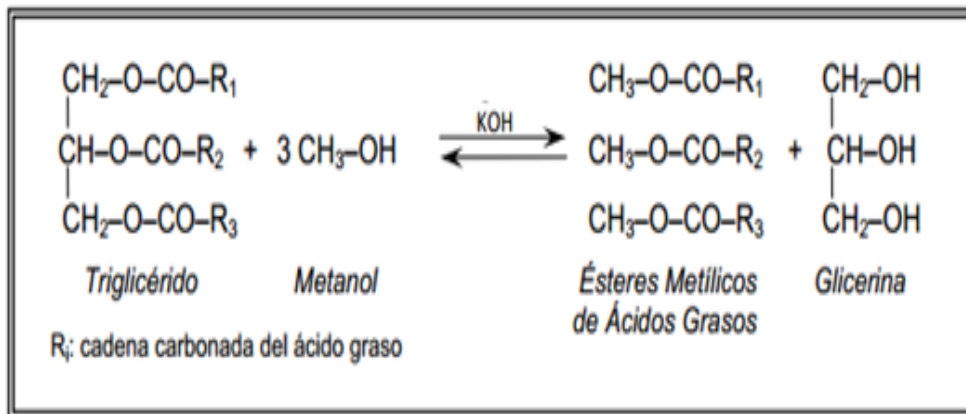
### a. TRANSTERIFICACIÓN DE ACEITES VEGETALES

En el estudio realizado por Rodrigo Aliseda afirma que los triglicéridos son la mayor cantidad de componentes que se encuentran en los aceites, los triglicéridos están compuestos de ácidos grasos. La transterificación mediante metanol (CH<sub>3</sub>OH) se denomina metanólisis, en el cual se intercambian los grupos alcanos (metilos CH<sub>3</sub>) que se encuentran en el metanol con los grupos alquenos (metileno CH<sub>2</sub>) y carbonilo (CH) de los ácidos grasos del triglicérido.

La reacción de transesterificación, que se presenta en la gráfica 2.6, se desarrolla en una proporción molar de alcohol a triglicérido de 3 a 1, reaccionando en la metanólisis 1 mol de triglicérido con 3 moles de alcohol (aunque se añade una cantidad adicional de alcohol para desplazar la reacción hacia la formación del éster metílico).<sup>15</sup>

<sup>14</sup>(Estudio de la transesterificación de aceite vegetal con metanol, pág. 4)

<sup>15</sup>(<http://quimorg2.blogspot.com/2008/11/transesterificacin.html>, 2008)



**Fuente:** Rodrigo, Aliseda Montero

**Figura 2.6 Transesterificación general, con metanol y como catalizador hidróxido de potasio.**

Freedman Pryde enuncia que la reacción de transesterificación con alcohol consiste en reacciones reversibles consecutivas como se aprecia en la Figura 2.7. El primer paso es la conversión de triglicéridos a diglicéridos, mientras es seguido por la conversión de diglicéridos a monoglicéridos y de monoglicéridos a glicerol produciendo una molécula de metil éster de cada glicérido por paso.<sup>16</sup> Podemos observar que en la primera etapa Figura 2.7 i, el triglicérido reacciona con un mol de alcohol metílico (metanol) en la cual un ácido graso intercambia el metileno (CH<sub>2</sub>) con el metilo (CH<sub>3</sub>) del alcohol, obteniendo un primer éster metílico de ácido graso más diglicérido.

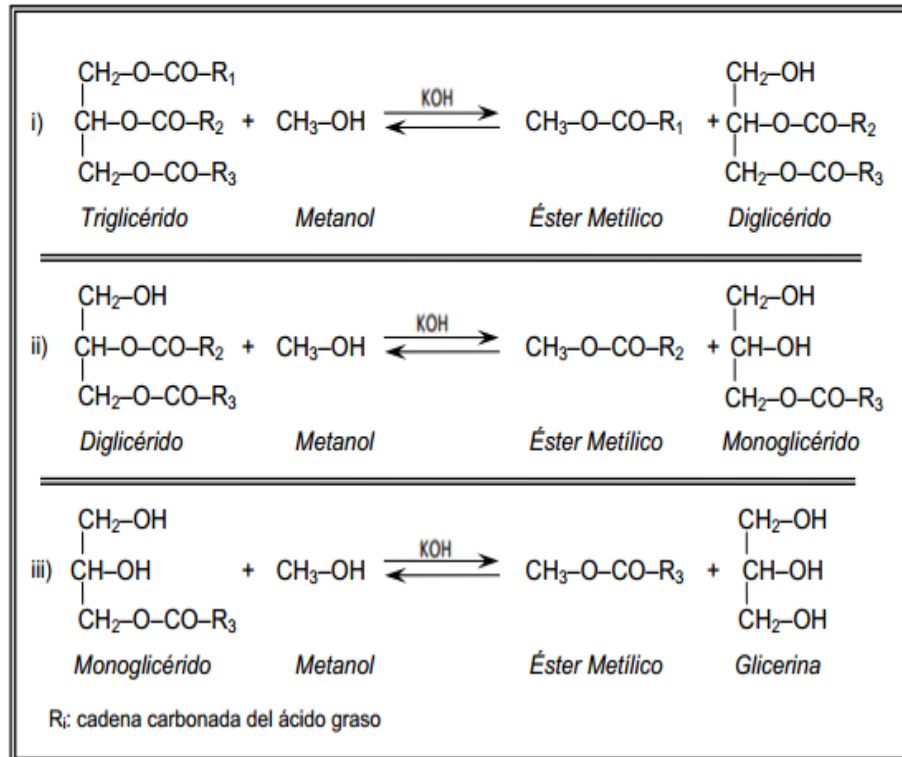
En la segunda etapa Figura 2.7 ii, el diglicérido reacciona con otra mol de metanol en la cual el otro ácido graso intercambia el grupo carbonilo (CH) con el metilo (CH<sub>3</sub>) del alcohol, obteniendo el segundo éster metílico de ácido graso más un monoglicérido.

En la tercera etapa Figura 2.7 iii, el ácido graso restante del monoglicérido reacciona con el metilo de la última mol del metanol restante, reemplazando el metileno (CH<sub>2</sub>) del ácido graso por el metilo (CH<sub>3</sub>) del alcohol metílico, obteniendo de esta manera el tercer éster metílico del ácido graso.

<sup>16</sup>(Freedman, Pryde, & Mounts, 1984)



El resultado final es la obtención de tres ésteres monoalquílicos de ácidos grasos (biodiesel) más glicerina que es un subproducto.



**Fuente:** Rodrigo, Aliseda Montero  
**Figura 2.7 Representación de las etapas de la transesterificación, con metanol y como catalizador hidróxido de potasio.**

### 2.3. PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

La producción de biodiesel se lo puede realizar en casa, pero se obtendrá mejores resultados si se lo hace en un reactor ya que puede realizar los procesos con mayor eficiencia y así se obtener un biodiesel de buena calidad que cumpla normas internacionales.

Para producir biodiesel es necesario disponer de todos los elementos necesarios para su elaboración como son:

- Aceite vegetal (puede ser virgen o usado)
- Alcohol ( puede ser etanol o metanol)
- Catalizador (KOH o NaOH)
- Agua (lavado)

También se puede obtener de grasas animales, no es posible elaborar biodiesel a partir de aceites minerales como los lubricantes.

### **2.3.1. ACEITES VEGETALES**

Biodisol en materias primas para el biodiesel define al aceite vegetal como un compuesto orgánico proveniente de semillas y plantas oleaginosas. Se puede obtener de aceituna, soja, girasol, maíz, palma, arroz, la nuez. etc.

Está constituido por ácidos grasos y glicerina el cual contiene carbonos que son fuente de energía, se usa a diario en los hogares principalmente el aceite de girasol, maíz, entre otros, aunque en algunos lugares se usa para alimentar ganado.

Las materias primas utilizadas convencionalmente en la producción de biodiesel han sido los aceites de semillas oleaginosas como el girasol y la colza (Europa), la soja (Estados Unidos) y el coco (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.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> (<http://www.biodisol.com/biodiesel-que-es-el-biodiesel-definicion-de-biodiesel-materias-primas>)

**Tabla 2.2 Aceites vegetales como materia prima para la producción de ésteres metil<sup>18</sup>**

<b>ACEITES VEGETALES CONVENCIONALES</b>
Aceite de Girasol
Aceite de Colza
Aceite de Soja
Aceite de Coco
Aceite de Palma
<b>ACEITES VEGETALES ALTERNATIVOS</b>
Aceite de Brassicacarinata
Aceite de Cynaracurdunculus
Aceite de Camelina sativa
Aceite de Crambeabyssinica
<b>ACEITES MODIFICADOS GENÉTICAMENTE</b>
Aceite de Girasol de alto Oleico
<b>GRASAS ANIMALES</b>
Sebo
<b>ACEITE DE FRITURA USADO</b>

**Fuente:** Rodrigo, Aliseda Montero

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. España es un gran consumidor de aceites vegetales, centrándose el consumo en aceite de oliva y girasol. Por su parte, los aceites usados presentan un bajo nivel de reutilización, por lo que no sufren grandes alteraciones y muestran una buena aptitud para su aprovechamiento como biocombustible.<sup>19</sup>

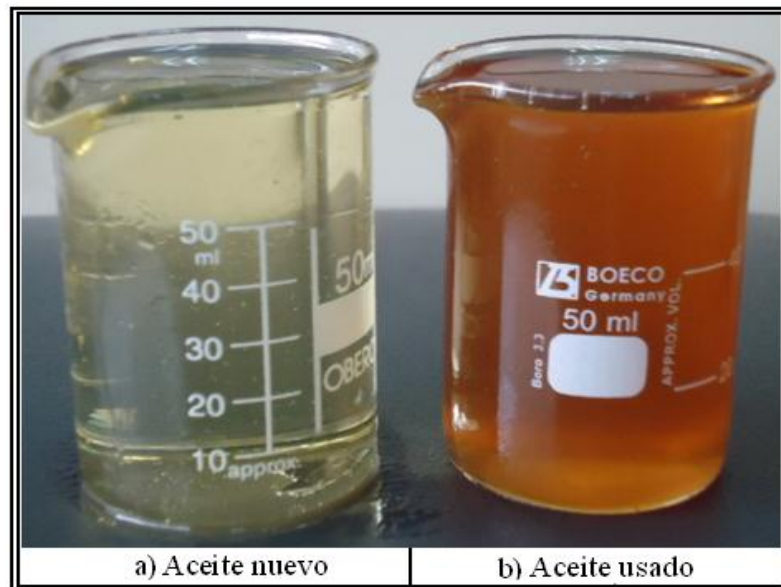
El aceite vegetal por estar compuesto de ácidos, el PH normalmente está en rangos de 5 en aceites no utilizados y 6 en aceites que ya se han utilizado

<sup>18</sup>(Estudio de la transesterificación de aceite vegetal con metanol, 2002, pág. 13)

<sup>19</sup>(Biocarburantes Líquidos: biodiésel y bioetanol, pág. 37)

(saturados), la densidad en aceites nuevos es ( $\rho = 0,927 \text{ g/ml}$ ) y en aceites usados es ( $\rho = 0.935 \text{ g/ml}$ ), la densidad en aceites usados es mayor debido a que se mezcla con grasas animales, y residuos de agua.

Se puede observar en la Figura 2.8 la diferencia entre el aceite vegetal nuevo y el aceite vegetal usado, el aceite nuevo es amarillo cristalino y liviano (Figura 2.8 a), mientras que el aceite usado que ya ha sido tratado para su reutilización, tiene un color pardo característico de este aceite debido a que ya está quemado y es más pesado, (Figura 2.8 b), además el aceite vegetal usado es fácil de conseguir ya que se lo puede reciclar de restaurantes, centros de comida rápida.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 2.8** Muestras de aceite utilizado para la obtención de biodiesel.

### 2.3.2. ALCOHOL

Se emplea alcohol metílico o metanol de 95% de pureza. 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, también se puede utilizar alcohol etílico o etanol, siempre que tenga una pureza mínima de 99.5%.<sup>20</sup>

### **2.3.3. CATALIZADOR**

El catalizador puede ser hidróxido de sodio (NaOH,) o hidróxido de potasio (KOH), en escamas o en perlas, es preferible usar KOH en el alcohol, ya que favorece una transformación más completa del aceite en biodiesel, en caso se desee purificar la glicerina para su venta; permite obtener un subproducto utilizable como fertilizante (fosfato de potasio); Si se trabaja con grasas, la glicerina se mantiene en estado líquido al enfriar, mientras que el NaOH se solidifica y hace difícil su separación del biodiesel por decantación en el reactor. La cantidad a aplicar de catalizador depende de la acidez del aceite a tratar.<sup>21</sup>

### **2.3.4. RELACIÓN (ALCOHOL-KOH) /ACEITE**

Una de las variables más importantes que afectan al rendimiento del proceso es la relación molar del alcohol y los triglicéridos. La relación estequiométrica requiere tres moles de alcohol y un mol de triglicérido para producir tres moles de esteres y un mol de glicerol<sup>22</sup>.

Al investigar varias fuentes establecen que la cantidad requerida para la elaboración de biodiesel a partir de aceite vegetal usado es del 20% del volumen de aceite a procesar.

La cantidad de catalizador depende de la acidez del aceite y se ajusta una cantidad básica por cada litro de aceite como muestra la tabla 2.3

---

<sup>20</sup>(Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala, pág. 8)

<sup>21</sup>(Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala, pág. 8)

<sup>22</sup>(Biocarburantes Líquidos: biodiésel y bioetanol, pág. 7)

**Tabla 2.3 Cantidad básica de catalizador por cada litro de aceite según la pureza del KOH por cada litro de aceite**

ELEMENTO	CONCENTRACIÓN	CANTIDAD
KOH	85%	5,775 gr
KOH	90%	5,454 gr
KOH	92%	5,336 gr

**Fuente:** Journey to Forever<sup>23</sup>

A la cantidad básica se debe agregar 1 gr extra de KOH generalmente, para el aceite usado deben agregarse 3 gr, por lo tanto para cada litro de aceite se debe utilizar 8 gr.

### **2.3.5. MANEJO DE LOS REACTIVOS EMPLEADOS**

En el libro, manual de construcción de un reactor<sup>24</sup> se describe la necesidad de tener en cuenta las normas de seguridad, los reactivos como el KOH y metanol que se utilizan en la producción de biodiesel pueden ser nocivos si no se toman las precauciones adecuadas.

Para evitar cualquier accidente en el uso de estos elementos, es necesario utilizar equipo de protección personal como guantes, googles contra salpicaduras, mandil, etc.

- Guantes:  
Emplear guantes de nitrilo, todo el tiempo que se trabaje con metanol y con KOH.

---

<sup>23</sup>(Biodiesel y desarrollo sostenible)

<sup>24</sup>(Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala, pág. 26)

- **Mascarilla:**  
Usar máscara con respirador para gases orgánicos y para partículas, en especial cuando se trabaje con metanol y con KOH.
- **Lentes protectores:**  
Especialmente cuando se realice la solución del metanol con el KOH.
- **Mandil:**  
Por precaución es necesario utilizarlo todo el tiempo que dure la producción de biodiesel.

La manipulación del metanol debe realizarse con cuidado ya que se evapora y es nocivo para la salud, en caso de contacto con la piel lavar con abundante agua, y evitar las altas temperaturas ya que puede estallar y causar daños al cuerpo.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 2.9** Elementos de protección (mascarilla, gafas protectoras y guantes)

## **CAPÍTULO 3**

### **3. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

La parte experimental para desarrollar el proyecto se llevó a cabo en los laboratorios de Química de la ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO-SEDE LATACUNGA, en sus instalaciones se produjo biodiesel a pequeña escala.

Los experimentos realizados sirvieron para establecer los parámetros que influyen directamente en la producción del biocombustible.

#### **3.1. MÉTODOS**

Antes de efectuar los experimentos en el laboratorio, se investigó a fondo acerca del biodiesel, los procesos que conllevan, elementos químicos, materiales y equipos que son necesarios, los métodos, inductivo, deductivo y experimental son de fundamental ayuda para el desarrollo del proyecto.

##### **a. INDUCTIVO**

Para conocer los parámetros específicos (temperatura, agitación y concentración) que influyen en la elaboración de biodiesel y determinar el volumen de biodiesel obtenido de dicha mezcla.

La agitación es necesaria pero no un punto influyente en la calidad de biodiesel, excepto en el proceso de lavado, es necesario que se realice a bajas revoluciones durante un tiempo corto.

Los datos obtenidos son el punto de partida para el diseño del reactor, que permite producir biodiesel a nivel semi-industrial.

##### **b. DEDUCTIVO**

En diferentes países especialmente en los europeos, se han realizado estudios sobre el tema de la producción de biodiesel, el aceite vegetal es el más apropiado para usarlo como materia prima.



Estos avances guiaron al desarrollo del presente proyecto para conocer las cantidades de reactivos a usar y resolver problemas que se presentaron en el transcurso de la investigación.

### **c. EXPERIMENTAL**

Cada prueba se realizó por triplicado con el fin de obtener datos más confiables, y determinar valores adecuados de las variables físicas, que sean aplicables en la producción a mayor escala.

Se establecieron las proporciones de los reactivos con respecto a la cantidad de aceite mediante cálculos estequiométricos. Las pruebas experimentales permitieron determinar la cantidad de 2.1 gr de KOH (hidróxido de potasio) por cada 300 ml. de aceite vegetal.

Las cantidades utilizadas se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 3.1 Proporciones establecidas de los elementos para cada prueba**

<b>PRODUCTOS</b>	<b>PRIMERA MUESTRA</b>	<b>SEGUNDA MUESTRA</b>	<b>TERCERA MUESTRA</b>
<b>ACEITE</b>	300 ml	300 ml	300 ml
<b>METANOL</b>	60 ml	60 ml	60 ml
<b>KOH</b>	1,95 gr	2,1 gr	2,25 gr

**Fuente:** Grupo de investigación.

## **3.2. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL**

Para producir el biocarburante necesitamos KOH y metanol, en las siguientes tablas se puede observar las propiedades químicas que poseen los reactivos

utilizados en la presente investigación. La concentración del KOH y el grado de pureza del alcohol metílico son un factor importante.

**Tabla 3.2 Propiedades del metanol usado para la obtención de biodiesel**

<b>CERTIFICADO DE ANÁLISIS</b>		
PRODUCTO :	METANOL	
CALIDAD :	ACS	FÓRMULA : CH <sub>3</sub> OH
No. DE ESPECIFICACIÓN:	0612	FECHA DE LIBERACIÓN: AGO/09/2011
No. DE LOTE:	132432	
PRUEBA	ESPECIFICACIÓN	VALOR DEL LOTE
Apariencia y olor	Característico	Característico
Contenido (CH <sub>3</sub> OH)	Mín. 99.8 %	99.9%
Color (APHA)	Máx. 10	< 10
Agua (H <sub>2</sub> O)	Máx. 0.08 %	0.07%
Residuo después de evaporación	Máx. 0.001 %	0.0005 %
Solubilidad en agua	Pasa prueba	Pasa prueba
Compuestos con Carbonilos	Máx. 0.001 %	< 0.001%
Ácido titulable	Máx. 0.0003 meq/g	< 0.0003 meq/g
Base titulable	Máx. 0.0002 meq/g	< 0.0002 meq/g
Substancias obscurecidas por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Pasa prueba	Pasa prueba
Substancias reductoras de KMnO <sub>4</sub>	Pasa prueba	Pasa prueba
Metales pesados (Pb)	Máx. 0.5 ppm	< 0.5 ppm
Cobre (Cu)	Máx. 0.1 ppm	0.04 ppm
Fierro (Fe)	Máx. 0.1 ppm	0.08 ppm
Magnesio (Mg)	Máx. 0.1 ppm	0.01 ppm
Níquel (Ni)	Máx. 0.1 ppm	0.01 ppm
Aspecto del residuo de evaporación.	Pasa prueba	Pasa prueba

**Fuente:** Hinojosa & Herrera Químicos

**Tabla 3.3 Propiedades del KOH usado en la obtención de biodiesel.**

<b>CERTIFICADO DE ANÁLISIS</b>		
PRODUCTO :	HIDROXIDO DE POTASIO	
CALIDAD :	ACS	FÓRMULA : KOH
No. DE ESPECIFICACIÓN:	3684	FECHA DE LIBERACIÓN: FEB/11/2008
No. DE LOTE:	806303	
PRUEBA	ESPECIFICACIÓN	VALOR DEL LOTE
Hidróxido de potasio (KOH)	Min. 85.0 %	86.8 %
Carbonato de potasio (K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	Máx. 2.0 %	0.50 %
Cloruros (Cl)	Máx. 0.01 %	0.004 %
Compuestos con nitrógeno (N)	Máx. 0.001 %	0.0006 %
Fosfato (PO <sub>4</sub> )	Máx. 0.0005 %	0.0003 %
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	Máx. 0.003 %	0.002 %
Metales pesados (Hg)	Máx. 0.001 %	0.0008 %
Hierro (Fe)	Máx. 0.001 %	0.0006 %
Niquel (Ni)	Máx. 0.001 %	0.0006 %
Sodio (Na)	Máx. 0.05 %	0.02 %
Calcio (Ca)	Máx. 0.005 %	0.001 %
Magnesio (Mg)	Máx. 0.002 %	0.0005 %
Aparente	Lentejas	Lentejas

**Fuente:** Hinojosa & Herrera Químicos

### **3.2.1. TRATAMIENTO DEL ACEITE VEGETAL USADO**

El aceite vegetal usado posee impurezas y residuos de alimentos, es necesario hacer un tratamiento previo a su utilización como materia prima para la elaboración de biodiesel, este tratamiento consiste en filtrar y calentar el aceite.

- El filtrado se realiza cuantas veces sea necesario, el propósito es eliminar los residuos sólidos que se encuentran en el aceite.

- Calentar el aceite a una temperatura de 100 °C, permite que el agua presente en el aceite se evapore.



**Fuente:** Grupo de Investigación  
**Figura 3.1** Aceite vegetal usado luego de ser tratado

### 3.2.2. PREPARACIÓN DE METÓXIDO

- Pesar en una balanza electrónica la cantidad requerida de KOH.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 3.2** Pesaje de KOH

- Medir el volumen de metanol en una probeta graduada



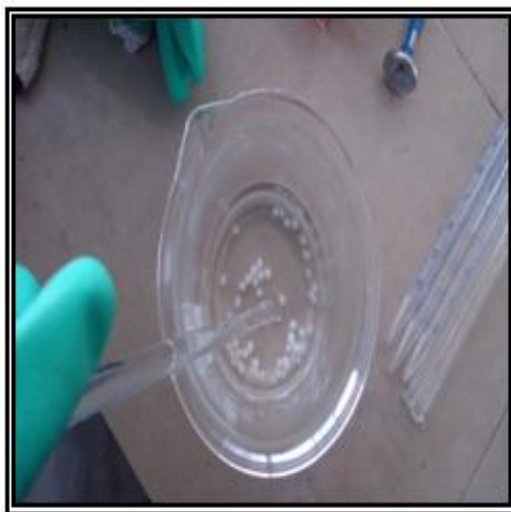
**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 3.3** Medición del volumen de metanol

- En un vaso de precipitación verter el metanol y agregar el KOH



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 3.4** Solución de KOH y metanol

- Agitar hasta que el KOH se disuelva completamente en el metanol



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 3.5** Agitación de la solución metanol y KOH

- Tapar la solución para que no entre humedad, polvo u otros contaminantes.

### 3.2.3. TRANSESTERIFICACIÓN

Para dar inicio a la reacción química de transesterificación el aceite vegetal debe estar previamente tratado para mezclarlo con metóxido, el procedimiento es el siguiente:

- En una plancha eléctrica de laboratorio el aceite vegetal es calentado a 60 °C la temperatura se verifica con un termómetro digital.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 3.6** Calentamiento del aceite

- Cuando el aceite está a 60 °C, verter el metóxido.
- Agitar la mezcla durante 40 minutos (La plancha eléctrica también cuenta con un agitador magnético para realizar la agitación)



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 3.7** Agitación de la mezcla

- Terminada la agitación verter la mezcla en embudos de decantación y dejar en reposo durante un tiempo mínimo de 8 horas.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 3.8** Embudo de decantación

### 3.2.4. DECANTACIÓN

La transesterificación es una reacción química que toma tiempo, por eso la mezcla debe reposar durante 8 horas mínimo, durante este tiempo también se separa la glicerina de los ésteres metílicos, la glicerina por tener una densidad mayor se deposita en el fondo del recipiente. La forma cónica del embudo de decantación permite que la glicerina pueda ser retirada con mayor facilidad. La glicerina debe ser decantada completamente es preferible perder una pequeña cantidad de biodiesel a dejar restos de glicerina.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 3.9 Separación glicerina y biodiesel**

### 3.2.5. LAVADO

El lavado permite obtener un biocombustible de mayor calidad ya que ayuda a retirar las impurezas, restos de glicerol y KOH se realiza con agua, el volumen de agua a utilizar debe ser un 10% del volumen de biocombustible.

La mezcla debe estar a una temperatura mínima de 45 °C. Antes de realizar este proceso asegurarse de que el producto obtenido es biodiesel, por cuestión de densidad si se agrega el biodiesel al agua estos no se mezclan el biocombustible flota sobre el agua.





**Fuente:** grupo de investigación  
**Figura 3.10 Separación biodiesel – agua**

Finalizada esta pequeña prueba se puede continuar, se necesita un cuidado especial en el proceso, si se excede la cantidad de agua o el tiempo de agitación puede ocasionar una saponificación y el biodiesel pierde propiedades incluso puede quedar inservible.

El procedimiento se detalla a continuación:

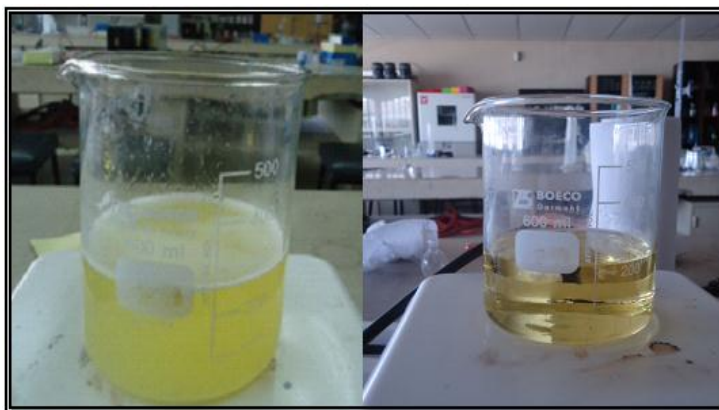
- Calentar el biodiesel en la plancha eléctrica hasta 60 °C.
- Verter el agua (10% del volumen de biodiesel)
- Agitar la mezcla a bajas revoluciones durante 5 minutos.
- Filtrar las impurezas y el agua que se deposita en el fondo del recipiente.



**Fuente:** grupo de investigación  
**Figura 3.11 Lavado y filtrado del biodiesel**

### 3.2.6. SECADO

Es la etapa final, después de realizar el lavado, el agua atrapa las impurezas, se separan del biodiesel y así pueden ser fácilmente retiradas por decantación y filtrado, pero algunas partículas de agua se quedan en el biocombustible, el secado consiste en eliminar dichas partículas, esto se consigue elevando la temperatura a 100 °C que es la temperatura de ebullición del agua. El agua se evapora y se obtiene un biodiesel cristalino.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 3.12 Biodiesel antes y después del secado**

## **CAPÍTULO 4**

### **4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**

El reactor para el proyecto es tipo Batch o discontinuo, en el deben efectuarse todos los procesos, consta de un tanque principal y dos depósitos.

El tanque principal tiene forma cilíndrica con un cono en la parte inferior que facilita la decantación de los productos que se obtienen en los diferentes procesos durante la producción del biodiesel. Tiene la capacidad para producir 12 litros de biocombustible por carga. En este tanque se vierte el aceite vegetal inicialmente, en su interior se produce la reacción de transesterificación y los procesos de lavado y secado.

Los depósitos almacenan fluidos que intervienen en la producción del biodiesel, deben estar a una altura superior a la del tanque principal para suministrar las sustancias por efecto de la gravedad sin necesidad de un sistema de bombeo, solo se utilizan electroválvulas que controlan el paso de los fluidos.

Para obtener las temperaturas de funcionamiento establecidas en la parte experimental, se ha incluido un sistema de calefacción conformado por una resistencia eléctrica conectada a un termostato que controla su activación.

Para realizar la agitación fue necesario diseñar un agitador que es impulsado por un motor eléctrico.

#### **4.1. FUNCIONAMIENTO**

El reactor está diseñado para producir biodiesel en tres etapas dentro de las cuales se realizan todos los procesos necesarios, estas etapas son:

#### **a. CALENTAMIENTO DEL ACEITE -INGRESO DEL METÓXIDO- AGITACIÓN**

El aceite es precalentado dentro del tanque, cuando este ha alcanzado una temperatura de 60 °C la electroválvula permite el paso del metóxido hasta el cilindro principal, luego la mezcla es agitada durante 30 minutos, después debe haber un tiempo de reposo por un tiempo mínimo de 8 horas para que la reacción conocida como transesterificación se produzca completamente y el biodiesel pueda separarse de la glicerina, una vez terminado el tiempo de reposo se decanta la glicerina manualmente.

#### **b. CALENTAMIENTO DEL BIODIESEL -INGRESO DE AGUA- AGITACIÓN**

En esta etapa se realiza el lavado del biodiesel con el fin de reducir los restos de catalizador y otras impurezas.

El lavado inicia con el calentamiento del biocombustible a 60°C, en este momento se acciona la electroválvula dejando ingresar el agua desde el depósito hasta el cilindro principal, la mezcla es agitada durante 20 segundos.

El tiempo de lavado es 5 minutos a bajas revoluciones, pero debido a la intensidad de agitación en el reactor solo se realiza durante este corto tiempo.

#### **c. SECADO DEL BIODIESEL**

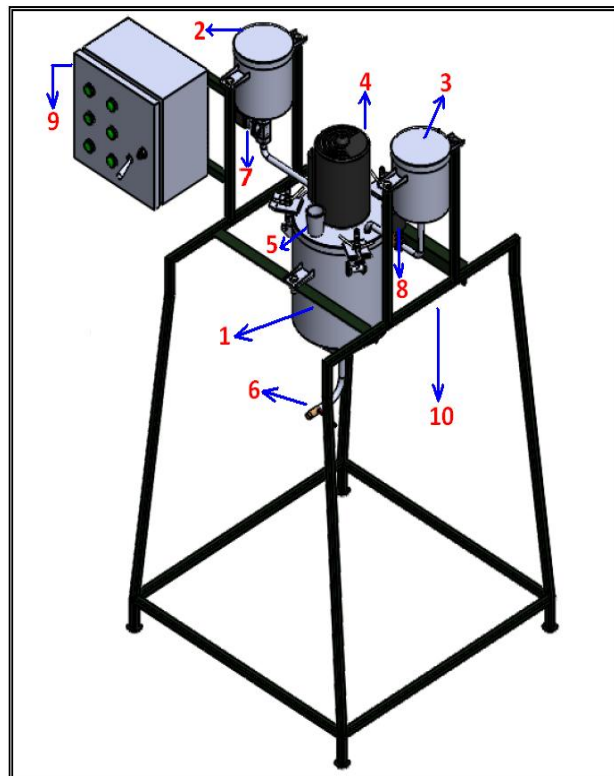
Se eleva la temperatura hasta 100 °C, las partículas de agua se evaporan y se reduce el contenido de agua en el biocombustible.

### **4.2. DETALLE DE COMPONENTES**

El reactor está compuesto de varias partes y dispositivos, se realizó un pre-diseño que permita determinar los elementos necesarios para facilitar la producción del biocombustible.

### a. ELEMENTOS EXTERNOS.

Se conforma de varios elementos externos que se muestran a continuación en la Figura 4.1.

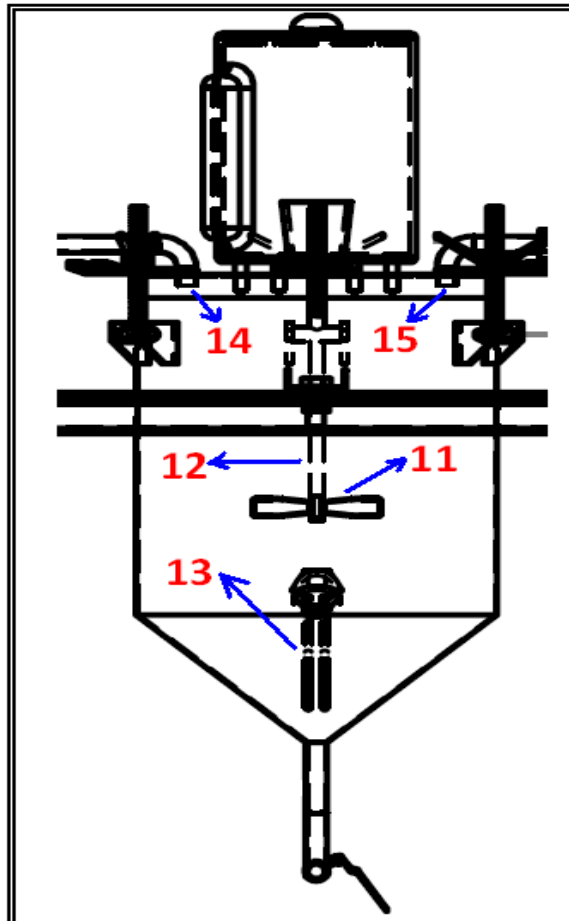


Fuente: Grupo de investigación  
**Figura 4.1 Componentes externos del Reactor**

1. Tanque Principal
2. Tanque de Metóxido
3. Tanque de Agua
4. Motor
5. Orificio de llenado
6. Válvula de decantación
7. Electroválvula del metóxido (EV1)
8. Electroválvula del Agua (EV2)
9. Panel de control
10. Estructura

## b. ELEMENTOS INTERNOS

En el interior del reactor también se encuentran algunos elementos que forman parte de los sistemas de agitación y calefacción, se detallan en la figura 4.2.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.2 Componentes internos del Reactor**

- 11. Aspas de agitación
- 12. Eje
- 13. Resistencia eléctrica
- 14. Entrada de metóxido
- 15. Entrada de agua

### 4.2.1. DEPÓSITO PRINCIPAL

Es el cilindro en el cual se produce la reacción química, el lavado y el secado del biodiesel tiene un sistema de calentamiento y uno de agitación.

La parte inferior tiene una forma cónica, una tapa en la parte superior evita el ingreso de cualquier elemento como polvo o basuras al interior del recipiente.

La capacidad total del tanque es de 17 litros sin embargo el volumen máximo de carga es 12 litros, el material de construcción es acero inoxidable.

#### a. DISEÑO DEL CILINDRO:

- Para el diseño del cilindro se parte de la siguiente fórmula:

$$V = \pi * \frac{D^2}{4} h \quad \text{Ecuación 1}$$

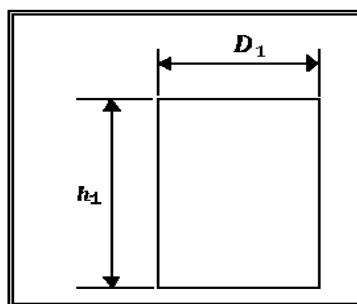
V = volumen

D = diámetro

h = altura del cilindro

El volumen de biodiesel a obtener es 12 litros, teniendo en cuenta el volumen que se incrementa durante la agitación se dimensiono para 15 litros, entonces:

$$V=15 \text{ lt} = 15000 \text{ cm}^3$$



Fuente: Grupo de investigación  
**Figura 4.3 Dimensiones del cilindro**

- Asumir el diámetro  $D_1 = 26 \text{ cm}$

$$15000 \text{ cm}^3 = \pi * \frac{(26)^2 \text{ cm}^2}{4} * h_1$$

$$h_1 = \frac{15000 \text{ cm}^3 * 4}{\pi(26)^2 \text{ cm}^2} = 28.25 \text{ cm}$$

$$h_1 = 29 \text{ cm}$$

- Cálculo del volumen real ( $V_r$ )

$$r = 13 \text{ cm}$$

$$h_1 = 29 \text{ cm}$$

$$V_r = \pi * r^2 * h_1$$

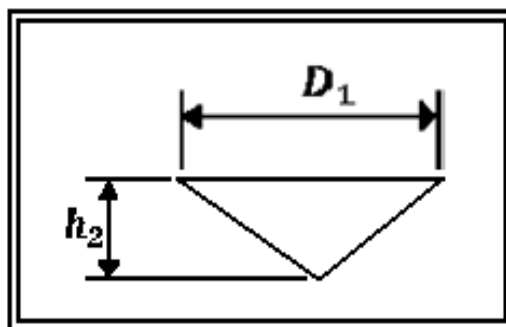
$$V_r = \pi * (13)^2 \text{ cm}^2 * 29 \text{ cm}$$

$$V_r = 15396.94 \text{ cm}^3$$

$$V_r = 15.40 \text{ lt.}$$

## b. DISEÑO DEL CONO

$$V_c = \frac{1}{3} \pi * r^2 * h_2 \quad \text{Ecuación 2}$$



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.4 Dimensiones del cono**



$V_c =$  Volumen del cono

$h_2 =$  altura del cono

- Asumir  $V_c = 2 \text{ lt} = 2000 \text{ cm}^3$

$$h_2 = \frac{3 * V_c}{\pi * r^2}$$

$$h_2 = \frac{3 * (2000 \text{ cm}^3)}{\pi * \text{cm}^2}$$

$$h_2 = 11,3 \text{ cm}$$

$$h_2 = 11 \text{ cm}$$

- Cálculo del volumen real del cono ( $V_{rc}$ )

$$V_{rc} = \frac{1}{3} \pi * r^2 * h_2$$

$$V_{rc} = \frac{1}{3} \pi * r(13)^2 \text{ cm}^2 * 11 \text{ cm}$$

$$V_{rc} = 1946 \text{ ccm}^3 \text{ lt}$$

$$V_{rc} = 1.95 \text{ lt.}$$

- Volumen total del Depósito principal ( $V_T$ )

$$V_T = V_r + V_{rc}$$

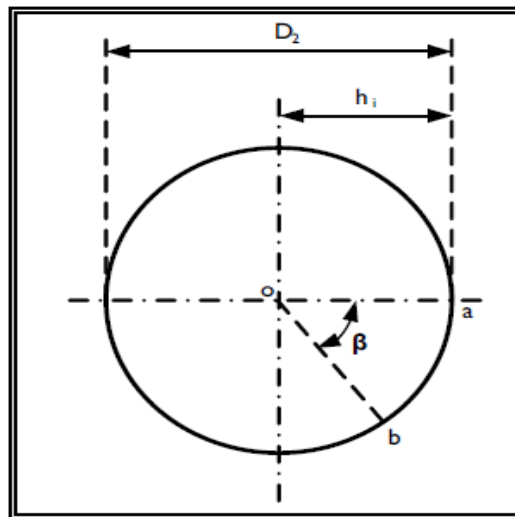
**Ecuación 3**

$$V_T = (15.40 + 1.95) \text{ lt}$$

$$V_T = 17.35 \text{ lt}$$

- Diámetro y distancias de la circunferencia para formar el cono <sup>25</sup>

Para formar el cono del cilindro principal del reactor se necesita cortar una circunferencia mayor al diámetro del cilindro y luego restarle una sección.



**Fuente:** Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiesel a pequeña escala

**Figura 4.5 Distancias de la circunferencia para formar el cono**

$h_1$  = Longitud de la hipotenusa del cono

$D_2$  = Diámetro del círculo a cortar para formar el cono

$P_1$  = Perímetro del cilindro del depósito principal

$P_2$  = Perímetro de la circunferencia para formar el cono

ab = Sección a cortar para formar el cono

$\beta$  = Ángulo del sector circular para formar el cono

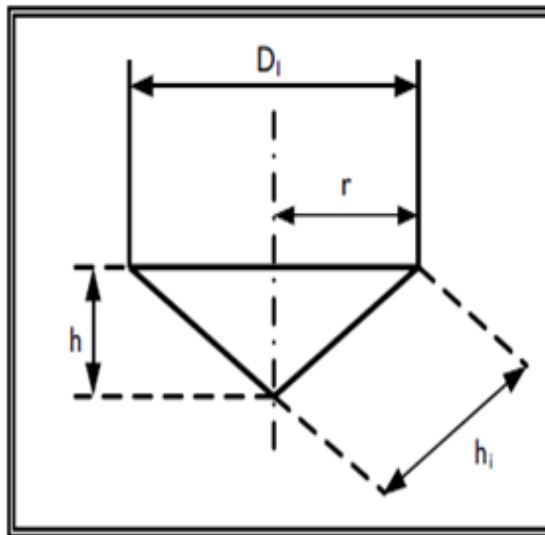
<sup>25</sup> (Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala, 2008, pág. 13)

- Cálculo de la longitud de la hipotenusa del cono

Teorema de Pitágoras.

$$h_i = \sqrt{r^2 + h^2}$$

**Ecuación 4**



**Fuente:** Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiesel a pequeña escala

**Figura 4.6 Medidas del tanque y del cono**

Para este caso:

$$h = h_2 = 11 \text{ cm}$$

$$r = 13 \text{ cm}$$

$$h_i = \sqrt{(13)^2 + (11)^2}$$

$$h_i = 17.029 \text{ cm}$$

- Cálculo del diámetro de la circunferencia a cortar

$$D_2 = h_i + h_i$$

$$D_2 = (17.029 + 17.029) \text{ cm}$$

$$D_2 = 34.05 \text{ cm}$$

- Cálculo de los perímetros.

$$P = D\pi \quad \text{Ecuación 5}$$

$$P_1 = D_1 * \pi$$

$$P_1 = 26 \text{ cm} * (\pi)$$

$$P_1 = 81.68 \text{ cm}$$

$$P_2 = D_2 * (\pi)$$

$$P_2 = 34.05 \text{ cm} * (\pi)$$

$$P_2 = 106.97 \text{ cm}$$

- Cálculo de la sección circular a cortar

$$ab = P_2 - P_1 \quad \text{Ecuación 6}$$

$$ab = (106.97 - 81.68) \text{ cm}$$

$$ab = 25.29 \text{ cm}$$

- Cálculo del ángulo<sup>26</sup>

$$\beta = \frac{ab}{P_2} * 360 \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\beta = \frac{25.29}{106.97} * 360$$

$$\beta = 85.11$$

---

<sup>26</sup>(Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala, 2008, pág. 13)

### c. ANÁLISIS DE FUERZAS DEL DEPÓSITO PRINCIPAL

Antes de hacer el análisis de fuerzas del cilindro principal debemos determinar la presión que existe dentro del tanque tomando en cuenta que el fluido está expuesto a la atmosfera, para lo cual utilizamos la siguiente fórmula:

$$P = \rho * g * h \quad \text{Ecuación 8}$$

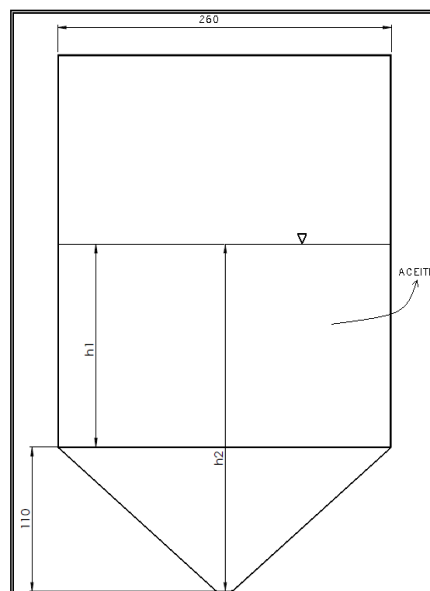
P = Presión

$\rho$  = Densidad del fluido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$g$  = Gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

h= Altura del punto a determinar la presión

A continuación el gráfico muestra los datos necesarios para determinar la presión en el interior del tanque principal del reactor que nos servirá para hacer el análisis de fuerzas.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.7** Nivel de aceite en el tanque

Como el cono tiene un volumen de 2 litros en el cilindro queda 8 litros de volumen, de esta manera tenemos:

$$h_1 = \frac{4 * 0.008 \text{ m}^3}{\pi * (0.26)^2 \text{ m}^2}$$

$$h_1 = 0.15 \text{ m}$$

$$h_2 = 0.15 + 0.11 \text{ m}$$

$$h_2 = 0.26 \text{ m}$$

$$P_1 = 935 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.15 \text{ m}$$

$$P_1 = 1.375 \text{ KPa}$$

$$P_2 = 935 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.26 \text{ m}$$

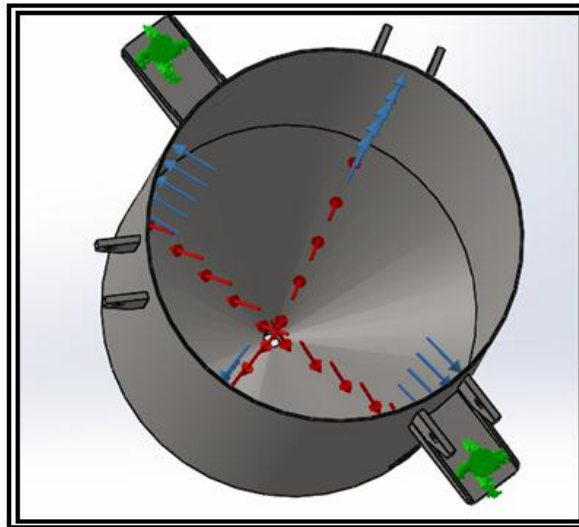
$$P_2 = 2.3 \text{ KPa}$$

Una vez calculada las presiones realizamos el análisis de fuerzas utilizando acero inoxidable 304, en la cual se obtuvo las siguientes propiedades del material, tabla 4.1.

**Tabla 4.1 Propiedades del material usado**

Nombre:	<b>ANSI 304</b>
Tipo de modelo:	<b>Isotrópico elástico lineal</b>
Criterio de error predeterminado:	<b>Tensión máxima de von Mises</b>
Límite elástico:	<b>2.06807e+008 N/m<sup>2</sup></b>
Límite de tracción:	<b>5.17017e+008 N/m<sup>2</sup></b>
Módulo elástico:	<b>1.9e+011 N/m<sup>2</sup></b>
Coefficiente de Poisson:	<b>0.29</b>
Densidad:	<b>8000 kg/m<sup>3</sup></b>
Módulo cortante:	<b>7.5e+010 N/m<sup>2</sup></b>
Coefficiente de dilatación térmica:	<b>1.8e-005 /Kelvin</b>

**Fuente:** Grupo de investigación.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.8** Aplicación de las presiones en el tanque

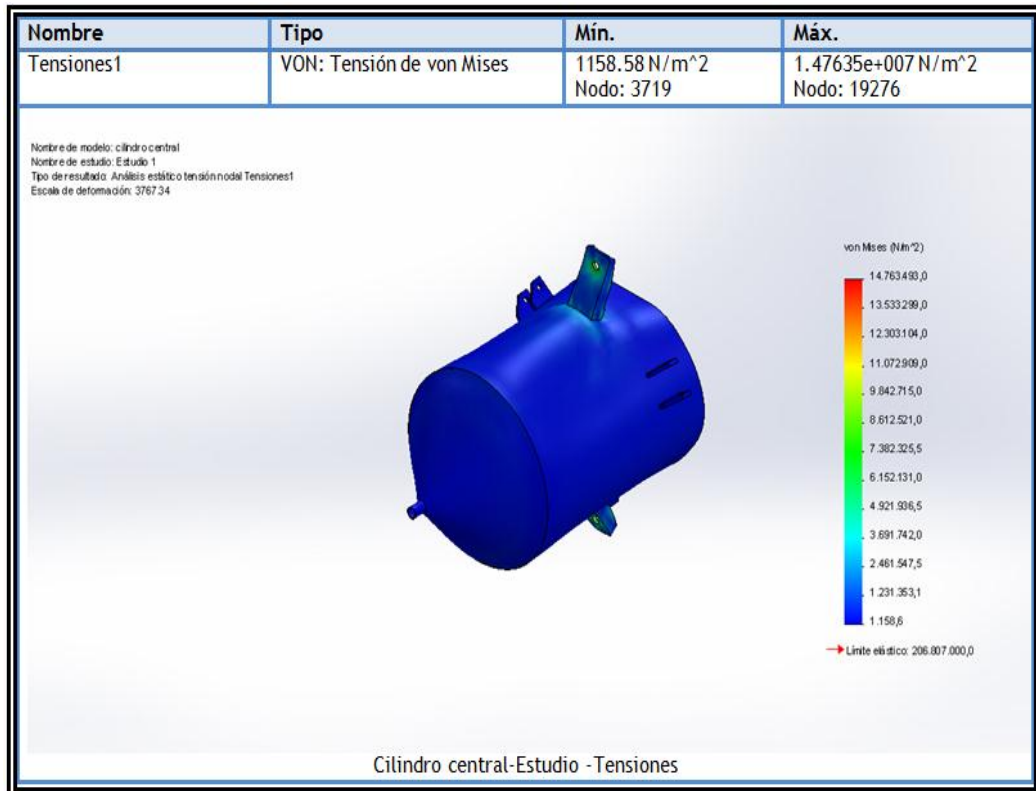
Se hizo un estudio estático, como se observa en la figura 4.8 las sujeciones fijas que son las flechas verdes están ubicadas en las bases de apoyo que se sujetan a la estructura por medio de pernos, mientras que las presiones aplicadas para el análisis son las presiones  $P1= 1.375 \text{ KPa}$  y  $P2=2.300 \text{ KPa}$  calculadas anteriormente,  $P1$  está identificado por las flechas azules que están en la parte cilíndrica del tanque, y  $P2$  de color rojo está ubicada en la parte cónica.

La siguiente tabla muestra las fuerzas resultantes obtenidas.

**Tabla 4.2** Fuerzas de reacción del tanque

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.00364971	-149.358	-121.821	121.831

**Fuente:** Grupo de investigación.

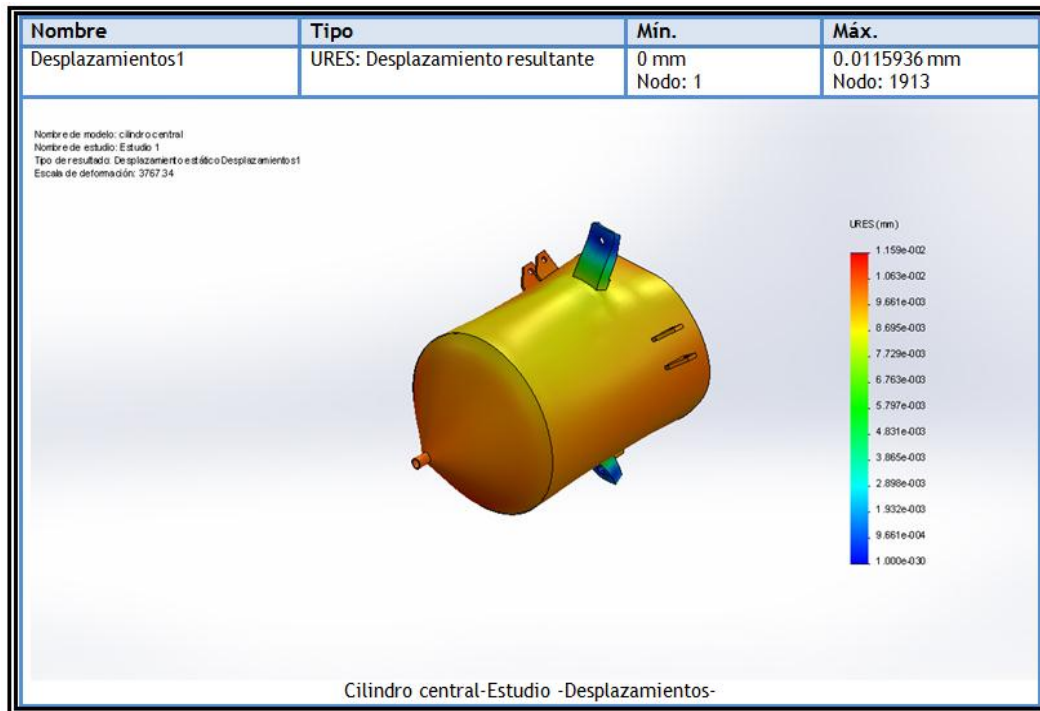


**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.9 Esfuerzos de Von Mises del tanque**

En la figura 4.9 se puede apreciar que los esfuerzos a causa de la tensión en todo el tanque se mantiene en el valor mínimo que es 1.16 KPa, representada por el color azul, y una máxima de 74.76 MPa representado por un color rojizo, las bases de apoyo son las que más sufren un esfuerzo de aproximadamente 8.612 MPa ya que alcanza un color verdoso, aun cuando alcanzare el esfuerzo máximo no se llegaría a romperse ya que el coeficiente de elasticidad es de 206.807 MPa.

Las fuerzas mostradas en la tabla 4.2 que se ejercen en los ejes x, y, z son de 0.00364971 N, -149.358 N, -121.821 N, respectivamente, dando una fuerza resultante de 121.831 N, en si son fuerzas pequeñas en especial en el eje x que es la que menos deformación causa.

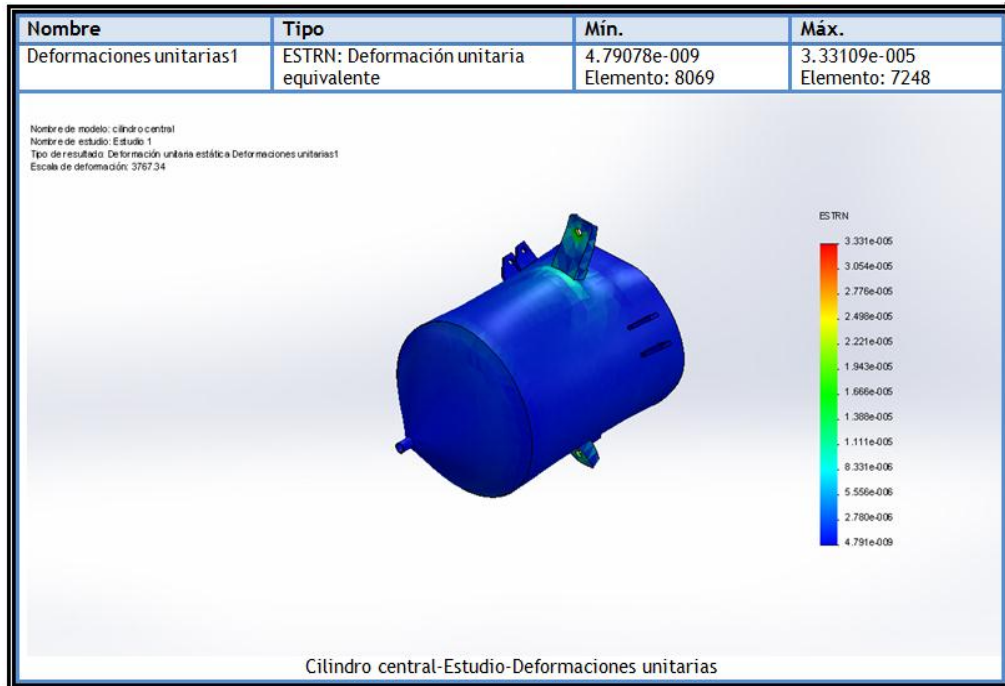




**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.10 Desplazamiento a causa de la presión**

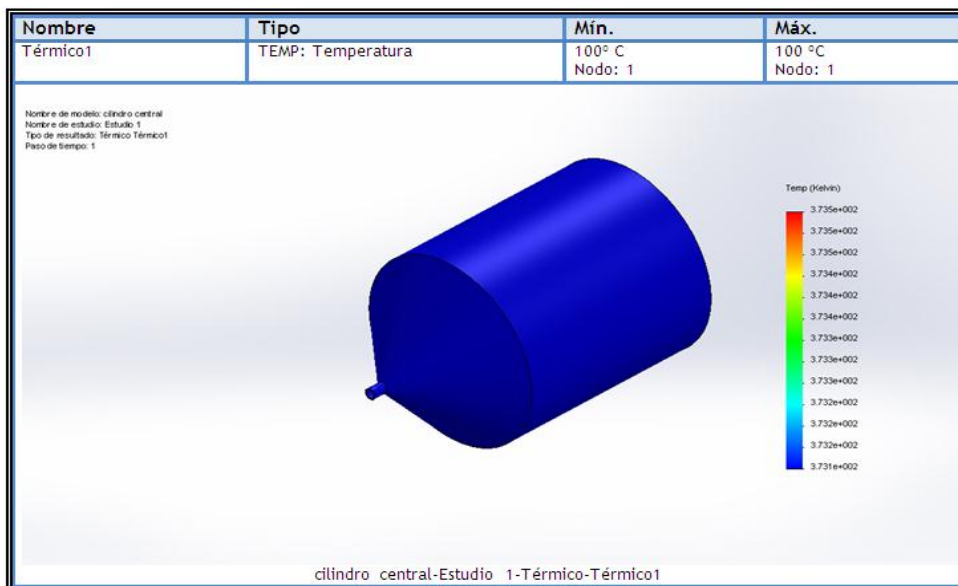
A pesar de que los esfuerzos son mínimos se aprecia que el tanque está de un color amarillento pardo acercándose a su máximo desplazamiento de 0.0115936, en teoría, ya que en realidad el desplazamiento es aproximadamente 0.00966 mm que es difícil apreciarlo en la realidad, El lugar que menos sufre un desplazamiento a pesar de haber tenido un mayor esfuerzo son las bases de apoyo que están entre el valor mínimo de 0.001 mm y 0.00483 mm.

La figura 4.10 en realidad indica el desplazamiento que ocurre a causa de los esfuerzos por las tensiones y se lo aprecia ya que está a una escala de 3767.



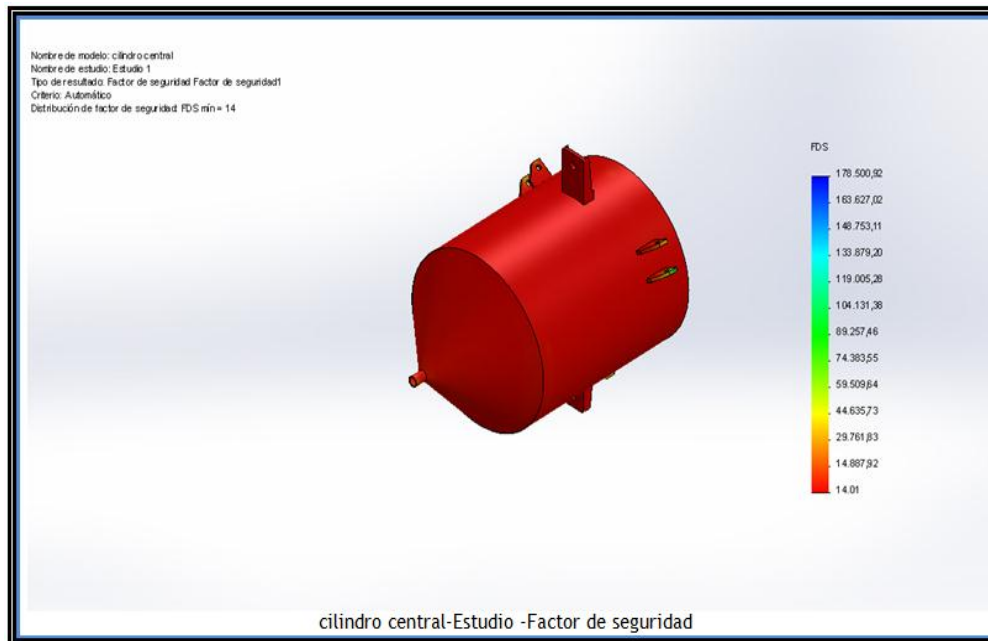
**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.11 Deformación unitaria en el tanque**

La figura 4.11 indica la deformación unitaria del tanque que es el desplazamiento dividido por la unidad de longitud, y como se puede observar la deformación unitaria es sumamente pequeña.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.12 Análisis térmico**

Como el recipiente está expuesto a una temperatura mínima de 60 °C y máxima a 100 °C es necesario realizarle un análisis térmico con su temperatura máxima de funcionamiento, como se aprecia en la figura 4.12, en la cual se puede ver que tenemos un resultado excelente ya que no tenemos ninguna deformación a causa del calor.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.13 Factor de seguridad**

El factor de seguridad para el recipiente se muestra en la figura 4.13 se puede observar que el depósito está de un color rojizo lo que nos indica que el FS es de 14, es decir que soportara más carga de lo establecido, el FS es alto ya que el material debía ser acero inoxidable por razones químicas más que por mecánicas, con lo cual podemos concluir que el material seleccionado para la construcción del tanque y el propósito es el correcto, además cabe señalar que el esfuerzo de Von Mises es menor al esfuerzo elástico y al esfuerzo último a la tracción del material con lo que afirma su confiabilidad.

#### 4.2.2. CONTENEDORES DE METÓXIDO Y AGUA

Los contenedores son dos recipientes de forma cilíndrica diseñados para el almacenamiento del agua y del metóxido, tienen una capacidad de 2.5 litros.

Cada uno tiene su respectiva tapa y en la parte inferior existen orificios para la salida de los fluidos.

#### DISEÑO DEL DEPÓSITO

Para el diseño se estimó una capacidad de 2 lt.

- Se usa la fórmula de volumen para cilindro

$$V = \pi * \frac{D^2}{4} * h$$

V= Volumen del depósito

D<sub>3</sub> =Diámetro del cilindro de los depósitos secundarios.

h<sub>3</sub> = Altura del cilindro de los depósitos secundarios

$$V = 2 \text{ lt} = 2000 \text{ cm}^3$$

- Asumir el diámetro

$$D_3 = 15 \text{ cm}$$

$$2000 \text{ cm}^3 \pi * \frac{(7.5)^2 \text{cm}^2}{4} * h_3$$

$$h_3 = \frac{2000 \text{ cm}^3 * 4}{\pi * (7.5)^2 \text{cm}^2} = 14.22 \text{ cm}$$

$$h_3 = 14 \text{ cm}$$

- Cálculo del volumen real del depósito (V<sub>r</sub>)

$$r = 7.5 \text{ cm} \quad h_3 = 14$$

$$V_r = \pi * r^2 * h_3$$

$$V_r = \pi * (7.5)^2 \text{cm}^2 * 14 \text{ cm}$$

$$V_r = 2474.004 \text{ cm}^3$$

$$V_r = 2.47 \text{ lt.}$$

### 4.2.3. ELECTROVÁLVULAS

Son válvulas electromecánicas que permiten o impiden el flujo a través de la tubería.

Para seleccionar una electroválvula se debe considerar el sistema en el que se usará, la presión a la que será expuesta, la temperatura y las características de los fluidos de trabajo.

- **ELECTROVÁLVULA PARA EL METÓXIDO (EV1)**

**Tabla 4.3 Información técnica de las electroválvula para la dosificar metóxido.**

<b>ELECTROVÁLVULA 1</b>	
TIPO	Normalmente cerrada
CONEXIÓN ROSCADA	NPT ½ ”
BOBINA	A 110 V
CONSUMO DE POTENCIA	9 W
PRESIÓN DE OPERACIÓN	Min: 0,5 bar - Max 7 bar
MATERIAL	Acero inoxidable
ACCIÓN	Directa
TEMPERATURA DE TRABAJO	-5 °C a 100 °C

**Fuente:** Grupo de investigación.

El material de construcción de la válvula solenoide del metóxido debe ser de acero inoxidable ya que el metanol y el KOH son corrosivos, la tabla 4.1 contiene las características técnicas.



Fuente: Grupo de investigación  
**Figura 4.14 Válvula solenoide instalada en el reactor para controlar el ingreso de metóxido**

- **ELECTROVÁLVULA PARA AGUA (EV2)**

**Tabla 4.4 Información técnica de las electroválvula para la dosificar agua.**

<b>ELECTROVÁLVULA 2</b>	
TIPO	Normalmente cerrada
CONEXIÓN ROSCADA	NPT ½ ”
BOBINA	A 110 V
CONSUMO DE POTENCIA	10 W
PRESIÓN DE OPERACIÓN	Min: 0,5 bar - Max 15 bar
MATERIAL	Bronce
ACCIÓN	Directa
TEMPERATURA DE TRABAJO	-5 °C a 100 °C

**Fuente:** Grupo de investigación.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.15** Válvula solenoide instalada en el reactor  
para controlar el ingreso de agua

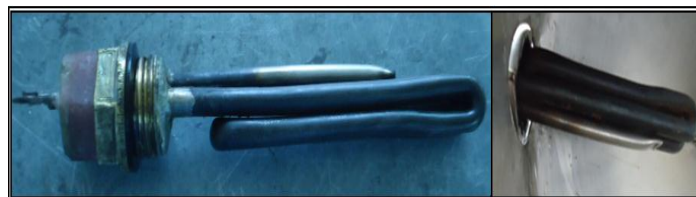
El reactor posee electroválvulas de baja presión de 0 a 7 y 15 bar, ya que solo trabajan con la presión atmosférica y con fluidos que se encuentran a temperatura ambiente.

#### **4.2.4. RESISTENCIA ELÉCTRICA DE CALEFACCIÓN**

Para obtener las temperaturas en cada proceso de la producción se utiliza una resistencia eléctrica que transfiere el calor al fluido.

La resistencia está ubicada en el interior del tanque principal del reactor y proporciona la temperatura en todas las etapas de funcionamiento.

La potencia es de 1100 watts, el material de construcción es una aleación de Cromo y Tungsteno.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.16** Resistencia eléctrica colocada en el depósito principal.

## a. DISEÑO DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA

Para el calcular la potencia de la resistencia eléctrica se establecen los incrementos de temperatura que van a producirse, para el calentamiento inicial del aceite vegetal asumiendo una temperatura ambiente de 20 °C debe calentarse hasta 60 °C. Con estos datos se puede determinar el incremento de la temperatura.

$$\Delta T = T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\Delta T = 60 - 20 \text{ °C}$$

$$\Delta T = 40 \text{ °C}$$

En el proceso de secado el incremento va a ser el mismo ya que se encuentra a 60 °C y se calienta hasta 100 °C.

- Cálculo de la potencia requerida

Se realiza mediante la siguiente fórmula<sup>27</sup>:

$$P = \frac{M C_p \Delta T}{3.142 t} \quad \text{Ecuación 10}$$

P = Potencia

M = Peso del material a calentar [lb]

C<sub>p</sub> = Calor específico del material  $\left[\frac{\text{Btu}}{\text{lbF}}\right]$

ΔT = Incremento de la temperatura [F]

3.142 = constante de conversión  $\left[\frac{\text{Btu}}{\text{Wh}}\right]$

t = tiempo en alcanzar la temperatura [h]

---

<sup>27</sup>(Engineering Guide -Power requirement formulas, pág. 4)



- Peso del aceite

$$\rho_{\text{aceite}} = 0.935 \text{ g/ml}$$

$$V = 10000 \text{ ml}$$

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$M = V * \rho$$

$$M = 10000 \text{ ml} * 0.935 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$M = 9350 \text{ g} * \frac{1\text{Kg}}{1000\text{g}} * \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 20.57 \text{ lb}$$

- Incremento de Temperatura en F

$$\Delta T = 40$$

$$T F = \frac{9[C]}{5} + 32 \quad \text{Ecuación 12}$$

$$T F = \frac{9[40]}{5} + 32$$

$$T F = 104$$

- Calor específico del aceite vegetal comestible<sup>28</sup>

$$C_p = 0.4 * \frac{\text{Btu}}{\text{lbF}}$$

El tiempo estimado es 15 min = 0.25 h

$$P = \frac{20.57 \text{ lb} * 0.4 \frac{\text{Btu}}{\text{lbF}} * 104 \text{ F}}{3.142 \frac{\text{Btu}}{\text{Wh}} * 0.25\text{h}}$$

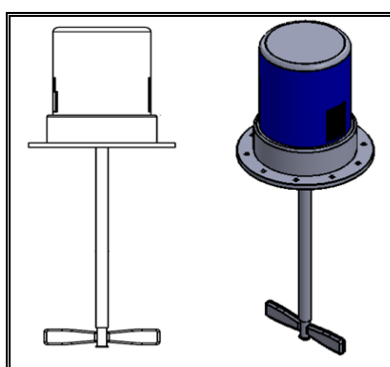
---

<sup>28</sup>(HANDBOOK OF INDUSTRIAL MIXING)

$$P = 1089.38 \text{ W}$$

#### 4.2.5. MOTOR AGITADOR

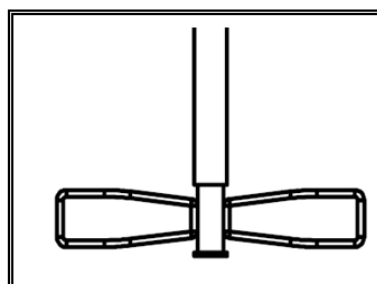
Para la agitación se diseñó un propulsor de aspas planas, accionado por un motor eléctrico monofásico que fue seleccionado considerando la potencia requerida para efectuar el trabajo y las condiciones de operación.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.17 Motor Agitador.**

El reactor está equipado con un motor tipo jaula de ardilla, funciona con corriente alterna (C.A), es la máquina motriz que genera la energía mecánica de rotación de las aspas.

Las aspas del impulsor son planas, giran sobre un eje vertical en el centro del tanque principal, mediante su movimiento giratorio impulsan al líquido radial y tangencialmente manteniendo una mezcla homogénea.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.18 Agitador de paletas tipo planas.**

## a. DISEÑO DEL AGITADOR

- Diámetro del impulsor

Para diseñar el agitador se toma en cuenta el diámetro del tanque generalmente el diámetro del agitador debe ser entre 0.3 y 0.6 del diámetro del tanque.<sup>29</sup>

$$D_{\text{tanque}} = 260 \text{ mm}$$

$$D_a = 0.3 * D_{\text{tanque}}$$

$$D_a = 0.3 * 260 \text{ mm}$$

$$D_a = 78 \text{ mm}$$

- Ancho de las paletas

El ancho de las paletas del impulsor debe estar entre 1/6 y 1/10 del diámetro del impulsor.

$$A_p = \frac{1}{6} * D_a \quad \text{Ecuación 13}$$

$$A_p = \frac{1}{6} * 78$$

$$A_p = 13 \text{ mm}$$

## b. SELECCIÓN DEL MOTOR

- Potencia consumida en el recipiente de agitación

$${}^{30}N'_{\text{Re}} = \frac{\rho N D_a^2}{\mu} \quad \text{Ecuación 14}$$

$N'_{\text{Re}}$  = número adimensional utilizado en mecánica de fluidos

$D_a$  = Diámetro del impulsor [ m ]

$N$  = revoluciones [ rps ]

$\rho$  = densidad [ Kg/m<sup>3</sup> ]

<sup>29</sup>(Perry's Chemical Engineers' Handbook, 1997, págs. 11-18)

<sup>30</sup>(HANDBOOK OF INDUSTRIAL MIXING, 2004, pág. 358)

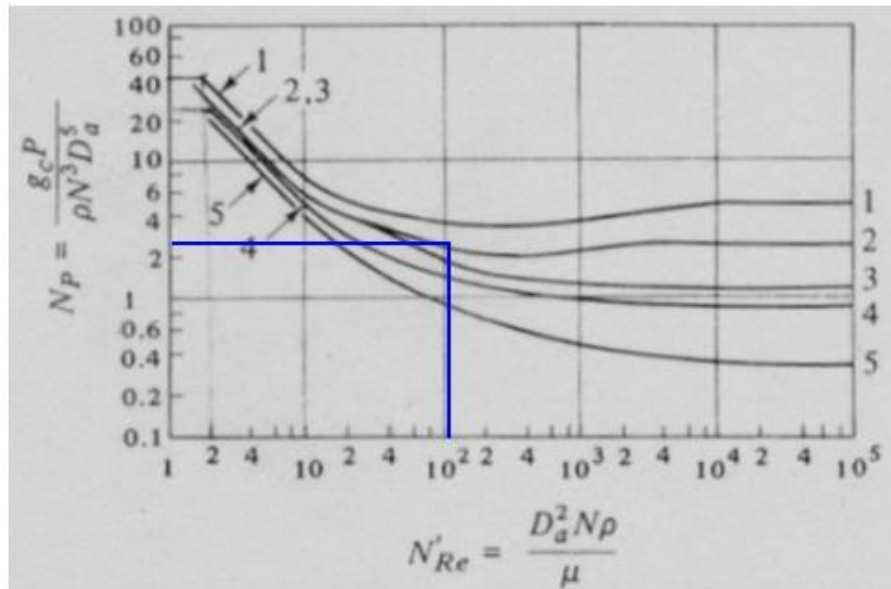
$\mu$  = viscosidad dinamica [Kg/ms]

- Número de Reynolds

$$N'_{Re} = \frac{27 * 935 * 0.078^2 \text{Kg m}^3 \text{s}}{\mu 1.49 \text{ Kg s m}^3}$$

$$N'_{Re} = 103.08$$

Con el número de Reynolds se obtiene el  $N_p$  utilizando la gráfica de curvas y potencias para los distintos impulsores.



**Fuente:** Torres del Carmen, Felipe de Jesús<sup>31</sup>

**Figura 4.19** Gráfica de curvas de potencias de distintos impulsores.

La curva 1 y 2 son de un impulsor tipo turbina aspas planas, curva 3 pertenece a impulsor de aletas inclinadas diámetro pequeño, curva 4 a impulsor tipo aletas inclinadas de diámetro medio, y la curva 5, es de un impulsor tipo aletas inclinadas de diámetro grande.

<sup>31</sup>(Diseño, Construcción y Pruebas de un Prototipo para la Producción de Biodiesel a Partir de Aceites Provenientes de Recursos Renovables, 2008, pág. 36)

$$N_p = 3.5$$

$N_p$  = número de potencia

$g_c$  = constante de conversión

- Cálculo de la potencia

$${}^{32} P = \frac{N_p \rho N^3 Da^5}{g_c} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$Da = 0.078 \text{ m}$$

$$N = 1620 \text{ rpm} = 27 \text{ rps}$$

$$\rho = 935 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 1.49 \text{ Kg/ms}$$

$$g_c = 1 \text{ Kgm/Ns}^2$$

$$P = \frac{3.8 * 935 * 27^3 * 0.078^5 \text{ Kg rev m}^5 \text{Ns}^2}{1 \text{ Kgm}^4 \text{s}^2}$$

$$P = 201.91 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}$$

$$P = 201.91 \text{ watt} * \frac{1 \text{ Hp}}{745.7 \text{ watt}} = 0.27 \text{ Hp}$$

Es la potencia del motor necesaria para la agitación, debido a que no existe un motor eléctrico de estas características, se selecciona el superior más próximo que existe en el mercado, 1/3 Hp

Una vez determinada la potencia requerida también se debe tener en cuenta otras consideraciones importantes como son:

---

<sup>32</sup>(HANDBOOK OF INDUSTRIAL MIXING, 2004, pág. 360)

- Temperatura de funcionamiento

La temperatura máxima permisible, depende de la clase de aislamiento que el motor tenga.

**Tabla 4.5 Clase de aislamientos más comunes usados en los motores.**

CLASE	AUMENTO MÁXIMO PERMISIBLE SOBRE 40°C	TEMPERATURA MÁXIMA DEL PUNTO MAS CALIENTE
B	90	130
F	115	155

**Fuente:** Grupo de Investigación

- Tipo de Servicio

El tipo de servicio lo determina el tiempo que trabaja el motor, los factores de servicio más comunes son 1.00, 1.15, 1.5 mientras mayor sea el factor de servicio, el motor puede tener más horas de trabajo continuo.

En la tabla 4.4 se detallan los datos técnicos del motor utilizado en el proyecto.

**Tabla 4.6 Datos técnicos del motor jaula de ardilla**

CONCEPTO	SIGLA	VALOR	UNIDAD
Caballos de Potencia	PH	1/3	HP
Voltaje	V	110/ 120	Volts
Amperaje	A	6,50/3,25	Amp
Factor de Servicio Amperaje	SFA	7,40/3,70	
Factor de Servicio	SF	1,35	
Frecuencia	Hz	60	Hz
Aislante	INS	B	
Temperatura	AMB	40	°C
Revoluciones	RPM	1740	rev/min
Armazón	FR	C48	

**Fuente:** Grupo de Investigación

### c. DISEÑO DEL EJE

Para diseñar el eje utilizamos el programa Mdsolid, pero primero debe determinarse el torque que soporta el eje utilizando la siguiente ecuación:

$$P = \frac{T \cdot N}{716.2} \quad \text{Ecuación 16}$$

P = Potencia del motor (Hp)

T = Torque (kg.m)

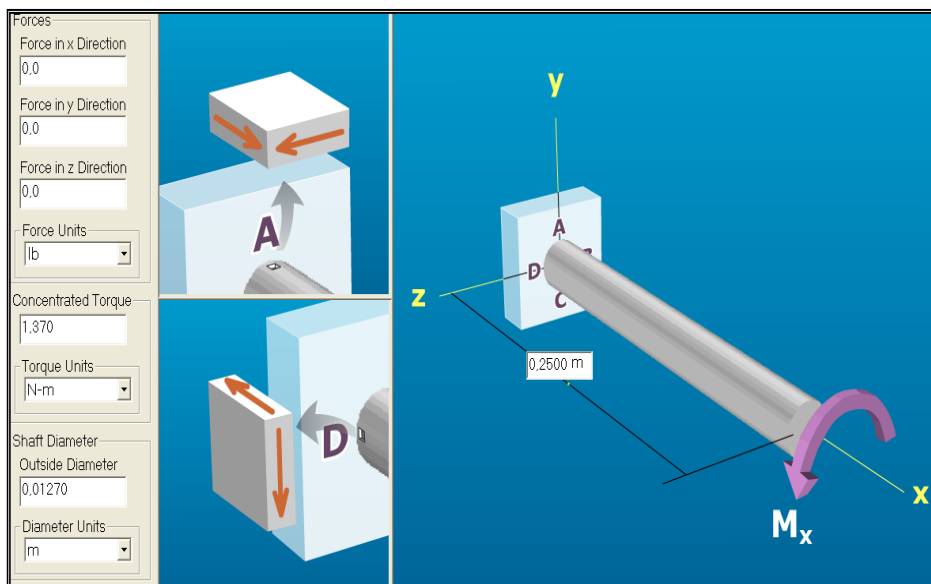
N = revoluciones (rpm)

La potencia del motor seleccionado es 1/3 Hp

$$T = \frac{\frac{1}{3} \text{Hp} * 716.2}{1740 \text{ rpm}} = 0.137 \text{ kg. m}$$

$$T = 1.34 \text{ N. m}$$

- Dimensionamiento del eje



Fuente: Grupo de investigación  
Figura 4.20 Dimensionamiento del eje en Mdsolid

Las propiedades de la sección para el eje son las siguientes:

OD = Diámetro externo

c = Centro de gravedad

A = Área

J = Momento polar de área

I = Momento de inercia

$$OD = 0.01270 \text{ m}$$

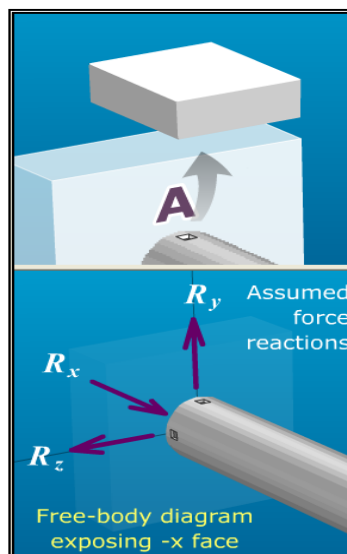
$$c = \frac{0.01270 \text{ m}}{2} = 0.006350 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi(0.01270 \text{ m})^2}{4} = 126.677 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$I = \frac{\pi(0.01270 \text{ m})^4}{64} = 2.54 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$J = \frac{\pi(0.01270 \text{ m})^4}{32} = 1.277 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

Considere la posibilidad de la fuerza de equilibrio del eje. Corte un diagrama de cuerpo libre a través del eje, justo detrás de la ubicación elemento de tensión. Asumiremos fuerzas de reacción  $R_x$ ,  $R_y$ , y  $R_z$  actuando en los ejes positivos x, y, y z, respectivamente.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.21** Diagrama de cuerpo libre del eje



En la dirección x, la ecuación de equilibrio es:

$$\sum F_x = R_x + 0 \text{ lb} = 0$$

$$R_x = 0 \text{ lb}$$

En la dirección y, la ecuación de equilibrio es:

$$\sum F_y = R_y + 0 \text{ lb} = 0$$

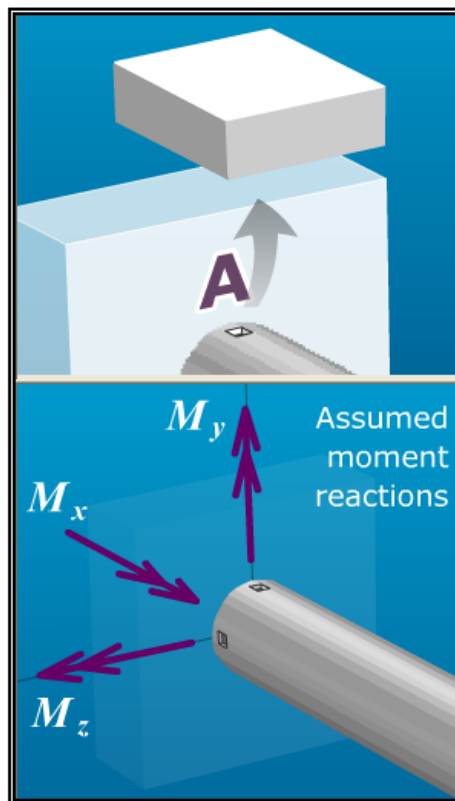
$$R_y = 0 \text{ lb}$$

En la dirección z, la ecuación de equilibrio es:

$$\sum F_z = R_z + 0 \text{ lb} = 0$$

$$R_z = 0 \text{ lb}$$

Luego, considere el momento de equilibrio del eje. Asumiremos los momentos de reacción  $M_x$ ,  $M_y$ , y  $M_z$  actuando en la dirección positiva de x, y, z, respectivamente.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.22 Diagrama de momentos de reacción**

En la dirección del eje x, la ecuación de momento de equilibrio es:

$$\sum M_x = M_x = 0$$

$$M_x = -1,340 \text{ N-m}$$

En la dirección del eje y, la ecuación de momento de equilibrio es:

$$\sum M_y = M_y = 0$$

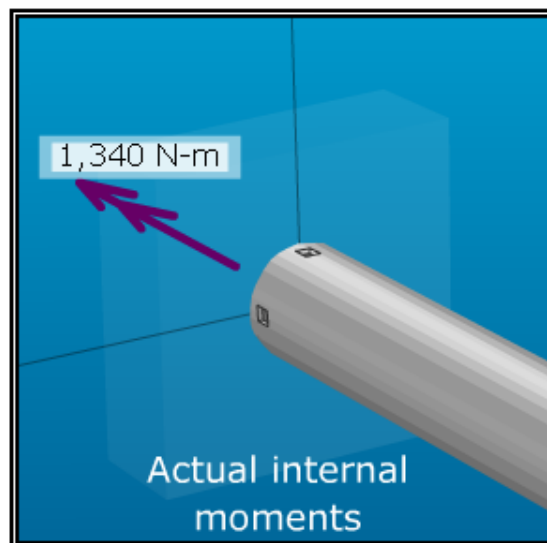
$$M_y = 0 \text{ lb-m}$$

En la dirección del eje z, la ecuación de momento de equilibrio es:

$$\sum M_z = M_z = 0$$

$$M_z = 0 \text{ lb-m}$$

Los momentos internos en la superficie trasera en el diagrama de cuerpo libre actúan en la dirección mostrada.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.23 Momentos internos**

El torque (T) concentrado  $M_x = -1,340 \text{ N-m}$ , en torno al eje x crea tensión cortante. La magnitud de la tensión cortante ( $\tau$ ) está dada por:

$$\tau = \frac{T \cdot c}{J}$$

**Ecuación 17**

$$\tau = \frac{1,340 \text{ Nm} * 0.006350 \text{ m}}{2,55 \times 10^{-9} \text{ m}^4}$$

$$\tau = 3331.7 \text{ KPa}$$

En definitiva las tensiones normales para la carga combinada se pueden determinar mediante la superposición de los casos individuales. Para un elemento de fuerza (en la parte superior del eje), la tensión normal total que actúa sobre el elemento es una tensión de 0,0 KPa. El tensiones de corte para el hecho decarga combinada en la dirección positiva z y x del elemento. La magnitud de la tensión de corte es 3.331,7 KPa.

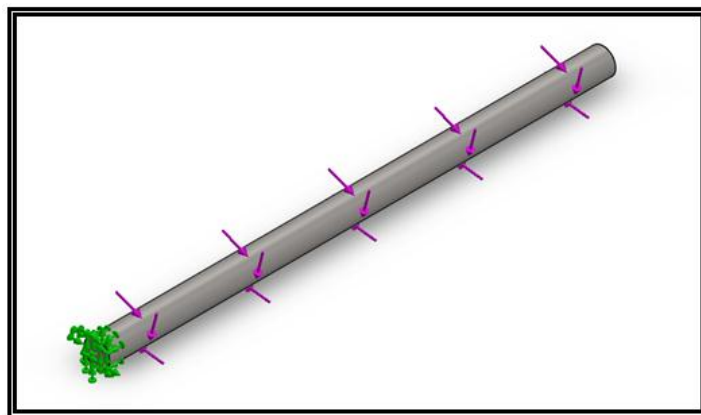
Los esfuerzos principales para el elemento están en  $\sigma_1 = 3331,7 \text{ KPa}$ . y  $\sigma_2 = -3331,7 \text{ KPa}$ .

El máximo esfuerzo cortante en el plano es  $\tau = 3331.7 \text{ KPa}$ , y el esfuerzo cortante máximo absoluto es igual al esfuerzo cortante en el plano. Esta condición se produce cuando  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  tienen signos opuestos.

#### d. ANÁLISIS DE FUERZAS DEL EJE Y ASPAS

- Eje

El material usado es el acero inoxidable A 304, la tabla 4.1 indica las propiedades mecánicas.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.24** Aplicación del torque en el eje

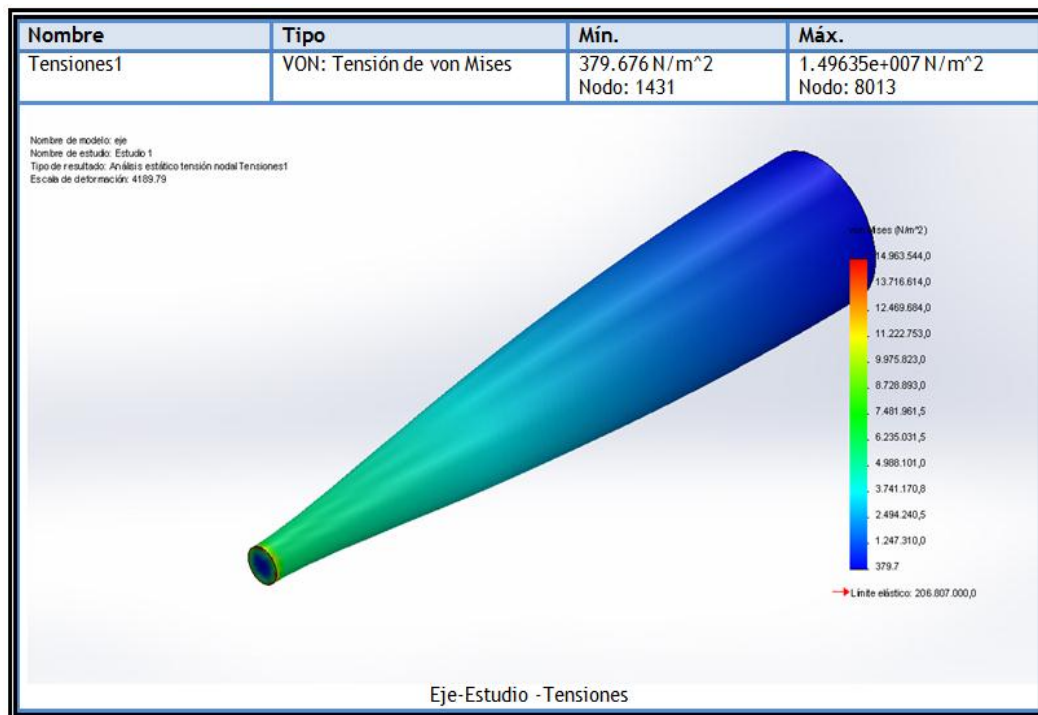
En este análisis aplicamos el torque de salida del motor que es  $T = 1.34 \text{ Nm}$ , como se observa en la figura 4.24 se hace un estudio estático en el cual el torque está distribuido a lo largo del eje y sujeto en el lado que se acopla al eje.

**Tabla 4.7 Fuerzas de reacción en el eje**

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.000659466	0.00187826	0.000638127	0.00209045

**Fuente:** Grupo de investigación.

Las propiedades mecánicas del material están detalladas en la tabla 4.1

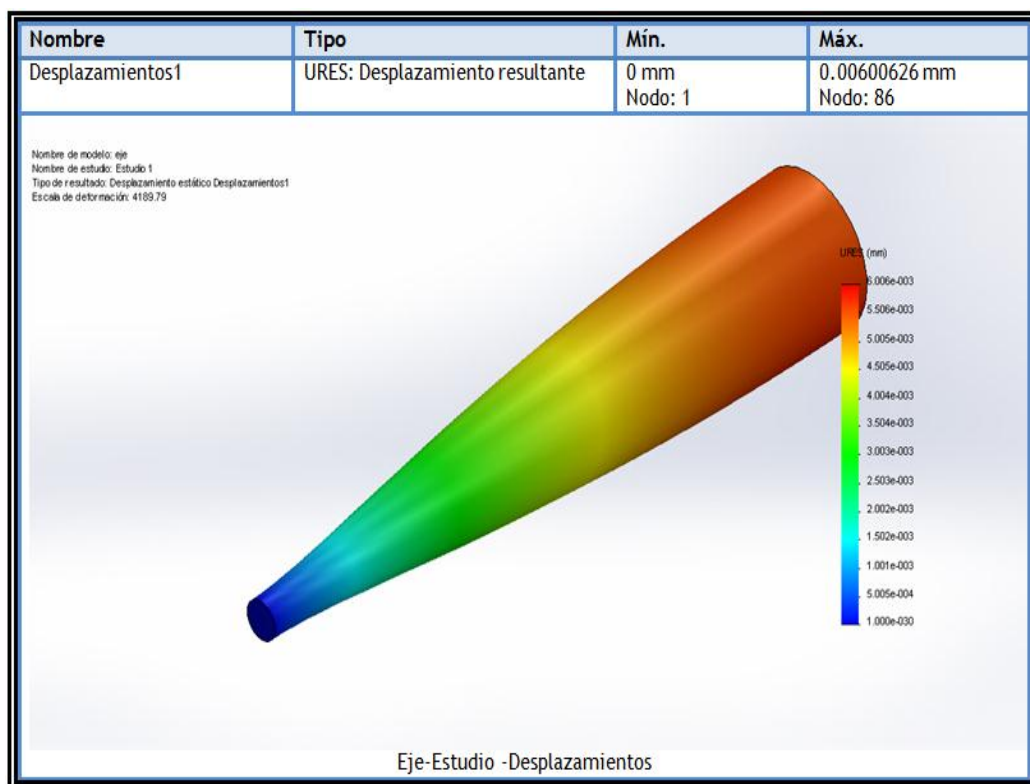


**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.25 Esfuerzos de Von Mises en el eje**

El resultado mostrado en la figura 4.25 de Von mises indica que el eje sufre un mayor esfuerzo en la parte de sujeción es decir donde se acopla al eje del motor, especialmente en el filo aproximadamente de 13.72 MPa mientras el eje en la parte longitudinal no sufre mayor esfuerzo, como se ve la parte azul soporta la

mínima tensión de 379.68 Pa, aun estando en su tensión máxima el valor está muy por debajo, y no supera de la tensión elástica del acero inoxidable que es 206.807 MPa.

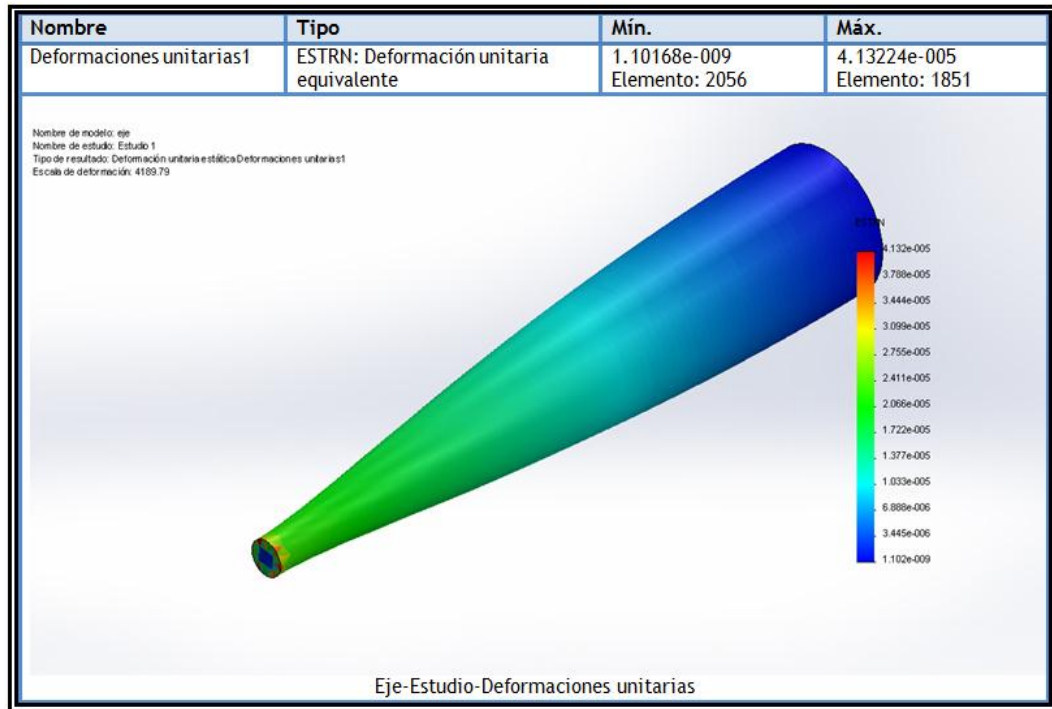
En la tabla 4.7 anterior se observa las fuerzas que se producen en el eje a causa del torque, distribuidos en los ejes x, y, z y cuyos valores son 0.00066 N, 0.00188 N, y 0.00064 N, respectivamente, obteniendo una fuerza resultante de 0.0021 N, que son sumamente pequeñas.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.26 Desplazamiento del eje**

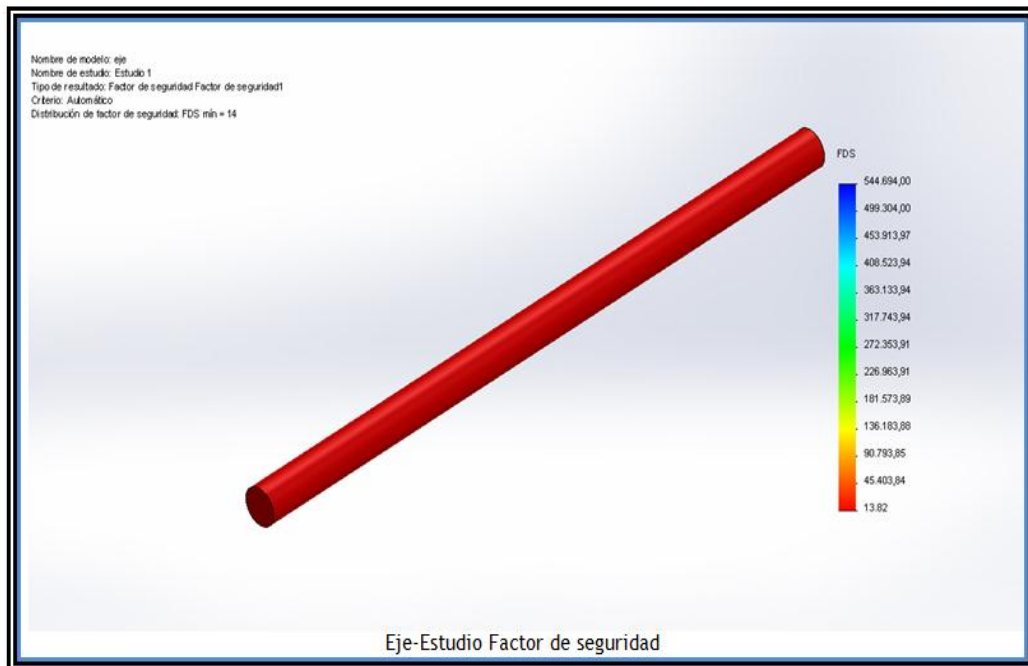
Se puede distinguir en la figura 4.26 que el desplazamiento existente motivado por las fuerzas axiales se producen en mayor cantidad a lo largo del eje debido a que soporta la vibración producida por el torque del motor, siendo 0 mm en su acoplamiento parte azul, su mayor desplazamiento al final del eje, color anaranjado rojizo con un valor de 0.00601 mm, que son magnitudes pequeñas

pero que se puede apreciar en el gráfico debido a que posee una escala de ampliación de 4189.8.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.27 Deformación unitaria del eje**

La deformación existente en el eje es mínima aproximadamente 0 color azul en la salida del eje y máxima 0.000041 en la entrada del torque color verdoso, como se constata en la figura 4.27 de deformaciones unitarias. Prácticamente la deformación unitaria es invisible al ojo pero se logra distinguirla en el gráfico debido a que esta con escala de maximización 4189.8



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.28** Factor de seguridad del eje

El factor de seguridad es FS=14 como se puede ver en la figura 4.28, la parte roja indica el factor de seguridad con el que trabaja y por los resultados obtenidos se pueden afirmar que es sumamente confiable, ya que para que falle debería sobrepasar el límite de elasticidad y del esfuerzo último a la tracción del material.

- **Aspas**

El fluido a agitar se encuentra estático y la presión ejercida a causa del líquido es sumamente pequeña por lo cual la despreciaremos, otra fuerza que no se tomará en cuenta para el análisis es la fuerza de empuje.

La fuerza que realmente interesa es la fuerza que se necesita para agitar el líquido, como se vio el torque del motor es de 1.34 Nm., el cual tomaremos como referencia para hallar la fuerza que ejerce cada una de las sapas para mover el fluido.

Para lo cual partimos de la ecuación:

$$T = F \cdot d$$

**Ecuación 18**

T= Torque (Nm)

F= Fuerza (N)

d = distancia (m)

Cono son dos aleta el torque del motor se divide para dos, teniendo así el momento de en cada paleta que serán iguales.

$$M_p = \frac{T(\text{motor})}{2} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$M_p = \frac{1.34 \text{ Nm}}{2}$$

$$M_p = 0.67 \text{ Nm}$$

$$M_p = F_p * d_p$$

M<sub>p</sub> = Momento de la paleta

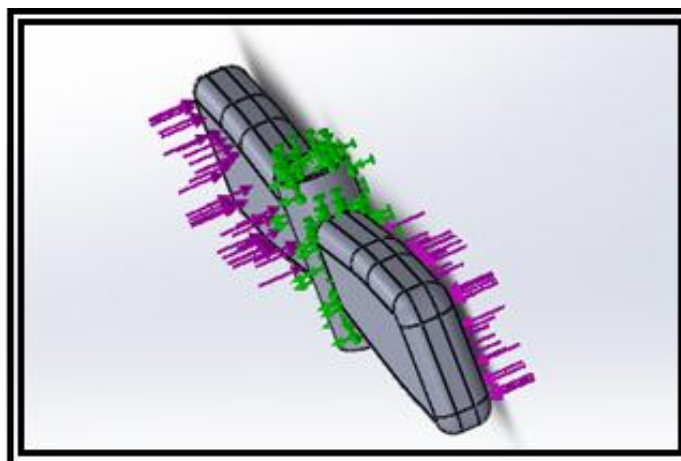
F<sub>p</sub> = fuerza en la paleta

d<sub>p</sub> = distancia de la paleta

La distancia de la paleta es igual al largo de la aspa dividido para 2

$$d_p = \frac{0.031\text{m}}{2} = 0.0155\text{m}$$

$$F_p = \frac{0.67 \text{ Nm}}{0.0155\text{m}} = 43.23 \text{ N}$$



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.29** Fuerza ejercida en las aspas

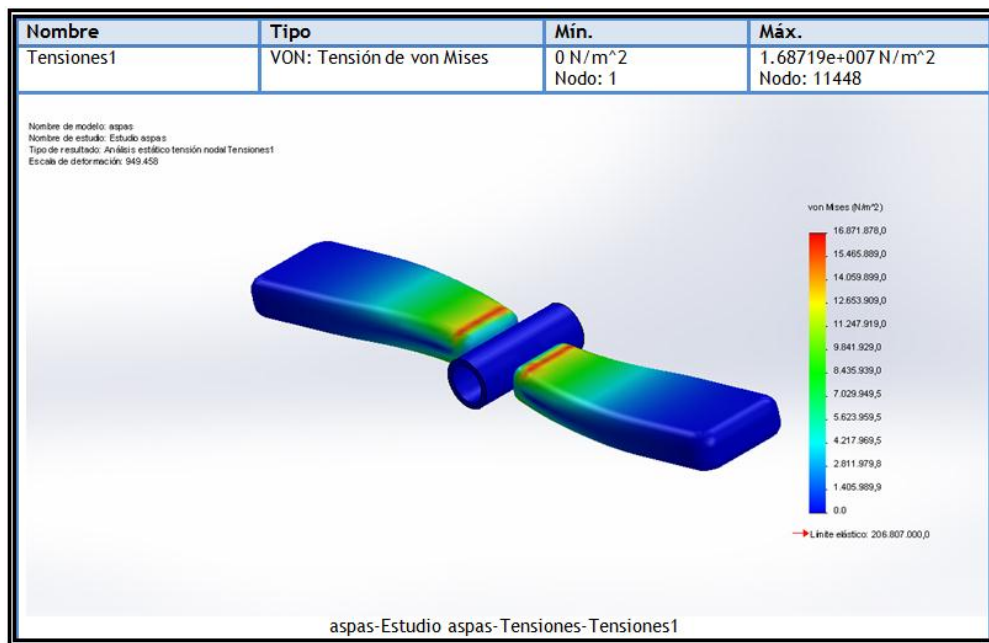


La fuerza aplicada es 43.29 N., se distribuye en cada cara de las paletas que son las que arrastran al fluido, el material utilizado es acero inoxidable A 304

**Tabla 4.8 Fuerzas de reacción de las aspas**

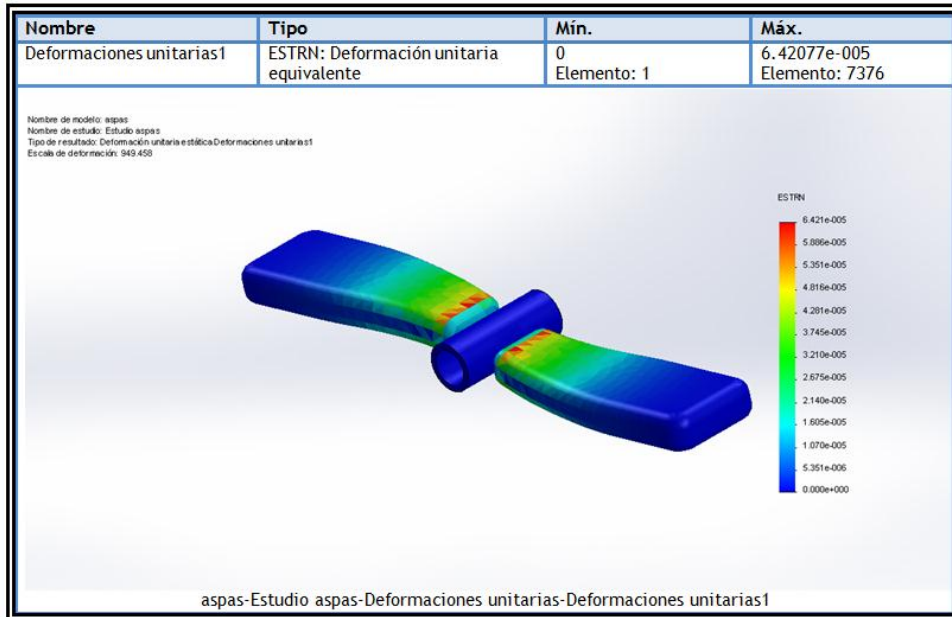
Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.00145173	-0.00048697	-0.00352681	0.00384487

**Fuente:** Grupo de investigación.

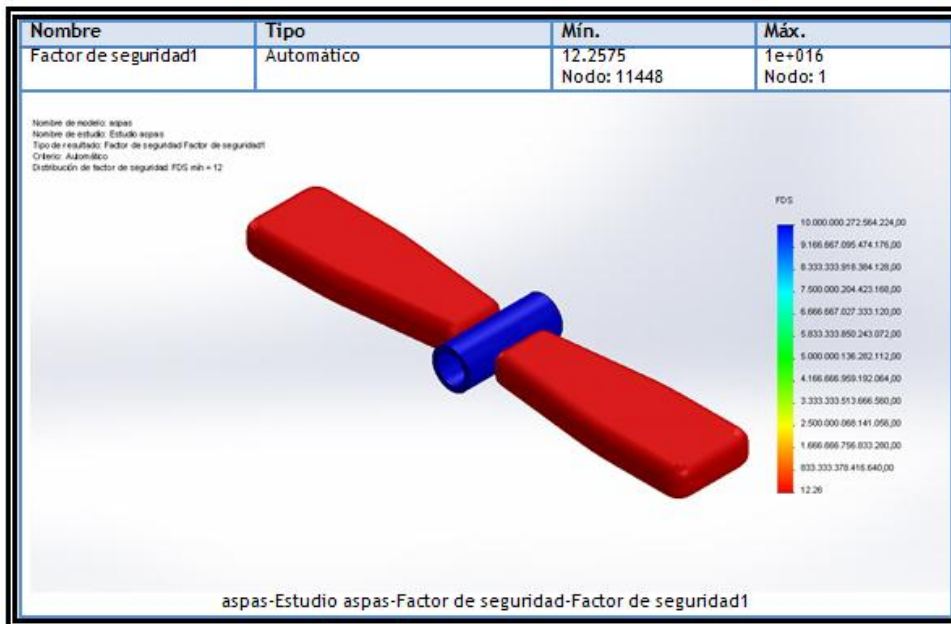


**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.30 Esfuerzos de Von Mises de las aspas**

El análisis de esfuerzos de Von Mises de la figura 4.30 muestra que el esfuerzo máximo que realiza es 16.87 MPa y el mínimo 0 MPa en las partes soldadas de las aspas, pero están por debajo del límite elástico y el esfuerzo último de la tensión del material, mostrados en la tabla 4.1.



Fuente: Grupo de investigación  
**Figura 4.31 Deformaciones unitarias de las aspas**

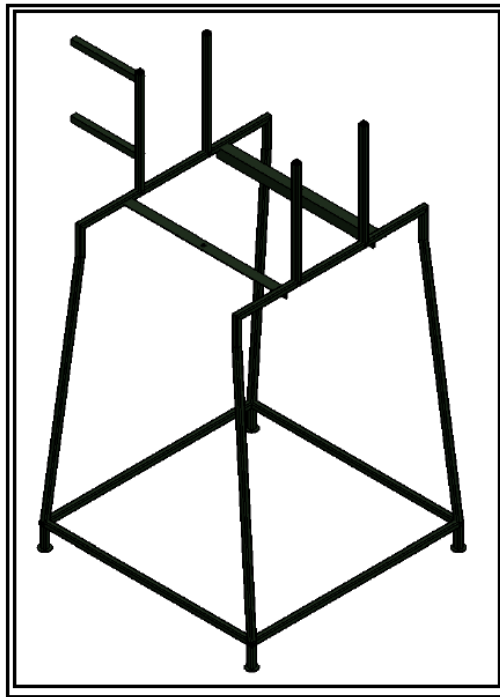


Fuente: Grupo de investigación  
**Figura 4.32 Factor de seguridad de las aspas**

#### 4.2.6. ESTRUCTURA DE SOPORTE

Todos los elementos que componen el reactor están individualmente fabricados, para formar un solo conjunto son ubicados en una estructura.

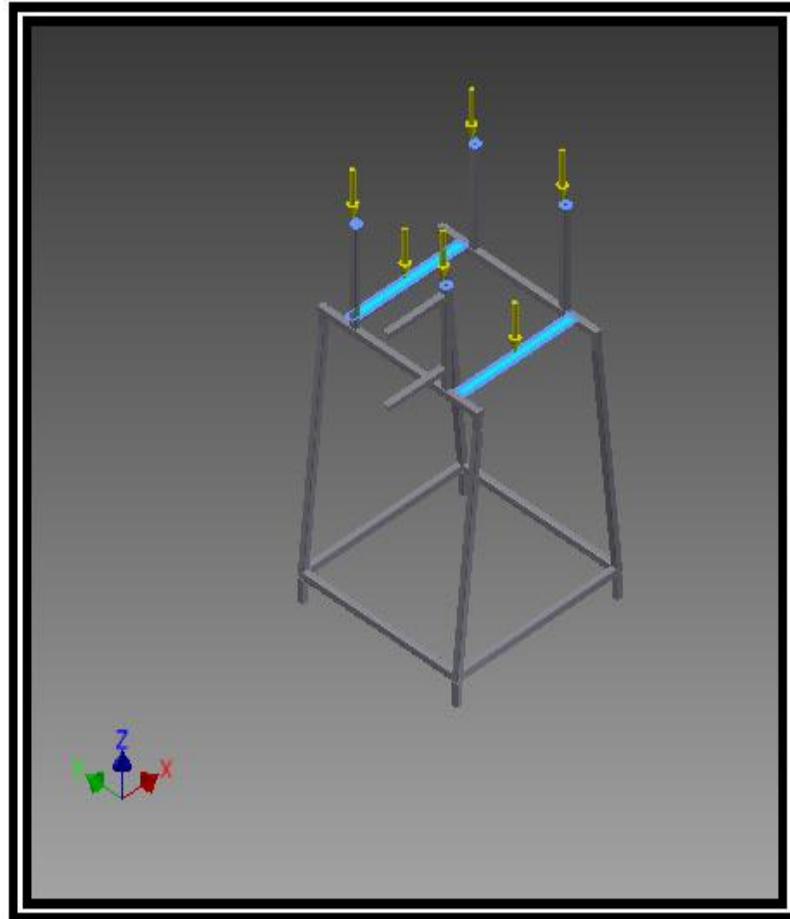
La estructura es segura para soportar el peso de todos los componentes del reactor, tiene alojamientos para el tanque principal y los depósitos de metóxido y agua. Gracias a su diseño puede ser trasladada a cualquier lugar y no necesita de un gran espacio físico, cuenta con niveladores que la permiten adaptarse incluso en superficies irregulares.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.33 Estructura del reactor**

### a. ANÁLISIS DE FUERZAS DE LA ESTRUCTURA

Se realizó el análisis de fuerzas en la estructura para comprobar que el material soporta toda la carga.

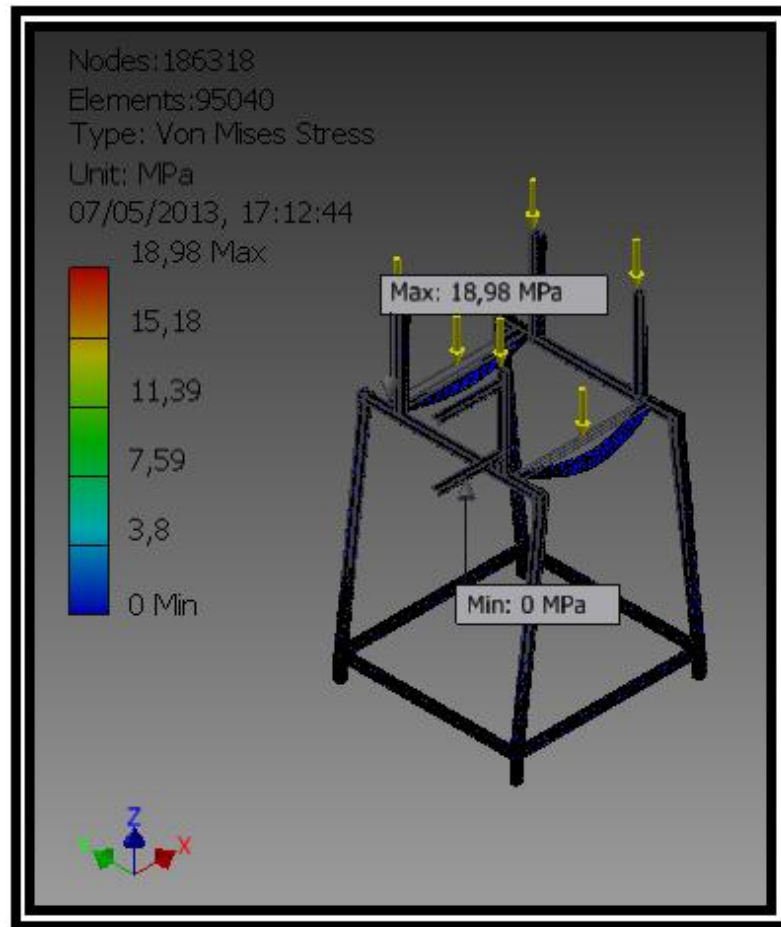


**Fuente:** Grupo de investigación

**Figura 4.34** Aplicación de las cargas en la estructura

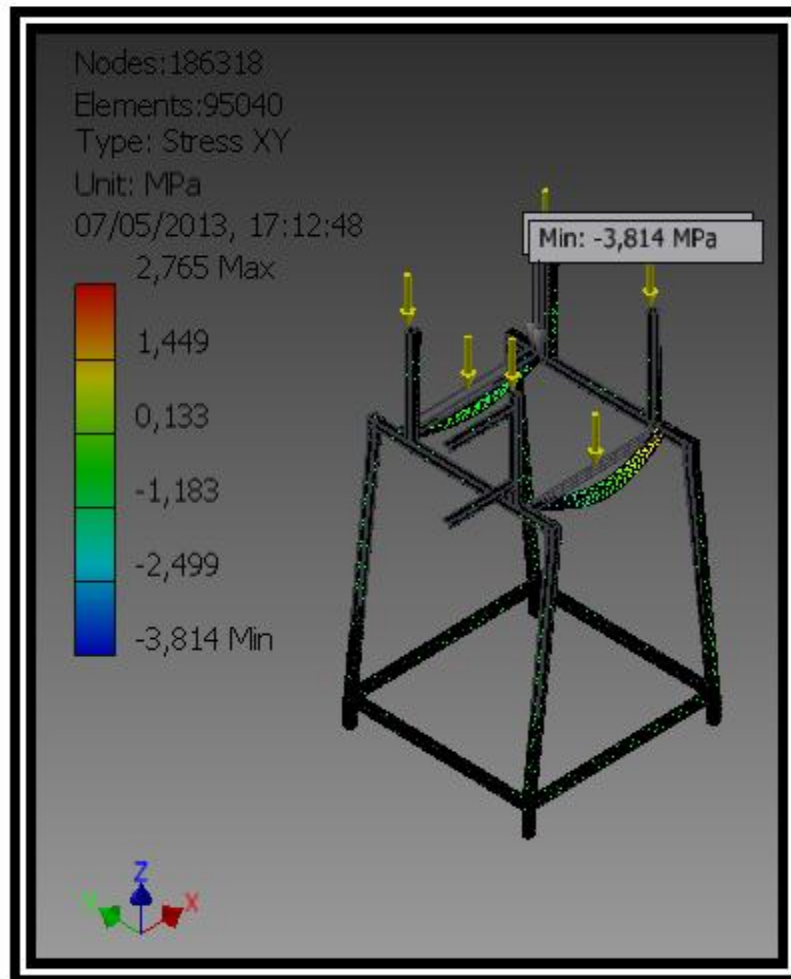
Las cargas se aplicaron en los puntos de apoyo de los depósitos y del tanque principal Figura 4.34.

Para la magnitud de la carga se consideró el peso de los componentes del reactor ensamblado con todas sus partes.



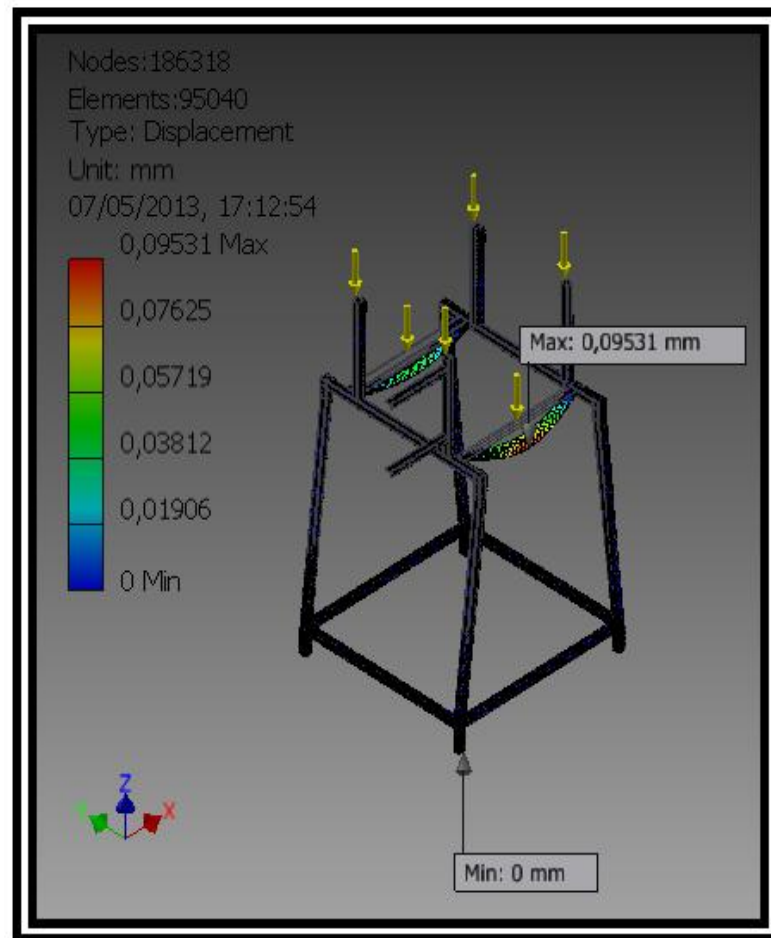
**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.35 Resultado-Esfuerzos de Von Mises**

En la Figura 4.35 se observa el análisis de esfuerzos de Von Mises el esfuerzo máximo que resiste la estructura es 18.98 Mpa y el mínimo 0 Mapa en las extensiones de la estructura donde se ubica la caja de control. El color azul es un indicador de que el esfuerzo que realiza con la carga aplicada es mínimo.



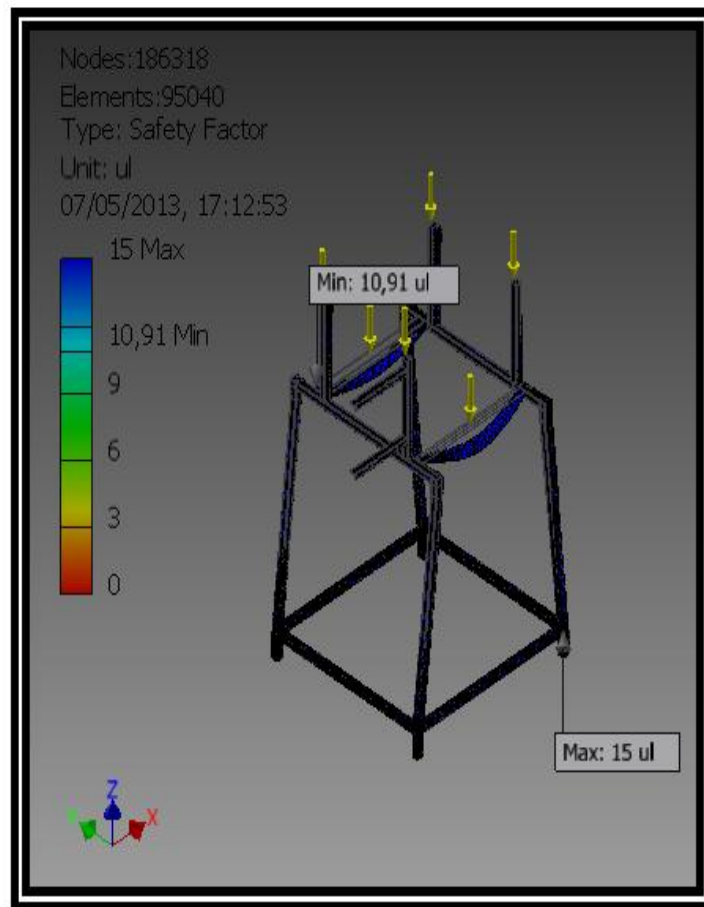
**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.36 Resultados del análisis- Esfuerzos en XY**

En la Figura 4.36, el análisis de esfuerzos en XY el resultado establece que el esfuerzo máximo que soporta la estructura es 2.765 Mapa y el esfuerzo mínimo - 3.814 Mapa. Los colores turquesa amarillo y verde representan el esfuerzo con la carga aplicada, nunca llega al punto crítico (color rojo).



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.37** Resultados del análisis-Desplazamiento

El análisis de esfuerzos también contempla el desplazamiento máximo y mínimo por flexión que puede presentarse en la estructura, en la Figura 4.37 observamos que el menor valor es 0 mm y el máximo 0.099531 mm en los travesaños de apoyo del depósito principal.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.38 Resultados del análisis-Factor de seguridad**

Del análisis de esfuerzos realizado en la estructura podemos concluir que el diseño no tiene problemas y no va a fallar por esfuerzo cortante ni flexionante, como se observa en la figura 4.38 el factor de seguridad es de 10,9 quiere decir que puede resistir una carga 10 veces mayor.

### 4.3. CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR

Después de establecer las consideraciones de diseño y la cantidad de material a utilizarse realizó la construcción del prototipo.

Tanto los accesorios como los tanques del reactor están construidos en acero inoxidable AISI 304 para evitar la corrosión que causan los reactivos empleados en la producción de biodiesel.



## CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE PRINCIPAL

<b>IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR AUTOMATIZADO PARA PRODUCIR BIODIESEL A NIVEL SEMI-INDUSTRIAL</b>											
<input type="checkbox"/> MÉTODO ACTUAL <input type="checkbox"/> MÉTODO PROPUESTO								FECHA: 01-05-2013			
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: DEPÓSITO PRINCIPAL											
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: CONSTRUCCIÓN											
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS			
		TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM				
	OPERACIONES	14.5	17					<b>ESTUDIADO POR :</b> PATAJALO LUIS SORIA PAUL			
	TRANSPORTE	4	4								
	INSPECCIONES	9	14								
	RETRASOS	0	0								
	ALMACENAM	0.5	1								
DIST RECORRIDA											
PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRASO	ALMACENAMIENTO	DIST. EN KM	CANTIDAD	TIEMPO HORA/UNI	CÁLCULOS DE TIEMPO/COSTO
1	ADQUISICIÓN DE MATERIALES	AUTO			<input type="checkbox"/>				3	5	
2	MEDICIÓN PLANCHA	FLEXÓMETRO							2	2	
3	MARCAR CIRCUNFERENCIA	COMPAS							1	0.5	
4	CORTAR	PLASMA							1	0.5	
5	DOBLAR	DOBLADORA							2	2	
6	SOLDAR	TIG							3	1	
7	PULIR	AMOLADORA							2	1	
8	LIMPIAR	ESPONJA							1	1	
9	PERFORAR	PLASMA							1	0.5	
10	TRANSPORTAR	AUTO							1	0.5	
11	ALMACENAR	TALLER			<input type="checkbox"/>				1	0.5	

La construcción del depósito principal se hizo en varias operaciones, se utilizaron diversos materiales y herramientas, el cuadro anterior indica el procedimiento de manera resumida.

- Se adquirió el material, se realizaron cortes con la ayuda de una cortadora de plasma.
- Finalizados los cortes se les dio las formas cilíndrica y cónica en la dobladora.
- Las partes fueron unidas con soldadura TIG.
- Se soldó una unión roscada en la punta del cono.
- En la base del cono se realizó una perforación para el alojamiento de la resistencia eléctrica.
- Se soldaron ménsulas para empernar el cilindro a la estructura de soporte.
- Con la ayuda de una amoladora se pulió el tanque para eliminar rebabas de suelda.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.39** Cilindro principal del reactor.

## CONSTRUCCIÓN DE LOS TANQUES DE AGUA Y METÓXIDO

<b>IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR AUTOMATIZADO PARA PRODUCIR BIODIESEL A NIVEL SEMI-INDUSTRIAL</b>											
		<input type="checkbox"/> MÉTODO ACTUAL <input type="checkbox"/> MÉTODO PROPUESTO						FECHA: 01-05-2013			
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: TANQUES SECUNDARIOS											
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: CONSTRUCCIÓN											
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS			
		TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM				
○	OPERACIONES	10	24					<b>ESTUDIADO POR : PATAJALO LUIS SORIA PAUL</b>			
➡	TRANSPORTE	2	2								
□	INSPECCIONES	7.5	22								
D	RETRASOS	0	0								
▽	ALMACENAN	1	0.5								
DIST RECORRIDA											
PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRASO	ALAMACENAMIENTO	DIST. EN KM	CANTIDAD	TIEMPO HORA/UNI	CÁLCULOS DE TIEMPO/COSTO
1	ADQUISICIÓN DE MATERIALES	AUTO	●	➡	□	D	▽		1	2	
2	MEDICIÓN PLANCHA	FLEXÓMETRO	●	➡	■	D	▽		2	1	
3	MARCAR CIRCUNFERENCIA	COMPAS	●	➡	■	D	▽		2	0.5	
4	CORTAR	PLASMA	●	➡	■	D	▽		4	1	
5	DOBLAR	DOBLADORA	●	➡	■	D	▽		2	1	
6	SOLDAR	TIG	●	➡	■	D	▽		4	1	
7	PULIR	AMOLADORA	●	➡	■	D	▽		2	1	
8	LIMPIAR	ESPONJA	●	➡	■	D	▽		2	1	
9	PERFORAR	TIG	●	➡	■	D	▽		2	0.5	
10	TRANSPORTAR	AUTO	●	➡	■	D	▽		1	0.5	
11	ALMACENAR	TALLER	○	➡	□	D	▽		1	0.5	

- Se realizaron los cortes con cortadora de plasma.
- Con la ayuda de la dobladora se dio al material la forma cilíndrica.
- Se utilizó soldadura TIG para unir.
- Se soldaron uniones roscadas en la base para acoplar con la tubería.
- En la parte superior del tanque se ubicaron ménsulas de soporte unidas mediante soldadura TIG para empernar los depósitos a la estructura.
- La superficie fue pulida con una amoladora.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.40 Depósito de metóxido.**

El depósito de metóxido es exactamente igual al depósito del agua, tiene las mismas dimensiones y para la construcción se realizó el mismo procedimiento.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.41 Depósito de agua acoplado a la electroválvula**

## CONSTRUCCIÓN DEL AGITADOR

<b>IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR AUTOMATIZADO PARA PRODUCIR BIODIESEL A NIVEL SEMI-INDUSTRIAL</b>											
<input type="checkbox"/> MÉTODO ACTUAL <input type="checkbox"/> MÉTODO PROPUESTO								FECHA: 01-05-2013			
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: AGITADOR											
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: CONSTRUCCIÓN											
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS			
		TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM				
○	OPERACIONES	4	15					<b>ESTUDIADO POR :</b> PATAJALO LUIS SORIA PAUL			
➡	TRANSPORTE	1	1								
□	INSPECCIONES	2.5	13								
D	RETRASOS	0	0								
▽	ALMACENAN	0.5	1								
DIST RECORRIDA											
PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRASO	ALMACENAMIENTO	DIST. EN KM	CANTIDAD	TIEMPO HORA/UNI	CÁLCULOS DE TIEMPO/COSTO
1	ADQUISICIÓN DE MATERIALES	AUTO	●	➡	□	D	▽		1	1	
2	MEDICIÓN EJE	FLEXÓMETRO	●	➡	■	D	▽		1	0.25	
3	PERFORACIÓN	FLEXÓMETRO	●	➡	■	D	▽		4	0.25	
4	MEDICIÓN PLATINA	FLEXÓMETRO	●	➡	■	D	▽		1	0.25	
5	CORTAR	AMOLADORA	●	➡	■	D	▽		3	0.25	
6	SOLDAR	TIG	●	➡	■	D	▽		2	0.5	
7	UNIR	TUERCA	●	➡	■	D	▽		1	0.5	
8	ACOPLAR	MACHUELO	●	➡	■	D	▽		1	0.5	
9	ALMACENAR	TALLER	○	➡	□	D	▽		1	0.5	

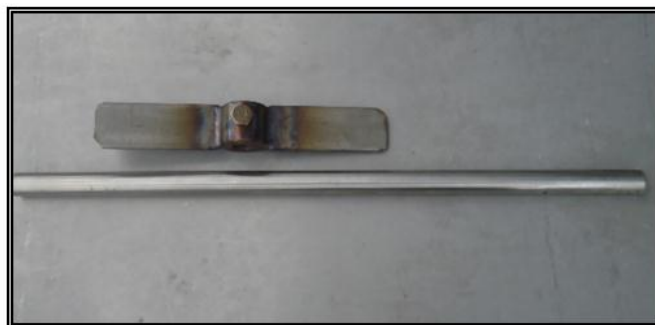
Para la construcción del agitador se adquirió 25 cm de eje de ½ pulgada, 5 cm de eje de 1 pulgada y una platina.

- El eje de 1 pulgada fue cortado.
- Se perforó el eje en una taladradora de pedestal.
- La platina se cortó con la ayuda de una amoladora para formar las aspas



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.42 Corte del eje y la platina.**

- Las aspas se unieron al eje mediante soldadura TIG.
- Las aspas fueron montadas aleje de ½ pulgada, se sujetan mediante un perno.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.43 Eje y Aspa de agitación.**

## CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

<b>IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR AUTOMATIZADO PARA PRODUCIR BIODIESEL A NIVEL SEMI-INDUSTRIAL</b>											
<input type="checkbox"/> MÉTODO ACTUAL <input type="checkbox"/> MÉTODO PROPUESTO								FECHA: 01-05-2013			
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: ESTRUCTURA											
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: CONSTRUCCIÓN											
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS			
		TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM				
○	OPERACIONES	6	25					<b>ESTUDIADO POR :</b> PATAJALO LUIS SORIA PAUL			
➔	TRANSPORTE	1	2								
□	INSPECCIONES	4.5	22								
D	RETRASOS	0	0								
▽	ALMACENAM	0.5	1								
DIST RECORRIDA											
PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRASO	ALMACENAMIENTO	DIST. EN KM	CANTIDAD	TIEMPO HORA/UNI	CÁLCULOS DE TIEMPO/COSTO
1	ADQUISICIÓN DE MATERIALES	AUTO	●	➔	□	D	▽		2	1	
2	MEDICIÓN DEL TUBO	FLEXÓMETRO	●	➔	■	D	▽		3	0.25	
3	MEDICIÓN PLATINA	FLEXÓMETRO	●	➔	■	D	▽		2	0.25	
4	CORTAR	SIERRA	●	➔	■	D	▽		5	0.5	
5	SOLDAR	SMAW	●	➔	■	D	▽		6	2	
6	PERFORAR	TALADRO	●	➔	■	D	▽		4	0.25	
7	FONDEAR	PISTOLA / FONDO	●	➔	■	D	▽		1	0.25	
9	SECAR	AMBIENTE	●	➔	■	D	▽		1	1	
8	ALMACENAR	TALLER	○	➔	□	D	▽		1	0.5	

Para construir la estructura se necesitaron 7 metros de acero estructural de 30 x 30 x 2 mm. 3 metros de acero al carbono perfil angular.

- Con un flexómetro se tomaron las medidas para posteriormente realizar los cortes
- Los cortes se hicieron con amoladora.
- El tipo de soldadura utilizada es SMAW electrodo 6011.
- Una vez construida fue necesario poner fondo para evitar que se oxide.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.44** Estructura de soporte del reactor



## ENSAMBLAJE DEL REACTOR

<b>IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR AUTOMATIZADO PARA PRODUCIR BIODIESEL A NIVEL SEMI-INDUSTRIAL</b>											
<input type="checkbox"/> MÉTODO ACTUAL		<input type="checkbox"/> MÉTODO PROPUESTO		FECHA: 01-05-2013							
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: REACTOR											
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: ENSAMBLAJE											
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS			
		TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM				
○	OPERACIONES	7	29					<b>ESTUDIADO POR : PATAJALO LUIS SORIA PAUL</b>			
➡	TRANSPORTE	2	3								
□	INSPECCIONES	4.5	25								
D	RETRASOS	0	0								
▽	ALMACENAM	0.5	1								
DIST RECORRIDA											
PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRATO	ALMACENAMIENTO	DIST. EN KM	CANTIDAD	TIEMPO HORA/UNI	CÁLCULOS DE TIEMPO/COSTO
1	ADQUISICIÓN DE MATERIALES	AUTO	●	➡	□	D	▽		3	2	
2	LIMPIAR	ESPONJA	●	➡	■	D	▽		4	0.5	
3	PINTAR	SPRAY	●	➡	■	D	▽		1	1	
4	MONTAR TANQUES	ESTRUCTURA	●	➡	■	D	▽		3	0.5	
5	MONTAR CAJA	ESTRUCTURA	●	➡	■	D	▽		1	0.5	
6	EMPERNAR	PERNOS	●	➡	■	D	▽		6	0.5	
7	AJUSTAR	LLAVES	●	➡	■	D	▽		6	0.5	
8	CONECTAR	CABLEADO	●	➡	■	D	▽		3	0.5	
9	PROBAR	ELÉCTRICO	●	➡	■	D	▽		1	0.5	
10	ALMACENAR	TALLER	●	➡	□	D	▽		1	0.5	

Construidos todos los elementos del reactor para producir biodiesel a nivel semi - industrial se procede al ensamblaje.

- La tubería fue acoplada a los depósitos y electroválvulas mediante uniones roscadas.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.45** Accesorios y tubería para acoplar a los depósitos y electroválvulas

- Para fijar el motor a la tapa del recipiente principal se utilizaron 4 pernos y tuercas de presión, Los ejes del motor y el impulsor se unen mediante un acople fabricado en acero inoxidable y sujeto por dos pernos que están opuestos para equilibrar las masas.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.46** Motor – agitador ensamblado.

- El cilindro principal fue montado y empernado a la estructura.
- Se colocó cuidadosamente la tapa del cilindro principal ya ensamblada con el motor y el agitador.
- Los depósitos de metóxido y agua, ensamblados con la tubería y las electroválvulas, fueron ubicados y empernados en la estructura de soporte.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 4.47 Reactor Automatizado para producir biodiesel**

El reactor puede ser armado y desarmado con facilidad en caso de que necesite mantenimiento preventivo o correctivo por avería de alguno de los componentes.

**Tabla 4.9 Materiales empleados en la construcción del reactor para producir biodiesel.**

N°	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES				UNIDAD	CANTIDAD
			Espesor	Largo	Ancho	Diámetro		
<b>REACTOR</b>								
1	Plancha	Acero inoxidable 304	3	2240	1500		mm	1/2
2	Tubería	Acero inoxidable 304 - cédula 10		1 m		1/2"		1/4
3	Acoples	Acero inoxidable 304 NPT				1/2"	inch	3
4	Unión	Acero inoxidable 304		2		1/2"	inch	4
5	Reductor	Acero inoxidable 304	4 mm	2		2" – 1 ½ "	inch	1
6	Rodelas	Acero inoxidable 304	2			6	mm	16
7	Codos	Acero inoxidable 304				1/2"	inch	5
8	Pernos	cabeza hexagonal -304		90		12	mm	3
9	Tuercas	Hexagonal- 304				12	mm	4
10	Pernos	cabeza hexagonal -304				1/4"	inch	10
11	Tuercas	Hexagonal de presión- 304				1/4"	inch	10
<b>ESTRUCTURA</b>								
14	Ángulo	Acero al Carbono	4	54	54		mm	1
15	Ángulo	Acero al Carbono	2	50	23		mm	1
16	Tubo	Cuadrado - Acero al carbono	2	10500	20	20	mm	1 ½

**Fuente:** Grupo de investigación.

## CAPÍTULO 5

### 5. AUTOMATIZACIÓN

La automatización es un sistema en el cual las operaciones de producción son realizadas por un módulo de control, dentro de la automatización existen dos partes principales que son la parte operativa, conformada por los dispositivos actuadores y la parte de mando o módulo de control, que se programa, recibe señales y maneja estos datos para activar o desactivar los actuadores.

#### 5.1. INSTRUMENTACIÓN

Para automatizar los procesos de producción del biodiesel en el reactor se utilizan varios elementos que conforman la conexión eléctrica y electrónica.

**Tabla 5.1 Listado de elementos empleados en la automatización**

N°	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES			UNIDAD	CANTIDAD
<b>INSTRUMENTACIÓN</b>							
1	Logo	Siemens 230 RC				1	
2	Bornera	Para riel 10 AWG	4		mm	8	
3	Fusible	Cristal 2 A	200		mm	1	
4	Pulsador	Camsco monoblock verde				3	
5	Pulsador	CamscoEnerg C/retención rojo				1	
6	Luz piloto	Camsco verde 110V				3	
7	Relé	Camsco 110 VAC/ 5 AMP/8 P				4	
8	Base relé	Camsco 8 huecos redondo				4	
9	Terminal	“ u” 16-14 azul vf2-3y				40	
<b>OTROS MATERIALES</b>							
10	Caja	Metálica de doble fondo	40	40	25	cm	1
11	Riel	Din 1NT	1			m	1
12	Canaleta	Ranurada gris	25		x 25	mm	1
13	Cable	Rojo #16 320 V	20			m	1

**Fuente:** Grupo de investigación

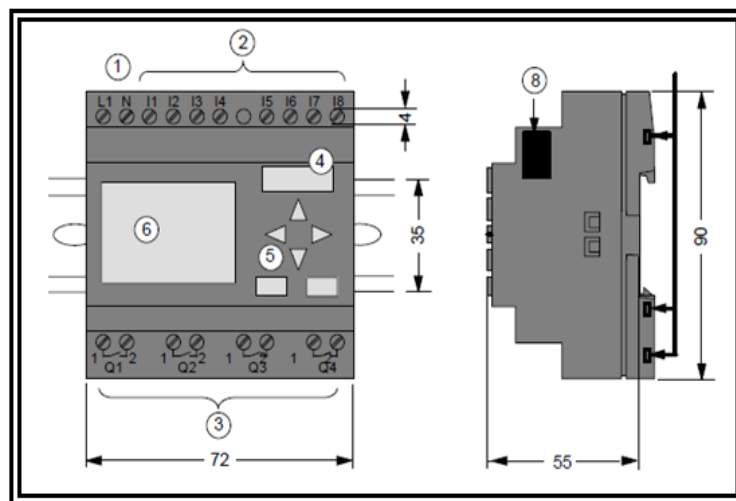
- **LOGO SIEMENS 230 RC**

Logo ofrece soluciones que abarcan desde una pequeña aplicación doméstica hasta funciones complejas, cuenta con varios modelos. La selección de un logo depende de la necesidad.

Para la automatización del reactor, se utilizó un módulo lógico universal de siemens que lleva integrados, control, unidad de mando y visualización con retro iluminación, fuente de alimentación, Interfaz para módulos de ampliación, temporizador, interfaz para módulo de programación y cable para PC, 8 entradas y 4 salidas tipo relé.

La selección del LOGO se hizo considerando el número de entradas, el número de actuadores a controlar y el voltaje de operación de los actuadores, 110 V AC.

En la Figura 5.1 se puede observar cómo está estructurado el logo 230 RC.



Fuente: Logo\_s.pdf

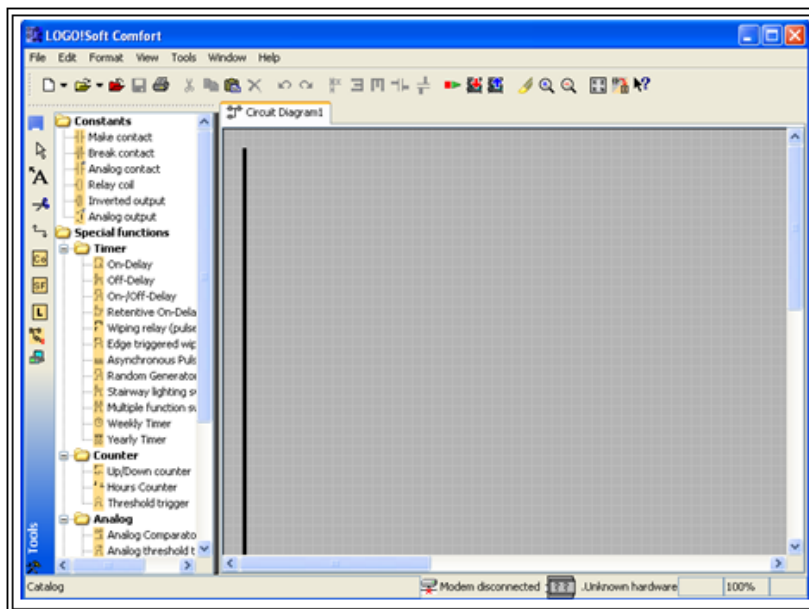
**Figura 5.1 Estructura del Logo Siemens 230 RC**

- |                                      |                            |
|--------------------------------------|----------------------------|
| 1.- Alimentación de tensión          | 6.- Pantalla LCD           |
| 2.- Entradas                         | 7.- Indicador de estado    |
| 3.- Salidas                          | 8.- Interfaz de Ampliación |
| 4.- Receptáculo para módulo con tapa |                            |
| 5.- Panel de mando                   |                            |

## 5.2. PROGRAMACIÓN

### a. PROGRAMA LOGO! SOFT CONFORT V7.0

SIEMENS en la documentación del programa menciona que: LOGO! Soft ofrece una simulación en PC de un LOGO! preparado. Con el software de programación, los programas de conmutación se pueden elaborar, ensayar, modificar, archivar e imprimir directamente en el PC. Esta elaboración off line del programa de conmutación aumenta notablemente la facilidad de manejo del LOGO!, para lo cual la pantalla refleja una imagen del equipo a programar. Los programas pueden transferirse entonces entre el PC y el LOGO!, y pueden elaborarse los programas de conmutación de forma más eficiente, confortable y clara que hasta ahora. La elaboración del programa tiene lugar colocando los elementos de programación libremente en una plataforma de programa y uniéndolos entre sí, tiene una mínima tasa de errores en programas de conexiones gracias a su simulación en el PC.



**Fuente:** Programa LOGO! Soft confort  
**Figura5.2** Plataforma de conexión para diagrama Ladder

## b. PROGRAMACIÓN LADDER

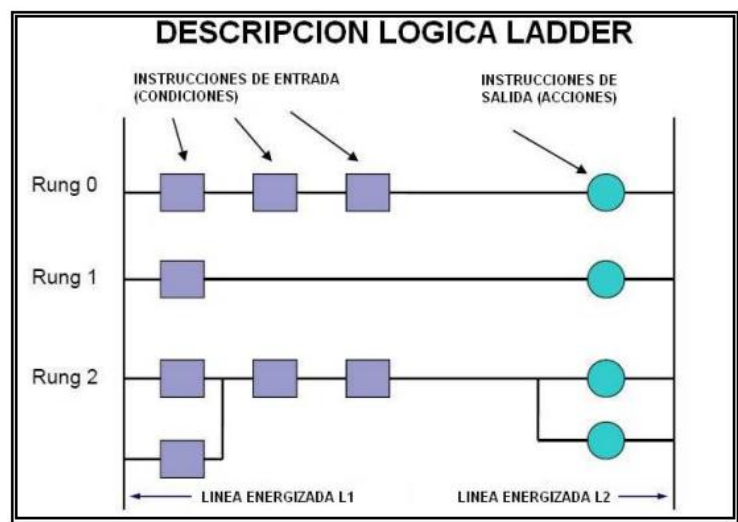
Existen distintos tipos de lenguaje de programación de un LOGO, quizás el más común sea la programación tipo escalera o ladder. Los diagramas de escalera son esquemas de uso común para representar la lógica de control de sistemas industriales. Se le llama diagrama "escalera" porque se asemejan a una escalera, con dos rieles verticales (de alimentación) y "escalones" (líneas horizontales), en las que hay circuitos de control que definen la lógica a través de funciones. Las principales características del lenguaje ladder son:

- Instrucciones de entrada se introducen a la izquierda.
- Instrucciones de salida se situarán en el derecho.

Los carriles de alimentación son las líneas de suministro de energía L1 y L2 para los circuitos de corriente alterna 24 V ó 110 V y tierra para los circuitos de CC.

La mayoría de los PLC permiten más de una salida por cada renglón (Rung).

El procesador (o "controlador") explora peldaños de la escalera de arriba a abajo y de izquierda a derecha.

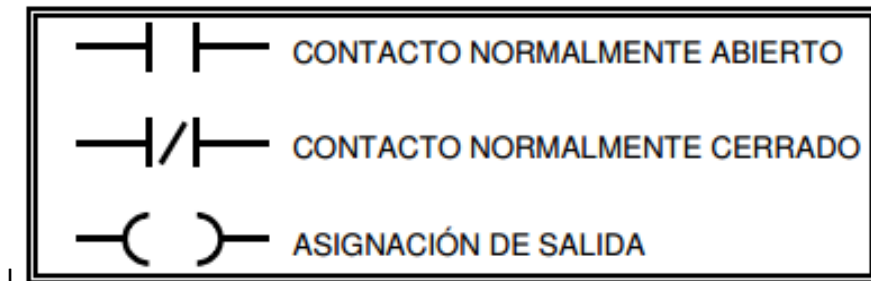


Fuente: <http://programacion-ladder.pdf>

**Figura 5.3 Descripción de la ubicación de los elementos de entrada y salida**



Su principal ventaja es que los símbolos básicos están normalizados según el estándar IEC y son empleados por todos los fabricantes.



Fuente: <http://www.ing.unlp.edu.ar>

Figura 5.4 Símbolos básicos de diagrama ladder

### c. PROGRAMA DEL REACTOR

Para realizar la programación, se debe definir el número de entradas y de salidas, que se desea programar. La siguiente tabla detalla las entradas y salidas que intervienen en la automatización de procesos del reactor.

Tabla 5.2 Entradas y salidas

SEÑALES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
ENTRADA (IN)	Las señales de entrada son digitales y son proporcionadas al pulsar los botones de control de cada etapa.	3
SALIDA (OUT)	Las señales de salida son digitales y estas dependen de la cantidad de elementos a ser controlados en este caso, la resistencia, las electroválvulas y el motor.	4

Fuente: Grupo de investigación

También es importante conocer las representaciones asignadas a cada uno de los elementos y accesorios que intervienen en la programación.

**Tabla 5.3 entradas y salidas que intervienen en la programación**

<b>ELEMENTO</b>	<b>REPRESENTACIÓN EN EL PROGRAMA</b>
Memorias Internas	M1 - M 24
Pulsador 1ra etapa	I1
Pulsador 2da etapa	I2
Pulsador 3ra etapa	I3
Resistencia Eléctrica	Q1
EV1	Q2
EV2	Q3
Motor	Q4
Temporizador encendido	T.E
Temporizador en espera	T.Esp.

**Fuente:** Grupo de investigación

La programación se realizó en diagramas ladder, está compuesto por 25 reglones (rungs) dividido en tres secciones. Ver anexo D

La línea negra representa la alimentación de 110 V, y todos los elementos están conectados a esta mediante las memorias internas e interruptores internos pertenecientes al Logo.

La primera sección contiene 9 rungs, se distribuyen las memorias internas del logo para guardar la información necesaria.

M11 guarda el tiempo de encendido de la resistencia al pulsar I1, M12 guarda la información de M11 Y Q2 al pulsar I2. M13 almacena toda la información generada hasta M12, incluyendo a Q3 luego de haber pulsado I3.

M1,M2, M3 reciben una señal de los pulsadores de contactos abiertos I1, I2, I3, respectivamente y envían una señal a los demás elementos con los datos almacenados en las anteriores memorias(M11, M12, M13). Por ejemplo si pulsa I1 debe realizar la orden generada en M4, pero para ello debe cumplirse los datos

almacenados en forma secuencial en M2, M3, M13, M12, y así progresivamente, el objetivo de guardar la información dentro de una memoria nueva cada vez que se avanza de rung, es evitar que se accione nuevamente el mismo proceso, dicho en forma más simple, si ya realizó la primera etapa que compete la producción de biodiesel, no puede volver a realizar la misma etapa porque ya queda grabado como finalizada, y tampoco se puede pasar a la segunda o tercera etapa, sino ha realizado la primera.

### 5.2.1. MEDICIÓN DEL TIEMPO.

Se realiza mediante el temporizador y las memorias internas que están integradas en el módulo de control. Se necesita contabilizar el tiempo en varias ocasiones.

La primera etapa tiene una duración total de 60 minutos, inicia desde el momento en que se presiona el primer pulsador y toda la programación toma como referencia esta señal de entrada. La resistencia se enciende y funciona durante 60 minutos, la electroválvula se acciona en el minuto 20 y se desenergiza en el minuto 40, El motor entra en funcionamiento en el minuto 30 y se apagará en el minuto 60 al mismo tiempo que la resistencia eléctrica.

**Tabla 5.4 Tiempo de funcionamiento de los actuadores en la etapa 1**

ACTUADOR	TIEMPO TANSCURRIDO [MINUTOS]						
	0	10	20	30	40	50	60
RESISTENCIA	■ ON						■ OFF
E.V. 1			■ ON		■ OFF		
MOTOR				■ ON			■ OFF

**Fuente:** Grupo de investigación

La segunda etapa tiene una duración de 26 minutos, inicia al presionar el segundo pulsador. La resistencia eléctrica se enciende, la electroválvula del agua se acciona al minuto 20, permanece accionada 5 minutos, en el minuto 25 se enciende el motor del agitador durante 20 segundos. La resistencia y el motor son desactivados al mismo tiempo.

**Tabla 5.5 Tiempo de funcionamiento de los actuadores en la etapa 2**

ACTUADOR ■ ON ■ OFF	TIEMPO TANSCURRIDO [MINUTOS]						
	0	5	10	15	20	25	30
RESISTENCIA	■					■	
E.V. 2					■	■	
MOTOR						■	■

**Fuente:** Grupo de investigación

La tercera etapa al igual que las anteriores inicia al presionar el pulsador correspondiente, se enciende la resistencia eléctrica y permanece encendida durante 40 min.

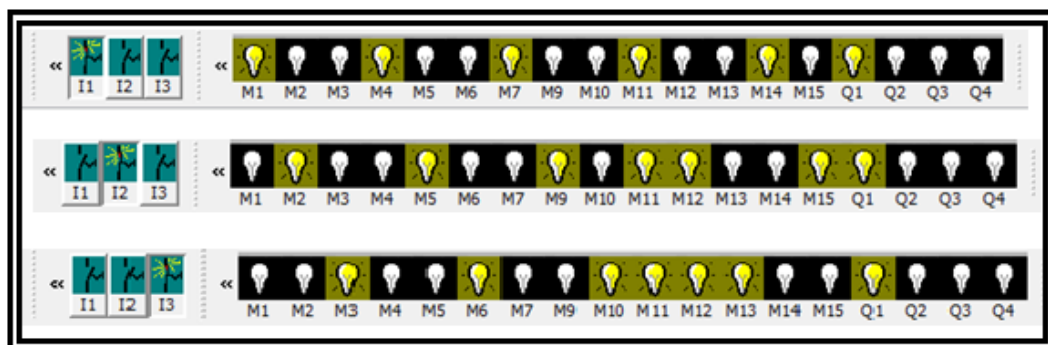
**Tabla 5.6 Tiempo de funcionamiento de los actuadores en la etapa 3**

ACTUADOR ■ ON ■ OFF	TIEMPO TANSCURRIDO [MINUTOS]						
	0	10	20	30	40	50	60
RESISTENCIA	■				■		

**Fuente:** Grupo de investigación

### 5.2.2. CONTROL DE TEMPERATURA

La resistencia de calefacción (Q1) recibe una alimentación constante de 110 V durante las tres etapas, se corta solo cuando termina los procesos, y durante este tiempo se realiza el control con otro dispositivo para evitar que la temperatura sobrepase los límites de funcionamiento.



**Fuente:** Grupo de investigación

**Figura 5.5 Simulación de la alimentación de la resistencia eléctrica**

El control de la temperatura se realiza mediante un termostato que está conectado en serie con la resistencia eléctrica, mantiene el fluido a la temperatura que se requiere en cada proceso, la temperatura es ajustable y se puede modificar mediante el giro de una perilla que se encuentra en la parte derecha inferior de la caja de mando.



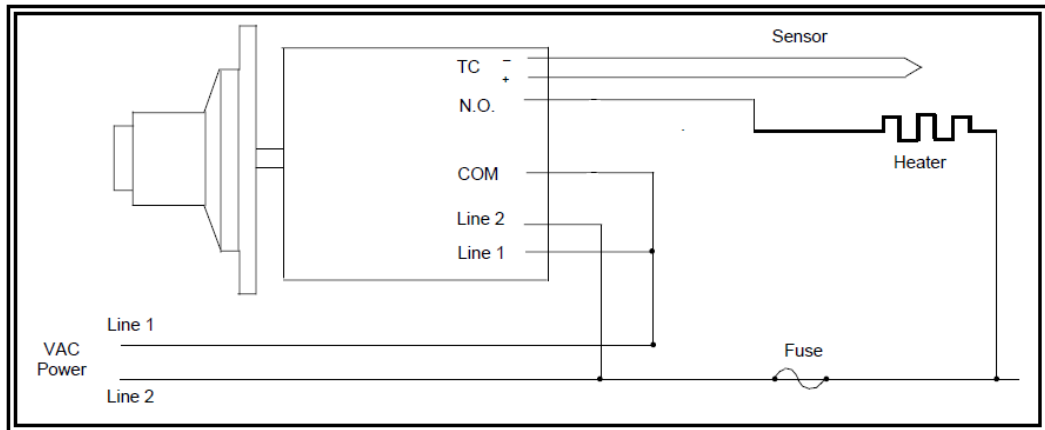
Fuente: Grupo de investigación  
Figura 5.6 Perilla de control de la temperatura

- **TERMOSTATO**

Es un relé de control mecánico normalmente abierto, los contactos de este relé funcionan como un interruptor, en el momento que la temperatura desciende los contactos se cierran, habrá continuidad y la resistencia eléctrica se acciona para calentar el fluido. La conexión del termostato con el elemento calefactor se puede observar a continuación.<sup>33</sup>

---

<sup>33</sup>(Engineering Guide -Power requirement formulas)pag 25



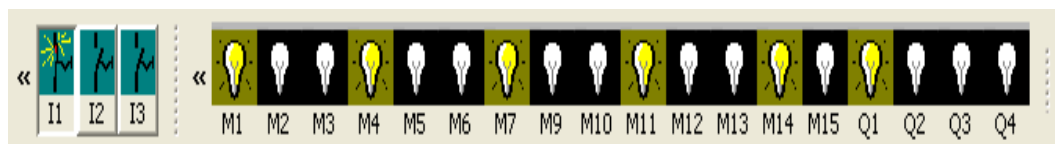
Fuente: Engineerweb.pdf  
**Figura 5.7 Diagrama de conexión del termostato**

### 5.2.3. APERTURA Y CIERRE DE ELECTROVÁLVULAS

Las válvulas solenoides se accionan cuando reciben la señal enviada desde el módulo de control y se cierran cuando dicha señal se corta, cada electroválvula es accionada en diferentes etapas, a continuación se explica el funcionamiento:

- EV 1 (Q2)

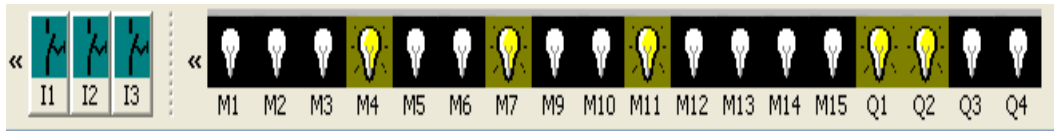
Al presionar el pulsador de la primera etapa (I1) se activa la resistencia de calentamiento (Q1) durante 20 minutos. Se puede observar que las memorias del LOGO (M1, M4, M11, M14) están procesando la información.



Fuente: Logo soft confort V7.0  
**Figura 5.8 Funcionamiento de las memorias M1, M4, M11, M14**

Luego al transcurrir el tiempo descrito se activa la electroválvula de metóxido (Q2) y permanece encendida por 20 minutos que es el tiempo necesario para que

ingrese todo el fluido al tanque principal del reactor, y el cual el módulo de control ocupa las memorias (M4, M7, M11)

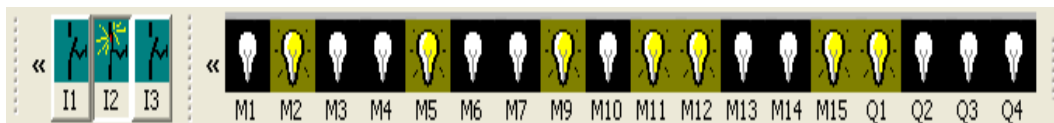


**Fuente:** Logo soft confort V7.0

**Figura 5.9 Funcionamiento de las memorias M4,M7,M11**

- EV2 (Q3)

Al presionar el pulsador que permite entrar en funcionamiento a la segunda etapa (I2), al igual que en la primera etapa se activa Q1 por 20 minutos, apreciamos para este caso que las memorias (M2, M5, M9, M10, M11, M12, M15) son las que están procesando la información.



**Fuente:** Logo soft confort V7.0

**Figura 5.10 Funcionamiento de las memorias M2, M5, M9..**

Al haber transcurrido este tiempo la electroválvula de agua (Q3) es activada por 5 minutos, tiempo suficiente para que el agua ingrese para realizar el lavado del biocombustible.



**Fuente:** Logo soft confort V7.0

**Figura 5.11 Activación de las electroválvulas**

## 5.2.4. ENCENDIDO Y APAGADO DEL MOTOR DEL AGITADOR.

El motor al igual que las electroválvulas es accionado por una señal recibida desde el Logo.

Como ya se mencionó la primera entra en funcionamiento al ser pulsado I1, y luego de 10 minutos de haber sido accionada la EV1 (Q2) el logo envía una señal y activa el motor de agitación (Q4).



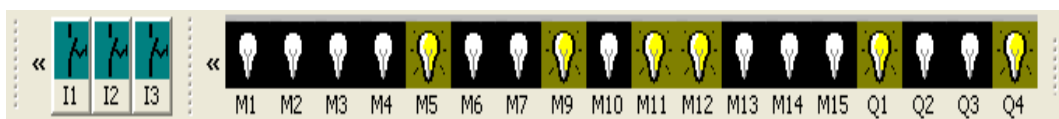
**Fuente:** Logo soft confort V7.0  
**Figura 5.12 Activación del motor**

El tiempo de agitación es de 30 minutos, 20 minutos más después de desactivarse Q2, esto se lo realiza con el fin de realizar un proceso adecuado de mezcla, La memoria interna del logo (M11) es la encargada de controlar en esta etapa el encendido y apagado del motor.



**Fuente:** Logo soft confort V7.0  
**Figura 5.13 Encendido y apagado del motor**

- En la segunda etapa el motor (Q4) es activado luego de haber sido desactivada la EV2 (Q3), la memoria (M12) controla este tiempo de activación que debido a las altas revoluciones del motor son de 20 segundos.



**Fuente:** Logo soft confort V7.0  
**Figura 5.14 Encendido del motor en la segunda etapa**



## **CAPÍTULO 6**

### **6. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

La calidad del biodiesel que se obtiene depende principalmente del buen funcionamiento del reactor. Se realizan comprobaciones para evaluar la eficiencia de los elementos que lo conforman con el fin de verificar que este correctamente programado para elaborar el biocombustible.

El biodiesel producido debe ser sometido a pruebas de calidad, análisis fisicoquímicos realizados en laboratorio bajo métodos establecidos, los resultados determinarán si el biodiesel es apto para ser usado en los motores de combustión interna.

#### **6.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO REACTOR**

Antes de obtener biodiesel se fijó la carga de aceite y demás fluidos, se hicieron pruebas de funcionamiento, mediante inspección visual, medición de tiempo y de temperatura para cada uno de los sistemas que componen el reactor como son:

- El desempeño del sistema de agitación.
- El desempeño del sistema de control de temperatura.
- El desempeño de las electroválvulas

##### **6.1.1. CARGA DEL REACTOR**

Para cargar el reactor tomar las precauciones necesarias en la manipulación de los reactivos, llenar los contenedores de metóxido, agua y el cilindro principal con aceite vegetal en las cantidades establecidas.

La carga del aceite se puede realizar de dos maneras:

- Vertiendo el aceite directamente en el tanque principal y luego colocar la tapa y demás accesorios, verificando que esté completamente sellado.

- Cuando el reactor ya ha sido armado, la carga puede realizarse por el orificio ubicado parte frontal de la tapa del tanque principal.

Para cargar los depósitos, verter el fluido correspondiente y en las cantidades establecidas en la Tabla 6.1, una vez llenos es necesario tapar los recipientes.

El metóxido debe ser preparado con anterioridad de preferencia en un recipiente de vidrio o plástico de alta densidad, la solución se realiza con 70 gr de KOH en 2lt. de metanol.

**Tabla 6.1 Cantidad de carga en los recipientes del reactor para producir biodiesel**

<b>CARGA DEL REACTOR</b>			
<b>DEPÓSITOS</b>	<b>FLUIDO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
CILINDRO PRINCIPAL	Aceite	10	lt.
CILINDRO SECUNDARIO (IZ.)	Metóxido	2	lt.
CILINDRO SECUNDARIO (DE)	Agua	0,8	lt.

**Fuente:** Grupo de investigación

**Nota:** La medición de las cantidades de fluido debe realizarse usando una probeta o un recipiente con graduación volumétrica.

Una vez terminada la carga del reactor se constató que la instalación de la tubería, las uniones soldadas y las uniones roscadas son correctas ya que no existe fuga de ninguno de los fluidos.

### 6.1.2. DESEMPEÑO DEL MOTOR- AGITADOR

El motor debe encontrarse en óptimas condiciones para producir el movimiento de rotación y agitar la mezcla, funciona en dos ocasiones, durante la agitación en el proceso de transesterificación, y en el proceso de lavado del biodiesel.

Las pruebas del mecanismo se hicieron sin carga, a media y plena carga.

**Tabla 6.2 Pruebas de funcionamiento del motor agitador**

<b>PRUEBA EN EL MOTOR AGITADOR</b>		
<b>CARGA</b>	<b>TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
0 lt.	15 min	El motor gira normalmente, estable
7 lt.	20 min	Presenta vibración
13 lt	40 min	Presenta vibración, a los 20 min de trabajo eleva la temperatura considerablemente hasta estabilizarse.

**Fuente:** Grupo de investigación

La vibración que produce es aceptable, la temperatura de funcionamiento está dentro de los parámetros de operación recomendados y establecidos por el fabricante, es inferior a la temperatura máxima permisible.

### 6.1.3. DESEMPEÑO DE LA RESISTENCIA

Para el diseño del sistema de calefacción se estimó un tiempo de calentamiento de 15 minutos para incrementar la temperatura del aceite en 40 °C, El tiempo real que se demora en incrementar esta temperatura es 20 minutos, esto se debe a factores externos como pueden ser:

- No todos los aceites vegetales reciclados van a tener las mismas densidades, varían de acuerdo al grado de saturación del aceite.

- La temperatura ambiente no siempre será la misma, se estimó una temperatura ambiente de 20 °C, pero en ocasiones es menor.

En la etapa de secado, el tiempo transcurrido hasta elevar la temperatura de 20 °C hasta 100 °C es de 30 minutos.

El material de la resistencia transfiere fácilmente el calor hacia el fluido, el tiempo que se demora en alcanzar las temperaturas requeridas es razonable, este es un indicador de que la resistencia eléctrica tiene un correcto y eficiente funcionamiento. La precisión de medición de temperatura del sensor del termostato varía entre 2-3 °C.

## 6.2. OBTENCIÓN DE BIODIESEL EN EL REACTOR

- Revisar que todos los componentes estén bien sujetos, la tapa del reactor principal centrada y que el empaque se encuentre correctamente ubicado para evitar derrames durante la agitación.
- Llenar el cilindro principal con aceite vegetal previamente tratado (10lt).



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 6.1** Carga del cilindro principal

- Llenar el contenedor de metóxido (previamente preparado), tapar el recipiente.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 6.2** Carga del contenedor de metóxido

- Llenar el contenedor de agua, tapan el recipiente.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 6.3** Carga del contenedor de agua

- Presionar el pulsador de inicio de la primera etapa (transesterificación).



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 6.4 Pulsador de inicio de la primera etapa**

- Terminada la primera etapa dejar reposar durante 8 horas mínimo para que la transesterificación se realice completamente.
- Decantar la glicerina utilizando la válvula manual que se encuentra en la parte inferior del tanque principal. cuando comience a decantar biodiesel cerrar la válvula.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 6.5 Decantación de glicerina**

- Presionar el pulsador de inicio de la segunda etapa (lavado).



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 6.6 Pulsador de inicio de la segunda etapa**

- Decantar el agua con impurezas, en ocasiones será necesario decantar todo el biodiesel, filtrar y volver a ingresar al cilindro principal, depende de que la separación se haya efectuado correctamente.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 6.7 Decantación de agua con impurezas**

- Presionar el pulsador de inicio de la tercera etapa (secado).



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 6.8 Pulsador de inicio de la tercera etapa**

- Dejar enfriar el biodiesel hasta la temperatura ambiente.
- Decantar el biocombustible en un recipiente limpio y bien seco, este recipiente debe tener una capacidad de 12 litros que es la cantidad aproximada que se obtiene por carga.

**Tabla 6.3 Procesos de cada etapa en el reactor**

OBTENCIÓN DE BIODIESEL EN EL REACTOR		
PRIMERA ETAPA		
PROCESO	TEMPERATURA °C	TIEMPO
Calentamiento de aceite	60	20 min
Decantación de Metóxido	Ambiente	20 min
Agitación de la mezcla	60	40 min
Reposo	Ambiente	8 h
Decantación de glicerina	Ambiente	10 min
SEGUNDA ETAPA		
Calentamiento del biodiesel	60	20 min
Íngreso de agua	Ambiente	5 min
Agitación	60	20 seg
Reposo	Ambiente	30 min
Decantación de Residuos	Ambiente	5 min
TERCERA ETAPA		
Secado	100	5 min

**Fuente:** Grupo de investigación



### **6.3. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL BIODIESEL OBTENIDO.**

Las pruebas se hicieron con el fin de comprobar que se obtuvo un biodiesel apto para ser utilizado en un motor de combustión interna. La producción del biodiesel se realizó tomando las precauciones necesarias para obtener un biocombustible que cumpla con la norma ASTM D6751

#### **6.3.1. NORMAS DE CALIDAD PARA EL BIODIESEL**

En Ecuador aun no es común la producción de biodiesel puro (B100), no se ha establecido una norma para el biocombustible.

Las propiedades del biodiesel 100% son considerablemente diferentes a las del combustible diesel convencional, es por eso que comúnmente se utilice biodiesel como mezcla con diesel de petróleo que van desde 2 (B2) a 20(B20) por ciento por volumen.

Las normas son diferentes en cada país donde se produce o se comercializa Biodiesel entre las más destacadas y nombradas en la página web biosc tenemos.

- **Norma NTC 5444.**

Biodiesel para Motores Diesel. Especificaciones.

Esta norma determina los parámetros que debe cumplir el Biodiesel (B100) en Colombia. Especifica las propiedades de calidad de FAAE (Fatty Acid Alkil Ester) para que pueda ser utilizado como componente en la mezcla con el combustible Diesel.

- **Norma EN 14214.**

Combustibles de automoción. Esteres de metilo de ácidos grasos (FAME –Fatty Acid Methyl Ester) para Motores Diesel. Requisitos y métodos de ensayo.

Esta norma fue establecida por la Unión Europea y especifica los requisitos y los métodos de ensayo de los ésteres de metilo de ácidos grasos comercializados y suministrados para su empleo como combustible de automoción en motores Diesel en una concentración de 100% o como diluyente de acuerdo con los requisitos la EN590. La concentración de 100% es aplicable al combustible que se utilice en los vehículos con motores diseñados o adaptados para funcionar con dicha concentración. Ver anexo E

- **Norma ASTM D6751**

Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for middle distillate fuels.

Esta norma fue establecida en Estados Unidos y especifica las propiedades de calidad del Biodiesel (B100) en los grados S15 (15 ppm azufre) y S500 (500 ppm azufre), para uso como componente de mezcla con combustibles Diesel definidos por la Norma ASTM D975. Esta norma está abierta para el Biodiesel compuesto por metil éster o por étiléster (FAAE – Fatty AcidAlkil Ester). (biosc<sup>34</sup>)

Una característica importante de esta especificación es que no es una especificación del combustible sino de una mezcla de combustible que puede utilizarse hasta en un volumen del 20 por ciento. Ver anexo E

---

<sup>34</sup>( <http://www.biosc.com.co>)

## 6.4.PRUEBAS PARA DETERMINAR DENSIDAD

Las pruebas para determinar la densidad del biodiesel se hicieron en el Laboratorio de Química de la ESPE-L.

Instrumentos y equipo:

Balanza electrónica

Picnómetros de 25 ml

Baño María

Pipeta

Biodiesel 100 ml aprox.

Procedimiento:

- Lavar y secar los picnómetros para evitar que el biocombustible pueda mezclarse con restos de otra sustancia y puedan alterarse los resultados.



Fuente: Grupo de investigación  
**Figura 6.9 Picnómetros lavados y secos**

- Pesar los picnómetros vacíos en una balanza electrónica y anotar los resultados. Es preferible elaborar una tabla con los pesos de cada uno de ellos y no confundirlos.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 6.10** Pesando picnómetro vacío

- Con la ayuda de la pipeta tomamos una medida de 25 ml del biocombustible para llenar completamente los picnómetros con biodiesel, luego tapanlos para evitar la contaminación con impurezas presentes en el ambiente.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 6.11** Picnómetros llenos de biodiesel

- Introducir los picnómetros en el baño María que debe estar calibrado para calentarse hasta una temperatura de 20 °C. La temperatura debe ser exacta para no tener errores en los resultados del cálculo de la densidad.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 6.12** Picnómetros llenos antes de ser sumergidos

- Cuando la temperatura se estabilice a 20 °C, sacar el picnómetro del baño María y pesar inmediatamente en la balanza electrónica, anotar el resultado.

Nota: se deben sacar los picnómetros uno a uno para que la temperatura no varíe al estar en contacto con el ambiente.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 6.13** Retirando el picnómetro del baño María

En la siguiente tabla se tabulan los datos obtenidos

**Tabla 6.4 Datos obtenidos para el cálculo de la densidad**

	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>
Masa picnómetro	15.7	16.69	16.198
Masa total	37.820	37.114	37.553

**Fuente:** Grupo de investigación

La densidad del biodiesel se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$\delta = \frac{\text{masa total} - \text{masa picnómetro [g]}}{25[\text{ml}]} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$\delta_1 = 0.884 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$\delta_2 = 0.816 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$\delta_3 = 0.854 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

## **6.5.MEDICIÓN DEL PH**

Con un papel PH se mide la concentración de iones hidrógenos contenidos en una sustancia que en este caso es biodiesel. Como resultado se obtiene una noción sobre el nivel de PH que contiene el biocombustible, se realizó esta prueba porque el biodiesel de calidad debe tener un PH neutro o lo más próximo a 7 aunque no está considerado dentro de las propiedades en las norma ASTM D6751.

**Tabla 6.5 Valores de la medición del PH**

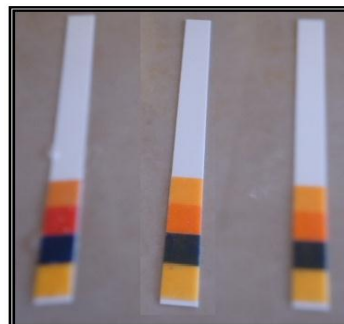
VALOR PH	CLASIFICACIÓN
1-6	Ácido
7	Neutro
8-14	Base

**Fuente:** Grupo de investigación



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 6.14 Papel PH**

El procedimiento es muy sencillo, solo se debe sumergir un papel PH en la sustancia por un tiempo aproximado de 1 minuto y luego comparar con la gama de colores para ver el resultado. La medición del PH también se realizó por triplicado.



**Fuente:** Grupo de investigación  
**Figura 6.15 Resultados de las mediciones**

Las mediciones de PH obtenidas fueron

PH 1= 8

PH 2= 7

PH 3= 8

El resto de pruebas no pudieron ser realizadas en el Laboratorio de Química de la ESPE- L debido a que no existía el equipo ni instrumentos necesarios, se envió una muestra del biodiesel obtenido en el reactor, al laboratorio de Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional.

En la siguiente tabla se detallan los resultados obtenidos.

**Tabla 6.6 Propiedades del biodiesel producido en el reactor**

<b>PROPIEDAD</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Punto de inflamación</b>	INEN 808	167	C
<b>Viscosidad a 37.8 °C</b>	INEN 1981	0,009	cst
<b>Sedimentos y agua</b>	INEN 1494	< 0,05	%
<b>Cenizas</b>	INEN 1492	8,22	%
<b>Corrosión a la lámina de cobre</b>	INEN 927	1B	---
<b>Densidad</b>	-----	0.884/0.816/0.854	g/ml
<b>PH</b>	-----	8/7/8	---

**Fuente:** Grupo de investigación/ Laboratorio de Petróleos EPN

Los datos tabulados en la tabla anterior están respaldados por un informe entregado por el Laboratorio de Petróleos de la EPN. Ver anexo F



## **CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS**

Finalizado el proyecto de investigación “Implementación de un reactor automatizado para producir biodiesel a nivel semi-industrial para motores de combustión interna a diesel” podemos concluir que es factible producir biodiesel utilizando aceite vegetal desechado como materia prima.

La calidad del biodiesel depende de los procesos de producción, las características de los reactivos utilizados, el grado de saturación del aceite vegetal, las variables físicas como temperatura y agitación, todos son factores influyentes y por lo tanto fueron considerados para el diseño del reactor y los sistemas que lo componen.

La automatización del reactor ha permitido tener un mayor control de las variables físicas y así optimizar los procesos de producción para obtener un biocombustible que cumple con la norma de calidad ASTM D 6751, el cumplimiento de esta norma certifica que el biodiesel producido es apto para utilizarlo en motores de combustión interna como un sustituto del diesel derivado de petróleo o como un aditivo en bajas concentraciones para mejorar las propiedades físicas y químicas del diesel fósil.

## CAPÍTULO 7

### 7. MARCO ADMINISTRATIVO

#### 7.1. RECURSOS

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron varios recursos que permitieron la investigación, construcción e implementación del prototipo. Estos recursos son:

##### 7.1.1. RECURSOS HUMANOS

La parte investigativa y experimental para el proyecto implementación de un reactor automatizado para producir biodiesel a nivel semi industrial fue realizada por Patajalo Luis y Soria Paúl con el asesoramiento del ingeniero Guido Torres, director de tesis y el ingeniero Germán Erazo designado como codirector.

**Tabla 7.1 Recursos humanos**

GRUPO DE INVESTIGACIÓN	Patajalo Luis
	Soria Paúl
	Torres Guido
	Erazo Germán

**Fuente:** Grupo de investigación

##### 7.1.2. RECURSOS TECNOLÓGICOS

Comprende todo el equipo y herramientas que se utilizaron en las diferentes etapas de desarrollo del proyecto en la tabla 7.2 se detallan estos recursos.

**Tabla 7.2 Recursos tecnológicos**

INVESTIGACIÓN	
HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA INVESTIGACIÓN	Internet
	Computadores
EXPERIMENTOS	
EQUIPO DE LABORATORIO PARA LA PARTE EXPERIMENTAL	Planchas eléctricas de calentamiento
	Balanza electrónica
	Termómetros digitales
	Instrumentos de laboratorio
DISEÑO	
SOFTWARE PARA DISEÑO DEL PROYECTO	Solid Works 2013
	Autocad 2013
CONSTRUCCIÓN	
EQUIPO UTILIZADO PARA CONSTRUIR EL PROTOTIPO	Amoladoras
	Cortadora de plasma
	Soldadora TIG
AUTOMATIZACIÓN	
INSTRUMENTACIÓN	Logo Siemens 230 RC
	Material eléctrico y electrónico
SOFTWARE PROGRAMACIÓN	Logo Soft V 7.0

**Fuente:** Grupo de investigación

### 7.1.3. RECURSOS MATERIALES

Los recursos materiales son todos los elementos físicos que se utilizaron en la implementación del proyecto y se detallan en la tabla 7.3.

**Tabla 7.3 Recursos materiales**

<b>Orden</b>	<b>Item</b>
<b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN</b>	
1	Plancha
2	Tubería
3	Acoples
4	Union
5	Reductor
6	Rodelas
7	Codos
8	Pernos
9	Tuercas
10	Tubo Cuadrado
11	Ángulo
12	Empaque
13	Pegamento
14	Spray
15	Motor-agitador
16	Valv. Metóxido
17	Valv. Agua
<b>MATERIAL ELÉCTRICO</b>	
18	Logo Siemens
19	Resistencia
20	Borneras d riel
21	Borneras
22	fusible
23	Portafusible
24	Pulsador
25	Pulsador stop
26	Luz piloto
27	Relé
28	Base de relé
29	Terminal
30	Termostato
31	Caja
32	Riel
33	Canaleta
34	Cable # 16
35	Cable # 14
36	Espiral

**Fuente:** Grupo de investigación

## **7.2. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL REACTOR**

El proyecto de tesis “Implementación de un reactor automatizado para producir biodiesel a nivel semi-Industrial” conlleva una serie de costos en compra de insumos y materiales, costos de construcción, costos de automatización, pruebas de laboratorio etc.

Las siguientes tablas detallan la inversión realizada en el proyecto.

**Tabla 7.4 Gastos efectuados en materiales**

<b>Orden</b>	<b>Ítem</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total Parcial</b>
<b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN</b>				
1	Plancha	1	160,00	160,00
2	Tubería	1	7,30	7,30
3	Acoples	3	1,97	5,91
4	Union	4	2,25	9,00
5	Reductor	1	2,83	2,83
6	Rodelas	20	0,25	5,00
7	Codos	3	3,00	9,00
8	Pernos	20	0,30	6,00
9	Tuercas	20	0,30	6,00
10	Tubo Cuadrado	10	6,70	67,00
11	Ángulo	3	5,60	16,80
12	Empaque	1	4,00	4,00
13	Pegamento	1	12,35	12,35
14	Spray	3	2,90	8,70
15	Motor-agitador	1	180,00	180,00
16	Valv. Metóxido	1	204,65	204,65
17	Valv. Agua	1	105,40	105,40
<b>MATERIAL ELÉCTRICO</b>				
18	Logo Siemens	1	180,00	180,00
19	Resistencia	1	80,00	80,00
20	Borneras d riel	9	1,50	13,50
21	Borneras	12	0,25	3,00
22	fusible	1	0,60	0,60
23	Portafusible	1	1,30	1,30
24	Pulsador	3	4,45	13,35
25	Pulsador stop	1	4,80	4,80
26	Luz piloto	3	3,75	11,25
27	Relé	4	4,59	18,36
28	Base de relé	4	3,25	13,00
29	Terminal	30	0,30	9,00
30	Termostato	1	17,00	17,00
31	Caja	1	30,00	30,00
32	Riel	1	3,40	3,40
33	Canaleta	1	3,40	3,40
34	Cable # 16	20	0,48	9,60
35	Cable # 14	5	0,63	3,15
36	Espiral	5	1,63	8,15
<b>TOTAL (\$)</b>				<b>1.232,80</b>

**Fuente:** Grupo de investigación

**Tabla 7.5 Gastos efectuados en la implementación e investigación**

DESCRIPCIÓN	COSTO
CONSTRUCCIÓN	200
AUTOMATIZACIÓN	300
EXPERIMENTOS	100
TOTAL (\$)	600

**Fuente:** Grupo de investigación

### 7.3. COSTO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL

Para saber el costo que implica producir biodiesel debemos primero tener en cuenta la materia prima que es el aceite vegetal, ya que si es nuevo tendrá un costo mayor que hacerlo con un aceite reciclado, debemos tener en cuenta los precios de los reactivos que conlleva la elaboración del biocombustible.

En las siguientes tablas observaremos los costos de producción de 10 litros de biocombustible.

**Tabla 7.6 Costo de obtención del biodiesel con aceite nuevo**

INSUMO	CANTIDAD	PRECIO (\$)
Aceite nuevo	10 lt.	20,00
Metanol	2 lt.	5,00
KOH	104 gr.	3,85
TOTAL		28,85

**Fuente:** Grupo de investigación

**Tabla 7.7 Costo de obtención del biodiesel con aceite usado**

INSUMO	CANTIDAD	PRECIO (\$)
Aceite nuevo	10 lt.	-
Metanol	2 lt.	5,00
KOH	104 gr.	3,85
TOTAL		8,85

**Fuente:** Grupo de investigación

Observamos que un litro de biodiesel a partir de aceite nuevo cuesta alrededor de 2.89 dólares americanos.

Mientras que al usar aceite vegetal reciclado el costo por litro de biodiesel es de 0.89 centavos de dólar.

Los costos se reducen utilizando aceite reciclado.

#### **7.4. FINANCIAMIENTO**

Todos los costos del proyecto fueron asumidos por los autores Sr. Luis Stalin Patajalo y Sr. Edwin Paúl Soria.

#### **7.5. CRONOGRAMA**

Los objetivos se fueron cumpliendo de acuerdo con el cronograma establecido en el plan de desarrollo del proyecto, la Tabla 7.8 contiene las actividades realizadas y el período de duración de cada una de ellas.

**Tabla 7. 8 Cronograma de actividades**

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																
MES																
ACTIVIDADES	Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Investigación	■	■	■	■												
Procesamiento de Información					■	■	■	■	■	■	■	■				
Experimento en laboratorio									■	■	■	■				
Adquisición de materiales											■	■	■	■		
Construcción													■	■	■	■
Automatización													■	■	■	■
Análisis de resultados															■	■
Redacción del documento final															■	■
Presentación documento final																■

**Fuente:** Grupo de investigación



## **CONCLUSIONES:**

Terminado el trabajo de investigación ponemos en consideración las siguientes conclusiones:

- Se implementó un reactor automatizado para la producción de biodiesel a nivel semi-industrial, que permite obtener biocombustible a partir de aceite vegetal desechado y usarlo en motores diesel.
- Se estableció el proceso de transesterificación por alcoholísis, utilizando metanol y KOH como catalizador para obtener biodiesel.
- Los experimentos en el laboratorio permitieron seleccionar los reactivos que se utilizaron en la obtención del biocombustible y determinar las proporciones adecuadas entre reactivos y aceite vegetal.
- Se diseñó y construyó un reactor de tipo Batch para obtener un volumen de 10 litros de biodiesel por carga.
- La automatización de los procesos de producción de biodiesel en el reactor se realizó mediante la programación de un LOGO SIEMENS 230 RC para controlar las variables físicas de una mejor manera.
- Se construyó una estructura de soporte para ensamblar la parte mecánica del reactor, con el sistema electrónico.
- Los análisis de propiedades físicas y químicas del biodiesel obtenido en el reactor certifican que el combustible cumple con las especificaciones de la norma ASTM D 6751 y puede ser utilizado en motores de combustión interna.

- El biodiesel producido en el reactor tiene las siguientes características:  
  
Punto de inflamación 167 ° C, Viscosidad a 37.8 °C 0.009 cst, presencia de agua y sedimentos < 0.05 %, Cenizas presentes 8.22%, Corrosión a la lámina de cobre 1B, densidad 0.884 y PH 8.
- Los costos de producción de biodiesel son superiores a los costos de producción de diesel derivado de petróleo incluso utilizando aceite vegetal desechado como materia prima.

## **RECOMENDACIONES:**

- El aceite vegetal desechado que se utiliza como materia prima no debe ser degradado en exceso porque se reduce el potencial energético.
- Realizar el tratamiento previo del aceite, para eliminar impurezas y el contenido de agua.
- Tener en cuenta que el exceso o déficit en las proporciones entre reactivos y materia prima pueden ocasionar situaciones no deseadas como saponificación o una reacción incompleta respectivamente.
- El metanol o etanol que se utiliza en la producción del biocombustible debe tener un grado de pureza superior al 95%.
- Tomar las precauciones necesarias, principalmente en el manejo de los reactivos que se utilizan.
- Realizar el lavado sin exceder la cantidad de agua ni el tiempo de agitación, el biocombustible puede perder propiedades e incluso quedar inservible.
- No confundir los depósitos de agua y metóxido en el momento de cargar el reactor.
- Conservar una distancia prudente cuando el reactor esté en funcionamiento ya que trabaja a altas temperaturas.
- En caso de cualquier anomalía en el funcionamiento de la maquina presionar el botón de emergencia que está ubicado a un costado de la caja de mando.
- No desconectar el equipo cuando esté en funcionamiento

- Generar nuevas investigaciones acerca de la utilización de otro tipo de materia prima para la producción de biodiesel como aceites vegetales vírgenes y grasas animales, esto incentivará la explotación de recursos renovables.
- Implementar una planta a nivel industrial para producir a mayor escala, reducir los costos de producción y poder comercializar el biocombustible a un precio competitivo.
- Considerar otros factores como la presurización del reactor, la variación de la intensidad de agitación, el tratamiento de la materia prima y del biodiesel, permite mejorar las propiedades del biocombustible que se obtiene, pero no se implementaron en el presente proyecto debido a limitaciones económicas.
- La venta de los reactivos utilizados en la producción de biodiesel son regulados por el CONSEP evitar problemas legales causados por la adquisición ilícita de los mismos.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

### BIBLIOGRAFÍA

Acosta, Fernando, P. C. (2008). Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala (Primera ed.). Lima: Soluciones Prácticas-ITDG.

Fernández Salgado, Antonio (2010). Guía completa de la biomasa y los biocombustibles. Madrid: Antonio Madrid Vicente

Aliseda, Montero.R (2002). Estudio de la transesterificación de aceite vegetal con metanol. España.

Edward L. Paul, V. A.-O. (2004). HANDBOOK OF INDUSTRIAL MIXING. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Fernández, R. R. (s.f.). Biodiesel Ventajas y corrientes sociales

Freedman, B., Pryde, E. H., & Mounts. (1984). Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines. J. Am. Oil Chem. Soc.

García Camús, Juan M.(2008) Biocarburantes Líquidos: biodiésel y bioetanol. Madrid.

Perry, R., & Green, D. (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook (7th edition ed.). McGraw-Hill.

Torres del Carmen, F. d. ( 2008). Diseño, Construcción y Pruebas de un Prototipo para la Producción de Biodiesel a Partir de Aceites Provenientes de Recursos Renovables. TESIS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS . Cuernavaca, Morelio, Mexico.

EL TELEGRAFO. (martes de Septiembre de 2012). ECONOMIA. El diesel tendrá un 5% de biodiesel en Ecuador .

### NETGRAFÍA

<http://quimorg2.blogspot.com/2008/11/transesterificacin.html>. (17 de noviembre de 2008). COMISION DE BIODIESEL. Recuperado el 11 de Diciembre de 2012

Forever, J. t. (s.f.). Biodiesel y desarrollo sostenible. Recuperado el Noviembre de 2012, de <http://www.journeytoforever.org/es/biocombustibles/como-hacer-biodiesel-2.cgi#valoracion-mejorada>

(s.f.). Recuperado el Diciembre de 2012, de <http://www.bioter.5u.com/BIODIESEL/USOS/usos.html>.

Rama Corporation. (s.f.). Recuperado el Lunes de Marzo de 2013, de <http://www.ramacorporation.com/engineer/Engineerweb.pdf>

<http://193.146.36.56/lortiz/trabajos0708/JoseMariaBaso/Amorin-Losbiocombustibles.pdf>. (s.f.). Recuperado el 11 de Abril de 2013

<http://biodieselhoy.blogspot.com/2007/03/ventajas-e-inconvenientes-del-Biodiesel.html>. (s.f.).

<http://environmentalsolutions2010.weebly.com/biodiesel-de-jatropha.html>. (s.f.).

<http://www.biodisol.com/biodiesel-que-es-el-biodiesel-definicion-de-biodiesel-materias-primas>. (s.f.). Biodisol.

<http://www.bp.com/genericarticle.do?categoryId=9018139&contentId>. (s.f.). Bp.

TecnoBlog San Martin. (s.f.). Obtenido de <http://tecnoblogsanmartin.wordpress.com/tag/biomasa/>

wearcheckiberica. (s.f.). <http://www.wearcheckiberica.es/documentacion/doctecnica/combustibles.pdf>.

[www.biodisol.com](http://www.biodisol.com). (s.f.). Obtenido de <http://www.biodisol.com/que-son-los-biocombustibles-historia-produccion-noticias-y-articulos-biodiesel-energias-renovables/>

# **ANEXO A**

## **TABLAS DE PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS REACTIVOS**







# **ANEXO B**

## **PLANOS**























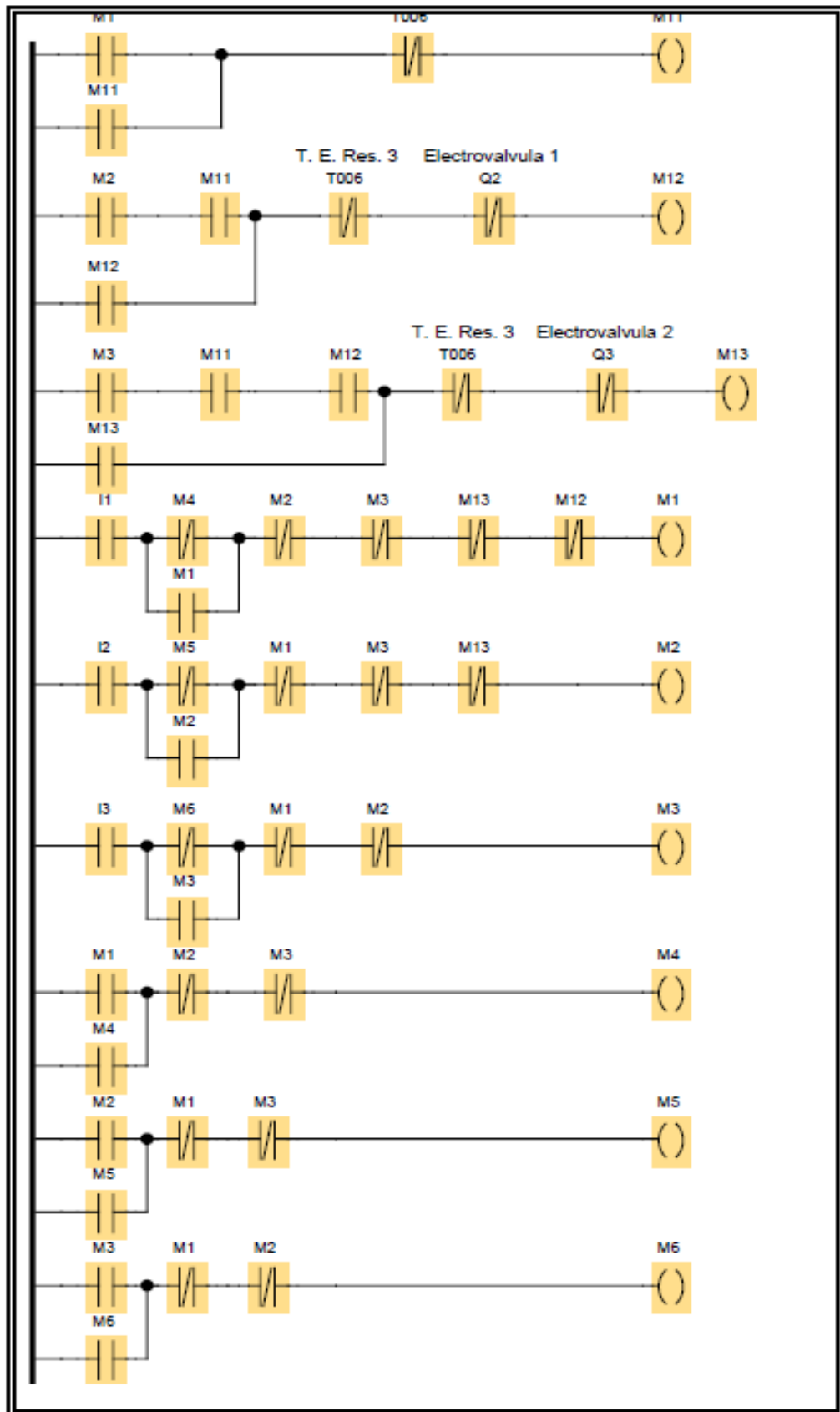
# **ANEXO C**

## **DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA**

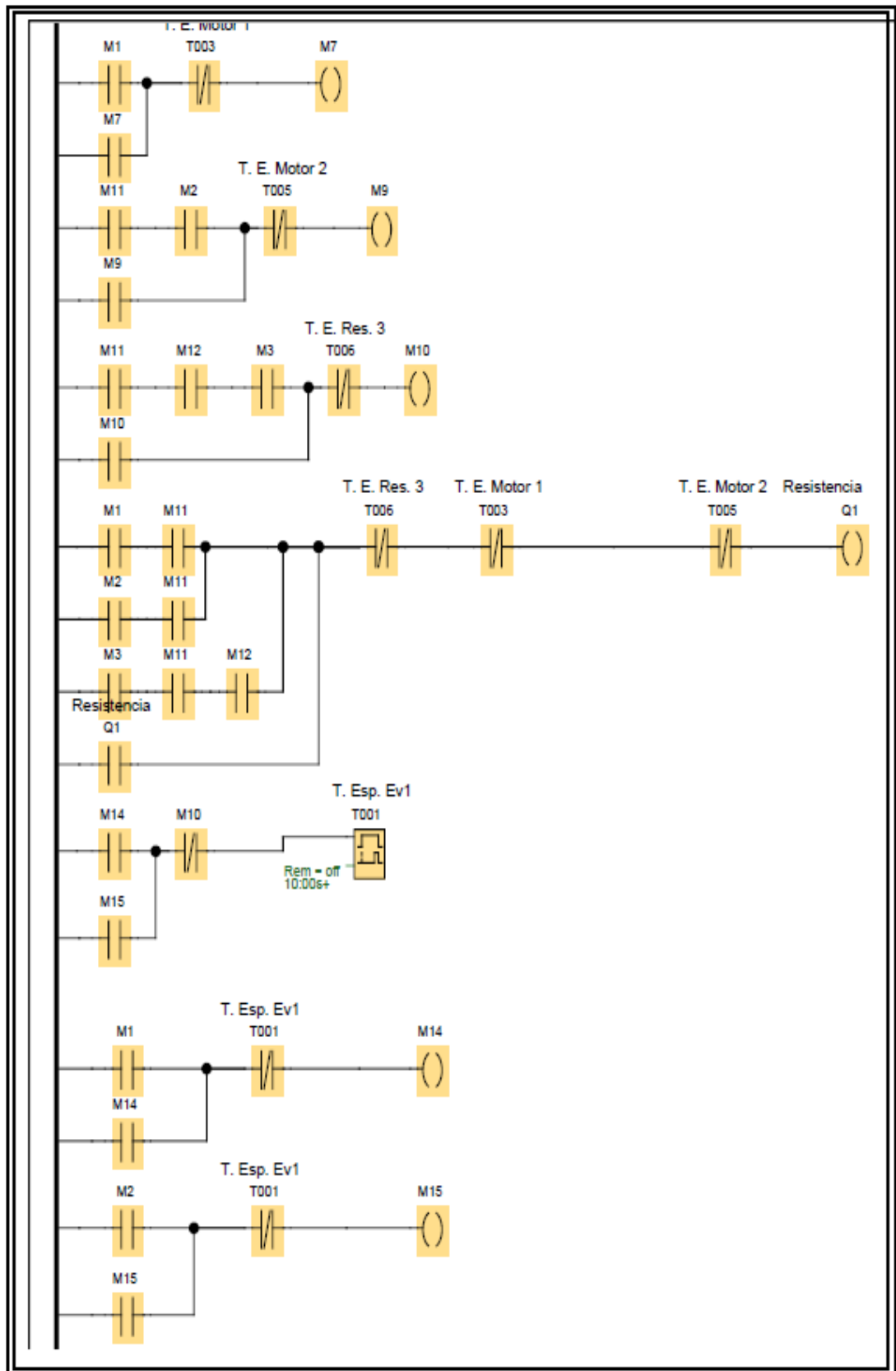


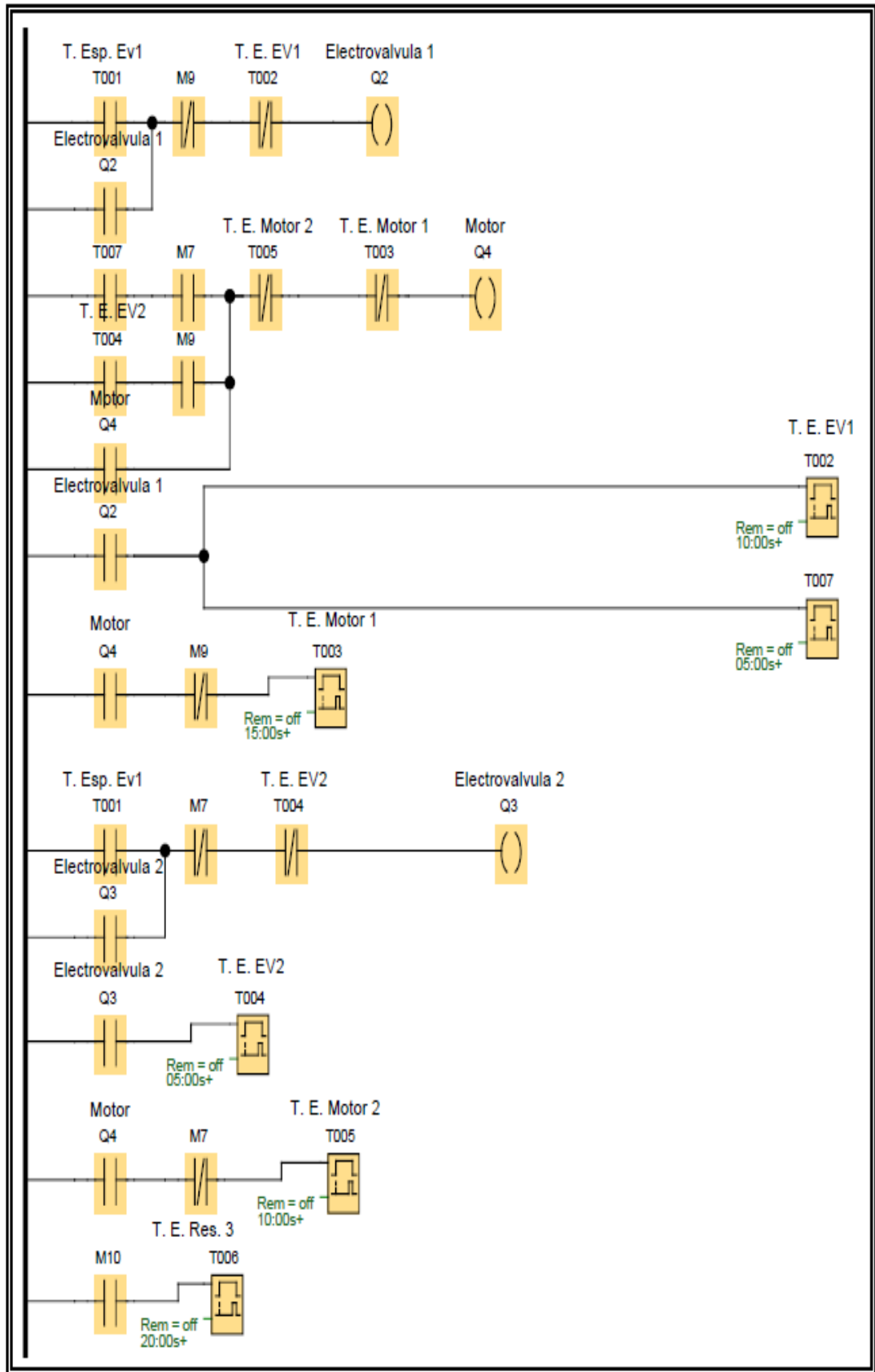
# **ANEXO D**

## **PROGRAMACIÓN LADDER**










# **ANEXO E**

## **NORMAS PARA EL BIODIESEL**

ESPECIFICACIONES DE LA NORMA EN 14214

European Norm EN 14214 / Biodiesel 				
Properties	Units	Min.	Max.	Test methods
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675, EN ISO 12185
Cetane number	-	51,00	-	EN ISO 5165
Kinematic viscosity at 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3,50	5,00	EN ISO 3104
Flash point	°C	101	-	ISO / CD 3679
Carbon residue (on 10% distillation residue)	% wt.	-	0,30	EN ISO 10370
Oxidation stability at 110°C	hrs	6	-	pr EN 14112
Copper strip corrosion (3h at 50°C)	rating	Class 1		EN ISO 2160
Esters	% wt.	96,50	-	EN 14103
Water	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Sulphated ash	% wt.	-	0,02	ISO 3987
Sulphur	mg/kg	-	10	-
Acid value	mg KOH/g	-	0,50	pr EN 14104
Iodine value	-	-	120	pr EN 14111
Methyl linolenate	% wt.	-	12,00	pr EN 14103
Polyunsaturated methyl esters	% wt.	-	1,00	-
Methanol	% wt.	-	0,20	pr EN 14110
Glycerides				
Monoglycerides	% wt.	-	0,80	pr EN 14105
Diglycerides	% wt.	-	0,20	
Triglycerides	% wt.	-	0,20	
Free glycerol	% wt.	-	0,02	
Total glycerol	% wt.	-	0,25	
Alkaline metals (Na, K)	mg/kg	-	5	pr EN 14108, pr EN 14109
Phosphorous	mg/kg	-	10	pr EN 14107
Total contamination	mg/kg	-	24	EN 12662

Fuente: Norma EN 14214 (biofuels platform)

ESPECIFICACIONES DE LA NORMA D 6751

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BIODIESEL

PROPIEDAD	METODO ASTM	VALOR	UNIDAD
Punto de ignición	D93	100,0 mín	C
Sedimento & Agua	D1796	0,050 máx.	Vol. %
Ceniza Sulfatada.	D874	0,020 máx	wt %
Viscosidad ( 40_C )	D445	1,9 - 6,5	cSt
Sulfuro	D2622	0,05 máx	wt %
Número Cetano	D613	40 mín	--
Número Ácido. mg	D664	0,80 máx	KOH/gm
Glicerina total G.C	--	# 0,240 máx.	wt %

Fuente: Norma ASTM D6751-03

# **ANEXO F**

## **INFORME DE PROPIEDADES QUÍMICAS DEL BIODIESEL OBTENIDO**



# **ANEXO G**

## **MANUAL DE USUARIO**



# REACTOR AUTOMATIZADO PARA PRODUCIR BIODIESEL

---

## MANUAL DE USUARIO

## **CONTENIDO**

### **SECCIÓN 1**

#### **INTRODUCCIÓN**

#### **ESQUEMA Y DESCRIPCIÓN GENERAL**

Elementos externos

Elementos internos

Panel de control

#### **INFORMACIÓN DE SEGURIDAD Y CUIDADO DEL EQUIPO**

### **SECCIÓN 2**

#### **MONTAJE DEL EQUIPO**

#### **FUNCIONAMIENTO DEL REACTOR**

### **SECCIÓN 3**

#### **PRECAUCIONES GENERALES**

#### **SEGURIDAD DURANTE EL MANTENIMIENTO**

#### **MANTENIMIENTO**

Limpieza del reactor

#### **PRECAUCIONES**

## INTRODUCCIÓN

El reactor ha sido especialmente diseñado para producir biodiesel a nivel semi industrial de manera automática, todos los componentes están programados en el módulo de control.

El objetivo de este manual es que el usuario se familiarice con el funcionamiento, operación y cuidado del equipo.

Como usuario del reactor para producir biodiesel es necesario reconocer los componentes que lo conforman.

## ESQUEMA Y DESCRIPCIÓN GENERAL

- Elementos Externos

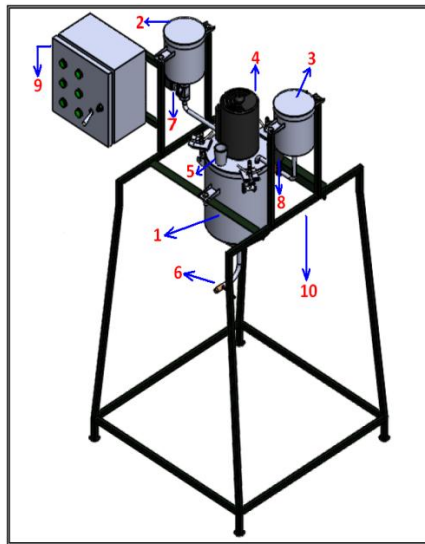


Figura 1

- |                           |                                  |
|---------------------------|----------------------------------|
| 1. Tanque Principal       | 7. Electroválvula metóxido (EV1) |
| 2. Tanque de Metóxido     | 8. Electroválvula Agua (EV2)     |
| 3. Tanque de Agua         | 9. Panel de control              |
| 4. Motor                  | 10. Estructura                   |
| 5. Orificio de llenado    |                                  |
| 6. Válvula de decantación |                                  |

- Elementos Internos

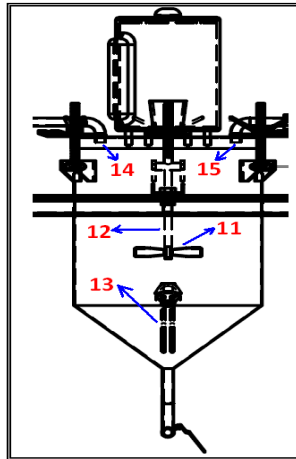


Figura 2

- |                           |                         |
|---------------------------|-------------------------|
| 11. Aspa de agitación     | 14. Entrada de Metóxido |
| 12. Eje                   | 15. Entrada de Agua     |
| 13. Resistencia Eléctrica |                         |

- Panel De Control

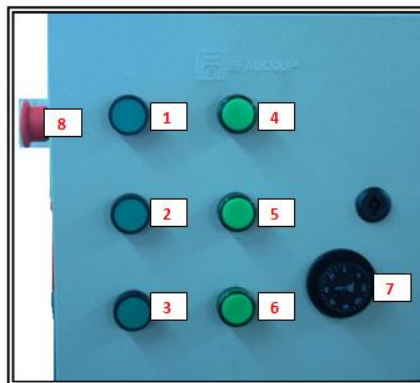


Figura 3

- |   |   |
|---|---|
| 1. Pulsador primera etapa                             | 6. Luz piloto electroválvula dosificadora de agua |
| 2. Pulsador segunda etapa                             | 7. Perilla de control de temperatura              |
| 3. Pulsador tercera etapa                             | 8. Pulsador de paro general (emergencia)          |
| 4. Luz piloto resistencia                             |   |
| 5. Luz piloto electroválvula dosificadora de metóxido |   |

## SECCIÓN 2

### MONTAJE DEL EQUIPO

El reactor puede ser armado y desarmado con facilidad a continuación se describe el procedimiento para el montaje de los componentes en la estructura.

1. Colocar y empernar el depósito principal.
2. Colocar la tapa sobre el depósito principal y asegurarla.  
Nota: antes de asegurar la tapa verificar que el empaque este bien ubicado, la parte frontal de la tapa es la que tiene el cono que aloja el visor.
3. Colocar el depósito de metóxido y empernarlo a la estructura.
4. Colocar el depósito de agua y empernarlo a la estructura.
5. Conectar los componentes al cableado del módulo de control  
Los componentes son conectados al cableado mediante borneras, antes de desmontar señalar los cables para no tener errores en las conexiones.

### FUNCIONAMIENTO DEL REACTOR

- Carga del reactor

Llenar los contenedores de metóxido, agua y el cilindro principal con aceite vegetal en las cantidades establecidas en la Tabla 1.

**Tabla 1**

<b>CARGA DEL REACTOR</b>			
<b>DEPÓSITOS</b>	<b>FLUIDO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
CILINDRO PRINCIPAL	Aceite	10	lt.
CILINDRO SECUNDARIO (IZ.)	Metóxido	2	lt.
CILINDRO SECUNDARIO (DE)	Agua	0,8	lt.

**Nota:** La medición de las cantidades de fluido debe realizarse usando una probeta o un recipiente con graduación volumétrica.

1. Llenar el cilindro principal con aceite vegetal.
2. Llenar el contenedor de metóxido, tapar el recipiente.

3. Llenar el contenedor de agua, tapar el recipiente.
4. Presionar el pulsador de inicio de la primera etapa (transesterificación).
5. Dejar reposar durante 8 horas para que la transesterificación se realice completamente.
6. Decantar la glicerina utilizando la válvula manual que se encuentra en la parte inferior del tanque principal. cuando comience a decantar biodiesel cerrar la válvula.
7. Presionar el pulsador de inicio de la segunda etapa (lavado).
8. Decantar el agua con impurezas, en ocasiones será necesario decantar todo el biodiesel, filtrar y volver a ingresar al cilindro principal, depende de que la separación se haya efectuado correctamente.
9. Presionar el pulsador de inicio de la tercera etapa (secado).
10. Dejar enfriar el biodiesel hasta la temperatura ambiente.
11. Decantar el biocombustible en un recipiente limpio y bien seco, este recipiente debe tener una capacidad de 12 litros que es la cantidad aproximada que se obtiene por carga.

## **SECCIÓN 3**

### **INDICACIONES GENERALES**

Antes de efectuar cualquier poner en funcionamiento el reactor, repase las siguientes indicaciones de seguridad.

Lea y siga atentamente todas las instrucciones del manual.

- Asegúrese de que todos los mandos de operación y los indicadores funcionan correctamente.

- No permita que nadie se acerque demasiado a la máquina cuando está en funcionamiento.

- No fume nunca cerca del reactor ya que se trabaja con productos altamente inflamables.

- Siempre debe de saber dónde está el extintor de incendios más cercano.

- Verifique el sistema de parada de seguridad antes de utilizar el equipo.

### **SEGURIDAD DURANTE EL MANTENIMIENTO**

#### **ADVERTENCIA:**

El mantenimiento incorrecto puede causar lesiones. Si no comprende algún procedimiento, servicio o ajuste, consulte el manual de servicio de esta máquina o pida información.

No efectúe modificaciones en esta máquina sin autorización.

Antes de dar mantenimiento, póngase siempre la ropa protectora adecuada.

Siempre consulte la sección correspondiente del manual de servicio antes de realizar tareas de mantenimiento.

## MANTENIMIENTO

Esta sección complementa y expande la información acerca del mantenimiento para tener un funcionamiento correcto y eficiente del reactor

Deberán realizarse inspecciones a intervalos regulares para determinar que todos los componentes del sistema están en un estado de funcionamiento seguro.

Todos los pernos, tuercas, tornillos y otros medios de sujeción tienen que estar en su lugar, correctamente apretados y asegurados.

- Limpieza del reactor

**Importante:** Cualquier material extraño puede ocasionar problemas a los sistemas o contaminación en el biocombustible obtenido; mantenga siempre la limpieza antes de poner en marcha el equipo.

## PRECAUCIONES

**PRECAUCIÓN:** La temperatura superficial del tanque principal puede llegar a 120° C conserve la distancia adecuada cuando la maquina está en funcionamiento.

**PRECAUCIÓN:** La tensión nominal es de 110 Vac, no conectar a voltajes

Efectúe el mantenimiento en una zona segura, sobre una superficie nivelada.

Aisle todas las conexiones eléctricas y los cables desconectados.

Use las herramientas adecuadas

Tenga cuidado especialmente cuando efectúen renovaciones y reparaciones.

Mantenga todas las superficies limpias y en buenas condiciones.

Lavar los tanques y tapas con jabón desengrasante. Enjuague con abundante líquido todas las tuberías.

Instale toda la tubería y válvulas verificando que no existan fugas

superiores ya que podría averiar el equipo.

**PRECAUCIÓN:** No exponga el equipo a la intemperie el agua ocasiona daños en el sistema electrónico y eléctrico

**PRECAUCIÓN:** La temperatura ambiente de trabajo debe ser menor a 45 ° Celsius.

**PRECAUCIÓN:** Verifique que exista una correcta descarga a tierra en la instalación eléctrica.

**PRECAUCIÓN:** Si detecta un funcionamiento incorrecto, vibración o ruido excesivo presionar el pulsador de emergencia que se encuentra a un costado del panel de control.



# **ANEXO H**

**ARTÍCULO DEL PROYECTO**

# IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR AUTOMATIZADO PARA PRODUCIR BIODIESEL A NIVEL SEMI INDUSTRIAL

*Luis Patajalo, Paúl Soria, Guido Torres, Germán Erazo*

*Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Escuela Politécnica del  
Ejército Extensión Latacunga, Márquez de Maenza S/N Latacunga, Ecuador.*

*email : luis\_stalin\_patajalo\_v@hotmail.com*

*, paulsori@hotmail.com, grtorres@espe.edu.ec , wgerazo@espe.edu.ec.*

## RESUMEN

El proyecto consiste en el diseño y construcción de un prototipo de reactor de tipo Batch, en el cual se realiza una serie de procesos que permite obtener biodiesel a partir de aceites vegetales mediante transesterificación (alcoholólisis) utilizando hidróxido de potasio como catalizador. Este reactor tiene una capacidad de producir 12 litros de biocombustible por lote aproximadamente.

## ABSTRACT

The project consists of the design and construction of a prototype batch type reactor, which takes place a number of processes for obtaining biodiesel from vegetable oils by transesterification (alcoholysis) using potassium hydroxide as a catalyst. This reactor has a capacity of 12 liters of biofuel production batch approximately.

Palabras clave: Reactor, biodiesel, aceite vegetal desechado, transesterificación.

## I. INTRODUCCIÓN

La producción y utilización de biocombustibles genera interés a nivel mundial, debido a la gran contribución en la diversificación de la oferta energética con la finalidad de reducir la dependencia hacia los combustibles derivados del petróleo y el impacto ambiental que causan los gases producidos por los mismos.

Este proyecto pretende desarrollar una estrategia para atenuar los impactos del consumo de combustibles derivados del petróleo en el medio ambiente, mediante la

reutilización de aceites vegetales o grasas animales como materia prima para producir biodiesel que cumpla con normas de calidad como fuente de energía sustituta, para utilizarlo de forma segura en los motores combustión interna a diesel.

La investigación abarca tres campos de ingeniería, las cuales son:

Química.- Estudia las reacciones que se lleva a cabo en el proceso de transesterificación, así como las proporciones adecuadas de los reactivos que son necesarios para la formación de esteres metílicos (biodiesel).

Mecánica: Contribuye al diseño y construcción de los diferentes elementos que constituye el reactor, y también a la selección de materiales y dispositivos utilizados.

Electrónica: La automatización requiere de conocimientos en este campo para programar y temporizar los diferentes procesos que requiere la producción del biodiesel.

## II. PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

### A. FILTRADO DEL ACEITE USADO

El aceite usado al ser recolectado de diferentes lugares, contiene restos de alimentos, por este motivo es necesario realizar un filtrado y así obtener un aceite menos contaminado.



Figura 1. Aceite vegetal Reciclado

### B. CALENTAMIENTO DEL ACEITE

La transesterificación excede ya que la presencia del oxígeno y una temperatura mayor combustionaría el aceite.



Figura 2. Plancha de calentamiento

### C. MEZCLA Y AGITACIÓN

Cuando el aceite ha alcanzado la temperatura adecuada, el metóxido (metanol más hidróxido de potasio) debe ser agregado para que se produzca la reacción química de alcoholólisis.

La agitación de la mezcla ayuda a que los enlaces de carbonos puedan romperse más fácilmente y agilitar la formación de ésteres metílicos, el tiempo recomendable de agitación es de 40 a 60 minutos y debe realizarse de manera que la mezcla permanezca homogénea durante este intervalo.

### D. REPOSO Y DECANTACIÓN

Aunque los procesos de calentamiento y agitación aceleran la reacción química, es proceso es muy lento y por lo tanto es necesario esperar un tiempo mínimo de 8 horas, en el cual se va a dar una

separación de los ésteres metílicos formados y el glicerol, Los ésteres (biodiesel) van a flotar sobre la glicerina debido a que presenta una densidad menor.

Una vez producida la separación se procede a decantar la glicerina conservando el biodiesel para continuar con el siguiente proceso.



Figura 3. Embudo de decantación

### E. LAVADO

Es importante dentro de la producción del biodiesel, el lavado permite que el combustible obtenido sea de mayor calidad ya que ayuda a retirar las impurezas, restos de glicerol y KOH.

El lavado se realiza con agua, el volumen de agua a utilizar debe ser un 10% del volumen de combustible. La mezcla debe estar a una temperatura mínima de 45 C, una vez alcanzada la temperatura se agita durante 5 min.



Figura 4. Biodiesel lavado y filtrado

Se necesita un cuidado especial en este proceso, si se excede la cantidad de agua o el tiempo de agitación puede ocasionar una

saponificación y el combustible pierde características o hasta puede quedar inservible.

#### F. SECADO

Es la etapa final, después de realizar el lavado el agua atrapa las impurezas, que de igual manera se separan por cuestión de densidad del biodiesel y así pueden ser fácilmente retiradas por decantación, pero algunas partículas de agua se quedan en el biocombustible, el secado consiste en eliminar dichas partículas, esto se consigue elevando la temperatura a 100 C que es la temperatura de ebullición del agua.



Figura 5. Biodiesel después del secado

El agua se evapora y se obtiene un biodiesel cristalino

### III. EL REACTOR, CONTENEDORES, ESTRUCTURA Y OTROS COMPONENTES

**Reactor y contenedores:** El reactor fue diseñado para una capacidad de 13 litros, y los contenedores de aceite y metóxido para una capacidad de 2.5 litros. La construcción se realizó en acero inoxidable AISI 304 de 1.5 mm de espesor se escogió acero inoxidable debido a que algunos de los reactivos son corrosivos, los cortes fueron realizados con plasma, soldadura TIG.



Figura 6. Depósitos de aceite y metóxido

**Estructura:** la estructura está construida en acero al carbono estructural ASTM A36 de 30 x 30 x 2 mm soldadura ASW E-6011



Figura 7. Estructura de soporte

**Tubería:** la tubería utilizada es de ½ pulgada de diámetro y conecta los contenedores con el reactor.



Figura 8. Tubería y accesorios

**Resistencia eléctrica:** La resistencia fue construida bajo pedido según nuestro diseño y dimensionamiento, tiene 1300 watt de potencia, voltaje de operación 110V, tiene una longitud de 15 cm, el material es una aleación de cromo y tungsteno para evitar corrosión.

**Agitador:** El agitador es de tipo aspas planas, seleccionamos este tipo de aspas debido a que existe mayor superficie para el arrastre y mantiene una mezcla más homogénea durante la agitación, construido en acero inoxidable longitud del eje 250 mm. Longitud de las aspas 78 mm.



Figura 9. Aspas de agitación

**Motor :** Teniendo en cuenta el volumen, la densidad, la viscosidad cinemática del fluido, el tipo de agitador y las revoluciones requeridas se calculó que el motor debe tener una potencia de 0.27 HP. En diseño se selecciona el superior más cercano disponible en el mercado, por este motivo se adquirió un motor de marca WEQ de 1/3 HP voltaje de operación 110 V.



Figura 10. Motor eléctrico

**Electroválvulas:** encargadas de permitir o cerrar el paso de los fluidos desde los contenedores hacia el reactor, El diámetro es de ½ pulgada, normalmente cerradas de tipo NPT, voltaje de operación 110V . una de bronce y una en acero inoxidable, se

seleccionó acero inoxidable porque el fluido que controla es metóxido y tanto el KOH como el metanol son corrosivos.



Figura 11. Electroválvulas

**Tablero de control:** en el interior del tablero de control se encuentra un logo 230 RC marca Siemens en el cual se programaron los diferentes procesos para la producción del biodiesel, en la parte externa se ubican diferentes interruptores, luces piloto y otros elementos.

Después de haber detallado cada uno de los componentes les presentamos el diseño del prototipo realizado en el programa Solid Works 2012, y físicamente construido.

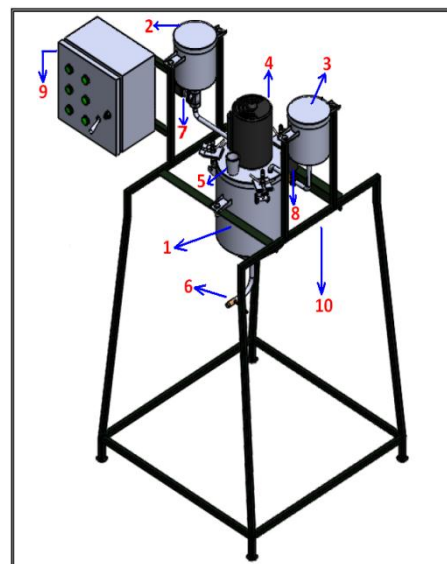


Figura 12. Diseño del Reactor

1. Tanque Principal
2. Tanque de Metóxido
3. Tanque de Agua
4. Motor

5. Orificio de llenado
6. Válvula de decantación
7. Electroválvula del metóxido (EV1)
8. Electroválvula del Agua (EV2)
9. Panel de control
10. Estructura



Figura 13. Reactor construido

#### IV. CONCLUSIONES

- Con la finalización del este proyecto se comprueba la factibilidad de producir biodiesel que cumpla con normas de calidad
- Hay muchos factores que van a influir en la calidad del biocombustible por ejemplo la calidad del aceite, la relación volumétrica de los reactivos y el catalizador, la pureza de los reactivos entre otras, sin embargo las pruebas de laboratorio fueron fundamentales para determinar las proporciones y condiciones adecuadas como temperatura y número de revoluciones en la agitación para que no se produzcan eventos indeseados dentro del proceso de producción del biodiesel.
- El lavado es importante e influye directamente en la calidad del biodiesel que se obtiene, ayuda a reducir el nivel de acidez, un PH neutro o lo más cercano a 7 es lo ideal para la calidad del biodiesel. También

elimina residuos de KOH y otras impurezas que pueden estar presentes.

- Automatizar los procesos será de gran utilidad ya que va a permitir tener un control de los tiempos en que cada uno deberá llevarse a cabo sin la necesidad de la intervención humana y puede ser implementado para producir a mayor escala.
- La producción de biodiesel puede optimizarse realizando modificaciones como por ejemplo presurización del sistema, tratamiento previo del aceite, sistemas de depuración y filtrado del producto final, etc.
- La calidad del producto será mejor pero la inversión es muy alta.

#### V. BIBLIOGRAFÍA

##### Libros:

Fernández Salgado, Antonio (2010). Guía completa de la biomasa y los biocombustibles. Madrid: Antonio Madrid Vicente

Azocar Ulloa L., Ciudad Bazaul G. y Navia Diez R. (2011). Biodiesel de Aceites Residuales de Fritura. Madrid: EAE (Editorial Academia Española).

Benjumeo Hernández P., Agudelo Santamaría J. y Rios L. (2009). Biodiesel: Producción, Calidad y Caracterización. Medellín: Universidad de Antioquía.

Angulo F., Nevado J. y de Tusalle J. (2008). Eco- combustible - FA Una solución viable. Barcelona: Lozano Estévez.

##### Internet:

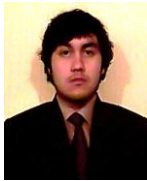
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/248>

<http://www.greenteacher.com/articles/ha-ciendobiodiesel.pdf>

[http://www.ambito.com.ar/espanol/gest\\_tec/ges\\_tec72.htm](http://www.ambito.com.ar/espanol/gest_tec/ges_tec72.htm)

<http://es.journeytoforever.org/biocombustibles/reactores-biodiesel/reactor-fondo-conico.cgi>

## BIOGRAFÍA.



**Paúl Soria**, nació en Quito, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz, estudio en la Escuela Politécnica del Ejército, presta sus servicios profesionales en asesoramiento de sistemas automotrices.



**Luis Patajalo**, nació en Loja Ecuador Es ingeniero Automotriz, estudio en la Escuela Politécnica del Ejército, presta sus servicios profesionales en asesoramiento de sistemas automotrices



**Guido Torres** Nació en Alausí provincia de Chimborazo en Ecuador, Se graduó como Ingeniero Mecánico en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba – Ecuador y cuenta con un Magíster en Docencia y Administración Educativa en la Universidad Tecnológica

Indoamerica de Ambato-Ecuador, es egresado de la Maestría de Gestión de Energía en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Actualmente se desempeña como docente del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica en el área de Diseño y Mecánica Computacional de la Escuela Politécnica del Ejército en la ciudad de Latacunga.



**Germán Erazo** nació en Latacunga, Ecuador, Es Ingeniero Automotriz, ingeniero Industrial dispone estudios de Posgrado en Autotrónica, Gerencia de Marketing, Gerencia de Proyectos, Diseño Curricular, Energías Renovables y Administración de Empresas, Docente Tiempo completo en la Escuela Politécnica del Ejército desde 1993. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en mecánica y electrónica automotriz.

**Latacunga, Junio de 2013.**

**AUTORES:**

---

**Luis Stalin Patajalo Villalta**

---

**Edwin Paúl Soria Pozo**

---

**Ing. Juan Castro**

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

---

**Dr. Rodrigo Vaca Corrales**

**SECRETARIO ACADÉMICO**

**UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO**