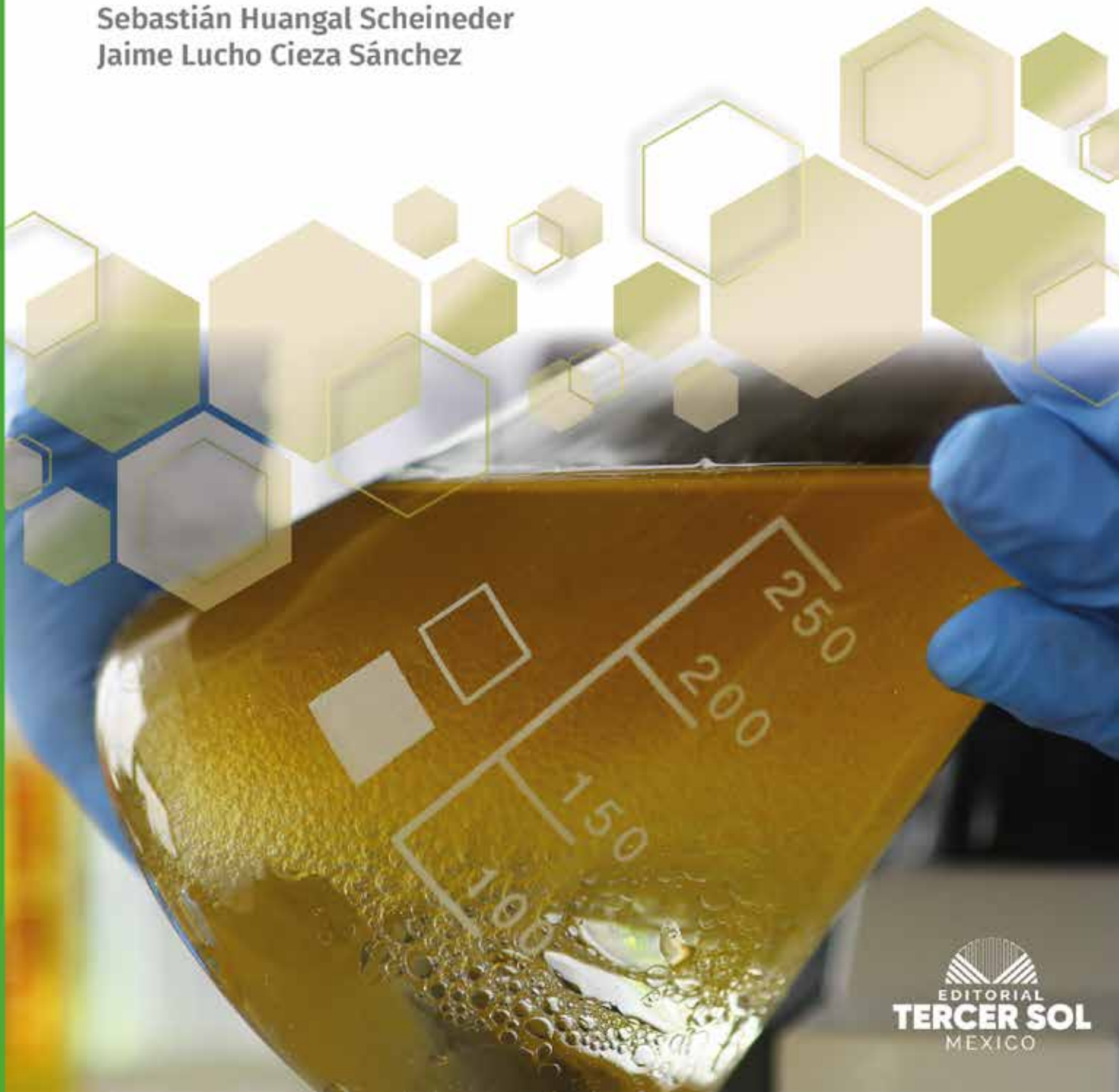
Voltajes y Distancias Entre Electrodos y su Impacto en la Variación del Tiempo de Separación de la Glicerina del Biodiesel por Coagulación Electrostática

Sebastián Huangal Scheineder
Jaime Lucho Cieza Sánchez



EDITORIAL
TERCER SOL
MEXICO

VOLTAJES Y DISTANCIAS ENTRE ELECTRODOS Y SU IMPACTO EN LA VARIACIÓN DEL TIEMPO DE SEPARACIÓN DE LA GLICERINA DEL BIODIESEL POR COAGULACIÓN ELECTROSTÁTICA

SEBASTIÁN HUANGAL SCHEINEDER

JAIME LUCHO CIEZA SÁNCHEZ

Sebastián Huangal Scheineder

Correo de contacto: sebashsche@gmail.com

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4864-1857

Perfil: Ingeniero Química con estudios de maestría en Administración de Negocios y en Ingeniería Ambiental, Doctor en Ciencias Ambientales en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo con una pasantía internacional en la Universidad Pública de Navarra. Actualmente, se desempeña como profesor principal adscrito al departamento de química de la facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque.

Afiliación: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Perú

Jaime Lucho Cieza Sánchez

Correo de contacto: jcieza@gmail.com

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9519-3604

Perfil: Ingeniero químico de la Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo", trabajó en la empresa NESTLE, fue docente contratado en la UNPRG y, posteriormente, nombrado en la misma donde labora hasta la actualidad en el cargo de docente principal a dedicación exclusiva.

Afiliación: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Perú

Todas nuestras publicaciones son sometidas a revisión doble-ciego de pares académicos (*Peer Review Double Blinded*).

Esta publicación cuenta con licencia Creative Commons Reconocimiento - NoComercial - SinObraDerivada 3.0 Unported License.



ISBN 978-607-59446-8-5

© Sebastián Huangal Scheineder

© Jaime Lucho Cieza Sánchez

© Editorial Tercer Sol

www.editorialtercersol.com

Este libro es resultado de la investigación *Separación electrostática de una emulsión de glicerina en biodiesel con aplicación de diferentes voltajes y distancias entre electrodos*, realizada en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Queda prohibida la reproducción bajo cualquier modalidad de toda o una parte de esta obra sin autorización expresa del titular de los derechos

Diseño de carátula y composición: Freddy Raúl Calienes Quelopana

Edición electrónica: Editorial Tercer Sol

Editado en México

Published in Mexico

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS 8
ÍNDICE DE FIGURAS 9
INTRODUCCIÓN 11

CAPÍTULO I
CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE EL BIODIESEL 13

1.1. Definición y clasificación de los biocombustibles 14
1.2. ¿Qué es el biodiésel? 15
1.2.1. Tipos de biodiesel 19
1.1.1. Tipos de biodiésel según su origen 21
1.2.1. Producción de biodiésel a partir de plantas 23
1.2.2. Producción de biodiésel a partir de animales 25
1.3. Proceso de producción del biodiesel 26
1.4. Objetivos en base a la producción de biodiesel 31
1.5. Uso de biodiesel en el mundo 33
1.6. Tratamiento de biodiesel 34
1.7. Emisiones nocivas del biodiesel 34
1.8. Emulsiones 36
1.8.1. Clases de emulsiones 37

CAPÍTULO II
GNOSEOLOGÍA DEL VOLTAJE Y LA CORRIENTE ELÉCTRICA 39

2.1. Voltaje 40
2.1.1. Tipos de voltaje 45
2.2. Teorías básicas de los elementos del circuito 46
2.2.1. Ley de Ohm 47
2.2.2. Leyes Kirchhoff 47
2.3. Electrodos y voltaje 50
2.4. Uso del voltaje transportado por la corriente eléctrica y su relación con el medio ambiente ... 51

CAPÍTULO III
ELECTROSTÁTICA: ESTUDIO Y PROPIEDADES 55

3.1. Electrostática 56
3.1.1. Origen 56
3.1.2. Definición 58
3.1.3. Medida de la fuerza electrostática 59
3.1.4. Algunas aplicaciones de la electrostática 60
3.2. Separación electrostática 61
3.2.1. Separadores electroestáticos 62
3.2.2. Separación electrostática de fases 64

3.3. Electrocoalescencia 65
3.3.1. Dinámica de electrocoalescencia 66
3.3.2. Condiciones críticas para la electrocoalescencia 68
3.3.3. Coalescencia parcial 69

CAPÍTULO IV
ALIANZAS ESTRATÉGICAS EN UN MERCADO GLOBALIZADO: EL CASO DE UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE ALMACENAMIENTO DE DOCUMENTOS 71

CAPÍTULO V
CONSIDERACIONES FINALES: TRASCENDENCIA DE LA ALIANZA ESTRATÉGICA Y LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LAS EMPRESAS DE ALMACENAMIENTO DE DOCUMENTOS 87

REFERENCIAS 93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los biocombustibles 15
Tabla 2. Comparativa de leyes 50
Tabla 3. Distancia entre electrodos y voltaje aplicado 74
Tabla 4. Caracterización del biodiesel adquirido y comprobación del cumplimiento de normas ... 76
Tabla 5. Tiempo empleado (segundos) para la separación electrostática de glicerina emulsionada con biodiesel con diferentes voltajes y distancias entre electrodos 78
Tabla 6. Tiempo promedio de separación electrostática de emulsiones de glicerina en biodiesel empleando combinación de voltajes y distancias entre electrodos 79
Tabla 7. Análisis factorial de varianza del tiempo de separación electrostática aplicando diferentes voltajes y distancias entre electrodos 81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la reacción de transesterificación con el metanol 25
Figura 2. Esquema de reacción de transesterificación. Reactivos y productos 26
Figura 3. Esquema del proceso de separación y purificación/ el biodiesel y acondicionamiento de la glicerina 27
Figura 4. Producción mundial de biocombustible. Cifras en miles de millones de litros 29
Figura 5. Obtención de agua en el proceso de esterificación 30
Figura 6. Esquema de un polo inversor multinivel por un interruptor alimentado en voltaje 41
Figura 7. Corriente eléctrica: circulación de electrones 42
Figura 8. Triángulo Ley de Ohm 43
Figura 9. Ley de corrientes de Kirchhoff 48
Figura 10. Ley de voltajes Kirchhoff 49
Figura 11. Uso de paneles solares 52
Figura 12. Efecto individual del voltaje aplicado durante la separación electrostática de una emulsión de glicerina en biodiesel 83
Figura 13. Efecto individual de la distancia entre electrodos durante la separación electrostática de una emulsión de glicerina en biodiesel 84

INTRODUCCIÓN

Como se sabe, los biocombustibles forman parte de los recursos ambientales que obtiene todo territorio al ser independiente soberano y autónomo. Estos recursos a lo largo del tiempo han sido utilizados en base a normas y leyes, ya que la economía de un país, por lo general, dependen de ellos al ser recursos altamente demandados; y es por eso que, al haber un alto índice de aprovechamiento se han establecido leyes para su protección.

En el Perú, se han dado muchas leyes y normas en base a la protección del ambiente, como, por ejemplo, en los artículos 66 y 67 de la Ley General del Ambiente (28611), en donde se implanta el respaldo tanto de la preservación, utilización y concesión, ya que conforman los recursos tanto renovables como no renovable parte del patrimonio nacional; en donde el Estado ha sido señalado como el ente soberano de su aprovechamiento. Además, en el artículo 67, se tipifica que el Estado, como ente principal, determina la política nacional del ambiente de la misma manera que promueve el uso sostenible de los recursos naturales (Ministerio del Ambiente, 2005).

Ahora bien, dadas las leyes de promulgación de protección de estos recursos, se ha visto la necesidad de obtener nuevas fuentes de energía para que de esta manera se cumpla con las normas, que se establecen sobretodo en base a los recursos energéticos porque son las fuentes principales que por muchos años han emitido gran cantidad de CO2 al ambiente.

Cabe resaltar que, conforme han ido avanzando las industrias energéticas, también han ido avanzando fuentes alternativas para que de esta manera se cumpla con las limitaciones que promulga cada Estado y de esta manera se protejan los recursos naturales.

Una de las razones del porque se ha hecho énfasis a la fuente energética del biodiesel es debido que cumple con las normas establecidas por parte del gobierno, además de contener múltiples ventajas para la economía como para el ambiente.

En cuanto al mercado de combustibles, el mercado de biocombustibles en el Perú se desarrolló con la promulgación de la Ley N.º 28054, la cual, corresponde a la Promoción del mercado de Biocombustibles; en el año 2003, con el objetivo de poder diversificar las fuentes de energía, es así que, la Ley Orgánica de Hidrocarburos (ley 28054), también busca promover el desarrollo del mercado de los biocombustibles sobre el fundamento de la libre competencia ideas del libre acceso a actividad económica.

A lo largo del tiempo se ha venido desarrollando reglamentos, hoy en día, por ejemplo, se ha aprobado el reglamento para la comercialización de biocombustibles mediante el D.S. 021-2007-EM, el cual establece los requisitos para la debida comercialización y distribución del biocombustible, así como en consecuencia de la promulgación de normas técnicas de calidad de los biocombustibles (Vásquez *et al.* 2016).

Ahora bien, en términos de obtención de combustibles alternativos que no dañen el ambiente, se cuenta en la actualidad de muchas fuentes. La obtención de esta fuente energética pasa por muchos métodos y procesos. Estos procesos han resultado ser caros como es el caso de los sistemas de separación del biodiesel de la glicerina por el método de la centrifuga, mientras que otros, no, y ello corresponde a métodos tradicionales empleados.

Para llevar a cabo el proceso de separación del biodiesel con la glicerina se han reportado muchos estudios, como es el caso de la derivación indirecta de mediciones en donde se aplicaba un voltaje constante en adición de la potencia del sistema, pero no ha existido un buen resultado ya que no ha habido algún beneficio al ser incrementado el voltaje. (Huangal *et al*., 2019).

I

CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE EL BIODIESEL

El creciente interés para encontrar fuentes de energía que son alternativas ha sido principalmente por dos motivos: 1) no contaminar el ambiente, 2) posibilidad que se genere una crisis energética a causa de la elevada demanda de combustibles fósiles como la escasez de las reservas de petróleo.

El consumo de fuentes de energía limpias cumple un papel eco-ambiental, ya que evitan que existan muchos derrames de petróleo, ayuda a que no se emitan en grandes cantidades de CO2, etc. En este aspecto los biocombustibles representan una pieza clave para poder contrarrestar las malas prácticas que se han venido dando en contra de la naturaleza, es por ello que, los biocombustibles han ganado mayor terreno en los últimos años.

El área o sector de los biocombustibles se ha convertido en uno de los motores de la economía para distintos países, gracias a que se ha podido generar muchos empleos de trabajo, tanto en el sector agrícola, industrial como el de servicios, y es por eso que, muchos países hoy en día tratan de utilizar esta fuente alternativa como parte de su mismo crecimiento.

Uno de los países que hace más de una década ha venido fomentando a nivel de su gobierno ha sido Colombia, en donde se establece un desarrollo del sector biodiesel por medio de normas, incentivos tributarios y financieros. Es importante señalar que, después

de establecer un marco normativo, en el año 2008, empezaron a funcionar las plantas generadoras de energías limpias.

Por otro lado, las organizaciones que no han formado parte del gobierno colombiano, de igual manera, han avanzado con estudios para establecer potencialidades de diferentes sectores, por lo que se han considerado de manera particular su encadenamiento con el sector palma, aceites y grasas de origen vegetal. (Lombana *et. al.*, 2015)

1.1. Definición y clasificación de los biocombustibles

Los biocombustibles han sido considerados combustibles que se han generado a partir de la biomasa, específicamente del biodiésel: materia orgánica generada en un proceso biológico. Estos, pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos, siendo los dos últimos los que han brindado mayores beneficios ambientales (Lombana *et. al.*, 2015).

Los biocombustibles se han distinguido de tres categorías, en el caso de biocombustibles líquidos, por ejemplo, están: el biodiésel, los bioalcoholes y el biocrudo, y aceites biosintéticos. En líneas posteriores se van a explicar que es el biodiésel, de manera específica. También existen otras clasificaciones de los biocombustibles en función de su materia prima y el tipo de tecnología que se emplea para su producción. Es así que, se distinguen biocombustibles de primera, segunda, tercera y cuarta generación. Cabe resaltar que, no ha habido un consenso sobre las materias primas que se usan en cada una de las clasificaciones expuestas.

A continuación, se muestra la tabla de clasificaciones de los biocombustibles según su origen:

Tabla 1

Clasificación de los biocombustibles

CATEGORÍA	MATERIAS PRIMA	PROCESO TECNOLÓGICO	EJEMPLOS DE BIOCOMBUSTIBLES	AUTORES
		Primera generación		
Primera corriente de pensamiento	Aceites obtenidos a partir de semillas oleaginosas tales como la colza, palma, soja, girasol, entre otros. Estas son las primeras materias primas que se emplean en la producción de biocombustibles y las de mayor uso a nivel mundial.	Esterificación y transesterificación de aceites y fermentación de azúcares	Biodiésel, bioetanol, biobutanol	Vries *et al.*, 2010; Ahmad *et al.*, 2011
Segunda corriente de pensamiento	Cultivos agrícolas y/o oleaginosas como caña de azúcar, aceite de palma de soja, de ricino, de semillas de algodón, de coco, de maní, entre otros). Grasas animales, aceites usados previamente en la preparación de alimentos y desperdicios sólidos orgánicos.	Esterificación y transesterificación de aceites y fermentación de azúcares	Biodiésel, bioetanol, biobutanol	Álvarez, 2009; Demirbas, 2011

		Segunda generación		
Primera corriente de pensamiento	Aceites y grasas no aptas para el consumo humano, que no generan controversia con la seguridad alimentaria: aceite de jatropha, de semillas de tabaco, de jojoba, de higuerilla, el aceite de cocina usado, el sebo de res y la manteca de cerdo.	Pretratamiento físico, químico y biológico de la materia prima, proceso petroquímico fermentación.	Biodiésel, bioetanol, biobutanol	Ahmad *et al.*, 2011
Segunda corriente de pensamiento	Lignocelulosa-biomasa vegetal: hojas y ramas secas de árboles, tallos residuos de madera, entre otros.	Pretratamiento físico, químico y biológico de la materia prima, proceso petroquímico fermentación.	Biodiésel, bioetanol, biobutanol	Naik *et al.*, 2010; Demirbas, 2009
		Tercera generación		
	Microalgas	Cultivo de algas, cosecha y extracción del aceite, transesterificación, o fermentación o proceso termoquímico.	Biodiésel, bioetanol, biobutanol, gas de síntesis, biohidrógeno, metano	Álvarez, 2009; Demirbas, 2011
		Cuarta generación		
	Bacterias modificadas genéticamente que emplean dióxido de carbono para la producción de biocombustibles	Ingeniería metabólica de algas con aumento de la capacidad de atrapamiento de carbono, cultivo cosecha, fermentación o extracción del aceite, transesterificación, o proceso termoquímico.	Biodiésel, bioetanol, biobutanol, gas de síntesis, biohidrógeno, metano.	Álvarez, 2009

Nota. tomado de Lombana *et al.*, 2015

1.2. ¿Qué es el biodiésel?

El biodiésel es "el combustible obtenido de fuentes renovables, compuesto por esteres metílicos o etílicos de ácidos grasos, su obtención es a partir de aceites metílicos de ácidos vegetales y/o grasas animales" (Alva y Cipra, 2015, p. 4). Otros autores, señalan sobre el mismo punto que el biodiésel es "un biocombustible hecho principalmente de soya, canola, aceites vegetales y grasas animales, así como por girasol o piñón blanco (jatropha). Otros insumos utilizados para la elaboración de dicho combustible son la palma aceitera, higuerilla, aceites usados. (Vásquez *et al.*, 2016, p.7).

El proceso de obtención consta de cinco etapas, de las cuales la más relevante es el proceso de transesterificación, debido a que en esta etapa ocurre la separación del glicerol con el biodiesel (Vásquez *et al.*, 2016). La transesterificación o, también llamada, alcóholisis es la reacción de un aceite o grasa con un alcohol frente a un catalizador para que se generen esteres y glicerol. Dado que es una reacción reversible que no se desarrolla de manera natural es importante usar catalizadores para agilizar la reacción (IQR, Ingeniería Química, 2020).

1.2.1. Tipos de biodiesel

Puede tener diversos tipos de fuentes. Se han presentado las mismas características frente a todos los tipos de biodiésel debido a que la forma de conseguirlo es la misma para todos los tipos.

A lo largo de los años y con algunos estudios de investigación se han presentado tres tipos de biodiésel. Estos dependen de si es que las fuentes han procedido de aceites vegetales, aceites de grasa de animal o de la reutilización del aceite doméstico (Tipos de biodiésel en el mercado, 2020).

1.1.1. Tipos de biodiésel según su origen

a. Biodiésel de aceites vegetales

Las materias primas del biodiésel que ha procedido de los aceites vegetales han solido ser plantas oleaginosas: aquellos vegetales de los que se ha podido obtener aceite de sus semillas. Algunos ejemplos de estas plantas han sido: girasol, colza, palma, soja, maíz, algas. Esta procedencia es considerada una de las principales fuentes del biodiésel debido a que se han encontrado cultivos específicos para la producción de vegetales que han sido destinados a la elaboración del biodiésel.

b. Biodiésel de grasas animales

Otro componente principal y sobre todo natural es el compuesto por las grasas de los animales ricas en omega 3. Los animales, por los cuales se suelen extraer los lípidos, habitualmente, han sido tres: cerdo, la gallina y pescados.

c. Biodiésel de aceites usados

Una de las alternativas que han sido más baratas para la industria y e donde más se ha promovido la reutilización y el reciclaje ha sido el uso de aceites usados en la producción de biodiésel. En este caso se trata del aceite de cocina. (tipos de biodiesel en el mercado, 2020)

1.2. Producción de biodiésel

1.2.1. Producción de biodiésel a partir de plantas

Según Castillo, *et al.*, en Producción de biodiésel a partir de microalgas: avances y perspectivas biotecnológicas (2017), la búsqueda de combustible ha sido más alto a causa de los factores económicos y medioambientales que han suscitado en estos últimos años. La nueva problemática que ha acontecido en torno a la escasez de combustibles fósiles ha generado cierta preocupación, es por eso que, se ha recurrido a una mayor utilización de energías renovables: los biocombustibles.

Ahora bien, algunos estudios han demostrado que una fuente muy rica para la obtención de biocombustibles han sido la misma fuente de alimento de los hombres y animales, y es por ello que, se ha tenido que presentar normas de producción y comercialización de insumos así también como permisos para el correcto uso de estas fuentes, como lo son, por ejemplo: el aceite de soya y palma.

Como se sabe, el biodiésel ha presentado muchos beneficios en cuanto al cuidado del ambiente, debido a la mínima toxicidad, biodegradabilidad, además que, su combustión produce cantidades menores de sulfato: compuesto de dióxido de carbono monóxido de carbono, compuestos aromáticos, humo; hay más oxígeno libre, lo cual produce emisiones reducidas y una combustión completa.

Un estudio realizado en el 2006, por la Secretaria de Energía (SENER) de México se detalla que, la producción de biodiésel a escala comercial puede ser realizable a mediano plazo

solo si se ejecutan acciones integrales que comprendan situaciones técnicas, económicas y medioambientales con el sector agroindustrial y agrario.

Los procesos más utilizados para la producción del biodiésel han sido dos: la pirólisis y la transesterificación. La diferencia entre ambos procesos se fundamenta en que el primero no se ajusta cuestiones económicas, además de ofrecer rendimientos bajos mientras que, el segundo, sí.

Este proceso de conversión de aceites a biodiésel es importante porque los aceites vegetales o extraídos de microalgas contienen una alta viscosidad y baja volatilidad, lo que, a su vez, ocasiona una combustión incompleta y la disposición de depósitos de carbón.

Los estudios y procedimientos que se han ejecutado para la obtención de biodiésel a partir de microalgas han presentado un recorrido de más de 20 años de investigación. En las últimas fechas, esta situación ha retomado una gran importancia, específicamente en los sectores académicos y privados (Castillo *et al.*, 2017).

Hoy por hoy, muchos investigadores de todo el mundo han demostrado el potencial de varias especies de microalgas como: *Chlorella minutissima*, *Thalassiosira fluviatilis*, *Thalassiosira pseudonana*, etc. Como recurso natural para la obtención del biodiésel; no han resultado competitivos los costos de producción, en comparación con los obtenidos de recursos fósiles. (Dalmas y Guldhe, 2014 citado por Catillo *et al.*, 2017).

Las microalgas han sido consideradas como una de las opciones de ingenio para la generación de biodiésel debido a su alto contenido de lípidos y aceites (del 1 al 90%

lipídicas, dependiendo la especie y el modo que ha sido cultivada la especie), por otro lado, otro beneficio es, que ha presentado mayor biomasa, su huella ecológica es exigua en el análisis de ciclo vital y como último beneficio las microalgas pueden llegar a reducir la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI), además de consumir muchos otros contaminantes (Castillo, *et al.*, 2017).

1.2.2. Producción de biodiésel a partir de animales

Según Gómez en *Aprovechamiento de la grasa bovina del Camal Frigorífico Municipal Ambato para la obtención de biodiésel como combustible de origen animal* (2016), existen pocos estudios relacionados con el uso de las fuentes de grasa animal para la obtención del biodiésel y que, a pesar de tener mayor masa en grasas saturadas, lo que proporciona un mejor producto final para su utilización. Este desequilibrio se ha presentado debido a la composición de grasa animal, además, existe una gran cantidad de ácidos grasos de cadena larga con más de 8 átomos de carbono, así como el ácido esteárico que tiene una temperatura de fusión de fusión elevada a los 40°C.

Los residuos de grasa animal tienen la potencialidad de aumentar la temperatura de fusión del biodiésel, lo que ha resultado ser una desventaja en climas de baja temperatura. El método de fusión en seco ha sido uno de los procesos más usados en la extracción de grasa, ya que se han obtenido mediante rendimientos altos, asimismo, el producto final, no contiene humedad mientras que, el método de fusión húmeda trabajada con agua directa, sí. El método de fusión en seco es obtenido de grasa de menor viscosidad, es por ello que, resulta ser más fluida, la carga microbiana disminuye además que se coagulan y desnaturalizan las proteínas.

Una vez dada la extracción, resulta conveniente haber realizado un proceso de refinamiento para que, de esta manera, se obtenga una grasa de mejor calidad: una grasa de olor suave, color blanco y aspecto limpio. De esta manera, el producto es mejor recibido y aceptado, dado que el color y olor dependen de la materia prima que se utilice (Gómez, 2016).

1.3. Proceso de producción del biodiesel

Según Llanes *et. al*., en *Producción e impacto del biodiésel: una revisión* (2017): sea cual haya sido el origen de la materia prima: si es de grasa animal o vegetal, para obtener el biodiésel, es incompatible usarlo en motores de combustión dada su alta viscosidad, su baja volatilidad y por la característica de ser poliinsaturado que hace que se creen gomas. Los métodos que actualmente se ha empleado para reducir su viscosidad son: la mezcla de biodiésel con diversos combustibles fósiles, así como el diésel o nafta, la micro-emulsificación, la transesterificación y la pirolisis (Llanes *et al*., 2017).

Lombana *et. al* en *Analisis del sector de biodésel en Colombia y su cadena de suminitro* (2015), llama a estos cuatro procesos de la siguiente manera: el primer proceso ha sido el uso "directo y mezcla", el cual consiste en mezclar de manera directa el aceite vegetal con el combustible diésel en diferentes cantidades. El segundo vendría a tener la misma denominación que señala Llanes *et al.* ya que, se fundamenta en la preparación de microemulsiones que emplean metanol, etanol, y 1-butanol para que decrezca la alta viscosidad del aceite vegetal. El tercero, la pirolisis o descomposición térmica del aceite, es el proceso en donde luna sustancia cambia a otra con la presencia de calor más de un catalizador, y, por último, el cuarto es el proceso de la transesterificación o la alcoholisis

que se detalla en líneas posteriores. Este proceso es el más usado en todo el mundo debido a que, se han obtenido mejores resultados para la producción del biodiesel.

La producción del biodiésel en base al proceso de transesterificación puede dividir en tres grandes etapas:

La primera etapa dentro de estas tres grandes etapas, está relacionada con el abastecimiento de las materias primas que se requieren para el proceso de producción, estas mismas son de tres tipos:

a. Aceites vegetales (estos pueden ser comestibles o no) o rasas animales.

b. Alcohol, n donde se distingue el metano, etanol, propanol, y brutanol.

c. Un catalizador, los que han sido usados frecuentemente han sido los catalizadores alcalinos (bases) y los ácidos.

En la segunda etapa, la materia prima (grasa) es sometida a tratamientos de desgomado, refinación, filtrado, neutralización y secado. Unas de las funciones de estos procedimientos es obtener un aceite que posea las características requeridas para que el biodiésel obtenido se adecue con los parámetros de calidad que son exigidos y también "para disminuir el contenido de AGL, así como las impurezas que pueden causar taponamientos o averías en las maquinarias y equipos empleados para la producción del biodiesel" (Lombana, 2017, p. 10).

La tercera etapa se fundamenta en la elaboración del biodiesel mediante un proceso de transesterificación de los aceites y grasas en presencia de un alcohol: metanol por una catálisis básica.

Por su parte la transesterificación según Llanes *et al*., ha concordado que este proceso basado en grandes etapas es una reacción reversible continua de tres etapas, en donde los triaciglicéridos del aceite (animal o vegetal) reaccionan con exceso de un alcohol de cadena corta (un ejemplo sería el metanol). Esta reacción puede ser catalizada por un álcali, una base, enzimas. Puede no emplear algún catalizador, para que de esta manera se obtenga diglicéridos y monoglicéridos, como componentes intermediarios.

A continuación, se presentan las tres ecuaciones tomadas de Llanes *et al*. (2017) en donde se muestran las reacciones que han estado involucradas, así como el grafico de Lombana (2015) (figura 1) en donde se observa la reacción química de la transesterificación que se ha demostrado:

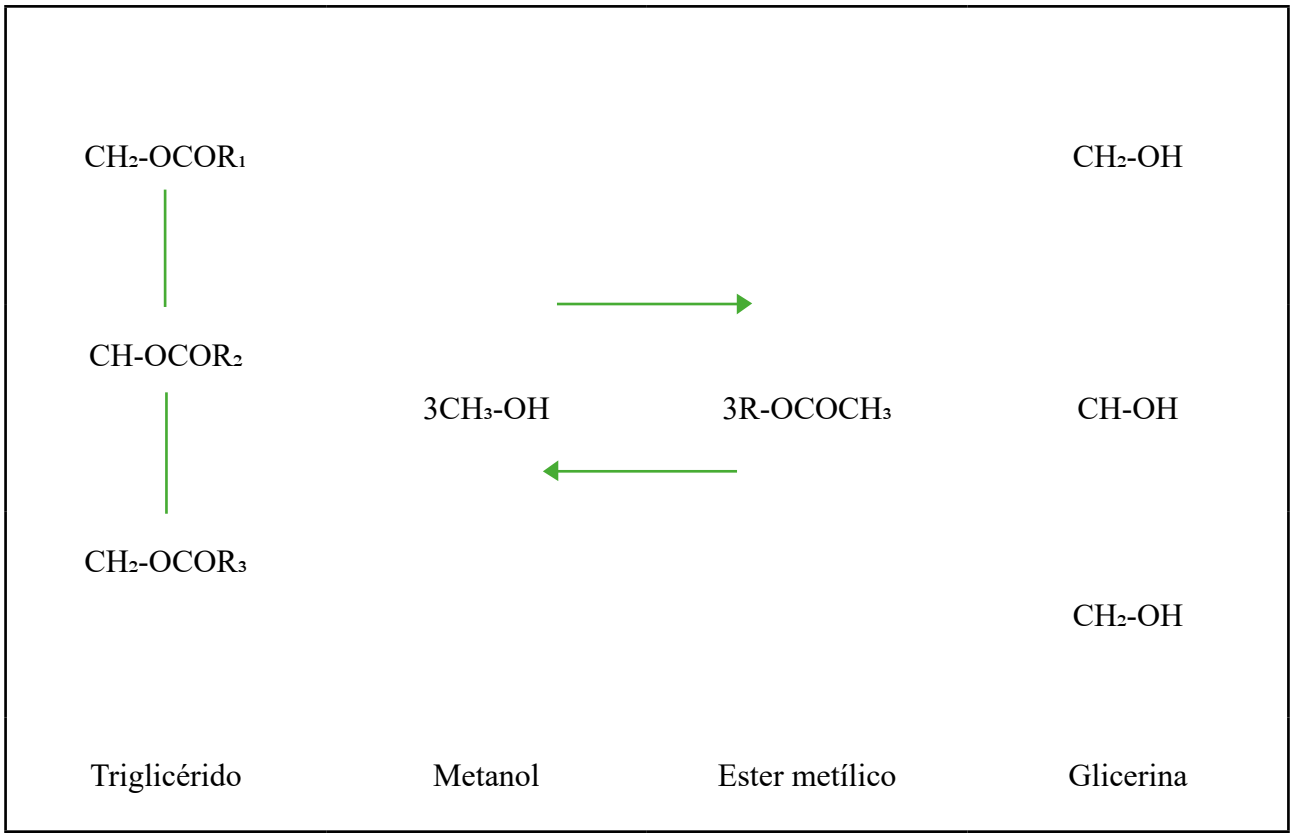
Triglicéridos (TG)+ROH↔Digliceridos (DG)+RCOOR_1(alquil éster) (1)

Diiglicéridos (DG)+ROH↔monoglicéridos (MG)+RCOOR_2 (alquil éster) (2)

Monoglicéridos (MG)+ROH↔Glicerina+RCOOR_3 (alquil éster) (3)

Figura 1

Esquema de la reacción de transesterificación con el metanol

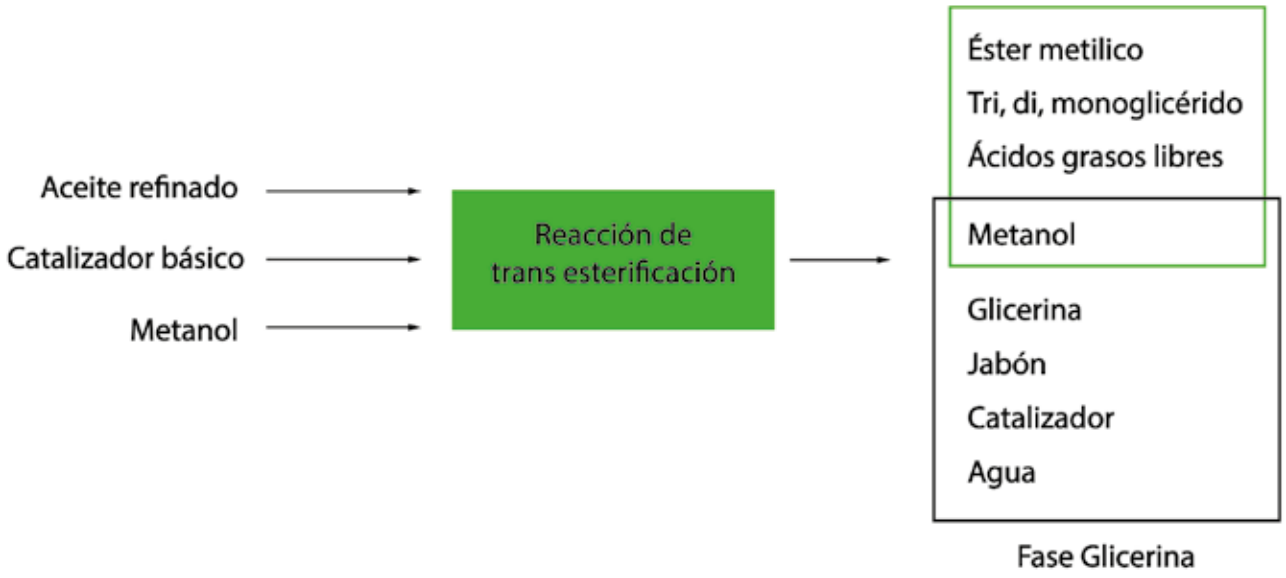


Nota. Tomado de Lombana *et al.*, 2015

Según Lombana *et al.*, 2015, es importante recalcar que, al ocurrir la reacción de transesterificación se han presentado diferentes reacciones secundarias por lo que ha originado productos indeseables que podrían dañar el producto final. Por ejemplo, la formación de jabones que es originada por la saponificación de los triglicéridos, presencia de agua deliberada debido a la neutralización en ácidos grasos libres de aceite. En la siguiente imagen, se muestra que al culminar el proceso de transesterificación, se puede encontrar en el reactor productos adicionales a los esteres metílicos. tri, di, y monoglicéridos que no han alcanzado a reaccionar tales como: el metanol, restos de catalizador, agua, jabón y glicerina.

Figura 2

Esquema de reacción de transesterificación. Reactivos y productos

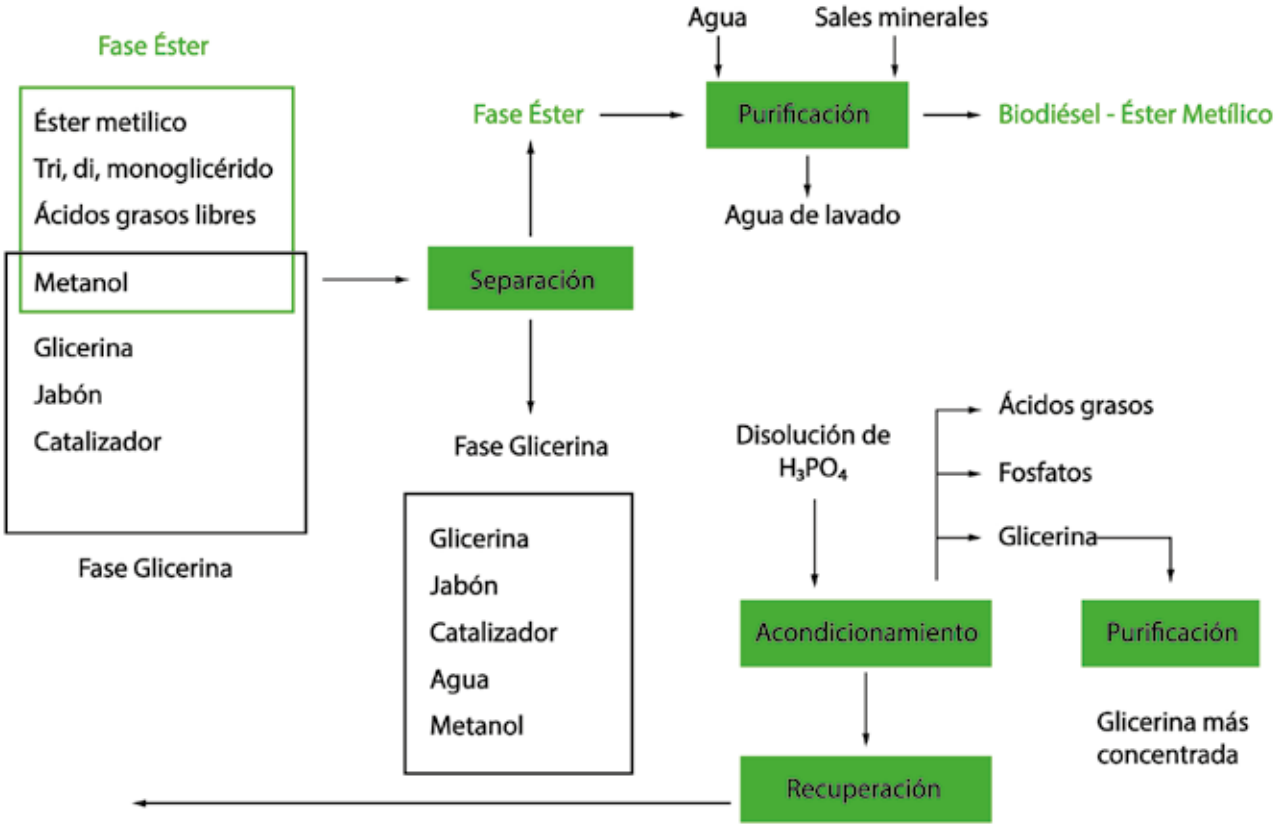


Nota. Tomado de Lombana *et al.*, 2015

Es imprescindible separar la fase éster de la glicerina y después realizar la purificación del biodiesel para que así, se obtenga un buen producto. Los esteres que han sido metílicos han tenido que ser sometidos a un proceso de lavado que emplea agua y ácidos minerales con el propósito de eliminar exceso de metanol, los triglicéridos no esterificados y los ácidos grasos libres y una vez finalizado este proceso se obtiene el biodiésel:

Figura 3

Esquema del proceso de separación y purificación/ el biodiesel y acondicionamiento de la glicerina



Nota. Tomado de Lombana *et al.*, 2015

El proceso de obtención del biodiésel en base a la transesterificación ha sido utilizada de manera industrial por mucho tiempo, ha presentado diversas desventajas que se encuentran asociadas a la remoción de catalizador, la recuperación de glicerina, altos niveles de energía, reacciones secundarias (primordialmente de saponificación) y alta inversión de agua; debido a esto los estudios de investigación, se han inmiscuido en la obtención de biodiesel a partir del empleo de las lipasas como catalizadores, para que de esta manera se pueda remediar algunas desventajas.

Ahora bien, las reacciones de transesterificación han podido llevarse a cabo sin la necesidad del empleo de algún catalizador o con catalizadores heterogéneos o homogéneos. La síntesis de biodiesel no catalítica, ha requerido de temperaturas elevadas a los 350 °C, medidas muy altas y riesgosas ya que los esteres se degradan como bien es sabido a los 400 °C. (Xiao, *et al.*, 2009 citado por Llanes *et al.*, 2017). La catálisis homogénea de la transesterificación, por ejemplo, es un método fácil de separación compleja del producto, debido a que se logra obtener una mezcla que requiere de enormes cantidades de agua de lavado: alto costo de inversión.

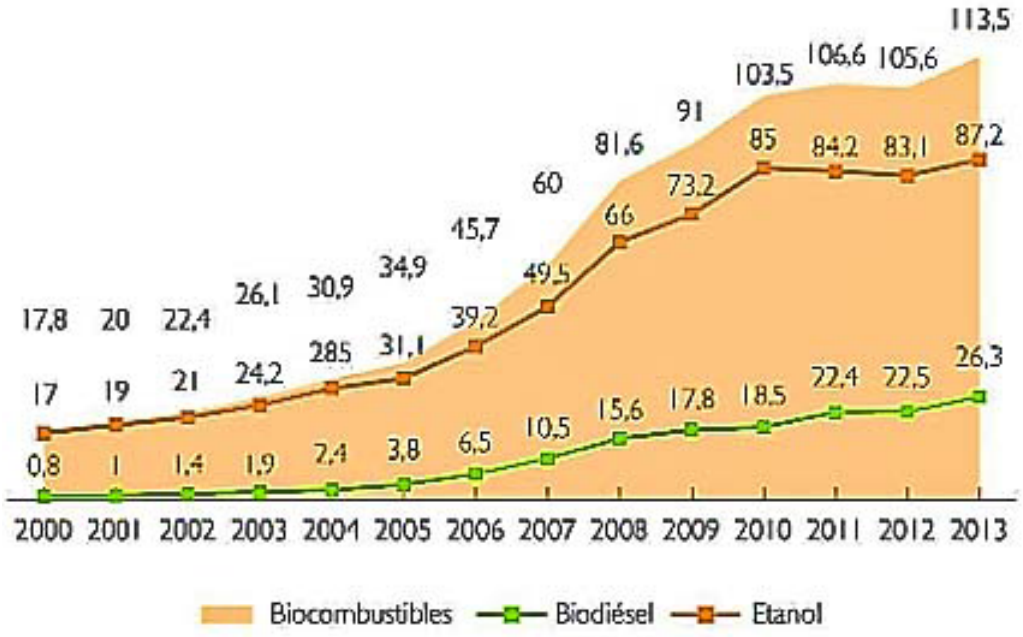
La catálisis heterogénea de la reacción de transesterificación de aceites de cocina utilizados, por su lado, ha resultado ser más accesible: económica y menos compleja. Después de la reacción, el catalizador se ubica en una fase que es diferente a la de los reactantes y productos que no han sido consumidos debido a que su separación ha sido simple y se ha reducido en gran manera la formación de jabones.

Uno de los mejores catalizadores heterogéneos ha sido el óxido de calcio (CaO) dado que, gracias a su alta basicidad, baja solubilidad, bajo costo y fácil manejo (Llanes, 2017).

La siguiente imagen muestra la producción que ha generado los biocombustibles en los últimos años. Es el biodiesel el que ha presentado un gran crecimiento, ya que como se puede ver, durante los años 2000-2013, el crecimiento de la industria oscilaba fue de un 17%, y la del biodiesel fue del 34% y el del 15% con respecto al etanol.

Figura 4

Producción mundial de biocombustible. Cifras en miles de millones de litros

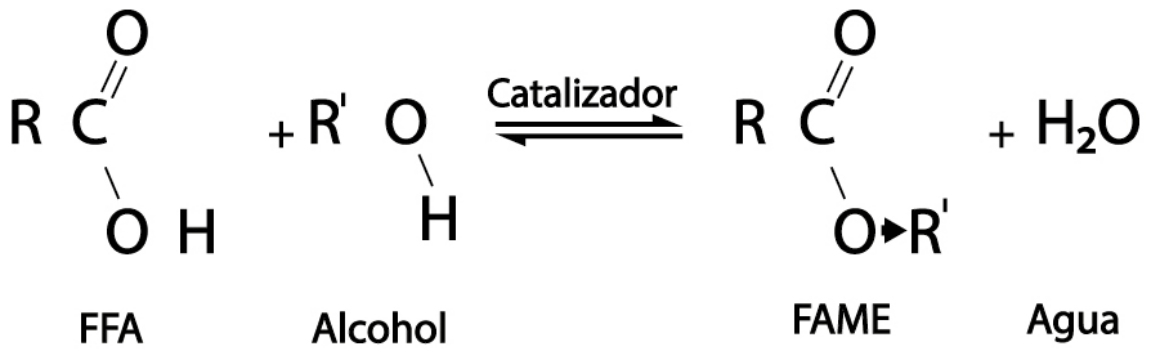


Nota. Tomado de Lombana *et al.*, 2015

Ahora bien, una de las formas de obtener el biodiésel menos común, pero también más usada es la esterificación. Es muy usada ya que cuando el aceite tiene una ata cantidad de ácidos grasos libres: aceite de cocina. en esta situación no se parte de los triglicéridos del aceite, sino de sus ácidos grasos libres dado que se convierten en metil **é**ster de ácido graso por medio de la catálisis acida a través de un mecanismo de reacción similar al de la transesterificación (Drapcho, *et. al.*, 2008). La diferencia radica que en este proceso se llega a obtener agua en vez de glicerol, como así lo explica la siguiente imagen:

Figura 5

Obtención de agua en el proceso de esterificación



Nota. Tomado de Andrade *et. al.* (2017)

1.4. Objetivos en base a la producción de biodiesel

Actualmente, se sabe que los países han estado trabajando por la obtención de combustibles limpios, ya que permiten el paso a una mejor economía, una adecuada seguridad energética, gestión de remediación de daños ambientales a causa del uso prolongado de fuentes de combustibles fósiles. Es así que se ha empezado a ver a los biocombustibles como una pieza clave, sobre todo por el impacto ambiental que genera, ya que han conformado un mecanismo que ha ayudado a reducir emisiones de CO2 como de otros gases de efecto invernadero. Este proceso de obtención de biocombustibles ha resultado ser muy ético debido a que se genera la dirección de una producción agrícola, fuentes de empleo: de manera indirecta decrece la pobreza del sector que se encuentre cercano a los cultivos.

El desarrollo de los biocombustibles a partir de los cultivos de maíz, palma aceitera, caña de azúcar, etc., en materia de sustentabilidad, ha tenido un gran crecimiento particularmente en la Unión Europea, Australia, EEUU, Brasil y Argentina.

En Brasil, por ejemplo, la producción de biocombustibles, como el bioetanol tiene más de treinta años, en el proceso de producción. En la actualidad, esta industria del etanol que es obtenido a partir de caña de azúcar, producido mayormente en Brasil, ha sido mucho más eficiente en comparación a la industria de los EEUUU basada en insumos de maíz, a tal punto que, hoy en día no han existido combustibles derivados del petróleo en las estaciones de servicio (BuDny y Sotero, 2007 citado por Llanes *et. al.*, 2017).

Según las fuentes de la Organización Latinoamericana de Energía, OLADE; en el 2010, Ecuador inició con una prueba piloto para la producción de gasolina mezclada al 5 % con etanol –obtenido de la palma aceitera y de la caña de azúcar–; dicho proyecto se denominó Ecopaís. Actualmente, se cuenta con la presencia de 43 estaciones de servicio en Guayaquil, en donde se ha suministrado esta mezcla de combustible. En el año 2013, el Gobierno gestionó otro plan para la fuente de energía del parque automotor ecuatoriano que es el diésel de origen fósil, se mezclará en un 5 % con biodiésel, y que esta proporción se incrementará hasta alcanzar el 10 %, atendiendo a que la producción de biodiésel estimula la producción agrícola y genera beneficios ambientales. El biodiésel puede mezclarse con el diésel de origen fósil, y dependiendo de las concentraciones de mezclado, puede usarse en el parque automotor sin requerir modificaciones en los motores (Paredes, 2015, citado por Llanes *et. al.*, 2017).

1.5. Uso de biodiesel en el mundo

Como se ha mencionado anteriormente, Montesinos señala lo siguiente:

> El biodiésel se puede mezclar directamente con el diésel, por lo tanto, todos los vehículos diésel pueden usar este combustible sin hacer ninguna modificación del motor. En el caso de usarse puro, aquellos vehículos de más de 10 años deberán cambiar los manquitos de caucho que lleva el combustible desde el depósito al motor, por unos de plástico para evitar que el biodiésel los degrade. (Montesinos et.al., (s.f.).

De lo expuesto, cabe resaltar que, al usarse el diésel como parte de un combustible alternativo, se ha tenido que tener en cuenta, como lo expone el autor, la modificación de algunas piezas o herramientas, en cuanto a los vehículos que pasan los 10 años a más para que no haya ninguna degradación del material, debido a que su composición es diferente: forma parte de la biomasa.

Por otro lado, otro componente que parte a partir del biodiésel ha sido la glicerina, que tiene en promedio 1500 usos finales conocidos las aplicaciones de mayor masa en donde se incluyen muchas de categorías diferentes que parten desde los alimentos hasta jabones diuretanos. Su consumo anual mundial sobrepasa los 1.1 y1.2 billones de libras y se espera que aumente conforme la industrialización progrese en los países menos desarrollados (Warren Litsky, 1990, citado por López, 2017).

Según Montesinos *et.al.*, (s.f.), los subproductos que se obtiene del biodiésel a parte de la glicerina, son el agua y demás residuos que se pueden utilizar como fertilizantes. Por otro lado, sin importar el alcohol y el aceite vegetal que se utilizan en la transesterificación, el biodiesel es biodegradable, no es tóxico, es libre de azufre como también de compuestos aromático.

1.6. Tratamiento de biodiesel

En un estudio se ha evaluado que, por 100 L de biodiesel producido, se generan más de 20 L de agua que son residuales y que en la actualidad han sido muchos métodos para lograr los tratamientos mecánicos, químicos, y térmicos de las mezclas que se tornan acuosas. Con todo esto, aparecen ciertas desventajas como: la baja eficiencia de eliminación de contaminantes, las dificultades de funcionamiento y el alto costo operativo (Firman *et al.*, 2018).

Han sido pocos los autores que han hecho una investigación acerca del tratamiento de efluentes que contienen biodiésel y utilizando tecnologías separativas de membranas se pudo comparar el comportamiento de membradas de MF-UF (microfiltración y ultrafiltración). Este proceso posee varias características únicas, como: condiciones operacionales moderadas y elevadas retenciones.

Son varios los procesos de separación por membrana que han sido impulsadas como presión: está la microfiltración (MF) (0,5-3 bar), ultrafiltración (UF) (1-10 bar), nanofiltración (NF) (5-30 bar), ósmosis inversa (RO) (10-50 bar). (Firman *et al.*, 2018, párrafo 8), pero diferentes estudios han llegado a la conclusión que, la (MF-UF) han sido procesos eficientes para el procesamiento de emulsiones oleosas que han provenido de la industria metal mecánica. (Firman *et al.*, 2018).

A continuación, se presenta algunas características de los métodos de separación de la glicerina propuestos, en este caso, por Huangal, *et al.*, en Separación Electrostática de una Emulsión de Glicerina en Biodiésel con Aplicación de Varios Voltajes y Distancias entre Electrodos (2019):

a. Método de separación de la glicerina por gravedad

La separación de la glicerina del biodiésel ha conformado un de las etapas finales en este proceso con el objetivo de conseguir un biodiesel de calidad. Uno de los métodos tradicionales ha sido la separación de la glicerina por gravedad o por centrifugación, siendo este último costoso. Por su parte, la separación por gravedad requiere de tiempo para que se pueda separar la emulsión.

b. Método de separación con centrífuga

Los procesos de separación de la glicerina del biodiésel por el método de centrifuga son costosos como se había mencionado anteriormente, debido a que el consumo de energía es muy elevado. En algunas ocasiones, esta operación transfiere parte de la fase de biodiésel a la fase de glicerina por lo que se obtiene una emulsión.

c. Método de separación con corriente electrostática

La separación en términos de una adecuada ejecución por parte de una corriente electrostática ha sido uno de los procedimientos que se aplica en las emulsiones agua-amoniaco, agua-aceite. (Mhatre *et al.*, 2015 citado por Huangal *et al.*, 2019), pero este método de separación es el que menos información se tiene para la purificación de biodiesel.

De lo expuesto anteriormente, el concepto clave es que, al introducir un gran voltaje a la mezcla, el líquido con un porcentaje mayor de conductividad desciende en el fondo del recipiente y el líquido con un porcentaje menor de conductividad se ubica a la parte superior. (Huangal *et al.*, 2019).

1.7. Emisiones nocivas del biodiesel

El biodiésel reduce significativamente las emisiones de partículas sólidas menores a 10 micrones (PM10), óxidos de azufre (SOx), monóxidos de carbono (CO) y demás agentes peligrosos. En un estudio realizado por la Environmental Protection Agency, se señaló que las emisiones vehiculares de material particulado bajaban a 47% cundo se utilizaba el biodiesel, y las de monóxido de carbono en un 48% (Sheehan *et. al.*, 1998, citado por Llanes *et. al.*, 2017). Por otro lado, estudios de la National Renewable Energy Laboratory (EEUU), señalaron que las emisiones de material particulado dependen del contenido de oxígeno de combustible (Graboski eta., 2003 citado por Llanes *et. al.*, 2017).

Otro estudio de la EPA (Environmental Protection Agency) señaló que, las emisiones de HC (hidrocarburos) en la etapa de producción decrecen en un 67%. Cabe señalar que las emisiones de biodiésel cuentan con bajos niveles de hibrocarburos policlíclicos, ya que el biodiesel no contiene compuestos aromáticos como se señaló en apartados anteriores.

Ahora bien, la concentración de biodiésel para que resulte ser letales en base la ingestión oral que podrían consumir los peces o animales mamíferos al presentarse concentraciones elevadas de esta biomasa. Es así que, para que una persona tenga efectos mortales, tendría que tomar alrededor de 1.6 L de biodiesel y pesar en promedio 80 kg en cuanto a su nivel

de toxicidad acuática, según el National Institute for Occupational Safety and Health (EE. UU), se requieren concentraciones mayores a 1000mg/L, para que se considere letal. (Llanes *et al.*, 2017).

1.8. Emulsiones

La emulsión es definida como una mezcla interna entre dos fases líquidas como los son, por ejemplo, el agua y el aceite donde los líquidos son recíprocamente insolubles y donde cualquiera de las fases se podría encontrar dispersada dentro la otra (Huangal *et al.*, 2019). Asimismo, para Sanz (2017) las emulsiones son sistemas inestables, debido a que para su formación se requiere de energía (en forma de calor, agitación, etc.) y tienden a gastarla de manera espontánea.

Por su parte, Bautista y Álvarez (2019) indicaron que una emulsión son dos líquidos inmiscibles, es decir que no se mezclan entres sí, donde uno de ellos se dispersa en el otro en forma de pequeñas gotas que, comúnmente, ocurre con aceite y agua. A su vez, estas se clasifican según cómo se encuentra distribuida la proporción de la fase oleosa y la acuosa.

En adición a lo anterior, las emulsiones pueden definirse como mezcla de dos líquidos inmiscibles donde una fase está dispersa en forma de pequeñas gotas dentro de la otra. Asimismo, por ser termodinámicamente inestable, es mezcla entre dos fases se realizan en presencia de sustancias con características lipofílicas e hidrofílicas denominadas surfactantes, cuyo trabajo es disminuir la tensión interfacial, creando una matriz de gotas de fase dispersa en la fase continua (Pinto, 2020).

1.8.1. Clases de emulsiones

a. Emulsiones O/W u oleacuosa O/A

Se caracteriza por ser la fase menos densa que se encuentra dentro de la fase más densa. Ejemplo de esta clase son las aguas residuales oleosas donde el aceite se encuentra disperso dentro del agua (Huangal *et al.*, 2019).

Asimismo, para Márquez y Salazar (2009) una emulsión oleacuosa se define, físicamente, como una dispersión de microscópicas o pequeñas gotas de aceite en una solución acuosa. Así, las moléculas del aceite se encuentran dispersas y se conservas de esa forma debido a un químico llamado emulsificante, el cual provee, a estas gotas de una carga eléctrica negativa que, por repulsión, hace que las moléculas de aceite se mantengan en forma separada. A esto, Bautista y Álvarez (2019) señalaron que la emulsión de aceite en agua (O/W) es un sistema en donde las gotas de aceite se encuentran dispersas en agua.

b. Emulsiones W/O o acuooleosa

Se reconoce por ser la fase más densa que se encuentra dentro de la fase menos densa. Ejemplo de este tipo son las emulsiones residuales, las emulsiones de glicerina, fase más densa, en biodiésel, fase menos densa (Huangal *et al.*, 2019).

Por su parte, Velásquez y Pereira (2014), indicaron que la formación de las emulsiones W/O, generalmente, se producen por la presencia de resinas y asfaltenos que se encuentran en el petróleo y que cumplen la función de emulsionantes naturales. Así, estos agentes presentan una atracción mutua, lo que resulta en la formación de una membrana elástica

entorno de las gotas, previniendo que estas se junten y decanten a causa de la gravedad. Asimismo, Bautista y Álvarez (2019) añadieron que la emulsión de agua en aceite (W/O) es aquella donde las gotas de agua se encuentran en aceite.

II

GNOSEOLOGÍA DEL VOLTAJE Y LA CORRIENTE ELÉCTRICA

De acuerdo al Sistema Internacional, el voltio o volt (V) es la unidad que deriva del potencial eléctrico, la fuerza electromotriz u tensión eléctrica. El origen del nombre se le adjudica a Alessandro Volta, investigador italiano quien en 1800 invento la pila voltaica, es decir la primera batería química.

Este elemento, es capaz de producir corriente eléctrica continua y se usa, actualmente, en las pilas, baterías, entre otros. Es así que el voltaje o tensión eléctrica debe ser entendida como una magnitud física que es transportada por los electrones. Por ello, cuando se pretende medir el flujo de una corriente eléctrica este se puede calificar como de alto o bajo voltaje, según el caso.

Si bien, el uso de energía eléctrica resulta favorable para los distintos sectores económicos del país, la producción, el ámbito de salud, el avance educativo, entre otros. Esta requiere de combustible fósil para su generación, lo que a su vez puede llegar producir altos índices de contaminación, ya que al tratar de extraer los restos fósiles del subsuelo, diversos agentes nocivos son liberados.

En respuesta a esa realidad, se debe tener conocimiento de que la energía eléctrica puede ser utilizada reduciendo el impacto que genera al ecosistema, ese es uno de los sustentos que sostiene el presente libro de investigación, por lo tanto en la última parte de este apartado se hará mención de algunos aspectos de un uso responsable de la energía, ya sea a través de recursos naturales como el agua o la energía solar, entre otros.

Otra forma de contribuir con el ecosistema de manera viable es el método de separación electrostática de elementos como el biodiesel y glicerina, que da cuenta, a detalle, que forma parte de una tecnología limpia, una característica importante cuando se produce energía eléctrica para el mundo.

2.1. Voltaje

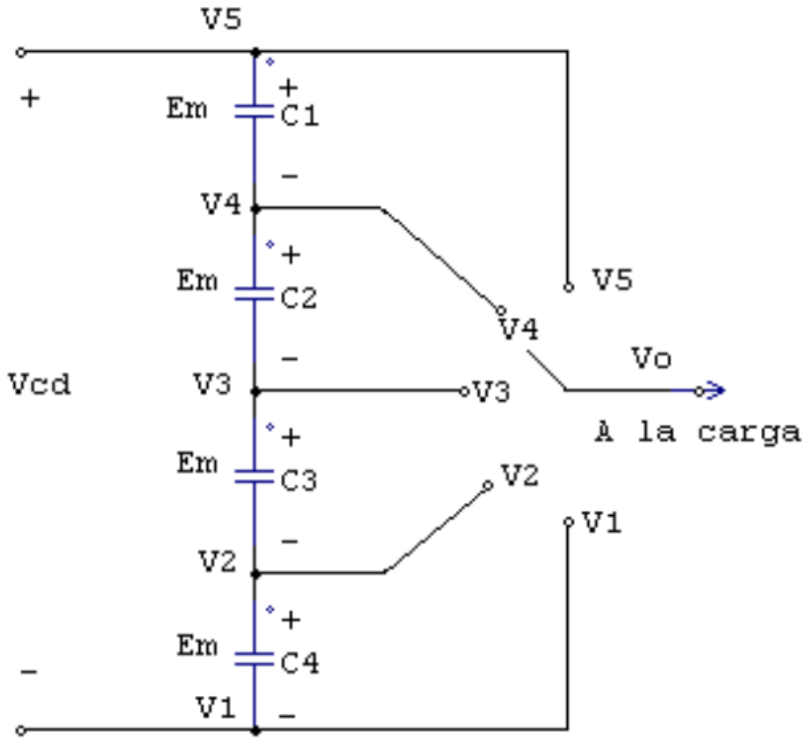
Se trata de una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, explicado de otra manera, se puede indicar que el voltaje es la capacidad física que posee un circuito eléctrico y es representada por el Voltio (V) como la unidad de medida (Pereira, 2016):

$$1\,Voltio\,\frac{1\,\text{Julio}}{\text{Coulomb}} = 1\,V\frac{1\,J}{\text{C}}$$

Asimismo, la Real Academia Española (s. f) señala en relación al mencionado término que este indica la cantidad de voltios que interactúan en un aparato. Mientras que por su parte, Terreros (2015) define el voltaje como "la diferencia de potencial entre dos puntos de un mismo circuito", asimismo, añade que esta magnitud física posee como sistema de medida el Volt (p. 87).

Figura 6

Esquema de un polo inversor multinivel por un interruptor alimentado en voltaje

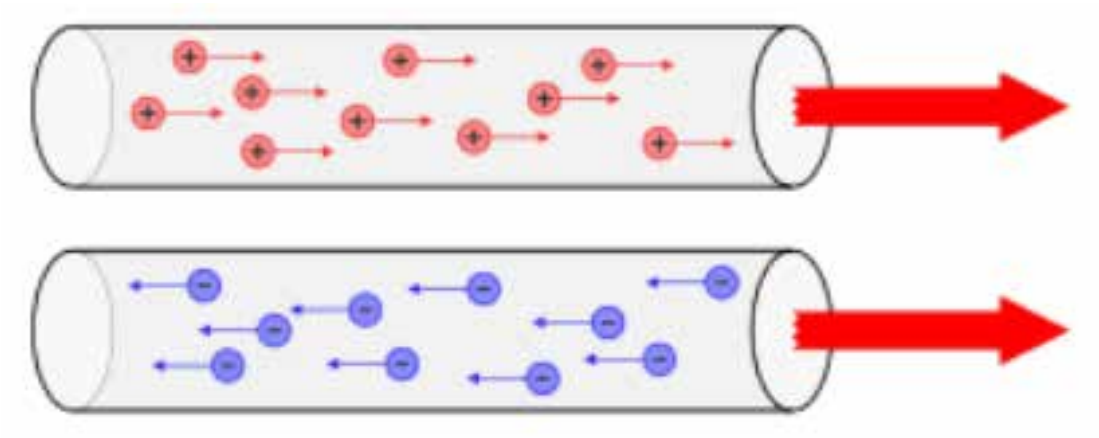


Nota. Tomado de Ramírez *et. al* (2014)

De manera más detallada y concluyente, se puede indicar que el voltaje también denominado tensión o diferencia potencia es una dimensión física que tiene como principal función impulsar a los electrones por toda la extensión de un circuito eléctrico cerrado generando, con ello, una corriente eléctrica.

Figura 7

Corriente eléctrica: circulación de electrones



Nota. Tomado de Pereira (2016)

Respecto a la carga eléctrica, esta no es otra que la circulación de cargas o electrones en un circuito electrónico cerrado, que de acuerdo a (Pereira, 2016), esta se transporta siempre del polo negativo al positivo de la fuente de suministro de fuerza electromotriz (FEM) y es, como ya se señaló, por donde se transporta el voltaje.

Si bien, existen una serie de información precisa que define el término y le permite a los estudiosos poseer conceptos claros sobre el tema, Díaz (2017) asegura que en diversos casos el ingeniero electrónico no manejan los conceptos de voltaje y corriente con precisión, un hecho que se manifiesta en cómo la teoría del campo eléctrico es considerada una forma abstracta de explicar la interacción eléctrica.

Es así que los estudiantes suele concluir que la corriente es aquella que origina el voltaje, por lo que erradamente utilizan $V=IR$ en orden inverso. Por tanto, es necesario

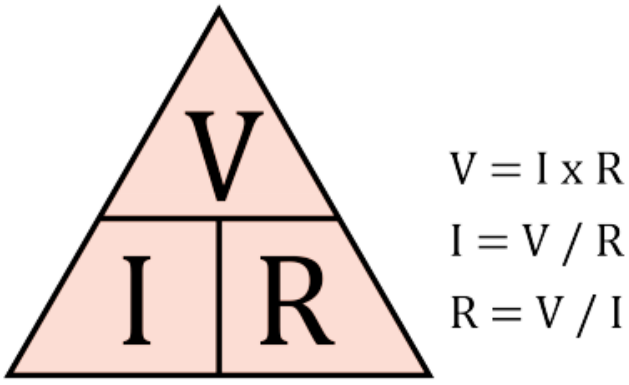
tener en claro los conceptos básicos de electrostática, ya que con ello se podrá adquirir una visión científica de todos los fenómenos electro magnéticos (Bohigas & Periago citado en Díaz, 2017).

Ahora bien, en relación al componente que significa el voltaje se puede señalar su participación en la distribución eléctrica, pues, "una vez que se obtiene la energía en eléctrica de los centros de generación esta es dirigida a centros de transformación en la cual se regula la frecuencia y niveles de voltaje para su derivación a los diferentes centros de cargas ubicados en ciudades e industrias" (p. 13).

De ahí que los niveles de voltaje posean gran importancia para la conducción de energía y exista un relación trascendental entre voltaje, corriente y resistencia que se resume en la ley de Ohm, la cual indica que la intensidad de la corrientes es directamente proporcional al voltaje a través del circuito e inversa a la resistencia del circuito. En términos matemáticos $V = RI$. Formula conocida como la Ley de Ohm donde V corresponde a la potencia de diferencial, R es resistencia e I es intensidad de la corriente.

Figura 8

Triángulo Ley de Ohm



Nota. Tomado de Pereira (2016)

Lo señalado en el párrafo anterior pretende explicar que actualmente, y en relación al avance tecnológico, los dispositivos que brindan soluciones a problemas cotidianos, ya sea en el ámbito de las comunicaciones, servicio de empresas, seguridad gubernamental, entre otros, requieren de energía eléctrica para un correcto funcionamiento, es decir se necesita que el voltaje se transporte a través de la corriente a una adecuada regulación, es decir, debe ser administrado de manera que solo la energía necesaria, según cada dispositivo, sea transportada. Al respecto, Novillo-Vicuña (2018), afirma "es primordial tener un control y administración de dicha energía con la finalidad de regular su uso y no generar perdida innecesaria en periodos extensos de tiempo" (p. 56), ya que el proceso de generación de electricidad puede resultar perjudicial si no se realiza con moderación.

Los efectos adversos que pueden existir en el consumo de electricidad y, por ende de voltaje, están relacionados a los procesos de producción de dicha energía. La electricidad es generada, en parte, por la combustión de recursos como el carbón, dieses, gasolina, entre otros recursos no renovables, este "uso de combustibles fósiles para la generación de electricidad implica la emisión de gases contaminantes del aire y de gases del efecto invernadero" (Parra, 2015, p. 81).

Esto quiere decir que la base para generar la energía que todos en algún momento utilizan usará elementos no renovables, sin embargo, es posible optar por otro tipo de elementos tales como la energía hidráulica, eólica, solar, entre otros.

2.1.1. Tipos de voltaje

De acuerdo a la literatura científica, se puede definir los siguientes tipos de voltaje.

Voltaje inducido

Se trata de un potencial eléctrico formado en un campo electromagnético. Tapia-Hernández (2016) sostiene al respecto que "debido a que la magnitud del voltaje inducido es función de la velocidad del campo magnético, cualquier cambio de velocidad tiene un efecto directo en la magnitud y aún más importante en la forma de onda del voltaje inducido." (p. 134). Asimismo, el voltaje inducido en un circuito abierto podrá mantener la fuerza entre dos puntos, mientras que si se haya en uno cerrado se generará un flujo de corriente.

Voltaje alterno

Posee una onda sinusoidal y es el tipo de voltaje que más se usa en las toma de corriente por su facilidad de transporte. El voltaje alterno forma parte del control de velocidad de los motores y sus rendimientos. Al respecto, Rincón *et al.* (2015) señala que el voltaje alterno se compone de tres resistencias "una de 1MΩ - 1/2W a 1 % de tolerancia, una de 900kΩ - 1/2W a 1 % de tolerancia y una resistencia variable de precisión, conocida como trimmer, de 20kΩ" (p. 62).

Voltaje de corriente directa

Es aquella que se transmite en corriente directa y es conocida por su eficiencia, la cual involucra un ahorro considerable de la energía eléctrica que se transmite. (Tecnológico de Monterrey, s. f.)

Voltaje continuo

Se puede mencionar al respecto las ventajas del uso de voltaje continuo que se transmite como potencia eléctrica. Esta no presenta impedancias inductivas en conductores, la capacidad entre los conductores es un circuito abierto en continuo, asimismo, es considerado menos peligroso que la alterna, entre otras características.

2.2. Teorías básicas de los elementos del circuito

Existen dos teorías importantes en relación a los elementos del circuito: las leyes de Ohm y de Kirchhoff. Para entenderlas a cabalidad es necesario conocer los conceptos básicos. Con ello el conocimiento sobre los elementos que intervienen en un circuito serán fáciles de comprender.

Conceptos básicos

- Carga

  Como bien se sabe, por física básica, existen dos tipos de carga: una positiva, que corresponde a un protón y una negativa, que se relaciona con el electrón. Estas permiten que exista en el circuito eléctrico una conservación de la carga. (García, 2019).

- Corriente

  Es la que permite la transferencia de carga, que a su vez permite la transmisión de energía de un punto a otro. Se puede afirmar, que la corriente que se haya en una trayectoria discreta posee un valor numérico y dirección en particular que se guía por la corriente misma. (García, 2019).

- Tensión (voltaje)

  La tensión es aquella que puede manifestarse entre un par de terminales eléctricas al margen de que fluya o no en una corriente. Esto se puede demostrar, por ejemplo, con la batería de automóvil que posee tensión de $12 V$ esté o no conectada mantendrá la energía sin gastarla debido al principio de conservación de energía. (García, 2019)

- Potencia

  De acuerdo con García (2019) es la proporción por unidad de tiempo. Debido a ella la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico.

2.2.1. Ley de Ohm

Fue postulada por Georg Simon Ohm, físico y matemático alemán, quien guiado por la física experimental logró introducir y cuantificar la resistencia eléctrica. Se trata de una ley aplicable a sistema multipolares. Esta permite calcular la corriente terminal en cada puerto.

2.2.2. Leyes Kirchhoff

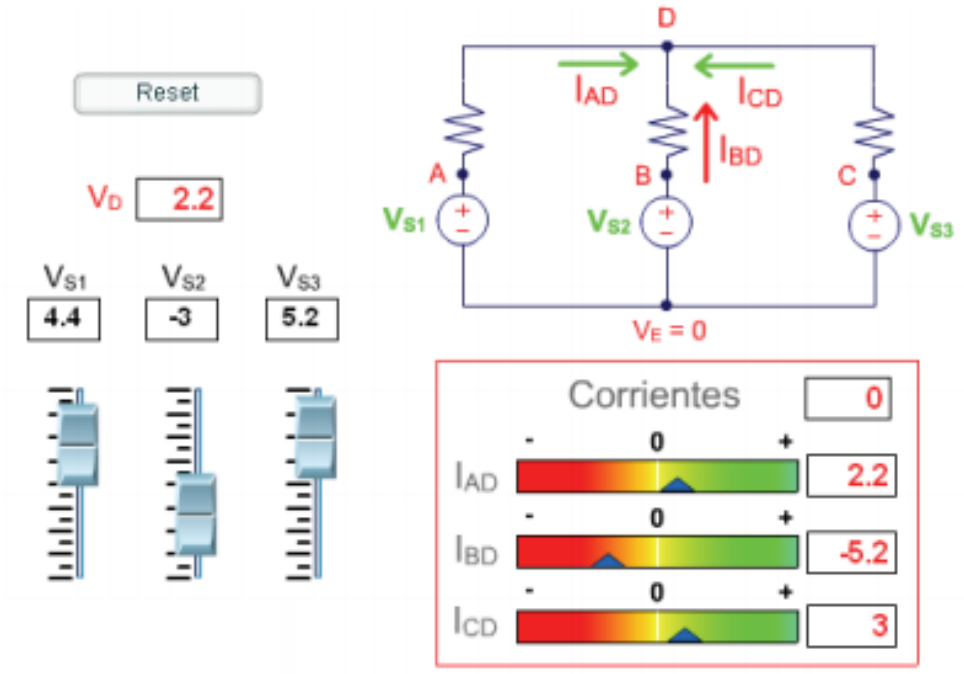
Creada por Gustav Robert Kirchgoff, docente alemán. Al respecto, el investigador propuso las siguientes leyes (Belduma, 2017):

Ley de Corriente de Kirchhoff

Establece que la suma de corriente que giran alrededor de un determinado circuito es cero. Asimismo, la ley afirma que un nodo no debe ser considerado como un elemento de circuito y, por lo tanto, no puede almacenar, destruir o generar carga.

Figura 9

Ley de corrientes de Kirchhoff



Nota. Tomado de Salazar (2013)

La figura 9, trata de simula la Ley de Corrientes de Kirchoff a partir de la corrientes que entran a un nodo luego de que los voltajes de las fuentes hayan sido variados. En la imagen, se ve cómo cambia la dirección de la corriente real y como las otras pasan de valores positivos a negativos.

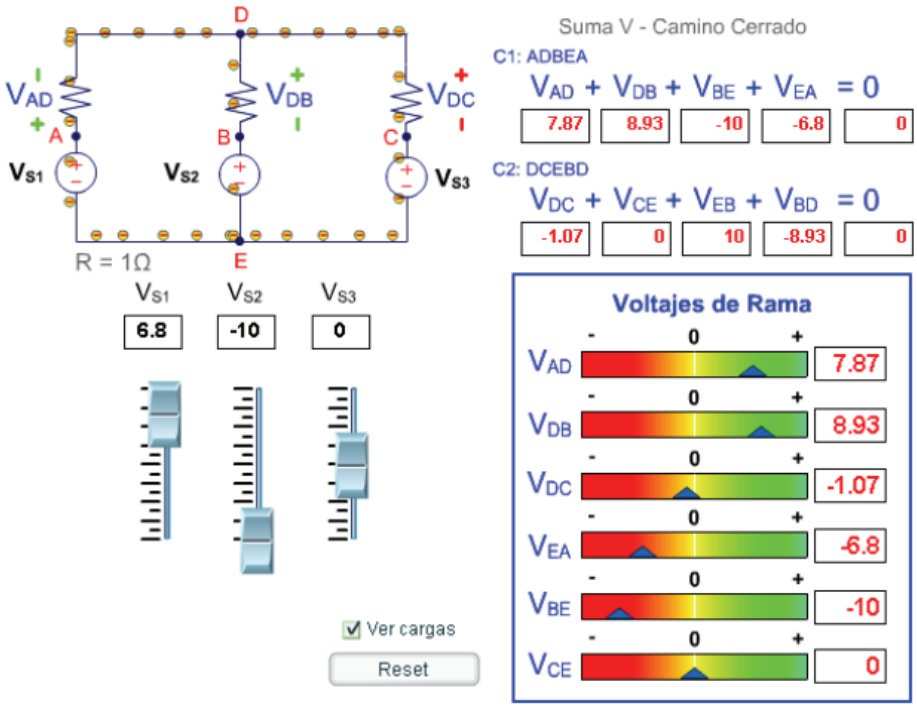
Ley de voltaje o tensión de Kirchhoff

Sostiene que la suma de cada una de las tensiones que recorre un circuito cerrado es igual a cero. La corriente está relacionada con la carga que recorre un elemento de circuito "en tanto que la tensión constituye una medida de la diferencia de energía potencial entre los extremos del elemento" (p. 15). Esta definición se podrá ver con

mayor detalle en la siguiente imagen, donde todas las tensiones están transitando en un circuito específico.

Figura 10

Ley de voltajes Kirchhoff



Nota. Tomado de Salazar (2013)

En la figura 10, la simulación muestra de Ley de voltajes Kirchhoff. La imagen expone cómo los voltajes de rama pueden mostrar que la suma de caídas de voltaje en un circuito cerrado es igual a cero, al margen de los valores que existan en las fuentes entre otros factores.

De lo explicado hasta este punto, se ha adaptado la tabla 1 que presenta las tres leyes antes señaladas, así como la fórmula que se usa cuando se quiere realizar un cálculo en relación, la definición y el creador de la misma.

Tabla 2

Comparativa de leyes

LEYES	FÓRMULA	DEFINICIÓN	CREADOR
Ley de Ohm	$I = \frac{V}{R}$	La tensión entre los extremos de un material conductor es proporcional a la corriente que circula en un conductor.	Georg Simon Ohm
Primera ley Kirchhoff LVK	$I_1 + I_2 = I_2 I_3$	La corriente que entra es la misma corriente que sale del circuito.	Gustav Kirchhoff
Segunda ley Kirchhoff LCK	$\sum_n v\ n = 0$	La suma de cada uno de los voltajes que existen dentro de un circuito determinado es igual a 0.	Gustav Kirchhoff

Nota. Adaptado de Belduma (2017)

2.3. Electrodos y voltaje

Un electrodo es un elemento que conduce la electricidad y es el encargado de cerrar un circuito que se caracteriza por poseer extremos con diferencias de potencia. Asimismo, Pozueta (citado en Castro, 2019) señala el electrodo puede definirse como un dispositivo

preceptor que establece contacto eléctrico entre un circuito externo que está conectado a otros electrodos. Es en este objeto en el que se presentan las reacciones que proporciona iones negativos como positivos.

Por su parte, el Diccionario de la Lengua Española (s.f.) define el término *electrodo* como un vocablo que corresponde al estudio de la física y se caracteriza presentar un "extremo de un conductor en contacto con un medio, al que transmite o del que recibe una corriente eléctrica".

Dicho de otra manera, es el elemento por donde se transporta el voltaje a través de la corriente por lo que también se le considera un conductor. Este elemento puede ser utilizado en diversos campos laborales, ya sea para fines médicos, para la soldadura, la hidrólisis, pararrayos, entre otros.

2.4. Uso del voltaje transportado por la corriente eléctrica y su relación con el medio ambiente

A lo largo del capítulo II, se ha explicado cómo es que el voltaje es transportado por la corriente produciendo energía eléctrica con la que se pueden realizar una serie de actividades en distintos sectores como el de la salud, educativo, seguridad, entre otros. Al respecto, se puede indicar que el consumo se halla en el uso de aparatos electrónicos, el alumbrado público, la luz que se emite al encender el interruptor, entre otros.

Si bien, la energía eléctrica puede ser producida a partir de elementos no renovables del medioambiente, existe una propuesta para desarrollar energía eléctrica a partir de acciones sustentables. Al respecto, Hernández *et al.* (2015) señala que en algunos países como

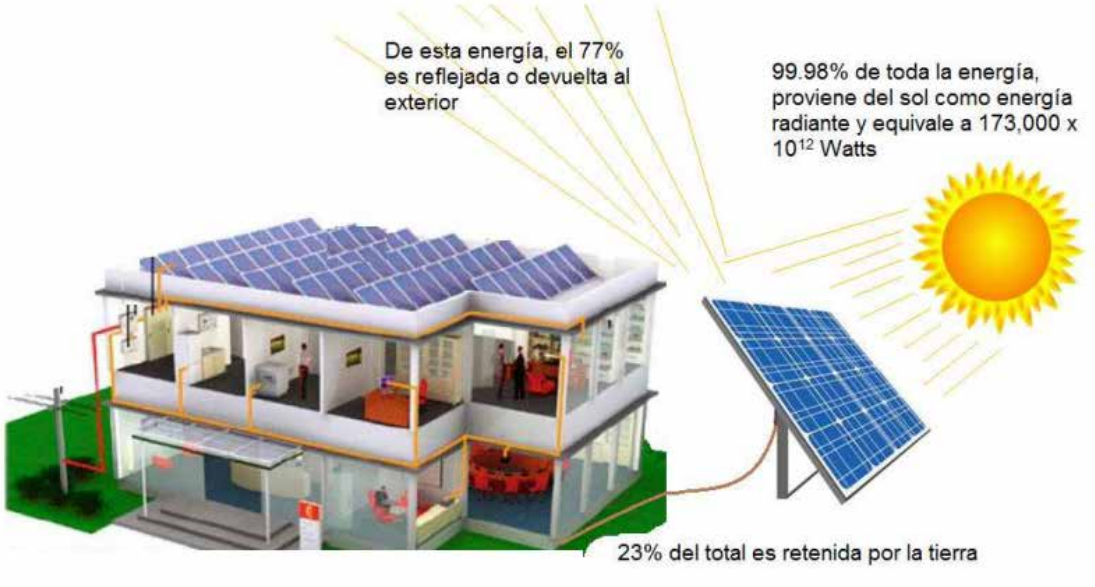
Venezuela, un 62 % de la energía eléctrica es generada a partir de producción hidráulica, mientras que un 35 % surge de las centrales termoeléctricas.

Por otro lado, en Colombia, la generación hidráulica aporta un 69,9% del total de energía eléctrica, seguida por el gas natural (24,8 %) como contribución, carbón (4,9 %), cogeneración (0,3 %) y eólica (0,1 %). Otro recurso del que se sostiene la energía eléctrica es el uso de paneles solares, los cuales, de acuerdo a Arencibia-Carballo (2016) reportaron en el 2011 la generación de 85 horas de electricidad.

De ello, se desprende que la necesidad de 100 millones de personas se cubriría sin mayores inconvenientes. De esta manera, se podría aportar con el ahorro de consumo de combustible generando un uso moderado y sostenible de los elementos del ecosistema.

Figura 11

Uso de paneles solares



Nota. Tomado de Arencibia-Carballo (2016)

En la figura 11, se puede observar que la energía solar, que forma parte de la energía renovable, puede producir electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos (PSFV), esto debido a que la radiación solar se convertir en electricidad y es perfectamente útil para las múltiples actividades de la vida.

Esta práctica reduciría en gran mediad el uso de petróleo considerando que la elaboración de paneles solares actualmente presentan un formato de módulos independientes de distintos tamaños, lo que genera que se puedan ubicar en campos abiertos, azoteas, en espacios reducidos de los edificios, plantas industriales e incluso e oficinas. Asimismo, estos objetos no requieren de gran mantenimiento y lo más importante no genera contaminación debido a que no emite CO2 ni gases capaces de dañar el ecosistema.

Asimismo, una ventaja de consumir energía renovable está enfocada en la integración del sistema eléctrico que esta genera, ya que favorece en la reducción del nivel de concentración en el mercado y se pueden establecer nuevos precios. Algunas de las energías no convencionales son la energía eólica, solar fotovoltaica, biomasa, pequeñas centrales hidroeléctricas, mareomotriz, geotérmica, entre otras fuentes de energía considera limpias (Hoyos *et al.*, 2017).

En esa misma línea, la industria utiliza de manera permanente recursos del medioambiente para realizar distintos procesos. Al respecto Polich (2019) señala que en diversos países de Latinoamérica se viene realizando propuestas para reducir el impacto principalmente en la producción de bioetanol y biodiesel.

Esto debido a que, tal como se señaló anteriormente, son productos no renovables y en relación al biodiesel se puede destacar "cuatro concentraciones principales de biodiesel que se utilizan en el mercado de los combustibles: El total (B100), las mezclas (B20 a B30), el aditivo (B5) y el aditivo lubricante (B2). Las mezclas B5 y B20 son las más comunes" (Castelar *et al.* citado en Hoyos *et al,* 2017).

Por lo tanto, en diversos países de Latinoamérica se basan en leyes que aporten el cuidado del ecosistema. Particularmente, en el Perú existen normativas que, en aras de proteger el medioambiente, contemplan de manera básica en la Constitución Política del Perú (2013) en donde se hace mención al derecho de un ambiente equilibrado para el desarrollo de la buena convivencia, siendo una de ellas la propuesta de separación electrostática de una glicerina en biodiesel, para ello se ha considerado la aplicación de diferentes voltajes y distancias entre electrodos.

III

ELECTROSTÁTICA: ESTUDIO Y PROPIEDADES

A lo largo de los años, la Física se ha concentrado esencialmente en el estudio de la interacción gravitatoria asociada a la propiedad de la materia conocida como masa. No obstante, otra de las interacciones primordiales que hay dentro de la naturaleza es la llamada interacción eléctrica que se encuentra vinculada a otra propiedad de la materia conocida como carga eléctrica.

La interacción eléctrica se encuentra presente en la vida diaria más de lo que la mayoría de las personas cree y esto se debe no solo por la difusión de los dispositivos tecnológicos; ya que la interacción fundamental a escala humana resulta ser la interacción eléctrica.

Cabe recordar que las fuerzas que mantienen en equilibrio la estructura atómica y molecular son de origen eléctrico, por ejemplo, las fibras de papel se mantienen unidas eléctricamente. Otro ejemplo de ello se puede encontrar en el oxígeno del aire; ya que se incorpora a la sangre por la acción de fuerzas eléctricas, asimismo, la transmisión de los impulsos nerviosos, el funcionamiento de las células del cuerpo, la transformación de lo alimentos e, incluso, las sensaciones y las emociones dependen de las interacciones eléctricas.

3.1. Electrostática

La electroestática es la rama de la física que se encarga del estudio del comportamiento de la materia en reposo, asimismo se interesa de la cantidad de electricidad presente en los cuerpos, de la medida de la carga eléctrica y, en general, de los fenómenos vinculados a las cargas eléctricas.

3.1.1. Origen

El fenómeno de la electricidad por medio de la electrostática se conoce desde tiempos antiguos. Ya Teofrato (321 a. C.) y quizá Tales (600 a. C) tenían conocimiento de que el ámbar, al ser frotado a otras materias secas, adquirían la capacidad de atraer cuerpos ligeros, tales como plumas o trozos de paja.

Respecto a los orígenes, resulta posible remontarse al uso del ámbar (resina fosilizada de conífera de color pardo amarillento) el cual fue utilizado para la joyería durante miles de años. Al parecer, mientras trabajaban el ámbar, los artesanos notaron que presentaba una cualidad particular, esta consistía en que, al ser frotado con un pedazo de piel o tela, atraía pequeños trozos de materia ligera, tales como cabellos o pelusas. Fue en el año de 1600 cuando el médico inglés William Gilbert publicó en el libro *De magnete, magneticisque corporibus, et magno, magnete tellure,* el cual recibe en castellano la traducción de *Sobre los imanes, los cuerpos y el gran imán terrestre.* Dentro de este libro, el autor, resume las investigaciones de varios años acerca del magnetismo y la electricidad, y es aquí donde por primera vez aparecen los términos de fuerza eléctrica, atracción eléctrica, polos de imán, entre otros. Asimismo, indicó que la electricidad era un fluido que se encontraba contenido en el ámbar y otros materiales (Vettorel *et al.*, 2017).

Es a partir de los trabajos de Gilbert que otros investigadores siguieron con los estudios, clasificando especialmente aquellos materiales que se pueden electrizar a causa del frotamiento. Es así que se hallaron combinaciones de vidrio, cuarzo, entre otros. Para realizar estos trabajos se diseñaron instrumentos, especialmente máquinas de frotamiento y los péndulos o el electrómetro de hojas. En estos trabajos se observó que la electrizar por contacto una pequeña lámina suspendida en forma de péndulo se separaba bruscamente de la barra y mantenía ese rechazo mientras no se descargaba eléctricamente.

Para el año de 1733, el botánico francés Du Fay notó que cuando acercaba una barra de resina frotada a un péndulo, previamente electrizado, en lugar de rechazar el péndulo era atraído por ella y luego de varios experimentos llegó a la conclusión de que en la naturaleza existen dos tipos de electricidad: la vítrea y la resinosa. Diez años después, en 1743, Benjamín Franklin realizaba experimentos con una máquina de frotamiento y pudo observar que se puede cargar eléctricamente a dos personas que se encuentras aisladas y que si estas se tocan entre ellas no se produce ningún fenómeno, pero si tocaran a una tercera persona que está en contacto con la tierra, saltaría una chispa entre ellas. Esto lo llevó a concluir que existe un único fluido eléctrico presente en todos los cuerpos, y que el efecto del frotamiento no hace más que agregar o quitar fluido, por lo que optó en designar el signo más al agregado de electricidad y el signo meno al defecto; esta es la razón por la cual se le asigna el signo negativo a la carga del electrón (Vettorel *et al.*, 2017).

Hoy en día, se sabe mucho más sobre la estructura de la materia y se sabe que la electricidad no es un fluido, sino que es la interacción que se realiza entre partículas con carga eléctrica.

3.1.2. Definición

Según Barco *et al.* (2012), la electrostática tiene por objeto de estudio a las fuerzas eléctricas que existe entre cargas eléctricas en reposo y los estados de equilibrio determinados por dichas fuerzas.

La electrostática es un fenómeno superficial que se produce en sólidos que transfieren y acumulan carga eléctrica, incluso siendo estos conductivos (Llobet, 2017).

Por su parte, Ramos (2020) sostuvo que aquella rama del electromagnetismo que se encarga del estudio de las propiedades y acción recíproca de las cargas eléctricas en equilibrio en relación al sistema inercial de referencia escogido para su estudio, en otras palabras, se encarga de las cargas eléctricas, las interacciones que se producen entre ellas y su comportamiento en los materiales. Asimismo, es la magnitud esencial en electromagnetismo que indica la cantidad de electricidad que contiene un cuerpo.

Asimismo, la electrostática se encarga de estudio de la interacción entre las cargas eléctricas en estado de reposo que al encontrarse cargadas y a cierta distancia ejercen fuerzas unas sobre otras [Bases físicas de los fenómenos bioeléctricos. Unidad 5: Electricidad] (s. f).

Para Vértiz (2017), la electrostática es la rama de la Física encargada de estudiar los efectos que se producen entre los cuerpos como resultado de sus cargas eléctricas.

Balseiro (2005), indicó que la electrostática es aquella parte del electromagnetismo que se encarga del estudio de los fenómenos que producen las cargas eléctricas. Su objeto de estudio está constituido por los campos eléctricos, la polarización dieléctrica y los fenómenos

de inducción eléctrica en conductores. Además, trata la electrización, las propiedades generales de los cuerpos en equilibrio y la transmisión de cargas de un cuerpo a otro.

3.1.3. Medida de la fuerza electrostática

Resulta factible hallar la fuerza eléctrica entre dos cuerpos que se encuentren cargados, al suspender una pequeña esfera metálica sobre un hilo delgado y colgar el conjunto (péndulo electrostático) sobre un soporte aislante. Si se electrifica negativamente la esfera, por conducción, al acercarle una barra de vidrio cargada, se puede evidenciar que la esfera deja su posición de equilibrio. En esta posición, la esfera está en equilibrio, en consecuencia, la suma de las fuerzas que actúan sobre ella es cero. Por lo tanto, se describe de la siguiente manera:

$$\sum F_x = T.sen\ \alpha - F_e = 0$$

$$\sum F_y = -W + T\ .\ cos\ \alpha = 0$$

Por lo tanto:

$$T = \frac{F_e}{sen\ \alpha} \quad y \quad T = \frac{W}{cos\ \alpha}$$

Al igualar se tiene que:

$$\frac{F_e}{sen\ \alpha} \quad y \quad T = \frac{W}{cos\ \alpha}$$

$$F_e = \frac{w\ .\ sen\ \alpha}{cos\ \alpha} = W\ \frac{sen\ \alpha}{tan\ \alpha}$$

$$F_e = w\ .\ tan\ \alpha$$

Por lo tanto, si se mide el peso de la esfera y la amplitud del ángulo que forma el hilo con vertical, resulta posible obtener experimentalmente el valor de la fuerza electrostática realizada sobre un péndulo electrostático.

3.1.4. Algunas aplicaciones de la electrostática

- Blindaje electrostático

  Cuando un conductor que está electrizado se encuentra en equilibrio, el campo eléctrico es nulo para todos los puntos internos. Asimismo, si el conductor tiene una cavidad interna, las cargas eléctricas se reacomodan en forma rápida sobre la superficie externa del conductor, con el objetivo de anular el campo eléctrico en todos los puntos internos. De este modo, en la cavidad del conductor los efectos electrostáticos están presentes, a causa de la nulidad del campo eléctrico y la distribución de las cargas eléctricas en la superficie externa del conductor. Los conductores huecos se utilizan en la protección de artefactos de los efectos eléctricos, para conseguirlo, se encierran dentro de una cubierta metálica, de forma que se realiza un blindaje electrostático [Electrostática. Unidad 5] (s. f.).

- Generador de Van der Graff

  Esta máquina consiste en una banda de caucho, el cual pasa por dos poleas donde una de ellas se encuentra impulsada por un motor que le imprime rotación, mientras que la otra está ubicada dentro de una esfera metálica hueca y grande, sostenida por un soporte cilíndrico y aislante. Al moverse, la banda de caucho, es electrizada por un

conjunto de agujas de metal similares a las de un cepillo que mantienen un potencial negativo con relación a la tierra.

La descarga que se realiza mediante las puntas provee constantemente electrones, sobre la banda, que se depositan en la esfera. De esta forma, como la esfera es un conductor hueco, las cargas se reparten en la superficie exterior de la misma, y se van aglomerando hasta obtener el valor de la rigidez dieléctrica del aire. Así es como, el generador de Van der Graff es utilizado en la aceleración de partículas subatómicas en los laboratorios de investigación [Electrostática. Unidad 5] (s. f.).

3.2. Separación electrostática

Para Bada *et al.* (2010), la separación electrostática va a depender de la velocidad con las que las partículas obtengan su comportamiento de carga, de las características del propio campo y de la intensidad de las fuerzas que los cuerpos eléctricos produzcan sobre los cuerpos eléctrico.

A esto, las fuerzas electrostáticas son producidas debido a la acción de un campo eléctrico sobre una partícula cargada. Por consiguiente, en todo proceso de separación electrostática se requiere de una fuente potencial eléctrica que genere el campo eléctrico y un proceso por el cual las partículas individuales son cargadas eléctricamente (Fernández, 2016).

- Luego de haberse dado la carga, los procesos de separación electrostática poseen ventajas sobre los otros procesos, Para Kelly y Spottiswood, citados por Fernández (2016), son las siguientes:

- Las fuerzas electrostáticas actúan únicamente sobre aquellas partículas a separar, por lo que no afecta al medio en donde se encuentran dichas partículas.

- Las trayectorias de las partículas que se encuentran bajo la influencia del campo eléctrico continúan las líneas del campo eléctrico donde dichas líneas puede formarse para satisfacer la aplicación en particular.

- Bien sea cambiando la polaridad de la carga o bien sea la dirección del campo electrostático externo, la dirección de las fuerzas electrostáticas puede invertirse.

- Para trabajar en conjunto con otras fuerzas como las fuerzas centrífugas o las fuerzas gravitacionales, las fuerzas electrostáticas pueden organizarse.

- Las fuerzas de separación son independientes del sustrato del material sobre el que se produce la carga eléctrica superficial; ya que ellos son determinados solamente por el producto del campo eléctrico y la carga.

Por su parte, Ochoa *et al.* (2018), señalaron que la separación electrostática es un método selectivo de separación de materiales polarizados o cargados que utilizan el campo eléctrico. Asimismo, consideraron que este es un método amigable con el medio ambiente usado para el reciclaje de minerales y la minería.

3.2.1. Separadores electroestáticos

Fernández (2016) señaló que, en un inicio, los separadores electroestáticos eran del tipo placa electroestática. Los separadores de caída libre en los que las partículas caen entre

dos placas verticales: una de ellas cargada negativamente y la otra, positivamente, con un elevado gradiente de voltaje entre ellas. No obstante, este tipo de separador ya no se usa, debido a que hoy en día existen dos tipos de separadores electroestáticos que se producen: el separador tipo rotor y el separador tipo placa

a. Separador tipo rotor

El separador electroestático tipo rotor es, en apariencia, similar al separador de alta tensión. No obstante, este separador no presenta el electrodo ionizado; ya que en su lugar tiene solamente un electrodo largo, el cual crea un campo eléctrico. Incluso si la partícula es conductora o no conductora, esta puede llegar a considerarse como una partícula que puede lograr polarizarse (Fernández, 2016).

b. Separador tipo placa

Este tipo de separador, a su vez, presenta dos tipos de placa: el separador electroestático de placa y el separador electroestático de rejilla. Para ambos tipos, los principios operacionales son parecidos; ya que las partículas con cargadas por inducción y las conductoras presentan una carga contraria al electrodo. De esta manera, las partículas conductoras son atraídas al electrodo mientras que las no conductoras continúan hacia abajo en la placa o por medio de la criba.

En los separadores de este tipo, las partículas finas son aquellas que resultan más afectadas por las fuerzas débiles involucradas, por lo que el producto conductor contiene partículas conductoras finas. A la misma vez, no existe una tendencia para que las partículas

gruesas no conductoras entre el flujo conductor. Dado a que estos separadores actúan principalmente sobre las partículas conductoras, desde una cantidad grande de partículas no conductoras (Fernández, 2016).

3.2.2. Separación electrostática de fases

Las dispersiones que produce un fluido sobre otro fluido inmiscible se pueden encontrar en una gran cantidad de productos naturales como sintéticos, tales como petróleo, pinturas, leche, productos alimenticios, entre otros. La separación de las dos fases se torna esencial para purificar o recuperar el producto, como la separación de la glicerina del biodiesel, por ejemplo (Abeynaike *et al.,* 2012). Asimismo, en estos tipos de sistemas, pequeñas gotas de líquido se encuentran dispersas dentro de la otra fase líquida que ocasiona que la separación por gravedad requiera de mucho tiempo. Por tal, el motivo de separación puede mejorarse mediante la estimulación del movimiento relativo de las gotas con ayuda de fuerzas externas como mecánicas, electrostáticas, térmicas, químicas o la combinación de ellas.

Motivado por la invención de un precipitador electrostático por Cottrel a principios del siglo XX, la utilización de fuerzas electroestáticas para la separación de fases condujo a una gran cantidad de publicaciones durante el primer tercio de dicho siglo. La técnica contempla la utilización de campos eléctricos en la separación de fases líquidas (electrocoalescencia), y se ha investigado y desarrollado gracias a que es un método rápido, limpio y eficiente. De esta manera, tras aplicar corriente eléctrica, las pequeñas gotas se juntan unas a otras formando gotas de mayor tamaño donde estas últimas se separan con mayor facilidad (Eow *et al.*, 2001).

Los factores que afectan, en forma directa, la velocidad de electrocoalescencia son varios, algunos de ellos son: la formación de cadena, el tipo (CD o CA) y frecuencia del campo aplicado, el movimiento de fluido, la coalescencia parcial, las propiedades eléctricas y físicas de los fluidos, entren otros.

3.3. Electrocoalescencia

Para Ortiz (2020), la electrocoalescencia es una estrategia que posibilita un control bastante preciso de la combinación de las gotas, no obstante, representa una dificultad extra en el diseño de los circuitos microfluídicos, debido a que requiere del uso de micro electrodos y la implementación de un sistema electrónico que controle el campo requerido.

Por su parte, Rubí (2007) sostuvo que la electrocoalescencia se basa en un desplazamiento electroforético, el cual consiste en supeditar a las gotas de aceite a un campo eléctrico generado por dos electrodos; como las gotas tienen carga eléctrica, estas tienden a desplazarse hacia el electrodo de carga opuesta donde ellas coalescen a causa de una colisión entre ellas mismas con los electrodos.

En adición a esto, la electrocoalescencia se ha utilizado en primera instancia para la separación de emulsiones de agua en aceite, asimismo para el tratamiento de emulsiones lubricantes y para la separación de gotas de tetracloruro de carbono dispersas en el agua.

3.3.1. Dinámica de electrocoalescencia

a. Fuerza electrostática de atracción de gotas

Dentro del mecanismo de coalescencia de dos gotas en presencia de un campo eléctrico, existen tres etapas diferentes. Para ello, el campo aplicado polariza una gota individual y cada gota se comporta como un dipolo, el cual provoca cargas positivas y negativas en los dos extremos polares donde el dipolo se alinea en la dirección del campo eléctrico aplicado.

Con esto, la primera etapa de la electrocoalescencia supone la interacción de dos gotas a causa de la atracción de polos opuestos de polaridad. En los límites más altos de separación, las diversas fuerzas que ejercen sobre una gota pueden ser la fuerza de arrastre, la fuerza electrostática y la fuerza gravitatoria, además, cuando las gotas se mueven una a otra, en la pequeña separación existe una película intersticial del medio fluido entre las caras delanteras de las gotas.

La segunda etapa de la electrocoalescencia se refiere a la comprensión de fluido en el borde de meseta de la película donde, a medida que las gotas avanzan, el espesor de la película se va reduciendo cada vez más. Finalmente, en la tercera etapa, cuando la película se torna demasiado delgada, la acción combinada de fuerzas electroestáticas y moleculares rompe la película permitiendo así que las dos gotas se fusionen entre sí.

Por otro lado, si las gotas contienen cargas inherentes, los resultados de la coalescencia migratoria serán producto de la electroforesis.

En adición a lo anterior, Raisin *et al.* (2011) indicó que además de la magnitud del campo eléctrico aplicado, existen otros parámetros que influyen en la fuerza de atracción entre las gotas

coalescentes, tales como la separación entre gotas, el tamaño de las gotas, la permitividad, la viscosidad, la tensión interfacial, la distorsión de la forma y las propiedades de los fluidos tales como la conductividad, entre otras.

b. Formas de gotas coalescentes

Un efecto instantáneo que un a gota presenta al aplicar un campo eléctrico es la deformación de la forma, es decir, dos gotas colocadas de manera estrecha dentro de un campo eléctrico muestran deformación cuando el número de electrocapilaridad es grande. Además, una gota puede presentar una deformación asimétrica en la parte del frente y posterior cuando está cerca de la superficie del electrodo; ya que la presencia de gotas en cercanía de electrodos no solo induce deformación, también protege las gotas internas durante la emulsión.

c. Fuerza de amortiguación

Cuando dos gotas se acercan a una distancia de separación muy grande, la fuerza de arrastre se opone al movimiento. Asimismo, la fuerza de arrastre para una esfera rígida sigue la Ley de Stokes. No obstante, para el caso de una gota en movimiento dentro de un medio viscoso, la fuerza de arrastre experimentado por la gota es, en gran medida, más baja que el dado por la Ley de Stokes.

La resistencia al movimiento de las gotas coalescentes a grandes distancias de separación es notable a causa de la fuerza de arrastre, en tanto que el caso contrario es regido por la fuerza de adelgazamiento de la película (fuerza causada por el drenaje de película de líquido de intersticial entre dos gotas coalescentes).

La viscosidad posee un efecto significativo sobre la fuerza de adelgazamiento de la película, así como en la fuerza de arrastre de las gotas coalescedoras. A esto, la presencia de tensoactivos durante la interfase, acompañada de un alargamiento de la gota, produce que la gradiente de tensión interfacial dirija a tensiones de Marangoni y ello inhibe la generación de circulaciones internas.

d. Separación de la película delgada

Las gotas que se acercan contienen una película del fluido medio entre sus principales caras. Tan pronto como las gotas se acercan, el espesor de la película disminuye continuamente apretando en el borde de la meseta. En la reducción adicional en el grueso de la película por debajo de 1000˚A, las fuerzas moleculares empiezan a desempeñar su rol. La atractiva de fuera de Van der Waals contribuye a disminuir el espesor, en tanto que la repulsión de doble cara consiste en separar las gotas. Por otro lado, cuando dos gotas están a una distancia crítica entre sí, la película microscópicamente delgada que las separa puede romperse de forma rápida, seguida por la coalescencia gota-gota.

El mecanismo planteado mediante el cual se produce la ruptura de la película, señala que la película se rompe cuando el campo eléctrico por medio de la película alcanza la resistencia a la rotura dieléctrica de la fase media.

3.3.2. Condiciones críticas para la electrocoalescencia

Las condiciones mínimas para un par de gotas en el campo eléctrico, por encima de las cuales la coalescencia y la distorsión de forma puedan ocurrir han sido materia de

estudio desde hace varias décadas. Ya en la década de los 60, investigaciones sobre el tema obtuvieron una expresión para el campo crítico aplicado para dos gotas estrechamente espaciadas. A causa del movimiento de las gotas coalescentes con el tiempo, no existe solución estática para las gotas deformadas en separaciones pequeñas.

Asimismo, diversos estudios señalaron que para una ratio de separación $d_o/a < 1.2$, las gotas pasan a deformarse, se atraen en forma sencilla y se amontonan, mientras que para $d_o/a > 1.2$, las superficies confrontadas se deforman, toman una forma crónica con un ángulo igual al del cono de Taylor estático.

En este punto, Ghadiri *et al.* (2006) sostuvo que, en una emulsión sometida a coalescencia, la orientación de dos gotas vecinas en relación a la dirección del campo aplicado también afecta la probabilidad de coalescer. Asimismo, en un campo eléctrico, para dos gotas atraídas unas a otras, la energía potencial del momento dipolar debe ser negativo. Para un par de gotas en un campo eléctrico, la coalescencia puede ser posible cuando el ángulo producido por la línea que une los centros de las dos gotas con la dirección del campo aplicado es tal que, $54.71° > \Theta > 125.19°$.

3.3.3. Coalescencia parcial

Para Huk (2013), la coalescencia parcial se realiza en las emulsiones cuya fase dispersa sufre un proceso de transición de fase de líquido-sólido. A su vez, la formación de los cristales afecta la estabilidad de las misma. Dependiendo del grado de rigidez de los cristales formados, estos pueden atravesar la interfase aceite/líquido, en consecuencia, es posible que una gota se una a otra utilizando la nueva fase como puente. En adición, estos

cristales pueden nuclear en la superficie de la gota o, una vez formados, pueden absorberse en la interfase. Asimismo, estos sistemas semicristalinos con capaces de generar cambios en las emulsiones, como reducir drásticamente la estabilidad de la emulsión, modificar las propiedades sensoriales de los alimentos o en emulsiones con altas concentraciones.

Montilla y Quiñones (2010) sostuvieron que la coalescencia parcial es una aglomeración irreversible de glóbulos grasos, los cuales se mantienen unidos a través de una combinación adecuada de grasa líquida y grasa cristalizada. Asimismo, los glóbulos conservan su identidad mientras se mantenga la estructura cristalina en su interior, por tanto, dependen de la temperatura, debido a que, si los cristales se funden, los glóbulos coalescerán completamente.

En adición a lo anterior, cuando una gota, que se mueve a través de otro fluido inmiscible, llega a la interfase de su homofase, esta puede fusionarse totalmente con el fluido o formar pequeñas gotas. Este fenómeno es conocido como coalescencia parcial y puede observarse en la ausencia de fuerzas externas como en la presencia de campos de gran fuerza para formar gotas grandes, mientras que a las gotas resultantes se les conocen como gotitas secundarias.

En ciertas ocasiones, también se presenta la formación de gotitas hijas más finas. Por otro lado, el número de Ohnesorge (Oh) ha sido utilizado como criterio para el suceso de coalescencia parcial donde el número de Ohnesorge es la relación entre las fuerzas viscosas y la tensión superficial. Asimismo, en ausencia de fuerzas externas, un sistema con Oh grande evidencia una coalescencia total; un valor más elevado de la fuerza viscosa (Oh >>1), retrasa la formación de gotas secundarias. A esto, una posible solución es el uso de altos voltajes.

IV

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL TIEMPO DE SEPARACIÓN DE LA GLICERINA DEL BIODIESEL POR COAGULACIÓN ELECTROSTÁTICA APLICANDO DIFERENTES VOLTAJES Y DISTANCIAS ENTRE ELECTRODOS

Los recursos energéticos esenciales para el uso del hombre, han ido disminuyendo con el paso del tiempo, volviéndose cada vez más limitados por lo que las regulaciones de las emisiones son más estrictas, ello ha motivado que se produzca una búsqueda de combustibles alternativos durante los últimos años.

De esta manera es que se da la formación del biodiesel, el cual hace referencia a un combustible alternativo definido como monoésteres de alquilo de ácidos grasos, todo ello a partir de recursos renovables como pueden ser las grasas animales, residuales y/o aceites vegetales.

Cabe resaltar que aun con la utilidad que tiene este combustible recae una gran dificultad respecto al proceso y costos de purificación en su producción, relacionado con la separación de glicerina y otros reactivos que no presentan reacciones de tal modo que se requiere el desarrollo de nuevos procedimientos competentes para llevar a cabo la separación a bajos costos con tales fines.

Por tanto, el presente capítulo pretende realizar la determinación de la variación de tiempo que se llevará para la separación de glicerina del combustible por coagulación electrostática a través de diferentes voltajes y distancias entre electrodos.

Objetivo General

Determinar la variación del tiempo de separación de la glicerina del biodiesel por coagulación electrostática aplicando diferentes voltajes y distancias entre electrodos.

Objetivos específicos

- Determinar las condiciones en que se aplicará campos eléctricos para la separación de la glicerina del biodiesel.
- Establecer los voltajes y separación entre electrodos que se serán sometidos bajo ensayo.
- Determinar la combinación de voltaje y separación entre electrodos más adecuada que permita la separación de la glicerina del biodiesel.

Hipótesis general

La aplicación de distintos voltajes y distancias entre electrodos tendrá un efecto individual y combinado sobre el tiempo de separación de la glicerina y biodiesel por coagulación electrostática de la glicerina.

Población y muestra

Universo: estuvo constituido por las mezclas de biodiesel y glicerina que se obtienen a la salida del reactor de producción de biodiesel a partir de aceite vegetal, previa separación del exceso de metanol.

Población: se utilizaron muestras sintéticas que se formularon con 10% v/v de glicerina y 90% de biodiesel. La glicerina fue del grado comercial y el biodiesel se obtuvo de la unidad de producción de biodiesel de la Universidad Agraria La Molina. La composición utilizada se asemeja a la composición con que sale la emulsión glicerina en biodiesel del reactor de transesterificación. Se preparó un total de 9 litros de mezcla glicerina-biodiesel. Para ayudar a formar la emulsión se utilizó licitina en una dosis de 2 gramos por litro.

Muestra: para cada ensayo se utilizó un litro de mezcla sintética de glicerina en aceite. Para cada muestra se aplicó los diferentes voltajes y distancias entre electrodos, haciendo tres repeticiones para cada muestra.

Operacionalización de variables

Distancias entre electrodos: se define como la separación entre los electrodos. Se ensayaron tres separaciones de los electrodos de cobre: 2 cm, 4 cm y 6 cm. Las distancias se fijaron haciendo la lectura con un vernier digital.

Voltaje aplicado: se define como el potencial eléctrico y se expresa en voltios. Se aplicó tres voltajes: 3000 V (100 mA), 6000 V (50 mA) y 9000 V (35 mA). Para la medición se utilizó un multímetro digital.

Tiempo de separación: definido como la duración que se tomó el proceso de separación de la glicerina del biodiesel cuando se aplicó las distintas combinaciones de distancias entre electrodos y voltajes. Se midió en segundo para lo cual se utilizó un cronometro.

Recolección de información

El método utilizado para la recolección de datos fue la observación estructurada, realizándose el registro sistemático en cuadros de comportamiento de las variables estudiadas (Voltaje aplicado, distancias entre electrodos y tiempo de separación). Los datos se recolectaron de acuerdo al siguiente esquema mostrado en la tabla 3.

Tabla 3

Distancia entre electrodos y voltaje aplicado

		VOLTAJE APLICADO (voltios)		
		V1	V2	V3
		3000 V	6000 V	9000 V
Distancia entre electrodos (cm)	D1	D1-V1	D1-V2	D1-V3
	2 cm	Tiempo separación	Tiempo separación	Tiempo separación
	D2	D2-V1	D2-V2	D2-V3
	4 cm	Tiempo separación	Tiempo separación	Tiempo separación
	D3	D3-V1	D3-V3	D3-V3
	6 cm	Tiempo separación	Tiempo separación	Tiempo separación

Método de construcción del separador electrostático y procedimiento

Construcción de separador electrostático

Como separador electrostático se utilizó un depósito cilíndrico de PVC transparente

de 1.5 litros de volumen total. El depósito tuvo una base de 10 cm de diámetro y una boca de 8 cm de diámetro. La altura total del cilindro fue 18 cm.

Al depósito se adaptó una regla que permitió graduar el volumen del separador electrostático de 0 a 1 litros, con separaciones de 10 ml. Esto permitió hacer el seguimiento del volumen de separación de la glicerina en todo instante.

Como electrodos se utilizó dos barras de cobre de 13 cm de largo, 3.5 cm de ancho y 2 mm de espesor. Para tener una separación fija entre los electrodos, estos se sostuvieron sobre un juego de barras de plástico con graduaciones de 2, 4 y 6 cm.

Como fuente poder se construyó un trasformador de corriente eléctrica de 220 V a voltajes superiores con regulación fina a 3000 V (100 mA), 6000 V (50 mA) y 9000 V (35 mA). La corriente empleada fue corriente alterna.

Procedimiento

Primero se preparó un litro de la emulsión de glicerina en biodiesel con ayuda de lecitina como emulsitificante. Se utilizó 10% (v/v) de glicerina y 2 gramos de lecitina. Para la preparación se utilizó un agitador magnético regulado a 500 rpm y se agito hasta que la mezcla se puso de aspecto lechoso.

Se llenó el equipo de separación electrostático con la emulsión y se conectó el transformador a la alimentación de electricidad. Se prendió el cronómetro y se registró el tiempo que se logró separar la emulsión a totalidad observado que llegue hasta los 100 ml de glicerina. La observación se facilitó porque la glicerina tiene un aspecto más oscuro que el biodiesel.

En todo momento se tuvo cuidado de medir que el voltaje empleado este en los niveles propuestos. Por el calentamiento que se produce en el transformador, se tuvo que dejar enfriar por 30 minutos para realizar el otro ensayo.

Resultados y discusión

La glicerina utilizada fue del grado comercial de "alta gravedad" que según sus especificaciones tiene una concentración superior a 99.0% en peso de glicerina.

El biodiesel utilizado, adquirido de la Planta de producción de Biodiesel de Universidad Agraria La Molina (UNALM), presentó el análisis que se muestra en la Tabla 4. En esta tabla se presenta a modo de comparación los valores de la Norma USA para el biodiesel (ASTM D-6751) y de Norma Europea para el biodiesel (D6751-09).

Tabla 4

Caracterización del biodiesel adquirido y comprobación del cumplimiento de normas

Parámetro	Unidades	Biodiesel de palma (UNALM)	Norma USA biodiesel ASTM D-6751	Norma EU biodiesel 14214-2008
Punto de inflamación	**°C, mín.**	154	150	93
Agua y sedimentos	% vol, máx	0.070	0.05	0.05
Carbón Conradson	% masa, máx.	0.41	0.05	0.03
Cenizas	% masa, máx.	0.006	-	0.003

Temperatura de destilación	Al 90%, °C	343	360	350
Viscosidad cinemática 40°C	cSt	4.0	1.9 – 6.0	3.5
Corrosión lámina de cobre	máx.	N° 1ª	N° 3	N° 1
Número de cetano	mín.	48.6	47	51
Azufre	% masa, máx	0.03	0.05	0.01

De acuerdo a los datos de la Tabla 2, el biodiesel utilizado en el presente experimento cumple con mayor proximidad las características de la Norma USA, ASTM D-6751.

En la Tabla 3 se resume los promedios de los tiempos logrados durante la separación electrostática empleando la combinación de tres voltajes (3000 V, 6000 V y 9000 V) y tres distancias entre electrodos (2 cm, 4 cm y 6 cm). Los valores originales registrados para cada combinación y repeticiones se muestran en la tabla 5.

Tabla 5

Tiempo empleado (segundos) para la separación electrostática de glicerina emulsionada con biodiesel con diferentes voltajes y distancias entre electrodos.

		Voltaje aplicado (voltios)		
		V1 3000 V	V2 6000 V	V3 9000 V
Distancia entre electrodos	D1 2 cm	17	13	8
		18	12	9
		16	14	8
	D2 4 cm	32	21	10
		30	23	12
		33	22	9
	D3 613 cm	47	31	18
		44	32	21
		45	30	19

Por otra parte, la tabla 6 muestra los valores promedios del voltaje aplicado y las distancias consideradas en el ensayo.

Tabla 6

Tiempo promedio de separación electrostática de emulsiones de glicerina en biodiesel empleando combinación de voltajes y distancias entre electrodos

		Voltaje aplicado (voltios)		
		V1 3000V	V2 6000 V	V3 9000 V
Distancia entre electrodos	D1 2 cm	17.00	13.00	8.33
	D2 4 cm	31.67	22.00	10.33
	D3 6 cm	45.33	31.00	19.33

De la Tabla 6 se observa que el menor tiempo de separación de la emulsión de glicerina en biodiesel fue de 8.33 segundos, y se logró con la combinación de 9000 V y una separación entre electrodos de 2 cm. En cambio, el tiempo más prolongado para lograr la misma separación fue de 45.33 segundos y se logró aplicando un voltaje de 3000 V y una distancia entre electrodos de 6 cm. Este comportamiento corrobora lo observado por Noik y colaboradores (2006) quienes indicaron que un mayor campo eléctrico tiene una influencia directa sobre el tiempo de separación de emulsiones de agua en aceite. Se debe tener en cuenta que el campo eléctrico es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la distancia entre electrodos.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que los tiempos logrados en la separación electrostática de la emulsión de glicerina en biodiesel son muchos menores que los tiempos

que se logran aplicando tecnologías tradicionales. Por ejemplo, los tiempos que se logran en un coalescedor mecánico varía entre 1 a 2 horas (Santacesaria *et al*, 2012). En un sedimentador por gravedad la separación se toma cerca de un día (Hawash, 2016).

La tecnología más cercana en tiempo de separación es la centrifugación, que toma sólo minutos para lograrlo. Sin embargo, el consumo de energía eléctrica elevado los costos de producción. Por ejemplo, según catálogo de fabricante de centrifugas se necesita un motor de 22 kW para procesar de 5 a 17 toneladas por día de biodiesel (Alfa Laval, 2014).

Los procesos que demoran sólo segundos para separar la emulsión de glicerina en biodiesel son los que emplean agentes químicos conocidos como líquidos iónicos (Shahbaz, *et al.*, 2015), pero el inconveniente es la contaminación del producto principal (el biodiesel) y el subproducto (glicerina).

La tecnología empleada en la presente investigación se considera una tecnología limpia debido a que no se usa otros reactivos y no se produce tampoco otros componentes, asegurando que el biodiesel y glicerina obtenidos sean de alta pureza.

Prueba de hipótesis

H1: La aplicación de distintos voltajes y distancias entre electrodos tendrá un efecto individual y combinado sobre el tiempo de separación de la glicerina y biodiesel por coagulación electrostática de la glicerina.

H0: La aplicación de distintos voltajes y distancias entre electrodos no tendrá un efecto individual y combinado sobre el tiempo de separación de la glicerina y biodiesel por coagulación electrostática de la glicerina.

En la Tabla 7 se presenta el análisis factorial de la varianza del tiempo de separación establecido por las combinaciones de los valores de las variables VOLTAJE y DISTANCIA.

Se aceptará la hipótesis alterna H1 si el p-valor es menor a 0.05. En caso contrario, se rechazará la hipótesis alterna y se aceptará la hipótesis nula H0.

Tabla 7

Análisis factorial de varianza del tiempo de separación electrostática aplicando diferentes voltajes y distancias entre electrodos

Origen	Suma de cuadrados tipo II	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3464,667a	8	433,083	285,201	,000
Intersección	13068,000	1	13068,000	8605,756	,000
VOLTAJE	1568,000	2	784,000	516,293	,000
DISTANCIA	1649,556	2	824,778	543,146	,000
VOLTAJE * DISTANCIA	247,111	4	61,778	40,683	,000
Error	27,333	18	1,519		
Total	16560,000	27			
Total corregida	3492,000	26			

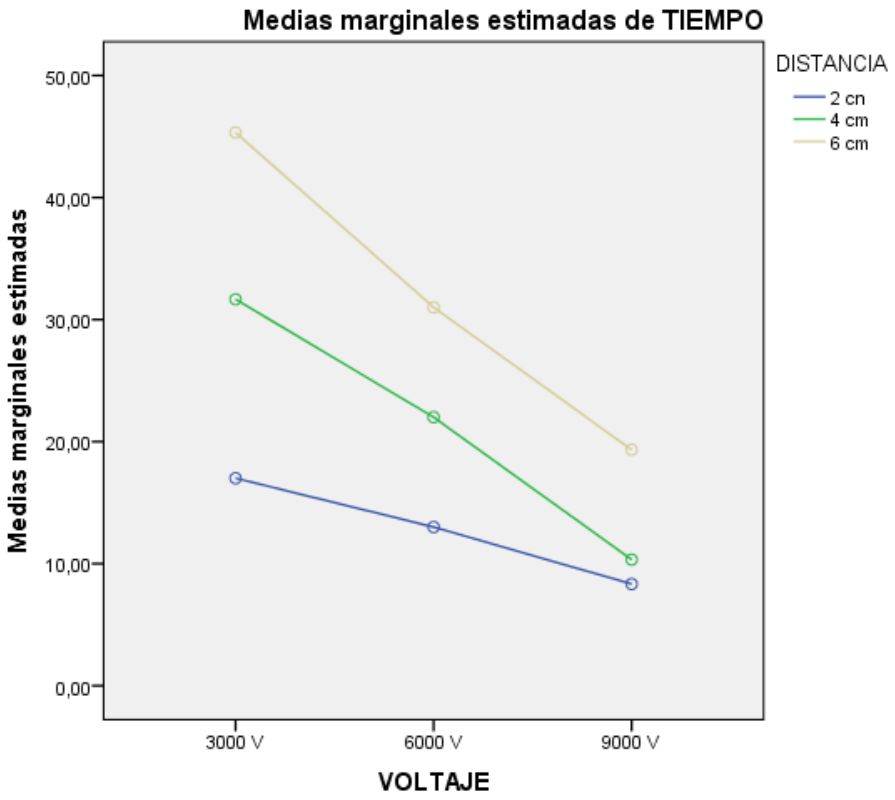
Nota. a. R cuadrado = ,992 (R cuadrado corregida = ,989)

De los resultados de la Tabla 7, según los valores de significancia menores de 0.05, se puede asegurar con una confianza de 95% que las variables ensayadas, voltaje y distancia entre electrodos afectan el tiempo de separación de las emulsiones de glicerina en biodiesel, tanto en forma individual como combinados. Con los valores de F obtenidos se concluye que el factor que más influencia tiene en forma individual es la distancia entre electrodos, aunque no muy distante del efecto individual del voltaje aplicado. Es decir, con base a estos resultados se aprueba la hipótesis que la aplicación de distintos voltajes y distancias entre electrodos tendrá un efecto individual y combinado sobre el tiempo de separación de la glicerina y biodiesel por coagulación electrostática de la glicerina.

El valor de F combinado es menor que los valores individuales, dando como conclusión que el efecto combinado de los dos factores ensayados es menor que los factores individuales. Lo que se acaba de deducir se puede comprobar con las representaciones de las figuras 12 y 13.

Figura 12

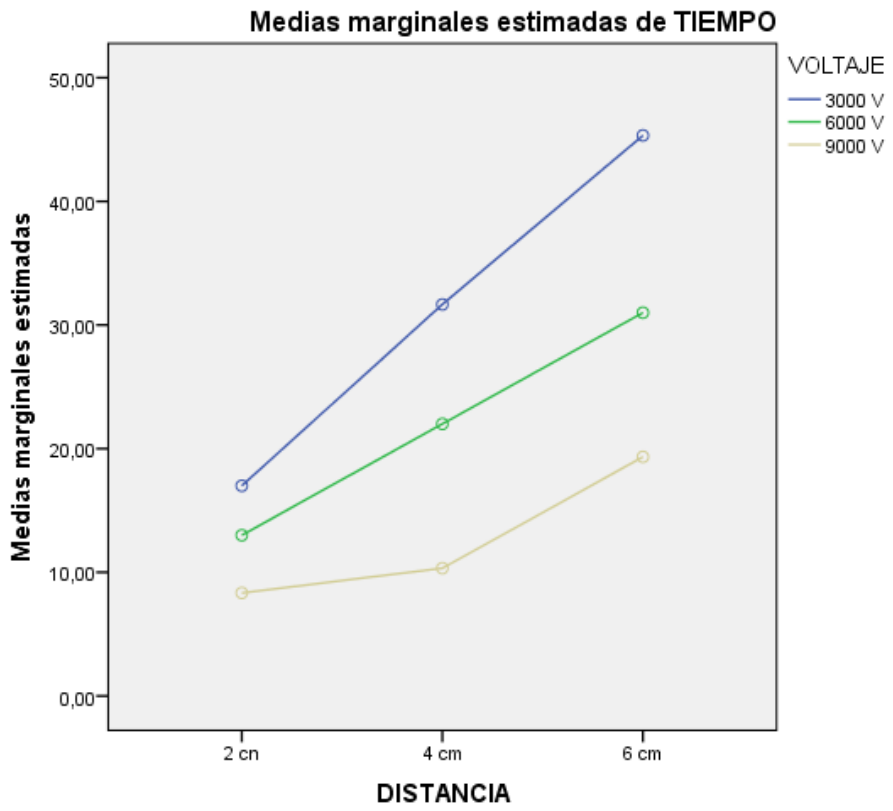
Efecto individual del voltaje aplicado durante la separación electrostática de una emulsión de glicerina en biodiesel



De la figura 12, se observa que hay una mayor pendiente similar para las distancias entre electrodos de 4 y 6 cm, lo que demuestra una mayor influencia del voltaje aplicado. Sin embargo, para la distancia de 2 cm la pendiente es menor, lo cual se interpreta como que el voltaje aplicado tiene una menor influencia. Por otro lado, para el voltaje de 9000 V, existe una cercanía entre los tiempos logrados en la separación de la emulsión, lo que indicaría que se puede ajustar el voltaje a valores menores de 9000 V con fines de ahorrar energía.

Figura 13

Efecto individual de la distancia entre electrodos durante la separación electrostática de una emulsión de glicerina en biodiesel



De acuerdo a la figura 13 cuando se aplica el voltaje más bajo, la distancia entre electrodos tiene una mayor influencia que cuando se aplica 9000 V. Esto se deduce por las pendientes mostradas para cada voltaje, y se comprueba otra vez más lo mencionado anteriormente con la figura 12.

La tecnología empleada en este proyecto se puede considerar limpia debido a que no se utiliza reactivos químicos, y además se consume una energía muy baja. Considerando que la combinación que dio mejores resultados fue 9000 V (35 mA) y 2 cm de distancia

entre electrodos, lográndose un tiempo de 8.33 segundos, el consumo de energía calculado para un litro de solución llega a aproximadamente 7.29 x 10^{-4} kW-h. Para un volumen de 200 litros (capacidad de una centrifuga) el consumo seria 0.146 kW-h. En cambio, una centrifuga para 200 litros con una demora de 2 minutos y una potencia instalada de 20 kW el consumo seria de 0.67 kW-h, un valor de casi 4.5 veces mayor que la energía que se consumiría en un separador electrostático.

Conclusiones

- Se estableció que existe efecto individual y combinado de voltaje y distancia entre electrodos sobre el tiempo de separación electrostática de una emulsión de glicerina en biodiesel. El mayor efecto lo ejerció la distancia entre electrodos, seguido del voltaje, y menos efecto tuvo la combinación de voltaje y distancia entre los electrodos.

- Se ensayó la combinación factorial de tres voltajes (3000 V, 6000 V y 9000) y tres distancias entre electrodos (2 cm, 4 cm y 6 cm), dando para todos los tiempos de separación aceptables desde 45.33 hasta 8.33 segundos, y con bajo consumo de energía debido a que los amperajes utilizados fueron muy bajos (100, 50 y 35 mA).

- La combinación que logro el menor tiempo (8.33 segundos) fue 9000 V (35 mA) y una distancia entre electrodos de 2 cm.

- Se considera que es una tecnología limpia con bajo consumo de energía. Según cálculos aproximadamente se consumiría 4.5 veces que la tecnología de centrifugas con el mismo fin.

Recomendaciones

- Recomendar la aplicación de la separación electrostática como tecnología limpia en la etapa de separación de la emulsión de glicerina en biodiesel.

- Ensayar otras combinaciones de electrodos, por ejemplo, hierro-aluminio, acero inoxidable-hierro.

- Ensayar con emulsiones reales, para medir la influencia de otras sustancias presentes en una emulsión real.

- Realizar una evaluación económica detallada del beneficio de esta tecnología limpia para ser usada a nivel industrial.

V

CONTRIBUCIÓN DE LA ELECTROSTÁTICA EN LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL ANTE LA SEPARACIÓN DE EMULSIONES

La reducción de reservas de recursos energéticos como el petróleo y con ello la volatilidad de los precios que lleva dicho combustible ha generado que diversas naciones tengan la necesidad de llevar a cabo una exhaustiva búsqueda de nuevas fuentes de energía combustible, las cuales además no deban ser contaminantes considerando que la sociedad se encuentra en medio de una era que protege la naturaleza, por lo que estas nuevas producciones pretenden además minimizar los gases de efecto invernadero.

Ante el constante crecimiento de ciertas economías, sectores industriales, agrícolas y demás que requieren una alta demanda de combustible, ya sea para formar electricidad, o en su debido caso como combustible líquido para transporte; es por ello que ante dicha demanda se producen matrices energéticas donde se contempla el uso de energía renovable a partir de biomasas residuales como residuos agroindustriales, aceites vegetales entre otros.

En este sentido, una de las fuentes de energía que se utilizará durante los últimos años contemplados bajo la normatividad de diversas naciones para hacer uso de diesel de petróleo, siendo este el biodiesel, el cual es un combustible que se obtiene a partir del procesamiento de aceites vegetales con otras sustancias químicas como el metanol y catalizadores.

Aun cuando el biodiesel representa una ventaja para el ser humano y la industria considerando que este tiene la capacidad de mitigar gases que producen efecto invernadero,

su nivel de producción ha estado obstaculizado debido a los altos costos comparados al diésel de petróleo, ello se debe básicamente a la poca disponibilidad que se tiene de la materia prima, además de los costos de procesamiento.

De este modo, las materias primas como son los aceites no comestibles se consideran fuentes positivas para la producción de biodiesel, sin embargo, su uso estará limitado dado que no ha podido obtenerse un suministro continuo del mismo; frente a tal problemática en la producción se plantea tres posibles mejoras para reducir los costos de la producción del combustible, siendo el primero, utilizando aceites no comestibles de bajo costo como el aceite vegetal, grasas animales u otros; la segunda se dará a través del uso de técnicas de procesamiento eficiente que tenga alto rendimiento en menos tiempo de reacción para la formación de metilester, lo que permitirá a su vez reducir los costos simultáneamente e incrementar el rendimiento; respecto a la tercera posibilidad corresponde a la integración progresiva de subproductos de transesterificación como gliceroles que representan productos de valor añadido.

Es así que los biocombustibles son los nuevos mecanismos de energía que reducen las emisiones de gases nocivos y de efecto invernadero fortaleciendo así a las industrias como puede ser en la producción agrícola, lo que a su vez se refleja en la calidad de productos.

Además, su producción representa un factor de sustentabilidad, por lo que su producción implicará el uso de materia prima principalmente agrícola residual, lo que lo convierte en una de las mejores alternativas para la formación de nuevo combustible.

De acuerdo a Fuentes (2018) la creciente demanda de producción de biodiesel implica que se desarrollen también nuevas técnicas en la industria que desarrollen esfuerzos para lograr una producción sostenible y ecoamigable asegurando de este modo la sostenibilidad de los recursos a largo plazo, es por ello que, para lograr tales objetivos se adaptan principios ecológicos, los cuales se orientan básicamente en un diseño y optimización de las reacciones químicas respecto a la energía, materiales, reducción de residuos tóxicos y viabilidad a nivel económico para el desarrollo de los procesos.

Cabe resaltar que dichos principios se centrarán en el uso de sustancias menos tóxicas de tal modo que se produzca un trabajo de bajo riesgo, incrementando además el nivel de efectividad del proceso; dichos procesos se aplicarán principalmente para la evaluación de rendimiento de las reacciones individuales, procesos químicos y diseños de rutas en diferentes procesos disciplinarios.

Por tanto, el impacto medioambiental representa uno de los factores más utilizados para la medición del índice de aceptabilidad de algún proceso químico, el cual expresará la relación que se forma entre la cantidad de residuos generados en el proceso del combustible excluyendo el agua.

A pesar de sus ventajas, las dificultades se centran en los altos costos que tiene su producción aun cuando este representa una materia amigable con el medio ambiente lo que podría entenderse que la producción se da de manera natural y de bajo costo, es por ello que se planteará un procedimiento que pueda reducir los costos totales del proceso, así como la reducción de los impactos en el medio ambiente que se dará durante el proceso de transformación.

Siendo así, el método de separación electrostática es considerado un proceso de tecnología limpia, el cual no hará uso de sustancias reactivas y agua, considerándose que es un elemento cada vez más escaso para la industria; por lo que dicho proceso se llevará a cabo a través de la separación por gravedad y la centrifugación.

Cabe resaltar que el desenvolvimiento de dichos procesos implica altos costos debido al consumo de energía que se utiliza durante el proceso, es por ello que el método de separación electrostática al hacer uso de la separación por gravedad, se convertirá en un procedimiento que reduciría los costos de conversión, además de que también representa un proceso amigable con el medio ambiente, sin embargo, su desventaja radica en el tiempo prolongado en el que se obtendrá el producto final.

Por su parte Llanes *et al* (2017) añaden que la producción de biodiesel, independientemente del tratamiento representa una sustancia biodegradable, no explosiva, ni inflamable ni toxica, cuya combustión lleva bajos niveles de emisión de gases como CO2, NOx, Sox y materiales particulados; es por ello que este combustible ha demostrado ser bueno para motores de combustión al ser mezclado con diesel que provenga de combustibles fósiles.

Mientras tanto Vidal, Quintero y Herrera (2016) distinguen que la producción de biodiesel permite reducir los impactos medioambientales negativos en el transcurso de su proceso considerándose que se hace uso de materiales reciclados, por lo que la carga negativa en cuestión de contaminación se relaciona directamente con la materia prima que se utilizará, sin embargo, el proceso de separación electrostática representa una de las mejores ventajas para la producción del combustible.

Ello se debe también a que se hará un menor uso de maquinaria para la producción del combustible, lo que a su vez también significa la reducción de costos en equipos optimizando además el proceso de separación, de tal manera que la producción del mismo se dará por vías naturales minimizando el impacto negativo sobre el medio ambiente, más allá de la toxicidad que tenga sus materiales antes de ser procesados.

Es por ello que el rendimiento a nivel energético del proceso será positivo lo que manifiesta la viabilidad del procedimiento que pueda convertir elementos altamente contaminantes en materia prima con bajas cargas ambientales de tal modo que dicho proceso será un camino para la conversión de materia prima en energía para la industria.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

Bases físicas de los fenómenos bioeléctricos. Unidad 5: Electricidad (s. f). Universidad Nacional de Santiago del Estero. https://www.unse.edu.ar/archivos/Biofsica-Unidad%205%20Electricidad-versin%201.0.pdf

Electrostática. Unidad 5 (s. f.). Santillana. http://italofisica.weebly.com/uploads/1/0/8/5/108576239/electrostatica_ce_potencial_electrico.pdf

Abeynaike, A., Sederman, A., Khan, Y., Johns, M., Davidson, J., & Mackley, M. (2012). The experimental measurement and modeling of sedimentation and creaming for glycerol/biodiesel droplet dispersions. *Chemical Engineering Science*, 79, 125–137. https://doi.org/10.1016/j.ces.2012.05.036

Alfa Laval, (2014). BD 55. Separation system for biodiesel processing. Catalogue PCHS00001EN 0603.

Alva, M., Cipra, P., (2015). *Estudio comparativo de los biodiesel, obtenidos a partir de metanol y etanol y su adaptación a escala piloto.* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional de la UNT. https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8993/AlvaBocanegra_M%20-%20CipraObeso_P.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20Biodiesel%20es%20un%20combustible,vegetales%20y%2Fo%20grasas%20animales.&text=Como%20combustible%2C%20el%20biodiesel%20puede,mezclado%20con%20di%C3%A9sel%20de%20petr%C3%B3leo.

Álvarez, H., Bautista, M. (2020). Emulsiones en alimentos y sus aplicaciones. *Presencia Universitaria, (14)*, 64–73. https://doi.org/10.29105/pu7.14-7

Andrade, C., Corredor, A., Buitrago, L., Lache, a. (2017). Procesos bioquímicos utilizados para la producción de bioetanol, biodiésel y biogás y su estado en. *Fundación Universidad de América, 3*(1). http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6444/1/COL0038496-2017-1-IQ.pdf

Bada, S., Tao, D., Honaker, R., Falcon, L. & Falcon, R. (2010). Paramétric Study of Electrostátic separation of South African fine coal. *Mining Science and Tecnology*, 20(4), 535-541. 10.1016/S1674-5264(09)60239-8

Balseiro, V. (2005). Seguridad electroestática (IV). *Seguritecnia, 303*, 90-95. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1069832

Barco, H., Rojas, E. & Restrepo, E. (2012). *Principios de electricidad y magnetismo.* Universidad Nacional de Colombia.

Belduma, E. (2017). Análisis y construcción de un circuito resistivo 3D con múltiples mallas, [Universidad Técnica de Machala] Repositorio Institucional UTMACHALA http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11123/1/TUAIC_2017_IS_CD0032.pdf

Castillo, O. Torres, S. nuñez, C., Peña, V., Herrer, C., Rodriguez, J. (2017). Producción de biodiésel a partir de microalgas: avances y perspectivas biotecnológicas. *Hidrobiológica, 27*(3). 337-352. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972017000300337

Castro, F. (2019). *Determinación del efecto del tipo de electrodo sobre las características de funcionamiento de una celda de combustible microbiana para la producción de energía eléctrica*, [tesis de titulación, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenta] Repositorio Institucional UPS https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17287/1/UPS-CT008245.pdf

Díaz, L. (2017). Voltaje, corriente y resolución de circuitos a través de las leyes de Maxwell, [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia] Repositorio Institucional UNAL https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/62253/1082862066.2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Eow, J., Ghadiri, M., Sharif, A. & Williams, T. (2001). Electrostatic enhancement of coalescence of water droplets in oil: a review of the current understanding. *Chemical Engineering Journal*, 84, 173–192. https://doi.org/10.1016/S1385-8947(00)00386-7

Fernández, L. (2016). *Concentración de una mena de grafito mediante separación electrostática.* [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña]. https://upcommons.upc.edu/handle/2117/90879

Firman, L., Ochoa, N., Marchese. J. Pagliero, C., (2018). Tratamiento de efluentes acuosos provenientes de la industria de biodiesel, utilizando tecnología de membranas. *Matéria*, *23*(2). https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-70762018000200492&script=sci_arttext&tlng=es

Fuentes, A., García, C., Hennecke, A. *et al.* (2018). Life cycle assessment of *Jatropha curcas* biodiesel production: a case study in Mexico. *Clean Techn Environ Policy* **20,** 1721–1733. https://doi.org/10.1007/s10098-018-1558-7

García, Y. (2019). *Material didáctico sobre el tema "Elementos del circuito. Leyes de Ohm y Kirchhoff" para los estudiantes de la carrera Ingeniería Eléctrica*, [trabajo de diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas] Repositorio Institucional UCLV https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/11831/Yariel%20Garc%c3%ada%20de%20la%20Osa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ghadiri, M., Martin, C., Arteaga, P., Tüzün, U. & Formisani, B. (2006). Evaluation of the single contact electrical clampingforce. *Chemical Engineering Science, 61*(7), 2290–2300. https://doi.org/10.1016/j.ces.2005.05.009

Gómez, D. (2016). *Aprovechamiento de la grasa bovina del Camal Frigorífico Municipal Ambato para la obtención de biodiésel como combustible de origen animal.* [tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Abato]. Repositorio Institucional UTA. http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23838/1/BQ%2099.pdf

Hawash, S., Attia, N., Abdel, K., y ElDiwani G. (2016). Quality Improvement of Produced Biodiesel and Glycerol from Jatropha oil Transesterification. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 5.

Hernández, J. Pinto, D., González, J. Pérez-García, N., Torres, J., Rengel, J. (2015). Nuevas estrategias para un plan de uso eficiente de la energía eléctrica, *Ciencia, Docencia y Tecnología, 28*, 54, 75-99 https://www.redalyc.org/pdf/145/14551170003.pdf

Hoyos, S., Cardona, C. y Dyner, I. (2017). Integración de fuentes no convencionales de energía renovable al mercado eléctrico y su impacto sobre el precio, *Ingeniería y ciencia, 13*(26), 115-146. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6254442

Huangal, S., Cieza, J. Gil, A. (2019). Separación Electrostática de una Emulsión de Glicerina en Biodiésel con Aplicación de Varios Voltajes y Distancias entre Electrodos. *Información tecnológica. 30*(5). 231-238. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500231

Huangal, S., Cieza, J. y Gil, A. (2019). Tecnologías eficientes de purificación del biodiésel crudo. *Industria química, 66*, 88-93. https://www.industriaquimica.es/articulos/20190318/tecnologias-eficientes-purificacion-biodiesel-crudo#.YIQvfR_itpg

Huk, C. (2013). *Propiedades fisicoquímicas de microemulsiones estabilizadas con caseinato de sodio*. [Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires]. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n5430_HuckIriart.pdf

IQR, Ingeniería química. (2020, 3 de junio). *¿Qué es la transesterificación?* https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/06/que-es-la-transesterificacion.html

Llanes, E., Rocha, J., Salazar, P., Medrano, J. (2017). Producción e impacto del biodiesel: una revisión. *Innova*, *2*(7). https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/229

Llobet, Salvador. (2017). Riesgos de ignición electrostática durante la manipulación de Contenedores Flexibles Intermedios en Zonas ATEX. *Euroásica*, 1-5. https://euroasica.com/wp-content/uploads/2017/03/EURO-Big-bags-art%C3%ADculo_3-170212.pdf

Lombana, J., Vega, J., Herrera, S., Britton, E. (2015). *Análisis del sector biodiésel en Colombia y su cadena de suministro.* Universidad del Norte https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=8bQ2CwAAQBAJ&oi= fnd&pg=PP1&dq=uso+de+biodiesel+en+el+mundo&ots=UvL36aDGcl&sig=OjM_Gqmqh72ZhC8W5STVy_sGbkc#v=onepage&q=uso%20de%20biodiesel%20en%20el%20mundo&f=true

Lopez, J. (2017). *Elaboración de jabón líquido para uso industrial a partir de glicerina, como subproducto de la obtención de biodiésel, en el laboratorio 101 del Departamento de Química de la UNAN-Managua, agosto a diciembre 2016.* Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managa]. Reposotorio Institucional UNAN. https://repositorio.unan.edu.ni/3797/1/51773.pdf

Márquez, R. y Salazar, J. (2009). *Diseño y simulación de un sistema hidráulico central automático de transporte y limpieza de fluido refrigerante*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1047&context=ing_automatizacion

Ministerio del Ambiente (2005). *Ley General del Ambiente.* https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf

Montesinos, A., Huertas, J., castellanos, M., Cardozo, J., Usos del biodiesel, bioetanol y biometanol. https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/631139/13_t6s3_c4_html_contex_2.pdf?sequence=1

Montilla, J. & Quiñones, M. (2010). *Variables de proceso que afectan la producción de la crema de leche.* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. https://repository.unad.edu.co/handle/10596/26443

Noik, C., Chen, J., Dalmazzone, C.S.H., January, 2006. Electrostatic demulsification on crude oil: a state-of-the-art review. Soc.Pet. Eng., SPE-103808-PP, 1–12

Novillo-Vicuña, J. (2018). Monitoreo inalámbrico de señales eléctricas de voltaje 110/220V a través de Arduino, *Alternativas, 19*,1, 55-62. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7028327

Ochoa, J., Avilés, L. & Monteblanco, E. (2018). Separación electrostática de minerales compuestos de tierras raras: Proyecto Capacasaya, Cusco.

Organización dela Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017). OCDE-FA Perspectivas Agricilas2017-2026. *OCDE.* http://www.fao.org/3/BT092s/BT092s.pdf

Ortiz, J. (2020*). Sistemas microfluídicos basados en gotas. Aplicaciones en el análisis gnómico celular.* [Tesis de Licenciatura, Universidad Los Andes]. https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/49056

Parra, R. (2015). Factor de emisión de CO_2 debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001-2014. *Avances, 7*(2) https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/269/270

Pereira, R. (2016). *Definiciones fundamentales*. [Diapositiva de PowerPoint]. Repositorio Material de Tecnológico de Costa Rica. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10130/Definiciones%20Fundamentales%20%28presentacion%29.pdf?sequence=1&isAllowed=yv

Pinto, P. (2020). Determinación y análisis de la influencia de electrolitos en emulsiones directas. [Tesis de Licenciatura, Universidad de los Andes]. https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/38947

Polich, N. (2019). *Glicerol, residuo de la producción de biodiesel: posibles alternativas como materia prima para productos de mayor valor agregado* [tesis de maestría, Universidad Nacional del Litoral] Repositorio Internacional UNL https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/1207/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ramírez, J., López, H. y Vázquez, N. (2014). Control en lazo cerrado de un Inversor Multinivel Alimentado de Corriente. *Pistas Educativas, 35*(108). http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/1417

Ramos, H. (2020). *Electricidad y magnetismo.* [presentación de diapositivas]. Universidad Tecnológica de Tecámac. http://ri.utn.edu.mx/bitstream/handle/123456789/649/Tema%202.1%20Carga%20y%20Fuerza%20El%C3%A9ctrica.pdf?sequence=1

Real Academia Española (s. f). Electrodo. *Diccionario de la Real Academia Española.* Recuperado de 06 de abril del 2021 https://dle.rae.es/electrodo?m=form

Real Academia Española (s. f.). Voltaje. *Diccionario de la Real Academia Española*. Recuperado en 05 de abril de 2021 https://dle.rae.es/voltaje?m=form

Rincón, I., Cadena, W., Flórez, M. (2015). Diseño y construcción de un analizador de redes eléctricas para sistemas trifásicos de bajo voltaje. *I+D Revista de Investigación, 6* (2), 57-75. https://udi.edu.co/revistainvestigaciones/index.php/ID/article/view/26/23

Rubí, H. (2007). *Tratabilidad de las aguas residuales de talleres de lavado y engrasado: desemulsificación química.* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de México]. https://core.ac.uk/download/pdf/159778397.pdf

Salazar, A. (2013). Leyes de voltajes y corrientes de Kirchhoff. Editorial: Universidad de los Andes. https://es.scribd.com/doc/134311937/02-Leyes-de-Voltajes-y-Corrientes-de-Kirchhoffs

Santacesaria, E., Vicente, G., Di Serio, M. y Tesser, R. (2012). Main technologies in biodiesel production: State of the art and future challenges. Catalysis Today, 195(1), 2-13.

Santiago, J. (2016). *Rev. Soc. Quím. Perú*, *82*(2). 103-104. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000200001

Sanz, S. (s. f.). *Emulsiones I.* Portal Farma. https://botplusweb.portalfarma.com/documentos/2017/4/11/114468.pdf

Shahbaz, K., Rashmi, W, Mjalli, F, Hshim, M., y Alnashef, I. (2015). Removal of glycerol from palm oil-based biodiesel using new ionic liquids analogues. Journal of Engineering Science and Technology EURECA Special Issue January, 98 – 111.

Tapia-Hernández, A., Ponce-Silva, M., Mondragón-Escamilla, N. y Hernández-González, L. (2016). Impacto de la Geometría en el Efecto Fin de Generadores Lineales, *Información Tecnológica, 27*(4), 133-138. https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v27n4/art14.pdf

Tecnológico de Monterrey (s. f.). *Ahorro de energía. Oportunidades de desarrollo de infraestructura para el ahorro*. Editorial: Tecnológico de Monterrey. https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/631554/8_t5s2_c8_pdf_1.pdf?sequence=1

Terreros, R. (2015). *Metodología del diseño de una red en media tensión subterránea, bajos normas Natsim*, [tesis de titulación, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil] Repositorio Institucional UCSG http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3764/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-51.pdf

Tipos de biodiesel en el mercado. (2020, 3 de setiembre) https://www.zoilorios.com/noticias/tipos-de-biodiesel-en-el-mercado

Vásquez, A., De la cruz, E., Coello, F., (2016). *Los biocombustibles: desarrollos recientes y tendencias internacionales.* Documento de Trabajo No 36, Gerencia de Políticas y Análisis Económico – Osinergmin, Perú. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Documentos_de_Trabajo/Documento-Trabajo-36.pdf

Velásquez, I. y Pereira, J. (2014). Emulsiones de agua en crudo. Aspectos Generales. Revista Ingeniería UC, 21(3), 45-54. https://www.redalyc.org/pdf/707/70732643007.pdf

Vértiz, E. (2017, julio-diciembre). *Electrostática* [presentación de diapositivas]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/prepa2/2018/electroestatica.pdf

Vettorel, S., Tabares, I. & Oliva, A. (2017). Electrostática 4to año. Instituto Politécnico, Universidad Nacional de Rosario.

Vidal-Benavides, A. I., Quintero Díaz, J. C., & Herrera-Orozco, I. (2017). Análisis de ciclo de vida de la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal usado. DYNA, 84(201), 155-162. https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.54469


EDITORIAL
TERCER SOL
MEXICO