



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MEDIO AMBIENTE**

TEMA:

**CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR PILOTO PARA LA
GENERACIÓN DE BIODIÉSEL A BASE DE ACEITE DE PALMA
AFRICANA (*Elaeis guineensis*) EN LA ESPAM “MFL”.**

AUTORES:

ARIAS SERRANO FRANCISCO JAVIER.
VERA LUCAS JESÚS ANDRÉS.

TUTOR:

ARQ. FRANCISCO SOLÓRZANO, MG C. A.

CALCETA, JULIO 2016

DERECHOS DE AUTORÍA

Francisco Javier Arias Serrano y Jesús Andrés Vera Lucas, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

FRANCISCO J. ARIAS SERRANO

JESÚS ANDRÉS VERA LUCAS

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Francisco Solórzano Murillo certifica haber tutelado la tesis **CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR PILOTO PARA LA GENERACIÓN DE BIODIÉSEL A BASE DE ACEITE DE PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*) EN LA ESPAM “MFL”**, que ha sido desarrollada por Francisco Javier Arias Serrano y Jesús Andrés Vera Lucas, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ARQ. FRANCISCO SOLÓRZANO MURILLO, MG.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** la tesis titulada **CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR PILOTO PARA LA GENERACIÓN DE BIODIÉSEL A BASE DE ACEITE DE PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*) EN LA ESPAM “MFL”**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Francisco Javier Arias Serrano y Jesús Andrés Vera Lucas, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. CARLOS DELGADO VILLAFUERTE, M.Sc.
MIEMBRO

ING. ERIKA ESPINEL PINO, M.Sc.
MIEMBRO

ING. CARLOS VILLAFUERTE VELEZ, M.Sc.
PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que nos dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual hemos forjado nuestros conocimientos profesionales día a día;

A nuestro tutor, Arq. Francisco Solórzano, por ser guía en la realización de nuestro proyecto de tesis,

A los facilitadores, Q. F. Patricio Noles e ing. Flor Cárdenas; y a la ing. Ivonne Saavedra, por la ayuda dada desde el inicio de la realización del proyecto, y

A Dios por la bendición brindada a este proyecto.

FRANCISCO J. ARIAS SERRANO

JESÚS ANDRÉS VERA LUCAS

DEDICATORIA

A mis padres, José Vera y Margarita Lucas, por su apoyo incondicional, a mi hermana, Andrea Vera, por siempre estar a mi lado, a mi abuela, tíos y primos por ser parte de mi diario vivir y a Hugo, Francisco, Willy, Víctor, Jessie, Ximena, Gabriela y Sara, por ser las personas quien se han ganado mi confianza, admiración y amistad.

JESÚS ANDRÉS VERA LUCAS

DEDICATORIA

A mis padres, Francisco Arias y Claudia Serrano, por su apoyo incondicional, a mi hermano, Ángel Arias, por siempre estar a mi lado, a mis abuelos, tíos y primos por ser parte de mi diario vivir y a Hugo, Andrés, Willy, Víctor, Jessie, Ximena, Gabriela y Génesis, por ser las personas quien se han ganado mi confianza, admiración y amistad.

FRANCISCO J. ARIAS SERRANO

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
DEDICATORIA	vii
CONTENIDO GENERAL.....	viii
CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
PALABRAS CLAVE	x
ABSTRACT	xi
KEY WORDS	xi
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. HIPÓTESIS	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO	16
3.1. UBICACIÓN.....	16
3.2. DURACIÓN.....	16

3.3.	VARIABLES EN ESTUDIO.	16
3.3.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE.	16
3.3.2.	VARIABLE DEPENDIENTE.	16
3.4.	CUADRO DE VARIABLES	16
3.5.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	17
3.6	PROCEDIMIENTO.	17
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		24
4.1.	ENSAMBLAR EL REACTOR PILOTO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MANUAL DE CONSTRUCCIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL.	24
4.2.	OBTENER BIODIÉSEL A BASE DE ACEITE DE PALMA AFRICANA (ELAEIS GUINEENSIS) POR MEDIO DEL REACTOR PILOTO.....	26
4.2.1.	ACEITE DE PALMA LIMPIO.....	26
4.2.2.	ACEITE DE PALMA REUSADO.	26
4.2.3.	COMPARACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS SEGÚN EL ACEITE UTILIZADO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL.	27
4.3.	ELABORAR UN MANUAL DE USUARIO PARA LA UTILIZACIÓN DEL REACTOR PILOTO.....	27
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES.		28
5.1	CONCLUSIONES.	28
5.2	RECOMENDACIONES.	28
BIBLIOGRAFÍA.....		29
ANEXOS.....		32

CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

TABLAS.		
3.1.	Equipos y materiales para la planta de Biodiésel.....	17
3.2.	Materiales necesarios para construir los reactores.	18
4.1.	Medidas de los tanques del reactor.....	24
4.2.	Materiales utilizados en el sistema de tuberías.	25
4.3.	Materiales del sistema eléctrico.....	25

RESUMEN

La presente investigación de tesis tuvo como objetivo CONSTRUIR UN REACTOR PILOTO PARA GENERACIÓN DE BIODIÉSEL A BASE DE ACEITE DE PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*) EN LA ESPAM “MFL”, para conseguir la realización del objetivo, se ensambló el reactor piloto destinado para la producción del biodiésel de acuerdo a las especificaciones técnicas del Manual de construcción y uso de Reactor para la producción de biodiésel a pequeña escala de la autoría de Acosta, Castro y Cortijo (2008); obteniendo biodiésel a partir de oleína de palma, tanto limpia como reusada; además de un Manual de Usuario para la manipulación del equipo.

PALABRAS CLAVE

Manual de construcción, ensamblaje, biocombustible, metóxido de sodio, guía de usuario, oleína de palma.

ABSTRACT

This researching aimed BUILD A PILOT REACTOR FOR GENERATING BIODIESEL FROM AFRICAN PALM OIL (*Elaeis guineensis*) IN ESPAM "MFL", for achieving the objective, the pilot reactor intended to produce biodiesel was assembled according to the technical specifications of the construction Manual and using of Reactor for the production of small-scale biodiesel authoring Acosta, Castro and Cortijo (2008); obtaining biodiesel from palm olein, both clean and reused; plus a User manual to operate the equipment.

KEY WORDS

Manual construction, assembly, biofuel, sodium methoxide, user guide, olein.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Domínguez y Espinel (2009) expresan que en los últimos años se ha intensificado el interés en temas relacionados con la seguridad energética y ambiental a nivel internacional, junto con el estímulo que comienzan a recibir los productos de origen agrícolas para incursionar en usos industriales, estos han contribuido al desarrollo de combustibles alternativos tales como el etanol, el biodiésel y el gas natural. Castro *et al.* (2007) expresan que en el mundo la demanda energética está subiendo en gran medida a pesar de que la eficiencia de muchos aparatos eléctricos, vehículos e incluso procesos industriales se ha renovado. Tanto Los países industrializados como los que están en vías de desarrollo tienen responsabilidad por este crecimiento.

En el último informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, presentado en mayo del 2012, se observa que los combustibles fósiles cubren un 85,1% de la demanda energética mundial, el caso del petróleo y sus derivados (34,6%), el carbón (28,4%) y el gas natural (22,1%). Al mismo tiempo, este informe establece que este tipo de energía es culpable del 60% de las emisiones de gases responsables del efecto invernadero, es decir, contribuyen al calentamiento global. Por otro lado, las energías generadas por fuentes renovables, sólo ocupan el 12,9% de la demanda global de energía. Al separar este porcentaje, se observa que la biomasa energía generada con elementos orgánicos derivados de cultivos ocupa un 10,2%; energía hidráulica un valor de 2,3%; la energía eólica apenas un 0,2%; igual que en la eólica, la energía geotérmica y solar solo cubren un 0,2% (El Universo, 2012).

García y García (2006) conceptualizan que, a diferencia de los combustibles fósiles o combustibles convencionales, los biocarburantes poseen la propiedad de utilizar productos vegetales como materia prima. Hay que tener en cuenta las particularidades de los mercados agrícolas, al igual que la complejidad que presentan los mercados energéticos. Es importante recalcar que el desarrollo de la industria de los biocombustibles no solo depende de la disponibilidad de materia prima sino de la existencia de una demanda suficiente. Al dar garantía de la existencia de una demanda de biocarburantes, el desarrollo de su

mercado puede potenciar otras políticas. Ejemplo claro de estas políticas son en el sector agrícola, para fomentar la creación de nuevas plazas de empleo en el sector primario, el retorno de la producción en la zona rural, el continuo desarrollo industrial y de actividades en el sector agrícola, y reduciendo a la vez los efectos de la desertización gracias a la plantación de cultivos energéticos. Mientras que Legaz (2010) detalla que el biodiesel es un biocombustible líquido producido a partir de aceites vegetales, nuevos o usados, que mediante procesos de esterificación y transesterificación los cuales consisten en combinar el aceite vegetal con un alcohol ligero, normalmente metanol, se logra la obtención de estos biocarburantes. Las propiedades de este biocombustible son prácticamente las mismas que las del gasóleo convencional en cuanto a densidad y número de cetano, conjuntamente, posee un punto de inflamación superior, de esta manera el biodiesel puede mezclarse con el diésel para usarlo como aditivo en motores e incluso sustituirlo totalmente.

En las últimas décadas, el uso de los combustibles fósiles ha estado en constante aumento en el Ecuador, en su gran mayoría está destinado al uso vehicular ya que el parque automotor ha tenido un notable crecimiento y por lo tanto existe más demanda. Los combustibles en el Ecuador utilizados principalmente son la gasolina en vehículos livianos, y el diésel en vehículos pesados. Las políticas nacionales en Ecuador integran el apoyo al uso de biocombustibles de acuerdo al Decreto Ejecutivo 2332, Registro Oficial 482, 15 de diciembre 2004. En el que señala de interés nacional la producción, comercialización y uso de biocarburantes como componentes de los combustibles que se consumen en el país (Barriga, 2007).

La ESPAM "MFL" posee vehículos que consumen gran cantidad de combustibles fósiles para su funcionamiento, entre los que se encuentran tricimotos, tractores, buses y camionetas, los cuales son empleados para cumplir distintas actividades, como transporte de estudiantes y personal de trabajo, transporte de materiales o instrumentos pertenecientes a la ESPAM; debido al consumo de combustibles fósiles para realizar normalmente estas actividades de transporte se generan emisiones atmosféricas, provocando un efecto negativo y a la vez contaminación en el medio ambiente. Luego de haber planteado el problema, se formula la siguiente pregunta: ¿Se generará

biodiésel de buena calidad gracias a la construcción de un reactor piloto en la ESPAM “MFL”?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente no se puede contradecir el hecho de que la humanidad esté combatiendo tendencias que exigen una respuesta de supervivencia; en primer lugar, se encuentra la disminución de fuentes de energía y en segundo, su creciente demanda como consecuencia de un mejoramiento de la calidad de vida de las llamadas economías emergentes. El uso de combustibles fósiles ha traído como consecuencia una masiva emisión de gases contaminantes, dióxido y monóxido de carbono, los cuales han sido asociados al llamado efecto invernadero. La solución a este problema se ha derivado en diferentes propuestas que comprenden obtener energía a partir de hidroeléctricas, plantas nucleares, biomasa, eólica, geotérmica, solar y en el caso de combustibles líquidos, los biocombustibles, la demanda de estos combustibles es más crítico en países cuya economía se basa en el transporte vehicular (González *et al*, 2008).

Según el artículo 15 de la Constitución del Ecuador (2008) el Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Al mismo tiempo el artículo 413 establece que el Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

El Plan Nacional del Buen Vivir (2013-2017) busca el mejoramiento de la calidad de vida para cumplir el derecho de vivir en un ambiente sano, para esto como contribución de la mejora de calidad de vida busca controlar y aminorar la contaminación del medio ambiente. Según el Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, en los últimos 16 años el total de emisiones y remociones aumentó a 410 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂)

a nivel nacional; refiriéndose porcentualmente hubo un incremento significativo de 54,6%. Las políticas del Plan Nacional del Buen Vivir promueven la utilización de energías renovables como medida de una eficiencia sostenible para evitar la contaminación ambiental y a la vez el cuidado del ambiente. Para esto implementar tecnologías, infraestructuras y esquemas tarifarios, para promover el ahorro y la eficiencia energética en los diferentes sectores de la economía. Dentro de esta política el Plan Nacional del Buen Vivir busca la existencia y la realización de investigaciones para el uso y la generación de energías alternativas renovables, a la vez busca disminuir progresivamente el uso de combustibles fósiles en el transporte y reemplazar los vehículos convencionales, todo esto para impulsar el transporte sustentable.

Debido al alto consumo de diésel convencional utilizado por los diferentes tipos de transporte de la ESPAM “MFL” existe contaminación atmosférica. Una vez señalado esto es necesario mencionar que la utilización de biocombustibles es una medida sustentable y sostenible para la reducción de este tipo de contaminación. Este proyecto se realizará con el fin de lograr una disminución de utilización de diésel convencional en el campus politécnico. Por lo cual es de gran importancia construir un reactor piloto para la generación de biodiésel que pueda ser usado en un motor de cuatro tiempos, reduciendo así la utilización de diésel convencional y por lo tanto la cantidad de contaminantes que se expulsan a la atmósfera por los vehículos institucionales de la ESPAM “MFL”.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Construir un reactor piloto para generación de biodiésel a base de aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*) en la ESPAM “MFL”.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ensamblar el reactor piloto para la producción de biodiésel de acuerdo a las especificaciones técnicas del Manual de construcción para la producción de biodiésel.

- Obtener biodiésel a partir de aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*) por medio del reactor piloto.
- Elaborar un Manual de Usuario para la utilización del reactor piloto.

1.4. HIPÓTESIS

La construcción de un reactor piloto generará biodiésel a partir de palma africana (*Elaeis guineensis*) de buena calidad.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. BIOCOMBUSTIBLES

Ballesteros y Ballesteros (2015) consideran a los biocombustibles como una cadena de productos intermedios adquiridos a partir de procesos físicos, químicos y biológicos de la biomasa. En los biocombustibles se diferencian los sólidos, gaseosos y los líquidos. Los biocombustibles sólidos y gaseosos son utilizados, generalmente, en la obtención de energía calorífica y energía eléctrica; en el caso de los biocombustibles líquidos son utilizados en gran medida en el funcionamiento de motores destinado al funcionamiento de medio de transportes, es decir, como bioetanol, biodiésel, etc.

Goñi y Rojas (2014) manifiestan que se le da el nombre de biocombustibles a aquellos combustibles que se obtienen a partir de biomasa, éstos se pueden conocer por dos tipos; los biocombustibles de primera generación y los combustibles de segunda generación que actualmente están en desarrollo. Por biocombustibles de primera generación se entiende que son aquellos que se producen a partir de materias primas convencionales reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero en relación con los combustibles fósiles, aquí se encuentran producidos el biodiesel, el bioetanol y el biogás.

2.2. BIODIÉSEL

Es un combustible que consiste en un aceite modificado a base de éster metálico, por ser un producto de origen natural no ocasiona emisiones de azufre, plomo, cadmio, aluminio, nitrógeno; por lo que no existe el problema de generación de diversos tipos de lluvias ácidas (Ubillus, 2003).

Biodiésel se compone etimológicamente de la palabra “bio” que se refiere a la vida, en este caso a características renovables y origen biológico y “diésel” se refiere al combustible habitual derivado de origen fósil. Alegando químicamente el biodiésel es un combustible alternativo formado por ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de aceites renovables, por ejemplo aceites vegetales, los cuales pueden ser utilizados en calderas de calefacción y en motores de ignición de compresión. Es decir que el biodiésel es un

biocombustible, se produce a base de grasas animales o de aceites vegetales y puede ser empleado como sustituto del diésel convencional o como un aditivo de este (Acosta *et al.*, 2008).

American Society for Testing Materials también define que el biodiesel está compuesto de “ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de aceites vegetales o grasas animales”. En otras palabras, es un combustible alternativo de origen natural que realiza una combustión limpia. Este puede usarse de dos maneras; en estado puro y por otro lado como aditivo al combustible diésel convencional. Cabe mencionar que entre los beneficios que ofrece este combustible es que posee la capacidad de renovarse, reduce las emisiones de gas invernadero, posee una menor dependencia en combustibles fósiles y sobre todo es que puede usarse en motores destinados al combustible diésel convencional sin tener que modificarlo (Kessel, 2009).

El biodiésel es un combustible que se produce a partir de materias de base renovables, como los aceites vegetales, que se pueden utilizar en los motores diésel. Estos se constituyen de ésteres de alquilo, de metilo y de etilo, con cadenas largas de ácidos grasos las cuales al presentarse oxigenadas le permiten al motor realizar una combustión mucho más limpia (Stratta, 2000).

2.3. BIOETANOL

El alcohol etílico o etanol es un resultado químico producido por la fermentación de los azúcares que están presentes en los productos de origen vegetal, como cereales, remolacha, caña de azúcar o biomasa. En la actualidad este es el biocombustible con mayor producción a nivel mundial ya que para su fabricación se pueden utilizar una gran cantidad de materias primas. El etanol se puede usar en diferentes mezclas con la gasolina convencional, E5 que corresponde a una mezcla del 5% y E10 que corresponde a una mezcla del 10% (García y García, 2006).

2.4. ELAEIS GUINEENSIS

La palma africana (*Elaeis guineensis*) es una especie vegetal perenne, esta especie es utilizada, en gran medida, para la producción de aceite vegetal. La palma africana es una de las fuentes más significativas para la generación de aceite debido a su elevada productividad. Las características climáticas y geomorfológicas del Ecuador, lo hacen una zona idónea para la producción de *Elaeis guineensis*. El aceite producido por la palma africana cumple con una gran demanda de aceites y grasas a nivel mundial, esto debido a que puede llegar a generar hasta seis veces más aceite que especies importantes como el maní, soya o girasol, entre otras. El aceite obtenido de los frutos de la palma africana es extraído por plantas especializadas en la obtención del mismo, por lo general ubicadas cerca de las plantaciones de la palma. Las plantas son diseñadas según la cantidad de aceite que se quiera producir (Rothschuh *et al.*, 1983).

2.5. ACEITE DE PALMA

Producto utilizado como aceite comestible en la preparación de frituras, también utilizado como materia prima en la elaboración de margarinas, productos de confitería, fabricación de jabones, cosméticos y detergentes. El aceite de palma posee una importante aplicación en la producción de biocombustibles de primera generación. (Ferrer, 2013)

Ecuador se encuentra en segundo lugar en la producción de aceite crudo de palma en Latinoamérica y el séptimo lugar a nivel mundial. Aunque los productores con más de 1000 hectáreas poseen el liderazgo en la industria de la palma, el 87% produce menos de 50 hectáreas. Por otro lado, los sectores del gobierno miran a la industria de palma de aceite como fuente de empleo y desarrollo, a pesar de que la FAO ubica a Ecuador con una de las tasas más altas de deforestación a nivel mundial y la más alta de América del Sur, ya que las fincas de palma africana son criticadas por estar involucradas en la deforestación y promover la precarización del trabajo. (Potter, 2011)

2.6. ACEITE VEGETAL PARA LA FABRICACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE.

Cedrón *et al.* (2014) resolvieron que la utilización de aceite de soya doméstico usado, que utilizaron en la preparación de biodiésel sin previo tratamiento afectó en el rendimiento del resultado, obteniendo un 78% de el mismo. Sin embargo un análisis de resonancia magnética nuclear demostró que la conversión de triglicéridos a ésteres monoalquilados llegó a 98,82% de efectividad, es decir el biodiésel obtenido fue de una excelente calidad.

Así mismo, Medina *et al.* (2014) determinaron que se puede obtener biodiésel con la utilización de aceites residuales con un rendimiento que sobrepasa el 90%, debido que estos suelen poseer buenos índices de acidez e índice de peróxido, sin embargo vale tener presente que los aceites usados necesitan un tratamiento previo para su utilización en este tipo de procesos, así como una purificación del biodiésel conseguido.

Por otro lado, Benavides *et al.* (2007) concluyeron que la mezcla de diésel con biodiésel de higuera influye en un aumento de consumo de combustible en el motor. Sin embargo, la utilización del biodiesel de aceite de higuera no influye en gran medida en el rendimiento efectivo del motor. Un dato importante a tener en cuenta es que la opacidad de los humos disminuye gracias a la mezcla del biocombustible obtenido con el diésel convencional.

2.7. BIOGAS

El biogás es una composición gaseosa que principalmente está constituida de metano y dióxido de carbono, pero también se pueden encontrar diversas impurezas en su estructura. Si el contenido de metano es superior al 45% el biogás es inflamable (Vamero, 2011).

2.8. PETRÓLEO

Pazmiño (2013) indica que el petróleo está formado por grandes cantidades de compuestos orgánicos constituidos principalmente por sustancias conocidas como hidrocarburos. RECAI (2005) detalla que el petróleo es un líquido oleoso, más ligero que el agua, de color oscuro y olor característico. Este se encuentra

en el interior del planeta Tierra y a veces forma grandes manantiales. El petróleo se conoce hace muchos años atrás, cuando sus usos iniciales fueron para iluminación. Este líquido traza múltiples problemas ambientales desde su extracción hasta su consumo por lo cual se considera una de las actividades más contaminantes.

2.9. GASOLINA

La gasolina es una mezcla completa volátil de hidrocarburos líquidos, es también conocida como carburante, ya que su combustión en presencia de oxígeno permite el funcionamiento de los motores de combustión interna. En la destilación del petróleo crudo la gasolina es la primera fracción que se obtiene, los hidrocarburos que conforman la gasolina son parafinas, naftenos, isoparafinas, y aromáticos de los cuales los dos últimos aportan con el mayor octanaje (Amanqui y Aguilar, 2011).

2.10. DIESEL

RECOPE (2011) define al diésel como un hidrocarburo que se obtiene de la destilación fraccionada del petróleo a temperaturas de 250°C y 350°C, mucho más sencillo de refinar que la gasolina y posee mayores cantidades de minerales y azufre. El diésel aporta un 18% más de energía por unidad de volumen que la gasolina, agregando la eficiencia notable que tienen los motores contribuye a que sea mucho mayor su rendimiento.

2.11. MOTOR DIÉSEL

Motor de combustión interna, usa petróleo grueso y no depende de bujías para encender la carga en los cilindros. Entre sus características principales está la de inyectar una carga de aire comprimiéndola a una presión de 450 a 600 libras por pulgada cuadrada a diferencia de la gasolina que comprime de 80 a 130 libras por pulgada cuadrada. Por tal motivo el motor diésel es muy eficiente y económico (RECAI, 2005).

2.12. REACTOR

Bueno *et al.* (2012) dictan que un reactor es un equipo en el que existen reacciones químicas en su interior, el cual está diseñado para minimizar todo costo posible pero buscando una maximización en la conversión existente en las reacciones químicas. Son definidos biorreactores cuando la reacción química es catalizada por una enzima purificada o por el organismo que contiene la enzima. La estructura de los reactores es por lo general de forma cilíndrica, su tamaño puede variar desde unos cuantos mililitros hasta varios metros cúbicos, según la necesidad del fabricante y comúnmente son elaborados de acero inoxidable. Los reactores utilizados para la generación de biodiésel son los Reactores tipo Batch.

2.13. BIORREACTOR

Williams (2002) define a un biorreactor como un sistema en el que existe una conversión biológica. Esta definición puede incluir conversiones de encimas, microorganismos, células animales o vegetales. Un biorreactor, al contrario de los reactores químicos convencionales, se enfoca en el control de entes biológicos. Los sistemas de biorreactores deben ser diseñados para proporcionar un alto grado de control de contaminantes y problemas en los procesos, esto debido a que los organismos son más estables que los elementos químicos. Al mismo tiempo, Lorea (2003) dicta que un biorreactor es el centro de todo proceso biotecnológico. La conducta de un biorreactor y su esquema están en manos del conocimiento de la cinética de las reacciones biológicas que hacen presencia dentro del mismo y de los balances de masa y energía necesarios.

2.14. BIORREACTOR BATCH

La mayoría de los biorreactores son de tipo Batch. Los sistemas de biorreacción Batch ofrecen varias ventajas frente a reactores químicos comunes, entre ellas:

- Reduce el riesgo de contaminación.
- Inversión de capital bajo en relación a otro tipo de biorreactores.

- Alta flexibilidad con la variedad de sistemas biológicos o de productos.
- Elevados niveles de conversión de materiales crudos, resultando periodos de crecimiento controlados.

Entre sus desventajas están:

- Bajos niveles de productividad referente al tiempo de llenado, calentamiento, esterilización, enfriamiento, vaciamiento y limpieza del reactor.
- Mayor gasto relacionado a la preparación de varias subculturas para inoculación.
- Altos costos de trabajo y control de procesos por sus procesos no estacionarios.
- Elevados riesgos de higiene industrial debido a potenciales contactos con toxinas o microorganismos patógenos.

Las aplicaciones más comunes para los biorreactores Batch incluyen:

- Productos que deben ser generados con un riesgo mínimo de contaminación o de mutación de organismos.
- Operaciones en las que solo se acepte un riesgo mínimo de contaminación.
- Procesos en los cuales se utiliza un reactor para producir varios productos.

2.15. PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR MEDIO DE UN REACTOR

La producción de biodiesel se forma en la reacción de un aceite con un metóxido, por general se utiliza aceite comestible y metóxido de sodio, el cual es una solución de hidróxido de sodio con metanol. Es importante que los compuestos utilizados se acerquen al 100% de pureza para su utilización en el reactor. Una proporción que se ha comprobado es idónea para la generación de biodiesel es de 4:1 volumen/volumen de aceite-metóxido; esta relación permite una óptima reacción sin utilizar excesivas cantidades de metóxido (López *et al.*, 2011).

2.16. LEGISLACIÓN

La Constitución del Ecuador (2008) divisa en varios artículos el respeto, protección y cuidado del medio ambiente y el resalta el derecho a vivir en un ambiente sano ecológicamente equilibrado. A continuación un resumen con los artículos ambientales:

Artículo	Descripción de la normativa
14, 15	Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Se declara de interés público la preservación del ambiente, conservación de los ecosistemas y biodiversidad. El estado promoverá el uso de tecnologías y energías alternativas no contaminantes.
30	Las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable.
66	El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.
71	La naturaleza tiene derecho a que se respete íntegramente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales. Toda persona, comunidad pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de estos derechos.
72	En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.
73	El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.
83	Son deberes y responsabilidades de los ecuatorianos entre otros el siguiente: respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.
391	El Estado generará y aplicará políticas demográficas que contribuyan a un desarrollo territorial e intergeneracional equilibrado y garanticen la protección del ambiente y la seguridad de la población.
395	El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas.
396	El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.
397	En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Establecerá mecanismos efectivos de

	prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.
399	El ejercicio integral de la tutela estatal sobre el ambiente y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su preservación, se articulará a través de un sistema nacional descentralizado de gestión ambiental, que tendrá a su cargo la defensoría del ambiente y la naturaleza.

2.17. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Alfaro (1998) establece que existe contaminación del aire o atmosférica cuando consta una presencia de gases perjudiciales, partículas o vapores, sin importar el lugar de origen de los mismos, es decir que provengan de fuentes naturales, que con exceso de concentración puede ser perjudicial al medio o bien causado por el mismo ser humano, siendo este la causa principal de la generación de estos gases, partículas o vapores.

Así mismo, Chabrier de la Saulnière (1969) citado por Jiménez (2005) define que existe contaminación del aire cuando existan impurezas en la atmósfera que provoquen un impacto negativo ya sea a nivel de salud humana, de su comodidad o de los recursos humanos. Gases, vapores, material particulado sólido y líquido son los causantes de la contaminación de aire.

2.18. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Zaror (2003) menciona, los contaminantes atmosféricos son aquellas sustancias y formas de energía en el aire, que debido a su gran concentración y su permanencia en la atmósfera, generan un cambio o efecto negativo dentro de esta y a la calidad de vida de las personas. Los contaminantes atmosféricos se califican en:

- **Contaminantes Primarios:** Sustancias o formas de energía que son emitidos de forma directa en el medio ambiente ya sea procesos naturales o por acción del hombre.
- **Contaminantes Secundarios:** Son el resultado de reacciones químicas de ciertos contaminantes primarios que acontecen dentro de la atmósfera.

Los seres humanos, por medio del sistema respiratorio y la piel principalmente, son directamente afectados por la mayoría de los contaminantes atmosféricos,

provocando problemas de salud. Desde el punto de vista medioambiental los contaminantes pueden trasladarse desde el aire al suelo o hasta cuerpos de agua, interviniendo negativamente en la calidad del suelo y de las aguas, así como afecta directamente en la cadena trófica.

CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN.

El presente proyecto se llevó a cabo en el campus politécnico de la ESPAM “MFL” situado en el Sitio El Limón, Parroquia Calceta, Cantón Bolívar, Provincia de Manabí. La ubicación geográfica de la ESPAM “MFL” son las coordenadas 00°49’23” de latitud sur y 80°11’01” de longitud oeste, con una altitud de 15msnm. (ESPAM, 2010)

3.2. DURACIÓN.

El proyecto se desarrolló en un lapso de 9 meses luego de la aprobación del proyecto para su ejecución.

3.3. VARIABLES EN ESTUDIO.

3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.

Ensamblaje del reactor piloto.

3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE.

Producción de biodiésel.

3.4. CUADRO DE VARIABLES

VARIABLES	CONCEPTO	INDICADORES	INDICES
VARIABLE DEPENDIENTE Producción de biodiésel	Combustible que se produce a partir aceites vegetales, se puede utilizar en motores diésel.	Rendimiento de motor de dos tiempos	Horas de consumo

VARIABLE INDEPENDIENTE	Equipo en el que existen reacciones químicas o conversión biológica en su interior.	Producción de biodiésel	Cantidad de biodiésel por litro de aceite de palma
Ensamblaje del reactor piloto			

3.5. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

La investigación fue de carácter cualitativo, no experimental.

3.6 PROCEDIMIENTO.

Para el cumplimiento del proyecto se llevaron a cabo tres fases, descritas a continuación:

FASE 1.

Esta fase consistió en el ensamblaje de un reactor el cual fue construido tomando como referencia ciertas especificaciones del Manual de construcción y uso de Reactor para la producción de biodiésel a pequeña escala de la autoría de Acosta, Castro y Cortijo publicado en el 2008.

El reactor es de tipo Batch y fue diseñado para que produzca un aproximado de 50 litros de biodiésel por lote.

DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.

El sistema está conformado de dos módulos, el reactor y un purificador. Para mayor facilidad de manejo y economización se omitieron algunas de las partes que especifica el manual publicado por Acosta, Castro y Cortijo. A continuación, se describe brevemente las partes que conforman el equipo.

Tabla 3.1. Equipos y materiales para la planta de Biodiésel.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	CAPACIDAD (L)	MATERIAL
Recipiente 1	Almacenamiento de aceite	1	100	Plástico
Recipiente 2	Almacenamiento de metanol	1	100	Plástico
Tanque 1	Tanque de metóxido	1	15	Acero inoxidable 304
Tanque 2	Reactor	1	70	Acero inoxidable 304

Tanque 3	Decantador	1	200	Acero
Tanque 4	Tanque de lavado y secado	1	200	Acero
Bomba	Bomba de transferencia	1	-	Fierro
Filtro	Filtro del sistema	1	-	Celulosa
Válvulas 1-13	Válvulas de salida	13	-	Acero inoxidable
Panel eléctrico	Control eléctrico del sistema	1	-	Metal
Motores 1-3	Agitadores de la mezcla	3	-	Fierro

El tanque de almacenamiento de aceite es un recipiente de polietileno de alta densidad con una tapa rosca para evitar derrames. Por su parte, el tanque de metanol es el cilindro en el que venden el metanol industrial, que debe mantenerse siempre en un lugar fresco y seco, bajo sombra, y alejado de cualquier lugar donde se puedan generar chispas. En cuanto a los tanques que pertenecen al reactor; el primero es el tanque de producción de metóxido y el segundo es donde se realiza el proceso de la transesterificación. Este cuenta con un panel eléctrico que controla los motores de agitación y la resistencia del reactor.

Los tanques restantes pertenecen al módulo de purificación del biodiésel. Uno es para realizar el proceso de decantación y el otro para el proceso de lavado y secado, para realizar este último proceso el tanque está equipado con una resistencia para eliminar el agua por acción de temperatura y un agitador para acelerar el proceso.

CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.

La Tabla 2 muestra una lista de materiales que se utilizaron para la construcción de la estructura del sistema de producción de biodiesel.

Tabla 3.2. Materiales necesarios para construir los reactores.

MATERIAL	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES				UNIDAD	CANTIDAD
		ESPEJOR	LARGO	ANCHO	DIAMETRO		
Plancha	Acero inoxidable 304	2	2440	1220	-	mm	1
Plancha	Acero	2	2440	1220	-	mm	2
Tubería	Acero inoxidable 304	-	-	-	1/2"	pulgadas	1
Válvulas	Acero inoxidable 304	-	-	-	1/2"	pulgadas	13
Tubo cuadrado	Acero	2	5800	-	-	mm	8

Tee	Acero inoxidable	-	-	-	1/2"	Pulgadas	8
Codos	Acero Inoxidable	-	-	-	1/2"	Pulgadas	12
Cruz	Acero Inoxidable	-	-	-	1/2"	Pulgadas	1
Neplo	Acero Inoxidable	-	-	-	1/2"	Pulgadas	16

CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE METÓXIDO.

La plancha de acero inoxidable se cortó en 2 pedazos en forma de rectángulo con las medidas de 290x392 mm cada una; después de realizar el corte de ambas planchas se pasaron por una roladora pequeña; una vez terminadas formaron un cilindro pequeño de 25 cm de diámetro, dicho diámetro que fue utilizado para realizar el corte de la tapa.

El corte para el cono del cilindro debe ser preciso, por lo cual, se modeló el cono dividido en 2 partes, luego se cortó con plasma, de esta manera fue más sencillo darle la forma requerida, con ayuda de una roladora.

Una vez terminado los cortes y moldeados a la forma que se necesitó, se procedió a soldar con TIG para darle un mejor acabado a los tanques cónicos.

CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR.

Para la construcción del reactor se realizó un corte de 550x1256 mm en la plancha de acero inoxidable, luego se procedió a poner la plancha en la roladora para darle la forma cilíndrica que se necesitó, de la misma manera que en el tanque de metóxido se realizaron los cortes con plasma de la tapa, la cual tiene 40 cm de diámetro y de las partes que conformaron el cono. La diferencia de este tanque con el tanque de metóxido está en que en la parte posterior del tanque del reactor se realizaron agujeros, utilizados para colocar la termocupla y la resistencia. Al momento de colocar la resistencia, se tomó en cuenta que debe estar por debajo del nivel de aceite, para evitar que al momento de encenderlo se queme el mismo.

CONSTRUCCIÓN DEL DECANTADOR, SISTEMA DE PURIFICACIÓN Y SECADO.

Este sistema se basa en 2 tanques de 200 litros de capacidad cada uno, para esto se cortaron 2 rectángulos de 1100x1570 mm en plancha de acero negro,

se realizaron, de la misma manera, los conos existentes en los tanques anteriores, sin embargo estos tanques no poseen tapas; estos se utilizan, para la decantación de la glicerina y la separación del agua en el caso del de lavado y secado. El tanque destinado para el lavado y secado posee una resistencia ubicada en la parte posterior del tanque, utilizada para evaporar y eliminar el agua restante del proceso de lavado.

CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL REACTOR.

Para la construcción de la estructura se utilizaron 8 tubos cuadrados de acero negro de $1\frac{1}{2}$ por 1" con un espesor de 2mm, se realizaron los cortes de acuerdo a la altura para realizar el soporte que sostiene a los tanques, el más elevado para el tanque de metóxido (15 litros) ya que el fluido caerá por gravedad hacia el tanque del reactor.

Para los tanques del decantador y el sistema de lavado y secado se les realizó un soporte adicional debido a que su gran tamaño podría voltearlos en el momento de la agitación, adicionalmente se adquirió un ángulo de 3mm para soldar las agarraderas al cuerpo del tanque y fijarlas con tuercas a la estructura.

CONSTRUCCIÓN DE LOS SOPORTES PARA LOS MOTORES.

Los tanque de metóxido, reactor, lavado y secado; tienen un soporte para colocar los 3 motores que harán la agitación del fluido. En el caso del tanque de metóxido, se soldó toda una tapa y se realizó un corte para soldar un neplo perdido y poder colocar un tapón que servirán para ingresar el líquido, este tanque es cerrado ya que el fluido no debe tener contacto con el ambiente.

Para el tanque del reactor, lavado y secado; se soldó una pequeña plancha y se realizaron 5 agujeros que son para los pernos y tuercas y el eje del motor. No son tapados ya que en este reactor no se recuperará el alcohol.

INSTALACIÓN DE TUBERÍAS.

La tubería que se instaló en el sistema es de $\frac{1}{2}$ pulgada de acero inoxidable, se efectúan los cortes para proceder a soldar las tee y los codos, realizando vías para poder realizar una recirculación del biodiesel a producir.

En la salida de cada tanque hay válvulas de cierre rápido para poder drenar el sistema en caso de emergencia. Todas las vías a excepción del tanque de metóxido están conectadas a una bomba centrífuga que tiene como objetivo la circulación del diésel por todo el sistema para poder realizar cada proceso.

INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO.

El panel eléctrico instalado en el reactor, está compuesto por un controlador de temperatura marca CAMSCO TC-72N compatible con termocuplas tipo "J"; dos contactores; un selector de tres posiciones; luces piloto; interruptores ojo de cangrejo; un transformador de 110 voltios a 12 voltios; 2 capacitores.

Este panel de control está diseñado para que ambos tanques (Reactor y Secado) puedan ser manipulados con el mismo controlador de temperatura, no se puede trabajar en ambos tanques al mismo tiempo, ya que el selector solo permite elegir un solo tanque.

El sistema tiene 3 motores para la agitación; el primero es un motor de 12 voltios utilizado para la agitación del tanque de metóxido; el segundo es un motor de 110 voltios y 1/3 Hp destinado a la agitación del tanque donde se producirá la transesterificación; el último motor es de 110 voltios y 1/2 Hp destinado a la agitación del tanque de lavado y secado.

FASE 2.

En esta fase se realizó la producción de biodiésel utilizando el reactor piloto previamente construido, para garantizar su funcionamiento, el aceite a utilizar fue de oleína de palma combinada con soya, que se puede encontrar fácilmente en el supermercado, además se realizó una prueba adicional con aceite reusado para comparar entre ambos.

DESHIDRATACIÓN Y FILTRACIÓN DEL ACEITE.

Si el aceite a utilizar es reusado se debe, antes de comenzar la producción, hacerlo pasar por un proceso de deshidratación y filtración, esto consiste en llevar al aceite a una temperatura mayor a 100° centígrados para evaporar el agua presente en el líquido, y posteriormente hacerlo pasar por un filtro para

eliminar las impurezas como restos pequeños de alimentos. Si el aceite es nuevo no será necesario realizar este paso.

PREPARACIÓN DEL METÓXIDO.

Para la preparación del metóxido se utiliza hidróxido de sodio (NaOH) y metanol al 99%, la cantidad a usar varía del total de aceite y su acidez, si el aceite a utilizar es reusado se tiene que hacer una prueba de acidez para determinar cuánto se aumenta de hidróxido de sodio. La relación es, por cada litro de aceite hacer reaccionar 0,2 litros de metanol y 3,5 gramos de hidróxido de sodio. Si el aceite es reusado se aumenta la cantidad de catalizador, el cual puede llegar hasta 6 g por cada litro de aceite.

TRANSESTERIFICACIÓN.

Este proceso se realiza en el tanque de acero inoxidable, pues este material es el más resistente para esta reacción. Se selecciona la primera posición del panel eléctrico y en el controlador de temperatura se establece 55° centígrados, esta es la temperatura adecuada para realizar la reacción. Una vez que el aceite esté a 55 grados se abre la llave del tanque de metóxido y se agita y calienta de 40 minutos a una hora.

DECANTACIÓN.

Una vez terminado el proceso de transesterificación se deja reposar el líquido entre 12 y 16 horas, de esta manera el biodiésel se separa de la glicerina la cual se elimina abriendo la llave que se encuentra debajo del tanque.

LAVADO.

Para el lavado se pone a calentar el biodiésel a 55° centígrados, se agrega agua; exactamente la misma cantidad usada de metanol, se agita por media hora y luego se deja decantar, el agua debe quedarse por debajo del biodiésel y debe mostrar un color lechoso, se repite el lavado hasta que el agua salga transparente.

SECADO.

El proceso de secado o también llamado deshidratación tiene como finalidad eliminar el agua usada en el lavado, para realizarla se pone a calentar el biodiésel a una temperatura de 100° centígrados para eliminar el agua presente en la solución.

FASE 3.

Según las características del reactor construido, en esta fase, se elaboró un Manual de Usuario con las especificaciones de la utilización del mismo para la producción óptima de biodiésel de calidad.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ENSAMBLAR EL REACTOR PILOTO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MANUAL DE CONSTRUCCIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL.

Para el ensamblaje del reactor fue necesaria la fabricación de tanques de acero inoxidable y acero negro con las medidas especificadas en el Manual de construcción para la producción de biodiésel de autoría de Acosta, Castro y Cortijo publicado en el 2008. En la tabla 4.1 se presenta las medidas de cada uno de los 4 tanques que corresponden a todo el sistema, ya que el tamaño de las planchas de acero inoxidable y acero negro tienen como medida 1,22 x 2,44 se utilizaron tres planchas en total; una de acero inoxidable y dos de acero negro.

Tabla 4.1. Medidas de los tanques del reactor.

Descripción	Alto	Díámetro	Espesor	Unidad	Material
Tanque de Metanol	290	250	2	mm	Acero Inoxidable
Tanque del Reactor	550	400	2	mm	Acero Inoxidable
Tanque del Decantador	1100	500	2	mm	Acero Negro
Tanque de Purificación	1100	500	2	mm	Acero Negro

Para la construcción de la estructura del reactor fueron necesarios 6 tubos cuadrados de acero negro y para el sistema de tuberías se utilizaron materiales soldables para evitar hacer hilo de esta manera se reducen costos y tiempo; para colocar las válvulas, ya que estas si cuentan con hilo es mucho más sencillo soldar un neplo a la tubería y juntar la válvula con un nudo. En la tabla 4.2 se muestra el listado de materiales utilizados en la tubería del reactor.

Tabla 4.2. Materiales utilizados en el sistema de tuberías.

Descripción	Cantidad	Medida	Unidad	Material
Tubo	1	½	Pulgadas	Acero inoxidable
Tee	5	½	Pulgadas	Acero inoxidable
Cruz	1	½	Pulgadas	Acero inoxidable
Codo	10	½	Pulgadas	Acero inoxidable
Válvulas 1-3	3	½	Pulgadas	Acero inoxidable
Válvulas 4-13	10	½	Pulgadas	Bronce

Para la producción de biodiésel es necesario una temperatura constante, éste reactor es eléctrico y los materiales utilizados en este reactor (tabla 4,3) son necesarios sin excepción. Las resistencias eléctricas están ubicadas en la parte inferior de los tanques del reactor y de purificación, 5 centímetros por encima de las resistencias se ubican las termocuplas para poder obtener los datos de la temperatura mucho más reales.

Tabla 4.3. Materiales del sistema eléctrico.

Descripción	Cantidad	Voltaje	Potencia
Controlador de temperatura	1	110	-
Resistencia eléctrica	2	110	1500w
Termocupla tipo "J"	2	-	-
Selector de 3 posiciones	2	-	-
Contactores	2	110	-
Motor	3	110	1/2 hp
Bomba centrífuga	1	110	1/2 hp
Botones de encendido	5	110	-
Luz Piloto	5	110	-
Breakers	1	110	-

El selector de 3 posiciones permite que se use un solo controlador de temperatura, ya que se puede seleccionar con cuál resistencia y termocupla se va a trabajar.

4.2. OBTENER BIODIÉSEL A BASE DE ACEITE DE PALMA AFRICANA (ELAEIS GUINEENSIS) POR MEDIO DEL REACTOR PILOTO.

Se realizaron dos pruebas con aceites diferentes, aceite de palma limpio y aceite de palma reusado.

4.2.1. ACEITE DE PALMA LIMPIO.

Se utilizaron 12 litros de aceite limpio para la primera prueba, esto definió, gracias a valores establecidos por expertos, el uso de 2,4 litros de alcohol metílico (CH_3OH) y 42 gramos de hidróxido de sodio (NaOH) para la elaboración del metóxido de sodio. La reacción de transesterificación se realizó por un periodo de 60 minutos aproximadamente, el cual dio como resultado un valor, después de la decantación, de 8 litros de biodiésel. Este valor equivale a un 66,67% de efectividad de la reacción, debido a que gran cantidad del fluido se transformó en una sustancia viscosa parecida al jabón, dando a interpretar la posibilidad de que el hidróxido de sodio utilizado haya cumplido con su vida útil, por tanto se haya encontrado de mala calidad.

4.2.2. ACEITE DE PALMA REUSADO.

Se utilizaron 12 litros de aceite reusado para la segunda prueba, por tanto, gracias a valores establecidos por expertos, el uso de 2,4 litros de alcohol metílico (CH_3OH) y 72 gramos de hidróxido de sodio (NaOH) para la elaboración del metóxido de sodio. La reacción de transesterificación se realizó por un periodo de 60 minutos aproximadamente, el cual dio como resultado un valor, después de la decantación, de 5 litros de biodiésel. Este valor equivale a un 41.67% de efectividad de la reacción, valor considerablemente bajo en relación a la primera prueba, debido a dos principales razones, el aceite usado tiene menos calidad que el limpio y, que gran cantidad del fluido se transformó en una sustancia viscosa parecida al jabón, dando a interpretar la posibilidad de que el hidróxido de sodio utilizado haya cumplido con su vida útil, por tanto se haya encontrado de mala calidad.

4.2.3. COMPARACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS SEGÚN EL ACEITE UTILIZADO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL.

Tipo de aceite: Aceite de Palma Limpio
Cantidad de aceite: 12 Litros
Cantidad de alcohol: 2,4 Litros
Hidróxido de Sodio: 42 gramos
Biodiésel resultante: 8 Litros
Porcentaje de efectividad: 66,67%

Tipo de aceite: Aceite de Palma Reusado
Cantidad de aceite: 12 Litros
Cantidad de alcohol: 2,4 Litros
Hidróxido de Sodio: 72 gramos
Biodiésel resultante: 5 Litros
Porcentaje de efectividad: 41,67%

4.3. ELABORAR UN MANUAL DE USUARIO PARA LA UTILIZACIÓN DEL REACTOR PILOTO.

Se realizó la elaboración del Manual de Usuario con todas las especificaciones y pasos necesarios para el correcto uso del reactor piloto construido. El Manual completo se encuentra adjunto a los Anexos.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

- El reactor piloto construido posee las características para poder realizar hasta 3 lotes seguidos, pudiendo conseguir hasta una producción de 140 litros de biodiésel cada 2 días.
- La transesterificación permite que el aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*), ya sea limpio o reusado, reaccione con el alcohol metílico, produciendo biodiésel en el reactor piloto.
- El Manual de Usuario es una herramienta importante, que otorga los conocimientos necesarios para el entendimiento tanto de las partes como del funcionamiento del reactor.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Es necesario que los materiales sean de acero inoxidable en el proceso de reacción, puesto que cualquier otro material podría dañarse con el tiempo debido que el fluido a trabajar es corrosivo.
- El aceite debe ser agitado gentilmente, no batirlo, el resultado de la reacción puede verse afectada por movimiento extremadamente bruscos.
- Si el aceite es muy ácido se le debe realizar un tratamiento para disminuir la excesiva acidez antes de comenzar con el proceso de transesterificación.
- Asegurarse que los elementos usados en la producción de biodiésel (reactivos químicos) no hayan cumplido con su fecha de vencimiento.
- Para evitar taponamientos en las tuberías, elaborar el metóxido utilizado en un recipiente de polietileno de alta densidad (HDPE), fuera del sistema del reactor.
- Seguir el Manual de Usuario para evitar daños del reactor a la hora de realizar el proceso de producción de biodiésel.

BIBLIOGRAFÍA.

- Acosta, F; Castro, P; Cortijo, E. 2008. Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala. PE. p7
- Alfaro, M. 1998. Contaminación del Aire. Emisiones vehiculares, situación actual y alternativas. CR. p 10
- Amanqui, M y Aguilar, J. 2011. Estudio técnico – económico de pre factibilidad de un proceso de transformación para el incremento de octanaje de gasolinas en refinerías de la selva del Perú. Tesis. Ing. Químico. Universidad Nacional de Ingeniería. (En línea). Lima, PE. Consultado, 25 de jul. 2015. Formato PDF. p 26. Disponible en <http://cybertesis.uni.edu.pe>
- Ballesteros, M y Ballesteros, I. 2015. Estrategias para el desarrollo de la bioenergía. 1ed. p 6.
- Barriga, A. 2007. Producción y Uso de Aceites Vegetales y Biodiesel en Ecuador. (En línea). Guayaquil, EC. Consultado, 12 de may. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.cdts.espol.edu.ec>
- Benavides, A; Benjumea, P; Pashova, V. 2007. El biodiésel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diésel. CO.
- Bueno, M; Tello, H; Flores, L. 2012. Diseño y construcción de un reactor para la obtención de biodiésel, a partir de grasas de origen animal generadas en el camal municipal de la ciudad de Abancay-Apurimac. Universidad Alas Peruanas. PE. p 21
- Castro, P; Coello, J; Castillo, L. 2007. Opciones para la producción y uso del biodiésel en el Perú. Lima, PE. p 18
- Cedron, J; Moncada, A; Mendoza, P. 2014. Análisis de biodiesel preparado a partir de residuos de aceite doméstico, mediante RMN. PE.
- Constitución del Ecuador. 2008. Art. 14; Art. 15; Art. 30; Art. 66; Art. 71; Art. 72; Art. 73; Art. 83; Art. 391; Art. 395; Art. 396; Art. 397; Art. 399; Art. 413. EC.
- Domínguez, J y Espinel, R. 2009. Análisis de factibilidad para la introducción del Biodiésel en Ecuador. ESPOL. (En línea). Guayaquil, EC. Consultado, 20 de may. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://ageconsearch.umn.edu>
- El Universo. 2012. Energía renovable cubre el 12,9% de la demanda mundial. (En línea). EC. Consultado, 15 de jul. 2015. Formato html. Disponible en <http://www.eluniverso.com>

ESPAM MFL (Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López). 2010. Estación Meteorológica. Calceta-Manabí. EC.

Ferrer, A. 2013. Aprovechamiento integral del residuo de la industria del aceite de palma (efb). Obtención de derivados de las hemicelulosas, pastas celulósicas y celulosa nanofibrilar. Tesis. Doctorado Internacional en Ciencias Químicas. Universidad de Córdoba. UCO. Córdoba, ES. p 105

García, J y García J. 2006. Biocarburantes líquidos: Biodiésel y Bioetanol. (En línea). Madrid, ES. Consultado, 22 de jul. 2010. Formato PDF. Disponible en <http://www.madrid.org>

González, A; Jiménez, I; Rodríguez, M; Restrepo, S; Gómez, J. 2008. Biocombustibles de segunda generación y Biodiesel: Una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes. (En línea). Bogotá. CO. Consultado, 19 de jun. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.scielo.org.co>

Goñi, J y Rojas, M. 2014. Combustibles alternativos en motores de combustión interna. (En línea). Lima, PE. Consultado 23 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://fresno.ulima.edu.pe>

Jiménez, B. 2005. La contaminación ambiental en México. México D.F. MX. p 319

Kessel, N. 2009. ASTM Sets the Standard for Biodiesel. American Society for Testing Materials. ASTM Standardization News. (En línea). USA. Consultado, 22 de jul. 2015. Formato HTML. Disponible en <http://www.astm.org>

Lorea, P. 2003. Simulación Estocástica y Control Óptimo de Procesos para el Tratamiento de Aguas Residuales de Excretas Porcinas. Tesis. Maestría en Ciencias de la ingeniería. Universidad de Sonora. (En línea). Sonora, MX. Consultado, 24 de jul. 2015. Formato PDF. p 16. Disponible en <http://tesis.uson.mx>

Legaz, Ramsés. 2010. Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible. (En línea). Cataluña, ES. Consultado, 22 de jul. 2010. Formato PDF. Disponible en <http://upcommons.upc.edu>

López, E; Treviño, F; Ortiz, E; Montesinos, A. 2011. Intensificación del proceso de producción de biodiesel utilizando un micro-reactor tubular. Monterrey, MX. p 46

Medina, M; Ospino, Y; Tejena, L. 2014. Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiésel. Caldas, CO.

Pazmiño, K. 2013. Validación de los métodos de ensayo de sal en crudo, sedimentos por extracción y azufre en el petróleo crudo y sus derivados. Tesis. Ing. Químico. Universidad Central del Ecuador. (En línea). Quito,

- EC. Consultado, 25 de jul. 2015. Formato PDF. p 2. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec>
- Plan Nacional del Buen Vivir. 2013-2017. Objetivo 7. Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global. EC. p 230, 231, 236, 237.
- Potter, L. 2011. La industria del aceite de palma en Ecuador: ¿un buen negocio para los pequeños agricultores?. Quito, EC. EUTOPIA, Revista de Desarrollo Económico Territorial. Vol. 2. p 40 – 42
- RECAI (Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes). 2005. Diccionario Ambiental. EC. p 259, 297.
- RECOPE (Refinadora Costarricense de Petróleo SA). 2011. Manual de productos. (En línea). CR. Consultado, 25 jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <https://www.recope.go.cr>
- Rothschuh, J; Alvarado, C; Obando, M; Martínez, R; Muñoz, C. 1983. Guía Técnica para el cultivo de Palma Africana. NI. p 1, 33
- Stratta, J. 2000. Biocombustibles: Los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel. (En línea). Rosario, AR. Consultado 23 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.bcr.com.ar>
- Ubillus, J. 2003. Estudio sobre la presencia de plomo en el medio ambiente de Talara. Tesis. Ing. Químico. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. (En línea). Lima, PE. Consultado, 21 de jul. 2015. Formato PDF. p 54. Disponible en <http://sisbib.unmsm.edu.pe>
- Vamero, M. 2011. Manual del Biogás. (En línea). Santiago de Chile, CL. Consultado 22 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.fao.org>
- Williams, J. 2002. Keys to Bioreactor Selections. (En línea). USA. Consultado, 24 de jul. 2015. Formato PDF. p 35, 37. Disponible en <http://people.clarkson.edu>
- Zaror, C. 2003. Conceptos Básicos sobre Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable. Contaminación del aire. Buenos Aires, AR. p 209

ANEXOS

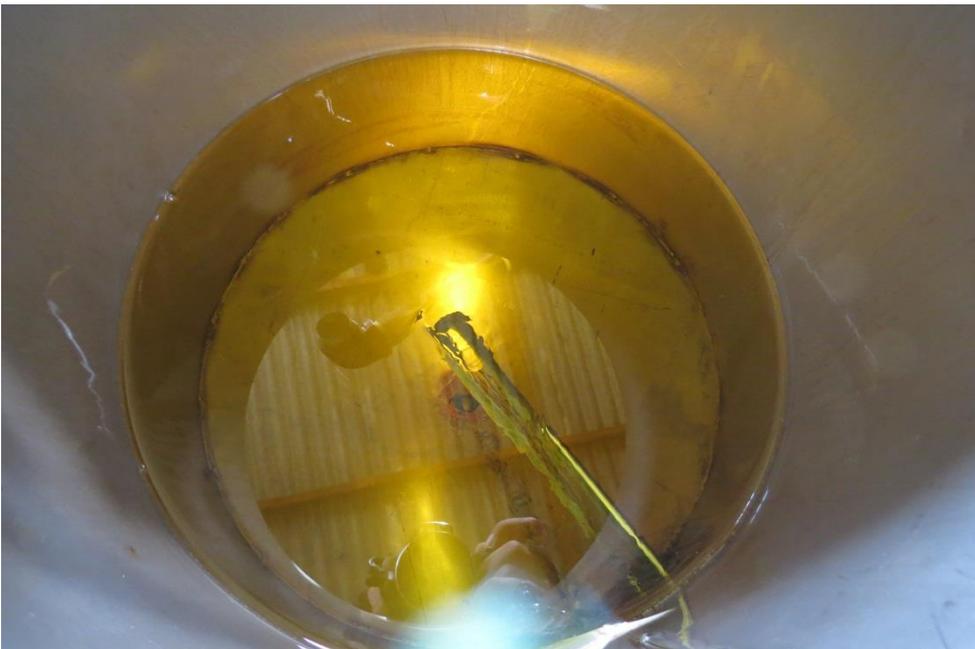
ANEXO 1.- Construcción de los tanques del reactor piloto.



ANEXO 2.- Construcción del sistema eléctrico del reactor piloto.**ANEXO 3.- Estructura del reactor piloto terminada.**



ANEXO 4.- Producción del biodiésel.





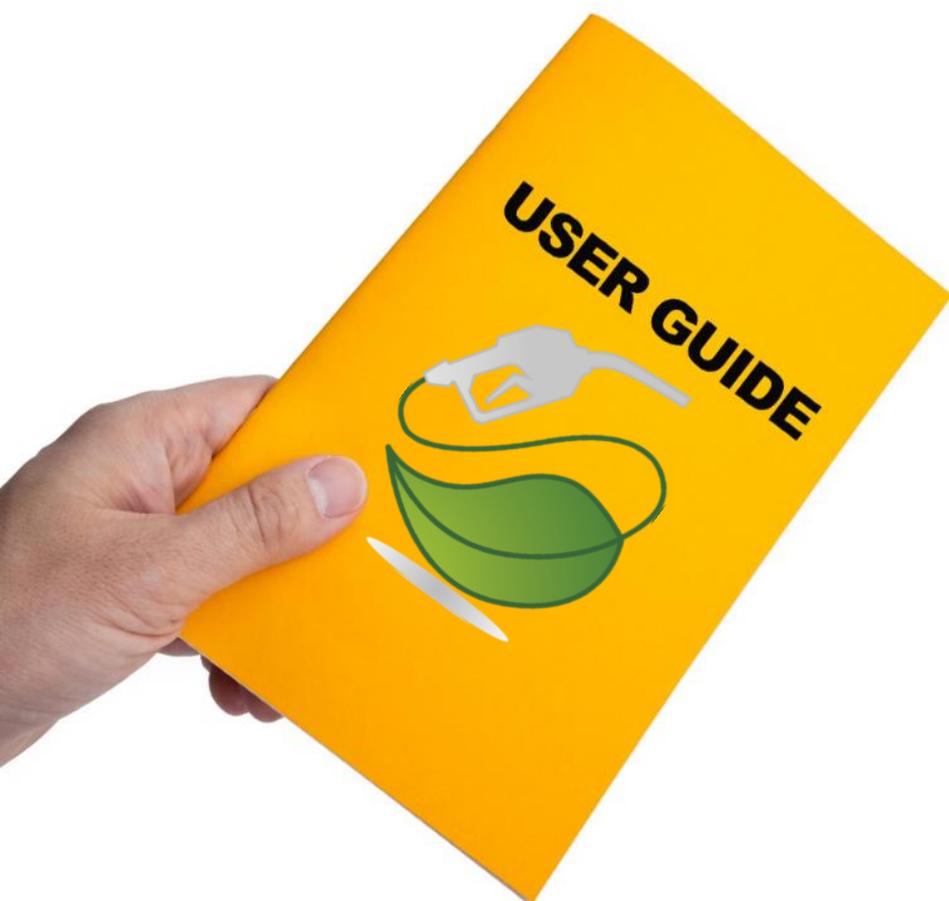


ANEXO 5.- Manual de usuario para la operación de la planta.



REACTOR PILOTO PARA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL.

MANUAL DE USUARIO.



Para la construcción de este reactor se tomaron en referencia las especificaciones del Manual de construcción y uso de Reactor para producción de biodiésel a pequeña escala de la autoría de Acosta Fernando, Castro Paula y Cortijo Elsa en el año 2008 en la ciudad de Lima, Perú.

TABLA DE CONTENIDO

1. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO.	4
2. ESTRUCTURA DEL EQUIPO.	4
3. COMPONENTES ELÉCTRICOS.	4
3.1. PANEL ELÉCTRICO.	5
4. ESTRUCTURA DEL REACTOR.	6
5. FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.	6
5.1. PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN.	7
5.2. PROCESO DECANTACIÓN.	7
5.3. PROCESO DE LAVADO.	7
5.4. PROCESO DE SECADO.	8
6. SEGURIDAD Y CUIDADO.	8
6.1. ROPA Y EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD	8
6.2. LIMPIEZA DEL REACTOR.	9
Ilustración 1 Esquema del panel eléctrico.	5
Ilustración 2 Esquema del reactor.....	6

1. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO.

El reactor está diseñado para elaborar 50 litros de biodiesel por lote, posee un sistema de decantación para almacenar hasta 200 litros de biodiesel.

2. ESTRUCTURA DEL EQUIPO.

El equipo está conformado por 2 sistemas.

- Reactor (*Proceso de transesterificación*)
- Sistema de purificación (*Lavado y secado*)

Descripción	Alto	Diámetro	Espesor	Unidad	Material
Tanque de Metanol (T1)	290	250	2	mm	Acero Inoxidable
Tanque del Reactor (T2)	550	400	2	mm	Acero Inoxidable
Tanque del Decantador (T3)	1100	500	2	mm	Acero Negro
Tanque de Purificación (T4)	1100	500	2	mm	Acero Negro

3. COMPONENTES ELÉCTRICOS.

Este reactor funciona con un voltaje de 110 voltios y posee los siguientes componentes en el panel eléctrico:

Descripción	Cantidad	Voltaje
Controlador de temperatura	1	110
Selector de 3 posiciones	2	-
Contactores	2	110
Botones de encendido	5	110
Luz Piloto	5	110
Transformador	1	110/220
Capacitor	2	110

Otros dispositivos eléctricos fuera del panel eléctrico.

Descripción	Cantidad	Voltaje
Motores	3	110
Bomba centrífuga	1	110
Resistencias	2	110
Termocuplas	2	110

3.1. PANEL ELÉCTRICO.

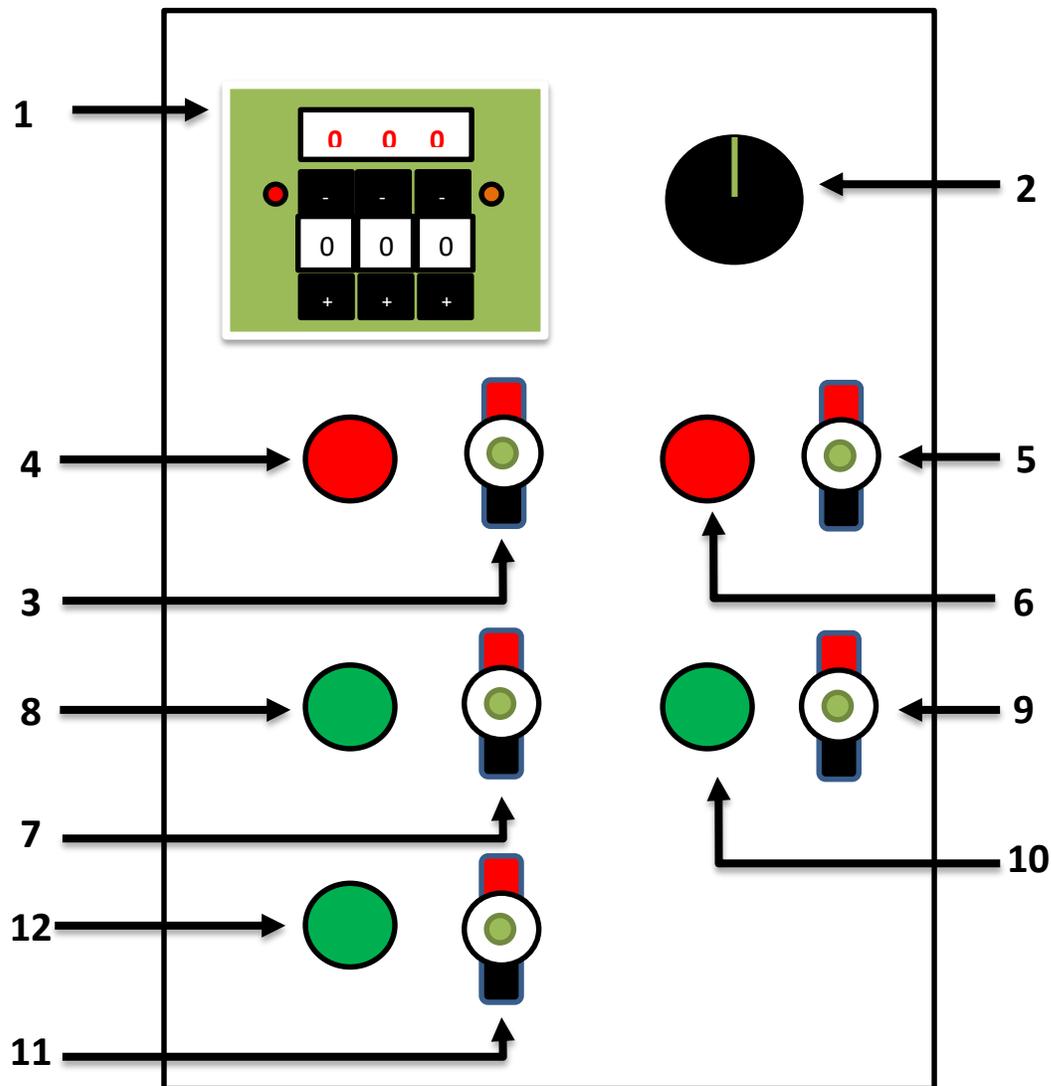


Ilustración 1 Esquema del panel eléctrico.

LEYENDA:

- 1.- Controlador de temperatura.
- 2.- Selector de 3 posiciones.
- 3.- Interruptor controlador de temperatura.
- 4.- Luz piloto del controlador de temperatura.
- 5.- Interruptor de la bomba centrífuga.
- 6.- Luz piloto de la bomba centrífuga.
- 7.- Interruptor del agitador del tanque de metóxido.
- 8.- Luz piloto del agitador del tanque de metóxido.
- 9.- Interruptor del agitador del tanque del reactor.

- 10.- Luz piloto del agitador del tanque del reactor.
- 11.- Interruptor del agitador del tanque de purificación.
- 12.- Luz piloto del tanque de purificación.

4. ESTRUCTURA DEL REACTOR.

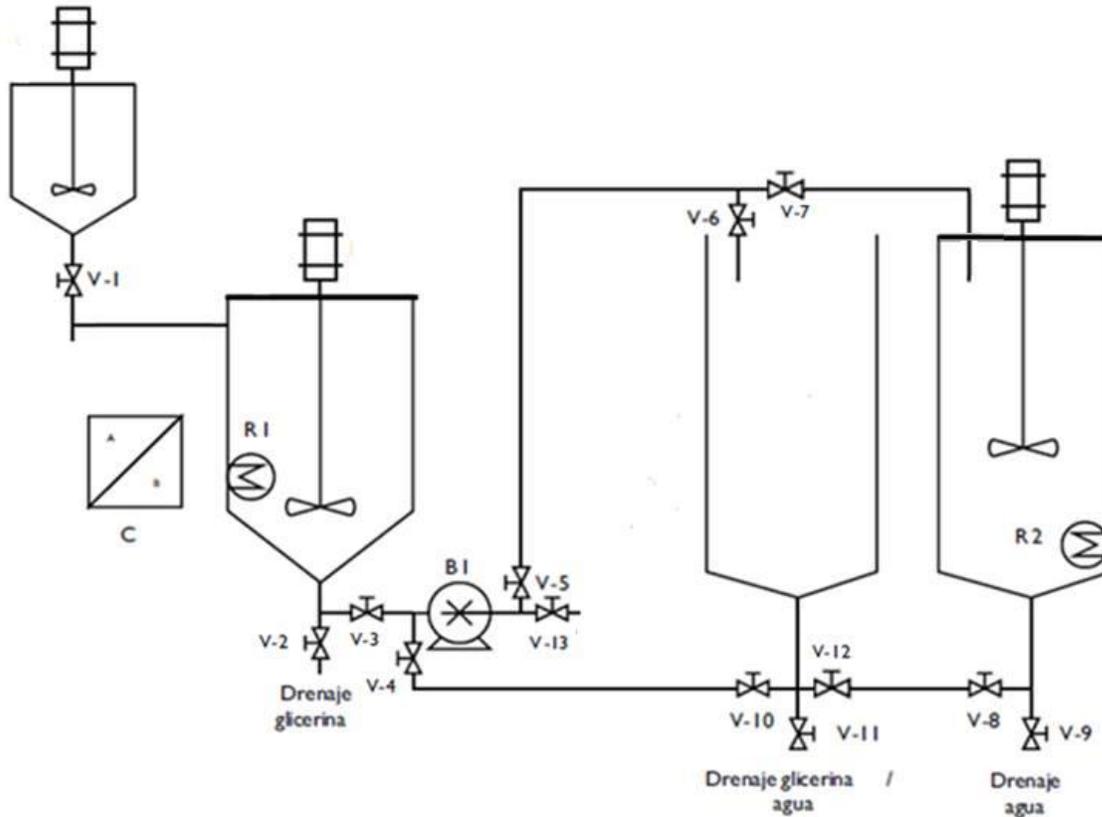


Ilustración 2 Esquema del reactor.

Simbología:

- V: Válvulas de cierre rápido.
- R: Resistencias.
- C: Caja de control.
- B: Bomba

5. FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.

Antes de empezar a utilizar el equipo, asegúrese de que:

- Las válvulas estén cerradas.
- Todos los interruptores se encuentren apagados.
- Los tanques no contengan líquidos o residuos de pruebas anteriores.
- Las aspas de los agitadores estén limpias.

- Tener en 0 en controlador de temperatura.

5.1. PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN.

- 1.- Una vez vertido el aceite en el tanque (T2), se enciende el interruptor del controlador de temperatura (03); se encenderá la pantalla y se apagará.
- 2.- Girar el selector hacia la izquierda, esto activará la termocupla del tanque (T2).
- 3.- Poner en el controlador (01) la temperatura deseada, esto activará los contactores y enviarán energía a la resistencia del tanque (T2).
- 4.- Encender el interruptor de agitador del tanque del reactor (09).
- 5.- Al llegar a la temperatura requerida abrir la válvula (V1) para introducir el metóxido.
- 6.- Esperar el tiempo de reacción (40min – 1H).
- 7.- Girar el selector a la posición del medio y apagar el agitador y el controlador de temperatura.

Aunque la decantación del fluido se puede realizar en el mismo tanque hay un tanque exclusivamente para la decantación (T3); para enviar el fluido al decantador:

- 8.- Abrir las válvulas (V3; V5; V6).
- 9.- Encender el interruptor de la bomba centrífuga (05).
- 10.- Cerrar las válvulas abiertas.

5.2. PROCESO DECANTACIÓN.

El tiempo para la decantación es de aproximadamente 12 horas, una vez pasado el tiempo de espera debemos eliminar la glicerina, para esto:

- 1.- Abrir la válvula (V11) y esperar a que salga la glicerina.
- 2.- En cuanto comience a salir biodiesel (Cambio del color) cerrar la válvula (V11).

5.3. PROCESO DE LAVADO.

Para el proceso de purificación debemos:

- 1.- Abrir las válvulas (V10; V4; V5; V7) y encender la bomba centrífuga (05) hasta enviar todo el líquido al tanque (T4); cerrar todas las válvulas.
- 2.- Encender el controlador de temperatura, girar el selector hacia la derecha y poner la temperatura deseada para el lavado (Por lo general 55°C).
- 3.- Encender el agitador del tanque de lavado (11).
- 4.- Añadir agua en cuanto el controlador haya llegado a la temperatura esperada.
- 5.- Agitar el tiempo necesario y apagar.
- 6.- Dejar decantar (Decantación mucho más rápida)
- 7.- Eliminar el agua abriendo la válvula (V9)
- 8.- Repetir el proceso hasta que el agua salga clara.

5.4. PROCESO DE SECADO.

El secado es el paso en el que eliminaremos el agua presente en el biodiésel, para esto:

- 1.- Encender el controlador de temperatura.
- 2.- Girar hacia la derecha el selector y establecer una temperatura de 100°C.
- 3.- Encender el agitador y esperar hasta que se evapore el agua.

6. SEGURIDAD Y CUIDADO.

6.1. ROPA Y EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD

El uso de ropa y equipamiento de seguridad cerciora el cuidado de la calidad de los reactivos químicos utilizados y asegura el cuidado de la salud del operador del reactor.

- 1.- Usar guantes de látex en el momento de realizar el manejo de cualquier sustancia peligrosa.
- 2.- Usar guantes de cuero u otro material resistente al calor cuando se trate con superficies calientes.
- 3.- Utilizar máscara con respirador en todo momento para evitar la absorción de gases peligrosos para el ser humano.

- 4.- Utilizar lentes protectores en todo momento para evitar que salpicaduras lastimen la vista del operador.
- 5.- Vestir mandil en todo momento.
- 6.- Vestir botas de goma, preferiblemente con punta de acero.
- 7.- Siempre disponer de extintores de espuma o de polvo seco en el lugar donde se realiza el manejo del reactor, y en donde se almacene el metanol, aceite y biodiésel.
- 8.- Disponer de una ducha y un lavabo de emergencia en caso que exista derrame o salpicadura.

6.2. LIMPIEZA DEL REACTOR.

Para la limpieza del reactor se puede utilizar detergente para remover cualquier impureza encontrada en los tanques.

- 1.- Hacer uso de los agitadores para realizar limpieza dentro de los tanques.
- 2.- Hacer uso de la bomba para la limpieza de las tuberías y evacuar el agua.
- 3.- Enjuagar hasta que no exista detergente en el sistema.
- 3.- No humedecer cualquier elemento o parte eléctrica del reactor.
- 4.- Mantener limpio el lugar donde se encuentra el reactor.