



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Facultad Regional Multidisciplinaria, FAREM–Estelí

Generación de biodiesel mediante el proceso de transesterificación a partir de aceite reutilizado utilizando un prototipo didáctico de reactor químico de biodiesel en la ciudad de Estelí en el periodo 2018–2019

Trabajo monográfico para optar

Al grado de

Ingeniero en Energías Renovables

Autores

Br. Jonathan Ernesto Gutiérrez Martínez

Br. David Clemente Pérez Rodríguez

Tutor

MSc. Edwin Antonio Reyes Aguilera

Estelí, Nicaragua, mayo 2019



DEDICATORIA

Agradecemos en primer lugar a Dios, por siempre acompañarnos a lo largo de este camino muy necesario por recorrer, que nos permitió estar donde hoy estamos, si no es por la gracia de nuestro Dios no habríamos llegado hasta aquí, siendo el primer ser que a quién agradecemos y dedicamos esto.

Para continuar, dedicamos esta investigación de tesis a nuestros padres quienes entregaron parte de su ser y vida expresada en tiempo, energía y amor en forma de apoyo hacia nosotros para lograr culminar una gran etapa importante para nuestras vidas.

Finalmente, dedicamos incesablemente esta investigación de tesis en memoria a Orlando Francisco Pérez Corrales y Cruz Alberto Obregón López, respetando y agradeciendo su compañía, amistad, hermandad brindada hacia nosotros, y su aporte a esta investigación. Les dedicamos esto con mucho orgullo porque sabemos que hoy son grandes ingenieros que representan nuestra carrera ante los regazos de Dios.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro entero agradecimiento hacia las personas que aportaron hacia este trabajo, con dedicación, tiempo, cariño, respeto y solidaridad, especialmente nos dirigimos a nuestro tutor Msc. Edwin Reyes quien dedicó sus conocimientos, tiempo, y motivación para poder emprender nuestro trabajo, y posteriormente agradecemos a todos nuestros docentes que aportaron mucho desde el inicio de nuestra carrera hasta la culminación tan simbólica de esta tan excepcional meta cumplida.

CARTA AVAL

Por medio de la presente se hace constar que los bachilleres: **JONATHAN ERNESTO GUTIÉRREZ MARTÍNEZ y DAVID CLEMENTE PÉREZ RODRÍGUEZ**, han incorporado las correcciones sugeridas por el tutor y el jurado evaluador al Informe final de investigación de grado titulado **“GENERACIÓN DE BIODIESEL, MEDIANTE EL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN A PARTIR DE ACEITE REUTILIZADO, UTILIZANDO UN PROTOTIPO DIDÁCTICO DE REACTOR QUÍMICO DE BIODIESEL EN LA CIUDAD DE ESTELÍ EN EL PERIODO 2018-2019”**.

Por lo antes mencionado y considerando que el documento presenta el orden metodológico según la normativa de esta universidad me permito avalar el presente trabajo investigativo.

En Estelí a los siete días del mes de junio de 2019

Resumen

Esta investigación constituye el primer antecedente de desarrollo para esta universidad lo cual será una muy buena fuente de información para las futuras investigaciones a emplearse en la facultad, de manera que la evaluación de la producción de biodiesel consecuentemente podría crear una nueva línea investigativa por la cual desarrollar aún más, debido a que es la primera vez que se realiza un proyecto de este tipo, por tal razón es considerado un aporte innovador para la facultad.

El biodiésel es un combustible compuesto por ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables, además es un combustible de origen orgánico producido a partir de aceites vegetales o grasas animales, para que se realizara se sometió a un proceso llamado transesterificación en este estudio se utilizó como fuente de materia prima el aceite de cocina reutilizado de diferentes comedores de Estelí para analizar los niveles de grasas , Viscosidades ,densidades, pH , etc.; identificando cual es la mejor opción del producto teniendo en cuenta estos parámetros antes mencionados , utilizamos un reactor químico el cual permitió que el proceso se haya hecho con los estándares correspondidos , rpm , temperatura , tiempo, volumen , etc.

Abreviaturas Empleadas

CO: Monóxido de carbono

CO₂: Dióxido de carbono

°c: grados Celsius

PH: coeficiente de grado de acidez

Gr: gramos

Lts: litros

ml: mililitros

cm³: centímetros cúbicos

KOH: Hidróxido de potasio

NaOH: Hidróxido de sodio

CH₃OH: Metanol

C₂₀H₁₄O₄: fenolftaleína

μ: Viscosidad dinámica

v: Viscosidad cinemática

ρ: densidad

V: voltaje

A: amperaje

RPM: revoluciones por minuto

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| Abreviaturas Empleadas..... | 1 |
| INTRODUCCION..... | 7 |
| I. ANTECEDENTES..... | 8 |
| II. JUSTIFICACIÓN..... | 9 |
| III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 10 |
| IV. OBJETIVOS..... | 12 |
| 4.1 Objetivo general..... | 12 |
| 4.2 Objetivos específicos..... | 12 |
| V. MARCO TEÓRICO..... | 13 |
| 5.1 Energías renovables..... | 13 |
| 5.1.1 Biomasa..... | 13 |
| 6.1.1.2 Biocombustibles..... | 13 |
| 6.1.1.3 Biodiesel..... | 13 |
| 6.1.1.4 Propiedades del biodiesel..... | 14 |
| 6.2 Proceso de transesterificación..... | 15 |
| 6.2.1 Tipos de transesterificación..... | 15 |
| 6.2.1.4 Transesterificación con co-solventes..... | 16 |
| 6.3 Tipos de reactores químicos..... | 17 |
| 6.3.1 Proceso discontinuo o tipo batch..... | 17 |
| 6.3.2 Proceso continuo..... | 17 |
| 6.5 Agitación..... | 19 |
| 6.5.1 Diseño de reactores con agitación..... | 20 |
| 6.5.1.1 Tamaño..... | 20 |
| 6.5.2 Riesgos..... | 21 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 6.6 | Materias primas para producción de biodiesel..... | 21 |
| 6.6.1 | <i>Aceite</i> | 21 |
| 6.6.2 | <i>Aceite residual de cocina</i> | 21 |
| 6.6.3 | <i>Propiedades químicas de los aceites</i> | 22 |
| 6.7 | Reactivos químicos | 22 |
| 6.7.1 | <i>Catalizador</i> | 23 |
| 6.7.3 | <i>Metanol</i> | 25 |
| 6.7.4 | <i>Alcohol</i> | 25 |
| 6.7.5 | <i>Agua</i> | 25 |
| 6.7.6 | <i>Energía eléctrica</i> | 26 |
| VI. | HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN | 38 |
| VII. | DISEÑO METODOLÓGICO | 39 |
| 7.1 | Tipo de estudio..... | 39 |
| 7.2 | Área de estudio | 39 |
| 7.2.1 | <i>Ubicación geográfica</i> | 39 |
| 7.3 | Área de conocimiento..... | 40 |
| | Universo y Muestra | 40 |
| 7.4 | Métodos, Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos e Información | 41 |
| 7.4.1 | <i>Cuantitativo:</i> | 41 |
| 7.5 | Matriz de operacionalización de variables..... | 42 |
| VIII. | RESULTADOS | 45 |
| XI. | ANEXOS | 75 |
| XII. | BIBLIOGRAFÍA | 77 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1: | Esquema sencillo de proceso de transesterificación del aceite a biodiesel..... | 16 |
|-----------|--|----|

| | |
|--|----|
| Figura 2: Proceso de transesterificación..... | 18 |
| Figura 3: Perfil gráfico de tanque de agitación | 20 |
| Figura 4: Hoja de seguridad de Hidróxido de sodio (Catalizador). Fuente-CISPROQUIM..... | 33 |
| Figura 5: Hoja de seguridad química de Winkler (Hidróxido de Sodio-Catalizador). Fuente - Winkler..... | 34 |
| Figura 6: Hoja de seguridad de Metanol (Alcohol metílico). | 35 |
| Figura 7: Mapa de ubicación geográfica (Dirección: Barrio 14 de abril, contiguo a la subestación de ENEL, tomado de (Google Earth, 2016))..... | 40 |
| Figura 9: Producción de biodiesel por tratamiento y repeticiones | 63 |
| Figura 10: Muestras - fuente propia | |
| Figura 11: Fenolftaleína - fuente propia..... | 68 |
| Figura 12: Observación - fuente propia..... | 68 |
| Figura 13: Cálculos - fuente propia..... | 69 |
| Figura 14: Reactivos químicos para Metóxido - fuente propia..... | 69 |
| Figura 15: Peso en NaOH en Gramos- fuente propia..... | 70 |
| Figura 16: Preparación de metanol - fuente propia | 70 |
| Figura 17: Filtración de aceite - fuente propia | 70 |
| Figura 18: Verificación de controladores de reactor químico - fuente propia | 71 |
| Figura 19: Mezcla de químicos- fuente propia..... | 71 |
| Figura 20: Muestras de biodiesel fuente propia | 71 |
| Figura 21: Agitación de lavado de biodiesel | |
| Figura 22: Lavado de Biodiesel (Prueba 1) - fuente propia | 72 |
| Figura 23: (1er lavado) fuente propia | |

Figura 24: (2do lavado)- fuente propia

Figura 25: (3 lavado)- fuente propia72

Figura 26: Reactor químico para producción de biodiesel.....75

Figura 27: Tabla de construcción de reactor químico76

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Características de principales ácidos grasos: Saturados e insaturados..... | 22 |
| Tabla 2: Datos recolectados de aceite | 47 |
| Tabla 3: Tabla de propiedades físico-químicas de las muestras de aceite | 49 |
| Tabla 4: Tabla de datos de titulación (Prueba 1)..... | 53 |
| Tabla 5: Tabla de químicos para transesterificación (Prueba 1- Repetición 1)..... | 54 |
| Tabla 6: Tabla de químicos para transesterificación (Prueba 1- Repetición 2)..... | 55 |
| Tabla 7: Tabla de químicos y parámetros físicos para transesterificación (Prueba 1- Repetición 3) | 55 |
| Tabla 8: Tabla de datos de titulación (Prueba 1)..... | 56 |
| Tabla 9: Tabla de químicos y parámetros físicos para transesterificación (Prueba 2- Repetición 1) | 58 |
| Tabla 10: Tabla de químicos y parámetros físicos para transesterificación (Prueba 2- Repetición 2)..... | 58 |
| Tabla 11: Tabla de químicos y parámetros físicos para transesterificación (Prueba 2- Repetición 3)..... | 58 |
| Tabla 12: Norma Vance Biodiesel EN 14214:2012..... | 59 |
| Tabla 13: Datos recolectados de aceite | 61 |

INTRODUCCION

Las necesidades que ha tenido el medio ambiente alrededor de los últimos años han sido un reto muy enorme para las nuevas tecnologías en la búsqueda de soluciones prontas y con características biodegradables que se adapten a las necesidades de los usuarios, las fuentes bioenergéticas (combustibles obtenidos a partir de biomasa como: aceites vegetales, grasa animal, residuos agrícolas y aceites usados) ha tomado fuerza debido a que en un futuro no muy lejano las fuentes que proporcionan el petróleo muy probablemente se agoten y la necesidad de estos biocombustibles será mucha mayor.

Nicaragua es un país completamente lleno de recursos naturales que pueden ser explotados de una manera sostenible, aunque actualmente no son muy aprovechados, hay una tendencia de las nuevas generaciones en las que estos temas serán de interés común aprovechando así estos recursos naturales que serán explotados y aportaran al desarrollo ambiental y económico del país.

Este trabajo está dirigido a un biocombustible en particular (biodiesel) de la sección de biomasa con el propósito de elaborar este producto a partir de aceite de cocina reutilizado mediante un reactor químico a escala de laboratorio para presentar una alternativa de consumo de combustible en reemplazo del diésel convencional, aportando con este trabajo al desarrollo de otros temas y alternativas que existen en las energías renovables, tratando de ser cada día menos dependiente del petróleo que es uno de los principales problemas existentes que han deteriorado el sistema ecológico a nivel global. La importancia del biodiesel radica completamente en la reducción de emisiones de gases (CO_2) que a diario están presentes en el medio ambiente.

I. ANTECEDENTES

En las últimas décadas se han venido desarrollando tecnologías para la reducción de combustibles fósiles, haciendo investigaciones y reactores para la elaboración de biodiesel de diferentes materias primas, Dávila y Christian (2017) en su tema “Obtención de biodiesel a partir de aceite de fritura” en la universidad libre de Colombia crearon un reactor e hicieron biodiesel a partir de la fritura, concluyendo que el biodiesel obtenido a partir del aceite de frituras se puede llegar a incursionar en la industria de los biocombustibles debido a que con esta materia prima se puede llegar a reducir hasta un 70 % del costo de producción.

Además, el reactor resultó ser adecuado para la realización de este proyecto porque es de baja escala y puede ser muy funcional para las investigaciones futuras. De este estudio se puede afirmar que la elaboración de este combustible puede ser más barato en términos de recolección de materias primas para su costo operacional. (Cortes, 2017)

Una segunda investigación por parte de Bulla (2014) para optar al título de ingeniería mecánica con el tema de “Diseño del proceso de producción del biodiesel a partir de aceites de fritura “en el cual en el desarrollo de toda investigación fue ver y analizar los mejores parámetros para la producción de biodiesel.

En este estudio se demostró que el diseño del proceso que se plantea para el desarrollo del proyecto a nivel de planta piloto se estableció en dos etapas. La primera de esterificación y la segunda de transesterificación. Para la primera etapa se estableció un proceso que emplea 35 L de aceite usado de fritura de soja (AUFS) filtrado a 50 μ con catálisis homogénea utilizando 17,7 L etanol anhidro (C_2H_6O) con pureza del 99% y 0,4 L de ácido sulfúrico (H_2SO_4) de 98% de pureza obteniendo, 52,47 L de fase esterificada, 15,31 L de etanol recuperado y 0,672 L de pérdida del alcohol (1%) en un tiempo de 1 h, temperatura de 60 °C y agitación de 200 RPM. La segunda etapa utiliza 52,47 L de fase esterificada con catálisis básica; usando una solución de etóxido de sodio de 17 L C_2H_6O con pureza de 99% y 0,524 gr NaOH bajo un tiempo de 4 h, temperatura de 60 °C y RPM 200; para la neutralización del proceso de esterificación se emplea 0,750 ml de ácido acético ($C_2H_4O_2$) con una agitación de 200 RPM y un tiempo de $\frac{1}{4}$ de h logrando 70,22 L de fase transesterificada, 16,15 L de glicerol recuperado y 2.10 L de pérdida del alcohol (3%) el rendimiento en esta etapa es del 90 % en la producción de biodiesel en la planta. (Pereira, 2014)

II. JUSTIFICACIÓN

Con la implementación en laboratorio del prototipo didáctico de reactor químico de biodiesel, las nuevas generaciones de estudiantes de diferentes ramas de la ingeniería tendrán más y mejores conocimientos en el proceso de desarrollo de su carrera, entre las que pueden resultar beneficiadas las carreras tales como: Ingeniería en Energías Renovables, Ingeniería industrial, e ingeniería ambiental.

Como lo antes mencionado, dicho prototipo, inefablemente aumentará la facilidad de adquirir más conocimientos, debido a que no hay un instrumento didáctico como este, y al ponerlo en funcionamiento permitirá realizar prácticas como complemento de la teoría de las clases que desarrollen los temas relacionados a la biomasa, reacciones químicas, biocombustibles entre otras, que permitirá tanto a estudiantes como docentes obtener aprendizajes significativos y de calidad.

Esta investigación constituye el primer antecedente de desarrollo para esta universidad lo cual será una muy buena fuente de información para las futuras investigaciones a emplearse en la facultad, de manera que la evaluación de la producción de biodiesel consecuentemente podría crear una nueva línea investigativa por la cual desarrollar aún más, debido a que es la primera vez que se realiza un proyecto de este tipo, por tal razón es considerado un aporte innovador para la facultad.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la carrera de Ingeniería en Energías Renovables, Ingeniería Industrial e Ingeniería Ambiental entre otras, no se cuentan con los instrumentos adecuados para hacer las clases con una profundidad a nivel experimental, por lo que muchas veces se tienen que experimentar con herramientas improvisadas obteniendo resultados no esperados o muy poco aceptables. En el área de Ingeniería en Energías Renovables, precisamente las clases de Reactor de químicos y Biomasa, no se cuenta con un proceso o sistema sólido para la realización de prácticas en el laboratorio de la carrera, caso singular e importante que presenta ineficiencia en el desarrollo práctico-experimental del estudiante.

En la clase de biomasa y química de reactores se necesitan una diversidad de elementos que puedan hacer que esta área pueda tener una mayor profundidad en conocimientos debido que la biomasa es una asignatura en la que están varias áreas del campo de energías renovables, una de ellas es la biodiésel que ha venido a reducir el consumo de diésel a nivel global debido a que en los últimos años estas tecnologías están comenzando a solucionar los problemas producto del culturismo de la “fósil-dependencia” (Dependencia en consumo de combustibles fósiles), que han venido deteriorando el medio ambiente, el bolsillo del cliente, entre otros sectores.

Actualmente no existe un historial acerca de producción de biodiésel y su respectiva evaluación que permita arrojar datos e información necesaria para enriquecer el conocimiento acerca de este tema en las aulas de clases.

3.1 Sistematización del problema

1. ¿Cuáles son las propiedades físico-químicas de las materias primas utilizadas como fuente para elaboración de biodiesel?
2. ¿Cómo se determina la generación de biodiesel mediante el proceso de transesterificación?
3. ¿Cómo correlacionar son los parámetros químicos y operacionales del proceso de transesterificación?
4. ¿Cómo se elaboraría una guía metodológica para producir biodiesel a escala de laboratorio?

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar la generación de biodiesel, mediante el proceso de transesterificación a partir de aceite usado utilizando un prototipo didáctico de reactor químico de biodiesel en la ciudad de Estelí en el periodo 2018-2019.

4.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar las propiedades físico-químicas de la materia prima que permita la generación de biodiesel que se obtiene en el proceso transesterificación.
2. Determinar la generación de biodiesel a través del proceso de transesterificación.
3. Correlacionar los parámetros químicos y operacionales del proceso de transesterificación mediante ensayos en el prototipo didáctico de reactor químico de biodiesel.
4. Elaborar una guía metodológica para producir biodiesel a escala de laboratorio.

V. MARCO TEÓRICO

En este apartado se hablará de la teoría más importante e indispensable para el desarrollo de la investigación realizada. Se encontrarán con varios conceptos de los diferentes parámetros y procesos necesarios para la generación de biodiesel mediante un prototipo de reactor químico.

5.1 Energías renovables

Según (biodisol, SF) “Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales”.

5.1.1 Biomasa

La energía a través de la biomasa **es básicamente** utilizar la materia orgánica como fuente energética. **Esta materia orgánica, es heterogénea. Pueden ser desde desechos de agricultura (huesos de aceituna, cáscaras de frutos secos, restos de poda) a restos de madera, como pellets o serrín.**

6.1.1.2 Biocombustibles

Se entiende por biocombustible aquellos combustibles que se obtienen de biomasa. El término biomasa, en el sentido amplio, se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en el proceso biológico de organismos recientemente vivos, como plantas, o sus desechos metabólicos (el estiércol); el concepto de biomasa comprende productos tanto de origen vegetal como de origen animal. En la actualidad se ha aceptado este término para denominar al grupo de productos energéticos y materias primas de tipo renovable que se origina a partir de la materia prima orgánica formada por vía biológica. Quedan por tanto fuera de este concepto los combustibles fósiles o los productos orgánicos derivados de ellos, aunque también tuvieron su origen biológico en épocas remotas. Hoy en día se pueden diferenciar distintos tipos de biomasa. (Salinas Callejas & Gasca Quezada, 2009)

6.1.1.3 Biodiesel

Es un combustible compuesto por ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables, como aceites vegetales, empleado en motores de ignición de

compresión, tanto como en calderas de calefacción. Dicho en términos más simples: el biodiesel es un combustible de origen orgánico producido a partir de aceites vegetales o grasas animales; asimismo, puede ser utilizado como sustituto o aditivo del diésel 2 convencional. El término “Bio” hace referencia a su naturaleza renovable y biológica en contraste con el combustible diésel tradicional derivado del petróleo; por su parte, diésel alude a su uso en motores de este tipo. (Acosta , Cortijo, & Castro, 2008)

6.1.1.4 Propiedades del biodiesel

Su producción es renovable. En su proceso de producción primaria y elaboración industrial determina un balance de carbono menos contaminante que los combustibles fósiles.

Cumple con los requisitos EPA (Environmental Protection Agency), para los combustibles alternativos de emplearse puro o combinado con los combustibles fósiles en cualquier proporción. Volcado al ambiente se degrada más rápidamente que los petro-combustibles. En el siguiente cuadro se pueden observar los resultados de un ensayo de un test de dextrosa (tiempo para degradar el 85%)

Reducción de las emisiones tóxicas. No contiene azufre y por ende no genera emanaciones de SO (Óxido de azufre) que son los responsables de la lluvia ácida. Los derrames de este combustible en las aguas de ríos y mares resultan menos contaminantes y letales para la flora y fauna marina que los combustibles fósiles.” (Palmay, 2009)

6.2 Proceso de transesterificación

En la reacción de transesterificación de un aceite o grasa animal, los triglicéridos reaccionan con un alcohol, generalmente metanol o etanol, produciendo ésteres (biodiesel) y glicerina, tal como se muestra en la reacción. Para que la reacción transcurra a una velocidad adecuada, es necesaria la presencia de un catalizador en el medio. (Dinis Vicente Pardal, 2012)

“La transesterificación consiste en la reacción de un triéster de glicerilo (triglicérido) con un alcohol para formar alquil-ésteres y glicerol”. (G.Castellar E. B., 2014)

La transesterificación como su nombre lo refiere, consiste en convertir los triglicéridos y alcoholes en un alquil-éster (biodiesel) y glicerol (glicerina) los dos componentes resultantes de tal proceso.

6.2.1 Tipos de transesterificación

Existen varios tipos de transesterificación, he aquí los más utilizados:

6.1.1.2 Transesterificación con catalizadores heterogéneos

Los óxidos de metales alcalinotérreos (MgO, CaO, SrO y BaO) son conocidos como catalizadores tipo óxidos metálicos básicos; en consecuencia, son susceptibles de utilizarlos en reacciones de transesterificación de aceites vegetales. El sitio básico de estos óxidos metálicos se genera por la presencia del ion metálico (catión) el cual se comporta como un ácido de Lewis y el ion oxígeno negativo (anión) como un sitio básico de Brønsted. En la metanólisis por ejemplo, el metanol es adsorbido en la superficie y el enlace O-H se rompe formando el ion metóxido, luego el catión hidrógeno es atacado por el anión oxígeno. (G.Castellar E. , 2014)

6.2.1.2 Transesterificación en condiciones sub-críticas.

Según (Diniz, 2012) a partir de colza y utilizando metanol en condiciones sub-críticas. Ha sido posible obtener un alto rendimiento a una presión de reacción baja.

6.2.1.3 Transesterificación usando un baño de ultrasonido.

Transesterificación usando un baño de ultrasonido, a partir de ricino y utilizando metanol como catalizador. Han sido obtenidas altas conversiones a temperaturas de reacción relativamente bajas. - Transesterificación usando una sonda de ultrasonido, a partir de aceite de colza, utilizando metanol como catalizador. La irradiación ultrasónica facilitó la transesterificación, obteniéndose altas conversiones, en tiempos pequeños de reacción. Se ha estudiado, en cada apartado, la influencia de diferentes variables sobre el proceso de transesterificación. (Vicente, 2012)

6.2.1.4 Transesterificación con co-solventes

(Dinis Vicente Pardal) En su investigación establece que: “El objetivo principal de este apartado ha sido la obtención de biodiesel a partir de la transesterificación de aceite de colza utilizando metanol como alcohol, en presencia de catalizadores, y empleando distintos co-solventes”

(2012, pág. 65) Dice lo siguiente: “La presencia de co-solventes facilita la reacción de transesterificación”

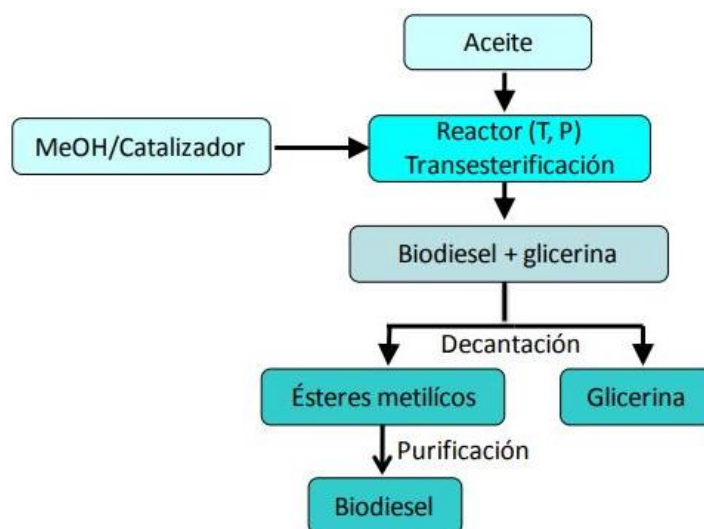


Figura 1: Esquema sencillo de proceso de transesterificación del aceite a biodiesel

6.3 Tipos de reactores químicos

6.3.1 Proceso discontinuo o tipo batch

Es el método más simple para la producción de biodiésel donde se han reportado ratios 4:1 (alcohol: triglicérido). Se trata de reactores con agitación, donde el reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo. Las condiciones de operación más habituales son a temperaturas de 65 C, aunque rangos de temperaturas desde 25 C a 85 C también han sido publicadas. El catalizador más común es el NaOH, aunque también se utiliza el KOH, en rangos del 0,3% al 1,5% (dependiendo que el catalizador utilizado, sea KOH o NaOH). (Palmay, 2009)

Es necesaria una agitación rápida para una correcta mezcla en el reactor del aceite, el catalizador y el alcohol. Hacia el fin de la reacción, la agitación debe ser menor para permitir al glicerol separarse de la fase éster.

Se han publicado en la bibliografía resultados entre el 85% y el 94%. En la transesterificación, cuando se utilizan catalizadores ácidos se requiere temperaturas elevadas y tiempos largos de reacción. Algunas plantas en operación utilizan reacciones en dos etapas, con la eliminación del glicerol entre ellas, para aumentar el rendimiento final hasta porcentajes superiores al 95%. Temperaturas mayores y ratios superiores de alcohol y aceite pueden asimismo aumentar el rendimiento de la reacción. El tiempo de reacción suele ser entre 20 minutos y una hora. En la figura 2 se reproduce un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación en discontinuo.

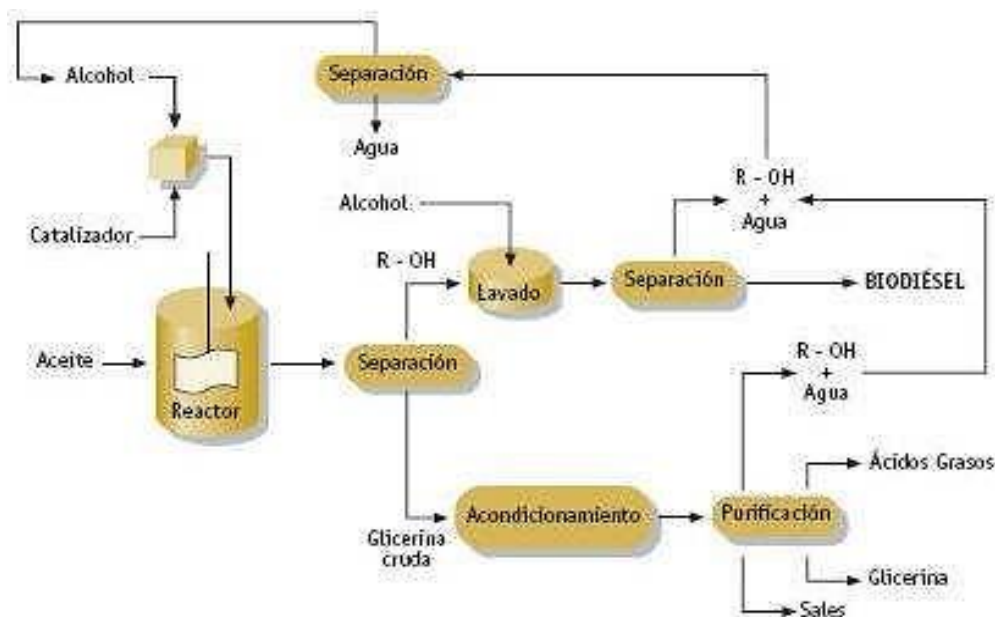
6.3.2 Proceso continuo

Una variación del proceso discontinuo es la utilización de reactores continuos del tipo tanque agitado, los llamados CSTR del inglés, Continuous Stirred Tank Reactor. Este tipo de reactores puede ser variado en volumen para permitir mayores tiempos de residencia y lograr aumentar los resultados de la reacción. Así, tras la decantación de glicerol en el decantador la reacción en un segundo CSTR es mucho más rápida, con un porcentaje del 98% de producto de reacción. Un elemento esencial en el diseño de los reactores CSTR es asegurarse que la mezcla se realiza convenientemente para que la composición en el reactor sea prácticamente constante. Esto tiene el efecto de aumentar la dispersión del

glicerol en la fase éster.

El resultado es que el tiempo requerido para la separación de fases se incrementa. Existen diversos procesos que utilizan la mezcla intensa para favorecer la reacción de esterificación. El reactor que se utiliza en este caso es de tipo tubular. La mezcla de reacción se mueve longitudinalmente por este tipo de reactores, con poca mezcla en la dirección axial. Este tipo de reactor de flujo pistón, Plug Flow Reactor (PFR), se comporta como si fueran pequeños reactores CSTR en serie.

El resultado es un sistema en continuo que requiere tiempos de residencia menores (del orden de 6 a 10 minutos) –con el consiguiente ahorro, al ser los reactores menores para la realización de la reacción. Este tipo de reactor puede operar a elevada temperatura y presión para aumentar el porcentaje de conversión. (2009, pág. 41).



El esquema de un reactor típico para obtener biodiesel, puede observarse en la figura 2.

Figura 2: Proceso de transesterificación

Generalmente, el tanque de reacción es un recipiente circular, que puede estar cerrado o abierto en su parte superior. Para evitar zonas con bajas velocidades, las esquinas se eliminan empleando un fondo circular o de caída cónica. Para aumentar la eficiencia de mezclado, se pueden instalar unos deflectores en la pared del tanque; así se evita que el

fluido gire como un sólido rígido y se aumenta la vorticidad.” (2009, pág. 42)

6.4 Mezclarlo

El aceite vegetal es mucho más viscoso que el diésel mineral y que el biodiesel. La finalidad de mezclarlo con otros combustibles es reducir su viscosidad, para que pueda fluir mejor por el sistema de combustible hasta la cámara de combustión.

Si mezclas aceite vegetal con queroseno o con diésel todavía consumes combustible fósil. "Más limpio, pero no lo suficiente", dirán muchos. De todas formas, por cada litro de aceite vegetal ahorras un litro de combustible fósil y liberas en la atmósfera muchos menos gases de efecto invernadero.

Se hacen distintas mezclas, desde un 10% de aceite y 90% de diésel mineral, hasta 90% aceite y 10% diésel. Hay gente que lo hace de esa manera, sin precalentar el aceite para darle fluidez; incluso hay quien quema aceite vegetal puro sin precalentarlo.

Eso se puede hacer en un viejo Mercedes IDI diésel de cinco cilindros, que es un motor muy tolerante. Al coche no le gustará, pero probablemente no sufrirá daños. (2009, pág. 37)

6.5 Agitación

El proceso de agitación se puede definir como el movimiento circulatorio inducido a un fluido dentro de un contenedor, fundamentalmente de forma circular y provocando vórtices. El objeto de la agitación puede ser incrementar la transferencia de calor en el fluido o incrementar el transporte de materia, es decir, mezclar. En contraste con la agitación, mezclar es obtener una distribución espacialmente homogénea de dos o más fases inicialmente separadas. Aquí, una de las fases ha de ser un fluido, mientras que la otra puede ser algo tan variado como otro fluido, partículas sólidas o burbujas.

En la práctica, el diseño de la agitación ha de atender a dos factores: el grado de homogeneidad y el tiempo de mezcla. Dado que el resultado de la mezcla nunca es perfecto, el grado de homogeneidad se hace depender de la calidad deseada en el producto final. Finalmente, la potencia requerida en la agitación depende de estos dos factores, así como del rendimiento.

El grado de homogeneidad también se puede caracterizar mediante la altura de suspensión, esto es, la altura del líquido en el tanque a la que se suspenden los sólidos. (Palmay, 2009)

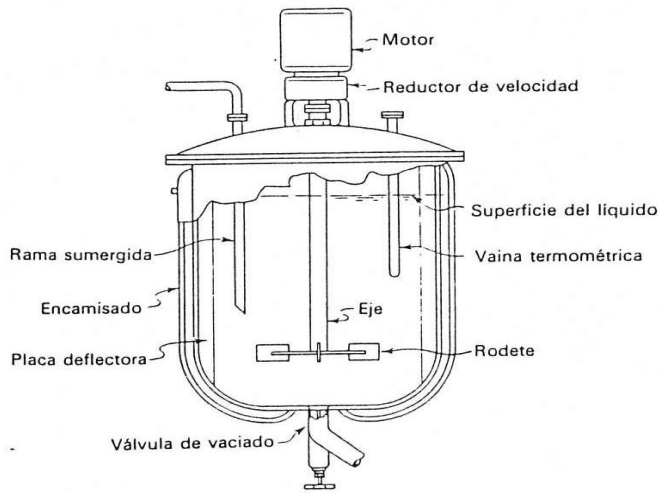


Figura 3: Perfil gráfico de tanque de agitación

6.5.1 Diseño de reactores con agitación

“En la actualidad se han desarrollado muchas técnicas industriales, así como, a nivel de laboratorio para la obtención de Biodiesel, es por esta razón que clasificaremos en dos procesos a las diversas formas de producción de Biodiesel:

6.5.1.1 Tamaño

No se puede cambiar directamente de hacer pequeños lotes de prueba a construir un gran reactor, primero se deben hacer ajustes en el proceso.

Las instrucciones del proceso incluyen datos aproximados y medias aritméticas porque tienen que servir para muchos reactores y circunstancias distintas. Por ejemplo, en un reactor bajo y ancho hay que agitar más que en uno alargado. No es lo mismo mezclar con una bomba de recirculación que con una hélice, y la forma de la hélice también importa. Es más fácil controlar la temperatura si el recipiente está aislado, etc. (Keith Addison, s.f)

6.5.2 Riesgos

Los principales peligros de la producción de biodiesel son los gases venenosos, los productos químicos y los incendios. Lo mejor para evitar la exposición a los gases venenosos es utilizar reactores herméticos con una tubería que conduzca los gases al exterior

El mayor riesgo de incendio es un reactor abierto en un cuarto mal ventilado y cerca de algo que pueda inflamar los gases. (Keith Addison, s.f):

- La llama de un combustible que calienta directamente el reactor (propano, metano, alcohol, madera, etc), en vez de hacerlo con un intercambiador de calor con la llama alejada.
- Cualquier llama.
- Motores eléctricos normales (que no están aislados de la atmósfera) en lugar de motores encapsulado.

6.6 Materias primas para producción de biodiesel

6.6.1 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 trampas 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. (Acosta , Cortijo, & Castro, 2008) et al).

6.6.2 Aceite residual de cocina

El desecho adecuado del aceite de cocina usado es una importante preocupación en la gestión de residuos. El aceite es más ligero que el agua y tiende a esparcirse en grandes membranas finas que dificultan la oxigenación del agua. Debido a ello, un solo litro de aceite puede contaminar hasta un millón de litros de agua. Además, el aceite puede solidificarse en las tuberías provocando atascos.

Debido a ello, el aceite de cocina nunca debe desecharse por el fregadero o el retrete. La forma adecuada de hacerlo es depositarlo en un envase sellado no reciclable y tirarlo junto

con la basura normal o bien desecharlo en un punto limpio. (2009, pág. 32)

6.6.3 Propiedades químicas de los aceites

Los aceites, así como las grasas, son triglicéridos de glicerol (también llamado glicerina, 1, 2, 3 propanotriol o sólo propanotriol). El glicerol es capaz de enlazar tres radicales de ácidos grasos llamados carboxilatos. Dichos radicales grasos por lo general son distintos entre sí; pueden ser saturados o insaturados, a la molécula se le llama triacilglicérido” o triacilglicerol. Los radicales grasos pueden ser desde 12 carbonos de cadena hasta 22 y 24 carbonos de extensión de cadena. Existen en la naturaleza al menos 50 ácidos grasos. Los principales se mencionan a continuación:

Tabla 1: Características de principales ácidos grasos: Saturados e insaturados

| ACIDOS | NOMBRES | CARACTERISTICAS |
|-------------|--------------------|-----------------|
| SATURADOS | Ácido esteárico | C18:0 |
| | Ácido palmítico | C16:0 |
| INSATURADOS | Ácido linoleico | C18:2 |
| | Ácido linoleico | C18:3 |
| | Ácido oleico | C18:1 |
| | Ácido palmitoleico | C16:1 |

Para el caso de los aceites los carboxilatos contienen insaturados o enlaces dieno o trieno, que le dan la característica líquida a temperatura ambiente. Los aceites son mezclas de triglicéridos cuya composición da origen a su característica particular.

Los aceites insaturados como los casos ya expuestos, son susceptibles de ser hidrogenados para producir mantecas hidrogenadas industriales de determinado grado de in saturación o índice de Yodo, que se destinan para margarinas y mantecas de repostería.

Unos aceites de gran importancia son los omega 3 y los omega 6 que son poliinsaturados muy abundantes en peces de aguas heladas. (Palmay, 2009)

6.7 Reactivos químicos

Si de acuerdo con la normatividad nacional fuera necesario tratar el efluente antes de descargarlo al desagüe, se requerirá de sulfato de magnesio como floculante. También se puede

utilizar una trampa de grasa para separar las emulsiones formadas durante el proceso de purificación. Asimismo, para la neutralización y parcial purificación de la glicerina se requiere ácido fosfórico. Este ácido también puede ser utilizado para facilitar y mejorar los resultados de la tapa de lavado del biodiesel, aunque no resulta imprescindible. (Acosta , Cortijo, & Castro, 2008)(et al).

6.7.1 Catalizador

(C. Cabello, 2017)*Establece lo siguiente:*

Los catalizadores para la producción de biodiesel pueden ser homogéneos o heterogéneos, según la fase en que se encuentren. Por su capacidad de actuar químicamente pueden clasificarse en: ácidos y básicos. (Catalizadores heterogéneos utilizados para, 2017)

El catalizador puede ser hidróxido de sodio (NaOH, soda cáustica) o hidróxido de potasio (KOH, potasa cáustica), de grado industrial, en escamas o en perlas. Se ha preferido el hidróxido de potasio pues presenta ventajas al momento de disolverlo en el alcohol: favorece una transformación más completa del aceite en biodiesel, en caso se desee purificar la glicerina para su venta; permite obtener un subproducto utilizable como fertilizante (fosfato de potasio); en caso de trabajar con grasas, la glicerina se mantiene en estado líquido al enfriar, mientras que el NaOH se solidifica y hace difícil su separación del biodiesel por decantación en el reactor. La cantidad a aplicar de catalizador depende de la acidez del aceite a tratar. Tanto el NaOH como el KOH son corrosivos para diversos materiales, y resultan irritantes para la piel y las mucosas. (2008)(et al).

El catalizador usado con la transesterificación de aceites vegetales y de grasas animales es la Lejía (base fuerte): puede ser hidróxido de sodio (NaOH, sosa cáustica) o hidróxido de potasio (KOH).

La lejía es higroscópica es decir, absorbe la humedad de la atmosfera también absorbe de dióxido de carbono {CO₂} volviéndose carbonatada si no se almacena adecuadamente. La lejía

carbonatada es blanca, mientras que la lejía pura y bien conservada es translúcida. Debe de almacenarse herméticamente. La lejía carbonatada también se puede usar, pero hace falta más cantidad (aproximadamente un 25% más, Dependiendo del estado de la misma).

6.7.1.1 Tipos de catalizadores

❖ Catalizadores homogéneos

Catalizadores ácidos homogéneos:

La catálisis homogénea para la producción de biodiesel a nivel industrial se ha desarrollado utilizando usualmente ácido sulfúrico (H_2SO_4), esta práctica ha mostrado la desventaja de la corrosión producida a los equipos implicados en el proceso. Debido a esto, se han utilizado con mayor frecuencia los catalizadores básicos como el hidróxido de sodio (NaOH) en niveles que van de 0.75 a 1.5 % en peso. (2017, pág. 52)

Catalizadores básicos homogéneos:

Los catalizadores básicos homogéneos proporcionan velocidades de reacción mayores que los catalizadores heterogéneos. Sin embargo, los procesos de separación son considerablemente costosos debido a que tienden a formar emulsiones y requieren del uso de 1 a 6 % en peso de catalizador para alcanzar buenos rendimientos (hasta un 98 %). Cuando se utilizan estos catalizadores se debe tener control en las condiciones de reacción, especialmente la temperatura y la cantidad de catalizador básico, para reducir al máximo la saponificación. Los catalizadores básicos se utilizan a temperaturas que suelen estar entre 40 y 75 °C. (2017, pág. 53)

6.7.2 Lejía necesaria para el proceso de transesterificación

Hacen falta 3,5 gr de NaOH por litro de aceite para catalizar la transesterificación (para el aceite nuevo sin cocinar). Cocinar). Para el KOH, hace falta 1,4 veces más cantidad de KOH que de NaOH (exactamente 1,4025) la valoración se hace igual pero usando solución de KOH en lugar de NaOH, y usando 1 gramo de KOH por cada litro de agua destilada para obtener mejor disolución al 0.1%. La cantidad básica de 3,5 gramos de NaOH por Litro de aceite debe ser sustituida por $3,5 \times 1,4$: 4,9 gramos de KOH por litro de aceite. Por ejemplo si el resultado de la valoración es de 3 ml, usar $3 + 4,9 = 7,9$ gr/l. (L. López & Malagón-Romero, 2015)

6.7.3 Metanol

El metanol es un químico combustible de propiedades volátiles, incoloro y transparente cuyo punto de inflamación es 12,2°C. El metanol es uno de los principales químicos que se utiliza para la producción de biodiesel dentro de las mezclas inducidas en el reactor químico.

Este químico es vital para la realización del proceso llamado “transesterificación” que es el proceso base para la producción de biodiesel.

“En la actualidad se está utilizando cada vez más en el tratamiento de aguas residuales y en la producción de biodiesel” (Rodríguez & Uribe, s.f)

6.7.4 Alcohol

Se emplea alcohol metílico o metanol de 95% de pureza. La cantidad requerida para la elaboración de biodiesel es de aproximadamente el 15% o 20% del volumen de aceite a procesar. Esta sustancia es tóxica cuando se ingiere, se inhala o tiene contacto con la piel, es altamente inflamable y arde con llama incolora. Su manipulación debe hacerse tomando todas las precauciones del caso. De hecho, también se puede utilizar alcohol etílico o etanol, siempre y cuando sea anhidro o tenga una pureza de 99.5%. (Acosta , Cortijo, & Castro, 2008)(et al).

6.7.5 Agua

(Acosta , Cortijo, & Castro) Afirman lo siguiente: “Se requiere agua corriente para el proceso de lavado del biodiesel. El efluente resultante es alcalino y tiene un contenido significativo de jabones, grasas y trazas de metanol”.

El agua es un elemento muy indispensable para el proceso del biodiesel, dicho elemento proporciona el correcto proceso de lavado del biodiesel, que ayudará a obtener un producto final más puro y filtrado de grasas.

6.7.6 Energía eléctrica

(Acosta , Cortijo, & Castro): “Se necesita energía eléctrica (monofásica o trifásica, de 220 voltios) para los motores, bombas y otros equipos utilizados en el proceso de producción”. (2008, pág. 8). La energía eléctrica sin duda alguna es otro parámetro muy importante para que el proceso de transesterificación y la obtención de biodiesel se lleve a cabo exitosamente, se requiere de una fuente de alto voltaje como mínimo de 220 voltios para hacer girar un motor con aspas y permita realizar el proceso de agitación que es uno de los causantes de acelerar el proceso reactivo de transformación a biodiesel.

VENTAJAS DEL BIODIESEL FRENTE AL DIESEL CONVENCIONAL

- **Ahorro de combustibles provenientes del petróleo**

En la medida en la que se sustituye el empleo de derivados del petróleo por biocombustibles de origen renovable. (Retana, Jimenez & Bonilla, H, 2008)

- **Desarrollo agrícola**

Una fuente renovable de producción de combustibles alternativos con origen en la agricultura permite a la sociedad disponer de una fuente de empleo adicional y de un aprovechamiento de terrenos que en algunos casos no pueden ser usados para otros cultivos por restricciones políticas o condiciones del terreno.

El biodiésel permite al productor agrícola autoabastecerse de combustible; además, su producción promueve la inclusión social de los habitantes menos favorecidos del sector rural, debido a que no requiere altos niveles de inversión.

- **Aprovechamiento de los residuos**

La manipulación, tratamiento y evacuación de residuos supone un coste energético y económico a las empresas que los producen y a la sociedad. Éste también es el caso de los

residuos de aceites vegetales. Si éstos son empleados en la elaboración de biodiesel, se consiguen dos objetivos:

Reducción de los costes por el tratamiento o evacuación del residuo

Minimizar los costos relacionados con la posible contaminación ambiental.

- **Mayor poder lubricante**

Presenta un mayor poder lubricante, con lo que se disminuye la necesidad de incluir aditivos en el combustible para mejorar esta propiedad. (pág. 18)

- **Biodegradable**

El biodiesel es un combustible capaz de ser asimilado (descompuesto y metabolizado) por el ambiente gracias a su naturaleza química, puede ser descompuesto por microorganismos (principalmente bacterias aerobias) en un período de tiempo relativamente corto, se degrada de 4 a 5 veces más rápido que el diésel fósil, lo cual ayuda a minimizar el impacto en caso de derrame accidental y además puede ser usado como solvente para limpiar derrames de diésel fósil. Estudios en la universidad de Idaho, compararon la biodegradación en una solución acuosa entre el biodiesel, el diesel y a la dextrosa (azúcar).

- **Reducción del CO**

Se ha comprobado que al emplear biodiesel se produce una reducción en la formación de monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados y núcleos de hollín. La justificación a este hecho radica en la presencia de oxígeno en la molécula de biodiesel, que aumenta la disponibilidad de comburente (sustancia que participa en la combustión oxidando al combustible) en el cilindro, favoreciendo una combustión más completa. (pág. 19)

· Emisión neta de CO₂

La emisión de CO₂, es de gran preocupación, por ser un gas que contribuye al efecto invernadero del planeta. Además, el sector transporte destaca por contribuir más que ningún otro sector a las emisiones de CO₂, y sin embargo no contribuye económicamente a través de los mecanismos puestos en marcha a raíz del Protocolo de Kyoto (acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases provocadores del calentamiento global: dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆)).

“El empleo de biodiesel, juega un papel muy importante en este aspecto, puesto que cuando se emplea como combustible, el CO₂ emitido por el motor se contrarresta durante el crecimiento del cultivo agrícola del que procede, a través de la fijación por fotosíntesis. Esto cierra el ciclo de vida del CO₂, eliminándose por tanto su emisión neta.” (pág. 20)

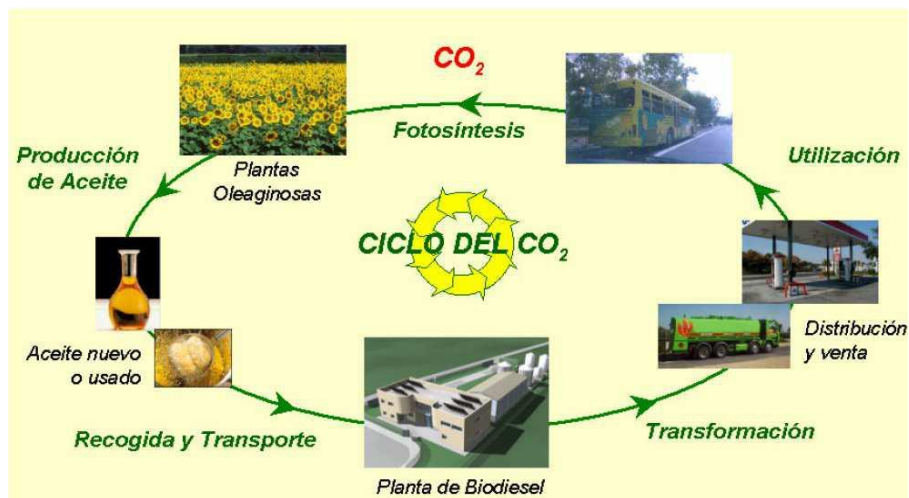


Figura 4: Ciclo de vida del CO₂ mediante generación de biodiesel. Fuente: (Retana, Jimenez & Bonilla, H, 2008)

- **Mayor número de cetano**

El biodiesel tiene un mayor número de cetano, lo que mejora el proceso de combustión, permite aumentar la relación de compresión del motor (conlleva un aumento del rendimiento de éste) y produce menos ruido.

- **Es más seguro de transportar y almacenar**

El biodiesel tiene un punto de inflamación mayor que el diésel fósil. El biodiésel podría explotar a una temperatura de 150° C.

- **No contiene azufre**

Prácticamente no contiene azufre, por lo que no genera dióxido de azufre (SO₂), un gas que contribuye a la contaminación ambiental. Actualmente en todas partes las legislaciones están exigiendo disminuir el contenido de azufre del diésel, de manera que este sea Low sulpher diesel o LSD (diésel de bajo contenido de azufre). (pág. 21)

DESVENTAJAS DEL BIODIESEL FRENTE AL DIESEL CONVENCIONAL

- **Punto de congelación alto**

“El biodiesel tiene un punto de congelación relativamente alto, entre 0° C y -5° C, especialmente el que se produce de palma africana, por lo que podría acarrear problemas si se usa al 100% en regiones con bajas temperaturas”. (pág. 22)

- **Menor contenido energético**

El biodiesel presenta una ligera pérdida de potencia, como consecuencia del poder calorífico ligeramente inferior que el del diésel (12% menor en peso u 8% en volumen), por lo que su consumo es ligeramente mayor.

El biodiésel de baja calidad (con un bajo número de cetano) puede incrementar las emisiones de NO_x (óxidos de nitrógeno), pero si el número de cetano es mayor que 68, las emisiones de NO_x serían iguales o menores que las provenientes del diésel fósil.

- **Daños de algunos componentes del motor**

El éster metílico presente en el biodiesel puede disolver la goma y el caucho, materiales empleados en la fabricación de juntas, mangueras y sellos en determinadas partes del motor diesel.

El uso prologando de biodiesel puro en un motor con estos componentes podría llegar a degradar los mismos y producir poros en componentes de los vehículos. En los vehículos actuales y dichos componentes de caucho han sido sustituidos por polímeros plásticos que no presentan ninguna limitación al uso de biodiesel. (pág. 22)

Por su alto poder solvente, se recomienda almacenar el biodiésel en tanques limpios; si esto no se hace, los motores podrían ser contaminados con impurezas provenientes de los tanques. (pág. 23)

- **Emisión de otros compuestos dañinos**

Algunos estudios han observado una mayor emisión de aldehídos (compuestos orgánicos que contienen un grupo carbonilo unido a un átomo de hidrógeno y a un radical alquilo, arilo o derivados de ellos) al emplear biodiesel.

Estos compuestos a pesar de no estar regulados por normativa, son considerados altamente reactivos en la atmósfera, contribuyendo al smog fotoquímico que es la contaminación del aire, principalmente en áreas urbanas, por ozono originado por reacciones fotoquímicas, y otros compuestos. Como resultado se observa una atmósfera de un color marrón rojiza. El ozono es un compuesto oxidante y tóxico que puede provocar en el ser humano problemas respiratorios. (pág. 23)

- **Valor de la materia prima**

Los costos dependen de la elección de la materia prima, pueden ser elevados y guardan relación con el precio internacional del petróleo. Dichos costos representan el 70% de los costos totales del biodiésel, por lo que este actualmente es un producto relativamente costoso.

Diversos estudios de mercado han demostrado que su precio resulta muy parejo al del diesel comercial.

Pero pareciera que estos análisis no consideran el conjunto de efectos multiplicadores en la economía y el mejoramiento del balance de divisas, y no incluyen el incremento en los beneficios sociales producidos por las características ambientales positivas de este combustible, con relación al petróleo. (pág. 23)

- **Almacenaje del biodiesel**

Por su alto poder solvente, se recomienda almacenar el biodiésel en tanques limpios; si esto no se hace, los motores podrían ser contaminados con impurezas provenientes de los tanques. Muchas estaciones de combustible carecen de la infraestructura necesaria.

6.8 Hojas de seguridad para reactivos químicos de transesterificación

6.8.1 HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH)

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD HIDROXIDO DE SODIO



Fecha Revisión: 21/03/2005

SECCIÓN 1: PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

| | |
|--|--|
| Nombre del Producto: | HIDROXIDO DE SODIO |
| Sinónimos: | Soda cáustica (anhídrica), Soda cáustica en escamas, Cáustico blanco, Lejía, Hidrato de sodio. |
| Fórmula: | NaOH |
| Número interno: | |
| Número UN: | 1823 Sólido |
| Clase UN: | 8 |
| Compañía que desarrolló la Hoja de Seguridad: | Esta hoja de datos de seguridad es el producto de la recopilación de información de diferentes bases de datos desarrolladas por entidades internacionales relacionadas con el tema. La alimentación de la información fue realizada por el Consejo Colombiano de Seguridad, Carrera 20 No. 39 - 62. Teléfono (571) 2886355. Fax: (571) 2884367. Bogotá, D.C. - Colombia. |
| Teléfonos de Emergencia: | |

SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

| COMPONENTES | | | | |
|--------------------|-----------|-------------------|------------------------------------|--------|
| Componente | CAS | TWA | STEL | % |
| Hidróxido de sodio | 1310-73-2 | N.R. (ACGIH 2004) | C 2 mg/m ³ (ACGIH 2004) | 99-100 |

Uso: Neutralización de ácidos, refinación del petróleo, producción de papel, celulosa, textiles, plásticos, explosivos, removedor de pinturas, limpiador de metales, electroplateado, limpiadores comerciales y domésticos, pelado de frutas y verduras en la industria de alimentos.

SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

VISIÓN GENERAL SOBRE LAS EMERGENCIAS:

Peligro. Corrosivo. Higroscópico. Reacciona con agua ácidos y otros materiales. Causa quemaduras a piel y ojos. Puede ocasionar irritación severa de tracto respiratorio y digestivo con posibles quemaduras. En casos crónicos puede producir cáncer en el esófago y dermatitis por contacto prolongado con la piel.

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

- Inhalación:** Irritante severo. Los efectos por la inhalación del polvo o neblina varían desde una irritación moderada hasta serios daños del tracto respiratorio superior, dependiendo de la severidad de la exposición. Los síntomas pueden ser estornudos, dolor de garganta o goteo de la nariz. Puede ocurrir neumonía severa.
- Ingestión:** Corrosivo!. La ingestión puede causar quemaduras severas de la boca, garganta y estómago. Pueden ocurrir severas lesiones tisulares y muerte. Los síntomas pueden ser sangrado, vómitos, diarrea, caída de la presión sanguínea. Los daños pueden aparecer algunos días después de la exposición.
- Piel:** Corrosivo! El contacto con la piel puede causar irritación o severas quemaduras y cicatrización en las exposiciones mayores.

Figura 5: Hoja de seguridad de Hidróxido de sodio (Catalizador). Fuente-CISPROQUIM

6.8.2 Hoja De Seguridad Química Winkler (Hidróxido de Sodio)



Ficha de Seguridad Química

SODIO HIDRÓXIDO U.S.P

DESCRIPCIÓN






| | | |
|-----------------|---|---|
| Sinónimos | : | Sodio Hidróxido - Hidróxido de Sodio - Hidróxido Sódico - Soda Cáustica ico Blanco - Lejía de Sodio. |
| Formula Química | : | NaOH |
| Concentración | : | 98.0% |
| Peso molecular | : | 40.00 |
| Grupo Químico | : | Compuesto de Sodio Inorgánico - Hidróxido - Alkali. |
| Número CAS | : | 1310-73-2 |
| Número NU | : | 1823 (Sodio Hidróxido sólido). |
| Código Winkler | : | SO-1512 |

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

| | | |
|---------------|---|---------------------------------------|
| Estado Físico | : | Sólido. |
| Apariencia | : | Lentejas blancas - Son higroscópicas. |
| Olor | : | Sin olor. |
| pH | : | 14 |

| | | |
|---------------------------|---|---|
| Temperatura de Ebullición | : | 1390°C |
| Temperatura de Fusión | : | 318°C |
| Densidad (Agua1) | : | 2.13 kg/L a 20°C |
| Presión de Vapor | : | 1.0 mmHg a 20°C |
| Densidad de Vapor (Aire1) | : | 1.0 |
| Solubilidad | : | Muy soluble en Agua (111 g por 10 ml de Agua a 20°C). Soluble en Alcoholes E tílico y Metílico y Glicerol. |

IDENTIFICACION DE RIESGOS



| | | |
|-----------------------|---|---|
| Riesgo Principal | : | Corrosivo |
| Riesgos Secundarios | : | Nocivo y Reactivo |
| Código Winkler | : | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>3 CORROSIVO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>0 FLAMABLE</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>2 TOXICO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>4 CORROSIVO</p> </div> <div style="font-size: 0.8em;"> <p>Clasificación de riesgos</p> <p>0 = No especial 1 = Ligero 2 = Moderado 3 = Grave 4 = Extremo</p> </div> </div> |
| Rótulo de Transporte: | : |  <div style="float: right; text-align: right;">Norma NFPA</div> |
| Clase | : | 8 |

3-0-1

Figura 6: Hoja de seguridad química de Winkler (Hidróxido de Sodio-Catalizador). Fuente - Winkler

6.8.3 Hoja de seguridad química de METANOL (Alcohol Metílico)

METANOL – HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

| 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y EL FABRICANTE | |
|--|---|
| 1.1 Producto | Metanol (≥ 98%) |
| 1.2 Nombre químico | Metanol |
| 1.3 Fórmula desarrollada | CH₃OH |
| 1.4 Sinónimos | Alcohol metílico, carbinol, alcohol de madera, alcohol de quemar. |
| 1.5 CAS RN | 67-56-1 |
| 1.6 Fórmula molecular | CH ₄ O |
| 1.7 Peso Molecular | 32,04 |
| 1.8 Uso | Síntesis orgánica. Solvente. Refrigerante. Reactivo de laboratorio. |
| 2. CLASIFICACIÓN DE RIESGOS | |
| 2.1 Inflamabilidad | Muy inflamable. (PF: 11 °C TCC). Temperatura de autoignición: 455 °C. Límites de explosividad: 5,5-36,5 % (V en aire) |
| 2.2 Símbolos de peligro |   F (fácilmente inflamable) T (tóxico) |

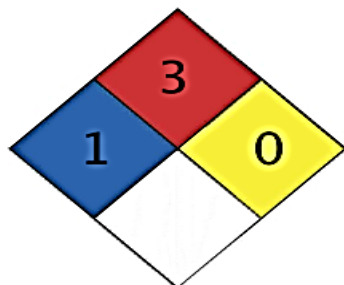
| | |
|--|--|
| 2.3 Frases de riesgo | R11 (fácilmente inflamable) R23/24/25 (tóxico por inhalación, por ingestión y por contacto con la piel) R39 (tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión). |
| 2.4 Frases de seguridad | S7 (mantener en recipiente bien cerrado) S16 (mantener alejado de llama o chispa) S36/37 (usar indumentaria y guantes de protección adecuados) S45 (en caso de accidente o malestar, acudir inmediatamente al médico) |
| 3. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS | |
| 3.1 Aspecto físico | Líquido muy volátil |
| 3.2 Color | Incoloro |
| 3.3 Olor | Característico |

La información brindada en esta hoja de seguridad a su fecha de edición, es a nuestro entender correcta y completa. Es una guía precautoria para la adecuada manipulación del material descrito.
La Cátedra no se responsabiliza por accidentes o daños resultantes del uso de estos datos.

1

Figura 7: Hoja de seguridad de Metanol (Alcohol metílico).

6.8.4 FENOLFTALEÍNA (Indicador de PH)



NFPA 704

HOJA DE SEGURIDAD
FENOLFTALEÍNA TS



TELEFONOS: PBX (571) 2401800 Bogotá D. C.

IDENTIFICACIÓN

| | |
|------------------------|---|
| Fórmula: | $C_{20}H_{14}O_4$ |
| Composición: | $C_{20}H_{14}O_4, C_2H_5OH$ |
| Peso molecular: | 318.33g/mol |
| Código Interno: | T1324, T1325, T1326 |
| Número CAS: | 77-09-8 |
| Número ONU: | N.D |
| Clase ONU: | 3.2 |
| Usos: | Indicador de pH en el rango de 8.2 a 10, reactivo de análisis para laboratorio. |

IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Pictogramas de peligro:



Palabra de advertencia: PELIGRO

Indicaciones de peligro: H225: Líquido y vapores muy inflamables

Consejos de prudencia: P210: Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. — No fumar; P233: Mantener el recipiente herméticamente cerrado; P240: Conectar a tierra/enlace equipotencial del recipiente y del equipo de recepción; P241: Utilizar un material eléctrico, de ventilación o de iluminación anti deflagrante; P242: Utilizar únicamente herramientas que no produzcan chispas; P280: Llevar guantes /prendas /gafas /máscara de protección.

P303 + P361 + P353: EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua o ducharse; P370+P378: En caso de incendio: Polvo químico seco, espuma para alcohol, dióxido de carbono o agua en forma de rocío; P370+P378: En caso de incendio: Polvo químico seco, espuma para alcohol, dióxido de carbono o agua en forma de rocío; P403 + P235: Almacenar en un lugar bien

VI. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

En el proceso de transesterificación, la generación de biodiesel, se obtendría a partir del aprovechamiento de las propiedades físico-químicas la materia prima (aceite de cocina reutilizado) en la ciudad de Estelí en el período 2018-2019, siempre y cuando los parámetros químicos (Grado de acidez, volumen de grasa, cantidad de Hidróxido de sodio y volumen de metanol), físicos (Temperatura, Velocidad, Tiempo) se encuentren en los rangos óptimos.

VII. DISEÑO METODOLÓGICO

El objetivo principal de este apartado es mostrar la metodología utilizada para cumplir los objetivos necesarios para evaluar la generación de biodiesel a partir de aceite reutilizado de cocina, mediante el proceso de transesterificación. Además, se describirá el tipo de estudio que se aplicó, y los diferentes objetos de estudio como el universo y la muestra, así como los diferentes instrumentos de recolección de datos utilizados en la fase experimental.

7.1 Tipo de estudio

En cuanto al enfoque filosófico, por el uso de los instrumentos de recolección de la información, análisis y vinculación de datos, el presente estudio se fundamenta en la integración sistémica de los métodos y técnicas cuantitativas de investigación, por tanto, se realizó mediante un enfoque cuantitativo de Investigación (Hernandez, Fernández, & Baptista, 2014, págs. 532-540).

De acuerdo al método de investigación el presente estudio es **experimental** (Pedroza, 1993) y según el nivel de profundidad del conocimiento es descriptivo (Piura, 2006). De acuerdo a la clasificación de (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014), el tipo de estudio es **correlacional**. De acuerdo, al tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información, el estudio es **prospectivo**, por el período y secuencia del estudio es **longitudinal** y según el análisis y alcance de los resultados el estudio es **analítico y predictivo** (Pineda, De Alvarado, & Hernández De Canales, 1994).

7.2 Área de estudio

7.2.1 Ubicación geográfica

El estudio de este proceso investigativo se llevó a cabo en la ciudad de Estelí en el laboratorio de energías renovables de la Facultad Regional Multidisciplinaria (Farem – Estelí), donde se evaluaron los diferentes químicos y reactivos para llevar a cabo el control de las variables que intervienen en el proceso de obtención de biodiesel (transesterificación).

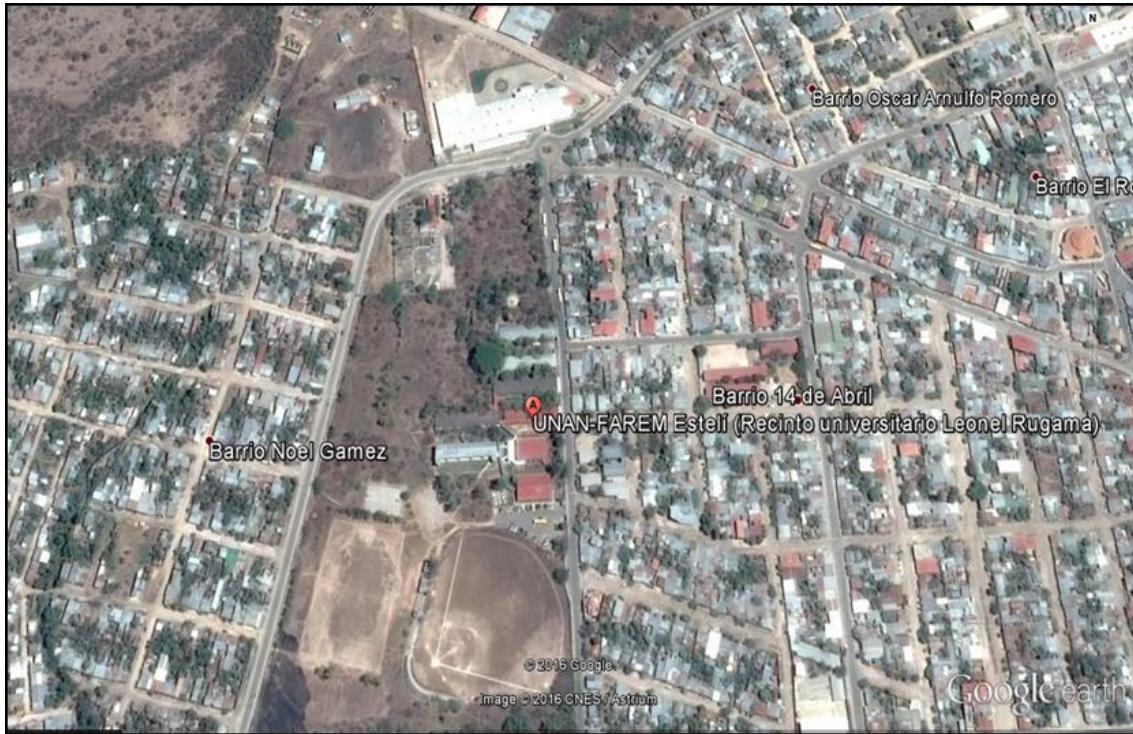


Figura 8: Mapa de ubicación geográfica (Dirección: Barrio 14 de abril, contiguo a la subestación de ENEL, tomado de (Google Earth, 2016))

7.3 Área de conocimiento

El área de estudio a la que pertenece el tema de la presente investigación es el Área: Energías Renovables y responde a la Línea de Investigación 3: Biomasa, dentro de las líneas definidas por el Centro de Investigación en Energías Renovables (CIER).

Universo y Muestra

El universo de este estudio son las materias primas orgánicas a estudiar y contó con tres repeticiones y un único tratamiento (Aceite de cocina usado), la unidad experimental (**Es el material receptor, al cual se aplican los tratamientos en un solo ensayo**) fue un reactor químico, al cual se le estableció en un Diseño Completamente al azar DCA.

Para el desarrollo de la presente investigación, por sus características particulares de implementar un método experimental, basado en el Diseño Completamente al Azar (DCA),

el universo y muestra se circunscribe al **espacio inferencial** que le corresponde, definido por las repeticiones (**Es la reproducción del experimento básico, que permita separar las variaciones sistemáticas de las variaciones debidas al azar, mediante observaciones repetidas, que brinde una medición más precisa del efecto de tratamientos**), los tratamientos (**Es el conjunto de condiciones experimentales que el investigador impone a las unidades experimentales**), el conjunto de factores de efectos fijos (**Efecto del i-ésimo tratamiento a estimar a partir de los datos del experimento**), y aleatorios (**Efecto aleatorio de variación**), así como las covariables relacionadas al fenómeno objeto de estudio (Pedroza Pacheco, 1993).

El Diseño Experimental se estableció en un DCA. Las características técnicas-experimentales, para el diseño, análisis e interpretación de los datos a obtenerse, se realizaron de acuerdo al método de Fischer, siguiendo los procedimientos estadísticos establecidos por (Pedroza Pacheco, 1993).

7.4 Métodos, Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos e Información

7.4.1 Cuantitativo:

Diseño Completamente al Azar DCA: El Diseño Experimental se estableció en un DCA. Las características técnicas-experimentales, para el diseño, análisis e interpretación de los datos a obtenerse, se realizaron de acuerdo al método de Fischer, y Contrastes Ortogonales siguiendo los procedimientos estadísticos establecidos en (Pedroza 1993).

| | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--|--|--|--------------|--|
| Determinar la generación de biodiesel a través del proceso de transesterificación. | 1 Generación biodiesel | 1.1 Cantidad de biodiesel generado | 1.1.1 Litros de biodiesel | | | | Investigador | |
| Correlacionar los parámetros químicos y operacionales del proceso de transesterificación mediante ensayos en el prototipo didáctico de reactor químico de biodiesel. | 1. Parámetros químicos | Nivel de PH | Grado de acidez | | | | Investigador | |
| | | Volumen de grasa | Litros de grasa extraída | | | | Investigador | |
| | 2. Parámetros operacionales | Temperatura | Grados Celsius | | | | Investigador | |
| | | Velocidad de agitación | Revoluciones por minuto (RPM) | | | | Investigador | |
| | | Tiempo | Minutos de duración | | | | Investigador | |

| | | | | | | | | |
|---|---|--|--|---|--|--|--|--|
| Elaborar una guía metodológica para producir biodiesel a escala de laboratorio. | Guía metodológica para producir biodiesel | | | X | | | | |
|---|---|--|--|---|--|--|--|--|

VIII. RESULTADOS

Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de la materia prima que permita la generación de biodiesel que se obtiene en el proceso transesterificación.

Como parte de nuestra investigación recolectamos la información básica de las propiedades fisicoquímicas de los reactivos utilizados, como en la siguiente tabla:

Para lograr este objetivo se procedió a recolectar los datos necesarios mediante mediciones tales respectivas para los siguientes parámetros físico-químicos de la materia prima (Aceite): Viscosidad (dinámica y cinemática), Densidad, Grado de acidez pH, Temperatura.

Densidades de aceites

Tabla de densidad relativa

Densidades relativas de algunos aceites vegetales

| Tipo de aceite | Densidad relativa |
|----------------------------|--------------------------|
| Aceite de girasol | 0.918 - 0.923 |
| Aceite de soja | 0.919 - 0.925 |
| Aceite de cacahuete (maní) | 0.912 - 0.920 |
| Aceite de oliva | 0.913 - 0.916 |
| Aceite de palma | 0.891 - 0.899 |
| Aceite de coco | 0.908 - 0.921 |
| Aceite de maíz | 0.917 - 0.925 |
| Aceite de colza | 0.910 - 0.920 |

| | |
|-------------------|---------------|
| Aceite de lino | 0.926 - 0.930 |
| Aceite de algodón | 0.918 - 0.926 |
| Aceite de cártamo | 0.922 - 0.927 |

(Las Valdesas , 2019)

Siguiendo esta guía sencilla se procede a tomar un dato respectivo al tipo de aceite estimado a tratar, en este caso es el aceite 1, que se cree es de aceite de girasol:

Para tratamiento 1:

Formula de densidad a 20 °C (Normativa) Aceite de girasol (Fritanga)

Tomar un dato intermedio

Aceite girasol – 0.9205

Se multiplicó este dato de densidad relativa por el dato estándar de densidad del agua a 20°C que es 998,30 kg/m³.

Resultado

$0.9205 * 998,30 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{918.93 \text{ kg/m}^3} = \mathbf{919 \text{ kg/m}^3}$.

Densidad del aceite 1 (Fritanga) = 919 kg/m³ (Redondeado).

Para tratamiento 2:

Formula de densidad a 20 °C (Normativa) Aceite de girasol (Rosticeria)

Tomar un dato intermedio

Aceite Colza – 0.9150

Se multiplicó este dato de densidad relativa por el dato estándar de densidad del agua a 20°C que es 998,30 kg/m³.

Resultado

$0.9150 * 998,30 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{913.44 \text{ kg/m}^3} = \mathbf{913 \text{ kg/m}^3} \text{ (Redondeado)}$.

Viscosidades

Tabla 2: Datos recolectados de aceite

| Aceite 1 | | | |
|------------|--------------------|-------------------|---------|
| Símbolo | Unidades de medida | Datos | Valores |
| N | m/s | Velocidad | 2.58 |
| ρe | kg/m ³ | Densidad canica | 9551.09 |
| ρf1 | kg/m ³ | Densidad aceite 1 | 919 |
| ρf2 | kg/m ³ | Densidad aceite 2 | 913 |
| R | M | Radio canica | 0.005 |
| G | m/s ² | Gravedad | 9.81 |

Para aceite 1

Primero aplicamos la fórmula para viscosidad dinámica:

$$v_i = \frac{2g(\rho_e - \rho_f)R^2}{9\eta}$$

Dónde:

Vi: Viscosidad dinámica **G:** Gravedad **ρe:** Densidad de canica **ρf:** Densidad de aceite (1) **R:** Radio de canica **N:** Velocidad **9:** Constante de fórmula
2: Constante de fórmula

Resolviendo:

$$\underline{Vi = \frac{2 * 9.81 \text{ m/s}^2 * (9,551.09 \text{ kg/m}^3 - 919 \text{ kg/m}^3) * (0.005)^2}{9 * (2.58 \text{ m/s})}}$$



$$V_i = 0.1823 \text{ kg/m.s}$$

Seguidamente calculamos la viscosidad cinemática:

Donde:

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

V: Viscosidad cinemática

μ : Viscosidad dinámica

ρ : Densidad de aceite (1)

Resolviendo:

$$\frac{V = 0.1823 \text{ kg/m.s}}{919 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 0.000198 \text{ m}^2/\text{s}$$

Para aceite 2 (Aceite de Rosticería)

Primero aplicamos la fórmula para viscosidad dinámica:

$$v_i = \frac{2g(\rho_e - \rho_f)R^2}{9\eta}$$

Donde:

V_i : Viscosidad dinámica de aceite (1)

G: Gravedad

ρ_e : Densidad de canica

ρ_f : Densidad

2: Constante de fórmula

R: Radio de canica

N: Velocidad

9: Constante de fórmula

Resolviendo:

$$\frac{V_i = 2 * 9.81 \text{ m/s}^2 * (9,551.09 \text{ kg/m}^3 - 913 \text{ kg/m}^3) * (0.005 \text{ m})^2}{9 * (2.58 \text{ m/s})}$$



$$V_i = 0.1824 \text{ kg/m.s}$$

Seguidamente calculamos la viscosidad cinemática:

Donde:

V: Viscosidad cinemática

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

μ : Viscosidad dinámica

ρ : Densidad de aceite (1)

Resolviendo:

$$V = \frac{0.1824 \text{ kg/m.s}}{913 \text{ kg/m}^3} \longrightarrow V = 0.00019 \text{ m}^2/\text{s}$$

Propiedades aceite antes de transesterificación

Tabla 3: Tabla de propiedades físico-químicas de las muestras de aceite

| Reactivo | Viscosidad cinemática (M2/s) | Viscosidad dinámica (Kg/m.s) | Densidad (20°C) (kg/m ³) | Grado de acidez | Temperatura (C°) |
|-----------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|------------------|
| Aceite 1 (Fritanga) | 0.000198 | 0.1823 | 919 | 6 | 20 |
| Aceite 2 (Rosticería) | 0.000190 | 0.1824 | 913 | 6 | 20 |

Mediante el uso del software estadístico Infostat se realizaron medidas de resumen, en el cual consiste en presentar los rangos mínimos, máximos, desviación estándar y la media de cada

parámetro.

Medidas resumen

FRITANGA: ACEITE 1

ROSTICERÍA: ACEITE 2

| Tratamiento | Variable | n | Media | D.E. | Mín | Máx |
|-------------|---|---|---------|------|---------|---------|
| Fritanga | Volumen de aceite (litros).. | 3 | 16,00 | 0,00 | 16,00 | 16,00 |
| Fritanga | Viscosidad aceite kg/m.s | 3 | 0,18 | 0,00 | 0,18 | 0,18 |
| Fritanga | Viscosidad aceite m ² /s | 3 | 2,0E-04 | 0,00 | 2,0E-04 | 2,0E-04 |
| Fritanga | PH aceite | 3 | 6,00 | 0,00 | 6,00 | 6,00 |
| Fritanga | Densidad de aceite (kg/m ³).. | 3 | 919,00 | 0,00 | 919,00 | 919,00 |
| Rosticería | Volumen de aceite (litros).. | 3 | 16,00 | 0,00 | 16,00 | 16,00 |
| Rosticería | Viscosidad aceite kg/m.s | 3 | 0,18 | 0,00 | 0,18 | 0,18 |
| Rosticería | Viscosidad aceite m ² /s | 3 | 1,9E-04 | 0,00 | 1,9E-04 | 1,9E-04 |
| Rosticería | PH aceite | 3 | 6,20 | 0,00 | 6,20 | 6,20 |
| Rosticería | Densidad de aceite (kg/m ³).. | 3 | 913,00 | 0,00 | 913,00 | 913,00 |

pH de aceite:

Según los resultados obtenidos podemos notar que el pH del aceite de fritanga se encuentra en un valor de 6,00 al igual que el valor de aceite de rosticería en nivel de grado de acidez que va desde 0 (valor ácido) hasta 14 (valor básico).

Rango: 6.00 – 6.00

Densidad de Aceite: Según los resultados obtenidos podemos notar que la densidad de aceite de fritanga se encuentra con un valor de 919,00 kg/m³, mientras que por otra parte, el aceite de rosticería tiene un valor de 913.00 kg/m³

913 a 919 kg/m³.

Viscosidad de Aceite (Viscosidad cinemática): Según los resultados obtenidos podemos notar que la densidad de aceite para ambos tratamientos se encuentra entre los rangos de 0,001 a 0.002 k/m.s

Para lograr el objetivo específico número 2:

Determinar la generación de biodiesel a través del proceso de transesterificación.

Procedimiento detallado del proceso que se realizó para generar biodiesel.

Preparando la disolución a analizar

1. Se midieron 10 ml de alcohol isopropílico (etanol 96%) en cada uno de los tres vasos precipitados de 50 ml.

2. Se añadieron 5 gotas de la disolución de fenolftaleína al alcohol de cada vaso de precipitados y se agitaron para mezclar los líquidos.
3. Se añadió 1 ml de muestra de aceite a cada vaso de precipitado y agitaron para disolverlo.

Preparación de la disolución de referencia.

1. Se disolvió 1 gramo de hidróxido sódico en un litro de agua destilada.
2. Usando un embudo, se vertió la disolución en la bureta.

Realizando la valoración

1. Se colocó uno de los vasos de precipitados con la disolución a analizar debajo de la bureta.
2. Se anotó la cantidad inicial de la disolución de referencia en la bureta.
3. Lentamente se añadió la disolución de referencia, aproximadamente 0.5 ml de cada vez a la disolución de aceite y alcohol.
4. Se agitó el vaso de precipitado.
5. Se añadió la disolución de referencia a la disolución de aceite y alcohol hasta conseguir un color rosa claro garantizando que permanezca como mínimo un lapso de 10 segundos.
6. Se detuvo el proceso.
7. Se anotó el volumen usado de la disolución de referencia (en ml) de la forma siguiente: Volumen final – Volumen inicial = Disolución de referencia usada.
8. Se repitió el procedimiento de dos a tres veces y posteriormente se anotó la cantidad usada de la disolución de referencia en ambas pruebas.
9. Luego, se calculó el volumen medio de la disolución de referencia usado en las tres pruebas (T).
10. Se estructuró la fórmula indicada más abajo para determinar la cantidad de catalizador y reactivos que se utilizaron para hacer el biodiesel a partir de aceite vegetal usado. Por cada litro de aceite, se añadió el 16 % del volumen total expresado 2,56 litros de metanol y 64 gramos de hidróxido sódico, resultado de la siguiente fórmula:

$$3.5 + X * L$$

Dónde:

3.5= Constante de NaOH por aceite

X= Cantidad de gramos/litro de NaOH al 0.1% (sustancia referencia) resultado de la titulación de las distintas muestras

L= Litros de aceite total a trans-esterificar

Para producir biodiésel

1. Se introdujo la cantidad de aceite respectiva a cada repetición (16 litros) al tanque del reactor.
2. Se depositó la cantidad calculada de metóxido (gramos de NaOH + Litros de metanol) al tanque.
3. Se mezcló y se introdujo al reactor junto con el aceite y se activaron todos los dispositivos respectivos a la temperatura, energía eléctrica y el motor de agitación a 100 RPM.
4. Se garantizó una temperatura de 55 °C constantes con una duración de 50 minutos de proceso.
5. Se dejó reposar la mezcla por 24 horas.
6. Finalmente, se descargó una muestra de la mezcla en la parte inferior del tanque 1, obteniendo glicerina.

Se hicieron 3 distintas repeticiones de 2 diferentes aceites reutilizados o quemados de un volumen de 16 litros por cada repetición, obteniendo resultados positivos para ambos casos, pero con leves a moderadas diferencias en cantidades resultantes en producción de biodiesel, grasa y glicerina, de los cuales cada uno detallaremos su proceso, cantidad de químicos utilizados, propiedades físico-químicas de cada aceite, y los posibles causantes de los resultados obtenidos.

| Tratamiento | Viscosidad cinemática (M ² /s) | Viscosidad dinámica (Kg/m.s) | Densidad (15°C) (gr/ml) | Grado de acidez | Temperatura (C°) |
|-------------|---|------------------------------|-------------------------|-----------------|------------------|
| Aceite 1 | 0.000196 | 0.1837 | 0.93 | 6 | 55 |
| Aceite 2 | 0.000190 | 0.1824 | 0.91 | 6.20 | 55 |

Prueba 1

El tipo de aceite utilizado en esta prueba provenía de una fritanga de la localidad más cercana, a simple vista, se notaba quemado y oscuro, y se tomaron 16 litros para cada repetición de la prueba 1 (3 repeticiones), de los cuales se tomó una muestra necesaria para realizar la respectiva titulación con 5

repeticiones, de las cuales se promedió al dato más frecuente, el cual determinó la cantidad necesaria de NaOH (sustancia de referencia) para la formulación y calculo a escala de reactor y transesterificación.

Cantidad de químicos para titulación (Prueba 1)

Primeramente se realizó la titulación, en la cual se realizaron 5 repeticiones y se promedió el resultado, obteniendo 0,5 gramos/litro (expresado en tabla 7)

Tabla 4: Tabla de datos de titulación (Prueba 1)

| Descripción | Cantidad | Estado de reactivos | Observación |
|------------------------------|---|---------------------|-------------|
| Hidróxido de sodio (0.1%) | 0.5 gr/litro (promedio de 5 repeticiones) | OPTIMO | |
| Etanol (96%) | 10 ml | OPTIMO | |
| Fenolftaleína 1% | 5 ml (5 gotas) | OPTIMO | |
| Muestra de aceite a procesar | 1 ml | OPTIMO | |

Cantidad de químicos para transesterificación (Repetición 1)

Posteriormente se realizó el cálculo de cantidad de Hidróxido de Sodio (Catalizador) por medio de la siguiente fórmula:

$$3,5 + X * L$$

Donde:

3,5= Constante de NaOH por aceite

X= Cantidad de gramos/litro de NaOH al 0.1% (sustancia referencia) resultado de la titulación de las distintas muestras

L= Litros de aceite total a trans-esterificar

Resolviendo:

$$3,5 + 0,5 * 16 \text{ L} = \text{Cantidad de NaOH}$$

$$\text{Cantidad de NaOH} = 64 \text{ g}$$

Resultado expresado en la tabla 8:

Tabla 5: Tabla de químicos para transesterificación (Prueba 1- Repetición 1)

| Descripción | Cantidad | Estado de reactivos | Observación |
|---------------------------|-------------|---------------------|---------------------------------|
| Hidróxido de sodio (100%) | 64 g | OPTIMO | SOSPECHA DE CANTIDAD INCORRECTA |
| Metanol (99%) | 2.56 litros | OPTIMO | |
| Aceite a procesar | 16 litros | OPTIMO | |

Parámetros físicos

En el modelo experimental siempre se mantuvieron a cabalidad los siguientes parámetros físicos:

| Descripción | Cantidad | Estado | Observación |
|------------------------|------------|--------|-------------|
| Velocidad de agitación | 100 Rpm | OPTIMA | |
| Temperatura | 55 grados | OPTIMA | |
| Tiempo | 50 minutos | OPTIMO | |

Cantidad de químicos para transesterificación (Repetición 2)

Tabla 6: Tabla de químicos para transesterificación (Prueba 1- Repetición 2)

| Descripción | Cantidad | Estado de reactivos | Observación |
|---------------------------|-------------|---------------------|-------------|
| Hidróxido de sodio (100%) | 64 g | OPTIMO | |
| Metanol (99%) | 2.56 litros | OPTIMO | |
| Aceite a procesar | 16 litros | OPTIMO | |

| Descripción | Cantidad | Estado | Observación |
|------------------------|------------|--------|-------------|
| Velocidad de agitación | 100 Rpm | OPTIMA | |
| Temperatura | 55 grados | OPTIMA | |
| Tiempo | 50 minutos | OPTIMO | |

Cantidad de químicos para transesterificación (Repetición 3)

Tabla 7: Tabla de químicos y parámetros físicos para transesterificación (Prueba 1- Repetición 3)

| Descripción | Cantidad | Estado de reactivos | Observación |
|---------------------------|-------------|---------------------|-------------|
| Hidróxido de sodio (100%) | 64g | OPTIMO | |
| Metanol (99%) | 2.56 litros | OPTIMO | |
| Aceite a procesar | 16 litros | OPTIMO | |

Parámetros físicos

En el modelo experimental siempre se mantuvieron a cabalidad los siguientes parámetros físicos:

| Descripción | Cantidad | Estado | Observación |
|------------------------|--------------|--------|-------------|
| Velocidad de agitación | 100 Rpm | OPTIMA | |
| Temperatura | 50-55 grados | OPTIMA | |
| Tiempo | 50 minutos | OPTIMO | |

Prueba 2

El tipo de aceite utilizado en esta prueba provenía de una roscería de la localidad más cercana, a simple vista, se notaba quemado y oscuro, y nuevamente se utilizaron 16 litros para el experimento para cada repetición, de los cuales se tomó una muestra necesaria para realizar la respectiva titulación, la cual determinó la cantidad necesaria de NaOH (sustancia de referencia) para la formulación y cálculo a escala de reactor y transesterificación.

Cantidad de químicos para titulación (Prueba 2)

Tabla 8: Tabla de datos de titulación (Prueba 1)

| Descripción | Cantidad | Estado de reactivos | Observación |
|------------------------------|--|---------------------|-------------|
| Hidróxido de sodio (0.1%) | 0.9 gr/litro promedio de 5 repeticiones) | OPTIMO | |
| Etanol (96%) | 10 ml | OPTIMO | |
| Fenolftaleína 1% | 5 ml (5 gotas) | OPTIMO | |
| Muestra de aceite a procesar | 1 ml | OPTIMO | |

Prueba 2

Cantidad de químicos para transesterificación (Repetición 1)

Posteriormente se realizó el cálculo de cantidad de Hidróxido de Sodio (Catalizador) por medio de la siguiente fórmula:

$$3,5 + X * L$$

Donde:

3,5= Constante de NaOH por aceite

X= Cantidad de gramos/litro de NaOH al 0.1% (sustancia referencia) resultado de la titulación de las distintas muestras

L= Litros de aceite total a trans-esterificar

Resolviendo:

$$3,5 + 0,5 * 16 L = \text{Cantidad de NaOH}$$

Cantidad de NaOH = 64 g

Cantidad de químicos para transesterificación (Repetición 1)

| Descripción | Cantidad | Estado de reactivos | Observación |
|---------------------------|-------------|---------------------|-------------|
| Hidróxido de sodio (100%) | 70.4 g | OPTIMO | |
| Metanol (99%) | 2.56 litros | OPTIMO | |
| Aceite a procesar | 16 litros | OPTIMO | |

Parámetros físicos

En el modelo experimental siempre se mantuvieron a cabalidad los siguientes parámetros físicos:

Tabla 9: Tabla de químicos y parámetros físicos para transesterificación (Prueba 2- Repetición 1)

| Descripción | Cantidad | Estado | Observación |
|------------------------|------------|--------|-------------|
| Velocidad de agitación | 100 Rpm | OPTIMA | |
| Temperatura | 55 grados | OPTIMA | |
| Tiempo | 50 minutos | OPTIMO | |

Cantidad de químicos para transesterificación (Repetición 2)

Tabla 10: Tabla de químicos y parámetros físicos para transesterificación (Prueba 2- Repetición 2)

| Descripción | Cantidad | Estado de reactivos | Observación |
|---------------------------|-------------|---------------------|-------------|
| Hidróxido de sodio (100%) | 70.4 g | OPTIMO | |
| Metanol (99%) | 2.56 litros | OPTIMO | |
| Aceite a procesar | 16 litros | OPTIMO | |

| Descripción | Cantidad | Estado | Observación |
|------------------------|------------|--------|-------------|
| Velocidad de agitación | 100 Rpm | OPTIMA | |
| Temperatura | 55 grados | OPTIMA | |
| Tiempo | 50 minutos | OPTIMO | |

Cantidad de químicos para transesterificación (Repetición 3)

Tabla 11: Tabla de químicos y parámetros físicos para transesterificación (Prueba 2- Repetición 3)

| Descripción | Cantidad | Estado de reactivos | Observación |
|---------------------------|-------------|---------------------|-------------|
| Hidróxido de sodio (100%) | 70.4 g | OPTIMO | |
| Metanol (99%) | 2.56 litros | OPTIMO | |

| | | | |
|-------------------|-----------|--------|--|
| Aceite a procesar | 16 litros | OPTIMO | |
|-------------------|-----------|--------|--|

| Descripción | Cantidad | Estado | Observación |
|------------------------|--------------|--------|-------------|
| Velocidad de agitación | 100 Rpm | OPTIMA | |
| Temperatura | 50-55 grados | OPTIMA | |
| Tiempo | 50 minutos | OPTIMO | |

Medidas de resumen (Infostat)

| Tratamiento | Variable | n | Media | D.E. | Mín | Máx |
|-------------|-------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|
| Fritanga | PH Biodiesel | 3 | 6,85 | 0,09 | 6,75 | 6,90 |
| Fritanga | Densidad biodiesel (Kg) | 3 | 931,33 | 3,21 | 929,00 | 935,00 |
| Fritanga | Viscosidad de biodiesel (m..) | 3 | 1,9E-04 | 5,5E-06 | 1,9E-04 | 2,0E-04 |
| Rosticeria | PH Biodiesel | 3 | 6,57 | 0,12 | 6,50 | 6,70 |
| Rosticeria | Densidad biodiesel (Kg) | 3 | 912,00 | 2,65 | 910,00 | 915,00 |
| Rosticeria | Viscosidad de biodiesel (m..) | 3 | 1,8E-04 | 1,0E-06 | 1,8E-04 | 1,8E-04 |

pH de Biodiesel:

Según los resultados obtenidos podemos notar que el pH del biodiesel para ambos tratamientos se encuentra entre los rangos de 6,50 a 6,90 en nivel de grado de acidez que va desde 0 (valor ácido) hasta 14 (valor básico), confirmando así, que se encuentra entre el rango óptimo para esta sustancia.

Densidad de Biodiesel: Según los resultados obtenidos podemos notar que la densidad de biodiesel para ambos tratamientos se encuentra entre los rangos de 910 kg/m₃ a 935 kg/m₃.

910 kg/m₃ a 935 kg/m₃

Viscosidad de Biodiesel (Viscosidad cinemática): Según los resultados obtenidos podemos notar que la densidad de aceite para ambos tratamientos se encuentra entre los rangos de 1,8E-04 (0.0018 a 0E-04 m en notación científica (valor de muy poca denominación)

Densidades

Explicación obtención de densidad a 15°C

Tabla 12: Norma Vance Biodiesel EN 14214:2012

| D4 ²⁰ | 0.60-0.70 | 0.70-0.76 | 0.76-0.80 | 0.80-0.85 | 0.85-0.88 | 0.88-0.90 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| a | 0.009 | 0.0085 | 0.008 | 0.0075 | 0.0065 | 0.0062 |

Para caso 1:

En nuestro caso “a” vale 0.0065 debido a que se encuentra en un rango de 0.85-0.88 gr/ml

Se aplica la fórmula de densidad a 15°C

Se reemplazan los datos:

$$d^t = d_{15}^{15} - a (t - t_{ref})$$

$$d_{15}^{15} = d^t + a (t - t_{ref})$$

Se reemplazan los datos:

$$d_{15}^{15} = 0.88 \text{ gr/ml} + 0.0065(23-15)^\circ\text{C}$$

$$d_{15}^{15} = 0.932 \text{ gr/ml}^3 = 932 \text{ kg/m}^3$$

Para caso 2:

En nuestro caso “a” vale 0.0065 debido a que se encuentra en un rango de 0.85-0.88 gr/ml

Aplicamos la fórmula de densidad a 15°C

Se reemplazan los datos:

$$d_{15}^{15} = 0.86 + 0.0065(23-15)$$

$$d_{15}^{15} = 0.912 \text{ gr/ml}^3 = 912 \text{ kg/m}^3$$

Viscosidades

Tabla 13: Datos recolectados de aceite

| Aceite 1 | | | |
|------------|--------------------|-------------------|---------|
| Símbolo | Unidades de medida | Datos | Valores |
| N | m/s | Velocidad | 2.58 |
| ρe | kg/m ³ | Densidad canica | 9551.09 |
| ρf1 | kg/m ³ | Densidad aceite 1 | 932 |
| ρf2 | kg/m ³ | Densidad aceite 2 | 912 |
| R | M | Radio canica | 0.005 |
| G | m/s ² | Gravedad | 9.81 |

Para aceite 1

Primero aplicamos la fórmula para viscosidad dinámica:

$$v_i = \frac{2g(\rho_e - \rho_f)R^2}{9\eta}$$

Donde:

Vi: Viscosidad dinámica **G:** Gravedad **ρe:** Densidad de canica **ρf:** Densidad de aceite (1) **R:** Radio de canica **N:** Velocidad **9:** Constante de fórmula
2: Constante de fórmula

Resolviendo:

$$V_i = \frac{2 * 9.81 \text{ m/s}^2 * (9,551.09 \text{ kg/m}^3 - 932 \text{ kg/m}^3) * (0.005)^2}{9 * (2.58 \text{ m/s})}$$



$$V_i = 0.1837 \text{ kg/m.s}$$

Seguidamente calculamos la viscosidad cinemática:

Donde:

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

V: Viscosidad cinemática

μ : Viscosidad dinámica

ρ : Densidad de aceite (1)

Resolviendo:

$$\frac{V = 0.18 \text{ kg/m.s}}{932 \text{ kg/m}^3}$$



$$V = 0.000197 \text{ m}^2/\text{s}$$

Para aceite 2

Primero aplicamos la fórmula para viscosidad dinámica:

$$v_i = \frac{2g(\rho_e - \rho_f)R^2}{9\eta}$$

Donde:

V_i : Viscosidad dinámica **G:** Gravedad **ρ_e :** Densidad de canica **ρ_f :** Densidad de aceite (1) **R:** Radio de canica **N:** Velocidad **9:** Constante de fórmula
2: Constante de fórmula

Resolviendo:

$$\frac{V_i = 2 * 9.81 \text{ m/s}^2 * (9,551.09 \text{ kg/m}^3 - 912 \text{ kg/m}^3) * (0.005 \text{ m})^2}{9 * (2.58 \text{ m/s})}$$



$$V_i = 0.1824 \text{ kg/m.s}$$

Seguidamente calculamos la viscosidad cinemática:

Donde:

V: Viscosidad cinemática

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

μ : Viscosidad dinámica

ρ : Densidad de aceite (1)

Resolviendo:

$$V = \frac{0.16 \text{ kg/m.s}}{912 \text{ kg/m}^3}$$



$$V = 0.0002 \text{ m}^2/\text{s}$$

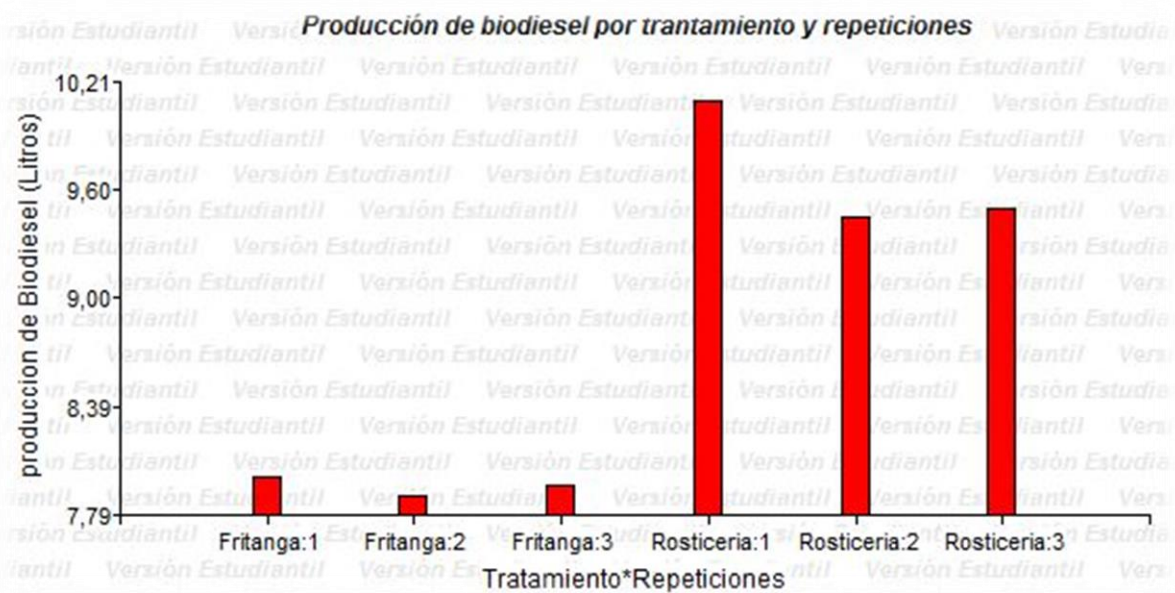


Figura 9: Producción de biodiesel por tratamiento y repeticiones

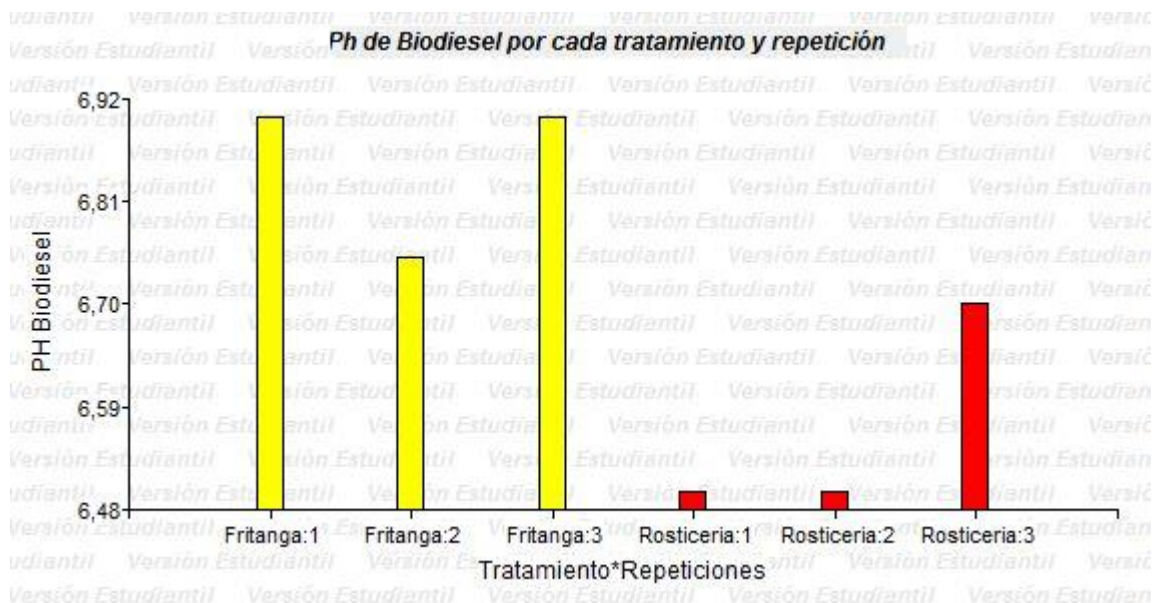


Figura10 : Ph de Biodiesel por cada tratamiento y repetición

Correlación de los parámetros químicos y operacionales del proceso de transesterificación mediante ensayos en el prototipo didáctico de reactor químico de biodiesel.

Se hizo uso del software estadístico “Infostat” para lograr correlacionar las variables y parámetros físico-químicos que se encuentran en función en la transesterificación y, además, aplicar distintas técnicas como “Análisis multivariado”, “Medidas de resumen”, con las que se cuentan la “media”, “promedio” entre otros controles.

Se aplicó correlación de Pearson con variables pareja como tal “Producción de Biodiesel vs Producción de Glicerina” para ver la relación entre ellas, así como también la relación que tienen los reactivos químicos y la producción del biodiesel, la glicerina y la grasa.

Los datos cuantitativos se refieren a información numérica sobre variables cuyos valores se miden en grados como, por ejemplo: la presión arterial, la nota de una asignatura, el peso, la talla, el número de hijos, la edad del destete, etc. La estadística sirve para reducir, resumir, organizar, evaluar, interpretar y comunicar la información numérica. Esto es lo que le da sentido a una serie de datos que sin ser sometidos a estos procesos no tendrían significado. Las técnicas estadísticas se clasifican en descriptivas y en inferenciales o deductivas.

En el caso de ésta investigación se usó la estadística inferencial debido a que se necesita cuando se desea generalizar de una muestra a la población. Para esto se usaron una gama de técnicas entre las que se pueden mencionar: análisis de varianza múltiple, coeficiente de correlación de variables como “correlación de Pearson” y gráficos de medias de resumen (Pineda, De Alvarado, & De Canales, 1994).

Se hizo uso pertinente del programa Infostat para poder correlacionar los datos y determinar la causalidad, su relación entre cada variable o parámetro que se hayan recolectado datos, entre los que podemos mencionar, la temperatura, el tiempo, la velocidad, la viscosidad, la densidad, el nivel de acidez, cantidad de producción de biodiesel, cantidad de metanol, cantidad de hidróxido de sodio etc.

El ANOCORR, consiste en determinar el grado de asociación entre dos variables cuantitativas continuas, ó **calificar** tal relación, lo cual se mide por el *Coeficiente de Correlación “r” de Pearson* y se realiza bajo la hipótesis nula de $H_0: \rho = 0$ (Casanoves, 2007).

De acuerdo a Rodríguez (2012), para la interpretación del *Coeficiente de Correlación “r” de Pearson*, éste toma valores entre -1 y +1. Valores próximos a -1, indican una fuerte a perfecta asociación negativa, valores cercanos a -0.5, indican una asociación moderada negativa y valores próximos a 0 indican una débil asociación entre las variables. Por otra parte, valores próximos a 1, indican una fuerte a perfecta asociación positiva, valores cercanos a 0.5 indican una asociación moderada positiva.

A continuación se presenta el procedimiento del ANACORR realizado con **INFOSTAT** para determinar la correlación entre las variables, **pH (grado de acidez) y Producción de biodiesel; Volumen de grasa y Producción de biodiesel; Cantidad de NaOH Y Producción de Biodiesel; Cantidad de metanol y producción de Biodiesel** para saber si estas variables están correlacionadas o no, lo cual aportará pistas para estudiar las causas de la producción de biodiesel.

Coeficientes de correlación Producción de Biodiesel vs PH de aceite

| Variable (1) | Variable (2) | n | Pearson | p-valor |
|------------------------------|------------------------------|---|---------|---------|
| Producción de Biodiesel (L.. | producción de Biodiesel (L.. | 6 | 1,00 | <0,0001 |
| Producción de Biodiesel (L.. | PH aceite | 6 | 0,97 | 0,0012 |
| PH aceite | producción de Biodiesel (L.. | 6 | 0,97 | 0,0012 |
| PH aceite | PH aceite | 6 | 1,00 | <0,0001 |

El análisis de **Correlación de Pearson** realizado para la variable **pH de aceite y producción de biodiesel**, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a **0,97**, indicando que se tiene una

asociación positiva muy alta entre las variables. Este valor del “r” fue obtenido con un $p = 0,0012$, el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \rho = 0$, esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe una correlación entre las variables **pH de aceite y producción de biodiesel**. De ahí que, se confirma la hipótesis de que el pH cuando se encuentra en los niveles óptimos está asociado con la producción de biodiesel.

Coefficientes de correlación Producción de Biodiesel vs NaOH (100%)

| Variable(1) | Variable(2) | n | Pearson | p-valor |
|------------------------------|------------------------------|---|---------|---------|
| Producción de Biodiesel (L.. | producción de Biodiesel (L.. | 6 | 1,00 | <0,0001 |
| Producción de Biodiesel (L.. | NaOH al 100% (Gramos) | 6 | 0,97 | 0,0012 |
| NaOH al 100% (Gramos) | producción de Biodiesel (L.. | 6 | 0,97 | 0,0012 |
| NaOH al 100% (Gramos) | NaOH al 100% (Gramos) | 6 | 1,00 | <0,0001 |

El análisis de **Correlación de Pearson** realizado para la variable **NaOH al 100% y producción de biodiesel**, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a **0,97**, indicando que se tiene una asociación positiva muy alta entre las variables. Este valor del “r” fue obtenido con un $p = 0,0012$, el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \rho = 0$, esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe una correlación entre las variables **NaOH (100%) y producción de biodiesel**. De ahí que, se confirma la hipótesis de que el NaOH cuando se encuentra en los niveles óptimos está asociado con la producción de biodiesel.

| Variable(1) | Variable(2) | n | Pearson | p-valor |
|------------------------------|------------------------------|---|---------|---------|
| Producción de Biodiesel (L.. | producción de Biodiesel (L.. | 6 | 1,00 | <0,0001 |
| Producción de Biodiesel (L.. | Volumen de grasa (litros) | 6 | -1,00 | <0,0001 |
| Volumen de grasa (litros) | producción de Biodiesel (L.. | 6 | -1,00 | <0,0001 |
| Volumen de grasa (litros) | Volumen de grasa (litros) | 6 | 1,00 | <0,0001 |

El análisis de **Correlación de Pearson** realizado para la variable **Volumen de grasa y producción de biodiesel**, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a **-1,00**, indicando que se tiene una asociación positiva completamente alta y directa entre las variables. Este valor del “r” fue obtenido con un $p = <0,0001$, el cual resulta ser demasiado menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \rho = 0$, esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación muy significativa, por lo que se demostró que existe una

correlación entre las variables **Volumen de grasa y producción de biodiesel**. De ahí que, se confirma la hipótesis de que el volumen de grasa se encuentra asociado absolutamente con la producción de biodiesel.

Análisis de la varianza multivariado

Cuadro de Análisis de la Varianza (Wilks)

| F.V. | Estadístico | F | gl(num) | gl(den) | p |
|-------------|-------------|-------|---------|---------|--------|
| Tratamiento | 0,03 | 20,10 | 3 | 2 | 0,0478 |

Prueba Hotelling Alfa=0,05

Error: Matriz de covarianzas común gl: 4

| Tratamiento | Volumen Glicerina (Litros) | Volumen de grasa (litros) | producción de Biodiesel (L.. n |
|-------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Fritanga | 1,46 | 5,48 | |
| 7,87 3 A | | | |
| Rosticería | 1,45 | 3,39 | |
| 9,62 3 B | | | |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El análisis de varianza multivariado fue realizado con el fin de estimar las diferencias entre las medias de ambos, mediante la comparación conjunta de las variables dependientes observadas, Producción de biodiesel, volumen de grasa, volumen de glicerina, temperatura, gramos de hidróxido de sodio, grado de acidez (pH) y volumen de metanol. Según la prueba realizada de Hotelling con Alfa=0.05, existen diferencias significativas entre los tratamientos y las variables dependientes evaluadas. En general, se observa que el sustrato de biodiesel presentó un vector de medias mayor que el resto de sustratos, por lo que se diferenció significativamente del resto de sustratos y por lo tanto el aceite de fritanga presenta las mejores propiedades físico-químicas de los dos aceites en estudio.

Guía de uso para la elaboración de biodiésel

a. Titulación

1. Muestras de aceite (recipientes de vidrio).



Figura 10: Muestras - fuente propia

2. Agregar 5 gotas de fenolftaleína a cada una de ellas



Figura 11: Fenolftaleína - fuente propia

3. Dejar caer a cada muestra de aceite gotas de solución de NaOH 0.1% Con mucha paciencia hasta que este agarre un tono de color rosa y que se mantenga al menos por 10 segundos...



Figura 12: Observación - fuente propia

4. Anotar la cantidad de NaOH que se gastó y aplicar en la formula $gr = x + 3.5 * \text{Litro}$

Donde = X= la cantidad de NaOH que se uso

3.5= Constante de la fórmula

Lt: cantidad de litros de aceite que se utilizará en cada prueba

Gr: la cantidad de gr de sosa caustica que se utilizara para la reacción del metóxido.

Cantidades calculadas para cada proceso.

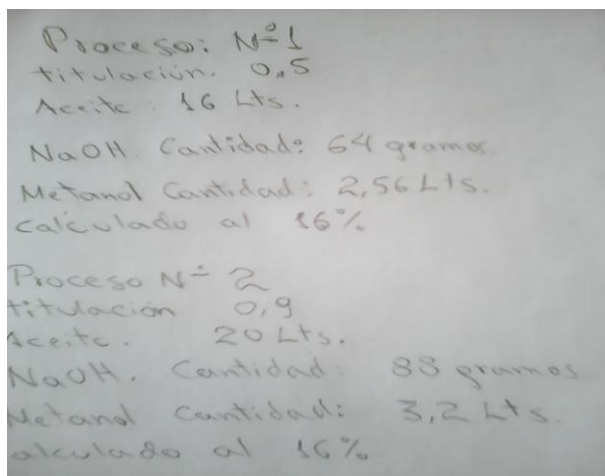


Figura 13: Cálculos - fuente propia

b. Preparación del método

1. Se adjuntan los químicos y materiales que se utilizaran para hacer el metóxido (metanol, sosa caustica, pesa digital, balde de plástico, varilla de vidrio para revolver).



Figura 14: Reactivos químicos para Metóxido - fuente propia

2. Se pesa con mucha delicadez los gramos que se utilizaran ya calculados para hacer el metóxido (no dejar mucho tiempo al ambiente este producto debido a su reacción que puede tener con el ambiente).



Figura 15: Peso en NaOH en Gramos- fuente propia

3. Echar la cantidad de “It” de metanol (no más del 20% de aceite que se utilizara para la prueba) y cantidad de gramos de sosa caustica a un balde de plástico y revolverlo hasta que la sosa ya se desintegre completamente.



Figura 16: Preparación de metanol - fuente propia

c. Pruebas en el reactor

1. Filtrar el aceite para que no tenga virutas o elementos impropios del aceite



Figura 17: Filtración de aceite - fuente propia

2. Encender y verificar que los elementos electrónicos estén en los rangos permitidos para la elaboración de biodiesel (temperatura 55°C , 100 RPM del motor, válvula cerrada)



Figura 18: Verificación de controladores de reactor químico - fuente propia

3. Cuando ya se halla precalentado el aceite a 55°C proceder a introducir el metóxido y dejarlo mezclar durante 50 minutos



Figura 19: Mezcla de químicos- fuente propia

4. Pasados el tiempo establecido sacar muestras del biodiesel



Figura 20: Muestras de biodiesel fuente propia

d. Lavado de biodiesel

1. Una vez ya terminado el proceso de mezclado y dejando reposar se prosigue a lavar el biodiesel

Agregando la misma cantidad de biodiesel y agua en el mismo reactor y mezclarlo a velocidad constante



Figura 21: Agitación de lavado de biodiesel



Figura 22: Lavado de Biodiesel (Prueba 1) - fuente propia

2. Se realizaron 3 lavados en los que en cada lavado se fue observando como la parte inferior de las botellas se iba separando la grasa hasta que el agua quedara limpia



Figura 23: (1er lavado) fuente propia



Figura 24: (2do lavado)- fuente propia



Figura 25: (3 lavado)- fuente propia

IX. CONCLUSIÓN

Se realizaron los respectivos análisis a partir de los datos obtenidos mediante un control estadístico por el software Infostat en el cual se le aplicaron distintas pruebas las cuales nos permitieron reforzar y hasta alcanzar varios objetivos planteados por nuestra investigación

Con base a los experimentos obtenidos concluimos que los procesos a los que fueron sometidos las 2 muestras con los parámetros conceptuales cumplidos, fue satisfactorio aunque no todos los aceites son óptimos para la elaboración de este producto biodegradable, existe una dependencia parcial de una variable y otra pero hay otras variables que no tienen relación ninguna ni dependencia alguna respectiva a la producción de biodiesel, como lo son el volumen de glicerina y de grasa.

Por otra parte, se encuentra que la producción de biodiesel viene afectada muy directamente y significativamente por el grado de acidez (pH), la cantidad de gramos de NaOH al 100% (Hidróxido de sodio).

X. RECOMENDACIONES

1. Ver que el tanque de mezclado del reactor no tenga ninguna fuga de líquido ya que esto puede ocasionar problemas de eficiencia en la obtención del biodiésel y en su proceso establecido.
2. Verificar el estado de los químicos que no estén vencidos, esto puede llevar a resultados no esperados
3. Verificar bien el grado de acidez de los aceites debido a que de eso depende mucho la producción de biodiesel y el nivel de ácidos grasos libres para crear una buena calidad de biodiésel.
4. Tener bien estructurado un cronograma de trabajo para la elaboración de biodiésel.
5. Contar con los equipos necesarios de seguridad a la hora de manipular los químicos porque algunos son altamente peligrosos.
6. Realizar más pruebas experimentales de biodiésel con el reactor, esto puede ayudar al desarrollo de los alumnos de las carreras afines a energías renovables.
7. En Nicaragua se cuenta con un sin número de restaurantes, fritangas, rosticerías, entre otros, de donde se puede extraer la materia prima principal para la elaboración de biodiesel y teniendo un método bien estructurado para su elaboración llegaría a aportar a un buen desarrollo para la población.
8. Realizar las combinaciones de biodiésel y diésel en el consumo de los automóviles que sean a diésel debido a que lubrica las piezas internas en el automóvil y además, es muy importante porque aporta a la reducción de co₂.

XI. ANEXOS

Diseño del prototipo del reactor químico

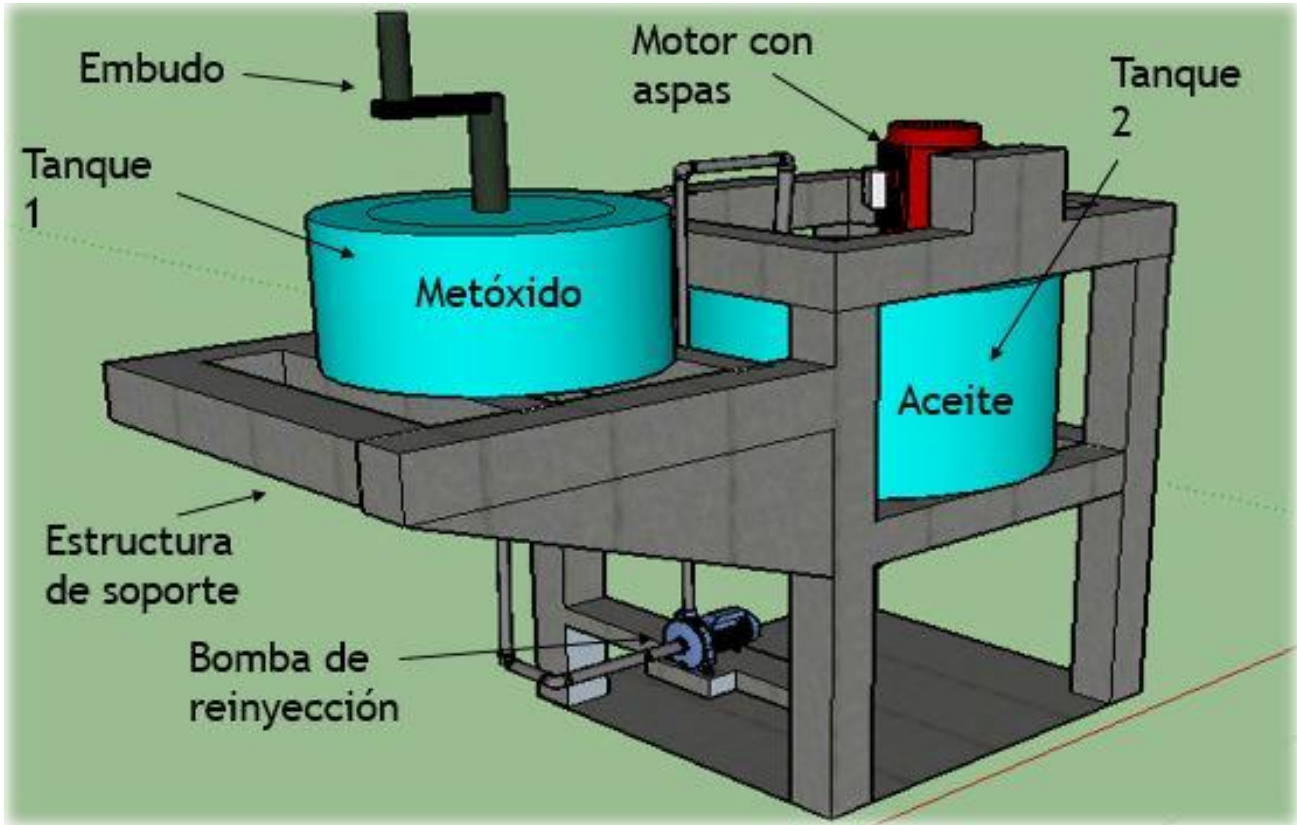


Figura 26: Reactor químico para producción de biodiesel

Figura 27: Tabla de construcción de reactor químico

PRESUPUESTO INVESTIGACIÓN

| Presupuesto Tesis | | | | |
|---------------------------------|-----|----------------|----------------|---------------------|
| Descripción | U/M | Cantidad total | Costo unitario | Total |
| Metanol | LTS | 12 | C\$ 287.35 | C\$ 3,448.20 |
| Sosa caustica | GR | 100 | C\$ 0.90 | C\$ 90.00 |
| Silicón de motor | UND | 3 | C\$ 120.00 | C\$ 360.00 |
| Llave de pase 2" | UND | 1 | C\$ 80.00 | C\$ 80.00 |
| Juego de tubos para desaguadero | UND | 1 | C\$ 65.00 | C\$ 65.00 |
| Silicón blanco | UND | 1 | C\$ 160.00 | C\$ 160.00 |
| Epoxi | UND | 1 | C\$ 80.00 | C\$ 80.00 |
| Pega cPVC | UND | 1 | C\$ 120.00 | C\$ 120.00 |
| Aceites reusados | LTS | 51 | C\$ 9.01 | C\$ 459.51 |
| Baldes | UND | 2 | C\$ 50.00 | C\$ 100.00 |
| Agua destilada | ML | 250 | C\$ 3.13 | C\$ 782.50 |
| Alcohol | UND | 1 | C\$ 60.00 | C\$ 60.00 |
| Total | | | | C\$ 5,805.21 |

XII. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta , Cortijo, & Castro. (2008). Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala. clasificación.
- al, A. (2008). Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala. clasificación.
- Anonimo. (s,f). *autoscout24*. Obtenido de autoscout24:
<http://www.autoscout24.es/tematicas/tecnologia-del-automovil/electronica/como-funciona-un-tacometro/>
- anonimo. (s,f). *laboratorio quimico* . Obtenido de laboratorio quimico :
<https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/phmetro.html>
- anonimo. (SF). <https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/que-es-y-como-funciona-la-biomasa/>. Obtenido de <https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/que-es-y-como-funciona-la-biomasa/>: <https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/que-es-y-como-funciona-la-biomasa/>
- biodisol. (SF). <http://www.biodisol.com>. Obtenido de <http://www.biodisol.com>:
<http://www.biodisol.com/que-son-las-energias-renovables-clasificacion-evolucion-historica-las-fuentes-de-energias-renovables/>
- C. Cabello, S. R. (MARCH de 2017). Catalizadores heterogéneos utilizados para. *AFINIDAD LXXIV*, 577, 51-59.
- Carvajal, L. (s,f). *lizardo-carvajal.com*. Obtenido de lizardo-carvajal.com: <http://www.lizardo-carvajal.com/definicion-de-libro/>
- Cortes, J. D. (2017). *OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE FRITURA*. Bogota : Proyecto de grado .
- Dinis Vicente Pardal, A. C. (2012). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales:. *Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales*:. Bajadoz.
- Diniz, A. (2012). *Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10662/326>
- Equipos y laboratorio. (s.f).
https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=12981.

- FAMAF (Facultad Matemática, Astronómica y Física). (2018). <http://www.famaf.unc.edu.ar/>.
Obtenido de <http://www.famaf.unc.edu.ar/>:
<http://www.famaf.unc.edu.ar/~anoardo/Multimetro.pdf>
- G.Castellar, E. (2014). "Transesterification vegetable. Vol 12, N° 2, 90-104, 2014.
- G.Castellar, E. B. (2014). Transesterification vegetable oils using heterogeneous catalysts. *Prospect*, 90-104.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. *Metodología de la investigación*. Distrito Federal, México: Mc Graw Hill Education.
- Keith Addison. (s.f). *Journey to Forever*. Obtenido de <http://journeytoforever.org/>
- L. López, J. B., & Malagón-Romero, D. (2015). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado. *Ing. Univ., vol. 19, no. 1*, 155-172.
- Las Valdesas . (2019). *Aceite De Las Valdesas* . Obtenido de Aceite De Las Valdesas :
<https://www.aceitedelasvaldesas.com/faq/varios/densidad-del-aceite/>
- Palmay, E. (2009). diseño y construcción de un reactor batch para la obtención por transesterificación de biodiesel a partir de aceite de cocina reciclado. RIOBAMBA: TESIS DE GRADO.
- Pereira, E. A. (2014). *Diseño del proceso de producción*. Bogotá : investigación de grado .
- Pineda, E. B., De Alvarado, E. L., & De Canales, F. (1994). *Metodología de Investigación: Manual para el desarrollo de personal de salud*. Washington DC.
- Rodríguez, R., & Uribe, M. (s.f). Obtención de metanol. *Obtención de metanol*. Argentina: Editorial Universitaria de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL .
- Salinas Callejas, E., & Gasca Quezada, v. (2009). Los biocombustibles. D.F : el cotidiano.
- Vicente, A. P. (2012). *Nuevos métodos de síntesis*. Madrid .