



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A
PARTIR DEL ACEITE DE HIGUERILLA”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO QUÍMICO

JAIME GEOVANNY CHASIG POMBOZA

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser el que ha guiado mi vida, por haberme dado la fortaleza y fuerza necesaria para alcanzar, esta gran meta hecha realidad.

A mis queridos padres, quienes con su sacrificio, esfuerzo y amor, hicieron de mí una persona para bien, además inculcaron en mí el deseo de superación, progreso, los cuales día a día con su apoyo incondicional, cariño y dedicación incentivaron al cumplimiento de mis metas y anhelos.

A la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de manera especial mi reconocimiento a el Ing. Mario Villacres director de mi tesis y al Dr. Iván Ramos colaborador, por haber brindado su mano amiga y colaboración, quienes con sus conocimientos me supieron guiar, orientando con un criterio correcto, acertado y oportuno, para la realización de esta tesis de grado.

A todas aquellas personas que aportaron con un granito de arena, eh hicieron posible la culminación del presente trabajo investigativo, a mis profesores, amigos que de una y otra manera estuvieron a lo largo de mis estudios.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis queridos padres Luis Chasig y Magdalena Pomboza, que con amor, paciencia me supieron extender su mano, y apoyaron toda mi etapa estudiantil, para así salir juntos adelante.

A mis hermanos: Fernando, Ángela, Rolando, Juan, Pilar y Anahí, quienes con su apoyo incondicional y positivamente han contribuido en este presente proyecto de graduación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Silvio Álvarez
DECANO FAC. CIENCIAS		
Ing. Mario Villacrés A.
DIRECTOR ESC. ING. QUIMICA		
Ing. Mario Villacrés A
DIRECTOR DE TESIS		
Ing. Hugo calderón
MIEMBRO DEL TRIBUNAL		
Dr. Iván Ramos
DIRECTOR COLABORADOR		
Tec. Carlos Rodríguez
DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACIÓN		

HOJA DE RESPONSABILIDAD

***“Yo, JAIME GEOVANNY CHASIG
POMBOZA soy responsable de las ideas
expuestas y propuestas en el presente
trabajo de investigación y en patrimonio
intelectual de la Memoria de Grado
pertenece a la ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”***

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°API:	Grados API (Gravedad API)
°C:	Grados Celsius (Centígrados)
β :	Angulo del sector circular
API:	American Petroleum Institute (Instituto Americano de Petróleo)
A:	Aceite de Higuera
ab:	Arco del sector circular
Ap:	Alto del paleta
ASTM:	American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para la Certificación de Materiales)
B100:	Biodiesel al 100%
Bls:	Barriles
CC:	Cantidad de Catalizador
cm:	Centímetros
cm ³ :	Centímetros Cúbicos
Cp:	Capacidad Calorífica
ρ :	Densidad
D:	Diámetro
$\emptyset t$:	Diámetro del tanque
$\emptyset r$:	Diámetro del rodete
Er:	Espesor del rodete
fs:	Factor de seguridad
GGL:	Glicerina Grado Industrial
Gl:	Glicerina
Gals:	Galones
GLP:	Gas Licuado de Petróleo

h:	Altura
hi:	Altura inclinada del cono
HDPE:	Polietileno de Alta Densidad
I.A.	Índice de acidez
I.C.	Índice De Cetano
I.Y.	Índice de Yodo
L:	Litros
Lb:	Longitud del brazo
Lf:	Longitud entre el brazo y el fondo del tanque
m:	Masa
M:	Metanol
min:	Minutos
Na:	Hidróxido de sodio
N _{re} :	Numero de Reynolds
N _p :	Número de Potencia
P _{1,2} :	Perímetros
Q:	Flujo de Calor
RMA:	Relación molar metanol aceite
Sema:	Semana
T:	Temperatura
π :	Pi
U:	Coefficiente Global de Transferencia de Calor
Vol.	Volumen
V _r :	Volumen real
V _t :	Volumen total
V _c :	Volumen del fondo cónico

TABLA DE CONTENIDO

	Pp.
PORTADA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
INDICE DE ABREVIATURAS	
TABLA DE CONTENIDO	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS	
INDICE DE ANEXOS	
RESUMEN.....	I
SUMMARY.....	II
INTRODUCCIÓN.....	III
ANTECEDENTES.....	V
JUSTIFICACIÓN.....	VI
OBJETIVOS.....	IX
CAPITULO I	1
<i>1. MARCO TEORICO.....</i>	<i>1</i>
1.1. HIGUERILLA	1
1.1.1. ORIGEN	1
1.1.2. DESCRIPCIÓN ECOLÓGICA	2
1.1.3. COMPOSICIÓN DE LA SEMILLA	2
1.2. ACEITE DE HIGUERILLA O RICINO.....	3
1.2.1. PROPIEDADES DEL ACEITE	4
1.2.2. USOS DEL ACEITE	6
1.3. BIOCOMBUSTIBLES	7
1.3.1. BIODIÉSEL	8
1.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL BIODIESEL.....	10
1.3.2.1. Emisiones	10
1.3.2.2. Toxicidad	10
1.3.2.3. Biodegradabilidad:	11

1.3.2.4. Balance energético:	12
1.3.2.5. Almacenamiento, manipulación y distribución:	13
1.3.3. PRODUCCION DE BIODIESEL	14
1.3.3.1. MATERIAS PRIMAS USADAS EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.....	15
1.3.3.1.1. ACEITE	15
1.3.3.1.2. ALCOHOL	16
1.3.3.1.3. CATALIZADOR.	16
1.3.3.1.4. GLICERINA	17
1.3.3.2. REACCIONES DE TRANESTERIFICACION.	18
1.3.3.3. MECANISMO DE REACCIÓN.....	19
1.3.3.4. VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DE LA PRODUCCION.....	21
1.3.3.4.1. EFECTOS DE LA HUMEDAD Y ÁCIDOS GRASOS LIBRES.....	21
1.3.3.4.2. EFECTO DE LA RELACIÓN MOLAR	21
1.3.3.4.3. EFECTO DEL CATALIZADOR	22
1.3.3.4.4. EFECTO DEL TIEMPO DE REACCIÓN.....	23
1.3.3.4.5. EFECTO DE LA TEMPERATURA DE REACCIÓN.....	23
1.3.3.5. CARACTERÍSTICAS DEL BIODIESEL	25
CAPITULO II.....	29
2. PARTE EXPERIMENTAL.....	29
2.1. SIMULADOR PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL.....	29
2.1.1. MATERIALES.....	29
2.1.2. EQUIPOS.	29
2.1.3. SUSTANCIAS Y REACTIVOS	29
2.1.4. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL	30
2.2 DATOS COMPARATIVOS EXPERIMENTALES DE LAS VARIABLES DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL BIODIESEL.....	31
2.3 MATRIZ PARA TOMA DE DESICIONES REFERENTE A LAS VARIABLES DE PROCESO.....	33
2.3.1 DATOS EXPERIMENTALES DE DISEÑO.....	34
CAPITULO III	36
3. CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	36
3.1 CÁLCULOS DE INGENIERÍA.....	36
3.1.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS FASES DE PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL 36	
a). RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA Y PESADA.	36
b). PESADO DE LA MATERIA PRIMA.....	36
c). PREPARACIÓN DEL METÓXIDO.....	37
d). REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACION.	37
e). ENFRIAMIENTO.....	37
f). SEPARACIÓN DE FACES	38
g). SECADO	38
h). FILTRADO.....	38
i). ALAMACENAMIENTO	38
j). DISTRIBUCIÓN	39

k). CONTROL DEL PROCESO DE TRANSESTRIFICACION.....	39
3.1.3. DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO BASE DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN Y OTROS AFINES.....	41
3.1.3.1. CÁLCULOS PRELIMINARES PARA EL DISEÑO.....	41
3.1.3.1.1. CALCULO DEL VOLUMEN DE ACEITE.....	41
3.1.3.1.2. CALCULO DEL VOLUMEN DE METANOL.....	41
3.1.3.1.3. CALCULO DEL VOLUMEN DE HIDRÓXIDO DE SODIO.....	42
3.1.3.2. CÁLCULOS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMAS.....	43
3.1.3.3. CALCULOS PARA EL REACTOR (PREPARACIÓN DEL METÓXIDO).....	45
3.1.3.4. CÁLCULOS PARA CONSTRUIR EL FONDO CONICO DEL REACTOR (PREPARACION DEL METOXIDO).....	47
3.1.3.5. CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE AGITACIÓN PARA EL TANQUE METOXIDO.....	51
3.1.3.6. CALCULO DE LA POTENCIA PARA ACCIONAR EL RODETE.....	54
3.1.3.6.1. CALCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS.....	54
3.1.3.6.2. CALCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR.....	54
3.1.3.7. CALCULOS PARA EL REACTOR DE TRANSESTERIFICACION.....	55
3.1.3.8. CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE AGITACIÓN PARA EL TANQUE DE TRANSESTERIFICACION.....	59
3.1.3.9. CALCULOS PARA DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE SEPARACIÓN DE FACES	63
3.1.3.10. CALCULOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE BIODIESEL.....	69
3.1.3.11. SISTEMA DE TUBERÍAS Y BOMBAS.....	71
3.1.3.11.1. SISTEMA DE TUBERÍAS.....	71
3.1.3.11.2. SISTEMA DE BOMBAS.....	72
3.1.3.11.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA BOMBA.....	72
3.1.3.12. BALANCE DE MASA.....	76
3.1.3.13. BALANCE DE ENERGÍA.....	78
3.1.3.14. CALCULO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.....	80
3.1.3.15. CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS.....	81
3.1.3.16. CALCULO DEL NÚMERO DE PRANDT.....	82
3.1.4. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.....	83
3.1.4.1. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.....	83
3.1.5. TIPOLOGÍA DE MATERIALES Y CONTROLES.....	84
3.1.5.1. TIPO DE MATERIALES Y SUS CARACTERÍSTICAS DE TODO EL EQUIPAMIENTO BASE DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.....	84
3.1.6. REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO.....	85
3.2 RESULTADOS.....	88
3.2.4. RESULTADOS DE LOS EFECTOS DE LAS VARIABLES DEL PROCESO UTILIZANDO EL MÉTODO DE YATES.....	91
<i>CAPITULO IV.....</i>	<i>97</i>
<i>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</i>	<i>97</i>
<i>5. CONCLUSIONES Y RESULTADOS.....</i>	<i>100</i>
<i>5.1. CONCLUSIONES.....</i>	<i>100</i>
<i>5.2 RECOMENDACIONES.....</i>	<i>101</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla

Tabla.1.1.3-1. Composición de la semilla de Higuierilla.....	3
Tabla 1.2.1-1. Principales propiedades del aceite de Higuierilla.....	6
Tabla1.3.1-1.Principales características del biodiesel y diesel.....	6
Tabla1.3.1-2. Ventajas y Desventajas del Biodiesel.....	8
Tabla 2.2-1. Serie Experimental 1.....	30
Tabla 2.2-2. Serie experimental 2.....	30
Tabla 2.2-2. Serie experimental 2.....	31
Tabla 2.2-4. Serie experimental 4.....	31
Tabla 2.3-1.Valores definitivamente seleccionados para los niveles de los factores de estudio.....	32
Tabla 2.3.1-1. Datos experimentales de diseño.....	32
Tabla 2.3.1-2. Volumen de biodiesel obtenido en la reacción.....	33
Tabla 2.3.2-1. Densidades de las materias primas.....	33
Tabla 3.1.3.11-1. Perdidas en accesorios (constante K).....	70
Tabla 3.1.5-1. Descripción base de los Equipos y los tipos de materiales.....	79
Tabla 3.1.5-1. Descripción base de los Equipos y los tipos de materiales.....	81
Tabla 3.1.6-2. Costes de Operación a Escala de Laboratorio.....	82
Tabla 3.2.1-1.Resultados del Aceite de Higuierilla.....	83
Tabla. 3.2.2-1. Resultados de los factores y niveles para la obtención de biodiesel.....	84
Tabla. 3.2.3-1. Resultados rendimiento Producción De Biodiesel.....	84
Tabla: 3.2.4.2-1. Resultados de las variables para la obtención de biodiesel.....	86
Tabla 3.2.4.3-1. Resultados de la Cantidad de biodiesel por producción.....	87
Tabla 3.2.4.4-1. Resultados de la Cantidad de glicerina por producción.....	88
Tabla 3.2.4.5-1. Comparación de los datos del biodiesel con los datos.....	88
Tabla 3.2.4.6-1. Hoja técnica del dimensionamiento de los equipos.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PP.
Fig. 1.1-1 Planta de higuera.....	1
Fig. 1.1-2 Semillas de higuera.....	1
Fig. 1.2-1 Aceite de higuera.....	3
Fig.1.2.1-1 Estructura de un triglicérido.....	4
Fig.1.2.1-2 Estructura química del aceite de higuera.....	4
Fig. 1.3.3.2-1 Reacción de transesterificación.....	17
Fig. 1.3.3.3-1 Mecanismo de Reacción.....	18
Fig. 3.1.2-1 diagrama de flujo del proceso de producción de biodiesel..	39
Fig. 3.2.3-1 Rendimiento Producción de Biodiesel.....	84
Fig. 3.2.3-1 Rendimiento Producción de glicerina.....	85

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO

I. ACEITE DE HIGUERILLA Y REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACION.

II. AGITACIÓN VIGOROSA DURANTE LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACION.

III. SEPARACIÓN DE FASES.

IV. ESQUEMA DEL PROCESO DE PRODUCCION DE BIODDIESEL.

V. BIODIESEL COMO PRODUCTO Y GLICERINA COMO RESIDUO.

VI. DIAGRAMA DISTRIBUCION DEL LA PLANTA.

VII. DIAGRAMA DE INGENIERÍA DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.

VIII. DIAGRAMA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DEL AGITADOR.

IX. DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE REACTOR.

X. VERIFICACIÓN DE LA REACCIÓN DE TRANESTERIFICACION.

XI. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA.

XII. CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL AL 100%.

RESUMEN

Se diseñó un sistema de producción, para la obtención de biodiesel a partir del aceite de higuera, aceite vegetal que representa una alternativa viable para la producción de biodiesel, sin competir con la industria alimenticia.

Encontramos variables influyentes en proceso de producción, llegando a una matriz, donde las variables que influyen en la producción de biodiesel es, la cantidad de catalizador, la relación metanol aceite, y la temperatura.

Mediante la utilización de método de Yates, se calcula las diferentes interacciones individuales y combinadas entre las variables, estableciendo que el máximo rendimiento de biodiesel en la reacción de transesterificación, se obtiene bajo las siguientes condiciones: temperatura 40 °C, una relación molar metanol/aceite de 4:1 y una concentración de catalizador de 1.2%, variables que determinaron las fases del proceso de producción como; recepción de materia prima, preparación del metóxido de sodio, reacción de transesterificación, separación de fases, lavado, secado, almacenamiento y distribución. El dimensionamiento de los equipos se realizó, mediante cálculos de ingeniería y simulaciones de proceso con modelos matemáticos, para una capacidad de 50 L/día, que trabajara bajo un Sistema de Operación Batch.

El biodiesel presenta un color amarillo claro, olor a alcohol, la glicerina que se obtiene como subproducto tiene un color miel, la caracterización del biodiesel indica excelentes propiedades, recomendando que se pueda utilizar como biocombustible y ser mezclado con el diésel convencional.

SUMMARY

Design of a production system, for obtaining biodiesel from castor, vegetable oil that represents viable alternative for biodiesel production, without competing with food industry.

Within the main objectives are: designing a biodiesel production system, also determining the variables which influence in biodiesel production and finally characterizing the biodiesel obtained like 100%.

For the present study was applied a statistical analysis called Yates method that determines the maximum reaction proficiency. It is calculated individual interaction and combined these ones among the variables, establishing the maximum biodiesel proficiency in the Trans esterification reactions: it was obtained under the following conditions: temperature 40°C, a molar relationship of methanol/oil from 4 to 1 and a catalyst concentration of 1.2%.

The variables were determined by the production process phases such as: raw material reception sodium methoxide, transesterification reaction, phase's separation, washing, drying, storage and distribution. The sizing of the equipment was made through engineering calculus and process simulation with mathematical models, for a capacity of 50 liters per day, which works under a batch operation system.

Biodiesel presented a light yellow color, alcohol odor, glycerin that it is obtained as a sub product which has a honey color. The biodiesel characterization indicates excellent properties recommending that this one can be used as a biofuel and being mixed with the conventional diesel.

INTRODUCCION

La búsqueda de fuentes de energías renovables y limpias se ha convertido en una necesidad urgente, debido a los graves problemas ambientales que ha causado la liberación de contaminantes provenientes de la quema de combustibles fósiles y a la disminución de las reservas petroleras. Existen varias fuentes alternativas de energía que poseen un gran potencial para cubrir nuestras necesidades energéticas en el futuro, dentro de estas fuentes se encuentran: sol, viento, mareas, olas y biomasa; esta última ha cobrado gran importancia en los últimos años y dentro de ella ubicamos a los biocombustibles tales como Biodiesel (BD) y Bioetanol.

El Biodiesel (alquil ésteres de aceites vegetales o grasas animales) representa una alternativa para la sustitución del diésel derivado del petróleo, debido a que las emisiones de la combustión del biodiesel son menores en comparación con aquéllas originadas por la combustión del diésel convencional. El aceite de higuera conocido comúnmente como aceite de ricino, representa una materia prima viable para la producción de biodiesel; debido a que es extraído de la semilla de higuera (*Ricinus communis*), una planta endémica de zonas tropicales y subtropicales, que crece en forma silvestre, no requiere de condiciones especiales para su cultivo (humedad, temperatura, etc.) y es vista incluso como maleza. El aceite de esta planta no es comestible, a diferencia de las materias primas más utilizadas para producir biodiesel como (soya, girasol y canola), por lo tanto, no implicaría competir con la industria alimentaria, aspecto por el cual ha sido muy criticada la producción de este biocombustible.

En el presente trabajo de investigación está orientado al diseño de un sistema de producción de biodiesel a partir del aceite de higuera, mediante la reacción de transesterificación en

medio básico, donde los triglicéridos principales componentes de los aceites vegetales o grasas de animales, reaccionan con un alcohol de cadena corta, en presencia de un catalizador generando alquil esterres de acuerdo con las normas técnicas vigentes.

Para la ejecución de este proyecto partimos usando aceite 100% puro de higuierilla, al igual que el alcohol (metanol) a 98% de pureza y catalizador hidróxido de sodio, con los cuales se realizaron una serie de ensayos experimentales, para lo cual utilizamos una metodología experimental factorial de 2^3 , el cual consiste en realizar dos replicas con tres factores a estudiar, estos factores son: la cantidad de catalizador, relación molar (metanol-aceite) y la temperatura, manteniendo constante la variables de proceso de presión, velocidad de agitación, tiempo de reacción entre otras, obteniéndose datos de fundamental importancia para el diseño.

La serie de experimentos se realizó en el laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela de Ingeniería Química, de la Facultad de Ciencias, a nivel de laboratorio nuestro estudio emprendió una serie de variaciones, en la variables establecidos por la literatura y en estudios realizados con anterioridad, para encontrar parámetros óptimos que nos ayudaran a la producción de biodiesel, se encontró que las variable que más afectan la producción, es la temperatura así como la cantidad de catalizador. El producto obtenido de la reacción (biodiesel) será separado de la glicerina (subproducto de la reacción) por diferencia de densidades, para demostrar la calidad del producto se realizó una caracterización del biodiesel, en el Laboratorio del Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación (DPEC) de la Universidad Central del Ecuador según las (Normas ASTM D), dando resultados satisfactorios.

ANTECEDENTES

El biodiesel se ha convertido en un combustible diésel muy estudiado últimamente debido a la preocupación de la sociedad actual por disminuir la contaminación provocada en gran parte por las emisiones que generan otros combustibles, además, el biodiesel es hecho de fuentes renovables como aceites vegetales y grasas animales.

Cien años atrás, Rudolf Diésel ensayó aceites vegetales como combustible para sus máquinas. Con la baja en el precio del petróleo, las fracciones de crudo apropiadas eran refinadas y utilizadas como combustible y los combustibles diésel y las máquinas diésel evolucionaron juntas. En los años 30`s y 40`s los aceites vegetales fueron usados como combustibles diesel, pero solamente en situaciones de emergencia.

Se han hecho investigaciones considerables sobre combustible diésel a partir de aceites vegetales y grasas animales, siendo éstas últimas menos estudiadas, ya que requieren un estudio diferente debido a las diferencias de sus propiedades naturales. Algunos aceites poseen altas viscosidades y las grasas son sólidas a temperatura ambiente por lo que se deben obtener sus derivados para poder utilizarlos como combustible en las máquinas existentes.

Antes de utilizar el proceso de transesterificación para producir biodiesel, se estudiaron tres métodos: uso directo o mezcla de aceites, micro emulsiones y pirolisis. Sobre uso directo, el trabajo más avanzado con aceite de girasol se dio en el sur de África debido al embargo del aceite. En Brasil, en 1980 se usaron máquinas de pre-combustión con una mezcla de 10% de aceite vegetal para mantener la máquina sin alteraciones ni desajustes. También se ha usado una mezcla de aceite usado de cocina (95%) y combustible diésel (5%), precalentando para

compensar las bajas temperaturas del ambiente. El único problema reportado fue la contaminación del aceite lubricante (la viscosidad se incrementa debido a la polimerización de aceites vegetales polinsaturados).

Las micro emulsiones son mezclas con solventes como metanol, etanol y 1-butanol para resolver el problema de alta viscosidad. Se han estudiado las variables que afectan la producción de metil ésteres grasos de los aceites de maní, girasol, soya y semilla de algodón a diferentes condiciones, así como el efecto del mezclado sobre la transesterificación de grasa animal, específicamente la grasa o sebo de ganado vacuno.

La metanólisis del aceite de higuera fue estudiada por S. S. Bellibal y J. G. Kane en 1961, analizando la influencia de la temperatura, el tiempo de reacción y los ácidos grasos libres, utilizando metóxido de sodio como catalizador. También Conde C. A. estudió esta reacción pero en medio ácido (1974), utilizando HCl como catalizador.

En Europa ya se produce biodiesel, pero teniendo como materia prima los aceites de otros cultivos de oleaginosas, como colza, girasol, cardo y soya. Alemania produce 415000 toneladas anuales y 286000 Francia, países donde es utilizado en el sector del transporte. La industria de biodiesel más desarrollada, está en Malasia, país que cuenta con tres millones de hectáreas sembradas en palma. Allí, desde 1995 funciona una planta de producción de biodiesel, combustible que en esa nación hace mover los motores de buses y camiones y los estáticos de muchas fábricas. (1)

JUSTIFICACIÓN

¿Por qué producir *Biodiesel* podría ser beneficioso para el Ecuador?

Al analizar el tema sobre la producción de biocombustibles y particularmente sobre el biodiesel, existen algunos factores estructurales y conjunturales, que pueden responder a la inquietud planteada, el incremento cíclico de los precios del petróleo a nivel mundial es un aliento para los países productores de aceites vegetales, la dependencia del Ecuador de la importación de combustibles como GLP, diésel 2-Nafta, es una realidad preocupante, se deben buscar alternativas que permitan aprovechar las fuentes renovables de energía, no solo por razones económicas, sino también ambientales y urge la necesidad de reevaluar nuestra matriz energética con proyecciones futuras.

En este contexto, la producción de Biodiesel en el Ecuador, contribuiría a disminuir la dependencia energética, que surge de las compras de diésel que realizamos a otros países, la utilización en mezclas mejoraría la calidad del diésel nacional, y además su producción agrícola ampliaría el desarrollo agrario, generando mayores fuentes de trabajo y riqueza a largo plazo, el biocombustible es renovable y biodegradable, ya que produce emisiones menos dañinas al ambiente que aquellas que producen los combustibles fósiles, y contribuye a la disminución del CO₂.

El Biodiesel se podría considerar un producto sustitutivo del diésel en el Ecuador, la producción anual de este combustible en las refinerías del país, es de aproximadamente 14 millones Bls., y la demanda anual constituida por los sectores pesquero, eléctrico, industrial y

automotriz es de aproximadamente 25 millones Bls., debiendo el déficit cubrir Petroecuador mediante importaciones, las cuales se realizan en condiciones de costo y flete.

La dualidad que debe decidir al país en relación a la producción de biocombustibles está relacionado a considerar los recursos renovables (Biodiesel) o el crecimiento sustentable, salvo en casos especiales, en la practica el único sector industrial que está en concisiones de proveer materia prima con los requisitos técnicos mínimos (estabilidad, residuo carbonoso, etc.), en los volúmenes demandados para su uso extenso y continuo de un mercado masivo como el de combustibles, es la industria del proceso de Oleaginosas o la industria de la caña azucarera, esta realidad limita el desarrollo de los biocombustibles a corto plazo.

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar un sistema de producción de biodiesel a partir del aceite de higuera.

ESPECÍFICOS

- ✓ Obtener biodiesel a partir del aceite de higuera mediante una reacción de transesterificación, tomando en cuenta las variables del proceso de RMA/CCY T.
- ✓ Diseñar un sistema para la obtención de biodiesel a escala de laboratorio a partir del aceite de higuera.
- ✓ Caracterizar el biodiesel obtenido, biodiesel al 100% de acuerdo a las normas ASTM D-975 e INEN vigentes en el país.
- ✓ Realizar un diagrama de procesos para la obtención de biodiesel en las condiciones óptimas de producción.
- ✓ Determinar las características del equipo básico del proceso de producción de biodiesel.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO

1.1. HIGUERILLA

La higuierilla es una oleaginosa de nombre científico (*ricinus communis*), también llamada palma Cristi, castor, higuera infernal, tártago, higuiereta, ricino, es un arbusto que crece en forma silvestre en la mayor parte de las regiones tropicales. Sus semillas son venenosas por lo cual no son consumidas directamente sino que son prensadas y sometidas a extracción por solventes para obtener aceite y torta.

Fig. 1.1-1 Planta de higuierilla



Fuente: Higueroil

Fig. 1.1-2 Semillas de higuierilla



1.1.1. ORIGEN

El origen de la *Ricinus Communis* L. está en Abisinia, Irán y Afganistán aparece como una planta ornamental en todas las regiones de la zona tropical o subtropical; de donde se extendió al Medio Oriente como planta silvestre. En la India y la China fue conocida hace unos 3000 años, probablemente se introdujo en América después del descubrimiento. Los egipcios hace más de 4000 años, empleaban la higuierilla en la iluminación o alumbrado de sus casas, parece que era una planta altamente estimada porque en algunas tumbas egipcias se encontró sus

semillas. El nombre aplicado ya a esta planta por Plinio y otros autores romanos, alude al parecido de sus semillas con la garrapata, llamada también ricinus en latín. Pero el ricino era conocido desde mucho antes, pues lo nombran autores griegos como, Teofrasto y Dioscórides, con el nombre de crotón. (4)

1.1.2. DESCRIPCIÓN ECOLÓGICA

Es conocida desde la antigüedad, no sólo por la alta toxicidad de sus semillas sino, además, porque su aceite ha sido siempre muy valorado como purgante.

Es una planta que se encuentra desde el nivel del mar hasta los 3000 metros, en los bordes de los caminos, quebradas, ríos, en solares, en huertas y también sembrada en cultivos comerciales con todas las normas técnicas de la agricultura moderna.

Las plantas de ricino tienen un rendimiento de alrededor de 4 toneladas por hectárea, proporcionando 1,5 toneladas de aceite bruto. La planta absorbe también anhídrido carbónico, y por lo tanto reduce las acumulaciones de gas de invernadero en la atmósfera. Se estima que el nivel de absorción de anhídrido carbónico de las plantas de ricino es de 34,6 toneladas por hectárea, con dos ciclos de cultivo por año.

1.1.3. COMPOSICIÓN DE LA SEMILLA

El producto activo es la ricenina que es altamente tóxica para el hombre y los animales, debiendo tener cuidado con los residuos de este compuesto en la extracción del aceite.

Tabla.1.1.3-1.

Composición de la semilla de Higuierilla

COMPOSICION	EN PORCENTAJE
Aceite	46.19
Almidón	20.00
Albúmina	0.50
Goma	4.31
Resina Bruta Y Principios Amargos	1.91
Fibra Leñosa	20.00
Agua	7.09
TOTAL	100.00

Fuente higuercol. (5)

1.2. ACEITE DE HIGUERILLA O RICINO

El aceite de higuierilla llamado también aceite de ricino o de castor se extrae de las semillas de la higuierilla (*Ricinus Communis*). Su principal componente es el ácido ricinoleico, el cual se encuentra formando el triglicérido simple denominado trirricinoleina, cuya concentración en porcentaje por peso es cercana al 90%. Adicionalmente, en el aceite de higuierilla se pueden encontrar pequeñas cantidades de tripalmitina, triestearina y otros triglicéridos mixtos. Dada su naturaleza química, el aceite de higuierilla es un líquido altamente viscoso, miscible en alcohol y ácido acético y de bajo punto de solidificación.

Fig. 1.2-1 Aceite de higuera

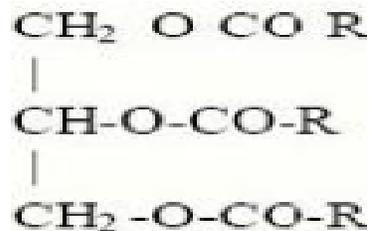


Fuente: Jaime Chasig

1.2.1. PROPIEDADES DEL ACEITE

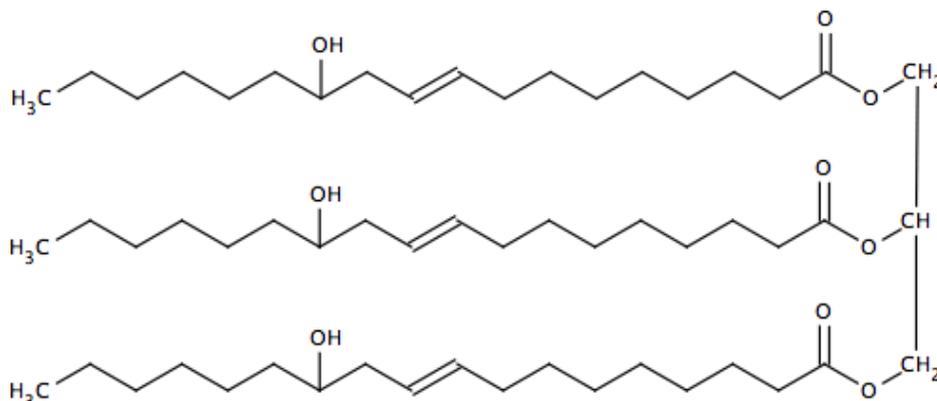
El aceite de higuera, conocido comúnmente como aceite de ricino, se obtiene mediante la aplicación de presión y la extracción de solventes. La producción tanto de las semillas como del aceite se realiza actualmente en su mayor parte en India, Brasil y se consume sobre todo en Estados Unidos, Europa y Japón, principalmente para usos industriales. Está compuesto casi enteramente por triglicéridos del ácido ricinoléico.

Fig.1.2.1-1 Estructura de un triglicérido



Es un aceite espeso, que entre los aceites vegetales se distingue por su alto contenido en un 90% de ácido ricinoléico; con la peculiaridad de ser un ácido graso de 18 carbonos, con un doble enlace en los carbonos 9, 10 y un grupo hidroxilo en el carbono 12.

Fig.1.2.1-2 Estructura química del aceite de higuera.



Las características del aceite de ricino cumplen con la mayoría de los requisitos necesarios para que biocombustible y biodiesel sean de buen rendimiento. Una disciplina de pensamiento aduce que el aceite de ricino es la sustancia más adecuada para producir biodiesel, porque es el único aceite vegetal soluble en alcohol y por lo tanto no se requiere la aplicación de calor y la consiguiente demanda de energía transformarlo en combustible. El grupo hidroxilo en el aceite, le aporta unas propiedades especiales: solubilidad en alcoholes, viscosidad y gravedad específica relativamente altas. Además, compatibilidad con resinas y gomas naturales, aceites, ceras, resinas sintéticas y celulósicas; materiales en los cuales ejerce acción plastificante. Los grupos funcionales, hidroxilo, doble enlace y éster proveen sitios de reacción para la obtención de muchos derivados.

Dada su naturaleza química, el aceite de higuera es un líquido altamente viscoso, miscible en alcohol y ácido acético y de bajo punto de ebullición. A continuación en la tabla.1.2.1-1 se detallan las principales propiedades del aceite de higuera y se comparan algunos de los valores experimentales con valores típicos reportados en la literatura.

Tabla 1.2.1-1**Principales propiedades del aceite de higuera.**

Parámetro	Unidades	Valor Teórico	Valor Experimental	Estándar ASTM
Densidad	g/cm ³	0,96	0,971	D-5
Agua/sedimentos	% volumen	--	0	D-96
Corrosión	-	--	1A	D-665
Contenido de cenizas	% peso	< 0,01	0,015	D-482
Residuo carbonoso	% peso	0,22	0,101	D-189
Punto d inflamación	°C	270	279,3	D-93
Punto de fluidez	°C	-10	-22	D-97
Viscosidad a 40 °C	cSt	297	266,81	D-445
Índice de acidez	mg. KOH/g aceite	--	2,1	D-1980
Índice saponificación	mg. KOH/g aceite	--	187,4	D-5558
Índice de yodo	g. Yodo/100g de aceite.	81 - 97	84,3	D-5554

Fuente: Laboratorio de Crudos y derivados

Facultad de Minas – U.N.C. (6)

1.2.2. USOS DEL ACEITE.

El aceite que se extrae de las semillas de la ricinus communis L. se emplea en motores de altas revoluciones, y este mismo aceite refinado se utiliza en la producción de cosméticos, aun en productos medicinales, especialmente para efectos purgativos o para aplicaciones de úlceras o brotes sobre la piel. El aceite sulfonado de higuera se conoce también por su utilidad en la

impresión y acabado de tejidos de algodón, lino y seda. Este aceite en su estado de deshidratación sirve como base en la preparación de líquidos para frenos, pinturas; cuando el aceite de ricino se disuelve en alcohol, es útil en la producción de lociones, perfumes; tiene su importancia además en la manufactura de plásticos y de nylon.

1.3. BIOCOMBUSTIBLES

Los biocombustibles son combustibles de origen biológico obtenido de manera renovable a partir de restos orgánicos. Estos restos orgánicos proceden habitualmente del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas etc.

Todos ellos reducen el volumen total de CO₂ que se emite 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.

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. En Europa y Estados Unidos, se ha implantado una legislación que exige a los proveedores mezclar biocombustibles hasta unos niveles determinados. Esta legislación ha sido copiada luego por muchos 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’

1.3.1. BIODIÉSEL

El Biodiesel es un combustible sustituto del gas-oíl para motores diésel, el cual puede ser producido partiendo de materias primas agrícolas (aceites vegetales y/o grasas animales), aceites o grasas de fritura usados 1 y metanol o etanol (estos también puede ser obtenidos a partir de productos agrícolas).

El biodiesel posee las mismas propiedades del combustible diésel empleado como combustible para automóviles, camiones, ómnibus y puede ser mezclado en cualquier proporción con el diésel obtenido de la refinación del petróleo. No es necesario efectuar ninguna modificación en los motores para poder emplear este combustible.

El biodiesel, desde el punto de vista de la inflamabilidad y toxicidad, es más seguro que el gas-oíl proveniente del petróleo, no es peligroso para el ambiente y es biodegradable. En la siguiente tabla se resumen las características típicas del biodiesel y del diésel petrolífero:

Tabla 1.3.1-1

Principales Características Típicas del Biodiesel y Diésel

Datos Físico - Químicos	Biodiesel	Diésel
Composición combustible	Ester metílico Ac. Grasos C ₁₂ -C ₂₂	Hidrocarburo C ₁₀ -C ₂₁
Poder calorífico inferior, kcal/kg (aprox.)	9500	10800
Viscosidad cinemática, cst (a 40°C)	3,5 - 5,0	3,0 - 4,5
Peso específico, g/cm ³	0,875 - 0,900	0,850
Azufre, % P	0	0,2
Punto ebullición, °C	190 - 340	180 - 335
Punto inflamación, °C	120 - 170	60- 80
Punto escurrimiento, °C	-15 / +16	-35 / -15
Número cetanos	48 - 60	46
Relación estequiometria Aire/comb. p/p	13,8	15

Fuentes: *Biodiesel Use- Technical Report - 1997*

En la actualidad, el biodiesel se ha convertido en uno de los combustibles más atractivos debido a sus múltiples ventajas, pero sin olvidar sus desventajas ver (Tabla. 1.3.1-1).

Tabla.1.3.1-2

Ventajas y Desventajas del biodiesel.

Ventajas	Desventajas
Renovable, bajas emisiones, reducción de la contaminación urbana	Alta viscosidad
No tóxico y velocidad de degradación cuatro veces comparada con la del petrodiesel. Su contenido de oxígeno mejora el proceso de degradación.	Menos oxidativa mente estable que el diésel de petróleo. Combustibles viejos pueden convertirse en ácidos y formar sedimentos. Estos se pueden prevenir usando aditivos.
Alto número cetánico y excelente lubricación	Tiene 5% menos de energía por galón
Alto punto de inflamación (>300F)	Puede formar geles igual que el diésel regular. Es posible controlar esto mediante el uso de aditivos.
No requiere de modificaciones en el motor.	Puede causar taponamiento en los filtros (a bajas temperaturas, debido a la formación de polímeros, depósitos en el tanque de combustible y otros contaminantes) puede evitarse filtrando el combustible.
Desarrollo rural e industrial, nuevas oportunidades económicas en áreas rurales.	En relación con el diésel convencional el biodiesel muestra un pobre comportamiento de flujo en frío.
Los estere mono alquílicos contienen aproximadamente un 10% de oxígeno en peso, mejorando la eficiencia en la combustión.	El consumo de combustibles primero disminuye y luego incrementa con el incremento de la velocidad. La razón de esto es que la potencia producida a bajas velocidades es consumida para superar la fricción del motor.
Bajo contenido de azufre y compuestos aromáticos	Altas emisiones de óxido de nitrógeno.
Reducción en las importaciones de diésel.	

1.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL BIODIESEL.

1.3.2.1. Emisiones.

- Monóxido de carbono (CO): la emisión durante la combustión del biodiesel en motores diésel es del orden del 50% inferior (comparada con aquella que produce el mismo motor con combustible diésel). Es conocida la toxicidad del monóxido de carbono sobre todo en las ciudades.
- Dióxido de azufre (SO₂): no se produce emisión de dióxido de azufre por cuanto el biodiesel no contiene azufre. El dióxido de azufre es nocivo para la salud humana así como para la vegetación.
- Material particulado: esta emisión con el empleo del biodiesel se reduce del 65% respecto del combustible diésel. Las partículas finas son nocivas para la salud.
- Productos orgánicos aromáticos: el biodiesel no contiene productos aromáticos (benceno y derivados) siendo conocida la elevada toxicidad de los mismos para la salud.
- Balance de dióxido de carbono (CO₂): el dióxido de carbono emitido durante la combustión del biodiesel es totalmente reabsorbido por los vegetales. Por lo tanto el biodiesel puede ser considerado un combustible renovable.

1.3.2.2. Toxicidad.

El impacto de este producto en la salud humana es un importante criterio para su empleo en aplicaciones comerciales. El efecto sobre la salud puede ser medido en términos de toxicidad del producto para el cuerpo humano así como el impacto sobre la salud de las emisiones de escape de los motores. Los laboratorios de investigación WIL conjuntamente con la

Universidad de Idaho investigaron la toxicidad del B20 y del B100 en ratas. Las pruebas mostraron que el biodiesel es menos tóxico que el petrodiesel.

En el trabajo de Sharp 5 este investigador halló que el uso del biodiesel reduce las emisiones en los gases de escape de hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (PAH) y sus nitros derivados (nPAH). Dichos compuesto (PAH) se redujeron de un 75 a un 85%, con excepción del benzo-antraceno que se redujo solo del 50%. Los nitro derivados (nPAH) usando biodiesel se redujeron drásticamente, con el 2-nitrofluoreno y 1-nitropireno, reducidos en un 90% y de los restantes nPAH solo se hallaron trazas. Esto es debido fundamentalmente al hecho que el biodiesel no contiene hidrocarburos aromáticos.

1.3.2.3. Biodegradabilidad:

La biodegradabilidad es la facilidad con la cual la molécula de un compuesto químico se rompe en otras más simples llegando a formar CO₂ y H₂O. El mecanismo predominante de la biodegradación es aquel debido a la actividad microbiana. Este mecanismo es deseable en el caso de pérdidas o derrames de biodiesel en el terreno o en el ambiente en general. Inversamente la estabilidad del carburante biodiesel es una característica importante sobre todo durante el almacenamiento, la manipulación y la distribución del mismo.

Los componentes del diésel se biodegradan lentamente o no son biodegradables. El diésel está formado por una mezcla de alcanos, alcanos ramificados, ciclo alcanos e hidrocarburos aromáticos. Muchas especies de microorganismos pueden degradar los alcanos, los otros compuestos pero los aromáticos son más resistentes a la degradación. El diésel contiene pocos componentes que poseen oxígeno en su molécula y por este motivo puede considerarse como poco activo biológicamente.

El biodiesel está formado por cadenas hidrocarbonadas que forman ésteres con dos átomos de oxígeno, lo que lo hace biológicamente activo. En el proceso de degradación los ácidos grasos se oxidan y degradan formando ácido acético y un ácido graso con pocos átomos de carbono.

Las mezclas del biodiesel y el petrodiesel han mostrado que la biodegradabilidad se acelera, así la mezcla B20 se biodegrada dos veces más velozmente que el petrodiesel. Otras pruebas hechas con mezclas con concentraciones del 20 al 80% mostraron que el biodiesel acelera la degradación del petrodiesel cuanto más biodiesel está presente en la mezcla.

La biodegradación bajo condiciones aeróbicas involucra microorganismos que metabolizan el sustrato en dos sustancias CO₂ y H₂O. Así la presencia del CO₂ es un indicador de la descomposición del sustrato. O sea se asume que el sustrato es la única fuente de carbono. Por lo tanto la cantidad de CO₂ liberado será proporcional a la cantidad de carbono consumido por los microorganismos del sustrato.

1.3.2.4. Balance energético:

El balance energético del biodiesel, considerando la diferencia entre la energía que produce 1 Kg. de biodiesel y la energía necesaria para la producción del mismo, desde la fase agrícola hasta la fase industrial es positivo al menos en de 30%. Por lo tanto puede ser considerada una actividad sostenible.

Además de las consideraciones favorables desde el punto de vista ecológico y energético merece destacarse la posibilidad del empleo inmediato en los motores.

El biodiesel quema perfectamente no requiriendo ningún tipo de modificación en motores existentes pudiendo alimentarse alternativamente con este combustible diésel o la mezcla de ambos. Esta es una diferencia importante respecto de otras experiencias de sustitución de

combustibles como aquella del etanol, donde era necesario efectuar en los motores modificaciones irreversibles.

El empleo de biodiesel aumenta la vida de los motores debido a que posee un poder lubricante mayor, mientras que el consumo de combustible además el auto ignición, la potencia y el torque del motor permanecen inalterados.

1.3.2.5. Almacenamiento, manipulación y distribución:

El biodiesel no es más peligroso en su manipulación y almacenaje que el petrodiesel. No se requieren particulares tanques o medidas de seguridad para su almacenamiento. El biodiesel tiene un punto de inflamación más alto que el petrodiesel.

Los productores de biodiesel aconsejan almacenarlo por no más de 3 a 6 meses a menos que se utilicen aditivos para estabilizarlo. Esto es válido también para las mezclas. Una vida más prolongada puede lograrse con la adición de estabilizantes.

El número de ácido del biodiesel y de sus mezclas puede elevarse si el combustible envejece, o si no fue producido en modo correcto. El incremento de este parámetro está asociado a la formación de depósitos y reduce la vida de la bomba y los filtros. El biodiesel podría solidificar a bajas temperaturas mucho más fácilmente que el petrodiesel, sin embargo las mezclas con menos del 20% mantienen en frío las mismas propiedades de fluidez que el diesel base, y por debajo del 5% prácticamente es igual al petrodiesel. El biodiesel puro y sus mezclas deben ser almacenados manteniendo una temperatura más alta de su punto de escurrimiento (pour point).

Las mezclas de biodiesel no se separan en presencia de agua, no obstante es conveniente controlar durante el almacenamiento con adecuados sistemas separando y alejando el agua que pudiese haber.

El biodiesel es ligeramente más pesado que el petrodiesel (peso específico 0,88 comparado con 0,85 del petrodiesel) siendo el procedimiento para hacer las mezclas aquel de agregar el biodiesel al petrodiesel. Esto asegura un buen mezclado.

1.3.3. PRODUCCION DE BIODIESEL

El biodiesel fue obtenido mediante la reacción de transesterificación del aceite de higuera con metanol (metanolisis) utilizando hidróxido de sodio como catalizador (NaOH).

El proceso de elaboración del biodiesel está basado en la llamada transesterificación de los glicéridos, utilizando catalizadores homogéneos. Desde el punto de vista químico, los aceites vegetales son triglicéridos, es decir tres cadenas moleculares largas de ácidos grasos unidas a un alcohol trivalente, el glicerol. Si el glicerol es remplazado por metanol, se obtienen tres moléculas más cortas del ácido graso metiléster. El glicerol desplazado se recupera como un subproducto de la reacción. Por lo tanto en la reacción de transesterificación, una molécula de un triglicérido reacciona con tres moléculas de metanol para dar tres moléculas de mono ésteres y una de glicerina.

El biodiesel, desde el punto de vista de la inflamabilidad y toxicidad, es más seguro que el gas-oíl proveniente del petróleo, no es peligroso para el ambiente y es biodegradable.

1.3.3.1. MATERIAS PRIMAS USADAS EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.

1.3.3.1.1. ACEITE

El aceite es el principal insumo para la producción de biodiesel puede ser producido a partir de cualquier aceite o grasa de origen orgánico (animal o vegetal), incluyendo aceites residuales ya usados en frituras o recuperados de trampa de grasas, etc. Sin embargo de la calidad de este insumo dependerá la necesidad de un pre-tratamiento más o menos complejo que hará el proceso más o menos caro. No es posible elaborar biodiesel a partir de aceites minerales como los lubricantes.

Para la elaboración del Biodiesel, la materia prima que se eligió como mejor opción es el aceite de higuera o ricino, que fue facilitado por laboratorios Paracelso a continuación se menciona algunas razones para justificar esta elección.

- El uso del aceite de ricino (*Ricinus communis*) representa una gran oportunidad de desarrollo para zonas áridas y empobrecidas.
- El aceite de ricino no es de consumo humano, si no con aplicaciones que incluyen usos medicinales y cosméticos y sustitución del petróleo en plásticos y lubricantes.
- Su principal ventaja radica en el hecho de ser soluble en alcohol, y no requerir calor y el consecuente gasto de energía que exigen otros aceites vegetales en su transformación a combustible.
- La planta es de fácil cultivo y resistente a la escasez de agua.
- La cantidad de biodiesel que se obtiene por hectárea, en un proceso completo de molienda con su respectivo proceso químico, a partir de la planta de ricino es de 1320 litros aproximadamente.

1.3.3.1.2. ALCOHOL

Se emplea alcohol metílico o metanol de 95% de pureza. El metanol suele ser el alcohol preferido en la producción de biodiesel por razones técnicas y económicas. Fijado el tipo de alcohol, la variable de interés es la cantidad de este a utilizar, la cual se expresa como la relación molar metanol/aceite (RAM). Tal relación indica el exceso de alcohol a utilizar en la reacción. Para las condiciones estequiometrias, cero exceso de alcohol, el valor de dicha variable es tres, como se requiere un exceso de alcohol para que se dé la reacción, partimos aproximadamente desde un 48% hasta un 60% del volumen de aceite a procesar.

Esta sustancia es toxica 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.

1.3.3.1.3. CATALIZADOR.

Los catalizadores usados para este tipo de reacciones son del tipo fuertemente básicos o ácidos y se pueden encontrar homogéneos o heterogéneos.

Entre los catalizadores homogéneos fuertemente básicos están: el hidróxido de sodio, el hidróxido de potasio, carbonatos de sodio o potasio y en cuanto a los heterogéneos se pueden usar resinas de intercambio aniónico, óxidos metálicos como CaO y MgO. Los residuos aceitosos usados y las grasas amarillas contienen grandes cantidades de ácidos libres que no pueden ser convertidos en biodiesel usando un catalizador alcalino debido a la formación de jabones. Una alternativa para este proceso es utilizar un catalizador ácido que no forma jabones.

Par este estudio experimental se seleccionó como catalizador el hidróxido de sodio NaOH, por ser el más económico.

1.3.3.1.4. GLICERINA

El aceite de ricino posee una composición química peculiar, debido al alto contenido (87-97%) de ácido ricinoleico (ácido cis-12-hidroxi octadeca-9-enoico). La presencia del grupo hidroxilo provee de características únicas tanto al aceite de ricino como a sus derivados: polaridad, alta viscosidad y gravedad específica, además de permitir su completa solubilidad en alcoholes.

Debido a las peculiaridades antes mencionadas, después de llevarse a cabo la reacción de transesterificación del aceite de ricino, no ocurre una separación de las fases Biodiesel Glicerol como comúnmente sucede con los demás aceites más utilizados, dificultando la purificación del Biodiesel.

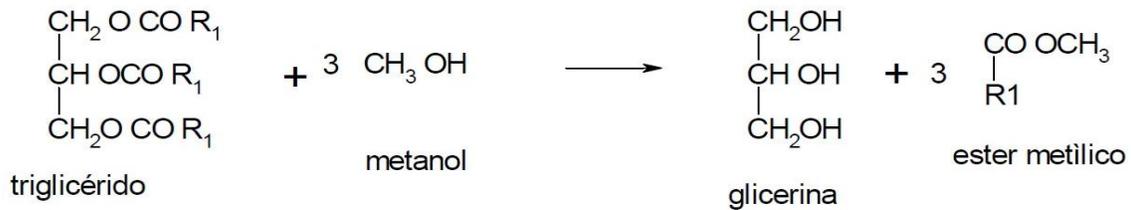
Para resolver este problema, algunos autores han optado por lavar la mezcla con agua inmediatamente después de concluir la reacción, propiciando la formación de fuertes emulsiones. Otros han utilizado mezclas de aceites como materia prima, soya/ricino, algodón/ricino; lo que ha facilitado la formación de fases y con ello la purificación del Biodiesel.

La remoción de la Glicerina representa una etapa vital dentro del proceso de purificación del Biodiesel. Por lo que el trabajo también se enfocó en la generación de una metodología experimental para resolver el problema de la separación de GL y BD obtenido a partir de aceite de ricino.

1.3.3.2. REACCIONES DE TRANESTERIFICACION.

La transesterificación (también llamada alcoholólisis) es la reacción de una grasa o aceite con un alcohol para formar ésteres y glicerol. La reacción es:

Fig. 1.3.3.2-1 Reacción de transesterificación



Usualmente se usa un catalizador para mejorar la velocidad y el rendimiento de la reacción. Debido a que la reacción es reversible, se usa un exceso de alcohol para desplazar el equilibrio hacia el lado de los productos.

Los alcoholes son primarios y secundarios mono hídricos alifáticos que contienen de uno a ocho carbonos. Algunos son: metanol, etanol, propanol, butanol y alcohol amfílico. El metanol y el etanol son los más usados, especialmente el metanol, debido a su bajo costo y sus ventajas químicas y físicas (alcohol polar y de cadena corta). Puede reaccionar rápidamente con triglicéridos y el NaOH se disuelve fácilmente en él. Para completar una transesterificación estequiometrica se necesita una relación molar de alcohol a triglicérido de 3:1. La reacción puede ser catalizada por álcalis, ácidos o enzimas. La transesterificación con catalizador alcalino es mucho más usada comercialmente.

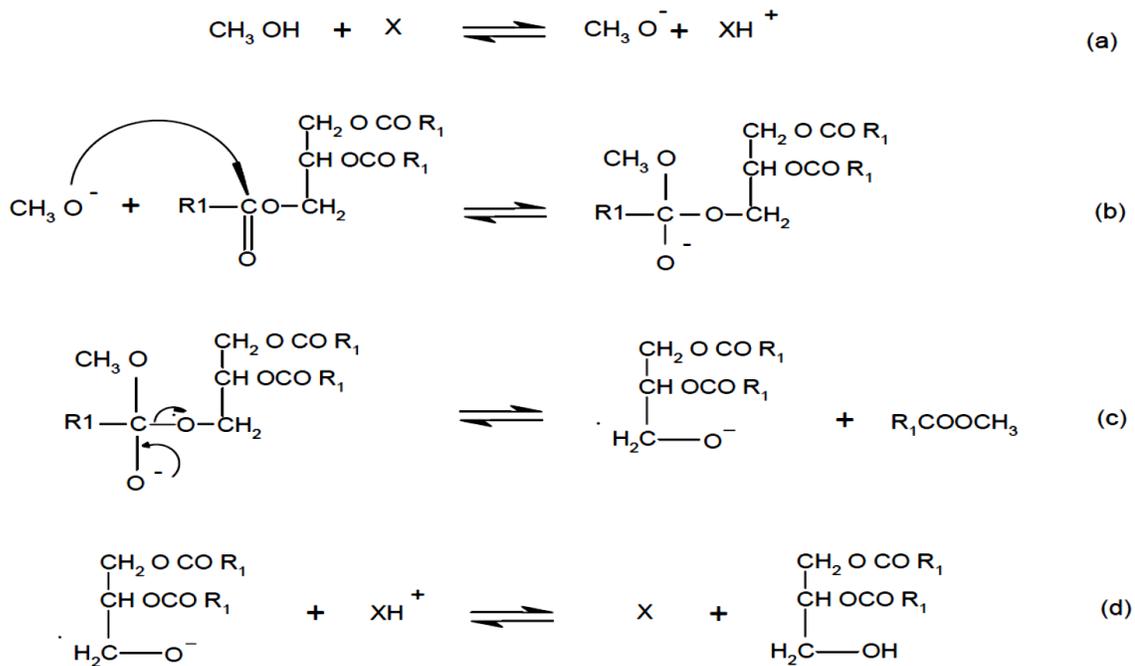
Para una transesterificación con catalizador alcalino, los glicéridos y alcohol deben ser substancialmente anhidros, debido a que el agua hace que la reacción cambie parcialmente a saponificación, la cual produce jabón.

El contenido de ácidos grasos libres en triglicéridos debe ser bajo en el caso de la reacción con catalizador alcalino. Si los triglicéridos poseen agua y ácidos grasos libres, pueden ser usados en la transesterificación con catalizador ácido. Después de la transesterificación de triglicéridos, los productos son una mezcla de ésteres, glicerol, alcohol, catalizador y tri-, di- y mono glicéridos. Obtener ésteres puros no es fácil, los mono glicéridos causan turbidez (cristales) en la mezcla de ésteres.

El co-producto, glicerol, necesita ser recuperado debido a su valor como químico Industrial. Puede ser separado por gravedad o centrifugación.

1.3.3.3. MECANISMO DE REACCIÓN

El mecanismo de reacción es el que muestra a continuación:



R1= radicales alquilo, X = catalizador

En el paso (a) de la reacción el alcohol (CH_3OH) reacciona con el catalizador básico. R1 es el grupo alquilo que forma parte de la cadena del ácido graso del triglicérido. En el paso (b) el radical cargado negativamente (CH_3O^-) reacciona con el doble enlace del grupo carbonilo del triglicérido. En el paso (c) se forma una molécula del éster alquílico (R1COO CH_3) – en nuestro caso específico se trata del metilésteres. En el paso (d) se regenera el catalizador formándose un di glicérido. Los pasos (a) al (d) se repiten hasta la desaparición del triglicérido con la formación del mono alquiléster y glicerina como productos finales.

El mecanismo de reacción para la transesterificación con catalizador alcalino fue formulado en tres pasos. El primer paso es un ataque sobre el átomo de carbono carbonilo de la molécula de triglicérido sobre el anión del alcohol (ion metóxido) para formar un intermedio tetraédrico. En el segundo paso, el intermedio tetraédrico reacciona con un alcohol (metanol) para regenerar el anión del alcohol (ion metóxido). En el último paso, un reacomodamiento del intermedio tetraédrico resulta en la formación de un éster de ácido graso y un di glicérido.

Cuando NaOH , KOH , K_2CO_3 u otro catalizador similar son mezclados con alcohol, el catalizador actual, el grupo alcóxido se forma. Una pequeña cantidad de agua, generada en la reacción, puede causar formación de jabón durante la transesterificación.

La conversión y rendimiento de la reacción de transesterificación se ven afectados por variables como la humedad, ácidos grasos libres, relación molar de alcohol a aceite, la temperatura, impurezas y catalizador.

1.3.3.4. VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DE LA PRODUCCION.

1.3.3.4.1. EFECTOS DE LA HUMEDAD Y ÁCIDOS GRASOS LIBRES

Los materiales usados para transesterificación con catalizador alcalino deben tener ciertas especificaciones: El glicérido debe tener un índice de acidez menor que 1 y todos los materiales deben ser anhidros. Si el índice de acidez es mayor que 1, se requiere más NaOH para neutralizar los ácidos grasos libres. El agua causa formación de jabón, el cual consume el catalizador y reduce su eficiencia.

El jabón resultante causa un incremento en la viscosidad, formación de gel y dificultad en la separación del glicerol. Además se debe hacer énfasis en la importancia de que los aceites sean secos y libres (< 0,5%) de ácidos grasos libres. Se ha establecido que los rendimientos del éster son significativamente reducidos si los reactantes no cumplen estos requerimientos. El hidróxido de sodio o metóxido de sodio reacciona con la humedad y dióxido de carbono en el aire, lo cual disminuye su efectividad. El oxígeno disuelto en el aceite escapa a la atmósfera cuando se calientan los reactantes. También evaporar el alcohol facilita este proceso.

1.3.3.4.2. EFECTO DE LA RELACIÓN MOLAR

Una de las variables más importantes que afectan el rendimiento del éster es la relación molar de alcohol a triglicérido.

La relación estequiometría para transesterificación requiere tres moles de alcohol y un mol de glicérido para obtener tres moles del éster de ácido graso y un mol de glicerol. La relación molar se asocia con el tipo de catalizador utilizado. Por ejemplo, una reacción catalizada con ácido necesita una relación 30:1 de butanol a aceite de soya, mientras una reacción con

catalizador alcalino requiere solo una relación de 6:1 para alcanzar el mismo rendimiento del éster para un tiempo de reacción dado. El metanol presente en cantidades por encima de 1,75 equivalentes tiende a impedir la separación por gravedad del glicerol y así se adicionan más costos al proceso.

Relaciones molares altas producen mayor conversión a éster en un corto tiempo. En la etanolisis de aceite de cacahuete una relación molar 6:1 libera significativamente más glicerina que una relación molar 3:1. Aceite de semillas de rape fue metanolizado usando 1% de NaOH o KOH encontrándose que la relación molar de 6:1 de metanol a aceite da una buena conversión. Cuando había una gran cantidad de ácidos grasos libres presentes en el aceite una relación molar tan alta como 15:1 fue necesaria bajo catálisis ácida.

1.3.3.4.3. EFECTO DEL CATALIZADOR

Los catalizadores son clasificados como: álcalis, ácidos o enzimas.

La transesterificación con catalizador alcalino es mucho más rápida que la catalizada con ácido. Los ácidos podrían ser ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido clorhídrico o ácido sulfónico orgánico. Los álcalis incluyen hidróxido de sodio, metóxido de sodio, hidróxido de potasio, metóxido de potasio. El hidróxido de sodio también se escoge para catalizar las transesterificaciones porque es más barato. Las conversiones a éster a una relación molar 6:1 para 1% de NaOH y 0,5% de NaOCH₃, son casi las mismas después de 60 minutos. El hidróxido de sodio, sin embargo, es más barato y es ampliamente usado en procesos a gran escala. La transesterificación de aceite de soya con metanol, etanol y butanol, usando 1% de ácido sulfúrico concentrado, es insatisfactoria cuando las relaciones molares son 6:1 y 20:1. Una relación molar 30:1 da como resultado una alta conversión a metil éster. Más

recientemente una lipasa inmovilizada fue empleada para catalizar la metanólisis de aceite de maíz en fluido súper crítico de dióxido de carbono con una conversión a éster de 98%.

1.3.3.4.4. EFECTO DEL TIEMPO DE REACCIÓN

El porcentaje de conversión se incrementa con el tiempo de reacción. Freedman en 1984 estudió la transesterificación de aceites de cacahuete, semillas de algodón, girasol y soya bajo la condición de relación de metanol a aceite de 6:1, catalizador 0,5% de metóxido de sodio y 60°C. Un rendimiento aproximado del 80% fue observado después de 1 minuto para aceites de soya y girasol. Después de 1 hora las conversiones son casi las mismas para los cuatro aceites (93-98%).

Ma. F. Clements (1998) estudió el efecto del tiempo de reacción sobre la transesterificación de sebo de toro o vaca con metanol. La reacción fue muy lenta durante el primer minuto debido a la mezcla y dispersión del metanol en el sebo. De uno a cinco minutos la reacción procede de forma muy rápida. El rendimiento aparente de los metil ésteres de sebo crece de 1 hasta 38. La producción del metil éster alcanza su máximo valor cerca de los 15 minutos. Los di- y mono glicéridos se incrementan al principio y después decrecen. Al final, la cantidad de mono glicéridos fue más alta que la de di glicéridos.

1.3.3.4.5. EFECTO DE LA TEMPERATURA DE REACCIÓN

La transesterificación puede ocurrir a diferentes temperaturas dependiendo del aceite usado. En la metanólisis del aceite de castor a metilricinoleato, la reacción procede más satisfactoriamente a 20-35°C con una relación molar de 6:1-12:1 y 0,005-0,35% (por peso de aceite) de catalizador NaOH. *La temperatura*, influye en la reacción, un valor alto de esta variable puede ser negativo, ya que puede afectar el rendimiento de *metilésteres* (Biodiesel) al

promover la reacción de saponificación de los triglicéridos o de la fase biodiesel a medida que se forma.

Para la transesterificación de aceite de soya refinado con metanol (6:1) usando 1% de NaOH se usan tres temperaturas diferentes. Después de 1 hora los rendimientos son 94,87 y 64% para 60,45 y 32°C respectivamente. Después de 1 hora la formación del éster es idéntica para las corridas de 60 y 45°C y solo ligeramente más lenta para la corrida a 32°C. La temperatura influye claramente en la velocidad de reacción y el rendimiento de los ésteres.

OTROS TIPOS DE TRANSESTERIFICACIÓN

Aceites y grasas transesterificados usando alcoholes de cadena ramificada, tales como isopropil o 2-butil (1:66) para reducir la temperatura de cristalización del biodiesel. Las temperaturas de cristalización de los isopropil y 2-butil ésteres de aceite de soya son 7-11 y 12-14°C más bajas que las de metilésteres de aceite de soya respectivamente.

La transesterificación in-situ de aceites fue investigada y comparada con la convencional se encontró que un proceso in-situ con catalizador ácido para aceite de girasol fue mejor que muchos procesos convencionales. Etil, propil y butil ésteres de ácidos grasos de aceite de soya son obtenidos directamente, con altos rendimientos por alcoholisis in-situ de aceite de soya. Incrementando la temperatura y el tiempo de reacción y disminuyendo el tamaño de partícula de la soya y el contenido de agua del etanol, se puede obtener un producto puro.

También se ha reportado la metanólisis directa de triglicéridos usando una lipasa inmovilizada en fluido supercrítico de dióxido de carbono. Este proceso combina la extracción y transesterificación del aceite. Puede ser posible un proceso continuo.

1.3.3.5. CARACTERÍSTICAS DEL BIODIESEL

DENSIDAD API

Indica la calidad de un producto empleado en trabajos de combustión, además da una idea del contenido de energía del combustible, mayores densidades indican mayor energía térmica y una economía de combustible mejor.

AGUA Y SEDIMENTOS

El agua se puede formar por condensación en el tanque de almacenamiento. La presencia de agua y sólidos de desgaste normalmente pueden colmatar filtros y darle el combustibles unas propiedades de lubricidad menores. El biodiesel puede absorber hasta 40 veces más agua que el diésel.

El agua puede provocar dos problemas en el motor, corrosión en los componentes del motor, generalmente herrumbre, contribuye al crecimiento de microorganismos, que forman lodos y limos que pueden colmatar los filtros.

El agua se puede presentar en el tanque de dos formas, disuelta en el combustible, separada de la fase de combustible en forma libre, la cantidad de esta depende de cómo se manipule y transporte los combustibles. Los sedimentos pueden ser debidos principalmente a un mal proceso de purificación del combustible o contaminación. Afectan principalmente a la temperatura de cristalización y al número de cetano.

VISCOSIDAD

Debe poseer una viscosidad mínima para evitar pérdidas de potencia debida a las fugas en la bomba de inyección e inyector. Además, le da características lubricidad al sistema de

combustible. Por otra parte se limita la viscosidad máxima por consideraciones de diseño y tamaño de los motores.

RESIDUO CARBONOSO

Da una idea de la tendencia del combustible a formar depósitos carbonosos. Se aproxima a la tendencia del motor a formar depósitos. Normalmente para el diésel se suele utilizar el 10 % que queda en la destilación, pero debido a que el biodiesel tiene un perfil muy diferente de destilación (en un pequeño rango de temperaturas se destila toda la muestra ya que posee una distribución de moléculas diferentes muy pequeña), se debe utilizar el 100 % de la muestra. También se puede obtener información, a parte de la contaminación (glicerina libre y total), de la calidad de la purificación del biodiesel cuando se produce.

CORROSION A LA LÁMINA DE COBRE

Mediante la comprobación del desgaste de una lámina de cobre se puede observar si existen en el sistema, compuestos corrosivos o presencia de ácidos que puedan atacar al cobre o aleaciones de cobre como el bronce que forma parte del sistema de combustible.

NUMERO DE CETANO

Es una medida de la calidad de ignición de un combustible e influye en las emisiones de humo y en la calidad de combustión. El número de cetano depende del diseño y tamaño del motor, de las variaciones de la carga y velocidad de condiciones de arranque y atmosféricas. Un bajo NC conlleva a ruidos en el motor, prolongando el retraso de la ignición y aumentando el peso molecular de las emisiones.

PUNTO DE INFLAMACION

Este parámetro generalmente se determina para satisfacer temas legales de seguridad. También es útil para conocer si existe una cantidad excesiva de alcohol no reaccionado en el proceso de obtención en el caso del biodiesel.

POTENCIA CALÓRICA

Es la cantidad de calor que se desarrolla en la combustión completa de la unidad de masa de un combustible, se mide en kcal/kg y puede expresarse como potencia calorífica superior o como potencia calorífica inferior, según se incluya o no la cantidad de calor aprovechable en la condensación del vapor de agua formado durante la combustión y durante su enfriamiento a la temperatura ambiente.

La potencia calorífica inferior es mucho más realista en cuanto a la cantidad de calor desarrollado durante la combustión, y por ese motivo es la que se prefiere y se usa para indicar la calidad de un combustible. He aquí la potencia calorífica inferior de los combustibles empleados en automoción: Potencia, kcal/kg

DESTILACIÓN ASTM

Indica la temperatura máxima a la que debe evaporar el combustible a unas condiciones de presión y temperaturas dadas. El biodiesel a una temperatura de 360 C tiene que estar el 90% destilado según las normas ASTM D1160. El diésel a la temperatura de 360 C tiene que estar el 95% destilado según las normas ASTM D85.

GLICERINA LIBRE

Determina el nivel de glicerina no enlazada presente en el biodiesel. Su presencia normalmente se debe a una mala purificación del biodiesel. Niveles altos pueden causar problemas de depósitos en el inyector, así como colmatación de filtros.

GLICERINA TOTAL

Determina el nivel de glicerina enlazada y no enlazada presente en el combustible. Niveles bajos significan que se ha producido un alto grado de conversión en el aceite o grasa, y se han formado gran cantidad de mono ésteres. Niveles altos de mono, di y triglicéridos pueden provocar la colmatación de los filtros, depósitos carbonosos en los inyectores y pueden afectar adversamente a las propiedades a bajas temperaturas.

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL

CAPITULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causa de los cambios en la respuesta de la salida.

2.1. SIMULADOR PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL.

2.1.1. MATERIALES

Vasos de precipitación de 1000 ml, Embudos de separación, Termómetro, Aro metálico, Balón de 2 bocas, Soporte universal, Mangueras, Pinzas, Probetas de 250ml, Refrigerante.

2.1.2. EQUIPOS.

- ✓ Balanza analítica
- ✓ Agitador mecánico de varilla
- ✓ Plancha de calentamiento con agitador magnético,

2.1.3. SUSTANCIAS Y REACTIVOS

- ✓ Muestra de aceite de higuera
- ✓ Metanol al 98% de pureza
- ✓ Hidróxido de sodio NaOH al 99%
- ✓ Glicerina grado industrial (GGL).

2.1.4. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL

- ✓ Recepción de materia prima (aceite, metanol, hidróxido de sodio).
- ✓ Realizar una caracterización a la materia prima.
- ✓ Medir un mol de aceite a utilizar en la reacción en un vaso de 1000ml.
- ✓ En un balón aforado de 250ml medir el número de moles indicados en la tabla de factores y niveles bajo/alto, (4, 5) respectivamente de metanol puro.
- ✓ Luego adicionar el % de NaOH indicados en la tabla factores y niveles, bajo/alto (0.75, 1.2%), respectivamente en metanol puro, obteniendo el metóxido de sodio.
- ✓ El vaso con aceite colocar en la plancha de calentamiento y verificar la temperatura del aceite.
- ✓ A la temperatura indicada en la tabla factores y niveles, bajo/alto (25, 40 °C) respectivamente, adicionar el metóxido de sodio, al aceite que se está agitando en forma vigorosa.
- ✓ Agitar la mezcla por unas 2 horas de forma vigorosa.
- ✓ Apagar la agitación y dejar en reposo por 20 minutos.
- ✓ A la mezcla adicionar 50 ml de glicerina y homogenizar por 5 minutos.
- ✓ Dejar que la mezcla repose durante 12 horas.
- ✓ Separar las dos fases con la ayuda de un embudo de separación.
- ✓ El biodiesel se recoge en recipiente para su almacenamiento.
- ✓ La glicerina se recicla para utilizar en los experimentos.

2.2 DATOS COMPARATIVOS EXPERIMENTALES DE LAS VARIABLES DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL BIODIESEL.

Es importante aclarar que se hicieron varios experimentos variando las condiciones de temperatura, la cantidad de alcohol, la cantidad de catalizador, y se manteniendo constante la cantidad de aceite en un mol igual a 345 ml, para así encontrar las variables optimas de la reacción.

Para el estudio experimental se selecciona como catalizador el hidróxido de sodio por ser el más económico, la cantidad de catalizador a utilizar se expresa comúnmente como porcentaje por peso con respecto a la masa de aceite utilizada. La cantidad de metanol se basa en la relación estequiometria de reacción es decir que para que reaccione una mol de aceite se requieren de tres moles de alcohol, pero como se requiere de un exceso, nosotros decidimos aumenta en una mol y dos moles de alcohol para los diferentes experimentos.

Las condiciones de las pruebas fueron las siguientes:

Tabla 2.2-1
Serie Experimental 1

n	Temperatura ($\pm 2^{\circ}\text{C}$)	Metanol (ml) 3 mol	NaOH (g) (0.3%)	Aceite (ml)	Tiempo de Reacción (horas)	Vol. De Biodiesel (ml)	Vol. De Glicerina (ml)	Observaciones
1	25	124.20	1	345	2	0	0	No reacciona
2	30	124.20	1	345	2	0	0	No reacciona
3	40	124.20	1	345	2	380	25	Mezcla homogénea
4	50	124.20	1	345	2	-	-	Forma pasta
5	60	124.20	1	345	2	-	-	Forma pasta

Fuente: Jaime Chasig

Tabla 2.2-2
Serie experimental 2

	Temperatura (±2°C)	Metanol (ml) 5 mol	NaOH (g) (1.8%)	Aceite (ml)	Tiempo de Reacción (horas)	Vol. De Biodiesel (ml)	Vol. De Glicerina (ml)	Observaciones
1	25	165.60	3	345	2	395	80	
2	30	165.60	3	345	2	370	65	
3	40	165.60	3	345	2	340	50	
4	50	165.60	3	345	2	320	45	Forma pasta
5	60	165.60	3	345	2	-	-	Forma pasta

Fuente: Jaime Chasig

Tabla 2.2.3
Serie experimental 3

n	Temperatura (±2°C)	Metanol (ml) 5 mol	NaOH (g) (1.8%)	Aceite (ml)	Tiempo de Reacción (horas)	Vol. De Biodiesel (ml)	Vol. De Glicerina (ml)	Observaciones
1	25	206.98	6	345	2	350	75	
2	30	206.98	6	345	2	375	45	
3	40	206.98	6	345	2	390	120	
4	50	206.98	6	345	2	-	-	Forma pasta

Fuente: Jaime Chasig

Tabla 2.2.4
Serie experimental 4

n	Temperatura (±2°C)	Metanol (ml) 5 mol	NaOH (g) (1.8%)	Aceite (ml)	Tiempo de Reacción (horas)	Vol. De Biodiesel (ml)	Vol. De Glicerina (ml)	Observaciones
1	25	165.60	7	345	2	350	75	Forma pasta
2	40	165.60	7	345	2	-	-	Forma pasta
3	25	206.98	7	345	2	390	120	Forma pasta
4	40	206.98	7	345	2	-	-	Forma pasta

Fuente: Jaime Chasig

2.3 MATRIZ PARA TOMA DE DECISIONES REFERENTE A LAS VARIABLES DE PROCESO

En la siguiente tabla se muestran los resultados para los niveles de los factores en estudio, cantidad de catalizador, relación metanol aceite y temperatura, seleccionados de acuerdo a la serie de experimentos llevados a cabo en el laboratorio, con el fin de constatar la viabilidad de la reacción, bajo tales condiciones estas presentan un mejor rendimiento en la producción de biodiesel, a continuación se muestran los valores definitivamente seleccionados para los niveles de los factores de estudio.

Tabla 2.3-1

Valores definitivamente seleccionados para los niveles de los factores de estudio

n	Temperatura (±2°C)	Metanol (ml) mol	NaOH (g) (0.85%)	Aceite (ml)	Tiempo de Reacción (horas)
2	25	165.60	3	345	2
3	40	206.98	6	345	2

Fuente: Jaime Chasig

Tomando los experimentos (2) (3) estos valores comprenden las mejores condiciones de predicción, en consecuencia las variables de proceso a consolidarse para el diseño de ingeniería comprende a: la cantidad de catalizador, la relación metanol/aceite y la temperatura.

2.3.1 DATOS EXPERIMENTALES DE DISEÑO

Tabla 2.3.1-1

Datos experimentales de diseño

Variables	Cantidad	Unidad
Cantidad de catalizador	3.0	g
Relación metanol/aceite	206.98/345	ml
Temperatura	40	°C
Agitación	200	Rpm
Cantidad de glicerina	50	ml
Tiempo de reacción	2	Horas

Fuente: Jaime Chasig

Tabla 2.3.1-2

Volumen de biodiesel obtenido de la reacción

Temperatura (±2°C)	Metanol (ml) 4 mol	NaOH (g) (1.8%)	Aceite (ml)	Tiempo de Reacción (horas)	Vol. De Biodiesel (ml)	Vol. De Glicerina (ml)
40	165,0	3	345	2	410	60

Fuente: Jaime Chasig

2.3.2 DATOS ADICIONALES

Tabla 2.3.2-1

Densidades de las materias primas

Nombre	Densidad	Unidad
Aceite de higuera	0.961	g/cc
Metanol	0.791	g/cc
Hidróxido de sodio	0.210	g/cc
Glicerina	1.26	g/cc

CAPITULO III

CALCULOS

Y

RESULTADOS

CAPITULO III

3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 CÁLCULOS DE INGENIERÍA.

3.1.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS FASES DE PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.

a). RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA Y PESADA.

El aceite se compra en cilindros o depósitos de plástico o metal, en caso de ser de producción propia, este debe ser almacenado, preferentemente en cilindros de o baldes de 20 a 50 litros para su fácil manipulación, se revisara la información técnica del proveedor, el cual proporciona resultados del control de calidad realizados por la empresa que extrae el aceite, datos que indicara si el aceite es apto para ser utilizado en el proceso de elaboración de biodiesel, y posteriormente se hará un muestreo del aceite para determinar su calidad.

Las demás materias primas serán compradas a proveedores nacionales como locales, así, mismo se revisara las hojas técnicas para su manipulación.

b). PESADO DE LA MATERIA PRIMA.

Esta etapa del proceso es de suma importancia porque aquí se realiza el pesado de las materias primas dependiendo de la producción que se requiera realizar en el día. El diagrama del proceso esta formulado para procesar 1 Mol de aceite con 4 Moles de metanol y 0.075 Mol de NaOH.

c). PREPARACIÓN DEL METÓXIDO.

Luego de que se ha encontrado las condiciones de operación y el pesos de cada una de las materias primas, comienza la obtención del biodiesel, primero realizamos la dilución en el tanque reactor con agitación constante de 150 rpm del hidróxido de sodio en metanol.

El metanol se transfiere con ayuda de una bomba desde el almacenamiento hasta el tanque reactor, tapar, encender el motor y agitar hasta que el hidróxido de sodio se disuelva por completo esto llevara alrededor de 25 a 30 minutos a temperatura ambiente, debido a que esta dilución provoca una reacción exotérmica no necesita de calor para disolver. La carga de la soda cáustica se hará por medio de una tapa extraíble en su parte superior y a granel es decir manualmente.

d). REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACION.

Es la parte fundamental del proceso de obtención de biodiesel, en el tanque reactor se carga la cantidad de aceite a procesar por parada, a este se la calienta hasta una temperatura de 40 °C, manteniendo una agitación constante de 200 rpm, para luego descargar la solución de metóxido de sodio, y dejar en agitación durante 1 hora, con el fin de obtener la mejor conversión.

e). ENFRIAMIENTO

Luego de la hora de reacción a la mezcla dejamos que se enfríe hasta una temperatura de 25 a 30°C, el cual se demora aproximadamente 30 a 40 minutos, una vez enfriada la reacción se adiciona de 15 a 18 L de glicerina grado industrial, se agita por 5 minutos y esta mezcla se descarga en un separador de fases.

f). SEPARACIÓN DE FACES

Descargado la mezcla de la reacción en el separador de fases a este se debe dejar por aproximadamente 8 a 9 horas en reposo absoluto para la separación de las fases, la separación al principio tarda ya que la mezcla se mantiene caliente, pero a medida que esta se enfría la separación se hace más notoria, a partir de 3 a 4 horas se tiene una separación de las fases de casi una 70% de la glicerina, esto hace que mientras se va separando las fases se puede ir descargando la glicerina, para así al momento de descargar el biodiesel, no se contamine con restos de glicerina que se encuentra en la paredes del separador de fases.

g). SECADO

El lavado del biodiesel introduce la necesidad de un secado del biocombustible para eliminar los rastros de agua en suspensión que han escapado al decantado. El secador de biodiesel será igual al secador de aceite y todo el procedimiento de secado será el mismo. Una vez secado, el combustible pasará a la última etapa, la de filtrado.

h). FILTRADO

Este pasará por una serie de filtros que irán aumentando su capacidad de filtrado hasta obtener un producto aceptable, luego de lo cual será enviado a los tanques de almacenamiento.

i). ALAMACENAMIENTO

Una vez elaborado, el producto, debe ser almacenado para su posterior utilización. Esta función será cumplida por dos tanques de almacenaje a los cuales llegará el biocombustible mediante la presión suministrada por la bomba que se encuentra en la salida de los decantadores.

Los tanques de almacenaje se dispondrán en la parte interior del recinto y alojarán el combustible hasta su utilización.

j). DISTRIBUCIÓN

Finalmente se realizara la distribución del producto siguiendo con normas de seguridad y de calidad, para que el producto no se contamine con ningún agente contaminante.

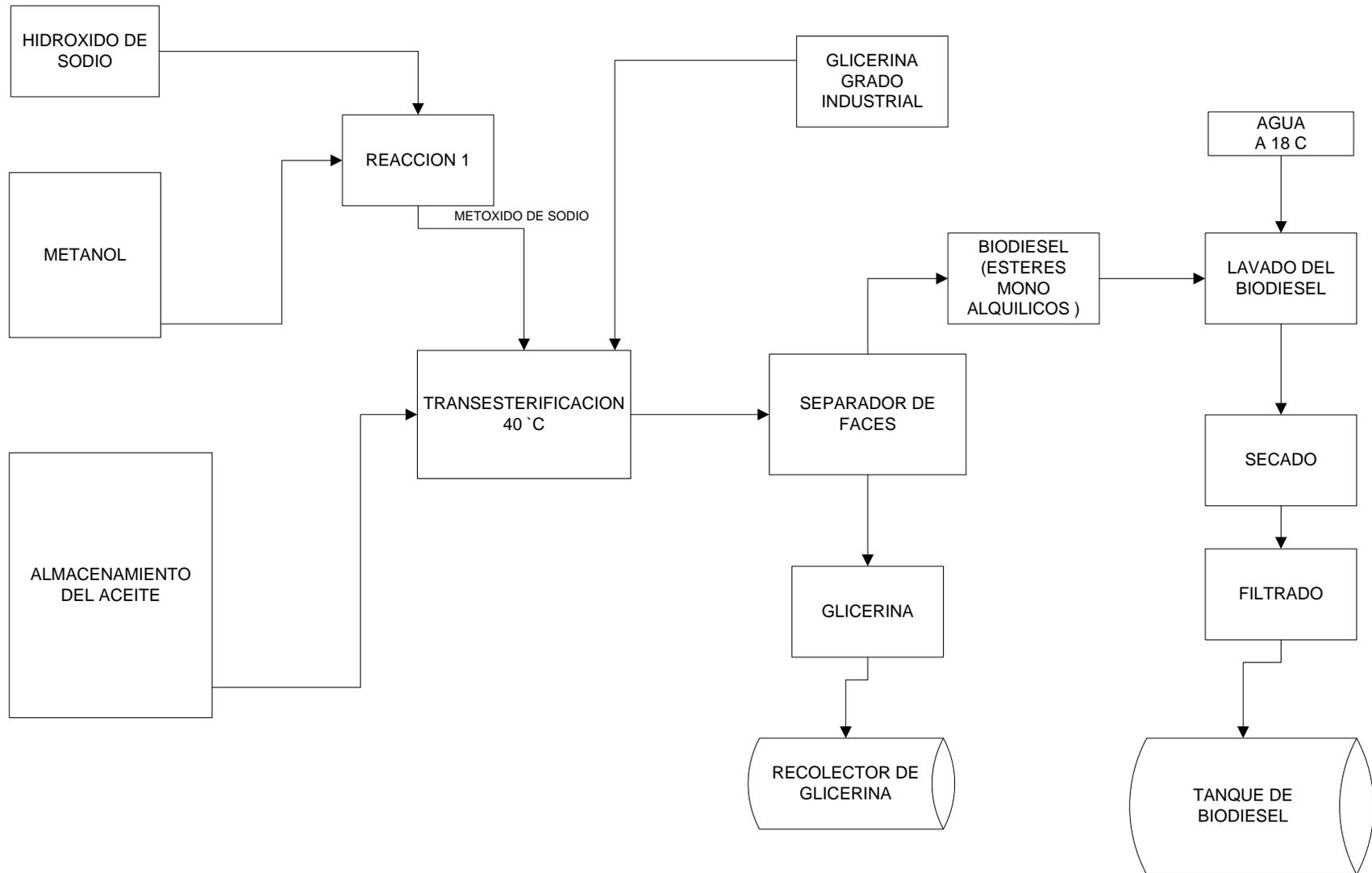
k). CONTROL DEL PROCESO DE TRANSESTRIFICACION

Par verifica que la transesterificacion se haya dado con éxito, se debe controlar dos puntos.

Se debe observar una separación de fases marcadas de biodiesel y glicerina, si no hay separación de, entonces no habido reacción, en este caso se debe evaluar cuál es el motivo de este problema.

Observar que la prueba de lavado del biodiesel sea exitosa, la prueba consiste en tomar una pequeña cantidad de biodiesel (100 a 200ml) poner en una botella limpia de vidrio o plástico, agregar la misma cantidad de agua, agitar por 10 a 15 segundos hasta que agua y el biodiesel se mezcle completamente, y dejar reposar por algunos segundos, si se da una separación rápida de ambos líquidos (30 minutos aproximadamente), significa que el biodiesel es de buena calidad. Si se separan, pero entre ambas faces hay una capa de espuma o jabón se puede continuar con el lavado añadiendo ácido fosfórico para facilitar la separación. Si el agua y el biodiesel no se separan adecuadamente, sino que permanecen mezclados formando una emulsión lechosa quiere decir que el proceso de transesterificacion no ha sido completo.

3.1.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL



3.1.3. DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO BASE DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN Y OTROS AFINES.

Se desea en este trabajo realizar el dimensionamiento de una planta de producción, apto para la obtención de Biodiesel en establecimientos agropecuario, que estén dando prioridad al cultivo de a las semillas de higuierilla, en nuestro país. Las instalaciones deberán tener todos los elementos necesarios para su puesta en marcha, deberán ser de fácil reparación in situ a la medida de las posibilidades y de sencilla utilización para que sea posible su operación por obreros no calificados en cuestiones técnicas.

3.1.3.1. CÁLCULOS PRELIMINARES PARA EL DISEÑO

Todas las materias primas que están relacionadas directamente con el proceso, de obtención de biodiesel tendrán un stock para una semana de producción, por tanto los cálculos para los tanques de almacenamiento serán diseñados para un almacenamiento de una semana.

3.1.3.1.1. CALCULO DEL VOLUMEN DE ACEITE

50 Gals de BD	3785 ml de BD	347 ml Aceite	5 Días	1 litro	=800,85 L/sema
Día	1 Galón	410 ml BD	1sem	1000 ml	

3.1.3.1.2. CALCULO DEL VOLUMEN DE METANOL

50 Gals de BD	3785 ml de BD	165 ml Alcohol	1 litro	5 Días	=380,08L /sema
Día	1 Galón	410 ml BD	1000ml	1sem	

3.1.3.1.3. CALCULO DEL VOLUMEN DE HIDRÓXIDO DE SODIO.

50 Gals de BD	3785 ml de BD	3,0 g de NaOH	5 días	1 kg	= 6,923kg NaOH/sema
Día	1 Galón	410 ml BD	Sema	1000 g	

CALCULO DEL VOLUMEN

DATOS:

$$\rho = 2.100 \text{ Kg /L}$$

$$m = 1.38 \text{ Kg de NaOH}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ = densidad (kg/L)

m = Masa (kg)

V = Volumen real

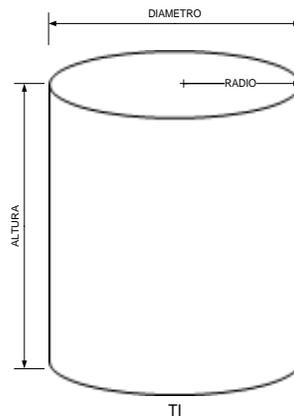
$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{6,923 \text{ Kg NaOH}}{2,100 \text{ Kg/L}}$$

$$V = 3,2967 \text{ L NaOH/ semana}$$

3.1.3.2. CÁLCULOS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMAS.

El tanque de almacenamiento de aceite (T1) puede ser de un cilindro de metal o de HDPE vertical abierto con tapa y un suncho que sirve para limpieza. Por su parte el tanque de metanol (T2) es el cilindro en el que venden el metanol industrial que debe mantenerse siempre en un lugar fresco y seco.



VOLUMEN REAL

$$V_r = 800.85 \text{ Litros/semana}$$

CÁLCULO DEL VOLUMEN CORREGIDO O DE SEGURIDAD

$$V = f_s * V_r$$

Donde:

V_s = Volumen corregido o de seguridad (L)

f_s = Factor de seguridad

V_r = Volumen real (L)

$$V_s = 0,15 * 800,85 \text{ L}$$

$$V_s = 120,13 \text{ Litros}$$

CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL

$$V_t = V + V_r$$

Donde:

$V_t =$ Volumen total (L)

$V =$ Volumen corregido (L)

$V_r =$ Volumen real (L)

$$V_t = 120,13 + 800,85 \text{ (L)}$$

$$V_t = 921,0 \text{ L}$$

$$V_t = 920977,6 \text{ cm}^3$$

CÁLCULO DEL ÁREA

Para determinar este parámetro utilizamos la fórmula del área de un cilindro entonces tenemos:

Datos:

$$D = 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

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

Donde:

$A =$ área del tanque (m^2)

$D =$ diámetro del tanque (m)

$$A = \frac{\pi * (1 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 0,78 \text{ m}^2$$

CÁLCULO DE LA ALTURA

Utilizamos la fórmula del volumen de un cilindro, teniéndola fórmula:

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

Donde:

$V_t =$ volumen del tanque (cm^3)

$r =$ radio del cilindro (m)

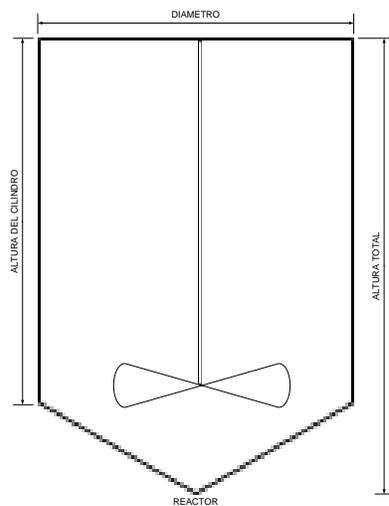
h = altura del tanque (m^2)

$$h = \frac{V_t}{\pi * r^2}$$
$$h = \frac{920977.6 \text{ cm}^3}{\pi * (50\text{cm})^2}$$
$$h = 117.26 \text{ cm}$$

3.1.3.3. CALCULOS PARA EL REACTOR (PREPARACIÓN DEL METÓXIDO)

DATOS PRELIMINARES PARA SU DIMENSIONAMIENTO

Para el dimensionamiento del reactor donde se prepara el metóxido de sodio se toma en cuenta el volumen de metanol y del catalizador que se utilizara en producción de un día, además este reactor tendrá una fondo cónico con desagüe que ayudar a la descarga del metóxido.



Datos:

$V_{\text{Metanol}} = 76,20$ Litros de metanol /Día

$V_{\text{hidróxido de sodio}} = 0,66$ Litros de NaOH/ Día

$$D = 45 \text{ cm}$$

CALCULO DEL VOLUMEN REAL

$$V_R = V_{\text{Metanol}} + V_{\text{NaOH}}$$

$$V_R = 76.20 + 0.66 \text{ (L)}$$

$$V_R = 76.86 \text{ L/ Dia}$$

VOLUMEN CORREGIDO O DE SEGURIDAD

$$V = f_s * V_R$$

$$V = 0.15 * 76.86 \text{ L}$$

$$V = 11.53 \text{ L}$$

VOLUMEN TOTAL

$$V_t = V + V_r$$

$$V_t = 11.53 + 76.86 \text{ (L)}$$

$$V_t = 88.40 \text{ L}$$

$$V_t = 88389 \text{ cm}^3$$

CALCULO DEL ÁREA

Para determinar este parámetro utilizamos la fórmula del área de un cilindro:

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

$$A = \frac{\pi * (0.45 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 0.35 \text{ m}^2$$

DETERMINACIÓN DE LA ALTURA

Utilizamos la fórmula del volumen de un cilindro, teniendo:

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

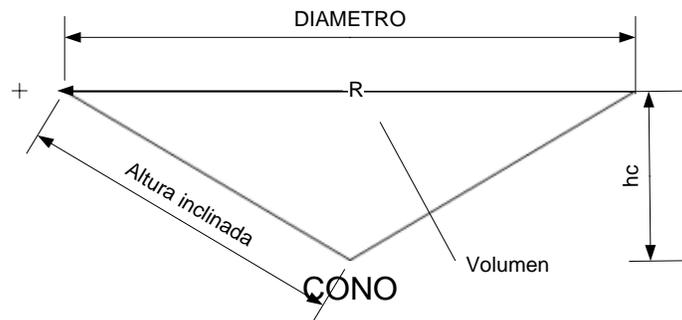
$$h = \frac{V_t}{\pi * r^2}$$

$$h = \frac{88389 \text{ cm}^3}{\pi * (22.5 \text{ cm})^2}$$

$$h = 55.57 \text{ cm}$$

3.1.3.4. CÁLCULOS PARA CONSTRUIR EL FONDO CONICO DEL REACTOR (PREPARACION DEL METOXIDO)

El fondo cónico de este reactor tendrá una altura de 5 cm de altura la cual ayudara a que se descargue todo el fluido.



CALCULO DEL VOLUMEN DEL FONDO CÓNICO

$$V_C = \frac{1}{3} \pi * r^2 * h$$

Donde:

r = radio del tanque reactor.

h = Es la altura del cono (cm)

$$V_C = \frac{1}{3} \pi * 25^2 \text{ cm} * 5 \text{ cm}$$

$$V_C = 0,33 \text{ Litros}$$

CALCULO DE LA ALTURA INCLINADA DEL FONDO CÓNICO

Para hallar la altura inclinada del cono se calcula con el teorema de Pitágoras.

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

Donde:

h_i = Altura inclinada del cono (cm)

r = Radio del tanque reactor (cm)

h = Es la altura del cono (cm)

$$h_i = \sqrt{22,5^2 + 5^2}$$

$$h_i = 23,05 \text{ cm}$$

El radio del círculo tiene que ser igual a la altura inclinada del cono (h_i): 23,05 cm

CALCULO DEL DIÁMETRO DEL CÍRCULO PARA CONSTRUIR FONDO CÓNICO.

$$D_2 = h_i * 2$$

Donde:

D_2 = Diámetro del círculo para construir el cono.

h_i = Altura inclinada del cono (cm)

$$D_2 = 23,05 \text{ cm} * 2$$

$$D_2 = 46,10 \text{ cm}$$

Para averiguar el tamaño de la chapa primero se calcula el diámetro del círculo: igual a 46 cm. Tiene que ser un cuadrado de 46 cm de lado, pero mejor que sea con unos centímetros más grande.

CALCULO DEL PERÍMETRO DEL TANQUE REACTOR Y DEL CÍRCULO DEL CONO.

Calculo del perímetro del tanque reactor

$$P_1 = D * \pi$$

Donde:

P_1 = Perímetro del tanque reactor (cm)

D = Diámetro del tanque reactor (cm)

$$P_1 = 45 \text{ cm} * \pi$$

$$P_1 = 141,4 \text{ cm}$$

CALCULO DEL PERÍMETRO DEL CÍRCULO CON QUE SE PREPARA EL CONO

$$P_2 = D_2 * \pi$$

Donde:

P_2 = Perímetro del círculo con que se prepara el cono.

D_2 = Diámetro del círculo para construir el cono

$$P_2 = 46,10 \text{ cm} * \pi$$

$$P_2 = 144,83 \text{ cm}$$

CALCULO DEL ARCO (UNA SECCIÓN DE LA CIRCUNFERENCIA) DEL SECTOR CIRCULAR.

$$ab = P_2 - P_1$$

Donde:

ab = Arco (una sección de la circunferencia) del sector circular arco

P₂ = Perímetro del círculo con que se prepara el cono.

P₁ = Perímetro del tanque reactor (cm)

$$ab = 144,83 - 141,40 \text{ (cm)}$$

$$ab = 3,43 \text{ (cm)}$$

La base del cono debe encajar en el barril. El perímetro del círculo, restándole el sector circular, tiene que coincidir con la longitud del borde exterior del fondo del barril.

CALCULO DEL ANGULO DEL SECTOR CIRCULAR

$$\beta = \frac{ab}{P_2} * 360$$

Donde:

ab = sección del circunferencia que se debe retirar.

P₂ = perímetro del círculo con que se prepara el cono.

$$\beta = \frac{ab}{P_2} * 360$$

$$\beta = \frac{3,43 \text{ cm}}{144,83 \text{ cm}} * 360$$

$$\beta = 8,53^\circ$$

Para hacer el agujero antes de doblar y soldar, medir el diámetro interior y sumar la mitad del grosor de la pared del tubo. Digamos que el resultado es 2,2 cm. Todos los ángulos son los mismos que en el cálculo del cono para poder hacerlo proporcionalmente: 2,2 cm es el

diámetro del agujero, se divide entre dos para saber el radio: $2,2 / 2 = 1,1$ cm. Esa es la altura inclinada que quieres: $23.05 \times 1,1 \div 22.5 = 1,13$ cm, Dibujar el círculo para el agujero con un radio de 1,13cm.

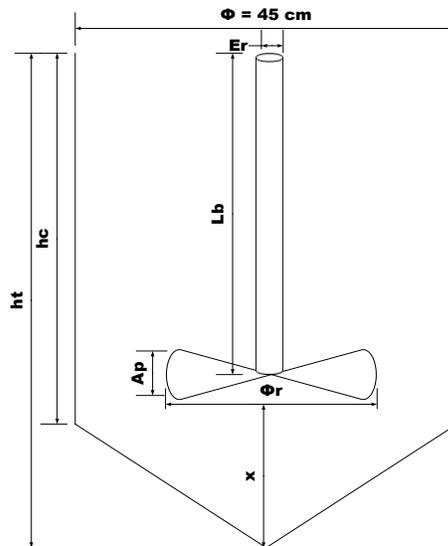
3.1.3.5. CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE AGITACIÓN PARA EL TANQUE METOXIDO

Para establecer las condiciones de diseño del agitador es necesario determinar la potencia para accionar el rodete. El cálculo de la potencia deberá realizarse a partir de la experiencia, es decir mediante la empírica en las pruebas de laboratorio.

A partir de esto partiremos de las siguientes consideraciones:

Agitación media de 100 rpm

Diámetro del tanque 0.45 m



LONGITUD DEL BRAZO DE AGITACIÓN

$$Lb = \frac{10}{11} * \varnothing t$$

Donde:

$\varnothing t$ = Diámetro del tanque (m)

L_b = Longitud del brazo de agitación (m)

$$L_b = \frac{10}{11} * 0,45 \text{ m}$$

$$L_b = 0,41 \text{ cm}$$

Por haberse diseñado un tanque con una altitud de 61 cm y por tener un mejor criterio en la agitación se decide en aumentar el largo de brazo hasta 45 cm

ESPEJOR DEL RODETE

$$Er = \frac{1}{18} (L_b)$$

Donde:

Er = Espesor del rodete (m)

L_b = Longitud del brazo (m)

$$Er = \frac{1}{18} (0,45 \text{ m})$$

$$Er = 0,025 \text{ m}$$

$$Er = 2.5 \text{ cm}$$

DIÁMETRO DEL RODETE

$$\varnothing r = \frac{2}{3} \varnothing t$$

$\varnothing r$ = Diámetro del rodete (m)

$\varnothing t$ = Diámetro del tanque de agitación (m)

$$\varnothing r = \frac{2}{3} 0,45 \text{ m}$$

$$\varnothing r = 0,3 \text{ m}$$

$$\varnothing r = 30 \text{ cm}$$

ESPACIO ENTRE EL FONDO DEL TANQUE Y LA PALETA

$$x = h - Lb$$

Donde:

X = Distancia entre el fondo del tanque y la paleta (m)

h = Altura del tanque (m)

Lb = Longitud del brazo (m)

$$x = h - Lb$$

$$x = 0,61 \text{ m} - 0,45 \text{ m}$$

$$x = 0,16 \text{ m}$$

$$x = 16 \text{ cm}$$

ALTO DE LA PALETA

$$Ap = \frac{1}{12} Lb$$

Donde:

Ap = Alto de la paleta

Lb = Longitud del brazo

$$Ap = \frac{1}{12} * 0,45 \text{ m}$$

$$Ap = 0,0375 \text{ m}$$

$$Ap = 3,8 \text{ cm}$$

3.1.3.6. CALCULO DE LA POTENCIA PARA ACCIONAR EL RODETE

3.1.3.6.1. CALCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

Se calcula mediante la siguiente formula:

$$N_{Re} = (\varnothing t^2 * N * \rho) / \mu$$

Donde:

$\varnothing t$ = Diámetro del tanque (m)

N = Numero de revoluciones por segundo

ρ = Densidad del fluido (Kg/L)

μ = Viscosidad dinámica del fluido (Pas.s)

Datos:

$\varnothing t = 0.50$ (m)

N = 100 rpm = 1.667 rps

$\rho = 791$ kg/m³

$\mu = 5.44 * 10^{-4}$ Pa.s

$$N_{Re} = (0.50^2 m^2 * 1.667 rps * 791 Kg/m^3) / 5.44 * 10^{-4} Pa.s$$

$$N_{Re} = 605972,9$$

3.1.3.6.2. CALCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR

Por medio de la gráfica del número de potencia Np en función del Nre, el número de potencia es:

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

Donde:

Np = Número de potencia

ρ = Densidad del fluido (Kg/L)

P = Potencia (W)

ϕt = Diámetro del tanque

N = Revoluciones por segundo

Con el número de Reynolds utilizamos la gráfica de correlaciones de potencia tomando en cuenta la curva de tipo agitador de hélice (ANEXO III), teniendo un valor de:

$$N_p = 0.60$$

$$P = N_p * \rho * N^3 * d^5 = 0.60 * 791 \text{Kg/m}^3 * 1.667^3 \text{rps} * 0.50^5$$

$$P = 68.70 \text{ W}$$

3.1.3.7. CALCULOS PARA EL REACTOR DE TRANSESTERIFICACION

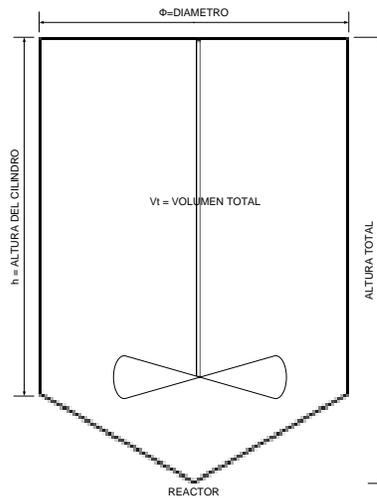
DATOS NECESARIOS PARA SU DIMENSIONAMIENTO

$$D = 50 \text{ cm} = 0,50 \text{ m}$$

$$V_{\text{Aceite}} = 80,0 \text{ L/Parada Aceite}$$

$$V_{\text{Metoxido}} = V_{\text{Metanol}} + V_{\text{metoxido}}$$

$$V_{\text{Metoxido}} = 38,1 \text{ L Metanol} + 0,33 \text{ L NaOH (Parada)}$$



$$V_{\text{Metoxido}} = 38,43 \text{ L}$$

VOLUMEN REAL DEL CILINDRO

$$V_r = V_{\text{Aceite}} + V_{\text{Metóxido}}$$

$$V_r = 80,0 \text{ L Aceite} + 38,43 \text{ L Metóxido}$$

$$V_r = 120,0 \text{ Litros} - 9,00 \text{ V cono} = 111,0 \text{ Litros}$$

VOLUMEN CORREGIDO O DE SEGURIDAD

$$V = f_s * V_r$$

$$V = 0,15 * 111,0 \text{ L}$$

$$V = 16,65 \text{ L}$$

VOLUMEN TOTAL

$$V_t = V + V_r$$

$$V_t = 16,65 + 111,0 \text{ (L)}$$

$$V_t = 128,0 \text{ L}$$

$$V_t = 127650 \text{ cm}^3$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA

Para determinar este parámetro utilizamos la fórmula del área de un cilindro:

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

$$A = \frac{\pi * (0,50 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 0,20 \text{ m}^2$$

DETERMINACIÓN DE LA ALTURA

Utilizamos la fórmula del volumen de un cilindro, teniendo:

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

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

$$h = \frac{127650 \text{ cm}^3}{\pi * (25 \text{ cm})^2}$$

$$h = 65,0 \text{ cm}$$

CÁLCULOS PARA CONSTRUIR EL FONDO CONICO DEL REACTOR

El fondo cónico de este reactor tendrá una altura de 15 cm de altura la cual ayudara a que se descargue todo el fluido.

CALCULO DEL VOLUMEN DEL CONO

$$V_C = \frac{1}{3} \pi * r^2 * h$$

$$V_C = \frac{1}{3} \pi * 25,0^2 \text{ cm} * 15 \text{ cm}$$

$$V_C = 9,82 \text{ Litros}$$

CALCULO DE LA ALTURA INCLINADA DEL CONO.

Para hallar la altura inclinada del cono se calcula con el teorema de Pitágoras.

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

$$h_i = \sqrt{25^2 + 15^2}$$

$$h_i = 29,15 \text{ cm}$$

El radio del círculo tiene que ser igual a la altura inclinada del cono (h_i): 29,15 cm

CALCULO DEL DIÁMETRO DEL CÍRCULO PARA CONSTRUIR EL CONO.

$$D_2 = h_i * 2$$

$$D_2 = 29,15 \text{ cm} * 2$$

$$D_2 = 58,31 \text{ cm}$$

Para averiguar el tamaño de la chapa primero se calcula el diámetro del círculo: igual a 58,31 cm. Tiene que ser un cuadrado de 59 cm de lado, pero mejor que sea con unos centímetros más grande.

CALCULO DEL PERÍMETRO DEL TANQUE REACTOR Y DEL CÍRCULO DEL CONO.

CALCULO DEL PERÍMETRO DEL TANQUE REACTOR

$$P_1 = D * \pi$$

$$P_1 = 50 \text{ cm} * \pi$$

$$P_1 = 157,0 \text{ cm}$$

CALCULO DEL PERÍMETRO DEL CÍRCULO CON QUE SE PREPARA EL CONO

$$P_2 = D_2 * \pi$$

$$P_2 = 58,31 \text{ cm} * \pi$$

$$P_2 = 183,18 \text{ cm}$$

CALCULO DEL ARCO (UNA SECCIÓN DE LA CIRCUNFERENCIA) DEL SECTOR CIRCULAR

$$ab = P_2 - P_1$$

$$ab = 183,18 - 157,0 \text{ (cm)}$$

$$ab = 26,18 \text{ (cm)}$$

CALCULO DEL ANGULO DEL SECTOR CIRCULAR

$$\beta = \frac{ab}{P_2} * 360$$

$$\beta = \frac{ab}{P_2} * 360$$

$$\beta = \frac{26,18 \text{ cm}}{183,18 \text{ cm}} * 360$$

$$\beta = 51.5^\circ$$

Para hacer el agujero antes de doblar y soldar, medir el diámetro interior y suma la mitad del grosor de la pared del tubo. Digamos que el resultado es 2,2 cm. Todos los ángulos son los mismos que en el cálculo del cono para poder hacerlo proporcionadamente: 2,2 cm es el diámetro del agujero, se divide entre dos para saber el radio: $2,2 / 2 = 1,1$ cm. Esa es la altura inclinada que quieres: $29,15 \times 1,1 \div 25 = 1,28$ cm, así que hazla de 1,28 cm. Dibujar el círculo para el agujero con un radio de 1,28 cm

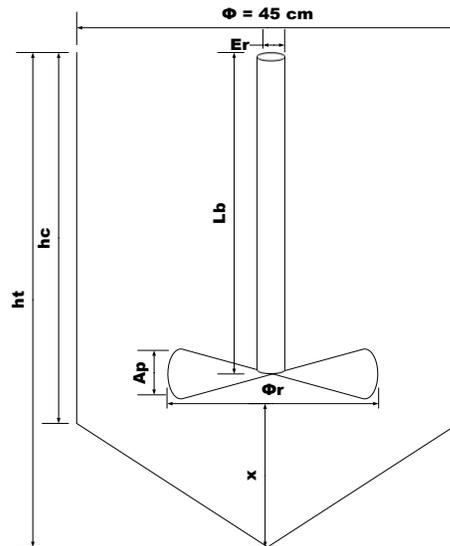
3.1.3.8. CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE AGITACIÓN PARA EL TANQUE DE TRANSESTERIFICACION.

Para establecer las condiciones de diseño del agitador es necesario determinar la potencia para accionar el rodete. El cálculo de la potencia deberá realizarse a partir de la experiencia, es decir mediante la empírica en las pruebas de laboratorio.

Por lo tanto partiremos de las siguientes consideraciones:

Agitación media de 500 rpm

Diámetro del tanque 0,50 m



LONGITUD DEL BRAZO DE AGITACIÓN

$$L_b = \frac{10}{11} * \varnothing_t$$

Donde:

\varnothing_t = Diámetro del tanque (m)

L_b = Longitud del brazo de agitación (m)

$$L_b = \frac{10}{11} * 0,50 \text{ m}$$

$$L_b = 0,45 \text{ cm}$$

Por haberse diseñado un tanque con una altitud de 80 cm y por tener un mejor criterio en la agitación se decide en aumentar el largo de brazo hasta 60cm

ESPESOR DEL RODETE

$$Er = \frac{1}{18} (L_b)$$

Donde:

E_r = Espesor del rodete (m)

L_b = Longitud del brazo (m)

$$E_r = \frac{1}{18} (0,60 \text{ m})$$

$$E_r = 0,033m$$

$$E_r = 3.33 \text{ cm}$$

DIÁMETRO DEL RODETE

$$\varnothing r = \frac{2}{3} \varnothing t$$

$\varnothing r$ = Diámetro del rodete (m)

$\varnothing t$ = Diámetro del tanque de agitación (m)

$$\varnothing r = \frac{2}{3} 0,50 \text{ m}$$

$$\varnothing r = 0,333m$$

$$\varnothing r = 33,3 \text{ cm}$$

ESPACIO ENTRE EL FONDO DEL TANQUE Y LA PALETA

$$x = h - L_b$$

Donde:

X = Distancia entre el fondo del tanque y la paleta (m)

h = Altura del tanque (m)

L_b = Longitud del brazo (m)

$$x = h - L_b$$

$$x = 0,80 \text{ m} - 0,60m$$

$$x = 0,20 \text{ cm}$$

$$x = 20 \text{ m}$$

ALTO DE LA PALETA

$$Ap = \frac{1}{12} Lb$$

Donde:

Ap = Alto de la paleta

Lb = Longitud del brazo

$$Ap = \frac{1}{12} * 0,60 \text{ m}$$

$$Ap = 0,05 \text{ m}$$

$$Ap = 5,0 \text{ cm}$$

CALCULO DE LA POTENCIA PARA ACCIONAR EL RODETE

CALCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

Se calcula mediante la siguiente formula:

$$N_{Re} = (\emptyset t^2 * N * \rho) / \mu$$

Datos:

$$\emptyset t = 0,45 \text{ (m)}$$

$$N = 150\text{rpm} = 2,5 \text{ rps}$$

$$\rho = 916 \text{ kg/L}$$

$$\mu = 0,972 \text{ Pa.s}$$

$$N_{Re} = (0,45\text{m}^2 * 2,5 \text{ rps} * 916 \text{ Kg/m}^3) / 0,2585 \text{ Pa.s}$$

$$N_{Re} = 3986.5 = 3.9 * 10^3$$

CALCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR

Por medio de la gráfica del número de potencia N_p en función del N_{re} , el número de potencia es:

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

Donde:

N_p = Número de potencia

ρ = Densidad del fluido (Kg/L)

P = Potencia (W)

ϕt = Diámetro del tanque

N = Revoluciones por segundo

Con el número de Reynolds utilizamos la gráfica de correlaciones de potencia tomando en cuenta la curva de tipo agitador de hélice (ANEXO III), teniendo un valor de:

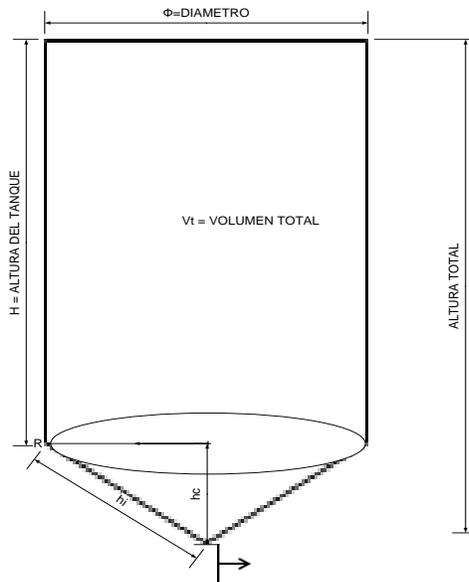
$$N_p = 0.80$$

$$P = N_p * \rho * N^3 * d^5 = 0.80 * 916 \text{ Kg/m}^3 * 2.5^3 \text{ rps} * 0.45^5 \text{ m}$$

$$P = 211.3 \text{ W}$$

3.1.3.9. CALCULOS PARA DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE SEPARACIÓN DE FACES

Los tanques de separación tendrán una forma cónica que ayudara al separación de fases, para el dimensionamiento de los tanques de separación se toma en cuenta el volumen de la mezcla producto de la reacción, más el volumen de glicerina que se añade a la misma, entonces el volumen total que se obtendrá de la reacción es de 142 litros, pero a esto se le resta el volumen del cono que es de 23 litros teniendo el volumen de 119 litros con el cual se realiza el dimensionamiento del tanque.



VOLUMEN REAL

$$Vr = 142 \text{ L/Parada} + 23 \text{ L}$$

$$Vr = 119 \text{ Litros /parada}$$

VOLUMEN CORREGIDO O DE SEGURIDAD

$$V = f_s * Vr$$

Donde:

V = Volumen corregido o de seguridad (L)

f_s = Factor de seguridad

V_r = Volumen real (L)

$$V = 0.15 * 119 \text{ Litros}$$

$$v = 17,85 \text{ Litros}$$

VOLUMEN TOTAL

$$V_t = V + V_r$$

Donde:

$V_t =$ Volumen total (L)

$V =$ Volumen corregido (L)

$V_r =$ Volumen real (L)

$$V_t = 17,85 \text{ L} + 119 \text{ L}$$

$$V_t = 137,0 \text{ L}$$

$$V_t = 136580 \text{ cm}^3$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA

Para determinar este parámetro utilizamos la fórmula del área de un cilindro:

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

Donde:

$A =$ Área del tanque (m^2)

$D =$ Diámetro del tanque (m)

$$A = \frac{\pi * (0,50 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 0,79 \text{ m}^2$$

DETERMINACIÓN DE LA ALTURA

Utilizamos la fórmula del volumen de un cilindro, teniendo:

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

Donde:

$V_t =$ Volumen del tanque (cm^3)

$r =$ Radio del cilindro (m)

$h =$ Altura del tanque (m^2)

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

$$h = \frac{136850 \text{ cm}^3}{\pi * (25 \text{ cm})^2}$$

$$h = 70,0 \text{ cm}$$

CÁLCULOS PARA CONSTRUIR EL FONDO CONICO DEL REACTOR

El fondo cónico de este reactor tendrá una altura de 35 cm de altura la cual ayudara a que se descargue todo el fluido.

CALCULO DEL VOLUMEN DEL FONDO CÓNICO

$$V_C = \frac{1}{3} \pi * r^2 * h$$

Donde:

r = radio del tanque reactor.

h = Es la altura del cono (cm)

$$V_C = \frac{1}{3} \pi * 25^2 \text{ cm} * 35 \text{ cm}$$

$$V_C = 23 \text{ litros}$$

CALCULO DE LA ALTURA INCLINADA DEL CONO.

Para hallar la altura inclinada del cono se calcula con el teorema de Pitágoras.

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

Donde:

h_i= Altura inclinada del cono (cm)

r = Radio del tanque reactor (cm)

h = Es la altura del cono (cm)

$$h_i = \sqrt{25^2 + 35^2}$$

$$h_i = 43,0 \text{ cm}$$

El radio del círculo tiene que ser igual a la altura inclinada del cono (hi): 43,0 cm

CALCULO DEL DIÁMETRO DEL CÍRCULO PARA CONSTRUIR EL CONO.

$$D_2 = h_i * 2$$

Donde:

D_2 = Diámetro del círculo para construir el cono.

h_i = Altura inclinada del cono (cm)

$$D_2 = 43,0 \text{ cm} * 2$$

$$D_2 = 86,0 \text{ cm}$$

CALCULO DEL PERÍMETRO DEL TANQUE REACTOR Y DEL CÍRCULO DEL CONO.

CALCULO DEL PERÍMETRO DEL TANQUE REACTOR

$$P_1 = D * \pi$$

Donde:

P_1 = Perímetro del tanque reactor (cm)

D = diámetro del tanque reactor (cm)

$$P_1 = 50 \text{ cm} * \pi$$

$$P_1 = 157,0 \text{ cm}$$

CALCULO DEL PERÍMETRO DEL CÍRCULO CON QUE SE PREPARA EL CONO

$$P_2 = D_2 * \pi$$

Donde:

P_2 = perímetro del círculo con que se prepara el cono.

D_2 = Diámetro del círculo para construir el cono

$$P_2 = 86,0 \text{ cm} * \pi$$

$$P_2 = 270,0 \text{ cm}$$

CALCULO DEL ARCO (UNA SECCIÓN DE LA CIRCUNFERENCIA) DEL SECTOR CIRCULAR

$$ab = P_2 - P_1$$

Donde:

ab = arco (nos va indicar el sector del círculo que debe ser retirado)

P_2 = perímetro del círculo con que se prepara el cono.

P_1 = Perímetro del tanque reactor (cm)

$$ab = 270,0 - 157,0 \text{ (cm)}$$

$$ab = 113,0 \text{ (cm)}$$

CALCULO DEL ANGULO DEL SECTOR DEL SECTOR CIRCULAR

$$\beta = \frac{ab}{P_2} * 360$$

Donde:

ab = sección del circunferencia que se debe retirar.

P_2 = perímetro del círculo con que se prepara el cono.

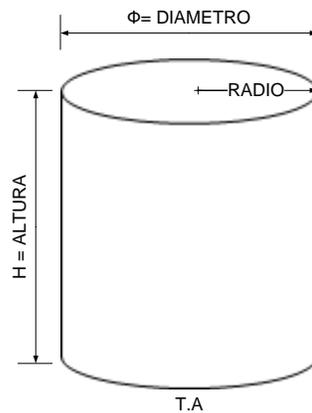
$$\beta = \frac{ab}{P_2} * 360$$

$$\beta = \frac{113,0 \text{ cm}}{270,0 \text{ cm}} * 360$$

$$\beta = 151^\circ$$

3.1.3.10. CALCULOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE BIODIESEL

Tomando en cuenta la producción de una semana el tanque de almacenamiento tiene una capacidad de 250 galones por semana.



Datos:

$$D = 1\text{m} = 100 \text{ cm}$$

$$V_r = 189,25 \text{ litros/día} * 5 \text{ días} = 946,25 \text{ L BD} = 250 \text{ galones/semana}$$

VOLUMEN REAL

$$V_r = 946,25 \text{ L/semana}$$

VOLUMEN CORREGIDO O DE SEGURIDAD

$$V = f_s * V_r$$

Donde:

V = Volumen corregido o de seguridad (L)

f_s = Factor de seguridad

V_r = Volumen real (L)

$$V = 0,15 * 946,25 \text{ Litros}$$

$$v = 141,94 \text{ litros}$$

VOLUMEN TOTAL

$$V_t = V + V_r$$

Donde:

V_t = Volumen total (L)

V = Volumen corregido (L)

V_r = Volumen real (L)

$$V_t = 141,94 \text{ L} + 946,25 \text{ L}$$

$$V_t = 1088,2 \text{ L}$$

$$V_t = 1088187,5 \text{ cm}^3$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA

Para determinar este parámetro utilizamos la fórmula del área de un cilindro:

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

Donde:

A = Área del tanque (m^2)

D = Diámetro del tanque (m)

$$A = \frac{\pi * (1 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 0,785 \text{ m}^2$$

DETERMINACIÓN DE LA ALTURA

Utilizamos la fórmula del volumen de un cilindro, teniendo:

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

Donde:

V_t = Volumen del tanque (cm^3)

r = Radio del cilindro (m)

h = Altura del tanque (m^2)

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

$$h = \frac{1088187,5 \text{ cm}^3}{\pi * (50\text{cm})^2}$$

$$h = 140,0 \text{ cm}$$

3.1.3.11. SISTEMA DE TUBERÍAS Y BOMBAS

3.1.3.11.1. SISTEMA DE TUBERÍAS

Para la selección del material de las tuberías se consideró el grado de corrosividad de los productos a transportar, por lo que se decidió que el material más adecuado es acero inoxidable y PVC.

- Tubería para el transporte de aceite. Se emplea tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada, con el fin de evitar taponamientos, ya que se transporta aceite con un alto punto de fusión, y disminuir pérdidas de carga.

- Tubería para transporte de metanol. Se emplea tubería de ½ pulgada, teniendo en cuenta los bajos flujos de metanol requeridos.

3.1.3.11.2. SISTEMA DE BOMBAS

En la selección de las bombas a utilizar en la etapa de pre diseño de la planta, se consideró el líquido que se va a transportar y la carga dinámica total, con el fin de tener una primera aproximación a los cálculos definitivos que se realizarán en la segunda etapa de este proyecto. Debido a la gran variedad de tipos de bombas y los numerosos factores que influyen en la selección, se limitó las posibilidades considerando que para las condiciones de operación establecidas, con bajos caudales (0,6 m³/h) y bajas presiones de descarga, la bomba centrífuga es el equipo más conveniente, además de ser la más económica y aplicada en este tipo de procesos.

Los materiales de las bombas se seleccionaron según la corrosión del fluido así: para las bombas de aceite, biodiesel, mezcla reactiva se elige acero ya que no presentan corrosión significativa; para el agua se elige hierro colado, para metanol y mezcla metanol hidróxido de potasio se elige una bomba con impulsor de polipropileno, a prueba de explosión

3.1.3.11.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA BOMBA

ECUACIÓN DE BERNOULLI

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 \frac{g}{g_c} + H = h_f + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 \frac{g}{g_c}$$

CÁLCULO DEL CAUDAL

Para determinar el caudal tomamos en consideración el tiempo que necesitamos que se descargue el metanol el cual será de 5 minutos, con un diámetro de la tubería de ½ de pulgada.

$$Q = \frac{V}{T}$$

$$Q = \frac{0,07650 \text{ m}^3}{300 \text{ s}} =$$

$$Q = 2.55 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

$$v = \frac{4Q}{\pi \phi^2}$$

$$v = \frac{4 * 2.55 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 0.00635^2 \text{ m}}$$

$$v = 8.05 \text{ m/s}$$

CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR ACCESORIOS.

TABLA 3.1.3.11-1.

PERDIDAS EN ACCESORIOS DE ½ IN

Accesorios	Cantidad	K
Codo de 90° estándar	3	0.9
Unión simple	2	0,15
Válvula de bola	1	9
Salida de tanque	1	0,05
Uniones estándar	1	0,15

$$H_m = \sum k \frac{v^2}{2g}$$

$$H_m = 12.2 * \frac{(8.05)^2}{19.6}$$

$$H_m = 40.34$$

CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

$$h_f = f * \frac{L}{\phi} * \frac{v^2}{2g}$$

CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

$$N_{Re} = \frac{v\rho\phi}{\mu}$$

$$N_{RE} = \frac{8.05 * 791 * 0.0127}{5.44 * 10^{-4}}$$

$$N_{RE} = 155671.42$$

Por lo tanto el régimen de flujo es turbulento.

CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD RELATIVA

La rugosidad relativa del PVC es de 0.02 mm

$$RR = \frac{\varepsilon}{\phi}$$

$$RR = \frac{0.00002}{0.0127} = 0.0016$$

CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN

Con NRe y la RR calculamos en el diagrama de MOODY el factor de fricción.

$$f = 0,022$$

Con los datos obtenidos reemplazamos en la ecuación para calcular las pérdidas por fricción

$$h_f = f * \frac{L}{\phi} * \frac{v^2}{2g}$$

$$hf = 0,022 * \frac{3,80}{0,0127} * \frac{(8.05)^2}{19,6}$$

$$hf = 21.76$$

Con los datos obtenidos reemplazamos en la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 \frac{g}{g_c} + H = h_f + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 \frac{g}{g_c}$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \sum h_{fT} = \pm H$$

Donde:

$$V_1 = 0$$

$$P_2 = P_1$$

$$\frac{v_2^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + \sum h_{fT} = \pm H$$

$$\frac{8.05^2}{19.6} + 1.15 + 21.76 + 40.34 = \pm H$$

$$66.55 = H$$

CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA.

$$Hp = \frac{W \cdot H}{75 \cdot n}$$

CÁLCULO DEL FLUJO MÁSSICO.

$$W = \rho \cdot Q$$

$$W = 791 \text{ kg/m}^3 \cdot$$

$$W = 791 \text{ kg/m}^3 \cdot 2.55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$W = 0.202$$

Si remplazamos en la ecuación anterior tenemos:

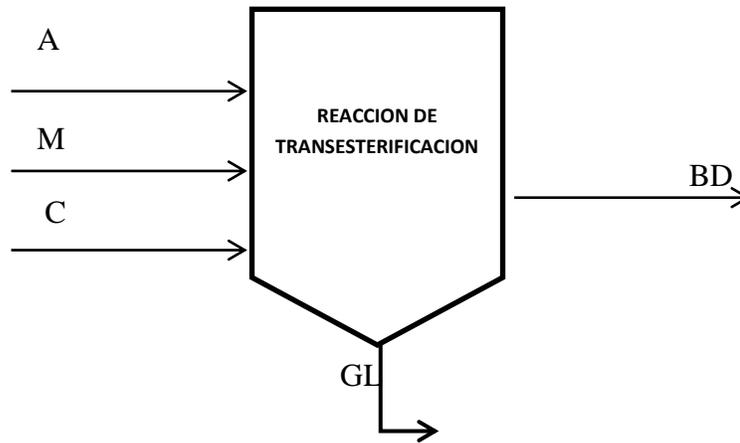
$$Hp = \frac{0.202 \cdot 66.55}{75 \cdot 0.80}$$

$$Hp = 0.22$$

Por disponibilidad en el mercado se decidirá una bomba de 05 Hp.

3.1.3.12. BALANCE DE MASA

El balance de masa para la obtención de biodiesel a partir del aceite de higuera se realiza para producir diariamente 50 galones de biodiesel esto representa alrededor de 189.25 litros de aceite puro que utilizara la planta para la producción diariamente. La producción de biodiesel se realizara en dos paradas ya que la capacidad máxima del reactor de transesterificación de diseño es de 130 litros, entonces el balance de masa se realizara para obtener 25 galones (94.6 L) de biodiesel por parada, entonces tenemos.



DONDE:

A = Aceite de Higuera

M = Metanol

C = Catalizador (NaOH)

BD = Biodiesel

GL = Glicerina.

Antes de realizar el balance de masa de esta etapa es necesario conocer la masa, de todas las materias primas así como de los productos, la cual es importante para realizar los cálculos.

$$\rho_{\text{Biodiesel}} = 0.920 \text{ g/ml}$$

$$\rho_{\text{Aceite}} = 0.980 \text{ g/ml}$$

Donde el volumen del biodiesel y la glicerina son:

$$V_{\text{Biodiesel}} = 94.26 \text{ L} = 86.724 \text{ Kg}$$

$$V_{\text{Glicerina}} = 13.85 \text{ L} = 13.57 \text{ Kg}$$

BALANCE DE MASA DE ALIMENTACION

$$mf = \Sigma \text{Kg} (mA + mM + mC)$$

$$mf = (78.43 + 30.23 + 0.69)$$

$$mf = 109,35 \text{ Kg}$$

CALCULO DE LA CORRIENTE DE ALIMENTACION.

$$F = \frac{mf(kg)}{t}$$

$$F = \frac{109.35(kg)}{2 \text{ horas}}$$

$$F = 54.675$$

CÁLCULOS PARA LAS CORRIENTES DE SALIDA

$$BD = \frac{mf(kg)}{t}$$

$$BD = \frac{86.72(kg)}{2} = 43.36 \text{ kg}$$

$$GL = \frac{132.57(kg)}{2} = 6.785 \text{ kg}$$

BALANCE DE MASA GLOBAL

$$F = BD + GL + Me$$

$$54,7 = 43,36 + 6,78 + Me$$

$$M = 4.56 \text{ Kg}$$

3.1.3.13. BALANCE DE ENERGÍA

El balance de energía se realizara solo a reactor de tranesterificacion en vista de que es el único que utilizara temperatura.

Para determinar la cantidad de calor que se requerirá para realizar la reacción en el reactor, utilizaremos la primera ley de la termodinámica y es la siguiente.

$$Q - W = \Delta E$$

Donde:

$$\Delta E = \Delta U + \Delta EC + \Delta EP$$

Remplazando tenemos

$$Q - W = \Delta U + \Delta EC + \Delta EP$$

Donde:

Q = Transferencia de calor a través de las fronteras

W = Trabajo hecho en todas las formas

ΔU = energía interna

ΔEC = energía cinética

ΔEP = energía potencial

$$\Delta U = m (u_2 - u_1)$$

$$\Delta EC = \frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2)$$

$$\Delta EP = mg(z_2 - z_1)$$

$$Q = mCp\Delta T$$

El reactor es un sistema cerrado estacionario, debido a que no hay ningún cambio en su velocidad o en la elevación de su centro de gravedad durante el proceso, así como también no se realiza trabajo, por tal razón tanto la energía cinética, potencial y el trabajo son despreciables ($\Delta EC = 0$, $\Delta EP = 0$ y $w = 0$), entonces la ecuación queda de la siguiente manera.

$$Q - W \cancel{=} \Delta U + \Delta EC \cancel{=} + \Delta EP \cancel{=} \\ Q = \Delta E$$

Entonces tenemos:

$$Q = mC_p\Delta T$$

Dónde:

Q = Es la cantidad de calor (KJ)

m = Es la masa (kg)

C_p = Esta es la capacidad calorífica (KJ/Kg°K)

ΔT = Variación de la temperatura

Como el reactor de transterificacion se trata de un sistema estacionario, solo se determina la cantidad de calor y será así:

Datos:

m = 190.35 Kg

C_p = 1885.1 KJ/KmolK

T₁ = 293 °K

T₂ = 333.15 °K

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = 190.35 * 1885.1 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K} * (333.15 - 293)$$

$$Q = 14.407 * 10^6 \text{ KJ}$$

Ya calculado el calor, se puede determinar que el sistema durante el proceso es positivo, es decir gana calor.

3.1.3.14. CALCULO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

Las correlaciones de transferencia de calor, para soluciones agitadoras en el interior de un recipiente y las paredes de la chaqueta bien dado por:

$$\frac{U\phi}{K} = a * (Nre)^b * Np^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu}{u_w}\right) * m$$

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

$$Npr = \frac{Cp * \mu}{k}$$

Donde:

U = Coeficiente de transferencia de calor (J/sm²°K)

Ø = Diámetro del tanque

K = conductividad térmica (J/sm°K)

Nre = Número de Reynolds

Øt= diámetro del agitador

N = Numero de revoluciones por minuto

ρ = densidad del fluido (Kg/m³)

μ = viscosidad del fluido (Pa.s)

Np = Número de Prandet

Cp = Capacidad calorífica (J/Kg°K)

μw = viscosidad del fluido a temperatura de la pared (Pa.s)

a,by m = constantes según el tipo de agitador.

3.1.3.15. CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

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

$$Nre = \frac{0.45 m^2 * 2.5 rps * 916 kg/m^3}{0,2585 Pa.s}$$

$$Nre = 3986.46$$

3.1.3.16. CALCULO DEL NÚMERO DE PRANDT

$$N_{pr} = \frac{C_p * \mu}{k}$$

Para lo cual, la capacidad calorífica de la mezcla del aceite de higuera y con metanol es:

$$C_p = 1885.1 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

La conductividad térmica del acero inoxidable 304 es:

$$K = 50.2 \text{ J/ms}^\circ\text{K}$$

$$N_{pr} = \frac{1885.1 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K} * 0,2585 \text{ Pa. s}}{0.0502 \text{ KJ/ms}^\circ\text{K}}$$

$$N_{pr} = 9371.12$$

Las constantes a, b y c son determinadas de acuerdo al tipo de paleta siendo este tipo plana:

$$a = 0.54$$

$$b = 2/3$$

$$m = 0.14$$

$$\frac{U\phi}{K} = a * (Nre)^b * Np^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu}{u_w}\right) * m$$

$$\frac{U * 0.45}{50.2 \text{ J/ms}^\circ\text{K}} = 0.54 * (3.98 * 10^3)^{\frac{2}{3}} * 9371.12^{\frac{1}{3}} * \frac{0.2588 \text{ Pa. s}^{0.14}}{1 * 10^{-3}}$$

$$U = 694.058,56 \text{ KJ/sm}^\circ\text{K}$$

3.1.4. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.

3.1.4.1. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Dado que la planta piloto tendrá un carácter piloto, se definió su diseño de manera tal que pudiese trabajar en un solo sistemas de operación, el más difundidos dentro de los procesos de producción de biodiesel, que es: el sistema de operación Batch o por lotes. Poseerá una capacidad de producción máxima de 50 Galones/día. Dicha capacidad de producción se definió en función de la obtención de un volumen de biocombustible que permitiese realizar diferentes pruebas de calidad y utilización del mismo.

Dado su carácter de planta, la planta poseerá cualidades especiales en lo que respecta a variabilidad del proceso, permitiendo realizar pruebas con distintos esquemas de trabajo y bajo distintas condiciones y materias primas.

La planta estará compuesta por 17 recipientes o equipos de proceso claramente diferenciados, los cuales serán identificados por la letra “E” en el caso de ser equipo de proceso o por la letra “R” en el caso de ser recipiente de almacenaje, en ambos casos acompañará a la letra un número según orden de aparición dentro del esquema de funcionamiento lógico.

3.1.5. TIPOLOGÍA DE MATERIALES Y CONTROLES.

3.1.5.1. TIPO DE MATERIALES Y SUS CARACTERÍSTICAS DE TODO EL EQUIPAMIENTO BASE DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.

Tabla 3.1.5-1

Descripción base de los Equipos y los tipos de materiales

Código	Descripción	Cantidad	Tamaño/ capacidad	Tipo de material
T1	Tanque de Aceite	1	800 L	Acero o HDPE
T2	Tanque de metanol	1	380 L	Acero
R1	Reactor metóxido	1	89 L	Acero inoxidable
R2	Reactor transesterificación	1	130 L	Acero inoxidable
D1-D2	Decantadores	2	140 L	Acero inoxidable
T3	Tanque de almacenamiento	1	1000 L	Acero
B.A	Bomba aceite	1	0.5 HP	Fierro
B.M	Bomba metanol	1	0.5 HP	Fierro
B3	Bomba de transferencia	1	1 HP	Fierro
B4	Bomba de biodiesel	1	1 HP	Fierro
C1,C2	Panel eléctrico	2	-	Metal
V1-V15	Válvulas de bola	13	-	Acero inoxidable

Fuente: Jaime Chasig

3.1.6. REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO.

El análisis de costes se realizó con valores ecuatorianos, por lo que en algunos casos resultó imposible establecer comunicación con proveedores. Esto llevó a tener que estimar algunos de los costes o a tener que hacer una equivalencia del coste en relación al valor que tendría en caso de una importación.

Para efectos de la etapa siguiente de este proyecto se contempla una revisión completa de los costes considerando exclusivamente proveedores ecuatorianos.

Algunos de los componentes que se presentan en este análisis no corresponden a las dimensiones propuestas en el punto 6. Memoria descriptiva. Equipos, Depósitos e instrumentación involucrada, lo que se debe a que existen equipos o recipientes estándares disponibles en el mercado, permitiendo disminuir los costes finales del proyecto.

Tabla 3.1.6-1

Costes de la Planta Piloto

UNIDAD	PARTIDA	CANTIDAD	VALOR UNI. (\$)	TOTAL (\$)
1Unidad de producción de biodiesel				15.638 \$
1.1	Uni.	Depósito aceite. Estanque tipo IBC en polietileno de alta densidad. Capacidad 1000 L	1 242	242
1.2	Uni.	Depósito metanol. Estanque en acero inoxidable AISI 304	1 383	383
1.3	Uni.	Depósito NaOH. Estanque en acero inoxidable AISI 304	1 107	107
1.5	Uni.	Reactor 1rio. Mezclador metóxido. estanque en acero inoxidable AISI	1 2.013	2.013

		304 con agitador de aspas variable			
1.6	Uni.	Reactor 2rio. Reacción de transesterificación estanque en acero inoxidable AISI 304 con agitador de aspas variable	1	2.013	2.013
	Uni	Separador de fases. Estanques en acero inoxidable AISI 304	2		1.200
1.7	Uni.	Depósito recuperador de alcohol. Estanque en acero inoxidable AISI 304	1	266	266
1.8	Uni.	Depósito Glicerol. Estanque de polietileno de alta densidad	1	201	201
1.9	Uni.	Condensador de alcohol	1	470	470
1.10	Uni.	Depósito alcohol recuperado. Estanque en acero inoxidable AISI 304	1	266	266
1.11	Uni.	Tanque pulmón. Estanque de polietileno de alta densidad	1	268	268
1.12	Uni.	Columnas de lavado	1	805	805
1.13	Uni.	Bomba dosificadora	2	201	403
1.14	Uni.	Depósito residuos lavado	1	201	201
1.15	Uni.	Equipo de secado biodiesel. Estanque en acero inoxidable AISI 304 con control de temperatura	1	604	604
1.16	Uni.	Depósito biodiesel. Estanque en acero galvanizado con bomba dosificadora	1	1.879	1.879
1.17	Uni.	Bombas	5	336	1.678
1.18	Uni.	Válvulas	40	30	1.181
1.19	Uni.	Sistema PLC	1	2.013	2.013

1.20	m	Pipping 3/4" x 1,5 mm x 6 m	10	19	187
1.21	m	Pipping 1/2" x 1,5 mm x 6 m	10	13	129
3	Infraestructura			16.509,0	
3.1	Uni.	Edificio de procesos	1	15.028	15.028*
Total					31.537 \$

Fuente Jaime Chasig

Tabla 3.1.6-2

Costes de Operación a Escala de Laboratorio

ITEMS	MONTO (\$. U.S.)
GASTOS DE INVERSION FIJA	
- Reactivos necesarios (aceite ricino de higuerrilla, metanol e hidróxido de sodio).	250,0
- Materiales necesarios (se incluye todo el equipo para producir biodiesel.)	100,0
- Laboratorio de OO.UU. (uso de espacios).	30,0
- Material de oficina.	150,0
GASTOS DE OPERACION	
- Pago ayudante ocasional.	50,0
- Pago por caracterización de biodiesel y mezclas.	400,0
- Pago por movilización.	150,0
COSTO PARCIAL (\$. U.S.)	1.130,0
IMPREVISTOS 5 %	141,5
COSTO TOTAL (\$. U.S.)	1.271,5

Fuente: Jaime Chasig

3.2 RESULTADOS

3.2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA ACEITE DE HIGUERILLA.

Tabla 3.2.1-1

Resultados del Aceite de Higuierilla

CARACTERÍSTICAS	MÉTODO UTILIZADO	RESULTADOS
COLOR	Sensorial	Amarillo
OLOR	Sensorial	Característico a ricino
ASPECTO	Sensorial	Claro-brillante
IMPUREZAS VISIBLES	Sensorial	Conforme
PESO ESPECIFICO A25 C	Analítico	0.961
ÁCIDOS GRASOS LIBRES	CA.5A-40 AOCS	0.93 %
HUMEDAD	Ca2c-24 AOCS	0.18 %
ÍNDICE DE YODO	Cd1-25 AOCS	85 cg/g
ÍNDICE DE HIDRÓXIDO	Cd 13 -60 AOCS	163
ÍNDICE DE REFRACCIÓN	Cc 7-25 AOCS	1.478
ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN	Cd 3 -46 AOCS	178.mg KOH
IMPUREZAS INSOLUBLES	Ca 3-26 AOCS	0.01%MAX

Fuente: Laboratorios Paracelso Cuenca-Ecuador

3.2.2. RESULTADOS DE LOS FACTORES Y NIVELES PARA LA OBTENCION DE BIODIESEL.

El diseño experimental es un medio de importancia en la ingeniería para mejorar el rendimiento de un proceso de manufactura, así como el desarrollo de nuevos productos.

La etapa de los experimentos se dio inicio en el mes de mayo y se culminó en junio, se consideró un diseño de 2^3 , es decir compuesto de 3 factores, cada uno de ellos a 2 niveles: alto

y bajo, a continuación se muestran los valores definitivamente seleccionados para los niveles de los factores en estudio.

Tabla. 3.2.2-1
Resultados de los factores y niveles para la obtención de biodiesel

FACTOR	NIVEL BAJO (-)	NIVEL ALTO (+)
$X_1 = CC$ Cantidad de catalizador (% peso)	0.75	1.65
$X_2 = RMA$ Relación metanol-aceite (mol/ mol)	4:1	5:1
$X_3 = T$ Temperatura (° C)	25,0	40,0

Fuente: Jaime Chasig

3.2.3. RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

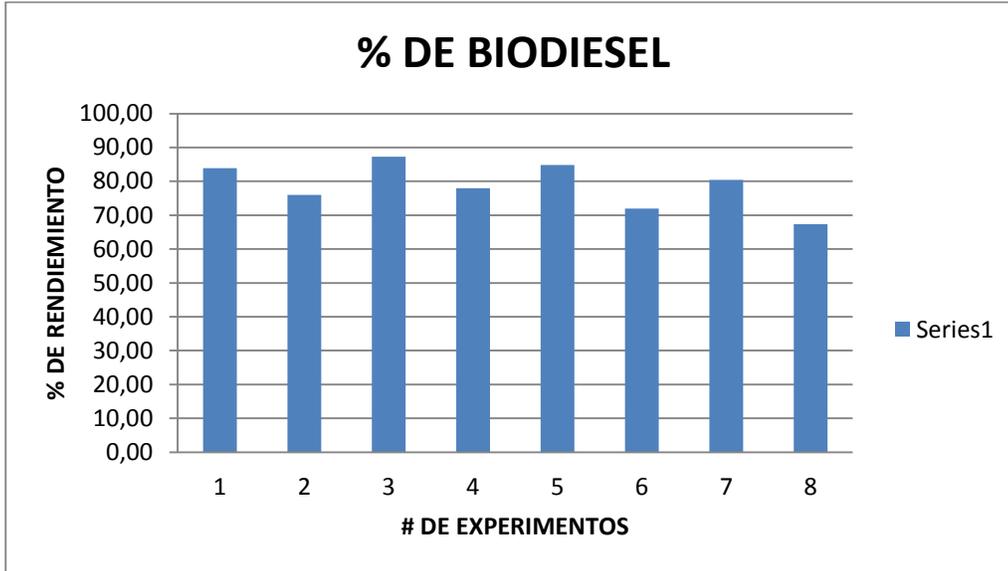
Numero de experimentos y variable de respuesta Y_i (% de rendimiento en el proceso de producción de Biodiesel).

Tabla. 3.2.3-1
Rendimiento Producción De Biodiesel

# experimentos	X_1	X_2	X_3	Y_i % Rdto. Rx-q
1	3	4:1	25	83.87
2	6	4:1	25	76.00
3	3	5:1	25	87.23
4	6	5:1	25	78.00
5	3	4:1	40	84.82
6	6	4:1	40	71.91
7	3	5:1	40	80.43
8	6	5:1	40	67.35

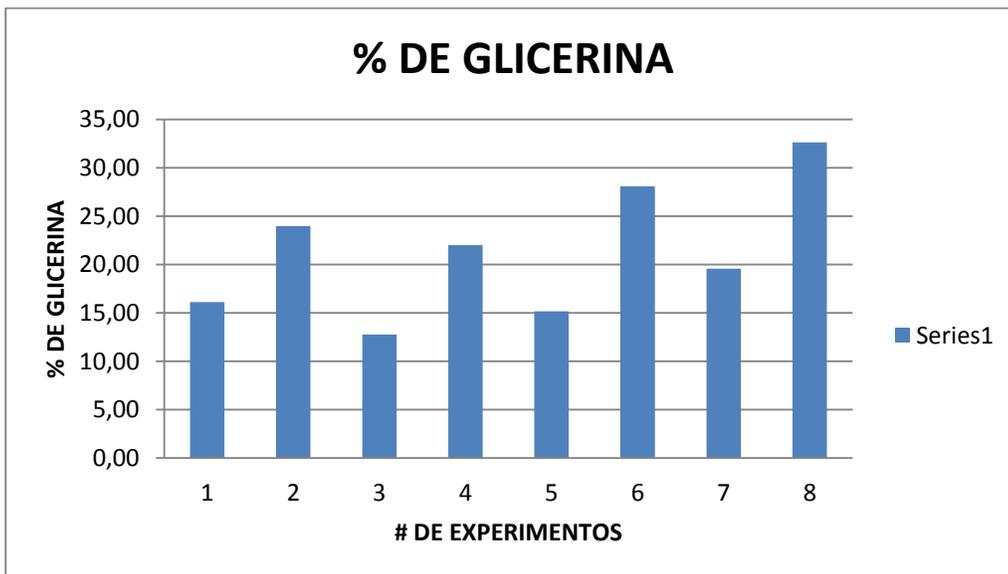
Fuente: Jaime Chasig

Fig. 3.2.3-1 Rendimiento Producción De Biodiesel



Fuente: Jaime Chasig

Fig. 3.2.3-1 Rendimiento Producción de Glicerina



Fuente: Jaime Chasig

3.2.4. RESULTADOS DE LOS EFECTOS DE LAS VARIABLES DEL PROCESO UTILIZANDO EL MÉTODO DE YATES.

Aplicando *el método de Yates* se puede calcular las diferentes interacciones individuales y combinadas entre los factores, así tenemos:

EFECTOS PRINCIPALES

$$\bar{X} \text{ promedio} = (Y1 + Y2 + Y3 + Y4 + Y5 + Y6 + Y7 + Y8)/4 = 78.70 \%$$

$$X_1 \text{ (cantidad de catalizador)} = (-Y1 + Y2 - Y3 + Y4 - Y5 + Y6 - Y7 + Y8)/4 = -10.77$$

$$X_2 \text{ (relación metanol/ aceite)} = (-Y1 - Y2 + Y3 + Y4 - Y5 - Y6 + Y7 + Y8)/4 = -0.90$$

$$X_3 \text{ (temperatura)} = (-Y1 - Y2 - Y3 - Y4 + Y5 + Y6 + Y7 + Y8)/4 = -5.15$$

EFECTOS DE LAS INTERACCIONES DE LOS 3 FACTORES

$$X_1 X_2 \text{ (CC. - RMA)} = (+Y1 - Y2 - Y3 + Y4 + Y5 - Y6 - Y7 + Y8) / 4 = -0.382$$

$$X_1 X_3 \text{ (CC. - T)} = (+Y1 - Y2 + Y3 - Y4 - Y5 + Y6 - Y7 + Y8) / 4 = -2.22$$

$$X_2 X_3 \text{ (RMA - T)} = (+Y1 + Y2 - Y3 - Y4 - Y5 - Y6 + Y7 + Y8)/4 = -3.58$$

$$X_1 X_2 X_3 \text{ (CC. - RMA - T)} = (-Y1 + Y2 + Y3 - Y4 + Y5 - Y6 - Y7 + Y8)/4 = 0.30$$

3.2.4.2. DETERMINACION DE LAS VARIABLES PARA LA OBTENCION DE BIODIESEL.

Tabla: 3.2.4.2-1

Determinación de las variables para la obtención de biodiesel.

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDAD
CANTIDAD DE CATALIZADOR	3.0	g
RELACIÓN METANOL/ACEITE	206.98/345	ml
TEMPERATURA	40	°C
AGITACIÓN	200	Rpm
CANTIDAD DE GLICERINA	50	ml

Fuente: Jaime Chasig

3.2.4.3. CANTIDAD DE BIODIESEL POR PRODUCCIÓN.

Tabla 3.2.4.3-1

Cantidad de biodiesel por producción.

PRODUCTO	PRODUCCIÓN
BIODIESEL	87.23 %
COEFICIENTE	0.8723

Fuente: Jaime Chasig

3.2.4.4. CANTIDAD DE GLICERINA POR PRODUCCIÓN.

Tabla 3.2.4.4-1

Cantidad de glicerina por producción.

PRODUCTO	PRODUCCIÓN
GLIERINA	10.3%
COEFICIENTE	0.10

Fuente: Jaime Chasig

3.2.4.5. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL

Tabla 3.2.4.5-1

Resultados de la caracterización del biodiesel.

ENSAYO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN NTE 2480	
				Min.	Max.
pH			7.9	5	
Densidad	g/cm ³	ASTM D 1298	0.920	0.860	0.900
Densidad API a 60°F	°API	PNE/DPEC/P/ASTM D 287	21.4		
Sedimento básico y agua, BSW	% V	ASTM D 2709	2.0	--	0.05
viscosidad cinemática a 40°C	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D 445	12.88	3.5	5
Carbón corrosivo	% P	ASTM D 189	2.569		
Índice de cetano calculado		ASTM D 976	34	45	-
Corrosión lamina de Cu	U. corrosivo	ASTM D 130	1A	--	3
Punto de inflamación	° C	PNE/DPEC/P/ASTM D93	138.6	120	-
Poder calórico neto	Kcal/kg	METODO INTERNO	9900	9500	-
Destilación de ASTM	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D 86	320	-	345

**FUENTE: Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación
Universidad Central del Ecuador**

3.2.4.5. HOJA TÉCNICA DE DIMENSIONAMIENTO

Tabla. 3.2.4.5.-1

Hoja técnica del dimensionamiento de los tanques de almacenamiento

DESCRIPCION	INDICADOR	UNIDADES
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL ACEITE		
Tipo Cilíndrico	-----	-----
Acero Inoxidable	304	AISI
Volumen	800	L
Diámetro	100	cm
Altura	120	cm
Espesor	3	mm
TAPA PLANA		
Volumen	0	cm ³
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL METANOL		
Tipo Cilíndrico	-----	-----
Acero Inoxidable	304	AISI
Volumen	380	L
Diámetro	0.90	cm
Altura	80	cm
Espesor	3	mm
TAPA PLANA		
Volumen	0	cm ³

Tabla. 3.2.4.5.-2

Hoja técnica del dimensionamiento de los reactores

DESCRIPCION	INDICADOR		UNIDADES
DIMENSIONAMIENTO DE LOS REACTORES			
	Metóxido	Transesterificacion	
Tipo Cilíndrico	-----	-----	-----
Acero Inoxidable	304	304	AISI
Volumen	88.40	128	L
Diámetro	45	50	cm
Altura	56	65	cm
Espesor	3	3	mm
CONSTRUCCIÓN DEL FONDO CÓNICO			
Altura del cono	5	15	cm
Altura inclinada	23,0	29.15	cm
Tamaño de la chapa	46,10	58.15	cm
Angulo	8,53	51.5	°
Volumen del cono	0,33	9.82	L
SISTEMA DE AGITACIÓN			
Longitud del Brazo	45	60	cm
Espesor del Rodete	2.5	3,33	cm
Diámetro del rodete	30	34	cm
Distancia entre el fondo del tanque y el rodete	16	20	cm
Alto de la Paleta	3.8	5	cm
Angulo de la Paleta	45	45	°
Numero de Paletas	2	4
Potencia Requerida	68.7	211.3	W
Revoluciones	100	500	rpm

Tabla. 3.2.4.5.-3

Hoja técnica del dimensionamiento de los separadores de fase.

DESCRIPCION	INDICADOR	UNIDADES
SEPARADORES DE FASE		
Tipo Cilíndrico	Cónico	Cónico
Acero Inoxidable	304	AISI
Volumen	140	L
Diámetro	50	cm
Altura	70	cm
Espesor	3	mm
TAPA PLANA		
Volumen	0	cm ³
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL BIODIESEL		
Tipo Cilíndrico	-----	-----
Acero Inoxidable	304	AISI
Volumen	1088	L
Diámetro	100	cm
Altura	140	cm
Espesor	3	mm
TAPA PLANA		
Volumen	0	cm ³

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE

RESULTADOS

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El aceite de higuera o conocido como ricino (castor oil en inglés), este aceite posee características químicas que lo califican como el único de su naturaleza. Está compuesto casi que exclusivamente (90%) de un único ácido graso (ácido ricinoleico) que contiene un radical hidroxilo que lo hace soluble en alcohol a baja temperatura, es muy viscoso y con propiedades físicas especiales.

Aceite que ha tomado especial interés para la producción de biodiesel, el cual se obtiene por la transesterificación, donde los triglicéridos en reacción con el metanol y el hidróxido de sodio, convierten el aceite en ésteres mono alquílicos y glicerol. Para encontrar las condiciones de diseño, partimos de una serie de experimentos, es decir se estudian las variables que más influyen en la reacción, estas son; la relación molar aceite/metanol, la cantidad de catalizador (CC) y la temperatura, a los que los llamaremos factores, manteniendo constante la presión, tiempo de reacción entre otras, desarrollado la serie de experimentos tenemos que, la relación molar metanol/aceite será de 4:1 para un nivel bajo y de 5:1 para un nivel alto, ahora para la cantidad de catalizador tenemos que 0.75 para un nivel bajo y 1.65 para un nivel alto, en cuanto al temperatura se consideran, al ambiente y por encima de los 60 °C, dando resultados que no son satisfactorios para la producción de biodiesel, como formación de geles, jabón, una pasta sólida: por lo que se decide tomar las temperaturas de 25 °C para un nivel bajo, 40 °C para un nivel alto.

Con los datos de estudio de los factores se forma una matriz donde mediante el diseño factorial 2^3 , se realizan 8 experimentos, con los cuales se determinaron los efectos principales de los factores y sus interacciones, el mismo que nos proporciona las condiciones de proceso para el diseño, estos son; relación metanol/aceite es de 5:1, para el cual se utilizara 1.2% de catalizador, con una temperatura de 40 °C dando un rendimiento del 84% de biodiesel y el 16 % de glicerina.

De acuerdo con un análisis de variancia se pudo constatar que los tres factores tenidos en cuenta tienen influencia sobre el rendimiento del proceso siendo el más significativo el efecto de la cantidad de catalizador, luego la temperatura y por último el exceso de alcohol.

El valor promedio (78.7%) indica alrededor de que valor están distribuidas las respuestas. Los efectos principales miden como afecta cada factor a la respuesta, el tratamiento que provoca un mayor cambio de rendimiento es al variar el catalizador de 6 a 3 gramos. El valor -10.77 indica que el rendimiento disminuye en esa cantidad. Al varia la relación molar de 4:1 a 5:1 el rendimiento disminuye en 0.90 % en promedio.

El biodiesel obtenido tiene un color amarillo claro, la glicerina un color miel, con un olor a alcohol; en las Normas ASTM D, se indican las especificaciones que garantizan la calidad de un biocombustible, para ser considerado aceptable y de calidad como: pH no menos a 5, °API no menor a 10, Índice de cetano calculado mínimo de 47 y punto de infamación no menor a 93 °C, a partir de estas especificaciones el biodiesel de aceite de higuera (*ricinus communis*) (B100) presenta un pH de 7.9; °API no menor a 21.4, Índice de cetano calculado de 84 y punto de infamación de 88.6 °C, como podemos ver algunos de los datos están dentro de las condiciones o especificaciones que se requieren para los biocombustibles, pero diríamos que

no pueden ser considerados como exactos ya que no existe especificaciones para el biodiesel obtenido a partir del aceite de higuera

Además en la presente sección se realiza un análisis de factibilidad que pretende mostrar al interesado una visión global de la viabilidad de llevar a cabo la construcción de una planta productora de biodiesel tomando en cuenta la materia prima antes mencionada; las simulaciones del diseño de planta se han realizado tomando en cuenta un medio básico catálisis debido a que la transesterificación en este medio resulta ser más rápida que la del medio ácido y presenta una mejor conversión, en este caso de un 84 % para tiempos residencia de una hora.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y
RESULTADOS

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RESULTADOS

5.1. CONCLUSIONES.

- Las condiciones que permite obtener los mayores rendimientos de biodiesel de aceite de higuera mediante la reacción de transesterificación son temperatura de 40 °C, relación metanol aceite de y un porcentaje de 4:1 y un porcentaje de 1.2 % en peso de NaOH.
- Determinadas las condiciones de diseño en la serie de experimentos, se diseña un sistema de producción de biodiesel, el proceso utilizado será de forma discontinua, es decir será un reactor Batch por lotes, de acero inoxidable 304, calentado por resistencias.
- La elaboración de biodiesel a partir de aceite de higuera tiene una ventaja, es la fácil consecución de la higuera, ya que esta es una planta no comestible, no posee competencia con las demás oleaginosas de consumo humano, por lo que su costo de adquisición es de menor costo.
- Se decidió que la planta poseerá la capacidad de trabajar bajo el Sistema de Operación Batch, con una capacidad de producción máxima de 50 l/día, además se decidió que el diseño del proceso de producción se basara en un proceso de Catálisis Alcalina, utilizando hidróxido de sodio como catalizador y metanol como alcohol.
- Durante la producción de biodiesel se tiene como residuo glicerina, la cual se reutilizara y el sobrante se puede recoger para, destinar como materia prima para productos farmacéuticos, así ayudando a contribuir con el medio ambiente.

5.2 RECOMENDACIONES

- En el proceso de producción de biodiesel no se deberá de trabajar por encima de los 40 °C, temperaturas altas hace que se dé la reacción de saponificación dando lugar a la formación de una sola masa gelatinosa sin diferenciación de fases sin resultado alguno.
- Las materias primas en especial el aceite no debe de contener agua, al igual que el metanol debe tener un 98 % de grado de pureza, ya que la presencia de agua ayuda a la formación de jabón, afectando a la reacción transesterificación.
- Evitar respirar vapores de la preparación del metóxido, ni tocarlos con las manos ya que ambos son dañinos, para esto se recomienda utilizar ropa adecuada de trabajo así como equipos de protección personal.
- Se recomienda descargar la glicerina a medida que las fases se van separando para que la glicerina que se encuentra adherida a las paredes del separador no se mezcle al final de la separación.
- Mantener el aceite en agitación constante al momento de descargar el metóxido de sodio, la misma hace que la reacción tenga un mejor rendimiento en la producción de biodiesel.
- Al adicionar la glicerina se debe agitar por unos 5 minutos la cual ayuda a que atrape la formación de geles así como del metanol que se encuentra en exceso.
- Par verificar si la reacción de transesterificación fue exitosa se realizara la prueba de lavado de biodiesel, la cual consiste en añadir agua a una muestra de biodiesel, agitar y dejar en reposo por 20 minutos, si forma una solución lechosa la reacción no se completó, pero si esta solución forma dos fases bien definidas la reacción está completa.

BILBLIOGRAFIA

- 1. DICKSON, T.,** Química Enfoque Ecológico., 2a. ed., Distrito Federal – México., Noriega., 1999, Pp., 135-187.
- 2. DOUGLAS, C.,** Diseño y Análisis de Experimento., 3a. ed., Grupo Editorial Iberoamérica., 1991, Pp. 248-250.
- 3. GOERING, E.,** Fuel properties of eleven vegetable oils., Transactions of the American Society of Agricultural Engineers–ASAE., Vol. 25, 1982, Pp. 1472-1483.
- 4. GUTIÉRREZ, H., SALAZAR, R.,** Análisis y Diseño de Experimentos., 2a. ed., McGraw-Hill., DF- México., 2004, Pp.150-170-208.
- 5. KOHAN, L.,** Principios Operativos De antenimiento, Construcción, Instalación, Reparación, Seguridad, Requerimientos y Normativas., 4a. ed., Madrid-España., McGraw- Hill., 2000, Pp. 475-483
- 6. PERRY. R.,** Manual del Ingeniero Químico., 7a. ed., Madrid-España, McGraw Hill, 2007, Pp. 20-120-151.
- 7. VILBRANDT, F., DRYDEN, C.,** Ingeniería Química del Diseño De Plantas Industriales., 1a. ed., DF-México., Grijalbo, 1963, Pp. 25-275-305

- 8. INEN 1986.,** Norma Técnica 154., “Biodiesel Requisitos”., Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN., Quito-Ecuador Pp.2.

BIBLIOGRAFÍA INTERNET

9. ACEITE DE HIGUERILLA

www.scribd.com/doc/6454433/aceite-de-higuerilla

20011-08-17

10. COMBUSTIBLE SUSTITUTO

www.sica.gov.ec/agronegocios/.../BIODIESEL.

2011-08-17

11. CDTS FIM CP ESPOL. PRODUCCION Y USO DE ACEITES VEGETALES Y BIODIESEL

[www.cdts.espol.edu.ec/documentos/biodiesel.pdf.](http://www.cdts.espol.edu.ec/documentos/biodiesel.pdf)

2011-08-17

12. EL ACEITE DE HIGUERILLA SOBRADO PARA PRODUCIR BIODIESEL

www.mineducacion.gov.co/.../article-160492.html

2011-12-05

13. ECUADOR CIENCIA EL BIODIESEL Y EL COMBUSTIBLE FOSIL

www.ecuadorciencia.org/noticias.asp?id=2887

2012-01-10

14. EL BIODIESEL DE PALMA EN EL ECUADOR Y LOS CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD RELACIONADOS.

www.ceda.org.ec/descargas/ForoBio/.../Amparo%20Alban.pdf 2.009

2012-01-10

15. HIGEROIL DE COLOMBIA: Semillas de higuera y usos del aceite

www.higeroil.com/2.007

2012-02-10

16. HIGUERILLA ALTERNATIVA PRODUCTIVA, ENERGETICA Y AGROINDUSTRIAL

www.biodisol.com/.../higuerilla-alternativa-productiva-energetica-y-agroindustrial-para-colombia-biocombustibles-cult... -2.009

2012-02-24

17. HIGUERILLA: BIODIESEL EN EL ECUADOR

www.higuerillo.blogspot.com/.../biodiesel-en-ecuador.html 2.009

2012-02-05

18. INTERCAMBIO: HIGUERILLA EN ECUADOR

ecuador.acambiode.com/intercambio_higuerilla.html-2.009

2012-03-25

19. LA HIGUERILLA EN FRESNO

higuerilla.fresnodigital.info/2.009

2012-04-04

20. LA HIGUERILLA PETROLEO VERDE

www.rds.org.co/aa/img_upload/.../La_Higuerilla.pdf -2.006

2012-05-06

21. LA HIGUERILLA ES UN NUEVO NICHOS PARA LA EXPORTACION

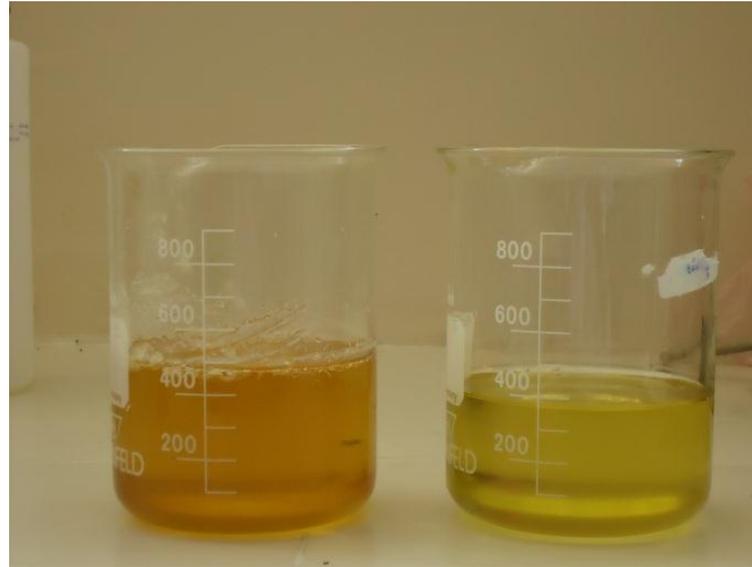
[www.hoy.com.ec/...ecuador/la-higuerilla-para-l-exportacion.](http://www.hoy.com.ec/...ecuador/la-higuerilla-para-l-exportacion)

2012-06-26

ANEXOS

ANEXO I

ACEITE DE HIGUERILLA Y REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACION



NOTAS: a) Aceite de higuera y la reacción de transesterificación	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <ul style="list-style-type: none">• Certificado• Por aprobar• Para información• Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Jaime Chasig	Diseño de un sistema de producción de biodiesel a partir del aceite de higuera.		
			Lamina	Escala	Fecha
			1 A	X: Y:	2012-10-

ANEXO II

AGITACIÓN VIGOROSA DURANTE LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACION



NOTAS: a) Agitación vigorosa durante la reacción de transesterificación.	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <ul style="list-style-type: none">• Certificado• Por aprobar• Para información• Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Jaime Chasig	Diseño de un sistema de producción de biodiesel a partir del aceite de higuera.		
			Lamina	Escala	Fecha
			2 A	X: Y:	2012-10-

ANEXO III

SEPARACIÓN DE FASES



NOTAS: a) Separación de fases	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <ul style="list-style-type: none">• Certificado• Por aprobar• Para información• Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Jaime Chasig	Diseño de un sistema de producción de biodiesel a partir del aceite de higuera.		
			Lamina	Escala	Fecha
			3 A	X: Y:	2012-10-

ANEXO IV

ESQUEMA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL



NOTAS: a) Proceso de producción de biodiesel	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <ul style="list-style-type: none">• Certificado• Por aprobar• Para información• Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Jaime Chasig	Diseño de un sistema de producción de biodiesel a partir del aceite de higuera.		
			Lamina	Escala	Fecha
			4 A	X: Y:	2012-10-

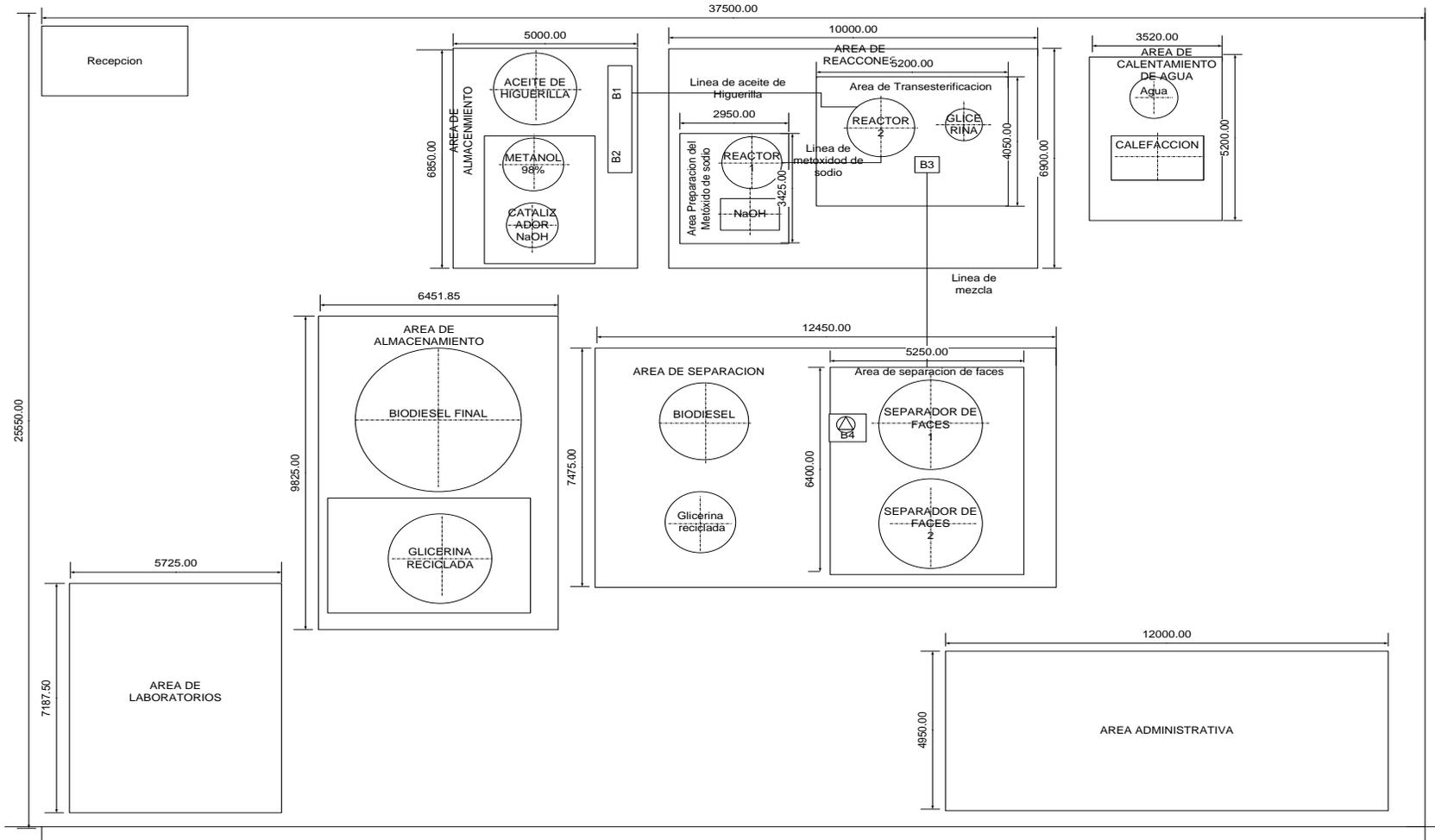
ANEXO V

BIODIESEL COMO PRODUCTO Y GLICERINA COMO RESIDUO



NOTAS: a) Biodiesel b) glicerina	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <ul style="list-style-type: none"> • Certificado • Por aprobar • Para información • Por calificar 	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Jaime Chasig	Diseño de un sistema de producción de biodiesel a partir del aceite de higuera.		
			Lamina	Escala	Fecha
			5 A	X: Y:	2012-10-

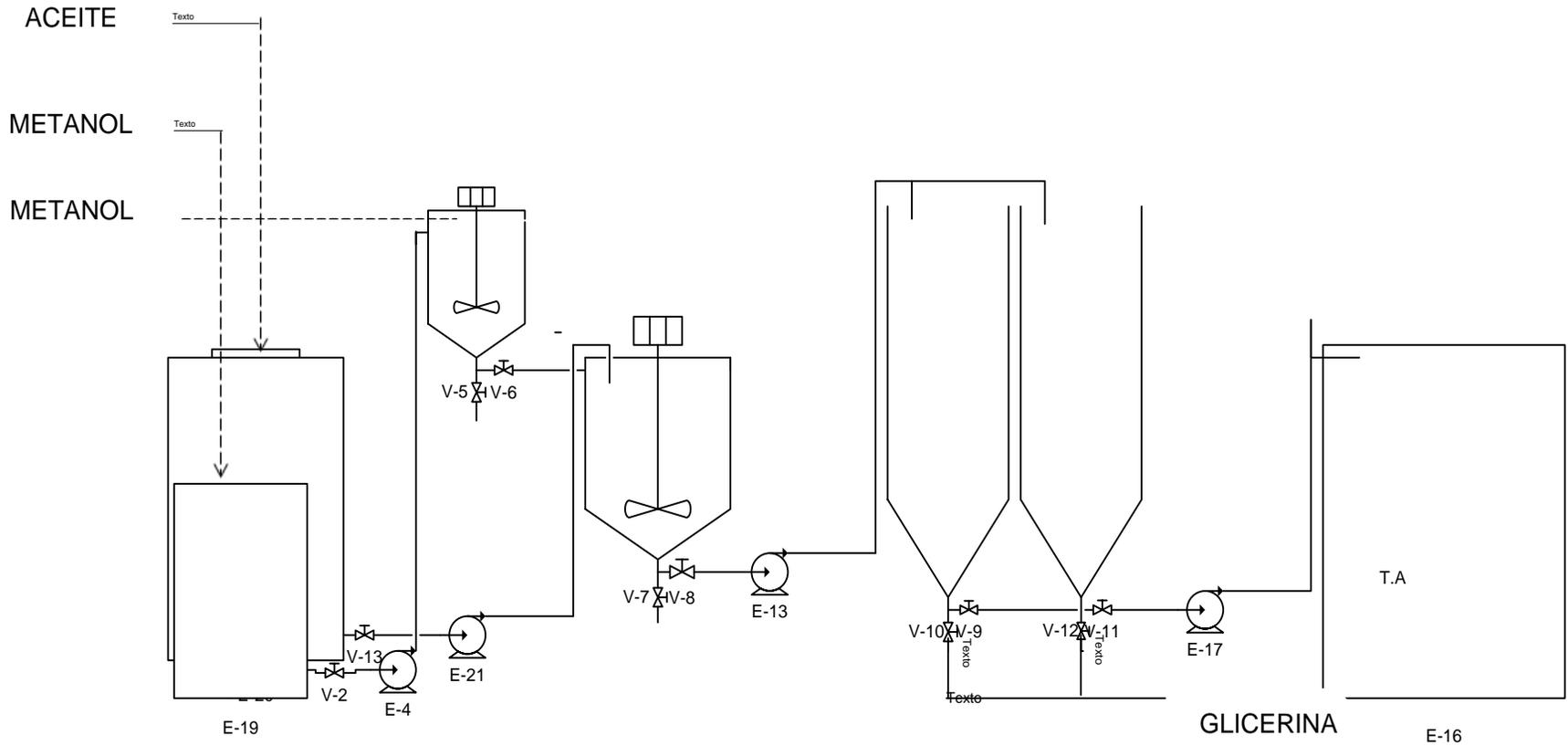
ANEXO VI DIAGRAMA DISTRIBUCION DEL LA PLANTA



<p>NOTAS:</p> <p>a) DIAGRAMA DISTRIBUCION DE PLANTA</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Certificado • Por aprobar • Para información • Por calificar 	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>REALIZADO POR: Jaime Chasig</p>	<p>Diseño de un sistema de producción de biodiesel a partir del aceite de higuerrilla.</p>				
			Lamina	Escala	Fecha		
			5 A	X: Y:	2012-10-		

ANEXO VII

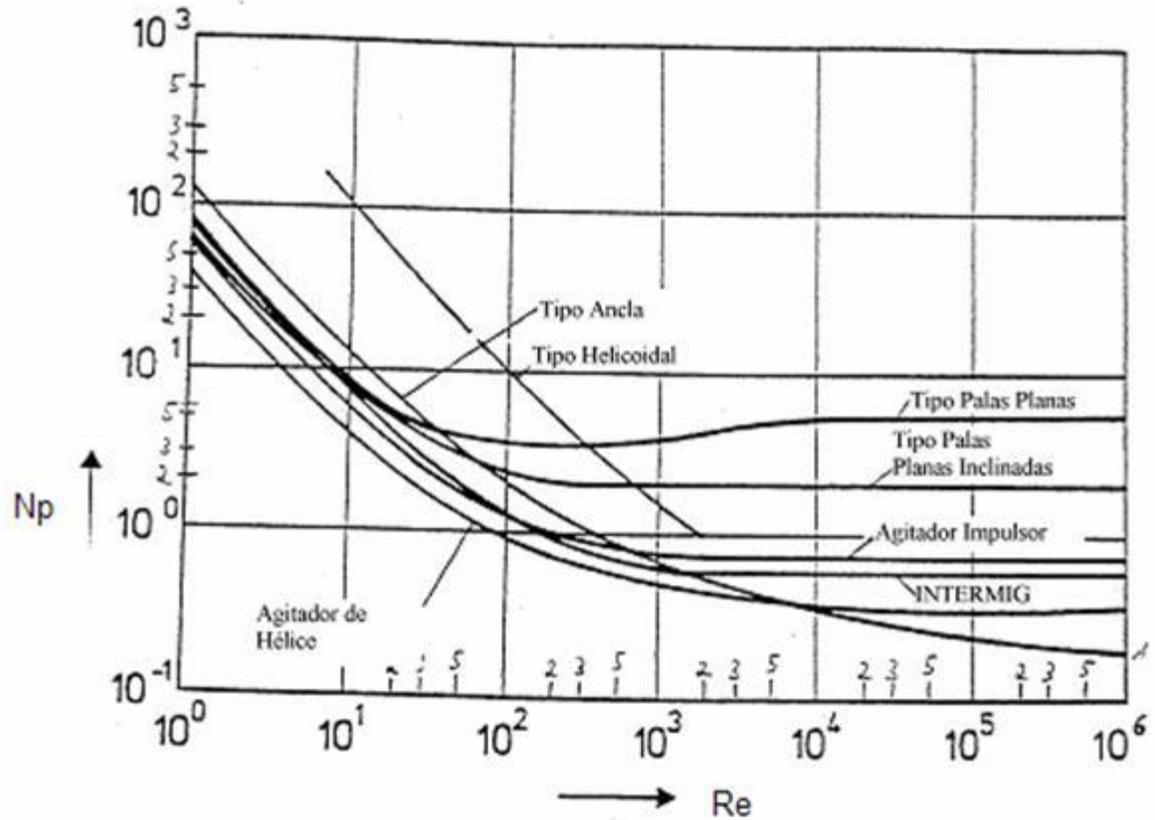
DIAGRAMA DE INGENIERÍA DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL



NOTAS: a) DIAGRAMA DE INGENIERIA	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <ul style="list-style-type: none"> • Certificado • Por aprobar • Para información • Por calificar 	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Jaime Chasig	Diseño de un sistema de producción de biodiesel a partir del aceite de higuerrilla.		
			Lamina	Escala	Fecha
			5 A	X: Y:	2012-10-

ANEXO VIII

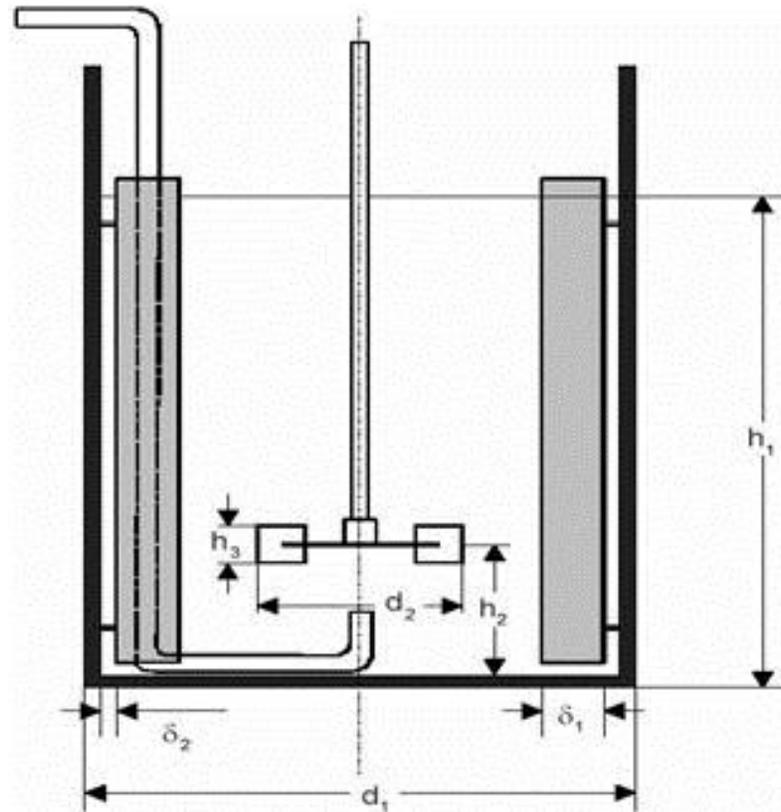
DIAGRAMA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DEL AGITADOR



NOTAS: a) Diagrama para la determinación de la potencia de agitadores	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <ul style="list-style-type: none"> • Certificado • Por aprobar • Para información • Por calificar 	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Jaime Chasig	Diseño de un sistema de producción de biodiesel a partir del aceite de higuera.		
			Lamina	Escala	Fecha
			5 A	X: Y:	2012-10-

ANEXO IX

DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE REACTOR



NOTAS: Dimensionamiento del tanque reactor	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <ul style="list-style-type: none"> • Certificado • Por aprobar • Para información • Por calificar 	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Jaime Chasig	Diseño de un sistema de producción de biodiesel a partir del aceite de higuera.		
			Lamina	Escala	Fecha
			5 A	X: Y:	2012-10-

ANEXO X

VERIFICACIÓN DE LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACION



NOTAS: Dimensionamiento del tanque reactor	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <ul style="list-style-type: none">• Certificado• Por aprobar• Para información• Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Jaime Chasig	Diseño de un sistema de producción de biodiesel a partir del aceite de higuera.		
			Lamina	Escala	Fecha
			5 A	X: Y:	2012-10-

ANEXO XI

CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA



LABORATORIOS PARACELSO

FABRICA DE PRODUCTOS FARMACEUTICOS, QUIMICOS, Y VETERINARIOS

FICHA TÉCNICA.

PRODUCTO: Aceite de Ricino

INFORMACIÓN TÉCNICA.

DESCRIPCIÓN: Líquido pegajoso, transparente, amarillento pálido o casi incoloro; olor débil característico a ricino

USOS: Laxante, Plastificante en lacas y nitrocelulosa, producción de ácidos difásicos, lápiz de labios, revestimientos de poliuretano, elastómeros y adhesivos, ácidos grasos, agentes para superficie activa, fluidos hidráulicos, productos farmacéuticos, medicina (laxantes).

P. EBULLICIÓN. N.R.

P. FUSIÓN. -10

DENSIDAD. 0,955 g/ cc

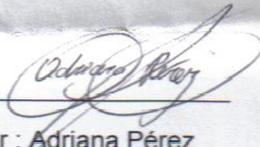
PESO ESPECÍFICO. 0,961

SOLUBILIDAD EN AGUA. Insoluble en agua. Soluble en alcohol, benceno, cloroformo y disulfuro de carbono.

Composición:

Aceite de higuera

- **Conservación:** Temperatura Ambiente


Bio- Far : Adriana Pérez
Jefe de Control de Calidad



LABORATORIO PARCELSO FABRICA DE PRODUCTOS

FARMACEUTICOS, QUIMICOS Y VETERINARIOS
CUENCA - ECUADOR

PARA: Sr. Jaime Chasi

PRODUCTO: Aceite de Ricino

FECHA DE DESPACHO: 23/03/12

CANTIDAD: 1 CANECA (20lts.)

LOTE: 03090212

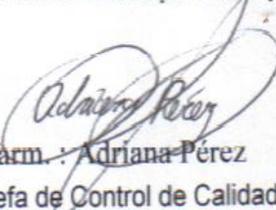
FECHA ELAB: 02/12

FECHA EXP: 02/14

CERTIFICADO DE ANALISIS

CARACTERISTICAS	METODO UTILIZADO	RESULTADOS
COLOR	SENSORIAL	Amarillo
OLOR	SENSORIAL	Caracteristico a Ricino
ASPECTO	SENSORIAL	Claro -Brillante
IMPUREZAS VISIBLES	SENSORIAL	Conforme
PESO ESPECIFICO A 25 °c	ANALITICO	0,961
ACIDOS GRASOS LIBRES (OLEICO)	CA 5A -40 AOCS	0,93%
HUMEDAD Y VOLATILES	Ca2c-24 AOCS	0,18%
INDICE DE YODO	Cd1-25 AOCS	85 cg/g
INDICE DE HIDROXILO	Cd 13 -60 AOCS	163
INDICE DE REFRACCION	Cc 7-25 AOCS	1,478
INDICE DE SAPONIFICACION	Cd 3-46 AOCS	178 mg KOH/g
IMPUREZAS INSOLUBLES	Ca 3-26 AOCS	0,01 % Max

Nota: estos resultados estan basados en los analisis de proveedor y de nuestra empresa


Bioq. farm. : Adriana Pérez
Jefa de Control de Calidad

ANEXO XII

CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL AL 100%



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS PETROLEO

Informe N° 12-09-03-P-1
 Fecha: 2012-09-24

Referencia:	OT: 12-09-03-P
Atención:	Sr. Jaime Chasig
Empresa:	ESTUDIANTE DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL CHIMBORAZO
Dirección:	Riobamba
Tipo de ensayos:	Físico químicos
Tipo de muestra:	Biodiesel
Identificación de la muestra:	Biodiesel 100% (30-08-2012)
Descripción de la muestra:	Sin descripción específica
Fecha de ingreso de muestra:	12-09-2012
Código de la muestra:	OE-12-09-03-P-1
Fecha de realización de ensayos:	12-09-2012/21-09-2012

ENSAYO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADOS
Densidad API a 60° F ⁽¹⁾	°API	PNE/DPEC/P/ASTM D 287	21,4
Sedimento Básico y Agua, BSW*	%V	ASTM D 2709	2,0
Viscosidad Cinemática* a 37,8°C	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D 445	12,88
Carbón Conradson*	%P	ASTM D 189	2,569
Índice de Cetano calculado*		ASTM D 976	34
Corrosión Lámina de Cu*	U. corrosión	ASTM D 130	1A
Calcio*	mg/kg	ASTM D 5056/APHA 3111 B	17,445
Magnesio*	mg/kg	ASTM D 5056/APHA 3111 B	12,821
Punto de inflamación*	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D 93	38,6
Poder Calórico Neto*	kcal/kg	Método Interno	9900

Nota.- Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-010
Nota.- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE
Observaciones: El dato de punto de inflamación está corregido a presión atmosférica 760 mmHg
 (1) Incertidumbre asociada a la medida de la Densidad API, $U = \pm 1,0$ °API (K=2)
Condiciones Ambientales.- Presión: 545,4 mmHg; Temperatura: 21,6°C

Realizado Por: C EGL

Revisado Por:

Ing. Washington Ruiz L.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

Ing. Gilberto Moya D., Dpl.
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC