



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**OBTENCIÓN Y USO DEL ACEITE DE CÁSCARA DE LIMÓN
COMO UNA NUEVA FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA
RENOVABLE PARA MOTORES DIÉSEL.**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES

MILTON VICENTE PAZMIÑO OSTAIZA

JONATHAN WALTER AVEMAÑAY LEMA

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**OBTENCIÓN Y USO DEL ACEITE DE CÁSCARA DE LIMÓN
COMO UNA NUEVA FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA
RENOVABLE PARA MOTORES DIÉSEL.**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: MILTON VICENTE PAZMIÑO OSTAIZA

JONATHAN WALTER AVEMAÑAY LEMA

DIRECTOR: Ing. PAUL ALEJANDRO MONTUFAR PAZ

Riobamba - Ecuador

2021

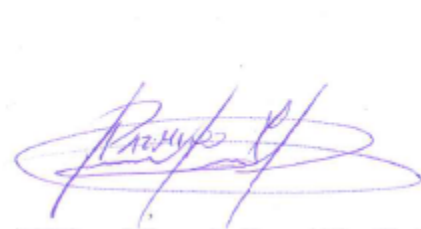
©2021. Milton Vicente Pazmiño Ostaiza & Jonathan Walter Avemañay Lema

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Milton Vicente Pazmiño Ostaiza y Jonathan Walter Avemañay Lema, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 26 de noviembre de 2021



Milton Vicente Pazmiño Ostaiza
1722981451



Jonathan Walter Avemañay Lema
1724334105

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **OBTENCIÓN Y USO DEL ACEITE DE CÁSCARA DE LIMÓN COMO UNA NUEVA FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA RENOVABLE PARA MOTORES DIÉSEL**, realizado por los señores **MILTON VICENTE PAZMIÑO OSTAIZA y JONATHAN WALTER AVEMAÑAY LEMA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2021/11/26
Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2021/11/26
Ing. Javier José Carrión Gavilanes MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2021/11/26

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Vicente Pazmiño y Gloria Ostaiza quienes con su amor, enseñanza, esfuerzo, dedicación y confianza me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo, esfuerzo, valentía y las garras de lucha de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre, a mi hijo Dereck Pazmiño por ser mi más grande motor ya que con su amor, cariño y confianza me dio aún más motivos para seguir en la lucha de cumplir mi sueño y a mi hermana Marjorie Pazmiño por su ternura, amistad, comprensión, cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso.

Milton Vicente

Este trabajo investigativo está dedicado para:

Mi madre Rosa Lema la cual en todo este tiempo me brindo su amor, confianza, fuerzas para seguir adelante y hoy poder estar aquí frente de ella y decirle una vez más gracias madrecita mía sin ti no lo hubiese podido lograr, te amo y esta tesis es tuya mamita.

Jonathan Walter

AGRADECIMIENTO

Principalmente quiero empezar agradeciéndole a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. Segundo les agradezco a mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes pude logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Son mi más grande orgullo y es para mí un privilegio ser su hijo

Tercero les agradezco a mi hermana por estar siempre presente, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindo a lo largo de esta etapa de mi vida.

Milton Vicente

Primero quiero empezar agradeciéndole a mi padre a mi creador a Dios, por darme vida y poder estar hoy aquí frente a ustedes y poder brindarles mi trabajo de investigación.

Segundo quiero Agradécele a mi madre, padrastro, y hermanos por el apoyo que brindaron en todo este tiempo y darme fuerzas para hoy poder cumplir un anhelo más en mi vida los amo gracias familia.

Y por último quiero agradecer a mis profesores y amigo que de una u otra manera me brindaron apoyo cuando más los necesite.

Jonathan Walter

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
1.5. Alcance.....	5

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1. Generalidades de los Biocombustibles.....	6
2.1.1. <i>Origen del Biocombustible – La Biomasa</i>	6
2.1.1.1 <i>Biomasa natural</i>	7
2.1.1.2 <i>Biomasa residual</i>	7
2.1.1.3 <i>Biomasa producida</i>	8
2.1.2. <i>Procesos de conversión de la biomasa en energía</i>	8
2.1.3. <i>Procesos termoquímicos de conversión energética</i>	8
2.1.3.1. <i>Combustión</i>	9
2.1.3.2. <i>Gasificación</i>	9
2.1.3.3. <i>Pirolisis</i>	10
2.1.4. <i>Procesos bioquímicos de conversión energética</i>	10
2.1.4.1. <i>Procesos anaeróbicos</i>	11

2.1.4.2.	<i>Procesos aeróbicos</i>	11
2.2.	Biomasa con base a residuos orgánicos frutales	12
2.2.1.	<i>Materia prima lignocelulósica</i>	12
2.2.2.	<i>Procesos de pretratamiento de la biomasa lignocelulósica.</i>	14
2.2.2.1.	<i>Pretratamiento mecánico</i>	14
2.2.2.2.	<i>Pretratamiento térmico</i>	14
2.2.2.3.	<i>Pretratamiento con vapor de agua</i>	14
2.2.2.4.	<i>Pretratamiento con agua caliente</i>	15
2.2.2.5.	<i>Pretratamiento ácido</i>	15
2.2.2.6.	<i>Pretratamiento alcalino</i>	15
2.3.	Características Energéticas de la Biomasa	16
2.3.1.	<i>Composición química</i>	16
2.3.2.	<i>Contenido en humedad</i>	17
2.3.3.	<i>Porcentaje en cenizas</i>	17
2.3.4.	<i>Poder Calorífico</i>	17
2.3.5.	<i>Densidad aparente</i>	18
2.4.	Aplicaciones energéticas de la Biomasa	18
2.4.1.	<i>Producción de energía térmica</i>	19
2.4.2.	<i>Producción de energía eléctrica</i>	19
2.4.3.	<i>Producción de gases combustibles</i>	19
2.4.4.	<i>Producción de biocombustibles</i>	20
2.5.	Biocombustibles, Definición y Tipología	20
2.5.1.	<i>Bioetanol</i>	21
2.5.2.	<i>Biodiesel</i>	22
2.6.	Biodiesel. Obtención y características principales	22
2.6.1.	<i>Biodiesel de primera generación</i>	23
2.6.2.	<i>Biodiesel de segunda generación</i>	23
2.6.3.	<i>Biodiesel de tercera generación</i>	23
2.6.4.	<i>Proceso de obtención de Biodiesel. La transesterificación</i>	23
2.6.5.	<i>Propiedades y caracterización del Biodiesel</i>	25
2.6.6.	<i>Normativas de calidad en la producción del biodiesel</i>	26
2.6.6.1.	<i>Biodiésel, n.</i>	27
2.6.6.2.	<i>Biodiésel mezcla, n.</i>	27
2.6.7.	<i>Comparativa de emisiones del biodiesel y el diésel convencional</i>	28

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	31
3.1.	Diagrama de etapas del proyecto	31
3.2.	Metodología de investigación a realizar	32
3.2.1.	<i>Tipos de investigación</i>	32
3.2.1.1.	<i>Investigación Bibliográfica</i>	32
3.2.1.2.	<i>Aplicada</i>	32
3.2.1.3.	<i>Experimental</i>	32
3.3.	Planificación o cronograma de actividades	33
3.3.1.	<i>Cronograma de actividades</i>	33
3.4.	Recursos y materiales	34
3.4.1.	<i>Materiales</i>	34
3.4.1.1.	<i>Limonas</i>	34
3.4.1.2.	<i>Agua</i>	34
3.4.2.	Equipos	35
3.4.2.1.	<i>Balanza electrónica</i>	35
3.4.2.2.	<i>Licuada</i>	35
3.4.2.3.	<i>Cocineta eléctrica</i>	35
3.4.2.4.	<i>Olla de presión</i>	35
3.4.2.5.	<i>Dean-Stark</i>	35
3.4.2.6.	<i>Tubo refrigerante</i>	36
3.4.2.7.	<i>Vehículo</i>	36
3.4.2.8.	<i>Dinamómetro de rodillo</i>	36
3.4.2.9.	<i>Analizador de gases (opacímetro)</i>	36
3.4.3.	<i>Recursos humanos</i>	36
3.4.4.	<i>Recursos económicos</i>	36
3.5.	Desarrollo del proyecto	37
3.5.1.	<i>Pretratamientos físicos</i>	37
3.5.1.1.	<i>Extracción de cáscara</i>	37
3.5.1.2.	<i>Pesaje de la cáscara</i>	38
3.5.1.3.	<i>Trituración</i>	38
3.5.1.4.	<i>Destilación por arrastre de vapor</i>	39
3.5.1.5.	<i>Obtención del aceite</i>	40

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	41
4.1.	Resultados obtenidos	41
4.1.1.	<i>Obtención de resultados</i>	41
4.1.1.1.	<i>Rendimiento</i>	41
4.1.1.2.	<i>Prueba de densidad</i>	42
4.1.1.3.	<i>Prueba de viscosidad</i>	42
4.1.1.4.	<i>Espectrofotómetro de infrarrojo</i>	43
4.1.1.5.	<i>Prueba flash point</i>	45
4.1.1.6.	<i>Primera prueba en el dinamómetro</i>	46
4.1.1.7.	<i>Segunda prueba dinamómetro</i>	47
4.1.1.8.	<i>Tercera prueba dinamómetro</i>	47
4.1.1.9.	<i>Primera prueba analizador de gases (opacómetro)</i>	48
4.1.1.10.	<i>Segunda prueba analizador de gases (opacómetro)</i>	49
4.1.1.11.	<i>Tercera prueba opacómetro</i>	49
4.1.2.	<i>Análisis de los resultados</i>	50
4.1.2.1.	<i>Análisis comparativo dinamómetro</i>	52
4.1.3.	<i>Especificaciones técnicas</i>	52
4.1.3.1.	<i>Ficha técnica</i>	52
	CONCLUSIONES	53
	RECOMENDACIONES	54
	GLOSARIO	55
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Tipos de biocombustibles según su composición.....	21
Tabla 2-2:	Caracterización de propiedades del Biodiesel	25
Tabla 3-2:	Normativa EN-14214	27
Tabla 4-2:	Normativa ASTM D6751-09.....	28
Tabla 5-2:	Emisiones medias de Biodiesel comparadas con Diésel convencional	28
Tabla 6-2:	Emisiones medias de Biodiesel Motor Diésel sin Intercooler	29
Tabla 7-2:	Emisiones medias de Biodiesel Motor Diésel con Intercooler	29
Tabla 8-2:	Emisiones medias de Biodiesel BD20 en motor 5.9L y 7.3L.....	30
Tabla 1-3:	Tipos de investigaciones aplicadas.....	32
Tabla 2-3:	Cronograma de actividades	33
Tabla 3-3:	Costos directos del proyecto.....	37
Tabla 4-3:	Costos indirectos del proyecto.....	37
Tabla 5-3:	Costos totales del proyecto.....	37
Tabla 1-4:	Ficha técnica comparativa entre diésel y aceite obtenido.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Fuentes de obtención de Biomasa.....	7
Figura 2-2:	Estructura de la biomasa lignocelulósica	13
Figura 3-2:	Aplicaciones energética de la Biomasa.....	18
Figura 4-2:	Principales biocombustibles líquidos.....	21
Figura 5-2:	Conversión de triglicérido a diglicérido.....	24
Figura 6-2:	Conversión de diglicérido a monoglicérido	24
Figura 7-2:	Conversión de monoglicérido a glicerol	24
Figura 8-2:	Reacción química global de transesterificación.....	25
Figura 1-3:	Diagrama esquemático del método de destilación por arrastre de vapor	34
Figura 2-3:	Pelado de cáscaras de limón.....	38
Figura 3-3:	Pesaje cáscaras de limón	38
Figura 4-3:	Trituración de la cascara de limón	39
Figura 5-3:	Destilación por arrastre de vapor	39
Figura 6-3:	Separación aceite y agua	40
Figura 1-4:	Medición de densidad	42
Figura 2-4:	Viscosímetro	42
Figura 3-4:	Pirómetro	43
Figura 4-4:	Espectrofotometría aceite de limón.....	44
Figura 5-4:	Espectrofotometría Diésel convencional	44
Figura 6-4:	Flash point.....	45
Figura 7-4:	Vehículo analizado en el dinamómetro.....	46
Figura 8-4:	Lectura de la segunda prueba al B10	47
Figura 9-4:	Lectura de la tercera prueba al B20	47
Figura 10-4:	Opacímetro.....	48
Figura 11-4:	Primera lectura opacímetro estándar.....	48
Figura 12-4:	Segunda lectura opacímetro al B10	49
Figura 13-4:	Tercera lectura opacímetro al B20.....	49

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Procesos termoquímicos de conversión energética de Biomasa.....	9
Gráfico 2-2:	Proceso y aplicaciones de la gasificación de Biomasa	10
Gráfico 3-2:	Proceso anaeróbico de transformación de Biomasa	11
Gráfico 4-2:	Productos de la biomasa lignocelulósica	13
Gráfico 5-2:	Etanol a partir de la biomasa lignocelulósica	16
Gráfico 6-2:	Porcentaje de variación de emisiones por Biodiésel	30
Gráfico 1-3:	Diagrama de etapas del proyecto.....	31
Gráfico 1-4:	Lectura de la primera prueba diésel convencional	46
Gráfico 2-4:	Cuadro comparativo en el dinamómetro	52

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CARACTERÍSTICAS DENSÍMETRO

ANEXO B: VISCOSÍMETRO

ANEXO C: PIRÓMETRO

ANEXO D: ESPECTRÓMETRO INFRARROJO

ANEXO E: OPACÍMETRO

ANEXO F: DINAMÓMETRO

RESUMEN

En el siguiente proyecto de tesis se obtuvo aceite de la cáscara de limón como una nueva fuente de energía renovable para motores a diésel, el mismo que se convertiría en un biodiesel con el objetivo de reducir las emisiones de gases en estos tipos de vehículos, cuyo proyecto se llevó a cabo en un laboratorio y mediante procesos físico-químicos se obtuvo 3 litros de aceite a partir de 300kg de cáscara de limón, en donde se utilizó la técnica de arrastre de vapor, dicho aceite fue evaluado y analizado para conocer su rendimiento, punto de inflamación, densidad y viscosidad, después de haber estudiado y obtenido los resultados de cada una de estas pruebas se procedió a la mezcla de éste aceite con el combustible para sus respectivas pruebas en el dinamómetro y opacímetro. Éste análisis se lo realizó en el vehículo de prueba y se las llevó a cabo en tres etapas; la primera prueba sin mezcla alguna del aceite, la segunda con la mezcla de aceite-diésel al 10% de aceite y 90% de diésel, la tercera y última con la mezcla al 20% del aceite y 80% de diésel, de igual forma se realizaron estas pruebas en el analizador de gases (opacímetro) para conocer sus niveles de contaminación en las tres condiciones ya antes mencionadas. Se pudo concluir que, entre las tres pruebas realizadas, la prueba con el 20% de aceite y 80% de diésel convencional se obtuvo el mejor resultado en cuanto a la mejora del torque, potencia y la reducción de los niveles de contaminación del vehículo en el cuál se puso a prueba. Se recomienda hacer uso de este nuevo biocombustible al 20% de mezcla ya que este mostró el mejor rendimiento en el vehículo.

Palabras clave: <ENERGÍA RENOVABLE> <BIODIESEL> <DESTILACIÓN>
<OPACÍMETRO> <BIOCARBURANTE> <PROCESOS FÍSICO-QUÍMICOS>.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

0488-DBRA-UPT-2022

2022-03-17

ABSTRACT

In the following thesis project, oil was obtained from the lemon peel as a new source of renewable energy for diesel engines, the same one that would become biodiesel to reduce gas emissions in these types of vehicles. The project was carried out in a laboratory, three liters of oil were obtained from 300kg of lemon peel through physical-chemical processes, where it was implemented the steam drag technique. This oil was evaluated and analyzed to know its performance, flash point, density, and viscosity. After studying and obtaining the results of each one of these tests, this oil was mixed with the fuel for its respective tests in the dynamometer and opacimeter. This analysis was carried out in the test vehicle, and developed in three stages; the first test without any mixture of oil, the second with the oil-diesel fuel mixture of 10% oil and 90% diesel, the third and last mixture of 20% oil and 80% diesel fuel. In the same way, these tests were carried out in the gas analyzer (opacimeter) to know their contamination levels in the three conditions already mentioned above. It was concluded that, among the three tests carried out, the test with 20% oil and 80% conventional diesel obtained the best result improving torque, power, and reducing the pollution levels of the vehicle in which it was tested. It is recommended to use this new biofuel at a 20% blend as it showed the best performance in the vehicle.

Keywords: <RENEWABLE ENERGY> <BIODIESEL> <DISTILLATION>
<OPAZIMETER> <BIOFUEL> <PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES>.



Firmado electrónicamente por:
PATRICIA PILAR
MOYOTA AMAGUAYA

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto técnico e investigativo se ha dirigido a la explotación de la novedosa fuente de energía renovable y biodegradable del aceite de la cáscara de los limones. La economía actualmente crece a un ritmo muy rápido y los combustibles fósiles de petróleo (CFP) juegan un papel muy importante en el sector automotriz, transporte y generación de energía, ya que generan un gran impacto en la economía a nivel mundial, dado que los precios de los combustibles fósiles de petróleo (CFP) han venido aumentando, el mundo tiene la necesidad de encontrar una fuente de energía alternativa más económica y que a su vez contribuya a la conservación del medio ambiente y la salud de las personas.

Es indudable que las fuentes de recursos petroleros están disponibles en unos pocos lugares en todo el mundo (Subramaniam, et al., 2013, p. 22). Y además que los combustibles a base de hidrocarburos en los vehículos son los principales causantes de la contaminación provocando el calentamiento global y otros impactos ambientales.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El consumo de los combustibles derivados del petróleo ha aumentado proporcionalmente con el aumento de la población y la industrialización, y esa también ha sido una gran desventaja ya que las emisiones de los gases contaminantes NO_x , SO_x , CO y de partículas también aumenta con el uso de los combustibles. Además su combustión ha aumentado los niveles del CO_2 en la atmósfera siendo la principal causante del calentamiento global. (Benemann, et al., 1982)

1.2. Planteamiento del problema

La problemática de la contaminación ambiental debido a las emisiones de gases que se encuentran en el aire y que son producidas por los automóviles, encontrándose como los más comunes son: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2), hidrocarburos, óxidos de azufre (SO_2 y SO_3) y ozono (O_3); entre otros. Existen diferentes fuentes que producen y liberan estos compuestos químicos en el ambiente, pero la principal de estas es la quema de combustible fósil (petróleo) (Herrera Roque & Condori Roque, 2019). El alto grado de agentes contaminantes en el ambiente tiene como consecuencia efectos nocivos para la salud en donde se pueden ver afectados los sistemas cardiovascular, respiratorio e inmunológico; y la salud en general. (Oyarzún G, 2010, p. 56)

El petróleo, siendo el combustible fósil más común y más utilizado, tiene una tendencia hacia la escasez. Esto nos conlleva a buscar una solución como lo es: en obtener biodiesel a partir del aceite de la cascara de limón para preparar diversas mezclas de aceite de cáscara de limón con diésel convencional con concentración volumétrica de 10% y 20% y realizar una comparativa del comportamiento uno entre la mezcla y diésel convencional y el otro solo del diésel convencional, estas comparativas se la realizaran en el dinamómetro de rodillo con los parámetros de torque y potencia y emisiones de gases.

1.3. Justificación

Dado que los precios de este combustible fósil han venido aumentando, el mundo tiene la necesidad de encontrar otra fuente de energía más barata que a su vez que contribuya a la conservación del medio ambiente y la salud de las personas.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores como: la salud, contaminación ambiental y en lo económico como puntos principales para este proyecto práctico, nos vemos en la necesidad de buscar una nueva alternativa y de experimentar con un nuevo biocombustible que es a base de la cascara de limón donde se extrae su aceite y utilizarlo como una nueva fuente de energía renovable.

Este producto beneficiario en un futuro a la salud, ambiente y economía del país, haciendo que su salud mejore al tener un aire menos contaminado y al tener la materia prima de este producto de primera mano, nos favorecería en lo económico a cada habitante que hace uso de este nuevo biocombustible.

Los biocombustibles representan en la actualidad una fuente potencial de energía renovable; además de que podrían generar nuevos y grandes mercados para los productores agrícolas (Hernández Rodríguez & Hernández, 2008). Además, los biocombustibles se producen a partir de cultivos agrícolas, que son fuentes renovables de energía.

Un paso fundamental para maximizar las oportunidades y las ventajas comparativas regionales, es dar seguimiento a los procedimientos de evaluación de impacto ambiental, que son instrumentos decisivos para la toma de decisiones. Los principales impactos están relacionados con incrementos en la demanda de insumos, recursos y energía, con los riesgos potenciales sobre la calidad del agua y la conservación del hábitat (Stachett, et al., 2007).

Una de las ventajas está en relación con la preservación ambiental, cualquier camino efectivo que lleve a una reducción del consumo de energía no renovable choca con la misma dificultad: la disminución de la ganancia o de los lucros extraordinarios, lo que negaría la esencia del libre mercado, la cual "puede" ayudar a innovar alguna cosa para vender (como por ejemplo los biocombustibles) que lo ayudará a "conservar", no obstante, el acto real de preservación ambiental mata los lucros (Recompensa, et al., 2008).

Actualmente se pretende sustituir todo el consumo de energía fósil (petróleo, gas natural y carbón) utilizando los biocombustibles, y que posee un conjunto de particularidades tales como: a) altísimo consumo de energía fósil, b) necesidad de utilizar grandes establecimientos agropecuarios y concentración de tierras c) uso intensivo de tecnologías y máquinas, d) daños ambientales en gran escala, e) alta concentración de capitales (Recompensa, et al., 2008).

La clave de la economía de la producción del biodiesel se encuentra en las materias primas utilizadas. En Colombia se han realizado varias investigaciones, a nivel de laboratorio y planta piloto, con el fin de obtener biodiesel a partir de diversas materias primas, tales como aceite de palma, aceite de higuera, aceites fritos y subproductos de la industria avícola. El aceite de higuera pertenece al grupo de materias primas consideradas estratégicas para la producción de biodiesel en el país. En lo referente a motores diésel, dadas las ventajas técnicas, estratégicas y ambientales que ofrece el biodiesel, constituye la mejor alternativa para sustituir parcial o totalmente al combustible diésel derivado del petróleo (Benavides, et al., 2007, p. 96).

El biodiesel ha alcanzado gran interés como fuente alternativa de energía, ya que presenta muchas características atractivas: no tóxico, biodegradable, no inflamable, técnicamente viable y competitivo económicamente. En Medellín, Colombia se modeló y simuló un biorreactor de membrana empleando un catalizador enzimático lipasa de *Cándida Antártica* para la obtención de biodiesel a partir de aceite de palma y etanol. Como resultado se obtuvo que el reactor de membrana con enzimas inmovilizadas sea la mejor opción para la producción de biodiesel. No solo porque se obtienen altas conversiones, sino también porque se minimiza el tiempo de residencia, además de presentar la separación simultánea a la reacción de reactivos y productos (Solano, et al., 2008).

A nivel regional Brasil se inserta internacionalmente como productor de biocombustibles, con un objetivo evidente: captar mercados que precisen una demanda de este tipo de energía por encima de su nivel de producción. Brasil es el mayor productor del mundo de etanol, a partir de la utilización de la caña de azúcar como materia prima, compartiendo su liderazgo con los Estados Unidos, que lo produce a partir del maíz. Brasil, además de producir etanol, produce biodiesel (De Paula & Cristian, 2009).

En Brasil, el Gobierno Federal estableció que, a partir del 2008, el biodiesel deberá ser añadido al gasoil en un 2% y a partir del 2013 el porcentaje se elevará al 5%. Por su parte la Unión Europea establece que para el 2010 todo el gas oíl expendido en Europa deberá contener un 10% de biodiesel (Aimaretti, et al., 2008).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Obtener el biodiesel a partir del aceite de la cáscara por el proceso de destilación por arrastre de vapor.

1.4.2. Objetivos específicos

Evaluar sus propiedades físicas y químicas, mediante un análisis de pruebas en el laboratorio, para determinar su idoneidad en motores diésel.

Establecer un análisis comparativo respecto a las curvas de torque y potencia, obtenidas por medio de un dinamómetro de rodillos teniendo en cuenta datos iniciales y los alcanzados luego de la mezcla aceite/diésel (B10, B20), para determinar su rendimiento.

Establecer un análisis comparativo respecto a las emisiones de gases, obtenidas por medio de un analizador de gases (Opacímetro) teniendo en cuenta datos iniciales y los alcanzados después de la mezcla aceite/diésel (B10, B20), para lograr una reducción de sus emisiones.

Evaluar la factibilidad técnica e importancia del biodiésel como combustible alternativo, para la producción de tipo piloto para su comercialización.

1.5. Alcance

De acuerdo con los lineamientos expuestos anteriormente, con el desarrollo del presente proyecto técnico se pretende y espera obtener de manera satisfactoria los siguientes resultados:

Obtener el biodiesel a partir del proceso de extracción por arrastre con vapor de los aceites esenciales de la cáscara de limón.

Mejorar el desempeño en función a los parámetros de torque y potencia, en los motores diésel y constatarlo por medio de mediciones en un dinamómetro de rodillos.

Reducir las emisiones de gases en los motores diésel y constatarlo por medio de mediciones en un analizador de gases (Opacímetro).

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Generalidades de los Biocombustibles

Actualmente, es de extendido conocimiento la tendencia mundial sobre la necesidad de obtención de nuevas formas de generación de energía no dependientes del origen fósil, principalmente en el sector automotriz. Es así que, tal como lo señala (Romero & Miralles, 2002, p. 112), generar energía con productos naturales vegetales o con residuos es una importante fuente a nuestro alcance, por un lado, para generar la energía necesaria por la industria, y por otro lado, poder reducir efectivamente la contaminación atmosférica causada por los motores de explosión.

Bajo esta premisa inicial se introduce la utilización de los biocombustibles, promocionados principalmente por ser una tecnología bastante desarrollada, y porque principalmente este biocombustible se puede obtener a partir de aceites vegetales reciclados, lo que implica un beneficio medioambiental de gran impacto.

2.1.1. *Origen del Biocombustible – La Biomasa*

Según lo define la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, el biocombustible es aquel combustible que se produce directa o indirectamente a partir de la biomasa. El término biomasa, se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en el proceso biológico de organismos recientemente vivos, como plantas, o sus desechos metabólicos (el estiércol); por lo que el concepto de biomasa comprende productos tanto de origen vegetal como de origen animal (Salinas Callejas & Gasca Quesada, 2009).

Cabe recalcar que, la energía de la biomasa proviene en última instancia del Sol, ya que los vegetales y los animales absorben y almacenan una parte de la energía solar que llega a la tierra en forma de alimento y energía. Cuando esto ocurre, también se crean subproductos que no sirven para los seres vivos ni pueden ser utilizados para fabricar alimentos, pero sí para hacer energía de ellos.

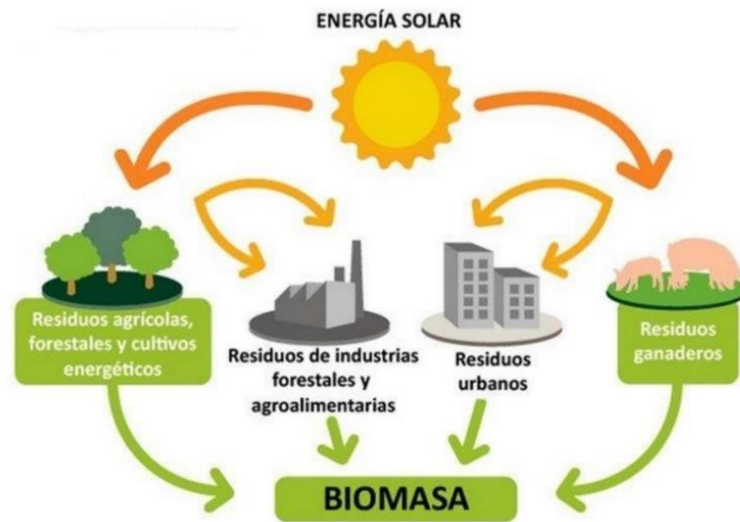


Figura 1-2. Fuentes de obtención de Biomasa

Fuente: (Fundación Endesa, 2018)

Como se puede deducir de grandes grupos:

Figura -2, la biomasa se puede clasificar en tres

2.1.1.1 Biomasa natural

Producida en la naturaleza sin la intervención humana. El 40 % de la biomasa que se produce en la Tierra, aproximadamente, está en los océanos. En la explotación de esta biomasa cabe vigilar el hecho de no explotar los recursos por encima de la tasa de renovación del ecosistema, ya que, si así fuese, el ecosistema se vería afectado de una forma irreversible y, con él, la supervivencia de la especie en interés.

Es importante mencionar que, tal como lo detalla (Romero & Miralles, 2002, p. 112), la extracción de biomasa de un ecosistema natural con la finalidad de usarla como combustible significa la liberación en la atmósfera de una cantidad de carbono equivalente que hasta entonces permanecía confinada en el seno del ecosistema natural; por tal razón, para la explotación de biomasa es preciso una planificación que sea sostenible.

2.1.1.2 Biomasa residual

Son residuos orgánicos provenientes de las actividades de la sociedad (residuos sólidos urbanos RSU por ejemplo). Las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, así como las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera, generan una serie de residuos y subproductos que son utilizables como biomasa para obtener energía. Otros materiales derivados de la biomasa

aprovechables por su valor energético son los residuos biodegradables (vertidos ganaderos, vertidos de aguas residuales, cienos de depuradora, etc.).

2.1.1.3 Biomasa producida

Son cultivos energéticos, es decir, provenientes de campos de cultivo de una especie en concreto con la finalidad principal del aprovechamiento energético. o. Los cultivos que suelen labrar con esta finalidad se caracterizan por dos aspectos concretos. Por una parte, por su alta producción por unidad de superficie y año y, por otra, por los pocos requerimientos que exige su cultivo.

2.1.2. Procesos de conversión de la biomasa en energía

Como se había indicado anteriormente, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y además de ello una gran variedad de compuestos volátiles.

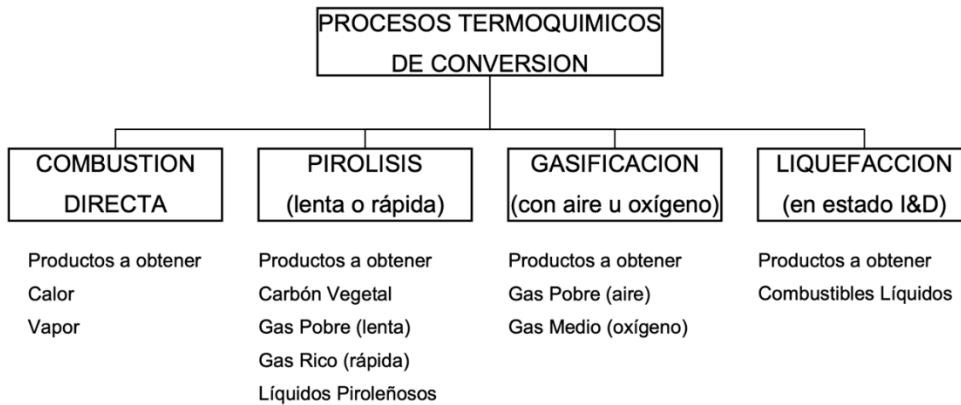
Es así que, según detalla la (Secretaría de Energía de Argentina, 2008), estos compuestos volátiles (formados por cadenas largas del tipo C_nH_m , y presencia de CO_2 , CO e H_2) son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa. El poder calorífico de la biomasa depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su humedad. Así normalmente estos valores de poder calorífico de la biomasa se pueden dar en base seca o en base húmeda.

Es importante mencionar que, en general, se puede considerar que el poder calorífico de la biomasa puede oscilar entre los 3000 – 3500 kcal/kg para los residuos ligno - celulósicos, los 2000 – 2500 kcal/kg para los residuos urbanos y finalmente 10000 kcal/kg para los combustibles líquidos provenientes de cultivos energéticos. Desde el punto de vista energético, entonces podemos dividir los procesos de conversión en dos grandes grupos: procesos termoquímicos y procesos bioquímicos.

2.1.3. Procesos termoquímicos de conversión energética

Corresponden a todos aquellos procesos que involucran la participación del calor, en presencia de exceso de aire, aire parcial o sin aire. De esta forma, los procesos termoquímicos de conversión energética comprenden básicamente la combustión, gasificación y pirólisis, encontrándose aún

en etapa de desarrollo la licuefacción directa, tal como se detalla en la



-2.

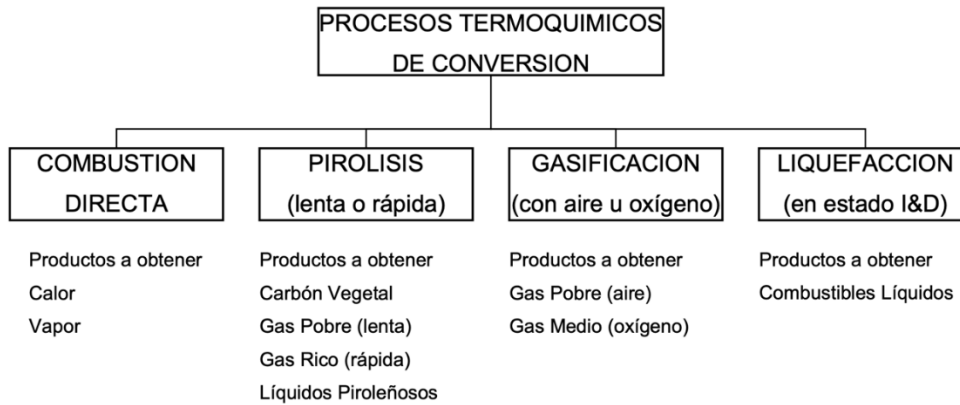


Gráfico 1-2. Procesos termoquímicos de conversión energética de Biomasa

Fuente: (Secretaría de Energía de Argentina, 2008).

2.1.3.1. Combustión

Es el más sencillo y más ampliamente utilizado proceso termoquímico de conversión energética de la Biomasa. Este proceso permite obtener energía térmica, ya sea para usos domésticos (cocción, calefacción) o industriales (calor de proceso, vapor mediante una caldera, energía mecánica utilizando el vapor de una máquina).

Las tecnologías utilizadas para la combustión directa de la biomasa abarcan un amplio espectro que va desde el sencillo fogón a fuego abierto (aún utilizado en vastas zonas para la cocción de alimentos) hasta calderas de alto rendimiento utilizadas en la industria. (Secretaría de Energía de Argentina, 2008).

2.1.3.2. Gasificación

Consiste en la quema de biomasa (fundamentalmente residuos foresto industriales) en presencia de oxígeno, en forma controlada, de manera de producir un gas combustible denominado “gas

pobre” por su bajo contenido calórico en relación, por ejemplo, al gas natural (del orden de la cuarta parte).

La gasificación se realiza en un recipiente cerrado, conocido por gasógeno, en el cual se introduce el combustible y una cantidad de aire menor a la que se requeriría para su combustión completa (Secretaría de Energía de Argentina, 2008). El gas pobre obtenido puede quemarse luego en un quemador para obtener energía térmica, en una caldera para producir vapor, o bien ser enfriado y acondicionado para su uso en un motor de combustión interna que produzca, a su vez, energía mecánica. El proceso de gasificación, así como sus aplicaciones en la industria se expone en la Gráfico 2-2. Proceso y aplicaciones de la gasificación de Biomasa

-2.

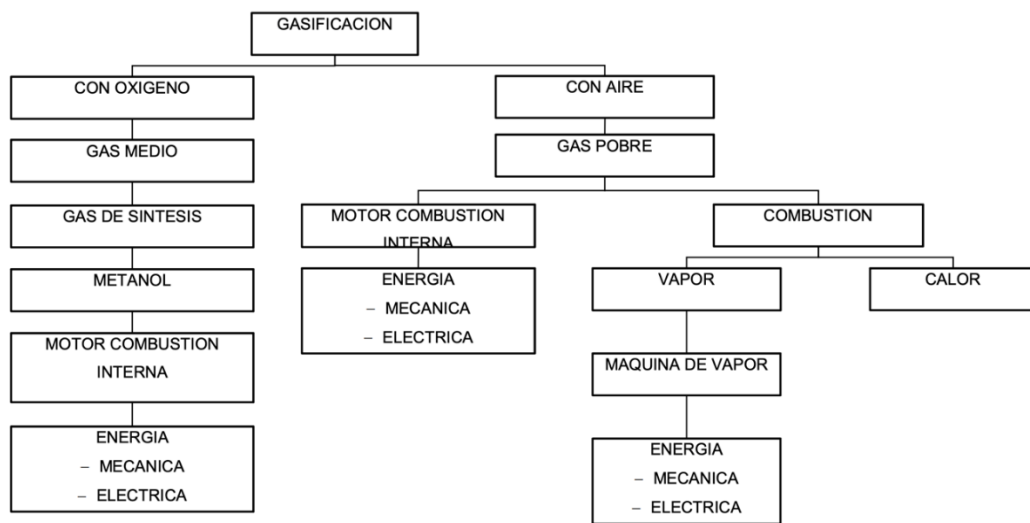


Gráfico 2-2. Proceso y aplicaciones de la gasificación de Biomasa

Fuente: (Secretaría de Energía de Argentina, 2008)

2.1.3.3. Pirolisis

Es un proceso similar a la gasificación (a la cual en realidad incluye) por el cual se realiza una oxigenación parcial y controlada de la biomasa, para obtener como producto una combinación variable de combustibles sólidos (carbón vegetal), líquidos (efluentes piroleñosos) y gaseosos (gas pobre).

Generalmente, como lo especifica la (Secretaría de Energía de Argentina, 2008), el producto principal de la pirólisis es el carbón vegetal, considerándose a los líquidos y gases como subproductos del proceso.

El carbón vegetal como combustible sólido presenta la ventaja frente a la biomasa que le dio origen, de tener un poder calórico mayor o, lo que es lo mismo, un peso menor para igual cantidad de energía, lo que permite un transporte más fácil. No obstante, debe hacerse notar que la

carbonización representa una pérdida muy importante de la energía presente en la materia prima, ya que en el proceso consume gran cantidad de ella.

2.1.4. Procesos bioquímicos de conversión energética

Los procesos bioquímicos de conversión energética de la biomasa se basan en su degradación por la acción de microorganismos, y pueden dividirse en dos grandes grupos: los que se producen en ausencia de aire (anaeróbicos) y los que se producen en presencia de aire (aeróbicos).

2.1.4.1. Procesos anaeróbicos

La fermentación anaeróbica, para la que se utiliza generalmente residuos animales o vegetales de baja relación carbono / nitrógeno, se realiza en un recipiente cerrado llamado “digestor” y da origen a la producción de un gas combustible denominado biogás. Adicionalmente, la biomasa degradada que queda como residuo del proceso de producción del biogás, constituye un excelente fertilizante para cultivos agrícolas (Secretaría de Energía de Argentina, 2008) (Gráfico 3-2)

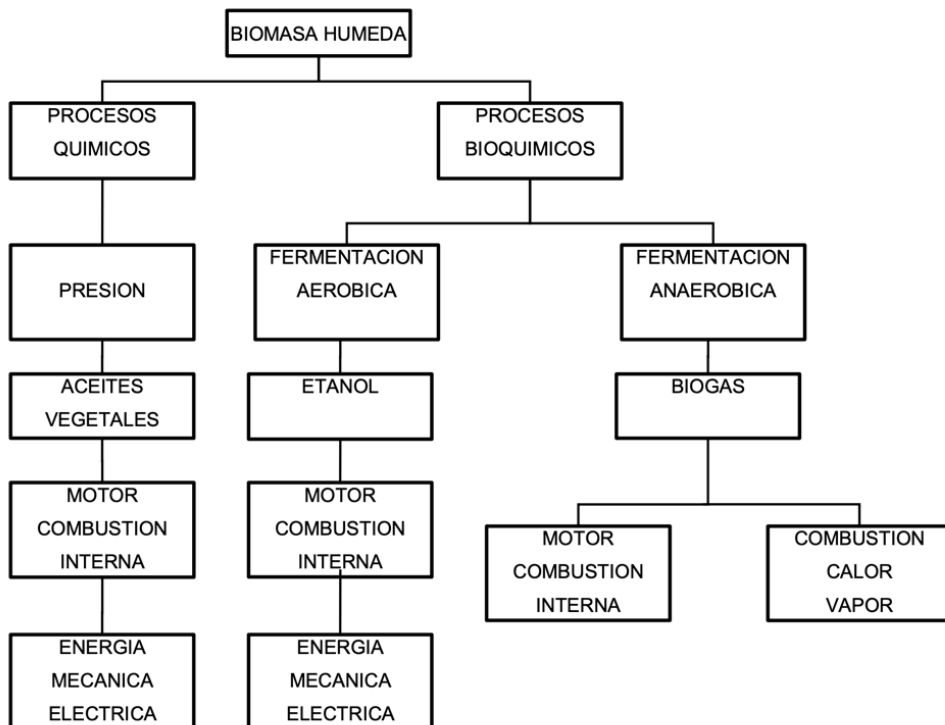


Gráfico 3-2. Proceso anaeróbico de transformación de Biomasa

Fuente: (Secretaría de Energía de Argentina, 2008)

2.1.4.2. Procesos aeróbicos

La fermentación aeróbica de biomasa de alto contenido de azúcares o almidones, da origen a la formación de alcohol (etanol), que es un combustible líquido de características similares a los que se obtienen por medio de la refinación del petróleo. Las materias primas más comunes utilizadas para la producción de alcohol son la caña de azúcar, mandioca, sorgo dulce y maíz. La (Secretaría de Energía de Argentina, 2008) concluye además que el proceso incluye una etapa de trituración y molienda para obtener una pasta homogénea, una etapa de fermentación y una etapa de destilación y rectificación.

2.2. Biomasa con base a residuos orgánicos frutales

Como se comentó en apartados anteriores de esta revisión bibliográfica, las fuentes orgánicas de biomasa para la producción de biodiesel pueden ser muy variadas, desde aceites vegetales comestibles y no comestibles, hasta grasas animales disponibles.

Es así que, tal como apuntan (Ashok, et al., 2017), en investigaciones recientes sobre biocombustibles a partir de cáscaras de diversas frutas y verduras han sido el foco en todo el mundo para reemplazar el combustible diésel convencional por estas alternativas, combustibles renovables, biodegradables y ecológicos.

2.2.1. *Materia prima lignocelulósica*

El material lignocelulósico consiste en tres tipos diferentes de polímeros, celulosa, hemicelulosa y lignina. Tal como lo indica (Cortes Ortiz, 2014, p.59), la celulosa está compuesta por subunidades de D-glucosa unidas por un enlace glucosídico β 1-4. Esta celulosa en una planta se compone de piezas con una estructura cristalina. Las capas de celulosa se juntan y forman las llamadas fibrillas de celulosa o paquetes de celulosa, estas fibrillas de celulosa son en su mayoría independientes y débilmente unidos a través de enlaces de hidrógeno.

La hemicelulosa es una estructura compleja de carbohidratos que consiste en polímeros de diferentes azúcares como xilosa y arabinosa (pentosas), manosa, glucosa y galactosa (hexosas) y ácidos de azúcar. El componente dominante de la hemicelulosa de la madera y plantas agrícolas es el xilano. La hemicelulosa es definida como una estructura compleja de carbohidratos que consiste en polímeros de diferentes azúcares como xilosa y arabinosa (pentosas), manosa, glucosa y galactosa (hexosas) y ácidos de azúcar. La hemicelulosa sirve como una conexión entre la lignina y las fibras de celulosa y le da al conjunto de celulosa-hemicelulosa- lignina rigidez (Cortes Ortiz, 2014, p.59).

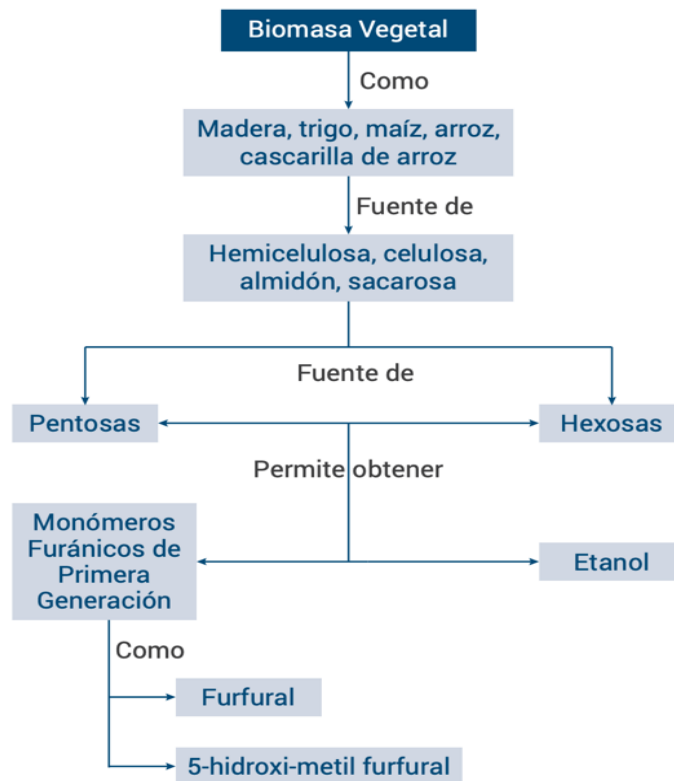


Gráfico 4-2. Productos de la biomasa lignocelulósica

Fuente: (Cortes Ortiz, 2014, p.59)

La lignina es, después de la celulosa y la hemicelulosa, uno de los polímeros más abundantes en la naturaleza y está presente en la pared celular. El objetivo principal de la lignina, tal como lo apunta (Cortes Ortiz, 2014, p.59), es dar a la planta el soporte estructural, impermeabilidad, y la resistencia contra el ataque microbiano y el estrés oxidativo. Es insoluble en agua y se considera ópticamente inactiva, todo esto hace que la degradación de la lignina sea muy difícil. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-2** se observa la composición típica de un material lignocelulósico.

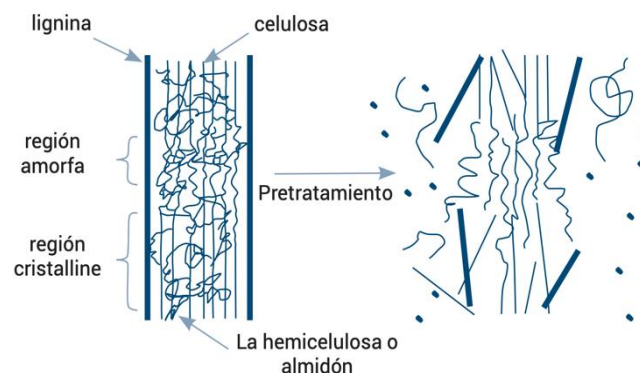


Figura 2-2. Estructura de la biomasa lignocelulósica

Fuente: (Cortes Ortiz, 2014, p.59)

2.2.2. Procesos de pretratamiento de la biomasa lignocelulósica.

Para lograr la hidrólisis de la biomasa lignocelulósica es importante la utilización de una serie de pretratamientos: mecánicos y térmicos; y químicos, empleando ácidos, bases o la combinación entre estos. A continuación, se presentan las características de cada uno de estos.

2.2.2.1. Pretratamiento mecánico

Consiste particularmente en el corte de la biomasa lignocelulósica en pedazos más pequeños. El objetivo de un pretratamiento mecánico es la reducción en el tamaño de partículas, así como de la cristalinidad. La reducción de tamaño de las partículas conduce a un aumento de la superficie disponible y una reducción del grado de polimerización. (Cortes Ortiz, 2014, p.59) Añade que, el aumento de la superficie específica, la reducción del grado de polimerización y el corte, son todos factores que aumentan el rendimiento del hidrólisis total de la biomasa lignocelulósica.

2.2.2.2. Pretratamiento térmico

Durante este pretratamiento la biomasa lignocelulósica se calienta. Si la temperatura aumenta por encima de 150-180 °C, en primera instancia, la hemicelulosa y poco después la lignina, comenzará a solubilizarse. La temperatura máxima de 180 °C es considerada únicamente un indicador, ya que la reactividad térmica de la biomasa lignocelulósica depende en gran medida de su composición. (Cortes Ortiz, 2014, p.59) Concluye que, durante los procesos térmicos una parte de la hemicelulosa se hidroliza y forma ácidos, que se supone siguen catalizando la hidrólisis de la hemicelulosa.

2.2.2.3. Pretratamiento con vapor de agua

Durante el pretratamiento con vapor la biomasa se pone en un recipiente grande, a altas temperaturas (hasta 240°C) y presión, durante unos minutos. Después de un tiempo, el vapor se libera y la biomasa se enfría rápidamente.

El objetivo de un pretratamiento con vapor o de explosión con vapor es solubilizar la hemicelulosa y así tener mejor acceso para la hidrólisis enzimática de la celulosa evitando la formación de los inhibidores. (Cortes Ortiz, 2014, p.59) Recalca la diferencia entre el pretratamiento con vapor y la explosión con vapor, donde en este último hay una despresurización rápida y refrigeración de la biomasa al final del pretratamiento, lo que hace que el agua de la biomasa explote el material.

2.2.2.4. Pretratamiento con agua caliente

En este caso el agua se encuentra líquida, el objetivo del pretratamiento es solubilizar principalmente la hemicelulosa para tener mejor acceso a la celulosa y evitar la formación de inhibidores. Para evitar la formación de inhibidores, el pH debe mantenerse entre 4 y 7 durante el pretratamiento. Mantener este rango de pH minimiza la formación de los monosacáridos, y por lo tanto también la formación de productos de degradación que pueden seguir catalizando la hidrólisis del material celulósico durante el pretratamiento (Cortes Ortiz, 2014, p.59).

2.2.2.5. Pretratamiento ácido

El pretratamiento de la biomasa lignocelulósica con ácidos a temperatura ambiente se realiza para mejorar la digestibilidad anaerobia. (Cortes Ortiz, 2014, p.59) Establece en este punto, como principal objetivo, solubilizar la hemicelulosa, y lograr con esto mejor acceso a la celulosa.

El pretratamiento se puede hacer con ácidos diluidos o con ácidos fuertes; la principal reacción que se produce durante el pretratamiento ácido es la hidrólisis de la hemicelulosa, especialmente de xilano que es relativamente estable en ácido. La hemicelulosa solubilizada en medio ácido puede ser objeto de las reacciones hidrolíticas y producir furfural, HMF y otros productos.

2.2.2.6. Pretratamiento alcalino

Durante el pretratamiento alcalino las primeras reacciones que tienen lugar son la solvatación y saponificación. Esto provoca que la biomasa se expanda, lo cual la hace más accesible a las enzimas y bacterias.

En altas concentraciones alcalinas, (Cortes Ortiz, 2014, p.59) explica la presencia de un fenómeno donde ocurre una hidrólisis alcalina, lo cual conlleva a la degradación y descomposición de polisacáridos. En consecuencia, se observa que la biodegradabilidad de la biomasa lignocelulósica está limitada por varios factores como la cristalinidad de la celulosa, el área superficial y el contenido de lignina.

Una vez realizado el pretratamiento, del proceso se obtienen como productos dos fracciones: por un lado, una sólida, insoluble al agua, conformada por celulosa y lignina, y por otro lado una fracción líquida, compuesta por hemicelulosa. Mediante la aplicación de Hidrólisis, se obtendrán para la fracción sólida Hexosas, y para la fracción líquida Pentosas, que mediante los procesos finales de fermentación y, posterior destilación, el Etanol final. (Gráfico 5-2).

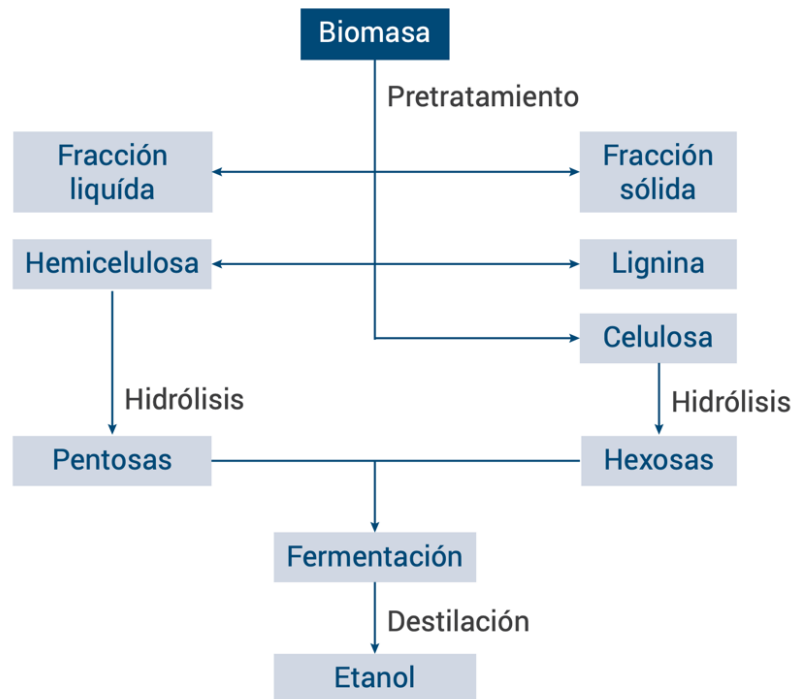


Gráfico 5-2. Etanol a partir de la biomasa lignocelulósica

Fuente: (Cortes Ortiz, 2014, p.59)

2.3. Características Energéticas de la Biomasa

La biomasa es la única fuente de energía que aporta un balance de CO₂ favorable, siempre y cuando la obtención de la biomasa se realice de una forma renovable y sostenible. Esto ocurre cuando el consumo del recurso se hace más lentamente que la capacidad de la Tierra para regenerarse. De esta manera, la materia orgánica es capaz de retener durante su crecimiento más CO₂ del que libera en su combustión, sin incrementar la concentración de CO₂.

Para establecer las características energéticas de la biomasa, se establecen cinco parámetros importantes a tomar en cuenta en su producción: la composición química, el contenido en humedad, el porcentaje en cenizas, el poder calorífico y la densidad aparente. (Lucas Herguedas, et al., 2012, p. 89)

2.3.1. Composición química

Los diferentes tipos de biomasa están formados por una parte orgánica, una inorgánica y agua. Durante la combustión, se quema la parte orgánica, la inorgánica influye en el proceso de combustión y forma la ceniza o residuo sólido.

La composición química de la biomasa original se puede conocer realizando análisis de los elementos más importantes, como carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), azufre (S), y en

algunos casos cloro (Cl). También contiene oxígeno (O), pero este elemento no se determina directamente, sino que se calcula a partir de la diferencia entre el peso total y la suma del resto de elementos más las cenizas.

2.3.2. *Contenido en humedad*

También denominada humedad relativa, es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. La humedad de la biomasa puede medirse en base seca (h) o en base húmeda (H), ya que se puede considerar el peso húmedo de la leña húmeda (P_h) y el peso seco (P_o) obtenido al pesar la leña tras ser secada en una estufa, para evaporar el agua presente, detallados según **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

$$h = \frac{P_h - P_o}{P_o} \quad (1)$$

$$H = \frac{P_h - P_o}{P_h} \quad (2)$$

De esta forma (Lucas Herguedas, et al., 2012, p. 89) establecen que, cuanto menor sea este contenido mejor será el valor calorífico de esa biomasa y su proceso de combustión, ya que cuando se quema la biomasa, primero hay que evaporar el agua antes de que el calor esté disponible. La mayoría de los procesos de conversión energética requieren valores de humedad relativa inferiores al 30%. Con valores superiores se hace necesaria la implementación de operaciones de acondicionamiento y secado previas al proceso de conversión de energía.

2.3.3. *Porcentaje en cenizas*

Indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de materia prima. Conviene que su porcentaje en relación a la materia seca sea el menor posible.

2.3.4. *Poder Calorífico*

El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa y se expresa como la cantidad de energía por unidad física (ej. Joule por kilogramo). Es la energía que se libera en forma de calor cuando la biomasa se quema completamente.

De manera más concreta, el poder calorífico superior (PCS) es aquel calor que verdaderamente se produce en la reacción de combustión, y el inferior (PCI) el realmente aprovechable, producido sin utilizar la energía de la condensación del agua y de otros procesos. (Lucas Herguedas, et al., 2012, p. 89)El PCI de un combustible se determina a partir del PCS (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), extrayendo el calor latente del agua formada:

$$PCI = PCS - 2,5(9H + H_2O) \quad (3)$$

Donde:

PCI es el poder calorífico inferior (MJ/Kg),

PCS es el poder calorífico superior (MJ/Kg),

2,5 es el calor de condensación del agua a 0°C (MJ/kg agua)

9 son los kg de agua que se forman al oxidar un kg de hidrógeno

H tanto por uno de hidrógeno en el combustible

H_2O tanto por uno de humedad del combustible

2.3.5. Densidad aparente

Se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta. Los combustibles que presentan una densidad aparente elevada favorecen la relación de energía por unidad de volumen, ya que se requieren menores tamaños de los equipos y se aumenta el tiempo que transcurre entre cargas del equipo. Por el contrario, las materias primas de baja densidad aparente necesitan un mayor volumen de almacenamiento y transporte.

2.4. Aplicaciones energéticas de la Biomasa

La gran variedad de biomasa existentes, en conjunto con las distintas tecnologías de transformación energética disponibles (combustión directa, pirólisis, gasificación, fermentación, digestión anaeróbica, etc.) establece gran cantidad de posibles aplicaciones en la actualidad. Entre las que destacan la producción de energía térmica, electricidad, biocombustibles y gases combustibles, tal como se presenta en la figura 3-2.

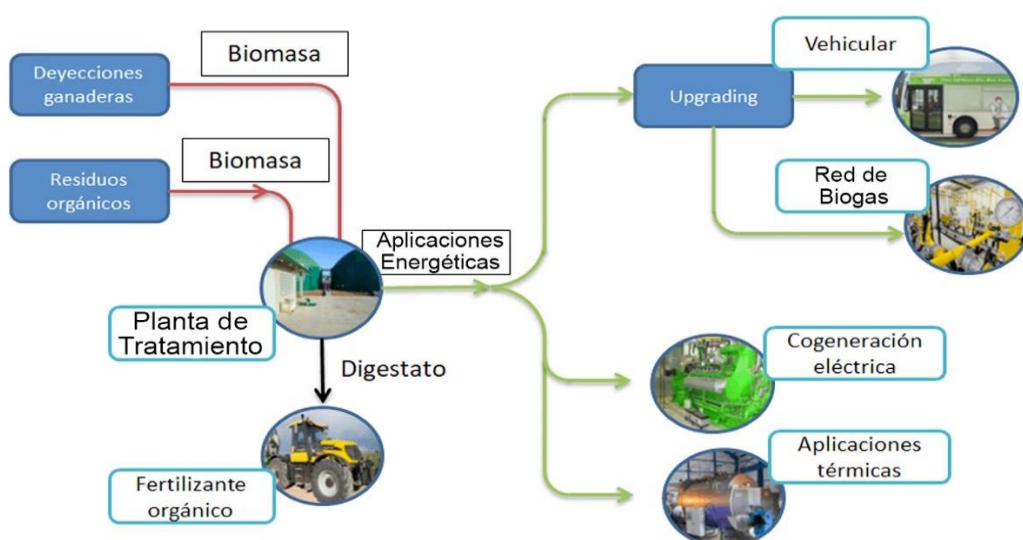


Figura 3-2. Aplicaciones energética de la Biomasa

Fuente: (Biovec, 2017).

2.4.1. Producción de energía térmica

Son sistemas de combustión directa. Este tipo de producción energética de la biomasa se utiliza para proveer de calor, que se puede utilizar directamente para, por ejemplo, cocinar alimentos o secar productos agrícolas. Su mayor inconveniente es la contaminación que generan.

La producción térmica, según lo define (Lucas Herguedas, et al., 2012, p. 89) sigue una escala de usos que comienza en las calderas o estufas individuales utilizadas tradicionalmente en los hogares para calentar estancias y/u otros sistemas con producción de agua caliente sanitaria. En un segundo nivel se sitúan las calderas diseñadas para proveer de calor y agua caliente a bloques de edificios o viviendas.

2.4.2. Producción de energía eléctrica

Obtenida minoritariamente a partir de biomasa residual (restos de cosecha y poda, orujillo y el alperujo) y principalmente a partir de cultivos energéticos leñosos, de crecimiento rápido y herbáceos. También se utiliza el biogás resultante de la fermentación de ciertos residuos (lodos de depuradora, RSU) para generar electricidad.

La producción de electricidad precisa de sistemas aún más complejos dado el bajo poder calorífico de la biomasa, su alto porcentaje de humedad y su gran contenido en volátiles. Para ello se necesitan centrales térmicas específicas con grandes calderas, con volúmenes de hogar mayores que si utilizaran un combustible convencional, que conllevan inversiones elevadas y reducen su rendimiento. En función del tipo y de la cantidad de biomasa disponible varía la tecnología más adecuada a emplear para este fin. (Lucas Herguedas, et al., 2012, p. 89)

2.4.3. Producción de gases combustibles

La finalidad es conseguir combustible, principalmente el metano, muy útil para aplicaciones térmicas para el sector ganadero u agrícola, suministrando electricidad y calor.

Es una aplicación poco utilizada actualmente, acorde a (Lucas Herguedas, et al., 2012, p. 89) que consiste en la descomposición de la biomasa en un digestor para obtener un gas, cuyo compuesto combustible es básicamente metano, pero también contienen nitrógeno, vapor de agua y compuestos orgánicos.

El proceso es adecuado para tratar biomasa de elevado contenido en humedad y poco interesante en otras aplicaciones, bien por su calidad o por la poca cantidad disponible.

2.4.4. Producción de biocombustibles

En esta categoría se incorpora la producción de biocarburante destinados a su utilización en vehículos con motor diésel y los destinados a los vehículos con motor de encendido provocado. En el caso de los motores diésel, se obtienen a partir de cultivos o especies vegetales oleaginosas (ej. girasol, colza, cacahuete) y, o bien sustituyen al diésel tradicional completamente, o más comúnmente se realiza una mezcla de Diésel con una parte proporcional menor de este biocombustible. En el caso de los motores a gasolina, el biocombustible se obtiene de cultivos o especies vegetales ricas en azúcares (remolacha, patata, caña de azúcar, maíz, trigo...) y sustituyen a las gasolinas o aditivos de las gasolinas sin plomo.

2.5. Biocombustibles, Definición y Tipología

Según la definición proporcionada por (Treatise - Training in environmental transport, 2005), los biocombustibles son aquellos combustibles producidos a partir de la biomasa y que son considerados, por tanto, una energía renovable. Como se había indicado previamente, los biocombustibles se pueden presentar tanto en forma sólida (residuos vegetales, fracción biodegradable de los residuos urbanos o industriales), como líquida (bioalcoholes, biodiésel) y gaseosa (biogás, hidrógeno).

Desde una perspectiva química, los biocombustibles son aquellos biocarburantes como alcoholes, éteres, ésteres y otros productos que provienen de compuestos orgánicos de base celulósica (biomasa) extraída de plantas silvestres o de cultivo, que sustituyen en mayor o en menor parte la utilización de combustible con base fósil destinado al sector del transporte, o destinados a producir electricidad.

Los biocombustibles de origen biológico pueden sustituir parte del consumo de los combustibles fósiles tradicionales, como el petróleo y el carbón; este tipo de combustible se encuentra casi siempre en forma líquida y se usa para accionar los motores de combustión del transporte terrestre. Los biocombustibles más desarrollados y usados son el bioetanol y el biodiesel; otras alternativas son el biopropanol y el biobutanol, que son hasta ahora menos populares.

De forma general, los tipos de biocombustibles en la actualidad, de acuerdo a su composición, se pueden establecer tres grupos importantes: sólidos, líquidos, y gaseosos, cuyos productos principales se presentan en Tabla -2.

Tabla 1-2. Tipos de biocombustibles según su composición

Tipos de biocombustibles		
Sólidos	Líquidos	Gaseosos
Paja	Alcoholes	Gasógeno
Leña sin procesar	Biohidrocarburos	Biogas
Astillas	Aceites vegetales	Hidrógeno
Briquetas y pellets	Ésteres derivados de aceites vegetales	
Triturados finos		
Carbón vegetal	Aceite de Pirolisis	

Fuente: (Salinas Callejas & Gasca Quesada, 2009).

Para finalidad del presente proyecto técnico, se consideran en el campo automotriz únicamente los biocombustibles de tipo líquido, ya sea este el Bioetanol, o en su defecto el Biodiesel, cuyas características básicas se detallan a continuación (-2):

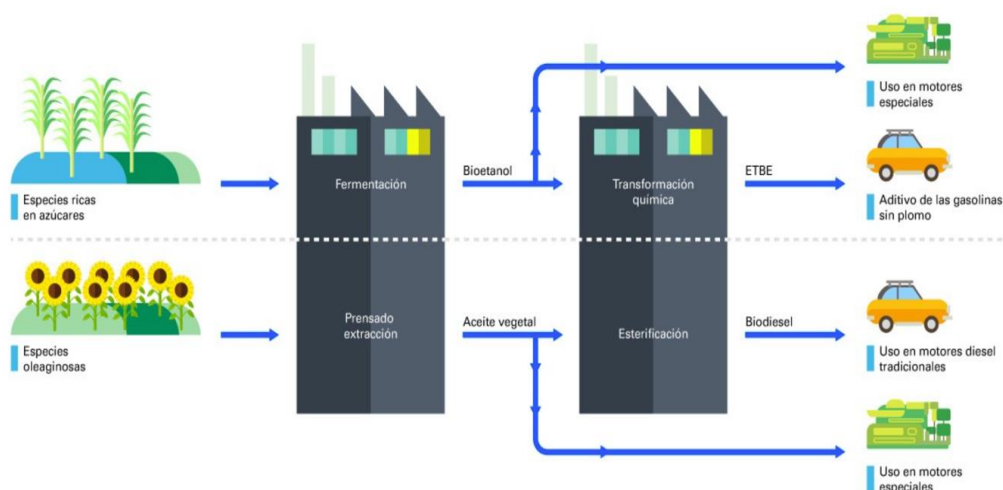


Figura 4-2. Principales biocombustibles líquidos

Fuente: (Fundación Endesa, 2018)

2.5.1. Bioetanol

Los alcoholes de origen orgánico, acorde a (Romero & Miralles, 2002, p. 112), están integrados por dos tipos fundamentales, el etanol y el metanol. No obstante, en la situación actual, el etanol presenta mejores expectativas en lo que se refiere a su utilización como biocombustible.

El etanol es un alcohol, en su mayoría fabricado siguiendo un proceso similar al de la cerveza, donde la materia prima son los cultivos vegetales ricos en almidón, celulosa o sacarosa. Estos compuestos energéticos se transforman en azúcares y, a continuación, se convierten a través de la fermentación alcohólica en etanol. Posteriormente se destila y deshidrata para obtener su forma final.

El etanol, en su composición físico química, comparte unas características muy similares a la gasolina, razón por la cual la puede sustituir de manera parcial y/o total en los motores de combustión interna. Estas mezclas comportan una mejora de la combustión y una reducción de las emisiones a la atmósfera, ya que la adición de etanol a la bencina comporta un aumento del octanaje en la mezcla gracias al alto contenido en oxígeno del alcohol. Un grado más alto de octanaje en la gasolina da más rendimiento a los motores.

La manera más común y sencilla de utilizar este combustible es mezclarlo parcialmente en la gasolina hasta un 10 o 15 % (E10 o E15). Aunque en esta proporción no resulta necesario ningún tipo de modificación del motor, según (Romero & Miralles, 2002, p. 112) pequeñas modificaciones en la relación de compresión y la relación aire/combustible mejoran la potencia y hacen disminuir el consumo con respecto a la bencina. A medida que aumenta la proporción de alcohol a la mezcla, se libera menos cantidad de contaminantes a la atmósfera, especialmente de monóxido de carbono (CO).

2.5.2. Biodiesel

Es un ester similar al vinagre que se obtiene a partir de una serie de aceites vegetales, fundamentalmente de sus semillas, y los frutos de plantas como la soja, la colza, la palma y el girasol. Aunque estas especies suelen ser las materias primas más utilizadas en su producción, se puede obtener a partir de más de 300 especies vegetales.

Para poder conseguir los aceites vegetales es necesaria una extracción química a través de procesos de compresión, extracción o pirólisis. Con este proceso, obtenemos un aceite bruto sin refinar que, aunque puede ser usado directamente como combustible, requiere una profunda transformación de los motores o la utilización de motores específicamente

El biodiesel es utilizado típicamente como aditivo en una mezcla del 20 % (B20) con gasóleo derivado del petróleo en motores de ignición y compresión (diésel), según lo expone (Romero & Miralles, 2002, p. 112). No obstante, también se puede utilizar puro en motores Diésel –al 100 % o B100– o en una proporción mucho más baja en forma de aditivo del 1 al 5 %.

2.6. Biodiesel. Obtención y características principales

Aplicado en el campo de la industria automotriz, tal como lo detalla (Castillo Fernández, 2018, p. 68), se refiere específicamente a cualquier compuesto de origen biológico que pueda ser utilizado en motores diésel, de estado líquido y cuya representación química son estéres monoalquílicos o, comúnmente conocidos como FAMES (Fatty acid methyl Esther).

Para ello, según la American Society of Testing and Materials (ASTM), debe cumplir dos normativas internacionales vigentes para su distribución comercial:

- Los requisitos de registro para combustibles y aditivos para combustibles establecidos por la EPA (Environmental Protection Agency), bajo la sección 211 del Clean Air Act (42 U.S.C. 7545).

- Los requisitos de la ASTM (American Society of Testing and Materials) D6751

Llegado a este punto, es primordial identificar los tipos de biodiesel que existen en la actualidad, según la materia prima y proceso de obtención, clasificándolo en tres generaciones (Castillo Fernández, 2018, p. 68)

2.6.1. Biodiesel de primera generación

Este tipo de Biodiesel es producido con materia prima vegetal (maíz, azúcar, soja, etc), que puede servir de alimentación para humanos y animales. Como ventaja principal tiene que son provenientes de áreas de cultivo muy extendidas por el mundo, lo que al mismo tiempo es una gran desventaja, ya que éticamente podrían aparecer problemas de escasez de alimentos en las zonas de producción.

2.6.2. Biodiesel de segunda generación

Esta tipología, según (Castillo Fernández, 2018, p. 68), surge como una alternativa al empleo de los aceites convencionales como materia prima. Se solventa en este caso la problemática presente en el Biodiesel de primera generación, ya que la materia prima para su obtención no puede ser destinada para el consumo humano, además que las áreas de cultivo pueden ser utilizadas para la recuperación de zonas deforestadas o la recuperación de las características de terrenos.

2.6.3. Biodiesel de tercera generación

Su aparición es relativamente reciente, por lo que la tecnología de obtención aún está en proceso de crecimiento y maduración, para obtener un mejor rendimiento y un mayor potencial energético. La materia prima de esta generación se refiere exclusivamente al empleo de micro algas, que debido a que producen una gran cantidad de aceite en relación con su masa, se incluyen en una categoría aparte de las anteriores.

2.6.4. Proceso de obtención de Biodiesel. La transesterificación

Para la obtención de Biodiesel se aplica un proceso de transformación bioquímico denominada transesterificación de los triglicéridos, los mismos que son obtenidos a partir de aceites vegetales o grasa animales, con presencia de un alcohol y en presencia de un medio básico. La

transesterificación, tal como lo expresa (Castillo Fernández, 2018, p. 68), es una reacción de alcoholisis en la que, generalmente se emplea un alcohol de cadena corta como el metanol, por ser más económico. Como subproducto de la reacción se produce glicerina. Es una reacción reversible, pero la inmiscibilidad existente entre los ésteres alquílicos y la glicerina hace que el equilibrio se vea desplazado hacia la formación de más productos de reacción, mejorándose con ello la conversión. El proceso de transesterificación consta de tres reacciones químicas que se producen de forma consecutiva y en las que se forman dos productos intermedios (diglicéridos y monoglicéridos). De esta forma, en el primer paso, el triglicérido es convertido en diglicérido y se produce la formación de un éster (

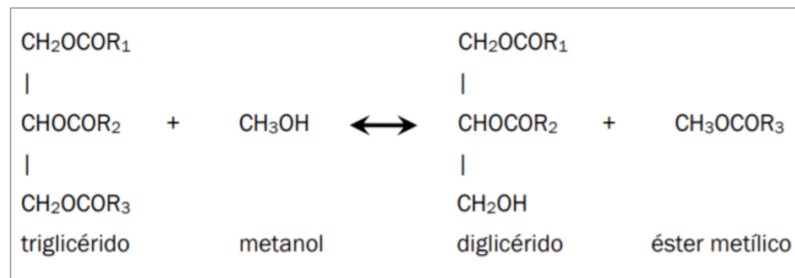


Figura 5-2. Conversión de triglicérido a diglicérido

Fuente: (Castillo Fernández, 2018, p. 68)

La segunda reacción conforma el paso de diglicérido a monoglicérido (

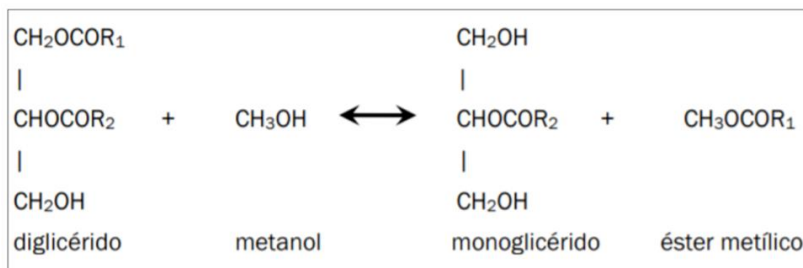


Figura 6-2. Conversión de diglicérido a monoglicérido

Fuente: (Castillo Fernández, 2018, p. 68).

Por último, el monoglicérido es transformado a glicerol, con la correspondiente formación de otro éster metílico. (

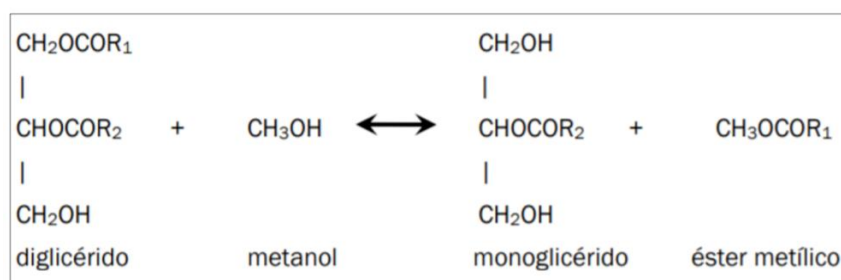


Figura 7-2. Conversión de monoglicérido a glicerol

Fuente: (Castillo Fernández, 2018, p. 68)

Especificando en una sola reacción global, la transesterificación resulta de la siguiente fórmula química (-2):

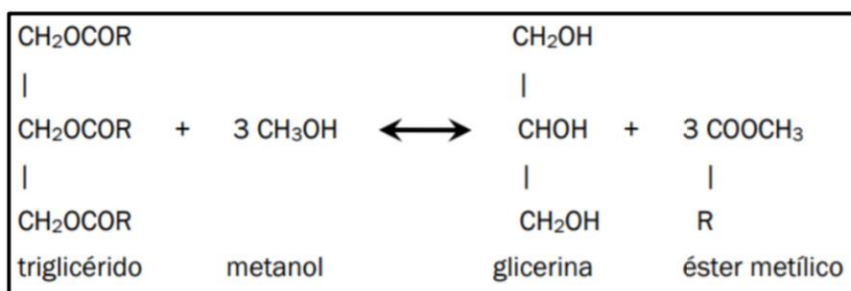


Figura 8-2. Reacción química global de transesterificación

Fuente: (Castillo Fernández, 2018, p. 68)

2.6.5. *Propiedades y caracterización del Biodiesel*

Como se indicó en apartados anteriores, debido a la gran variedad de las diferentes grasas animales y aceites vegetales, y a los perfiles de ácidos grasos tan diferentes de cada uno de ellos, se producirán biocombustibles con características diferentes entre sí.

Por esta razón es importante definir las principales propiedades que establecen la calidad de cualquier tipo de biodiesel: la viscosidad, la densidad, el número de cetano (CN), el índice de acidez, el índice de yodo, el contenido en ésteres metílicos, el punto de inflamación, la estabilidad a la oxidación, el contenido en agua, en azufre, en metanol, en glicerina libre, en glicerina total, en monoglicéridos, diglicéridos, triglicéridos, y finalmente la influencia de bajas temperaturas, cada uno de ellos detallados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-2**.

Tabla 2-2. Caracterización de propiedades del Biodiesel

Propiedades del Biodiesel	
Propiedad	Características
Viscosidad	La viscosidad es una propiedad de los fluidos que cuantifica las fuerzas de fricción internas existentes entre diferentes capas de un fluido, y que se oponen a su movimiento. En el biodiésel, se encuentra entre 3.0-6.0 mm ² /s [8].
Densidad	La densidad es otro de los parámetros de mayor importancia que ha de tenerse en cuenta, ya que, en función de ésta, se determina la masa de combustible a inyectar en la cámara y con ello la relación aire-combustible de la cámara. Según la normativa europea de referencia la densidad (medida a 15°C) tiene que encontrarse entre 860 y 900 Kg/m ³ . Valores más bajos de densidad producen un aumento del consumo del carburante.
Índice de cetano CN	Este parámetro representa el tiempo que transcurre desde que se inyecta el combustible, hasta que se inicia su combustión. La mayor parte de los motores son diseñados para operar con combustibles con índice de cetano entre 40 y 50, ya que CN muy altos o muy bajos, ocasionan problemas en el motor.

Índice de acidez	Proporciona una cuantificación del número de ácidos grasos libres que están presentes en el combustible. Sobrepasando determinados límites pueden resultar corrosivos para el motor.
Índice de yodo	El índice de yodo es un parámetro que se emplea para medir el grado de insaturación (dobles enlaces) en lípidos. Este parámetro mide por tanto la masa de yodo (g) que reacciona con 100 g del compuesto deseada.
Contenido en ésteres metílicos	Representa el contenido de biodiésel estrictamente, ya que son los ésteres alquílicos los que presentan características similares al diésel. Debe encontrarse en una composición mínima para su utilización.
Punto de inflamación	Conocido como <i>Flash Point</i> , es la menor temperatura a la cual los gases de un compuesto volátil entran en combustión en presencia de una fuente de ignición. El punto de inflamación del biodiésel es bastante más alto que el del gasóleo mineral, lo que hace de él un compuesto más seguro.
Estabilidad a la oxidación	Es una característica importante, ya que, cuando el biodiésel sufre oxidación éste se degrada aumentando el número de depósitos y sedimentos. En términos generales, el biodiésel sufre una mayor oxidación que el diésel convencional
Contenido en agua	La presencia de agua en el biocombustible presenta numerosas desventajas. El agua incrementa la corrosión y favorece el desarrollo de microorganismos que pueden provocar oclusiones.
Contenido en azufre	La presencia de azufre en el biodiésel es la responsable de las emisiones de los óxidos de azufre.
Contenido en metanol	Su medida se justifica no sólo por la disminución de la calidad, sino por el descenso que provoca del punto de inflamación a medida que aumenta su concentración.
Contenido en glicerina	Valores de glicerina total altos, son sinónimos de una mala reacción.
Contenido en monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos	Su presencia indica que la reacción de transesterificación ha tenido una baja conversión. Conforme aumenta el contenido de acilglicéridos el punto de nube y el punto de congelamiento se elevan. Es más común la presencia de monoglicéridos, que provocan un ligero aumento también de la viscosidad
Influencia de bajas temperaturas	Existen dos parámetros que cuantifican la probabilidad de inicio de una posible precipitación o solidificación parcial del biocombustible y a qué temperaturas puede iniciar ese riesgo: el punto de ensuciamiento (temperatura a la cual los cristales por la precipitación de ceras son visibles al ojo humano), y el punto de fluidez (temperatura a la cual un líquido pierde sus características como fluidos).

Fuente: (Castillo Fernández, 2018, p. 68)

2.6.6. Normativas de calidad en la producción del biodiesel

Actualmente, para el control de calidad de la producción de biodiesel existen dos normativas utilizadas como referencia: la norma EN-14214 de aplicación en la unión europea, y la norma ASTM D6751-09 aplicada en Estados Unidos. Para poder aplicar cada una de ellas primero es primordial establecer las denominaciones propias del biocombustible puro, o en mezcla (Vega Charpentier, 2010)

2.6.6.1. Biodiésel, n.

Es un combustible compuesto de esteres mono-alcalinos de ácidos grasos de cadenas largas, derivados de aceites vegetales o grasas animales denominado B100 y que cumplen los requerimientos de la ASTM D 6751.

2.6.6.2. Biodiésel mezcla, n.

Se refiere a una mezcla de biodiésel (como fue definido anteriormente) con el diésel derivado del petróleo y denominado BXX, donde XX representa el porcentaje del volumen de biodiésel en la mezcla. Por ejemplo: B20 significa una mezcla con 20% de biodiésel y 80% de diésel derivado del petróleo. Con base a las definiciones anteriores, y a la caracterización de propiedad del biodiesel, a continuación en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-2 y¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-2** se detallan los valores mínimo y máximo, así como las unidades de medida, tanto para la norma EN-14214 para biodiesel a partir de mezclas de un 10% en el primer caso, y para la norma ASTM D675109 en el segundo caso.

Tabla 3-2. Normativa EN-14214

Propiedad	Límite		Unidades
	Mínimo	Máximo	
Contenido en éster	96.5	-	%(m/m)
Punto de inflamación	101	-	°C
Contenido de metanol	-	0.20	%(m/m)
Contenido de agua	-	500	mg/Kg
Índice de acidez	-	0.5	mg KOH/g
Ceniza sulfatada	-	0.02	%(m/m)
Corrosión lámina de cobre	Clase I	Clase I	-
Residuo de carbono	-	0.3	%(m/m)
Contaminación total	-	24	mg/Kg
Densidad (15°C)	860	900	Kg/m ³
Viscosidad Cinemática (40°C)	3.50	5.00	mm ² /s
Número de cetano	51.0	-	-
Estabilidad de oxidación	6	-	Horas
Glicerina libre	-	0.02	%(m/m)
Glicerina total	-	0.25	%(m/m)
Contenido de monoglicéridos	-	0.70	%(m/m)
Contenido de diglicéridos	-	0.20	%(m/m)
Contenido de triglicéridos	-	0.20	%(m/m)
Índice de Yodo	-	120	gI ₂ /100g
Éster de metilo de ácido linoléico	-	12.0	%(m/m)
Ésteres de metilo poliinsaturados	-	1.00	%(m/m)
Metales grupo I	-	5	mg/g
Metales grupo II	-	5	mg/g
Contenido en azufre	-	10.0	mg/Kg
Contenido en fósforo	-	4.0	mg/Kg

Fuente: (Castillo Fernández, 2018, p. 68)

Tabla 4-2. Normativa ASTM D6751-09

Normativa ASTM D6751-09			
Propiedad	Límite		Unidades
	Mínimo	Máximo	
Punto de inflamación	93	-	°C
Contenido de metanol	-	0.2	% masa
Agua y sedimento	-	0.05	% vol
Número ácido	-	0.	mg KOH/g
Ceniza sulfatada	-	0.02	% masa
Corrosión lámina de cobre	-	No.3	-
Residuo de carbono	-	0.05	% masa
Viscosidad cinemática	1.9	6	mm ² /s
Número de cetano	47	-	-
Punto de turbidez	-	-	°C
Filtrabilidad de impregnado en frío	-	360	Segundos
Estabilidad de oxidación	3	-	Horas
Glicerina libre	-	0.02	% masa
Glicerina total	-	0.24	% masa
Sodio y potasio, combinados	-	5	ppm
Calcio y magnesio, combinados	-	5	ppm
Azufre	-	15	ppm
Contenido de fósforo	-	0.001	% masa
Temperatura destilación	-	360	°C

Realizado por: Pazmiño, M. Avemañay J. 2021

2.6.7. Comparativa de emisiones del biodiesel y el diésel convencional

Con respecto a lo expuesto por (Rodríguez & Ribeiro, 2016, p. 56), en la actualidad existen numerosas investigaciones sobre el rendimiento, la potencia y las emisiones de un motor que usa Biodiesel, puro o mezclado, y sus valores comparativos con respecto a un diésel convencional. A continuación, en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-2**, se expone de forma general los porcentajes de variación en la emisión, si se aplicara un Biodiesel de tipo B-100 y uno de B-20.

Tabla 5-2. Emisiones medias de Biodiesel comparadas con Diésel convencional

Tipo de emisión	Porcentaje de variación en la emisión (%)	
	B-100	B-20
Hidrocarburos totales sin quemar (HC)	-68	-14

Monóxido de carbono (CO)	-44	-9
Partículas en suspensión (PM)	-40	-8
Sulfatos	-100	-20
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)	-80	-13
Hidrocarburos aromáticos policíclicos nitrogenados (nPAH)	-90	-50
Potencial de destrucción de la capa de ozono	-50	-10
Óxidos de nitrógeno (NOx)	+6	+1

Realizado por: (Rodríguez & Ribeiro, 2016, p. 56)

Los autores han recogido datos de diferentes pruebas de emisiones, realizados para los siguientes tipos de motores:

- **Prueba 1:** Motor Cummins 5.9L de 1991, inyección directa, turbocargado (02/02/1994 y 01/05/1995), con 100% Biodiésel y 100% diésel con bajos niveles de azufre. (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-2)

Tabla 6-2. Emisiones medias de Biodiesel Motor Diésel sin Intercooler

Variable	02/02/1994			01/05/1995		
	Diésel	BD100	Δ (%)	Diésel	BD100	Δ (%)
CO (%)	0.025	0.013	-48.00	0.029	0.020	-31.03
CO2 (%)	7.2	7.1	-1.39	7.8	7.8	0.00
HC (ppm)	6.6	5.4	-18.18	10.0	10.0	0.00
NOx (ppm)	639.7	768.6	20.15	967.0	1062.3	9.86
O2 (%)	10.7	10.9	1.87	10.3	10.5	1.94
Opacidad (%)	3.3	1.4	-57.60	2.8	1.8	-35.71

Fuente: (Rodríguez & Ribeiro, 2016, p. 56)

- **Prueba 2:** Motor Cummins 5.9L de 1992, inyección directa, enfriado, turbocargado (02/02/1994 y 01/05/1995), con 100% Biodiésel y 100% diésel con bajos niveles de azufre. (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-2)

Tabla 7-2. Emisiones medias de Biodiesel Motor Diésel con Intercooler

Variable	02/02/1994			01/05/1995		
	Diésel	BD100	Δ (%)	Diésel	BD100	Δ (%)
CO (%)	0.015	0.019	26.67	0.023	0.024	4.35
CO2 (%)	6.6	6.4	-3.03	7.4	6.9	-6.76
HC (ppm)	6.3	4.3	-31.00	10.0	10.0	0.00
NOx (ppm)	635.7	681.1	-31.75	671.0	709.2	5.69
O2 (%)	11.3	11.8	4.43	11.9	11.0	-7.56
Opacidad (%)	1.9	0.8	-57.89	1.4	1.2	-14.29

Fuente: (Rodríguez & Ribeiro, 2016, p. 56)

- **Prueba 3:** Motores Navistar 5.9L y 7.3L, en medición de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) e hidrocarburos totales in quemar (HC) con BD20.

Tabla 8-2. Emisiones medias de Biodiesel BD20 en motor 5.9L y 7.3L

Tipo de emisión	Navistar 5.9L			Navistar 5.9L		
	Diesel	BD20	Δ (%)	Diesel	BD20	Δ (%)
CO (%)						
Pretest	0.03	0.02	-33.33	0.29	0.23	-20.69
Posttest	0.03	0.02	-33.33	0.06	0.08	33.33
NOX (ppm)						
Pretest	564.5	597.8	5.90	519.0	506.3	-2.45
Posttest	421.8	500.3	18.62	428.7	421.3	-1.73
HC (ppm)						
Pretest	5.25	3.75	-28.57	10.33	9.67	-6.39
Posttest	12.75	8.75	-31.37	10.33	3.33	-67.76

Fuente: (Rodríguez & Ribeiro, 2016, p. 56)

Estos ensayos, recogidos de la literatura científica, establecen que en cuestión de CO, la emisión utilizando Biodiesel es un 44% más bajas en promedio que las ensayadas con Diesel; para partículas en suspensión, en promedio son un 40% más bajas; en hidrocarburos sin quemar HC, en promedio son un 68% más bajas; en emisión de NOx, en promedio son un 6% superiores, para finalmente, en la medida de la opacidad, se indique que el humo negro visible al escape es menos pronunciada en el momento del arranque con el Biodiesel (Gráfico 6; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.-2**).

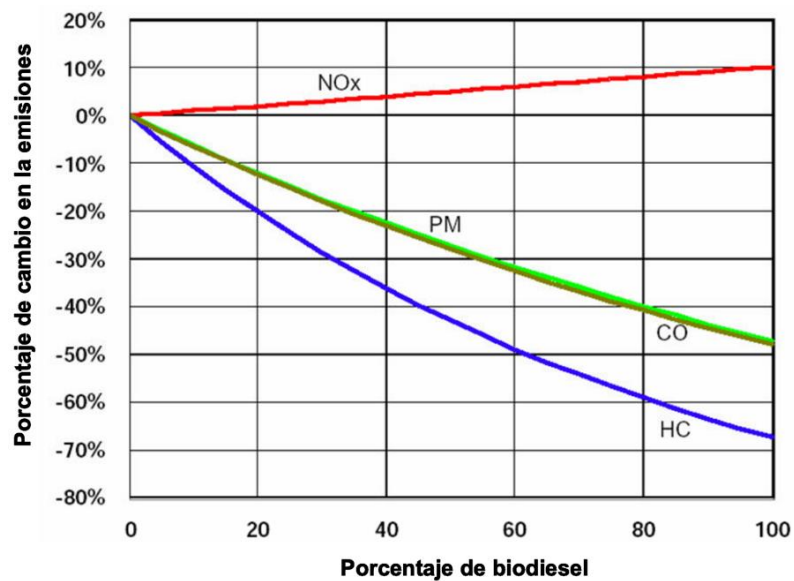


Gráfico 6-2. Porcentaje de variación de emisiones por Biodiésel

Fuente: (Castillo Fernández, 2018, p. 68)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diagrama de etapas del proyecto

Nuestro proyecto experimental se ha estructurado en cinco etapas: inicio, planificación, ejecución, evaluación, análisis de resultado y cierre; los cuales se detallan en el siguiente diagrama de flujo:

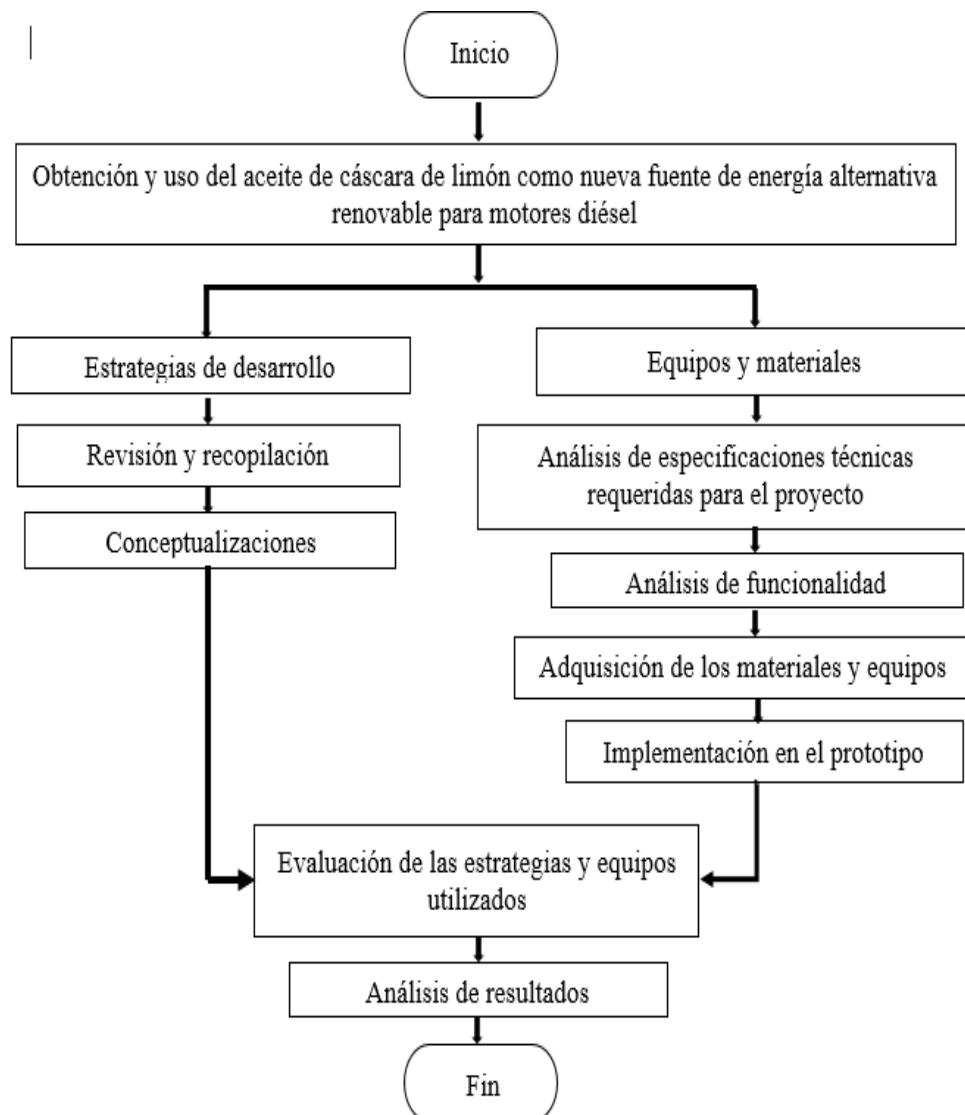


Gráfico 1-3: Diagrama de etapas del proyecto

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

3.2. Metodología de investigación a realizar

En este escrito detallaremos las metodologías que se utilizaron para alcanzar los objetivos propuestos, en la siguiente tabla se mencionan.

Tabla 1-3. Tipos de investigaciones aplicadas

Tipo de investigación	Técnica de investigación	Instrumentos de investigación
Bibliográfica	Compilación de citas bibliográficas, estudio registrado, síntesis	Plataformas virtuales, investigaciones académicas, fichas técnicas.
Aplicada	Estudio de datos obtenidos para la aplicación en pruebas de vehículo	Pruebas realizadas en los diferentes aparatos de medición, para conocer sus resultados
Experimental	Destilación por arrastre de vapor para la obtención del aceite de la cascara de limón.	Equipos de laboratorio químico

Realizado por: Pazmiño M.; Avemañay, J.; 2021.

3.2.1. Tipos de investigación

3.2.1.1. Investigación Bibliográfica

Vivimos en sociedades en donde abunda la información, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) han contribuido en la difusión de todo tipo de información; permitiéndonos estar enterados de todo lo que sucede en el mundo en tiempo real o de manera sincrónica (Ocampo, 2019).

3.2.1.2. Aplicada

Se realizó la prueba con el fin de obtener datos favorables con el nuevo biocombustible experimental en el vehículo de prueba.

3.2.1.3. Experimental

Los laboratorios donde se obtuvieron datos de referencia entre las comparaciones de los diferentes niveles de porcentajes de mezcla nos ayudaron a darnos cuenta de los cambios favorables que se obtuvieron en el vehículo.

3.3. Planificación o cronograma de actividades

3.3.1. Cronograma de actividades

Se piensa por cronograma de actividades al gráfico en el que se detallan todas las tareas que se deben hacer para poder completar un proyecto. A más de las tareas, se puede agregar el orden de las mismas y el responsable de cada una de ellas, de tal manera que todo quede plasmado a modo de gráfico y se pueda consultar de manera rápida y sencilla (Chain, 2019, p. 45).

Tabla 2-3. Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	TIEMPO ESTIMADO	OBSERVACIONES
Revisión bibliográfica documental sobre temáticas afines al proyecto.	SEMANA 1	
Búsqueda y cotización de laboratorio para llevar a cabo el proyecto.	SEMANA 2	
Recolección de material	SEMANA 3	Limonos
Determinar y archivar los valores de las pruebas de laboratorio 1	SEMANA 4	Destilación
Determinar y archivar los valores de las pruebas de laboratorio 2	SEMANA 5	Cromatografía
Determinar y archivar los valores de las pruebas de laboratorio 3	SEMANA 6	Caracterización
Realizar prueba de flash point	SEMANA 7	Punto de inflamación
Lectura analizador de gases 1	SEMANA 8	Diésel convencional
Lectura analizador de gases 2	SEMANA 9	B10
Lectura analizador de gases 3	SEMANA 10	B20
Lectura dinamómetro 1	SEMANA 11	Diésel convencional
Lectura dinamómetro 2	SEMANA 12	B10
Lectura dinamómetro 3	SEMANA 13	B20
Determinar y comparar los valores de desempeño de los motores diésel con el biodiésel respecto al diésel convencional.	SEMANA 14	
Formulación de conclusiones con respecto a los resultados obtenidos en el análisis comparativo.	SEMANA 15	
Correcciones realizadas por el tutor y creación de las diapositivas para la defensa.	SEMANA 16	

Realizado por: Pazmiño M.; Avemañay, J.; 2021.

3.4. Recursos y materiales

3.4.1. Materiales

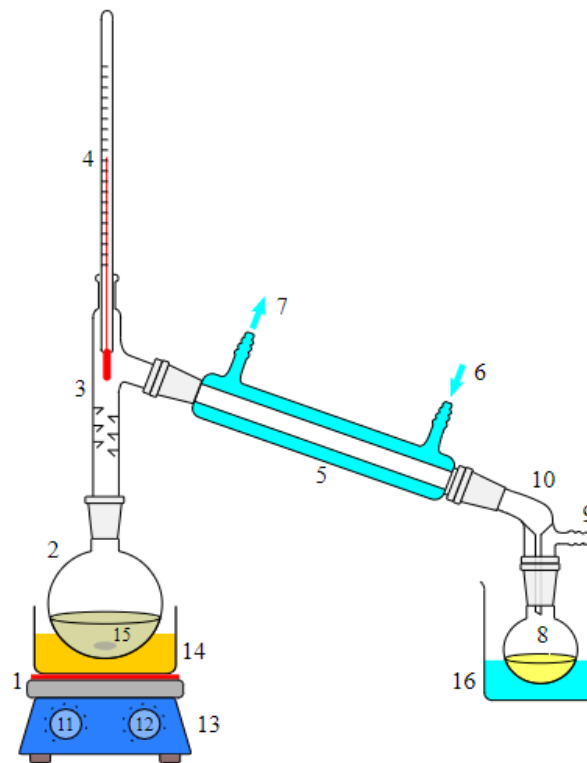


Figura 1-3. Diagrama esquemático del método de destilación por arrastre de vapor

Fuente: Forbes, R. J. 1970.

3.4.1.1. Limones

El limón es un auténtico tesoro nutricional y muy beneficioso para nuestra salud. Es una fruta curativa por excelencia, porque nos aporta vitaminas, elimina toxinas y es un poderoso bactericida, por lo que la OMS recomienda su consumo regular (Panelo, 2018)

3.4.1.2. Agua

El agua es la sustancia líquida, transparente, inodora, incolora e insípida, fundamental para el desarrollo de la vida en la Tierra, cuya composición molecular está constituida por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, manifiesta en su fórmula química H_2O . La palabra proviene del latín *agua*, que significa, efectivamente, 'agua'.

3.4.2. Equipos

3.4.2.1. Balanza electrónica

Es un instrumento que realiza el pesaje mediante procedimiento que implica sensores, que miden la masa de un cuerpo o sustancia.

3.4.2.2. Licuadora

Es un electrodoméstico con un motor eléctrico que sirve para triturar materia prima en partículas pequeñas por medio de unas cuchillas que giran gracias al movimiento del motor.

3.4.2.3. Cocineta eléctrica

Una cocina eléctrica es una variación de la cocina que convierte la electricidad en calor para cocinar y hornear.

Inventada en el Siglo XIX, la cocina eléctrica se hizo popular para sustituir las cocinas de combustible sólido (leña o carbón), que requieren más mano de obra para operar y mantener. Las cocinas eléctricas más modernas vienen en una unidad con una función de campanas extractoras y son programables.

3.4.2.4. Olla de presión

El principio que rige el funcionamiento de una olla a presión, es la relación existente entre presión, volumen y temperatura. En una olla a presión, el volumen permanece constante, sin embargo, el cierre hermético de la olla hace que al calentarse esta, la presión aumente (Caeiro, 2018, p.67)

3.4.2.5. Dean-Stark

Trampa de destilación, es una pieza de laboratorio utilizada en síntesis orgánica para recoger agua u otro líquido producto de una reacción o proveniente de un proceso de secado de un líquido (Schlumberger, 2019, p. 90).

3.4.2.6. Tubo refrigerante

El Tubo Refrigerante de Laboratorio o también nombrado, tubo condensador, es un dispositivo de vidrio que encontramos en el laboratorio. Este tubo es el que permite que los gases se transformen y se desprendan durante el proceso de destilación (Maliyam, 2019, pp. 84-87).

3.4.2.7. Vehículo

Un vehículo es una máquina que permite desplazarse de un sitio hacia otro. Los vehículos no solo pueden transportar personas, sino también animales, plantas y cualquier tipo de objeto.

3.4.2.8. Dinamómetro de rodillo

El dinamómetro es un instrumento para medir fuerzas, con base en la deformación elástica de un resorte calibrado. Se conoce también como dinamómetro o banco dinamométrico a los dispositivos empleados para absorber o disipar la potencia generada por una máquina basándose en la medición de ciertos parámetros como el par torsional y la velocidad angular. (Metrología, 2019, p. 45.)

3.4.2.9. Analizador de gases (opacímetro)

Los opacímetros son máquinas que, en el sector de la automoción, sirven para medir la opacidad de la emisión de humos en vehículos diésel.

Un tipo de herramienta imprescindible en las ITV, pero también en el taller mecánico para realizar un servicio más que interesante para el día a día de los reparadores: la revisión pre ITV (Reynasa, 2020, p. 117).

3.4.3. Recursos humanos

Recursos Humanos suele abreviarse como RR.HH. Se centra en conseguir que los trabajadores desempeñen sus obligaciones en la misma sintonía que la compañía, haciendo coincidir los objetivos y aspiraciones de los profesionales con la estrategia de la empresa (García, 2017, p. 56).

3.4.4. Recursos económicos

Son todas las entradas de los insumos que van a permitir el proceso productivo de un bien o un servicio, de acuerdo a la naturaleza de la empresa, es decir, son los factores de producción vistos

desde un enfoque teórico económico, en los cuales se encuentran varios elementos como son: el talento humano, financiero y a su vez la visión empresarial con miras a un emprendimiento, dado el caso que sea con la intervención de la mano de obra con el apoyo de un capital financiero, con la finalidad de hacerla sustentable en el tiempo (Ortega, 2019, p. 78).

Tabla 3-3. Costos directos del proyecto

Orden	Cantidad	Detalle	Precio unidad USD	Precio total USD
1	60	Saco de limones	5	300
2	60	Bidón de agua	2	120
3	3	Dinamómetro	20	60
4	3	Analizador de gases (Opacímetro)	20	60
TOTAL				540.00

Realizado por: Pazmiño M.; Avemañay, J.; 2021.

Tabla 4-3. Costos indirectos del proyecto

Descripción	Cantidad	Precio Unitario USD	Precio Total USD
Transporte	2	50 c/u	100
Comida	2	80 c/u	160
Otros	-----	100	100
TOTAL			360.00

Realizado por: Pazmiño M.; Avemañay, J.; 2021.

Tabla 5-3. Costos totales del proyecto

Descripción	Precio Total USD
Costos directos	540.00
Costos indirectos	360.00
Total	900.00

Realizado por: Pazmiño M.; Avemañay, J.; 2021.

3.5. Desarrollo del proyecto

Con el objetivo de evaluar la producción de biodiesel a partir de la cáscara de limón, el procedimiento se valoró en 300 réplicas de 1000g de cáscara de limón dando un total de 300000g de materia prima.

3.5.1. Pretratamientos físicos

3.5.1.1. Extracción de cáscara

Se procedió a extraer la cáscara de los limones manualmente con la herramienta de cuchillos, ya que para el proyecto solo necesitamos las cáscaras.



Figura 2-3. Pelado de cáscaras de limón

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

3.5.1.2. Pesaje de la cáscara

Continuamente se procedió al pesaje de la cáscara de limón en una balanza electrónica para registrar cuanta materia se usó en total en el proyecto como observamos en la figura 4-3.



Figura 3-3. Pesaje cáscaras de limón

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

3.5.1.3. Trituración

La cáscara de limón se sometió a un proceso de trituración, cuyo objetivo era reducir el tamaño de partícula del sustrato para que de esta manera tener mayor contacto con la materia prima y así obtener más aceite esencial, cuya trituración se llevó a cabo gracias a una licuadora Oster.



Figura 4-3. Trituración de la cascara de limón

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

3.5.1.4. Destilación por arrastre de vapor

Es uno de los métodos más utilizados para la extracción de los aceites esenciales, ya que se considera que se obtiene mejor calidad en el destilado que los otros métodos modernos, y el agua obtenida de la destilación se la conoce como agua floral (Shilenge, 2009, p. 50).

Ingresamos lo triturado en la olla de presión, en donde comenzaremos con el proceso de destilación por arrastre de vapor. Este proceso de destilación se extiende por el lapso de una hora, donde la cascara de limón estará sometida a alta presión y temperatura, las cuales son necesarias para alcanzar el punto de ebullición, esta técnica de destilación nos permite a la separación de sustancias solubles en agua, como se lo puede observar en la figura 20-3.



Figura 5-3. Destilación por arrastre de vapor

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

3.5.1.5. Obtención del aceite

En el punto más alto de ebullición comenzamos a observar como el proceso de destilación separa el líquido (agua) del aceite esencial que necesitaremos para su posterior análisis en los diferentes tipos de pruebas a realizarse.

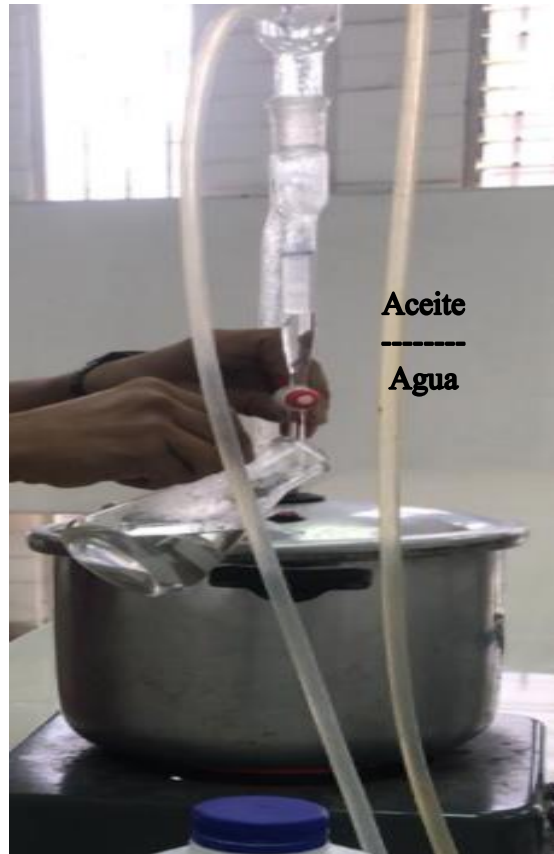


Figura 6-3. Separación aceite y agua

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

En la práctica realizada se logró presenciar varios cambios con resultados positivos en la mezcla del diésel convencional con el aceite de la cascara de limón, que obtuvimos al realizar las pruebas en el dinamómetro de rodillos y en el analizador de gases (Opacímetro).

Se realizó tres pruebas las cuales fueron: primera con el diésel convencional, segunda con la mezcla al B10 y la tercera con la mezcla al B20.

4.1. Resultados obtenidos

4.1.1. Obtención de resultados

Obtuvimos 3 litro de aceite de cáscara de limón a partir de 300kg en peso de materia prima mediante el proceso de destilación con arrastre de vapor, por lo cual obtuvimos resultados muy favorables. Este aceite a su vez sirvió para realizar dichas pruebas ya mencionadas anteriormente, en el vehículo de prueba con resultados positivos.

4.1.1.1. Rendimiento

El rendimiento de los aceites esenciales se define como la relación en gramos de aceite esencial obtenido con respecto a la cantidad de materia prima utilizado y se calcula mediante la Ec. 4 (Rodas, 2012)

$$\text{Porcentaje de rendimiento} = \frac{m_{a.e}}{m_{m.p}} \times 100 \quad (4)$$

Donde,

$m_{a.e}$ masa de aceite esencial

$m_{m.p}$ masa de materia prima

$$m_{a.e} = \rho * V \quad (5)$$

Donde,

ρ densidad del aceite esencial

V volumen del aceite obtenido

$$m_{a.e} = \rho * V = 0.909 \frac{g}{cm^3} * 3000 cm^3$$

$$m_{a.e} = 2727 g$$

$$\text{Porcentaje de rendimiento} = \frac{2727 g}{300000 g} \times 100 = 0.909\%$$

4.1.1.2. Prueba de densidad

El diésel tiene una densidad aproximadamente de $0.850\text{g}/\text{cm}^3$, en cuanto el limoneno su densidad corresponde a $0.8411\text{g}/\text{cm}^3$ teóricamente.

Se hicieron varias pruebas físico-químicas antes de comenzar las pruebas físicas en el vehículo, una de estas fue la de densidad.



Figura 1-4. Medición de densidad

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

Densidad de $0.909\text{g}/\text{cm}^3$

Temperatura de 20°C

4.1.1.3. Prueba de viscosidad



Figura 2-4. Viscosímetro

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.



Figura 3-4. Pirómetro

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

Se obtuvo una viscosidad dinámica de 62.7 mPa*s o 0.627 g/cm * s, con una temperatura de 20.8°C, con una velocidad de 60rpm y 62.7%. 1Stokes = 1cm²/s

$$\nu = \frac{n}{\rho} \quad (6)$$

Donde,

ν es la viscosidad cinemática

n es la viscosidad dinámica

ρ es la densidad

$$\nu = \frac{n}{\rho} = \frac{0.627 \text{ g/cm} \cdot \text{s}}{0.909 \text{ g/cm}^3} = 0.6897 \text{ cm}^2/\text{s}$$

4.1.1.4. Espectrofotómetro de infrarrojo

El espectrofotómetro se utiliza para estudiar e identificar sustancias químicas o grupos funcionales en forma sólida, líquida o gaseosa, de la cual se llevó a cabo a las pruebas en el aceite de limón y en el diésel convencional para comparar sus grupos funcionales.



Figura 4-4. Espectrofotometría aceite de limón

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.



Figura 5-4. Espectrofotometría Diésel convencional

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

4.1.1.5. Prueba flash point

En esta prueba realizada se observó los niveles de inflamación que tiene el aceite de cascara de limón y como resultado nos arrojó 54°C de temperatura para su punto de inflamación, tanto el diésel su temperatura para llegar al punto de inflamación es de 52°C.



Figura 6-4. Flash point

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

4.1.1.6. Primera prueba en el dinamómetro



Figura 7-4. Vehículo analizado en el dinamómetro

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

La primera prueba que se realizó en el dinamómetro se llevó a cabo en condiciones normales del vehículo sin colocar ningún aditivo adicional, este arrojó datos como lo son torque y potencia, las cuales no estaban en un rango permitido para el buen desarrollo del vehículo.

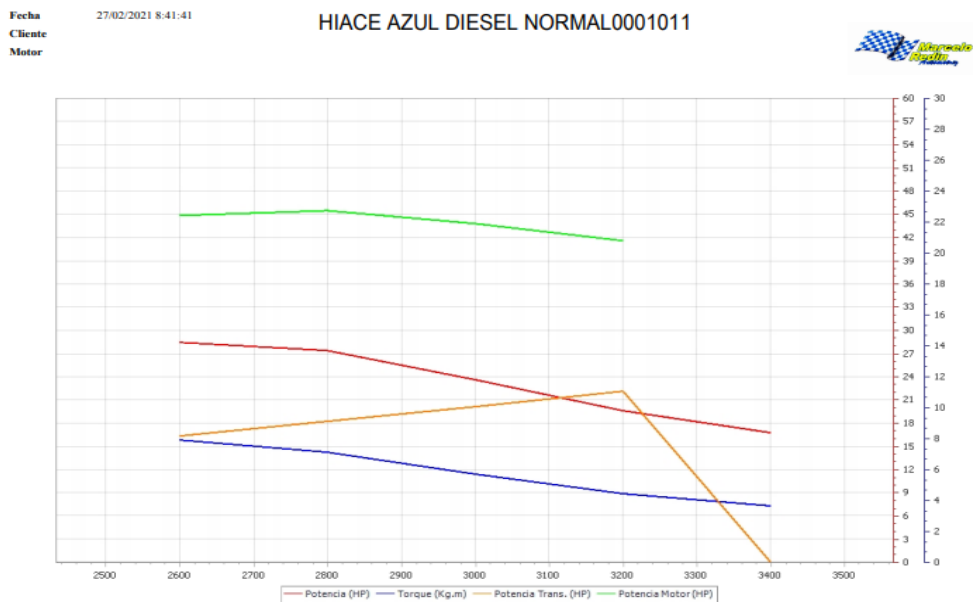


Gráfico 1-4: Lectura de la primera prueba diésel convencional

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

Cuya primera prueba correspondió a una potencia de 45.5HP y un torque de 7.1Kg*m a 2800RPM.

4.1.1.7. Segunda prueba dinamómetro

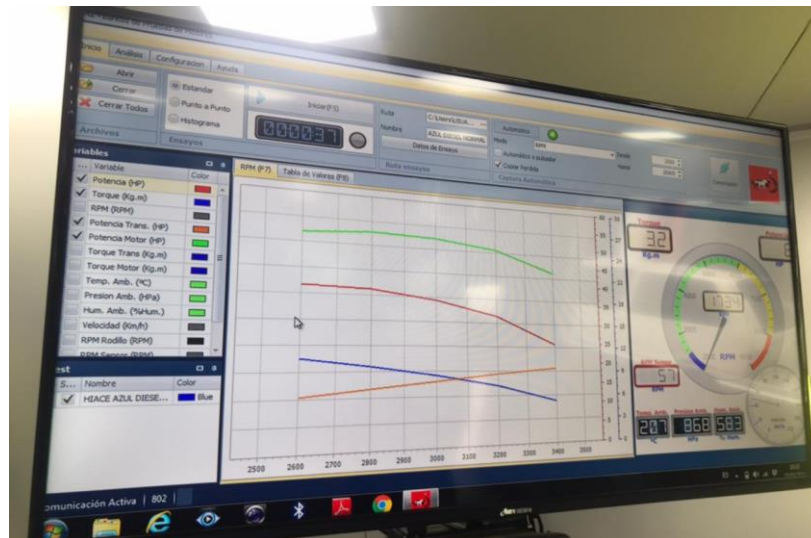


Figura 8-4. Lectura de la segunda prueba al B10

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

En esta segunda prueba se la hizo al B10, esto nos quiere decir que es la mezcla entre el 10% del aceite de la cascara de limón y el 90% de diésel convencional, donde los datos como torque y potencia sufrieron cambios negativos, ya que redujo su potencia de 45.5HP a 42.5HP y su torque de 7.1Kg*m a 6.7Kg*m a 2800RPM

4.1.1.8. Tercera prueba dinamómetro.

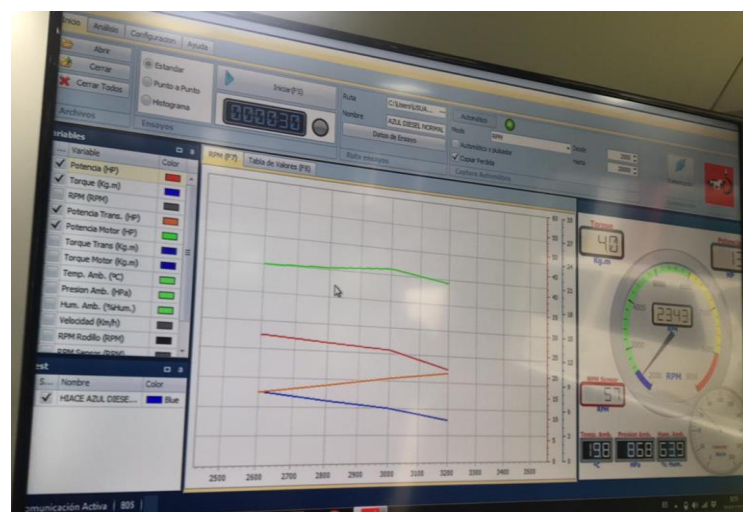


Figura 9-4. Lectura de la tercera prueba al B20

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

En esta tercera prueba se la hizo al B20, esto nos quiere decir que es la mezcla entre el 20% del aceite de la cáscara de limón y el 80% de diésel convencional, donde los datos como torque y potencia sufrieron cambios positivos, ya que aumento su potencia de 45.5HP a 51.4HP y su torque de 7.1Kg*m a 9.6Kg*m a 2800RPM

4.1.1.9. Primera prueba analizador de gases (opacímetro)



Figura 10-4. Opacímetro

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

Se procedió a analizar los niveles de gases (smoke) que emite el vehículo en condiciones normales sin ningún tipo de mezcla alguna en su primera prueba.

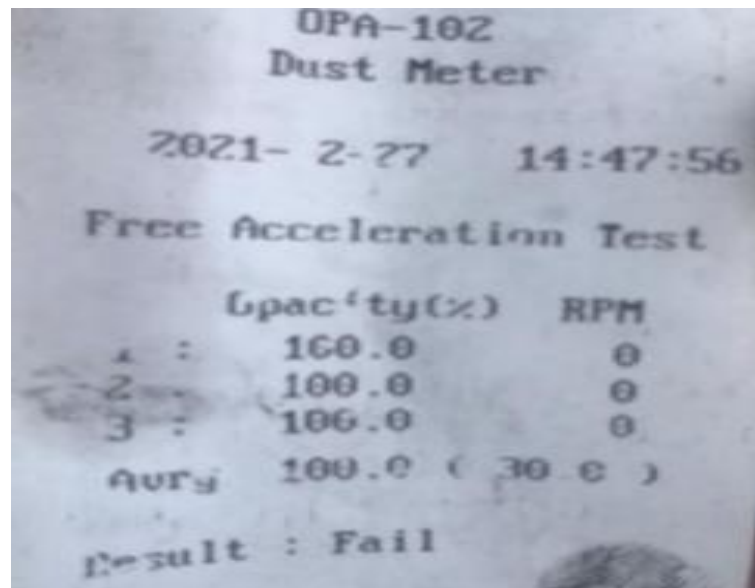


Figura 11-4. Primera lectura opacímetro estándar

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

En la primera prueba en el analizador de gases nos arrojó un resultado del 100% de opacidad (smoke) y como resultado fallido en tal caso no pasaría la revisión vehicular ya que su porcentaje límite es al 30%.

4.1.1.10. Segunda prueba analizador de gases (opacímetro)

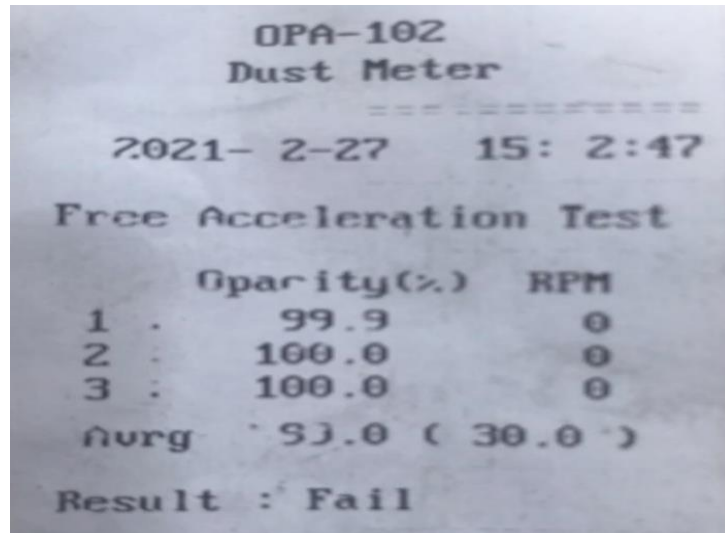


Figura 12-4. Segunda lectura opacímetro al B10

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

En esta prueba que es al B10 de la mezcla aceite-diésel se pudo observar un cambio leve en cuanto a los niveles de gases emitidos en la primera prueba, pero mientras aun no puede pasar por la revisión vehicular ya que su porcentaje límite es al 30%.

4.1.1.11. Tercera prueba opacímetro.

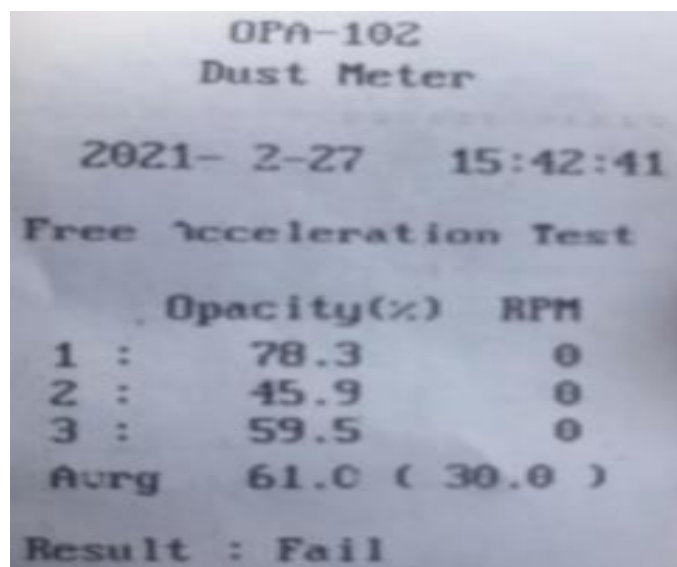


Figura 13-4. Tercera lectura opacímetro al B20

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

En esta prueba al B20 ya se notan cambios positivos en cuanto a la reducción de gases del vehículo, comparadas a las dos primeras lecturas, pero al igual no es acto para pasar la revisión vehicular.

4.1.2. Análisis de los resultados

Dicho anteriormente se obtuvo 3000 ml. de 300000 g. de materia prima dándonos un porcentaje de rendimiento en peso de 1% cuyo resultado fue favorable para nuestro proyecto, cuyo producto elaborado a base de aceites esenciales resultado de buena calidad, Donde se utilizaron diversos análisis para su tipificación, desde densidad hasta espectrofotometría infrarroja.

La densidad por su parte fue 0.909 g/cm^3 lo que concuerda con la normativa nacional, que exige un valor $0.875-0.900 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01$ (4, 2013).

La espectrofotometría se realizó en vez de la cromatografía en la cual se observó y se comparó el grupo funcional tanto del aceite obtenido como del diésel convencional, en el cual el resultado nos arrojó grupos funcionales semejantes como los podemos observar a continuación.

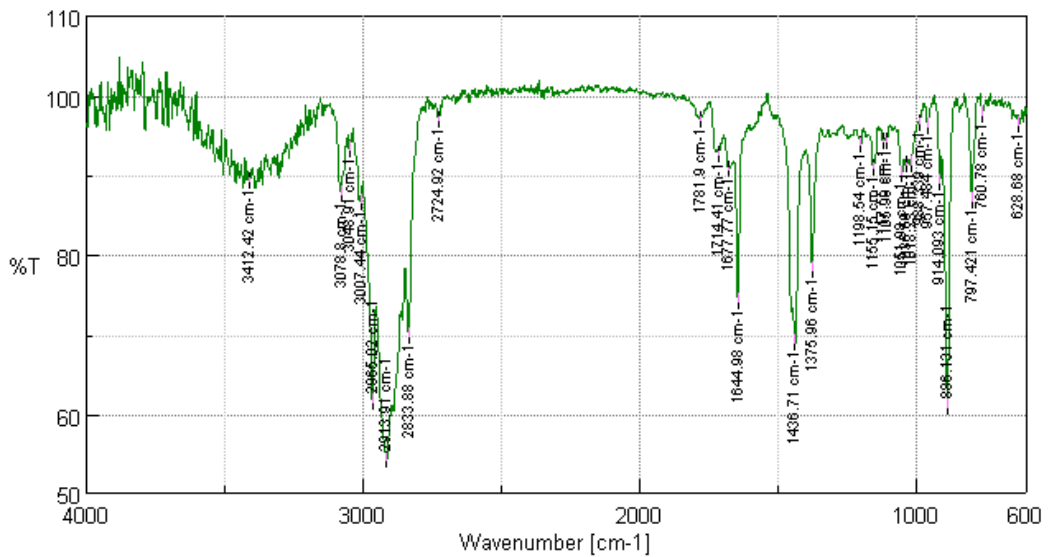


Figura 14-4: Grupo funcional aceite obtenido

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

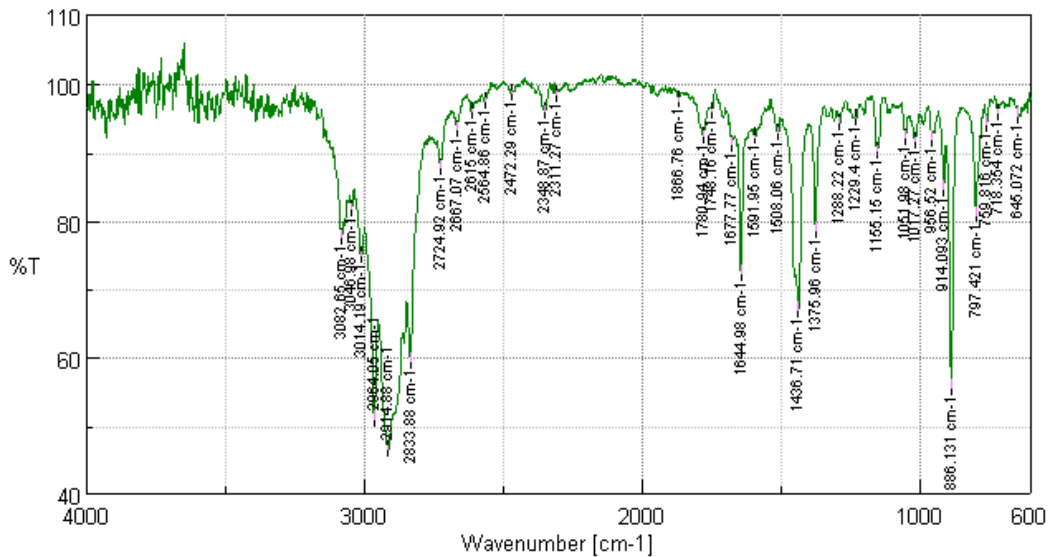


Figura 15-4: Grupo funcional diésel convencional

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

La cantidad de agua encontrada marco un evidente pico entre 3080 y 3400cm^{-1} de la espectroscopia infrarroja realizada, sin embargo ese pico indica la presencia del grupo alcohol y por ende, podría provenir de la presencia de metanol remanente.

Se realizó la prueba de punto de inflamación más conocida como flash point, la cual también nos arrojó datos semejantes como en el aceite obtenido se logró observar que su punto de inflamación es 54°C y el punto de inflamación del diésel convencional es de 52°C , cuyo resultado lo hace apto por su idoneidad.

Para culminar este proyecto, se procedió a hacer la mezcla B10 Y B20 en un motor ciclo diésel cilindraje de 2446cc siendo una furgoneta Toyota Hiace, cuyo resultado B20 fue muy favorable aumentando torque y potencia.

Es verdaderamente gratificante evidenciar que, de una sustancia como el aceite de la cáscara de limón, prácticamente considerada residuo, se pueda extraer algo que efectivamente haga funcionar un motor. Es indudable que el grado de compresión de un motor diésel permite la ignición incluso de un aceite puro, pero el llegar a una sustancia sensatamente refinada que se sabe que no ocasionará perjuicios al motor es una experiencia realmente gratificante. El motor arrancó con facilidad, y gradualmente comenzó a emitir por el tubo de escape el particular olor a limón, propio de la combustión del biodiesel y reduciendo emisiones de gases.

4.1.2.1. Análisis comparativo dinamómetro



Gráfico 2-4: Cuadro comparativo en el dinamómetro

Realizado por: Pazmiño M, Avemañay J. 2021.

4.1.3. Especificaciones técnicas

4.1.3.1. Ficha técnica

Tabla 1-4. Ficha técnica comparativa entre diésel y aceite obtenido

Descripción	Diésel	Aceite obtenido
Densidad (g/cm^3)	0,850	0,909
Viscosidad dinámica (mPa*s)	95,200-316,200	62,700
Viscosidad cinemática (cm^2/s)	1,120-3,720	0,689
Punto de inflamación ($^{\circ}C$)	52,000	54,000
Masa por litro (g)	850,000	909,000

Realizado por: Pazmiño M.; Avemañay, J.; 2021.

CONCLUSIONES

Durante el tiempo de elaboración de este proyecto se pudo indagar, estudiar y relacionar múltiples conceptos y principios de funcionamiento gracias al uso de diferentes fuentes bibliográficas confiables que posteriormente direccionaron y aportaron a la culminación exitosa del presente proyecto.

De acuerdo a los análisis de las propiedades físicas y químicas y como las exigencias el aceite de cáscara de limón es idóneo y está dentro de los estándares establecidos para su uso como biodiesel. Mediante los resultados obtenidos se estableció un análisis comparativo entre los valores referenciales de las curvas características de torque y potencia obtenidas en un dinamómetro en función a las condiciones iniciales del vehículo y las obtenidas luego de la mezcla del aceite, obteniendo en primera instancia de su respectiva mezcla obteniendo una pérdida respecto al torque y potencia del vehículo de 0.4kg*m y 3HP respectivamente, para luego de la segunda mezcla obtener una ganancia de 2.5kg*m y 5.9HP evidenciando con ello que el vehículo luego de su proceso de adaptación logra mejoras cualitativas de desempeño respecto a estos parámetros. El análisis estadístico comparativo del opacímetro nos indica que al concluir con el estudio del análisis de gases podemos estar seguros en un 100 % de que existe una diferencia entre los gases emitidos del vehículo con diésel convencional versus al 20% de aceite con 80% de diésel, dicho esto se logró comprobar que las emisiones gases contaminantes disminuyeron notablemente, obteniendo como resultados un decrecimiento de humo.

Se concluye que por medio de los resultados obtenidos el aceite de cascara de limón es importante como combustible alternativo, pero no es tan factible para su producción tipo piloto para ser comercializado, por el costo de su proceso respectivo para ser obtenido.

RECOMENDACIONES

Es importante buscar nuevas alternativas para disminuir los índices de contaminación ambiental y de esta forma aportar a la conservación del medio ambiente y reemplazar los combustibles derivados del petróleo para la motricidad de los motores, desarrollando nuevas fuentes de materia prima separadamente de la palma africana, por ello fomentar fuentes alternativas como lo son distintos tipos de plantas y frutas que contengan un porcentaje de rendimiento en peso muy alto.

GLOSARIO

°C: El grado Celsius (símbolo °C), históricamente conocido como grado centígrado, es la unidad termométrica cuyo 0 se ubica 0.01 grados por debajo del punto triple del agua y su intensidad calorífica equivale a la de kelvin (Benavides, et al., 2007, p. 96).

Biocombustible: Biocombustible es un término que se usa para referir a todos aquellos combustibles producidos a partir de biomasa, esto es, desechos de organismos vegetales disponibles en el medio ambiente actual (Cortes Ortiz, 2014, p.59).

Biodegradable: Decimos que un material, objeto o producto es biodegradable cuando puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos y condiciones ambientales de distinto tipo. Es decir, cuando hablamos de biodegradabilidad nos referimos a la capacidad de descomposición de algo (Benemann, et al., 1982).

Biomasa: Se entiende como biomasa toda la materia orgánica susceptible de ser utilizada como fuente de energía (García, 2017, p. 56).

Combustibles: Se llama combustible a todo tipo de materiales y sustancias que, tras un proceso de combustión, son capaces de liberar energía potencial que se transforma en energía utilizable de diversos tipos, tales como la energía térmica o mecánica (Aimaretti, et al., 2008).

Combustión: Combustión es un proceso químico de oxidación rápida que va acompañado de desprendimiento de energía baja en forma de calor y luz. Para que este proceso se dé, es necesario la presencia de un combustible, un comburente y calor (Hernández Rodríguez & Hernández, 2008).

Dinamómetro: El dinamómetro es un instrumento para medir fuerzas, con base en la deformación elástica de un resorte calibrado. Se conoce también como dinamómetro o banco dinamométrico a los dispositivos empleados para absorber o disipar la potencia generada por una máquina basándose en la medición de ciertos parámetros como el par torsional y la velocidad angular (Ortega, 2019, p. 78).

Emisiones: Emisiones son todos los fluidos gaseosos, puros o con sustancias en suspensión

Fósil: Los fósiles son los restos petrificados de organismos que vivieron en épocas remotas

G: El gramo es una unidad de masa que forma parte del Sistema Internacional de Unidades. De símbolo g, el gramo equivale a una milésima parte de un kilogramo (Caeiro, 2018, p.67).

Gasificación: La gasificación es un proceso llevado a cabo en un gasificador en el que se produce la transformación de una materia prima en estado sólido o líquido en un gas con un poder calorífico moderado, gracias a la aplicación de calor, de un agente gasificante y bajo unos niveles de oxígeno restringidos (Cortes Ortiz, 2014, p.59).

Hidrocarburos: Se conoce como hidrocarburo al compuesto de tipo orgánico que surge al combinar átomos de hidrógeno con otros de carbono. Según los expertos en la materia, en este compuesto la forma molecular se basa en átomos de carbono enlazados con átomos de hidrógeno. Estas cadenas de átomos de carbono pueden ser abiertas o cerradas y lineales o ramificadas

HP: Un caballo de fuerza es una unidad de medida de potencia, perteneciente al sistema de medición inglés con el nombre horsepower ('caballo de potencia'). Su símbolo es HP., 68

Kg: El kilogramo, cuyo símbolo es kg, es una de las 7 unidades de medidas básicas definidas por el Sistema internacional de unidades las plantas emiten CO₂) (Ashok, et al., 2017).

Opacímetro: El Opacímetro es una máquina para la medición de la opacidad de la emisión de humos en vehículos diesel (Aimaretti, et al., 2008).

Pirólisis: La pirólisis es una degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión, (Hernández Rodríguez & Hernández, 2008).

Renovable: El adjetivo renovable hace referencia a aquello que tiene posibilidades de ser renovado. El verbo renovar, por su parte, está vinculado a regresar algo a su primer estado o a dejarlo como nuevo (Cortes Ortiz, 2014, p.59).

RPM: Las RPM, o revoluciones por minuto, son una unidad de medida de frecuencia empleada también para expresar la velocidad angular (Benavides, et al., 2007, p. 96).

Torque: El término torque es una palabra inglesa, la cual, todavía no aparece en el diccionario de la Real Academia de la Lengua. Su traducción es 'esfuerzo de torsión', un término que puede emplearse en diferentes ámbitos y sectores (Aimaretti, et al., 2008).

BIBLIOGRAFÍA

AIMARETTI, Nora; INTILÁNGELO, Luciana; CLEMENTZ, et. al. “Aprovechamiento de la glicerina obtenida durante la producción de biodiesel”. Invenio [En línea], 2008, (Argentina), 11(20), pp. 137-144 [Consulta: 25 octubre 2020]. ISSN 0329-3475. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/66127/CONICET_Digital_Nro.b4f60257-37a8-40a4-bba7-a65861fbcfb6_J.pdf?sequence=11&isAllowed=y

BENAVIDES, Alirio; BENJUMEA, Pedro; & PASHOVA, Vaselina. “El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diésel”. Dyna [En línea], 2007, (Colombia), 74(153), pp. 141-150. [Consulta: 23 octubre 2020]. ISSN 0012-7353. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49615302.pdf>

BENEMANN, Junior; WEISSMAN, Joseph; KOOPMAN, Ben; & OSWALD, William. *Nature*, “Microalgas como fuente de combustibles líquidos”, n° 268 (1978), (Reino Unido) pp. 19-23.

CAEIRO, Paula. *Qué es y cómo funciona una olla de presión* [blog]. [Consulta: 26 enero 2021]. Disponible en: <https://www.bonviveur.es/preguntas/que-es-y-como-funciona-una-olla-a-presion>

CASTILLO FERNÁNDEZ, Kevin. Caracterización teórica de parámetros del biodiesel y estudio de algunas de sus emisiones [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniero) Universidad Politécnica de Madrid, Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química. España. 2018. pp. 11-79 [Consulta: 2020-10-20].

CONDORI ROQUE, Miguel Angel, & HERRERA ROQUE, Victor Saúl. Evaluación de los niveles de dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y la densidad total del polvo con sensores de calidad de aire en la ciudad de Juliaca, Puno, 2018 [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniero) Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Juliaca, Perú. pp. 17-81 [Consulta: 2021/01/10]. Disponible en: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2713/Miguel_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y

CORTÉS ORTIZ, William Giovanni. “Tratamientos Aplicables a Materiales Lignocelulósicos para la Obtención de Etanol y Productos Químicos”. *Journal of technology* [En línea], 2014,

(Colombia), 13(1), pp. 39-44 [Consulta: 31 octubre 2020]. ISSN 1692-1399. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041572>

COSTA, Joaquín. *Cronograma de actividades: qué es y cómo hacerlo* [blog]. [Consulta: 16 Octubre 2020] Disponible en: <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/cronograma-de-actividades-que-es-y-como-hacerlo/#:~:text=Se%20entiende%20por%20cronograma%20de,para%20poder%20completar%20un%20proyecto.&text=Existen%20muchos%20tipos%20de%20cronogramas,uno%20de%201os%20m%C3%A1s%20>

DE LUCAS HERGUEDAS, Ana Isabel; DEL PESOTARANCO, Carlos; RODRÍGUEZ GARCÍA, Encarna; & PRIETO PANIAGUA, Prado. *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. Palencia-España: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT, 2012. ISBN 978- 84- 931891- 5- 0, pp. 11-209.

DE PAULA, Gabriel; & LORENZO, Cristian. “*Inseguridad energética y gestión de recursos naturales estratégicos: análisis de la política de biocombustibles en Argentina en el contexto global*”. Unisci [En línea], 2009, (Argentina), 1(20), pp. 61-77. [Consulta: 23 octubre 2020]. ISSN 1696-2206. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/262009939_Inseguridad_Energetica_y_Gestion_de_Recursos_Naturales_Estrategicos_Analisis_de_la_Politica_de_Biocombustibles_en_Argentina_en_el_Contexto_Global

GARCÍA, Iván. *Definición de Recursos Humanos* [blog]. [Consulta: 03 Febrero 2021]. Disponible en: <https://www.economiasimple.net/glosario/recursos-humanos>

HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, Marco Antonio; & HERNÁNDEZ ZÁRATE, Jorge Arturo. “*Verdades y mitos de los biocombustibles*”. Elementos: Ciencia y cultura [En línea], 2008, (México) 15(71), pp. 15-18. [Consulta: 10 octubre 2020]. ISSN 0187-9073. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/294/29407102.pdf>

MALIAM, E. *Tubo refrigerante de laboratorio* [blog]. [Consulta: 28 Enero 2021]. Disponible en: <https://www.materialdelaboratorio.top/tubo-refrigerante-de-laboratorio/>

MANRIQUE GUIO, Vanessa. Caracterización fisicoquímica y análisis de emisiones de mezclas diésel-biodiésel-aceite ligero en motores de encendido por compresión [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica

y Eléctrica. Monterrey, México. 2009. pp. 20-49 [Consulta: 2021-01-12]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/18920/1/1080313638.pdf>

MUÑIZ MENDOZA, Lorenzo Marcos. *¿Qué es un dinamómetro vehicular y cómo se usa para la medición de emisiones contaminantes de los vehículos?* [blog]. [Consulta: 30 Enero 2021]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cenam/articulos/que-es-un-dinamometro-vehicular-y-como-se-usa-para-la-medicion-de-emisiones-contaminantes-de-los-vehiculos?idiom=es>

ORTEGA, Octavio. *Recursos económicos* [blog]. [Consulta: 03 Febrero 2021]. Disponible en: <https://trabajoypersonal.com/recursos-economicos/>

OYARZÚN, Manuel. *“Contaminación aérea y sus efectos en la salud”*. Revista chilena de enfermedades respiratorias [En línea], 2010, (Chile) 26(1), pp. 16-25 [Consulta: 08 enero 2021]. ISSN 0717-7348. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-73482010000100004

PENELO, Lidia. *Limón: propiedades, beneficios y valor nutricional* [blog]. [Consulta: 23 Enero 2021]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/comer/frutas/20180815/5027/limon-propiedades-beneficios-valor-nutricional.html>

QUEZADA MORENO, W.F.; QUEZADA TORRES, W.D; et. al. “Extracción y caracterización química del aceite esencial de Tagetes pusilla, en muestras frescas y almacenadas”. *Investigation of process parameters*, n° 1 (2009), (Cuba & Ecuador) pp. 307-313.

RECOMPENSA JOSEPH, Lázaro Camilo; DIAS PEREIRA, Benedito; ZABALA ZABALA, Arturo; DE MELO FARIAS, Alexandre; & RAMOS, Pedro. “Biocombustibles: ¿Una estrategia de desarrollo lucrativamente sostenible?”. *Polis* [En línea], 2008, (Chile), 7(21), pp. 145-165 [Consulta: 18 Noviembre 2020]. ISSN 0718-6568. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-65682008000200008

REYNASA. *Las ITV, pero también los talleres, requieren de esta herramienta que sirve para medir la “carbonilla” o humo negro que sale por el escape de estos vehículos* [blog]. [Consulta: 01 Febrero 2021]. Disponible en: <https://www.reynasa.es/opacimetro-para-controlar-las-emisiones-de-los-diesel/>

RODAS CEBALLOS, Melisa Alejandra. Análisis de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos de un aceite esencial de romero obtenido por medio de la destilación por arrastre

de vapor [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniero) Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química. Guatemala. 2012. pp. 5-126 [Consulta: 2020-10-11]. Disponible en: <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/2012/02/13/Rodas-Melisa.pdf>

RODRIGUES, Geraldo Stachetti; RODRIGUES, Izilda Aparecida; et. al. “Socio-environmental impact of biodiesel production in brazil”. *Journal of Technology Management & Innovation* [En línea], 2007, (Brasil), 2(2), pp. 46-66. [Consulta: 15 octubre 2020]. ISSN 0718-2724. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84720206>

RODRIGUEZ, Gabriel; & RIBEIRO, Matías. *Estudio comparado entre el combustible diésel y el biodiesel* [blog]. [Consulta: 25 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://savoiapower.com/Biodiesel%20vs%20Diesel.pdf>

ROMERO, Jordi; & MIRALLES, Jordi. “Perspectiva Ambiental 24-Biocombustibles”. *Fundación Terra* [En línea], 2002, (España), 24(1), pp. 3-33 [Consulta: 23 Noviembre 2020]. ISSN 2090-1975. Disponible en: https://www.agenergia.org/wp-content/uploads/2018/05/1234281169_Biocombustibles_FTerra.pdf

SALAS OCAMPO, Danelly. *Investigación bibliográfica* [blog]. [Consulta: 30 Enero 2021]. Disponible en: <https://investigaliacr.com/investigacion/investigacion-bibliografica/>

SALINAS CALLEJAS, Edmar; & GAZCA QUEZADA, Víctor. *Los biocombustibles*. [En línea] 157ª ed. Distrito Federal-México: El cotidiano, 2009. [Consulta: 10 Enero 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>

SCHLUMBERGER, M. *Trampa Dean-Stark* [blog]. [Consulta: 26 Enero 2021]. Disponible en: <https://quimicafacil.net/infografias/dean-stark/>

SECRETARIA DE ENERGÍA DE ARGENTINA. *Energías renovables* [blog]. [Consulta: 15 noviembre 2020]. Disponible en: http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_biomasa.pdf

SOLANO, Paola Andrea; MONCADA, Jorge Andrés; CARDONA, Carlos Ariel; & RUIZ, Orlando Simón. “Modelamiento y simulación de un biorreactor de membrana para obtención de biodiesel”. *Universidad EAFIT* [En línea], 2008, (Colombia), 44(151), pp. 84-92. [Consulta: 18 octubre 2020]. ISSN 0120-341X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/215/21515106.pdf>

VEGA CHARPENTIER, Orlando. *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiesel.* San José-Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2010. ISBN 978-92-9248-196-4, pp. 11-56.

005-004-DIRECTORIO ARCH-2013. *Agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables. Norma para el Manejo y Control del Biodiesel (B100) y la Mezcla Diésel Premium -Biodiesel (Diésel Premium).*

ANEXOS

ANEXO A: CARACTERÍSTICAS DENSÍMETRO.

DENSÍMETRO PORTÁTIL DMA 35 BASIC	
Rango de medición	Densidad: De 0 g/cm ³ a 3 g/cm ³ Temperatura: 0 °C a 40 °C (32 °F a 104 °F)*
Precisión	Densidad: 0.001 g/cm ³ ** Temperatura: 0,2 °C (0,4 °F)
Respetabilidad, desviación estándar	Densidad: 0.0005 g/cm ³ Temperatura: 0.1 °C (0.2 °F)
Reproducibilidad, desviación estándar	Densidad: 0.0007 g/cm ³
Resolución angular	Densidad: 0.0015 g/cm ³ Temperatura: 0,1 °C (0,1 °F)
Temperatura ambiente	-10 °C a +50 °C (14 °F a 122 °F)
Unidades de medición admitidas	<ul style="list-style-type: none">• Gravedad específica• Tablas para alcohol• Tablas para azúcar/extracto• Funciones API• Tablas para H₂SO₄• 10 funciones programables (por ej., H₂O₂, HCl, CH₂O)
Volumen de la muestra	2 ml
Dimensiones (largo x ancho x alto)	140 x 138 x 27 mm (5.5 x 5.4 x 1.0 pulgadas)
Memoria de datos	1024 resultados medidos, 20 métodos de medición, 100 ID de muestras
Suministro eléctrico	Dos pilas alcalinas AA de 1.5 V LR06
Peso	345 g (12.2 onzas)
Interfaces	IrDA OBEX/LPT
Clase de protección	IP54
Seguridad intrínseca	no
Opciones disponibles	<ul style="list-style-type: none">• Tubo de llenado alargado• Impresora térmica portátil con interfaz IrDA• Adaptador USB IrDA• Pulsera• Calibración ISO

ANEXO B: VISCOSÍMETRO

VISCOSÍMETRO CINEMÁTICO: SVM 3001				
	SVM 2001	SVM 3001	SVM 3001 Cold Properties	SVM 4001
Patentes concedidas	AT516058 (B1), AT516302 (B1)	AT516058 (B1), AT516302 (B1)	AT516058 (B1), AT516302 (B1)	AT516058 (B1), AT516302 (B1)
Rango de temperatura	De +15 °C a +100 °C	De -60 °C a +135 °C	De -60 °C a +100 °C	De +15 °C a +100 °C
Rango de viscosidad	0.2 mm ² /s a 30 000 mm ² /s	0.2 mm ² /s a 30 000 mm ² /s	0.2 mm ² /s a 30 000 mm ² /s	0.2 mm ² /s a 30 000 mm ² /s
Rango de densidad	De 0.6 g/cm ³ a 3 g/cm ³	De 0.6 g/cm ³ a 3 g/cm ³	De 0.6 g/cm ³ a 3 g/cm ³	De 0.6 g/cm ³ a 3 g/cm ³
Repetibilidad de viscosidad*	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %
Reproducibilidad de la viscosidad*	0.35 %	0.35 %	0.35 %	0.35 %
Repetibilidad de la densidad*	0.0002 g/cm ³	0.00005 g/cm ³	0.00005 g/cm ³	0.00005 g/cm ³
Reproducibilidad de la densidad*	0.0005 g/cm ³	0.0001 g/cm ³	0.0001 g/cm ³	0.0001 g/cm ³
Repetibilidad de temperatura	0.005 °C (0.009 °F)	0.005 °C (0.009 °F)	0.005 °C (0.009 °F)	0.005 °C (0.009 °F)
Reproducibilidad de la temperatura	0.03 °C (0.054 °F) desde 15 °C a 100 °C	0.03 °C (0.054 °F) desde 15 °C a 100 °C 0.05 °C (0.09 °F) fuera de este rango	0.03 °C (0.054 °F) desde 15 °C a 100 °C 0.05 °C (0.09 °F) fuera de este rango	0.03 °C (0.054 °F) desde 15 °C a 100 °C
Estándares principales	ASTM D7042, EN 16896	ASTM D7042, EN 16896 ASTM D4052, ISO 12185	ASTM D7042, EN 16896 ASTM D4052, ISO 12185	ASTM D7042, EN 16896 ASTM D4052, ISO 12185
Clases de precisión disponibles	Ultrarrápida, rápida y precisa	Ultrarrápida, rápida, precisa y ultraprecisa	Ultrarrápida, rápida, precisa y ultraprecisa	Ultrarrápida, rápida, precisa y ultraprecisa
Volumen de muestra mín./habitual	1.5 mL / 5 mL	1.5 mL / 5 mL	1.5 mL / 5 mL	2.5 mL / 6 mL

Volumen de disolvente mín./habitual	1.5 mL / 6 mL	1.5 mL / 6 mL	1.5 mL / 6 mL	2.5 mL / 10 mL
Rendimiento máximo de la muestra	30 muestras por hora	30 muestras por hora	30 muestras por hora	24 muestras por hora
Control de temperatura Peltier	Diseñado para para temperatura constante	Diseñado para calentamiento/enfriamiento rápido en un rango amplio	Diseñado para calentamiento/enfriamiento rápido en un rango amplio	Diseñado para la medición simultánea a dos temperaturas cualquiera dentro del rango
Automatización opcional	<ul style="list-style-type: none"> • Sin calentamiento : jeringa única (5 mL o 10 mL) o 35 viales (45 mL) o 71 viales (12 mL) • Con calentamiento : 36 viales (12 mL) o llenado de muestra individual 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin calentamiento: jeringa única (5 mL o 10 mL) o 35 viales (45 mL) o 71 viales (12 mL) • Con calentamiento: 36 viales (12 mL) o llenado de muestra individual 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin calentamiento: jeringa única (5 mL o 10 mL) o 35 viales (45 mL) o 71 viales (12 mL) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin calentamiento: jeringa única (5 mL o 10 mL) o 35 viales (45 mL) o 71 viales (12 mL) • Con calentamiento: 36 viales (12 mL) o llenado de muestra individual
Piezas en contacto con la muestra	Interior del instrumento: <ul style="list-style-type: none"> • Cobre • Titanio • Acero inoxidable A4 • Inconel[®] 	Interior del instrumento: <ul style="list-style-type: none"> • Cobre • Titanio • Acero inoxidable A4 • Inconel[®] 	Interior del instrumento: <ul style="list-style-type: none"> • Cobre • Titanio • Acero inoxidable A4 • Inconel[®] 	Interior del instrumento: <ul style="list-style-type: none"> • Cobre • Titanio • Acero inoxidable A4 • Inconel[®]
Juntas tóricas en contacto con la muestra	Viton [®] Extreme	Kalrez [®] Spectrum 0040	Kalrez [®] Spectrum 0040	Viton [®] Extreme
Memoria de datos	1000 resultados de mediciones	1000 resultados de mediciones	1000 resultados de mediciones	1000 resultados de mediciones
HID (Human Interface Device)	• Pantalla táctil	• Pantalla táctil	• Pantalla táctil	• Pantalla táctil

	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado opcional, mouse y lectora de códigos de barra 2D 	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado opcional, mouse y lectora de códigos de barra 2D 	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado opcional, mouse y lectora de códigos de barra 2D 	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado opcional, mouse y lectora de códigos de barra 2D
Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> • 4 x USB (velocidad 2.0) • 1 x Ethernet (100 Mbit) • 1 x Bus CAN • 1 x RS-232; 1 x VGA 	<ul style="list-style-type: none"> • 4 x USB (velocidad 2.0) • 1 x Ethernet (100 Mbit) • 1 x Bus CAN • 1 x RS-232; 1 x VGA 	<ul style="list-style-type: none"> • 4 x USB (velocidad 2.0) • 1 x Ethernet (100 Mbit) • 1 x Bus CAN • 1 x RS-232; 1 x VGA 	<ul style="list-style-type: none"> • 4 x USB (velocidad 2.0) • 1 x Ethernet (100 Mbit) • 1 x Bus CAN • 1 x RS-232; 1 x VGA
Alimentación eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • CA 100 a 240 V • 50 Hz a 60 Hz • 250 VA máx. 	<ul style="list-style-type: none"> • CA 100 a 240 V • 50 Hz a 60 Hz • 250 VA máx. 	<ul style="list-style-type: none"> • CA 100 a 240 V • 50 Hz a 60 Hz • 250 VA máx. 	<ul style="list-style-type: none"> • CA 100 a 240 V • 50 Hz a 60 Hz • 250 VA máx.
Condiciones ambientales	15 °C a 35 °C (59 °F a 95 °F), máx. 80 % hr, sin condensación	15 °C a 35 °C (59 °F a 95 °F), máx. 80 % hr, sin condensación	15 °C a 35 °C (59 °F a 95 °F), máx. 80 % hr, sin condensación	15 °C a 35 °C (59 °F a 95 °F), máx. 80 % hr, sin condensación
Peso neto/Peso de envío	15.9 kg/20.5 kg	17.6 kg/22.2 kg	18.0 kg/22.6 kg	17.8 kg/22.4 kg
Dimensiones (ancho x profundidad x altura)	33 cm x 51 cm x 23.1 cm (13 in x 20 in x 9.1 in)	33 cm x 51 cm x 23.1 cm (13 in x 20 in x 9.1 in)	33 cm x 51 cm x 23.1 cm (13 in x 20 in x 9.1 in)	33 cm x 51 cm x 23.1 cm (13 in x 20 in x 9.1 in)
Cumplimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Marca CE • Directiva EMC EN 61326-1 • Directiva LV EN 61010-1 • RoHS 	<ul style="list-style-type: none"> • Marca CE • Directiva EMC EN 61326-1 • Directiva LV EN 61010-1 • RoHS 	<ul style="list-style-type: none"> • Marca CE • Directiva EMC EN 61326-1 • Directiva LV EN 61010-1 • RoHS 	<ul style="list-style-type: none"> • Marca CE • Directiva EMC EN 61326-1 • Directiva LV EN 61010-1 • RoHS

Características especiales	Automatización opcional, método automático VI	Métodos automáticos VI, cálculos API, análisis de temperaturas, FillingCheck™. Opcional: Contra refrigeración, automatización y modularidad con refractómetros Abbemat	Método automático VI, cálculos API, análisis de temperaturas, FillingCheck™. Opcional: Contra refrigeración, automatización	Celdas de doble medición para la medición simultánea de viscosidad y densidad a dos temperaturas cualquiera del rango, método VI, cálculos de API, FillingCheck™. Opcional: automatización y modularidad con refractómetros Abbemat
----------------------------	---	--	---	---

ANEXO C: PIRÓMETRO

PIROMETRO 42570 EXTECH	
Fabricante	EXTECH
Tipo de medidor	pirómetro
Rango de medición de temperatura medida sin contacto	-50...2200°C
Resolución de medición	0,1°C
Precisión de medida	1%
Medidas interiores	204x155x52mm
Peso	320g
Fuente de alimentación	1 pila 9V 6F22
Medición	temperatura sin contacto (IR)
Rango de medición de temperatura con termopár tipo K	-50...1370°C

ANEXO D: ESPECTRÓMETRO INFRARROJO

ESPECTRÓMETRO INFRARROJO POR TRANSFORMADA DE FOURIER JASCO (FT/IR4100)	
Rango de medición del número de onda:	7800 a 350 cm ⁻¹
Resolución máxima:	0,7 cm ⁻¹
Sistema óptico:	haz único
Fuente de luz:	fuentes de cerámica de alta intensidad
Detector:	DLaTGS

ANEXO E: OPACÍMETRO

OPACÍMETRO NDO-6000	
Mide	(%, K [m-1]) de humo en tiempo real
Portátil	
Tiempo de respuesta	0,5 segundos
Software	para RS232C PC
Con medición	de RPM del motor (tipo de batería)
Contiene	sensor para medir la temperatura de Aceite
Función de calibración	cero/span automática
Reloj	tiempo real incorporado
Prueba	lineal electrónica automática
Programa de prueba	de aceleración y pico simple
Mide	la densidad de humo emanado de los motores Diesel
Lee	valores de K y % de opacidad simultáneamente
Programa con dos modalidades de prueba	Continua con carga total o parcial y de libre aceleración
Tiempo de calentamiento	Aproximadamente 3-4 minutos
Fuente de Luz	Luz LED Verde
Control Remoto	de 5 botones con pantalla digital
Fácil de usar con Terminal de mano	
Impresora Térmica de alta	

ANEXO F: DINAMÓMETRO

Datos	Valores
Peso de eje máximo	6500 libras
Potencia máxima	800 hp
Velocidad máxima	155 MPH
Diámetro de rodillo	8.5 in
Torque	5000 lbs/ft
Distancia entre ejes	86 in
Estado de torque steady max	1800 lbs, por retardado
Requisitos eléctricos	220-240V AC @254 MP