

**IPN**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD CULHUACAN**

R-002/22

**TESIS INDIVIDUAL**

Que como prueba escrita de su Examen Profesional para obtener el Título de **INGENIERO EN SISTEMAS AUTOMOTRICES**, deberá desarrollar el C.:

**JUAN PABLO RIVERA RUIZ**

**“METODOLOGÍA DE PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DEL USO DE BIODIESEL”**

Crear nuevas soluciones respecto a combustibles nos ayudará a impedir el deterioro de nuestro planeta; Debido al alto uso del autotransporte y la preocupación por la calidad del aire, junto con la capa de ozono que rodea a nuestro planeta, se han puesto en marcha nuevas alternativas a los combustibles fósiles. El biodiésel como alternativa a sustituir el gasóleo, es una buena estrategia, sin embargo, se deben tomar en cuenta varios factores que se verán beneficiados y afectados por la elaboración de biodiésel y así determinar si es la solución a uno de los problemas de contaminación del aire.

**CAPITULADO**

Capítulo I.- Estado del arte  
Capítulo II.- Marco teórico  
Capítulo III.- Análisis de la investigación  
Capítulo IV.- Resultados y conclusión

Ciudad de México, a 3 de marzo de 2022

  
M. en C. Carlos De la Cruz Alejo  
PRIMER ASESOR

  
M. en I. Jorge Díaz Velázquez  
SEGUNDO ASESOR

  
Ing. Araceli Leticia Peralta Maguey  
COORDINADORA DE LA CARRERA DE ISISA

  
Ing. José García Flores  
SUBDIRECTOR ACADÉMICO INTERINO





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y  
ELÉCTRICA  
UNIDAD CULHUACÁN  
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA  
OFICINA DE TITULACIÓN PROFESIONAL



CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA

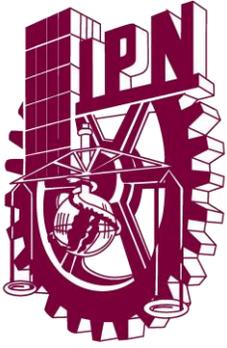
En la Ciudad de México, a 7 de abril del 2022, el que suscribe **JUAN PABLO RIVERA RUIZ** alumno de la carrera de **INGENIERÍA EN SISTEMAS AUTOMOTRICES**, con número de registro **R-002/22**, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Culhuacán, manifiesto que soy el autor intelectual del presente trabajo de **TESIS INDIVIDUAL**, bajo la asesoría del **M. en C. Carlos De la Cruz Alejo** y del **M. en I. Jorge Díaz Velázquez** y que autorizo el uso del trabajo titulado: **METODOLOGÍA DE PRUEBAS PARA LA EVALUACION DEL USO DE BIODIÉSEL**, al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deberán reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o asesor del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguiente dirección de correo: **juanpablorvrz@gmail.com**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Atentamente

---

**ING. JUAN PABLO RIVERA RUIZ**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA  
Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD “CULHUACÁN”**



**INGENIERÍA EN SISTEMAS AUTOMOTRICES**

**METODOLOGÍA DE PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DEL USO  
DE BIODIÉSEL**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO EN  
SISTEMAS AUTOMOTRICES**

**PRESENTA:  
JUAN PABLO RIVERA RUIZ**

**DIRECTOR:  
M. en C. CARLOS DE LA CRUZ ALEJO**

**ASESOR:  
M.I. JORGE DÍAZ VELÁZQUEZ**

**Enero 2022**



## DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, gracias por el apoyo incondicional, por su preocupación y por sus sacrificios.

Al Instituto Politécnico Nacional, por darme conocimientos y brindarme un lugar en esta gran casa de estudios.

A todos los maestros que a lo largo de mi carrera estudiantil me han fortalecido con sus conocimientos y enseñanzas, que lo hacen sin esperar nada a cambio.

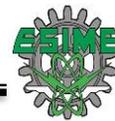


## AGRADECIMIENTOS

### **A Sara Nayeli, Georgina y Hugo:**

Quienes han sido mi gran apoyo y fuerza en este largo recorrido, quienes forman parte importante de mi vida, quienes a pesar de las adversidades me brindaron amor y cariño. Gracias, por tanto, los amo.

**Juan Pablo Rivera Ruiz**



## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	3
JUSTIFICACIÓN .....	4
OBJETIVOS.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Particulares .....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
CAPÍTULO 1 ESTADO DEL ARTE .....	7
1.1 Origen del biodiésel .....	8
1.1.1 Ventajas del biodiésel .....	12
1.1.2 Desventajas del biodiésel .....	14
1.2 Motores diésel.....	14
1.2.1 Ciclo diésel .....	16
1.3 El gasóleo .....	20
1.3.1 Tipos de gasóleo .....	21
1.4 Contaminación atmosférica .....	24
1.4.1 Contaminación emitida por los motores diésel usando gasóleo.....	26
1.4.2 Control de emisiones de motores diésel .....	28
1.5 Planteamiento del problema .....	35
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO .....	36
2.1 Proceso para la obtención de biodiésel.....	37



2.2 Obtención de biodiésel partiendo de aceites vegetales.....	38
2.3 Transesterificación y sus reacciones.....	39
2.3 Propiedades físicas y químicas del biodiésel.....	44
2.4 Proceso de producción “Batch” .....	45
CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	47
3.1 Elaboración de biodiésel.....	48
3.2 Diagrama de elaboración de biodiésel .....	54
3.3 Determinación de la calidad del biodiésel .....	55
CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	57
4.1 Análisis de resultados .....	58
4.2 Comparación diesel-biodiésel.....	65
4.3 Conclusiones.....	67
ANEXOS.....	69
Anexo 1 Ficha técnica de acero inoxidable 304 .....	70
Anexo 2 Bosquejo para tanque de tratamientos.....	71
Anexo 3 Muestra de aceite vegetal usado para elaboración de biodiésel.....	72
Anexo 4 Muestra de aceite vegetal usado para elaboración de biodiésel.....	74
Anexo 5 Artículo XX CNIES.....	75
REFERENCIAS .....	79
Bibliografía .....	84
Textos .....	84
Cibernéticas.....	85



## RESUMEN

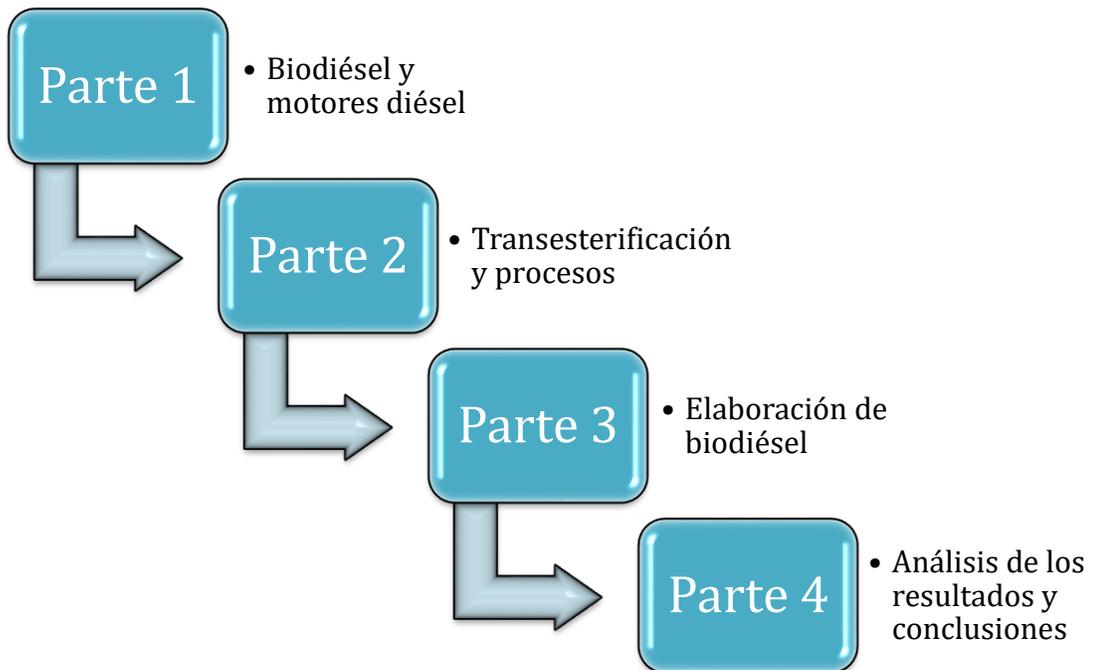
Tesis profesional presentada por Juan Pablo Rivera Ruiz.

El uso de vehículos se ha vuelto una constante necesidad a nivel global en cualquier sociedad, en particular los camiones de carga para transportar diversos productos y satisfacer las necesidades de cualquier población.

Gracias al alto consumo de combustibles fósiles, ha afectado principalmente a la contaminación ambiental, por esta razón, la industria automotriz ha desarrollado nuevas tecnologías para regular la contaminación vehicular; las diversas tecnologías van desde nuevas normas, motores más eficientes, mejores combustibles, entre otros.

En el presente trabajo se abordará el tema sobre el uso de biodiésel en motores que fueron diseñados para funcionar con gasóleo y evaluar las ventajas y desventajas con referencia a su homónimo, el gasóleo.

Para el estudio de este proyecto se ha dividido en cuatro partes.





## ABSTRACT

The use of vehicles has become a constant global need in any society, particularly cargo trucks to transport various products and meet the needs of any population.

Due to the high consumption of fossil fuels, it has mainly affected environmental pollution, for this reason, the automotive industry has developed new technologies for regular vehicular pollution; the various technologies range from new standards, more efficient engines, better fuels, among others.

This paper will address the issue of the use of biodiésel in engines that were designed to run on diésel and evaluate the advantages and disadvantages with reference to its namesake, diésel.

For the study of this project it has been divided into four parts.

Part 1: Biodiésel, diésel engines and their pollutants.

Part 2: Production of biodiésel based on vegetable oil, whether new or recycled.

Part 3: In this, the pollutants emitted when using biodiésel will be evaluated, readings of the performance of the engine will be taken and in the same way data taken using diésel in the same engine will be collected.

Part 4: Comparison of the data obtained in order to determine if the use of biodiésel is an alternative that surpasses diésel.

**Keywords:** Biodiésel, production, oil, diesel engines.



## JUSTIFICACIÓN

El creciente interés de la humanidad por la ecología y el medio ambiente en el que se vive, nos ha llevado a tomar conciencia sobre la enorme trascendencia que esto ha tenido en los últimos años, sobre todo los problemas que afectan a nuestro planeta, por ello el ser humano se ve en la necesidad de crear soluciones lo más pronto posibles. Crear nuevas soluciones nos ayudara a impedir el deterioro de nuestro planeta, por el cual debemos comprometernos genuinamente.

Debido al alto uso del autotransporte alrededor del mundo y la preocupación por la calidad del aire, junto con la capa de ozono que rodea a nuestro planeta, se han puesto en marcha nuevas alternativas a nuestros combustibles fósiles.

El biodiésel como alternativa a sustituir el gasóleo, es una buena estrategia, pero se debe tomar la conciencia de pruebas y aplicaciones de las normas antes de su uso debido.

Sin embargo, se deben tomar en cuenta varios factores que se verán beneficiados y afectados por la elaboración de biodiésel y así determinar si es la solución a uno de los problemas de contaminación del aire.



## OBJETIVOS

Definir objetivos nos ayudara a lograr el propósito de esta tesis y nos ayudara a definir el rumbo que se debe tomar para una realización satisfactoria.

### Objetivo General

- Determinar la viabilidad de la elaboración y uso de biodiésel en sustitución de gasóleo.

### Objetivos Particulares

- Describir la elaboración de biodiésel a partir de aceite vegetal.
- Analizar las emisiones que provoca el biodiésel.
- Comparar las emisiones obtenidas sobre biodiésel frente a las obtenidas por gasóleo.



## INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene por objetivo un producto realmente amigable con el medio ambiente: el biodiésel.

Hoy todo el mundo tiene un concepto básico sobre lo que es el biodiésel o ha escuchado que se convertirá en una de las fuentes de energía primaria en unos años.

El biodiésel es un biocombustible sintético líquido que se puede obtener de lípidos naturales, como aceites vegetales o grasas animales. El producto en cuestión es producción industrial mediante procesos de esterificación, en estos procesos el éster se sintetiza y es un compuesto derivado formalmente de la reacción química entre el ácido oxálico y el alcohol.

Desde mediados del siglo XIX se conocen ampliamente las características del biodiésel. Se enfrenta a la aplicación básica de combustión de motores de ciclo diésel convencional o adaptado.

Por tanto, a principios del siglo XXI, se desarrolla el biodiésel como combustibles alternativos de automoción como derivados del petróleo.



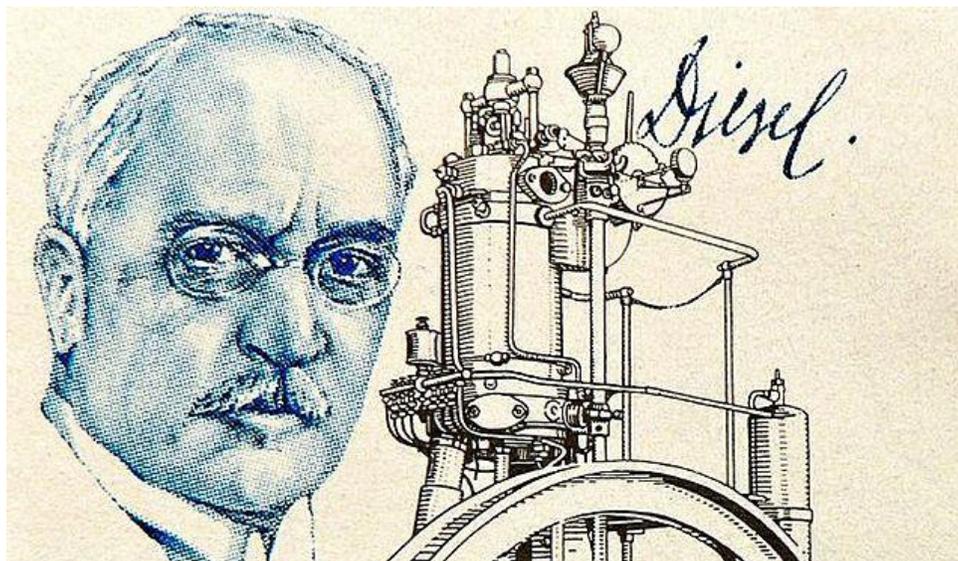
# CAPÍTULO 1

# ESTADO DEL ARTE

## Capítulo 1.- ESTADO DEL ARTE

### 1.1 Origen del biodiésel

El origen del biodiésel se remonta a 1898, cuando en una Exposición Mundial de París Rudolf Diésel, presento su motor diésel alimentado por aceite de cacahuete, un biocombustible (Figura 1.1). La visión que tenía Rudolf Diésel de este tipo de combustibles es que fuera el verdadero futuro del motor, con uso de combustibles obtenido a través de la biomasa. Ya en un discurso en 1912 dijo “el uso de aceites vegetales para el combustible de los motores puede parecer insignificante hoy, pero tales aceites pueden convertirse, con el paso del tiempo, importantes en cuanto a sustitutos del petróleo y el carbón de nuestros días”. [1]



**Figura 1.1** Primer motor diésel. **Fuente:** <https://noticias.coches.com/noticias-motor/la-misteriosa-muerte-de-rudolph-diesel/94214>

El biodiésel es un líquido de color amarillo-ámbar (figura 1.2), con una viscosidad similar a la del diésel de petróleo, no es inflamable, no es explosivo, con un punto de inflamación superior comparado con el diésel de petróleo, es biodegradable, disminuye significativamente las emisiones de gases tóxicos y de otras sustancias volátiles cuando

se quema como combustible. Además, presenta mejor índice de cetano y mejor eficiencia en la lubricación. Es un biocombustible líquido renovable producido a partir de los aceites vegetales (nuevos o reciclados) y grasas animales, siendo la colza, el girasol y la soja las materias primas más utilizadas en la actualidad para este fin. Las propiedades del biodiésel son prácticamente las mismas que las del gasóleo en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el biodiésel puede mezclarse con el gasóleo para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan éstos convenientemente. [2]



**Figura 1.2** Biodiésel. **Fuente:** Autoría propia.

En comparación con el diésel de origen fósil, este reduce las emisiones que provocan los gases de efecto invernadero. De acuerdo con estudios realizados se dice que una tonelada de biodiésel, evita la producción de 2.5 toneladas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) además de eliminar las emisiones de azufre ( $\text{SO}_2$ ), si se le utiliza solo. Además, el biocombustible es un producto renovable. [3]

El biodiésel es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación. [2]

La técnica de transesterificación en aceites vegetales fue desarrollada en 1853 por los británicos E. Duffy y J. Patrick, con el principal objetivo de obtener glicerina y utilizarla como materia prima en la producción de jabón, varios años antes de que se hubiera inventado el motor diésel. Esta técnica fue utilizada primordialmente para producir glicerina a partir de aceites de cacahuete, marihuana y maíz; pero actualmente se utiliza para extraer tanto glicerina como biodiésel a partir de una gran cantidad de materias primas como son los aceites de girasol, algodón, linaza, soya, oliva, uva, coco, colza, ricino, piñón y algunas otras especies de plantas, la técnica ha sido aplicada con éxito también en grasas animales y aceite comestible residual. [1]

El biodiésel puede mezclarse, y de acuerdo con esa mezcla puede utilizar diversas anotaciones como B100 para biodiésel puro, B5, B15, B20, B30, B50, y la numeración indicará el porcentaje de biodiésel en la mezcla. (Figura 1.3). [4]



**Figura 1.3** Mezcla de biodiésel B20.

**Fuente:**<https://www.bioeconomia.info/2021/05/11/gobernador-de-illinois-propone-que-todo-el-diesel-comercializado-en-el-estado-tenga-un-contenido-minimo-de-20-de-biodiesel/>

Se estima que en los años veinte los fabricantes de motores a diésel tenían que adaptar los propulsores a la menor viscosidad del combustible fósil (gasóleo), frente al aceite vegetal por considerarlo más costoso, es por eso que la alternativa extraída de la biomasa desapareció por muchos años y es hoy por el impacto ambiental que hace su aparición nuevamente como una alternativa válida. [5]

Durante los años 20 y 30 y en la postguerra mundial, varios países, dijeron haber usado aceites como sustituto del diésel. Lo que actualmente conocemos como biodiésel (metil-ésteres obtenidos a partir de la técnica de transesterificación) fue utilizado por primera vez en motores automotrices en Europa durante la segunda guerra mundial ante la escasez de derivados del petróleo durante ese periodo especial, pero no fue sino hasta finales de la década de los 70's y principios de los 80's que la preocupación por los altos precios del petróleo promovió una extensa experimentación de la técnica de obtención de biodiésel de una gran variedad de aceites vegetales y grasas animales en la búsqueda de fuentes alternativas de energía. [6, 7]

El 31 de agosto de 1937, G. Chavanne de la Universidad de Bruselas, Bélgica, obtuvo la patente por “transformar aceites vegetales para su uso como combustibles”. La patente describía la transesterificación del aceite usando etanol o metanol para separar glicerina de los ácidos grasos y reemplazarla con alcoholes de cadenas cortas. Esta fue la primera producción de biodiésel. [5]

En 1977, Expedito Parente, científico brasileño (Figura 1.4), inventó y patentó el primer proceso industrial de producción de biodiésel. Actualmente, TECBio, la empresa de Parente, trabaja junto con Boeing y la NASA para certificar bioqueroseno. [5]



**Figura 1.4** Expedito Parente. **Fuente:** <https://vimeo.com/29777342>



Entre 1978 y 1996 el laboratorio National Renewable Energy Laboratory (NREL), ha experimentado el uso de algas como fuente de biodiésel, dentro del Aquatic Species Program, sin embargo, por falta de recursos de financiamiento esto se ha quedado varado. [5]

En 1979 fueron iniciadas investigaciones de cómo transesterificar aceite de girasol en biodiésel y en 1983 el proceso fue completado y publicado. Gaskoks, una empresa austríaca, obtuvo esta tecnología y estableció la primera planta piloto productora de biodiésel en 1987 y una industrial en 1989. Durante la década de los 90s, muchas plantas fueron abiertas en muchos países europeos, entre ellos la República Checa, Alemania y Suecia. [5]

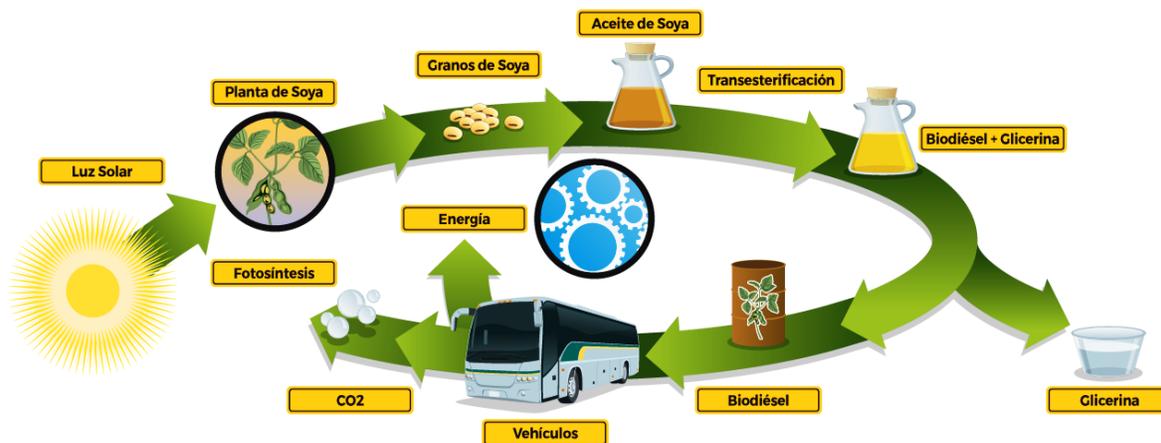
Actualmente la American Society for Testing and Materials ha publicado los estándares y especificaciones de la mezcla de biodiésel. [5]

### **1.1.1 Ventajas del biodiésel**

El biodiésel no contiene azufre (S), agente que se encuentra en el gasóleo por su poder de lubricación. En la actualidad los modernos gasóleos bajos en azufre, por su proceso de desulfuración pierden el poder de lubricación, incrementando el ruido y desgaste de los motores. [8]

El biodiésel mejora la combustión, reduciendo claramente emisiones de carbono elemental (hollín), reduciendo hasta casi un 55% desapareciendo el humo negro y olor desagradable. Dado que la molécula de biodiésel aporta, por unidad de volumen, más átomos de oxígeno que lo que aporta el mismo volumen de gasóleo convencional, la presencia de inquemados es menor utilizando biodiésel dado que hay menos moléculas de carbono elemental (hollín) y menos de monóxido de carbono (CO). [9, 10]

Durante su combustión, produce menor cantidad de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que el que las plantas absorben para su crecimiento (Figura 1.5). El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que emite a la atmósfera el biodiésel durante la combustión es neutro, ya que es el mismo que captó la planta oleaginosa utilizada para extraer el aceite durante su etapa de crecimiento. Con lo cual, la combustión de biodiésel no contribuye al efecto invernadero. [9, 10]



**Figura 1.5** Ciclo del biodiésel. Fuente: <http://www.doblerre.mx/>

Como combustible vegetal no contiene ninguna sustancia nociva, ni perjudicial para la salud, a diferencia de los hidrocarburos, que tienen componentes aromáticos y bencenos (cancerígenos). La no-emisión de estas sustancias contaminantes disminuye el riesgo de enfermedades respiratorias y alergias. [8]

Es biodegradable en aproximadamente 21 días, su origen vegetal lo hace compatible con la naturaleza por lo cual en caso de derrame y/o accidente, no pone en peligro ni el suelo ni las aguas subterráneas y la ausencia de compuestos químicos y sintéticos lo hace inocuo con nuestro medio. [11]

Tiene su punto de inflamación por encima de  $110^{\circ}\text{C}$ , por eso no está clasificado como mercancía peligrosa, siendo su almacenamiento y manipulación segura.



El biodiésel por ser su origen los aceites vegetales, tiene un alto poder de lubricación, alargando la vida de los motores, reduciendo el ruido en los mismos, así como notablemente abaratando los costes de mantenimiento. Así mismo como característica del biodiésel, cabe reseñar el poder detergente, que mantiene limpios los sistemas de conducción e inyección del circuito de combustible de los motores. [8, 11]

### **1.1.2 Desventajas del biodiésel**

A bajas temperaturas puede empezar a solidificar y formar cristales, que pueden obstruir los conductos del combustible.

Por sus propiedades solventes, puede ablandar y degradar ciertos materiales, tales como el caucho natural y la espuma de poliuretano. Es por esto que puede ser necesario cambiar algunas mangueras y retenes del motor antes de usar biodiésel en él, especialmente con vehículos antiguos.

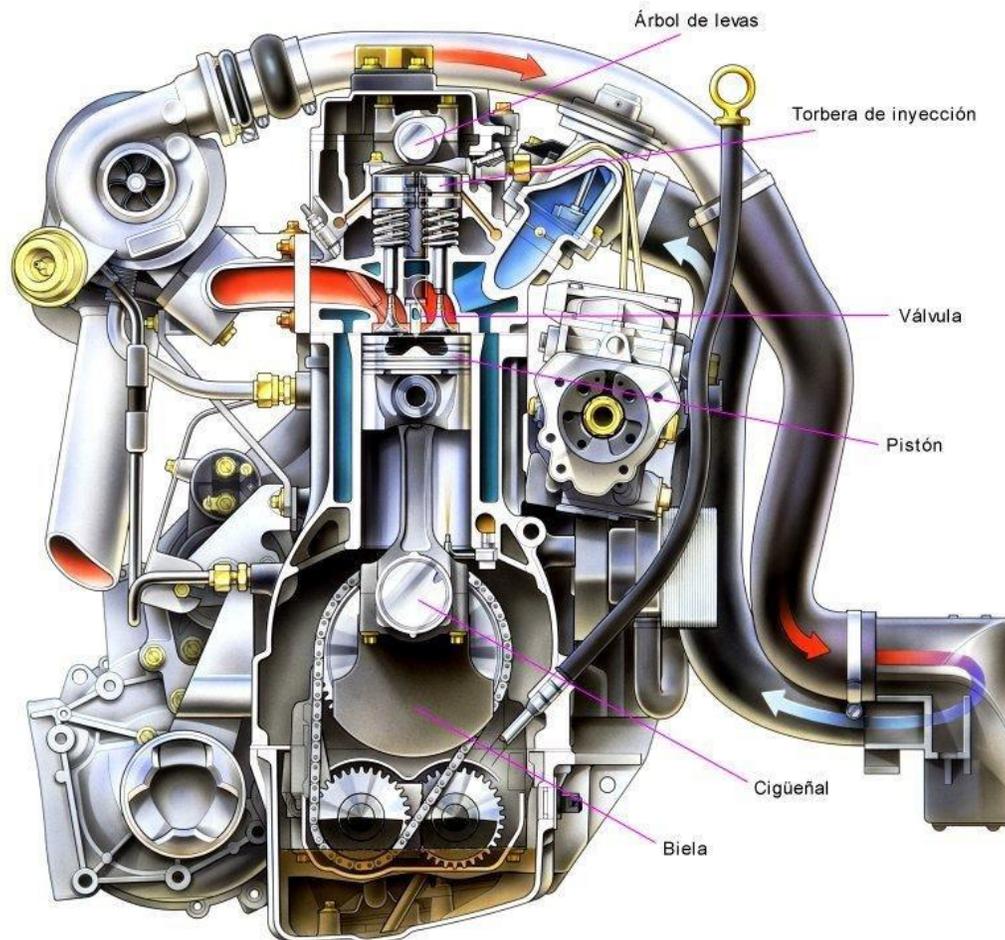
Sus costos aún pueden ser más elevados que los del diésel de petróleo. Esto depende básicamente de la fuente de aceite utilizado en su elaboración y el proceso que se le dé para su obtención. [12]

## **1.2 Motores diésel**

El motor diésel es una clase de motor de combustión interna (Figura 1.6) que utiliza el incremento de temperatura que se produce al comprimir un gas para que el combustible se prenda espontáneamente al inyectar en la cámara de combustión. El término diésel no hace referencia al combustible empleado -generalmente gasóleo-, sino a su inventor, Rudolf Diésel, y al hecho de que estos motores de pistón funcionan con un ciclo inventado por Diésel, distinto del de los propulsores de gasolina. [13]

En los motores de gasolina se prepara una mezcla inflamable de aire y gasolina, cuando el pistón está completando su carrera ascendente, se prende la mezcla con una chispa

generada por la bujía. La mezcla se quema muy deprisa y empuja al pistón hacia abajo. En un motor diésel, se introduce una gran cantidad de aire en el cilindro, y ese aire se comprime entre 14 y 18 veces mediante el pistón. Cuando el pistón está arriba, se inyecta el combustible que se quema a medida que va entrando en la cámara de combustión. [13]



**Figura 1.6** Esquema motor diésel. **Fuente:** <http://tecnoblog-tecno.blogspot.com/2010/05/motor-diesel.html>

Durante años se ha dicho que los motores diésel son mejores para el medio ambiente dado que generan menos  $\text{CO}_2$  y así inciden en menor medida en el calentamiento global. Sin embargo, hay que decir que el  $\text{CO}_2$  es inocuo para nosotros mientras que el  $\text{NO}_2$  y



las partículas afectan directamente a nuestra salud. Hay muchos más gases tóxicos en el humo que desprenden estos motores, sin embargo, el  $\text{NO}_2$  y las nano partículas han tomado especial relevancia por sus efectos. Por ejemplo, el  $\text{NO}_2$  tiene la capacidad de combinarse con otros compuestos que hay en la atmósfera y genera dificultades respiratorias en personas sensibles, inflama los pulmones pudiendo desencadenar asma y bronquitis, aumenta el riesgo de ataques cardíacos, accidentes cerebrovasculares, etc. Por otro lado, las nano partículas, de las cuales nuestro cuerpo es incapaz de protegerse, van tapando los bronquios y alvéolos al respirarlas, lo cual produce una disminución de la capacidad de oxigenación de la sangre. [14]

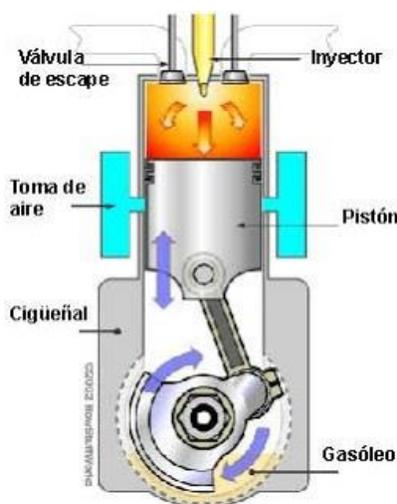
Está demostrado que los motores diésel son más eficientes que los de gasolina desde el punto de vista de convertir combustible en movimiento. Esto implica un menor consumo a costa de motores con menor potencia. Diferentes marcas, para incrementar la potencia de sus motores diésel inyectan mucho más aire en la mezcla con el combustible, de ahí el hecho de que al día de hoy casi todos los diésel tienen turbo. Esta inyección de aire sirve para aumentar la proporción de oxígeno en la mezcla, sin embargo, este incremento de oxígeno implica también un incremento de nitrógeno. La combustión del oxígeno y el combustible no es perfecta y parte del oxígeno queda sin quemar, entonces debido a las altas presiones y temperaturas usadas por este tipo de motores el nitrógeno se combina con el oxígeno no quemado generando los perniciosos óxidos y dióxidos de nitrógeno normalmente llamados  $\text{NO}_x$ . Además, el diésel contiene partículas, algunas de ellas nano partículas que no se queman y van junto con el  $\text{NO}_2$  a la atmósfera. [15]

### 1.2.1 Ciclo diésel

Un ciclo diésel ideal es un modelo simplificado de lo que ocurre en un motor diésel. A diferencia de lo que ocurre en un motor de gasolina, la combustión no se produce por la ignición de una chispa en el interior de la cámara. En su lugar, aprovechando las propiedades químicas del gasóleo, el aire es comprimido hasta una temperatura

superior a la de auto ignición del gasóleo y el combustible es inyectado a presión en este aire caliente, produciéndose la combustión de la mezcla (Figura 1.7). [16]

Puesto que sólo se comprime aire, la relación de compresión entre el volumen en el punto más bajo y el más alto del pistón, puede ser mucho más alta que la de un motor de gasolina (que tiene un límite, por ser indeseable la auto ignición de la mezcla). La relación de compresión de un motor diésel puede oscilar entre 12 y 24, mientras que el de gasolina puede rondar un valor de 8. [16]



**Figura 1.7** Esquema ciclo diésel.

**Fuente:** <https://imagenesdemaquinariapesada.com/motores-de-combustion-interna/>

Para modelar el comportamiento del motor diésel se considera un ciclo diésel de seis pasos, dos de los cuales se anulan mutuamente:

Admisión E→A

El pistón baja con la válvula de admisión abierta, aumentando la cantidad de aire en la cámara. Esto se modela como una expansión a presión constante (ya que al estar la válvula abierta la presión es igual a la exterior). En el diagrama PV aparece como una recta horizontal. [16, 17]



### Compresión $A \rightarrow B$

El pistón sube comprimiendo el aire. Dada la velocidad del proceso se supone que el aire no tiene posibilidad de intercambiar calor con el ambiente, por lo que el proceso es adiabático. Se modela como la curva adiabática reversible  $A \rightarrow B$ , aunque en realidad no lo es por la presencia de factores irreversibles como la fricción. [16, 17]

### Combustión $B \rightarrow C$

Un poco antes de que el pistón llegue a su punto más alto y continuando hasta un poco después de que empiece a bajar, el inyector introduce el combustible en la cámara. Al ser de mayor duración que la combustión en el ciclo Otto, este paso se modela como una adición de calor a presión constante. Éste es el único paso en el que el ciclo diésel se diferencia del Otto. [16, 17]

### Expansión $C \rightarrow D$

La alta temperatura del gas empuja al pistón hacia abajo, realizando trabajo sobre él. De nuevo, por ser un proceso muy rápido se aproxima por una curva adiabática reversible. [16, 17]

### Escape $D \rightarrow A$ y $A \rightarrow E$

Se abre la válvula de escape y el gas sale al exterior, empujado por el pistón a una temperatura mayor que la inicial, siendo sustituido por la misma cantidad de mezcla fría en la siguiente admisión. El sistema es realmente abierto, pues intercambia masa con el exterior. No obstante, dado que la cantidad de aire que sale y la que entra es la misma podemos, para el balance energético, suponer que es el mismo aire, que se ha enfriado. Este enfriamiento ocurre en dos fases. Cuando el pistón está en su punto más

bajo, el volumen permanece aproximadamente constante y tenemos la isócora D→A. Cuando el pistón empuja el aire hacia el exterior, con la válvula abierta, empleamos la isobara A→E, cerrando el ciclo. [16, 17]

En total, el ciclo se compone de dos subidas y dos bajadas del pistón, razón por la que es un ciclo de cuatro tiempos, aunque este nombre se suele reservar para los motores de gasolina. [16, 17]

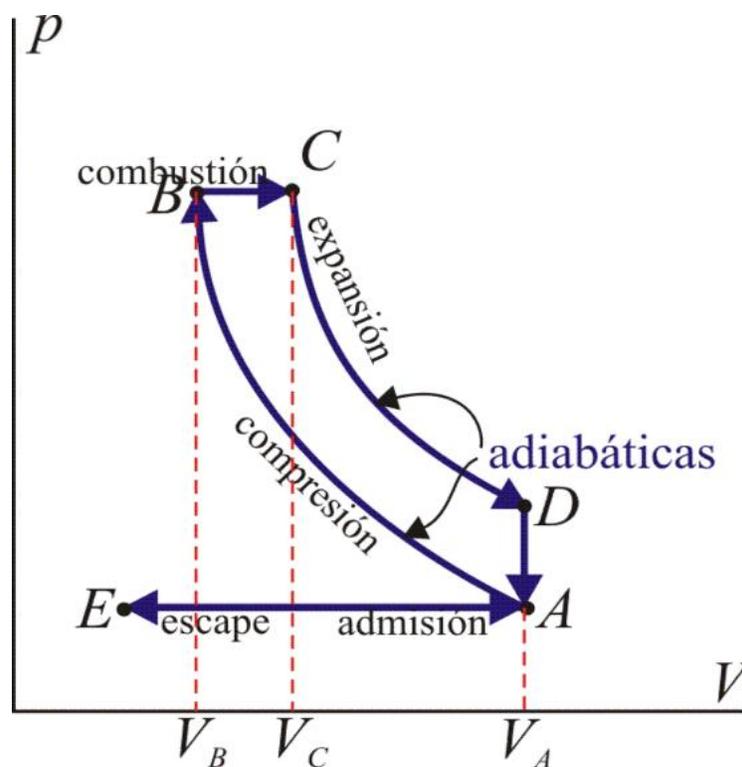


Figura 1.8 Ciclo diésel.

Fuente: [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo\\_Diesel\\_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Diesel_(GIE))

Un ciclo diésel contiene dos procesos adiabáticos (Figura 1.8), A→B y C→D, en los que no se intercambia calor. De los otros dos, en el calentamiento a presión constante B→C, el gas recibe una cantidad de calor  $|Q_c|$  del exterior igual a

$$|Q_c| = nc_p(T_C - T_B)$$



En el enfriamiento a volumen constante D→A el sistema cede una cantidad de calor al ambiente

$$|Q_f| = n c_V (T_D - T_A)$$

El rendimiento del ciclo será entonces

$$\eta = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_c|} = 1 - \frac{c_V (T_D - T_A)}{c_p (T_C - T_B)} = 1 - \frac{(T_D - T_A)}{\gamma (T_C - T_B)}$$

con  $\gamma = c_p / c_v$  la proporción entre las capacidades caloríficas. [16]

### 1.3 El gasóleo

El diésel o también denominado gasóleo o gasoil, es un hidrocarburo líquido de densidad sobre  $850 \text{ kg/m}^3$ , compuesto fundamentalmente por hidrocarburos saturados o parafinas en un 75%, por un 25% de hidrocarburos aromáticos. La fórmula química más común es  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$  (12 átomos de carbono por 26 de hidrógeno). Su poder calorífico inferior es de  $35,86 \text{ MJ/l}$  ( $43,1 \text{ MJ/kg}$ ) que depende de su composición; es más pesado que la gasolina, algo que se consigue con la destilación del petróleo a temperaturas que fluctúan entre los  $220$  y los  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ . [18]

Entre sus ventajas encontramos que es más económico que la gasolina ya que es más sencillo de refinar y también que ofrece un rendimiento superior. En cambio, los niveles de contaminación son superiores, razón por la cual se han implementado en los últimos años medidas de contención como, los filtros antipartículas o los catalizadores.

El diésel contiene aditivos que mejoran sus cualidades y prestaciones, aumentando el rendimiento y lubricando los componentes del motor. [18]

### 1.3.1 Tipos de gasóleo

- Gasóleo A: Es el de más alta calidad e indicado para los vehículos de automoción por estar más refinado que el resto. Contiene aditivos que permiten disminuir el consumo, bajar las emisiones contaminantes y proteger el sistema de inyección.
- Gasóleo B: Se usa generalmente en maquinaria agrícola, embarcaciones y vehículos autorizados. Contiene más cantidad de parafina que el anterior por lo que puede solidificarse a bajas temperaturas. Además, al estar menos filtrado, puede causar problemas de mantenimiento en los motores de automóviles y motocicletas. Su uso en estos últimos se considera un delito de fraude, pues evita los impuestos del gasóleo A.
- Gasóleo C: Es más económico de los tres. Contiene muchas impurezas y un elevado nivel de parafina que aporta un alto nivel calorífico, por lo que está destinado a usarse en calderas de calefacción. Al igual que el gasóleo B, al no contener aditivos específicos para la automoción puede perjudicar las piezas del motor. (Figura 1.9). [18, 19]



**Figura 1.9** Tipos de gasóleo.

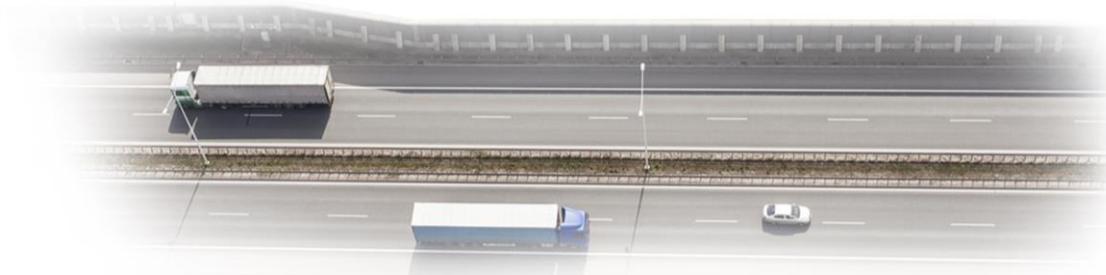
**Fuente:** <https://www.agrupaciongasoil.es/blog/consumo-de-gasoleo-madrid-y-barcelona/>

En México contamos con dos tipos de diésel proporcionados por Petróleos Mexicanos (PEMEX) los cuales son:

PEMEX DIÉSEL: Mayor densidad energética que genera un máximo rendimiento de kilómetros por litro para autos y transporte pesado a diésel (Figura 1.10).

Gran calidad de ignición a bajas temperaturas gracias a la alta calidad del índice de Cetano (45) que contiene.

Cumple con los estándares de calidad establecidos en las normas mexicanas (NOM-16 CRE2016) e internacionales (USEPA). [20]

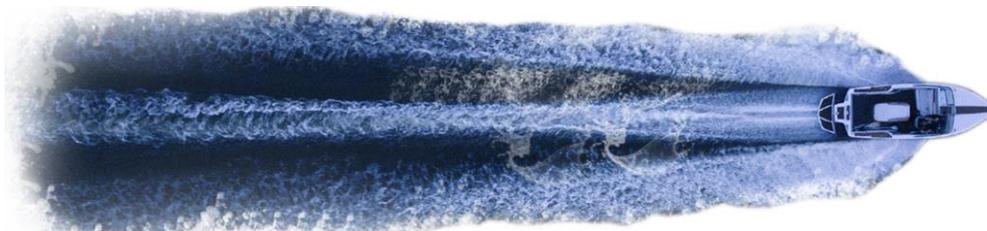


**Figura 1.10** Transporte pesado.

**Fuente:** <https://www.pemex.com/acerca/Paginas/default.aspx>

PEMEX DIÉSEL MARINO: Formulado con 45 octanos está diseñado con una mezcla especial formulada para los motores a diésel de barcos y pequeñas embarcaciones. (Figura 1.11). [20]

Mayor densidad energética que genera un máximo rendimiento de millas náuticas por litro, presenta gran calidad de ignición gracias a la alta calidad del índice de Cetano (45).



**Figura 1.11** Transporte marítimo.

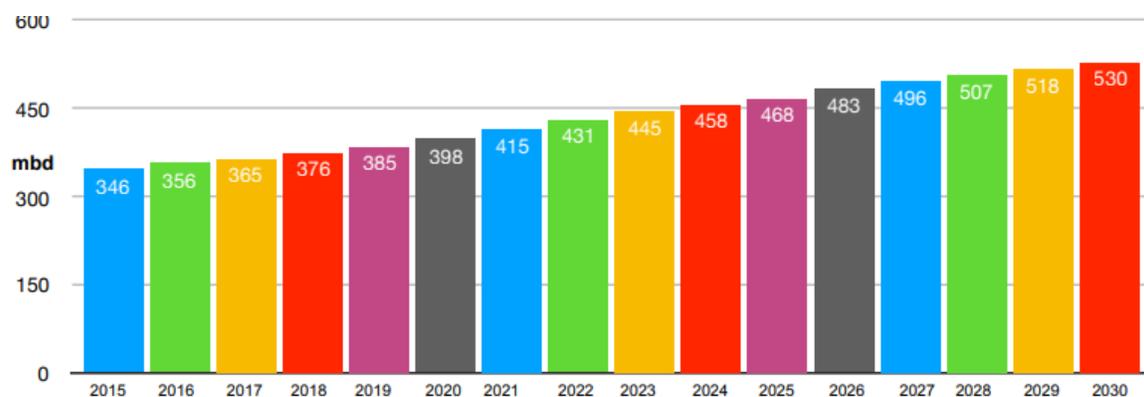
**Fuente:** <https://www.pemex.com/acerca/Paginas/default.aspx>

El diésel que se vende en México ha venido reduciendo los niveles de azufre de un contenido máximo de 0.5 % a 0.05 % en el diésel de ultra bajo azufre (UBA). El diésel que se produce en las refinerías de Pemex cumple con estándares de calidad nacionales e internacionales y con lo exigido por los motores del parque vehicular de las compañías automotrices establecidas en el país. [21]

La demanda de diésel alcanzó 384.7 millones de barriles diarios (mbd) en los diferentes sectores:

- 87% en transporte
- 7% en industrial
- 5% en petrolero
- 1% en eléctrico.

Las importaciones llegaron a 145.3 millones de barriles diarios (mbd), lo que corresponde a 37.8% del total de la demanda. (Figura 1.12). [21]

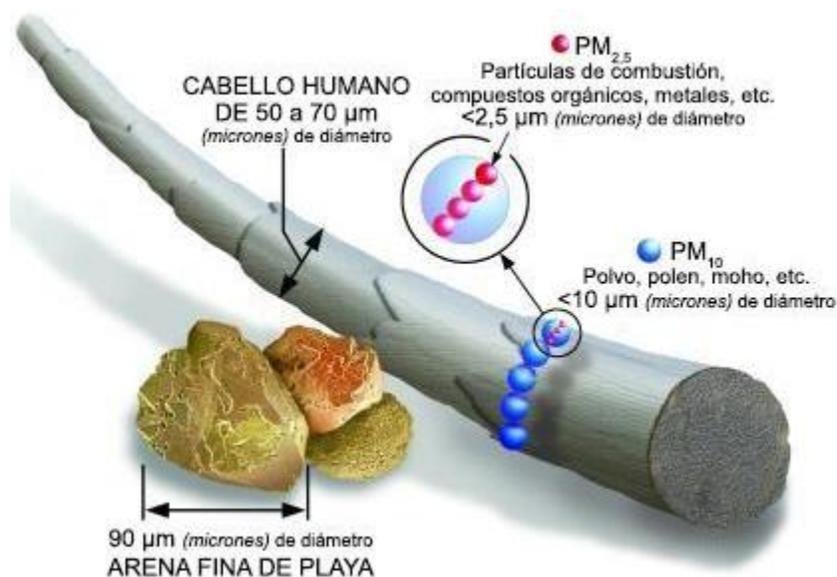


**Figura 1.12** Previsión de la demanda del diésel.

**Fuente:** <https://www.spglobal.com/platts/es/products-services/energy-transition/global-integrated-energy-model>

### 1.4 Contaminación atmosférica

Datos obtenidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) indican que la contaminación atmosférica es el principal riesgo ambiental para la salud en las Américas. La Organización Mundial de la Salud estimó que una de cada nueve muertes en todo el mundo es el resultado de condiciones relacionadas con la contaminación atmosférica. Los contaminantes atmosféricos más relevantes para la salud son material particulado (PM) con un diámetro de 10 micras o menos (Figura 1.13), que pueden penetrar profundamente en los pulmones e inducir la reacción de la superficie y las células de defensa. La mayoría de estos contaminantes son el producto de la quema de combustibles fósiles, pero su composición puede variar según sus fuentes. Las directrices de la OMS sobre la calidad del aire recomiendan una exposición máxima de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las  $\text{PM}_{10}$  y una exposición máxima de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las  $\text{PM}_{2.5}$ , basado en las evidencias de los efectos sobre la salud de la exposición a la contaminación del aire ambiente. [22]



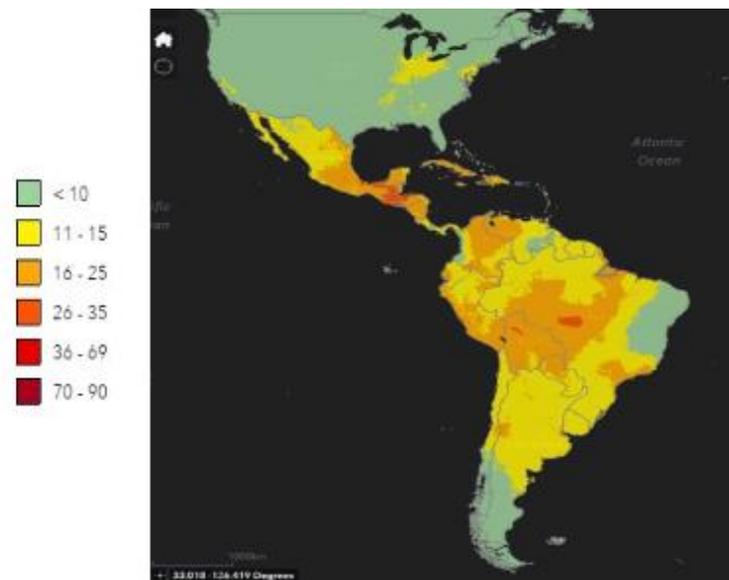
**Figura 1.13** Comparación de partículas PM.  
**Fuente:** <https://www.saltonseaespanol.org/salud>



Las Américas es la región más urbanizada del mundo. El 79% de la población de América Latina y el Caribe (ALC), vive en pueblos y ciudades con más de 20,000 habitantes. Esto representa una importante demanda de energía, incluyendo la provisión de servicios, la producción y consumo de materiales y bienes, el transporte y la movilidad, todo lo cual contribuye con la contaminación del aire. El transporte de mercancías y la movilidad humana se basan principalmente en soluciones individuales, que exigen un alto consumo de energía con baja eficiencia. Además, los vertederos de la ciudad en gran parte no regulados para residuos sólidos, o la ausencia de políticas públicas para el sector, representan no sólo una fuente de emisiones de metano y sitios de reproducción de vectores, sino también grandes cantidades de partículas finas por incendios accidentales y no accidentales, con grandes aportaciones potenciales a la contaminación atmosférica en entornos urbanos. La quema de cultivos sigue siendo legal y se practica ampliamente en muchos países, lo que también puede contribuir a la mala calidad del aire. [22, 23]

Al comparar el cumplimiento de las Guías de Calidad de Aire (AQG) de la OMS entre los países de Países de altos ingresos (HI) y Países de Ingreso Bajo y Medio (LMI) en las Américas, más del 80% de las ciudades de HI evaluadas cumplen con las directrices, mientras que menos del 10% de las ciudades de LMI cumplen con las directrices. La Figura 1.14 muestra la distribución de  $PM_{2.5}$  modelada, donde la concentración de contaminantes atmosféricos es claramente superior en los países LMI. [23]

Existen grandes diferencias entre los países de la Región de las Américas con respecto a la adopción de las Directrices de Calidad del Aire (AQG) de la OMS. Los principales contaminantes atmosféricos regulados en la región son  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$ , Ozono y  $SO_2$ .  $PM_{10}$  está regulado en 21 países;  $NO_2$ , en 20 países; Y  $PM_{2.5}$ , en 15 países. Sólo Canadá, los Estados Unidos, Guatemala, Perú y Bolivia han adoptado la OMS-AQG o niveles más bajos para  $PM_{10}$  en su legislación nacional y, sólo Canadá, Estados Unidos y Guatemala para  $PM_{2.5}$ . [22, 23]



**Figura 1.14** Niveles modelados de PM<sub>2.5</sub>

**Fuente:** <https://hipertextual.com/2016/05/contaminacion-america-latina>

#### 1.4.1 Contaminación emitida por los motores diésel usando gasóleo

Los motores diésel tienen como principio de funcionamiento, transforman la energía química contenida en el combustible a energía mecánica. Sin embargo, de la necesaria combustión se generan productos nocivos para la salud, como son los gases que contaminan y alteran el medio ambiente. [24]

Los productos derivados de la combustión agrupan al dióxido y monóxido de carbono (CO<sub>2</sub> y CO respectivamente), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y diverso material particulado. En la Unión Europea, aunque los medios de locomoción son responsables únicamente de un 5 % de las emisiones de SO<sub>2</sub>, producen 25 % CO<sub>2</sub>, 87 % de CO y 66 % de NO<sub>x</sub>. [25]

La combustión es una reacción química de oxidación, en la que un elemento combustible (diésel), se combina con un comburente, habitualmente oxígeno. Esta combinación da lugar a una serie de productos de reacción y una gran cantidad de calor.



Los hidrocarburos se componen únicamente por carbono e hidrógeno, por lo que su combustión total con oxígeno resulta únicamente en  $\text{CO}_2$  y agua. Sin embargo, debido a que el aire atmosférico, además del 21% de oxígeno, contiene un 78% de nitrógeno y un 1% de otros gases, inevitablemente se forman otros productos, como es el caso de los  $\text{NO}_x$ . Además, parte de los hidrocarburos no se queman durante la combustión y se emiten a la atmósfera en forma de CO, de hidrocarburos no quemados y de partículas. [24, 25]

En los motores de encendido por compresión, el  $\text{CO}_2$  es el principal contaminante; le siguen los  $\text{NO}_x$ , que ocupan una situación similar a la de la materia particulada.

Se miden principalmente los siguientes componentes en las emisiones de motores diésel:

- Monóxido de Carbono (CO) en (mg/km)
- Óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) en (mg/km)
- Hidrocarburos (HC) en (mg/km)
- Hidrocarburos No Metanos (NMHC) en (mg/km)
- Material Particulado (PM) en (mg/km)

(mg/km): Miligramos por Kilómetros.

La combustión incompleta de hidrocarburos produce también el CO, que es capaz de pasar a la sangre a través de las vías respiratorias, donde se combina con la hemoglobina. Una consecuencia directa es la disminución de las funciones del organismo humano por la imposibilidad de la carboxihemoglobina, el resultante de ésta combinación, para transportar el oxígeno a través del cuerpo. Las partículas, por su parte, son capaces de introducirse en el sistema respiratorio, donde las más finas (menores de  $2,5 \mu\text{m}$ ) pueden abrirse paso hasta las zonas más profundas. Son causantes directas de un gran número de muertes prematuras, así como disfunciones en el sistema respiratorio. Se relacionan directamente con el asma y en niños pueden



contribuir a un mal desarrollo de la capacidad pulmonar. Además de sus efectos directos, pueden servir como medio de transporte para otras sustancias nocivas. [25]

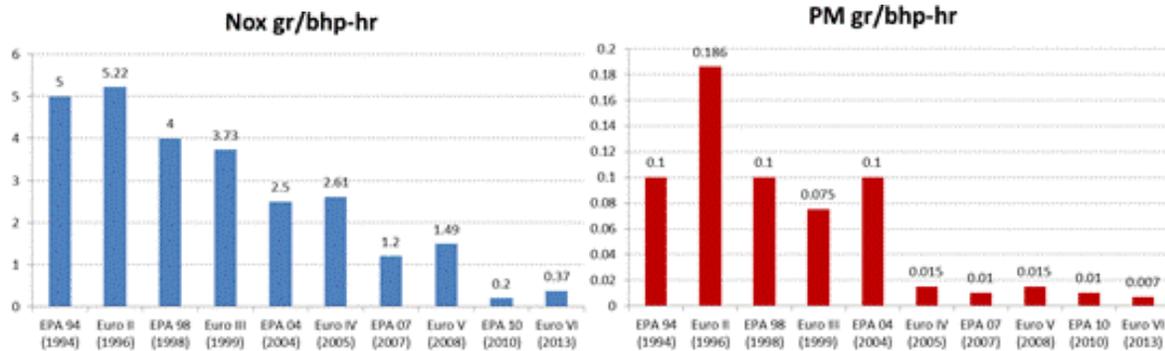
#### **1.4.2 Control de emisiones de motores diésel**

A nivel mundial existen dos grupos de estándares vanguardistas de control de emisiones contaminantes y de calidad de combustibles. Estos estándares son desarrollados por la Unión Europea y por los Estados Unidos, conocidos comúnmente como normas Euro y EPA, respectivamente. Estos estándares son la referencia de muchos otros países para establecer sus propias normativas. [25]

El primero en establecer medidas para mitigar la contaminación generada por los motores de combustión interna fue Estados Unidos. En 1963 promulgó el Acta del Aire Limpio (Clean Air Act, CAA), que ordenó adoptar estándares de control de la calidad del aire a nivel mundial. [25]

En la Comunidad Económica Europea, la Agencia Europea del Medio Ambiente ha seguido las tendencias de los Estados Unidos, aunque con desfase en la aplicación de normas de emisión. Con una política similar, las normas de emisión se definen en una serie de directivas de la Unión Europea con implantación progresiva, cada vez mayormente restrictivas. [25]

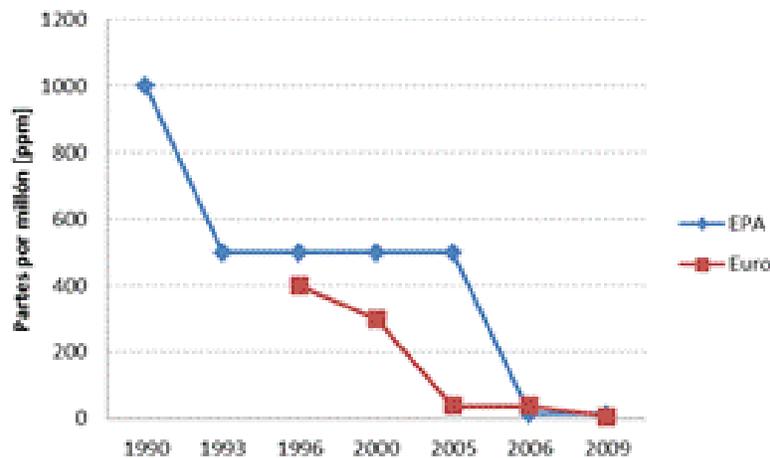
Las normativas de control de emisiones de Estados Unidos (EPA) y las de la Comunidad Europea (Euro) presentan ciertas diferencias, con límites más restrictivos para unos u otros contaminantes. Tal es el caso de los límites aplicados a vehículos de carga pesada que funcionan con diésel, en los que la normativa Euro es más estricta que la EPA para el caso del material particulado, mientras que esto se invierte para los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). En la Figura 1.15 se muestran las diferentes etapas de ambas normativas, en las que se pueden observar las diferencias descritas. [25]



**Figura 1.15** Comparación de normas EPA y EURO.

**Fuente:** [https://theicct.org/sites/default/files/Blumberg\\_SEDEMA%20taller\\_2016.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/Blumberg_SEDEMA%20taller_2016.pdf)

De igual forma existen diferencias en los niveles permisibles de contenido de azufre en los combustibles, así como en los periodos en que entran en vigor las reducciones en estos niveles. En la Figura 1.16 se observan estas reducciones, en las que resulta notorio que la normativa Euro contempla niveles inferiores para el caso del diésel. [25]



**Figura 1.16** Límites máximos de contenido de azufre en diésel.

**Fuente:** [https://theicct.org/sites/default/files/Blumberg\\_SEDEMA%20taller\\_2016.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/Blumberg_SEDEMA%20taller_2016.pdf)

En el caso de México existen dos vertientes para la regulación de los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes. Por un lado, está la normativa que atañe a los vehículos que ya se encuentran en circulación, mientras que por otro está la correspondiente a vehículos nuevos. [25]



Considerando la primera vertiente, la NOM-045-SEMARNAT-2017 establece los límites máximos permisibles de coeficiente de absorción de luz y el porcentaje de opacidad, provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diésel como combustible. Su obligatoriedad excluye la maquinaria equipada con motores a diésel empleada en las actividades agrícolas, de la construcción y de la minería. [25]

Los límites máximos permisibles de opacidad del humo en función del año-modelo del vehículo y cuyo peso bruto vehicular sea de hasta 3,856 kg, se muestran en la Tabla 1.

Año-modelo del vehículo	Coefficiente de absorción de luz ( $m^{-1}$ )	Por ciento de opacidad (%)
2003 y anteriores	2.00	57.68
2004 y posteriores	1.50	47.53

**Tabla 1.** Límites máximos de opacidad del humo, menor de 3,856 kg.

Los límites máximos permisibles de opacidad del humo en función del año-modelo del vehículo y cuyo peso bruto vehicular sea mayor a 3,856 kg, se muestran en la Tabla 2.

Año-modelo del vehículo	Coefficiente de absorción de luz ( $m^{-1}$ )	Por ciento de opacidad (%)
1997 y anteriores	2.25	61.99
1998 y posteriores	1.50	47.53

**Tabla 2.** Límites máximos de opacidad del humo, mayor de 3,856 kg.

Respecto a emisiones de vehículos de carga pesada que usan diésel como combustible empleados para propulsar vehículos automotores nuevos, se aplica la NOM-044-SEMARNAT-2017. La norma establece los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes. Estos valores máximos permisibles de emisiones se aprecian en las siguientes tablas. [25]

Los límites máximos permisibles de emisión de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos (HC), hidrocarburos no metano (HCNM), partículas (Part), número de partículas (Núm. Part) y amoníaco (NH3), provenientes del escape de los motores y vehículos automotores nuevos con un peso bruto vehicular mayor a 3,857 kg que los integren, certificados mediante los métodos de prueba establecidos por el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, así como por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, se indican en la Tabla 3.

Estándar	Método de Prueba	CO	NOx	HC	HCNM	Part	Núm. Part.	NH3
		g/kWh					Número/kWh	ppm
2 <sup>a</sup>	CEEC	1.5	3.5	0.46	No aplica	0.02	No aplica	No aplica
	CET	4.0		No aplica	0.55	0.03	No aplica	No aplica
2AA	CEEC	1.5	2.0	0.46	No aplica	0.02	No aplica	No aplica
	CET	4.0	2.0	No aplica	0.55	0.03	No aplica	No aplica
2B	CEEMAP	1.5	0.4	0.13	No aplica	0.01	8.0 x 10 <sup>11</sup>	10
	CETMAP	4.0	0.46	0.16	No aplica	0.01	6.0 x 10 <sup>11</sup>	10

**Tabla 3.** Límites máximos permisibles, peso mayor a 3,857 kg.

- Estándar 2A. Límites máximos permisibles para motores y vehículos automotores nuevos producidos a partir de la entrada en vigor de esta norma y hasta el 30 de junio de 2019, obtenidos con los métodos de prueba de Ciclo Europeo de Estado Continuo (CEEC) y Ciclo Europeo de Transición (CET).
- Estándar 2AA. Límites máximos permisibles para motores y vehículos automotores nuevos producidos a partir del 1 de enero de 2019 y hasta el 31 de diciembre de 2020, obtenidos con los métodos de prueba de Ciclo Europeo de Estado Continuo (CEEC) y Ciclo Europeo de Transición (CET).



- Estándar 2B. Límites máximos permisibles para motores y vehículos automotores nuevos producidos a partir del 1 de enero de 2019, obtenidos con los métodos de prueba de Ciclo Estado Estable Mundial Armonizado de Prueba (CEEMAP) y Ciclo Estado Transitorio Mundial Armonizado de Prueba (CETMAP), establecidos por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa y descritos en los numerales 3.6 y 3.7 de la presente norma oficial mexicana. Este estándar requiere el uso de diésel automotriz con un contenido máximo de azufre de 15 mg/kg.
- Ciclo Europeo de Estado Continuo (CEEC): ciclo de prueba estable de 13 modos, en las que el motor debe operar cierto tiempo en cada modo, bajo condiciones estables de velocidad y torque definidas. Cada medición en cada modo tiene un valor predefinido de peso porcentual para obtener el valor final de emisiones bajo prueba CEEC.
- Ciclo Europeo de Transición (CET): ciclo de prueba secuencial de modos transitorios consistente en tres fases en donde se simula la operación del motor, bajo condiciones de manejo en ciudad a 50 km/h y paradas frecuentes, manejo en condiciones rurales con velocidad promedio de 72 km/h y manejo en carretera con velocidad promedio de 88 km/h.
- Ciclo Estado Estable Mundial Armonizado de Prueba (CEEMAP): ciclo de pruebas en dinamómetro de estado estable incremental para motores, consistente de una secuencia de modos de prueba de estado estable con 13 modos de velocidad del motor y torque que se convierten en los valores de referencia del motor correspondiente que se someta a ensayo, y con cambios incrementales entre modos también predefinidos.
- Ciclo Estado Transitorio Mundial Armonizado de Prueba (CETMAP): ciclo de pruebas en dinamómetro de estado transitorio para motores, el cual se define como una secuencia segundo a segundo de valores de velocidad del motor y torque normalizados. A efectos de la realización del ensayo en una celda de ensayo del motor, los valores normalizados se convertirán en valores absolutos efectivos para el motor que se esté probando.



Los límites máximos permisibles de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos no metano (HCNM) y partículas (Part), provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kg y hasta 6,350 kg que integren motor a diésel, se indican en la Tabla 4.

Estándar	Peso bruto vehicular (kg)	Método de prueba	g/km (1)		
			NO <sub>x</sub>	HCNM	Part
3A (2)	3,857 a 4,539	FTP 75	0.311	0.121	0.037
	4,540 a 6,350		0.435	0.143	0.037
3B (3)	3,857 a 4,539	FTP 75	0.124	0.121	0.012
	4,540 a 6,350		0.249	0.143	0.012

**Tabla 4.** Límites máximos permisibles, peso mayor a 3,857 kg y hasta 6,350 kg.

- Estándar 3A. Límites máximos permisibles para vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kg y hasta 6,350 kg, producidos a partir de la entrada en vigor de la presente norma oficial mexicana y hasta el 30 de junio de 2019, obtenidos con el método de prueba denominado Ciclo en Ciudad FTP (FTP 75), establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.
- Estándar 3B. Límites máximos permisibles para vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kg y hasta 6,350 kg, producidos a partir del 1 de enero de 2019. Este estándar requiere el uso de diésel automotriz con un contenido máximo de azufre de 15 mg/kg, el cual estará disponible en el país.
- Ciclo en Ciudad FTP (FTP 75): ciclo de prueba consistente en tres fases, en donde se simula en un dinamómetro de chasis la operación del vehículo bajo condiciones de manejo urbano. Las fases son la de arranque en frío, la transitoria y la última de arranque en caliente.

Los límites máximos permisibles de emisión de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos totales más óxidos de nitrógeno (HC + NO<sub>x</sub>), partículas (Part) y número de partículas (Núm. Part), provenientes del escape de los vehículos



automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kg y masa de referencia menor o igual a 2,840 kg que integren motor nuevo a diésel, se indican en la Tabla 5. [25]

Estándar	Masa de Referencia (kg)	Método de prueba	CO	NO <sub>x</sub>	HC NO <sub>x</sub>	Part	Núm. Part.
			g/km				Número/km
4A	2,840	NCEP	0.74	0.39	0.46	0.06	No aplica
4AA	2,840	NCEP	0.74	0.28	0.35	0.005	No aplica
4B	2,840	NCEP	0.74	0.125	0.215	0.005	6.0x10 <sup>11</sup>

**Tabla 5.** Límites máximos permisibles, masa de referencia menor o igual a 2,840 kg.

- Estándar 4A. Límites máximos permisibles para vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kg y masa de referencia menor o igual a 2,840 kg, producidos a partir de la entrada en vigor de la presente norma oficial mexicana y hasta el 30 de junio de 2019, obtenidos con el método de prueba Nuevo Ciclo Europeo de Prueba (NCEP).
- Estándar 4AA. Límites máximos permisibles para motores y vehículos automotores nuevos producidos a partir del 1 de enero de 2019 y hasta el 31 de diciembre de 2020, obtenidos con el Nuevo Ciclo Europeo de Prueba (NCEP)
- Estándar 4B. Límites máximos permisibles para vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kg y masa de referencia menor o igual a 2,840 kg, producidos a partir del 1 de enero de 2019. Este estándar requiere el uso de diésel automotriz con un contenido máximo de azufre de 15 mg/kg.
- Nuevo Ciclo Europeo de Prueba (NCEP): ciclo de prueba que se compone de dos partes; parte uno: ciclo urbano, el cual consiste de 4 ciclos de prueba (cada uno de 1,013 km, con una distancia total recorrida de 4,052 km y una velocidad media durante la prueba de 19 km/h); y, Parte dos: ciclo no urbano, el cual consiste de un ciclo de prueba con una distancia total recorrida de 6,955 km con una velocidad media durante la prueba de 62.6 km/h y una velocidad máxima de 120 km/h. [25]



### 1.5 Planteamiento del problema

La contaminación del aire causada por la quema de combustibles fósiles ha afectado enormemente la calidad de vida en la tierra. La mayoría de los coches utilizan la combustión de gasolina o diésel para funcionar, este proceso viene acompañado de la emisión de una gran cantidad de gases contaminantes, como lo son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

La disminución de las reservas mundiales de petróleo vistas en los últimos años y el aumento de las consecuencias que trae el uso de petróleo hacia nuestro medio ambiente ha estimulado el interés de la gente por encontrar fuentes de energía alternativas. Una alternativa a este problema es utilizar combustible de materias primas renovable o de residuos, reduciendo así los problemas de contaminación ambiental.

El biodiésel que es producto derivado de aceites, grasas animales o vegetales, se puede obtener al realizar una reacción de transesterificación con alcohol (metanol o etanol), dado que el biodiésel es un combustible oxigenado, puede reemplazar a los combustibles fósiles. Renovable, biodegradable, respetuoso con el medio ambiente, son algunos beneficios de este, con un rendimiento similar de flujo y quemado al diésel común y con bajas emisiones.

Actualmente, existe la duda de: ¿cuál será la mejor opción de combustible? Por esta razón, esta tesis busca comprobar la viabilidad del uso de biodiésel como combustible para reducir la contaminación ambiental dada por vehículos terrestres que usan gasóleo. Para responder a esta hipótesis, estudiaremos este combustible. Desde un punto de vista medioambiental, también será posible comparar sus ventajas y desventajas, incluyendo la parte económica de producirlo.



# CAPÍTULO 2

# MARCO TEÓRICO



## Capítulo 2.- MARCO TEORICO

### 2.1 Proceso para la obtención de biodiésel

El biodiésel es un combustible alternativo para motores diésel que se obtiene principalmente por reacción de un triacilglicérido (presente en aceites vegetales o en grasas animales) con un alcohol. Esta reacción requiere de catalizadores (normalmente una base fuerte) y entre los más usados están el hidróxido de sodio o el hidróxido de potasio, obteniéndose una mezcla ésteres metílicos (si se emplea metanol). Los alcoholes empleados con mayor frecuencia son el metanol y el etanol, aunque también se puede usar propanol, butanol, iso-propanol, ter-butanol, octanol y algunos ramificados que introducen un mayor costo. Con respecto a la elección entre metanol y etanol, el primero es más barato, más reactivo y los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) que se producen son más volátiles que los ésteres etílicos de ácidos grasos (FAEE); sin embargo, el etanol es menos tóxico y se considera más renovable, porque se obtiene por fermentación de una fuente amilácea o sacarosa. Por el contrario, el metanol se obtiene principalmente del gas natural, una fuente no renovable.

Convencionalmente, la producción de biodiésel se lleva a cabo por transesterificación de triacilglicéridos con metanol o etanol en presencia de catalizadores básicos homogéneos, tales como hidróxidos de sodio o potasio, carbonatos o alcóxidos.

El proceso de transesterificación consiste en combinar el aceite comúnmente aceite vegetal, con un alcohol ligero, normalmente metanol, y deja como residuo glicerina que puede ser aprovechada por la industria cosmética, entre otras.

La fuente de aceite vegetal suele ser aceite de colza, pues es la planta con mayor rendimiento de aceite por hectárea, aunque también se pueden utilizar aceites usados como podrían ser aceites de fritura, en cuyo caso, la materia prima es muy barata y además se reciclan lo que en otro caso serían residuos.

## 2.2 Obtención de biodiésel partiendo de aceites vegetales

El biodiésel químicamente hablando es una mezcla de ésteres de alquilo (metilo, etilo, etc.) que contienen largas cadenas de ácidos grasos obtenidos típicamente a partir de recursos biológicos no tóxicos, tales como los aceites vegetales, las grasas animales e incluso aceite de cocina usado.

En la siguiente tabla se muestran algunos de los aceites comúnmente usados para la producción de biodiésel. (Tabla 6). [26,27,28].

Tipo de Aceite	Especie	Densidad
Comestible	Soya	0.91
Comestible	Mostaza	0.91
Comestible	Girasol	0.92
Comestible	Palma africana	0.92
Comestible	Nuez	0.90
Comestible	Maíz	0.91
No comestible	Jatropha curcas	0.92
No comestible	Palanga	0.90
No comestible	Mango Marino	0.92

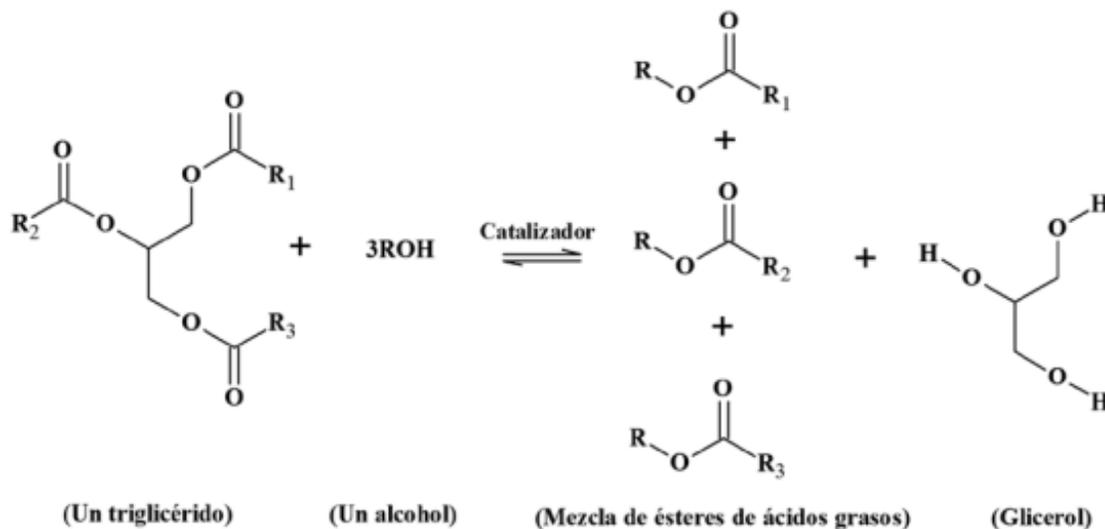
**Tabla 6** Aceites comunes para la producción de biodiésel

Más del 95% de las materias primas utilizadas en la producción de biodiésel se obtienen a partir de aceites comestibles porque se produce ampliamente en muchas regiones y la calidad del biodiésel obtenido de estos aceites es muy cercana a la del diésel. Sin embargo, existen algunos problemas, como la competencia con el mercado del aceite comestible que incrementa el costo del aceite y el biodiésel. Por otro lado, debido a que se han talado algunos bosques con fines agrícolas, se ha provocado la deforestación en algunos países. [26]

Para superar estas deficiencias, los investigadores están interesados en aceites comestibles que no son aptos para el consumo humano ya que contienen ciertos componentes tóxicos en los aceites. Además, pueden cultivarse en tierras que no son aptas para el cultivo de alimentos, lo que no requiere mucha atención. Sin embargo, la mayoría de los aceites no comestibles tienen un alto contenido de ácidos grasos libres. Por lo tanto, pueden requerir otros pasos químicos, lo que aumentará los costos de producción. La grasa animal tiene un mayor contenido de grasas saturadas que los ácidos grasos y suele ser sólida a temperatura ambiente, lo que puede provocar problemas en el sistema de producción. Los aceites usados de cocina no son aptos para el consumo humano, pero son un sustituto de la producción de biodiésel. [26]

### 2.3 Transesterificación y sus reacciones

La transesterificación consiste en la reacción de un triéster de glicerilo (triglicérido) con un alcohol para formar alquil ésteres y glicerol. En la figura 2.1 se muestra una forma simplificada de la reacción de transesterificación de un triacilglicérido. [26]



**Figura 2.1** Transesterificación.

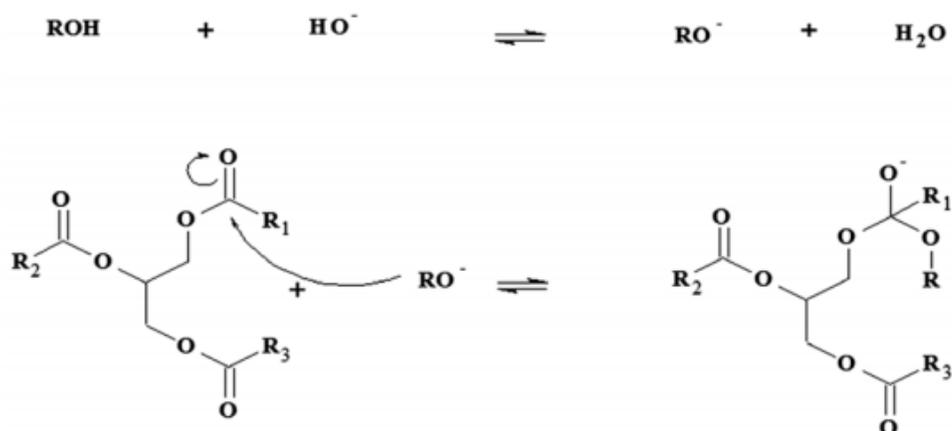
Fuente: <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n2/v12n2a10.pdf>



Debido a que la reacción es reversible, se usa un exceso de alcohol para cambiar el equilibrio hacia el lado del producto. El metanol y el etanol son los alcoholes más utilizados, especialmente el metanol por su bajo precio y sus ventajas físicas y químicas (es polar y es un alcohol de cadena corta); además, el metanol reacciona rápidamente con los triglicéridos y es fácilmente soluble en álcali. Para realizar la transesterificación completa estequiométrica, la relación molar de alcohol a triglicérido debe mantenerse en 3: 1. En la práctica, se necesita una relación mayor para equilibrar y mejorar el rendimiento. Por supuesto, la tasa de transesterificación depende no solo de las condiciones operativas o del tipo de catalizador, sino también del tipo y clase de triacilglicéridos presentes en el aceite o la grasa.

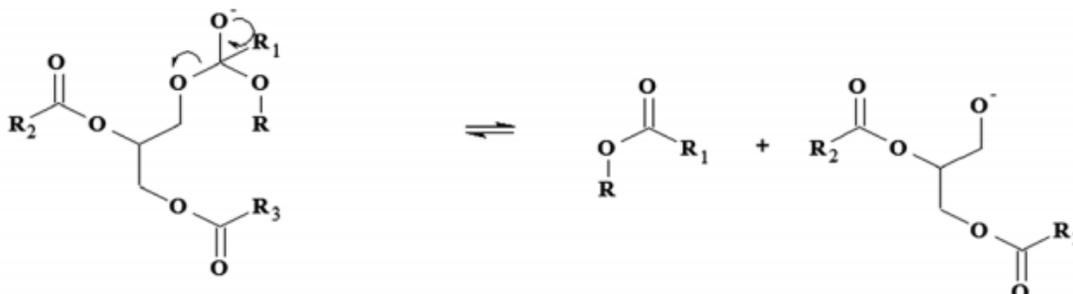
Desde el punto de vista del mecanismo, la reacción de transesterificación consiste en una serie de reacciones continuas reversibles, en las que los triacilglicéridos se convierten gradualmente en diglicéridos, monoglicéridos y finalmente en glicerol, produciendo una mol en cada etapa de ésteres de alquilo.

El mecanismo de transesterificación heterogéneamente catalizada es similar al mecanismo establecido en la catálisis homogénea de sistemas ácidos o básicos, y su principio se basa en las propiedades nucleofílicas y electrofílicas de los triacilglicéridos y grupos alcohol carbonilo. En la catálisis básica homogénea, un factor importante es la producción de alcóxidos nucleofílicos a partir de alcoholes, que luego atacan la parte electrofílica del grupo carbonilo. La descomposición de los triglicéridos requiere tres pasos: En el primer paso, debido al ataque nucleofílico del alcóxido de carbono electrofílico del grupo carbonilo, se forma un intermedio tetraédrico. (Figura 2.2)


**Figura 2.2** Primer paso.

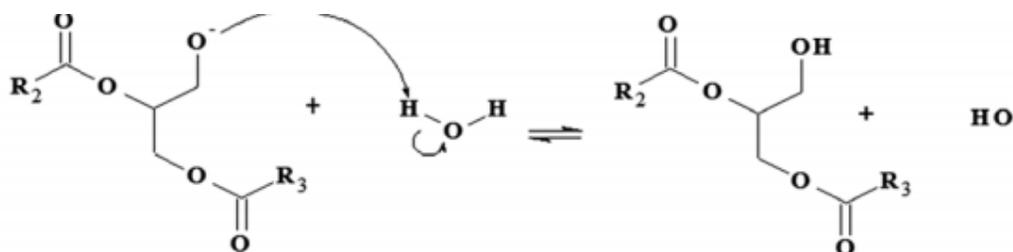
**Fuente:** <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n2/v12n2a10.pdf>

En el segundo paso, el intermediario se descompone formando un ion diacilglicérido y el éster alquílico del ácido graso (Figura 2.3). [26]


**Figura 2.3** Segundo paso.

**Fuente:** <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n2/v12n2a10.pdf>

En el último paso se recupera el catalizador por transferencia de un protón. Estos pasos se repiten hasta formar los tres ésteres de ácidos grasos y glicerina (Figura 2.4).


**Figura 2.4** Tercer paso. **Fuente:**

<http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n2/v12n2a10.pdf>



En la catálisis ácida homogénea, el grupo carbonilo del triglicérido entra en el proceso de protonación, inicialmente bajo la acción de un catalizador ácido y luego es atacado por el alcohol para formar un intermedio tetraédrico inestable, que se descompone en iones glicéridos de éster de ácido graso y grupo diacilo. A diferencia de la catálisis básica, el grupo carbonilo de los triacilglicéridos es más electrofílico y más susceptible al ataque del alcohol. Este proceso es más lento que el mecanismo básico. Esta importante diferencia en el mecanismo hace que el proceso transcurra a través de diferentes velocidades de reacción. Al igual que la catálisis homogénea, la acidez y basicidad de la catálisis heterogénea son características importantes en la transesterificación de triglicéridos. A diferencia de los sistemas homogéneos, en la catálisis heterogénea, la adsorción de sustancias y la desorción de productos ocurren en la superficie del catalizador sólido.

En cuanto a la catálisis ácida heterogénea en las reacciones de transesterificación, se han propuesto dos hipótesis sobre el mecanismo de reacción: mecanismo de un solo centro (tipo Eley-Rideal (ER)) o de doble centro (modelo de Langmuir-Hinshelwood (LH)). En el mecanismo de reacción de un solo punto, los grupos carbonilo de los triacilglicéridos se adsorben en los sitios activos del catalizador y luego son atacados por el alcohol en la fase líquida. El mecanismo de dos sitios indica que los dos reactivos (triacilglicérido y alcohol) se adsorben en los sitios activos del catalizador, de modo que la reacción se produce con las dos sustancias adsorbidas. Dossin et al. estudiaron el modelo LH de la reacción de transesterificación de acetato de etilo y metanol utilizando óxido de magnesio como catalizador. Ambos reactivos son adsorbidos por dos sitios en el catalizador y luego reaccionan. El modelo LH describe la reacción básica de transesterificación. El mecanismo tiene cuatro pasos importantes. El primer paso a y b incluye la adsorción de dos reactivos en la superficie del catalizador. (Figura 2.5). [26]

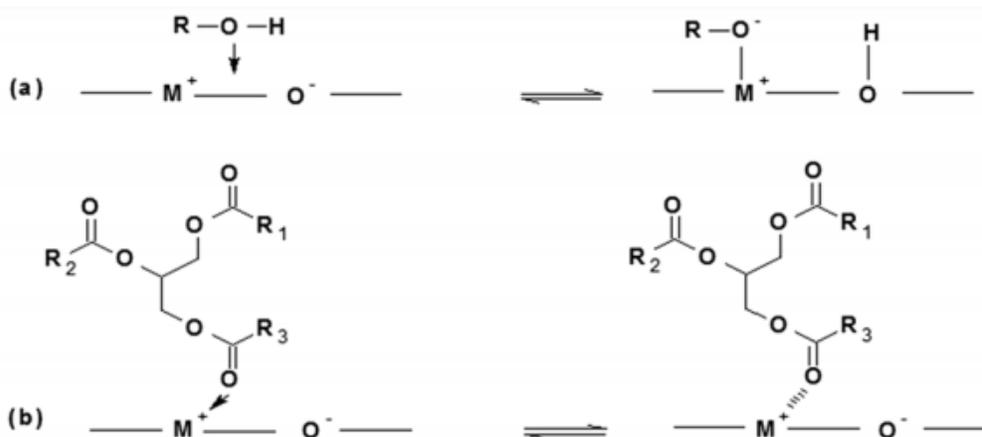


Figura 2.5 Paso 1a y 1b.

Fuente: <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n2/v12n2a10.pdf>

En el segundo paso se produce un intermediario tetraédrico a partir del grupo alcóxido (Figura 2.6).

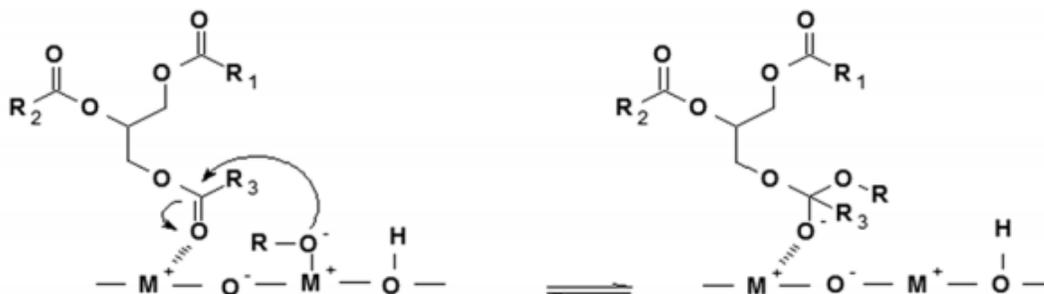


Figura 2.6 Paso 2.

Fuente: <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n2/v12n2a10.pdf>

Un éster del ácido graso se produce en el tercer paso (Figura 2.7).

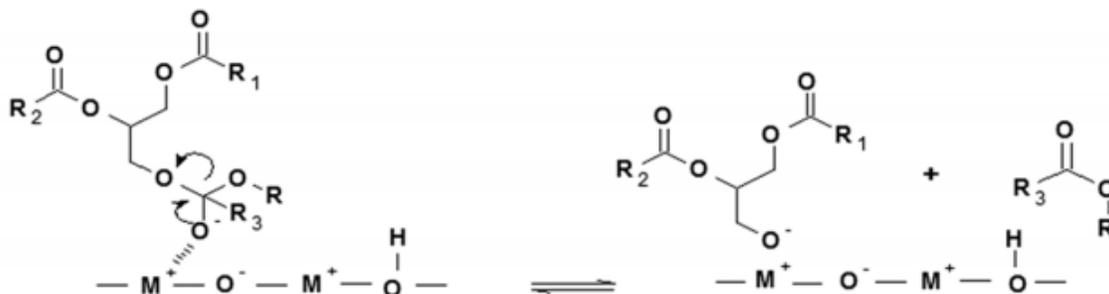


Figura 2.7 Paso 3.

Fuente: <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n2/v12n2a10.pdf>

Un diacilglicérido es el producto en el último paso (Figura 2.8).



**Figura 2.8** Paso 4.

**Fuente:** <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n2/v12n2a10.pdf>

### 2.3 Propiedades físicas y químicas del biodiésel

La ASTM (American Society for Testing and Material Standard) describe al biodiésel como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de lípidos tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se pueden emplear en motores de ignición de compresión o sea los motores del tipo diésel.

La ASTM estipula que se deben realizar diferentes pruebas al combustible para asegurar su correcto funcionamiento. La siguiente tabla enumera las especificaciones y los métodos de prueba correspondientes establecidos para el biodiésel. (Tabla 7)

Propiedad	Valor Aproximado
Conversión	96.50 a 97.50 % (m / m)
Densidad a 15°C	860 a 900 Kg / m <sup>2</sup>
Viscosidad a 40°C	3.50 a 5.00 mm <sup>2</sup> / gr
Punto inflamación	120°C
Contenido de Azufre	10 mg / Kg
Índice de cetanos	51 N°
Contenido máximo de agua	500 mgr / Kg
Contenido de metanol	0.20 % (m / m)
Contenido de monoglicéridos	0.80 % (m / m)
Contenido de diglicéridos	0.80 % (m / m)
Contenido de triglicéridos	0.20 % (m / m)
Glicerol libre	0.02 % (m / m)
Glicerol total	0.025 & (m / m)
Metales del grupo I(Na - K)	5.00 mgr / Kg



Metales del grupo II(Ca - Mg)	5.00 mgr / Kg
Contenido de fósforo	10.00 mgr / Kg
Índice de Yodo (Para Soja)	120 gr yodo / 100 grs

**Tabla 7** Propiedades físicas y químicas.

Además de las condiciones favorables desde el punto de vista ecológico y energético, se debe enfatizar inmediatamente la posibilidad de uso inmediato en el motor. El biodiésel puede producir una combustión correcta y completa sin ningún tipo de modificación en el motor existente, que puede ser alimentado alternativamente con gasoil, biodiésel o mezclado entre sí en cualquier proporción.

#### **2.4 Proceso de producción "Batch"**

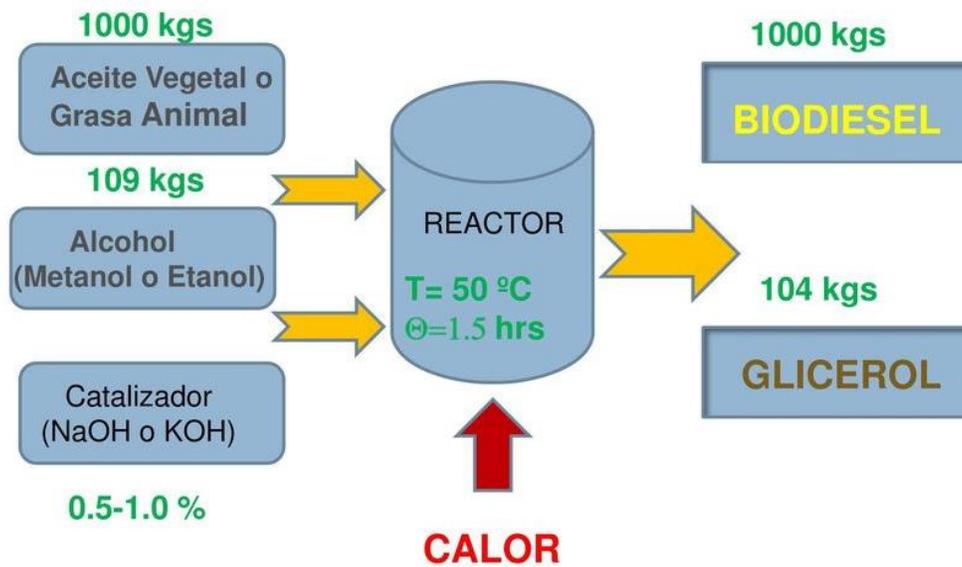
El conocido método "Batch" o por lotes, es el método más simple y el convencional para la producción de biodiésel. (Figura 2.9)

Es un proceso de producción por lotes o "discontinuo", que utiliza reactores con fluidos en agitación y / o circulación, donde las condiciones de funcionamiento más habituales rondan los 55 °C.

El aceite vegetal se hace reaccionar con alcohol metanol y se hace reaccionar con un catalizador comúnmente usado como hidróxido de sodio (NaOH) (usado como acelerador de procesos), aunque también se usa hidróxido de potasio (KOH) en una cantidad de 0.3% a 1.5%. Para este proceso, el fluido debe agitarse firmemente para que se mezcle correctamente en el reactor.

Al final de la reacción, el producto estacionario se decanta y las diferentes fases se separan por la diferencia de densidad. Idealmente, se llevan a cabo dos etapas de reacción de forma continua y se elimina el glicerol, aumentando así el rendimiento final a un porcentaje superior al 96% / 97%.

Un proceso “continuo” es altamente inestable, ya que depende totalmente de la continuidad en la calidad de los insumos, cosa no muy factible en éste tipo de procesos y con éste tipo de insumos, ya que principalmente el aceite vegetal, difiere generalmente entre una partida y otra, con lo que se dificulta la producción continua y ésta debe ser ajustada generalmente, para cada partida de insumos.



**Figura 2.9** Proceso “Batch” para biodiésel.

**Fuente:** <https://docplayer.es/13003084-Biodiesel-generalidades-y-produccion-a-pequena-escala.html>



# CAPÍTULO 3

# ANÁLISIS DE LA

# INVESTIGACIÓN



## Capítulo 3.- ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1 Elaboración de biodiésel

Para la elaboración del biodiésel de estudio en esta tesis, se usaron los siguientes materiales:

- 1 tanque de tratamientos de acero inox 304(Anexo 1 y 2)
- Base para recipiente cilíndrico
- 2 válvulas de esfera
- 1 niple
- 4 abrazaderas 1/2"
- 2 abrazaderas 3/4"
- 1 adaptador espiga
- 1 tuerca para coplee
- 1 coplee 1/2"
- Teflón
- 1 m de manguera 1/2"
- 1 resistencia (calentador)
- 1 termómetro
- 3 m de manguera 1/4"
- 1 bomba
- 1 motor de aire
- 2 litros de metanol
- 1 kg de sosa caustica(NaOH)
- 10 litros aprox. de aceite usado de cocina. (Anexo 4)

Para comenzar el proceso, primero se debió acomodar todos los componentes en el tanque de tratamientos, es decir, poner todas las llaves, acomodar la bomba e integrar sus debidas conexiones. (Anexo 3)



Una vez armado todo, verterle agua para ver que no hubiera ninguna fuga, realizado este paso se secó absolutamente todos los componentes, ya que el metanol al hacer contacto con agua, nos presenta un gran problema y esta es una de las principales razones para que el biodiésel no presente las características deseadas e incluso no sirva como combustible.

Como primer paso se debe diluir la sosa caustica en metanol; dependiendo del tipo de presentación de la sosa caustica es el tiempo que se tardara en diluir, por ello se hizo este proceso un día antes de comenzar con los procesos.

Para cada litro de aceite a procesar se requiere 0.166 litros de metanol con pureza mínima del 99% y 7 gramos de NaOH con pureza mínima del 98%.

En el pequeño lote que se elaboró se utilizaron aproximadamente 10 litros de aceite vegetal, por lo cual, se usaron 1.66 litros de metanol y 73 gramos de NaOH

Seco todo, se vertió el aceite en el tanque de tratamientos, y se procedió a hacer el primer deshidratado, que consiste en elevar la temperatura del aceite a 80°C aproximadamente, como se muestra en la Figura 3.1 (tabla 7) esto con el fin de retirar residuos de agua que pudiera contener.



**Figura 3.1** Primer deshidratado. **Fuente:** Autoría propia

Hora	Temperatura	Resistencia	Fecha
2:28 pm	19.6 °C	Prendida	21-nov-20
2:54 pm	82.2 °C	Apagada	21-nov-20
3:27 pm	58.3 °C	Apagada	21-nov-20

**Tabla 7** 1er deshidratado

El segundo paso fue la primer transesterificación, en el cual se vertió  $\frac{3}{4}$  del metóxido sódico, este proceso se hizo por medio de una manguera de  $\frac{1}{4}$ ”, y con ayuda de un poco de vacío creado en el tanque, se vació nuestro líquido. Posteriormente se cerraron las llaves de vertido y dio comienzo el trabajo de la bomba, la cual cumple la función de mezclar el metóxido sódico con el aceite, para cumplir su objetivo que es separar la glicerina.

Este proceso se hizo a los 55°C comenzando a las 3:51 pm del 21 de noviembre de 2020 y terminando a las 5:21 pm, para dar una hora y media de agitación por medio de la bomba (Figura 3.2). Enseguida se esperaron 10 minutos apagada la bomba para dejar “asentar” la glicerina junto con cualquier otro sedimento y así poder retirarla por la llave de drenado del tanque.



**Figura 3.2** Bomba para agitación.

En el tercer paso, fue prácticamente lo mismo que el segundo, solo tomando en cuenta que se integró la cuarta parte del metóxido sódico sobrante y en esta ocasión solo se mezcló de 6:00 pm a 7:00 pm, dando así una hora de agitación mecánica.

Del mismo modo se esperaron 10 minutos y se retiró la glicerina obtenida (figura 3.3).



**Figura 3.3** Muestra de glicerina. **Fuente:** Autoría propia

En el cuarto paso da inicio a los procesos de lavado. El Primer lavado consta de un lavado por niebla (Figura 3.4), el cual se logra con la ayuda de un aspersionador, el cual tiene

un gasto mínimo de agua, en este proceso se requiere que el biodiésel este caliente, a una temperatura de 60 °C y tuvo una duración aproximada de 2 horas, en el cual, el agua agregada fue aproximadamente de 1.2 litros; terminado esto se dejó reposar 12 horas para así lograr la completa separación de agua y biodiésel.



**Figura 3.4** Lavado por niebla. **Fuente:** Autoría propia

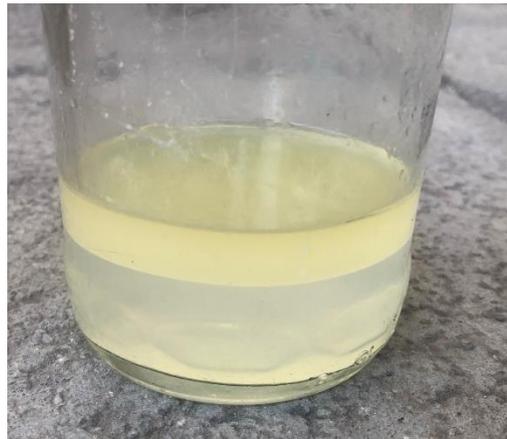
Al retirar esta agua, tuvo un tono blanco (figura 3.5), esto da pauta a que se logró limpiar el biodiésel en su primer lavado.



**Figura 3.5** Agua residual. **Fuente:** Autoría propia

El quinto paso consiste en el segundo lavado, el cual es por medio de burbujas. Este se logró con el motor de aire y una pequeña piedra de acuario, los cuales, al estar conectados por medio de una manguera, se sumerge hasta el fondo del tanque, se agregaron 1.5 litros de agua y se deja trabajar por 12 horas. Este proceso no necesita que elevemos la temperatura del biodiésel.

Pasado el proceso se dejó reposar 12 horas para así dejar juntar el agua y sedimentos en el fondo del tanque, para después drenar el agua residual la cual fue más clara que en el primer proceso como se muestra en la Figura 3.6.



**Figura 3.6** Agua residual con biodiésel. **Fuente:** Autoría propia

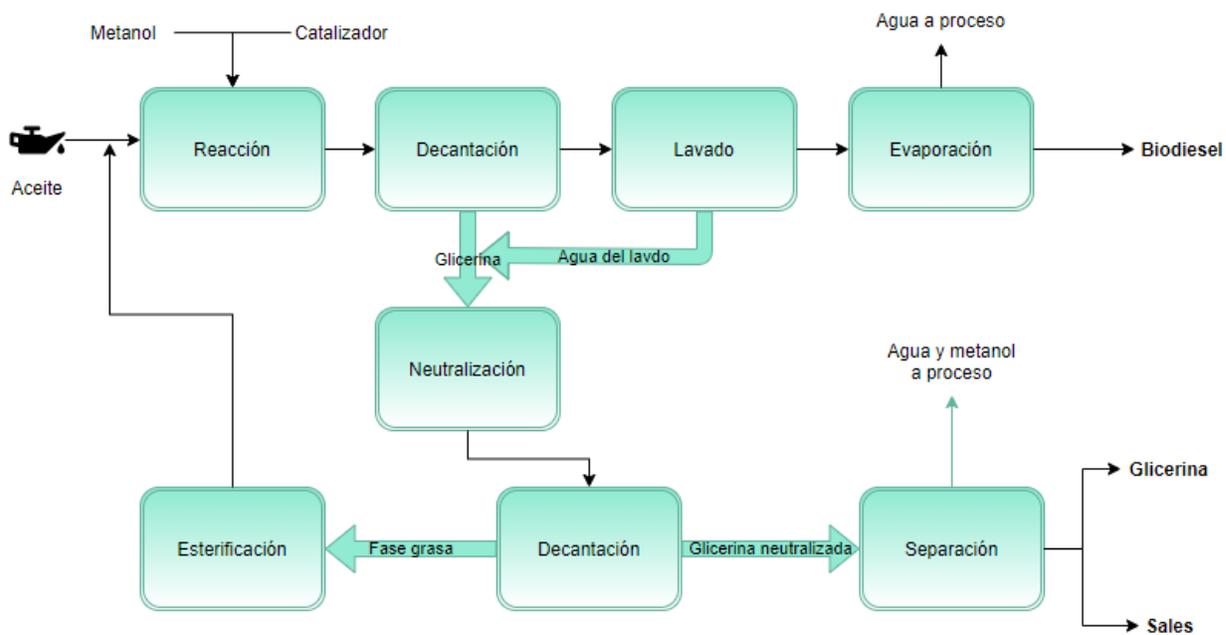
El sexto paso fue hacer un segundo deshidratado, este con el fin de retirar por completo los restos de agua que pudieron haber quedado en el biodiésel. En este paso se elevó la temperatura del biodiésel el 23 de noviembre del 2020 a 104 °C.

En el séptimo paso y último, se envaso el biodiésel (Figura 3.7), que fue el día 24 de noviembre del 2020 a las 12:00 pm, cuando el biodiésel tenía una temperatura ambiente de 19.5 °C.



Figura 3.7 Biodiésel envasado. Fuente: Autoría propia

### 3.2 Diagrama de elaboración de biodiésel





### 3.3 Determinación de la calidad del biodiésel

Como es bien sabido, para determinar esta parte existen diversos estudios de laboratorio que nos muestran con certeza la eficacia del biodiésel obtenido, pero estas pruebas son algo costosas, monetariamente hablando.

Por ello se explicarán algunas pruebas de forma empírica que ayudan a determinar lo antes dicho, cabe mencionar que estas pruebas no arrojan al 100% el estado del biodiésel, pero si nos ayudan a tener idea de que tan bueno o malo es el mismo.

Cada uno de estos hechos por separado no basta por sí solo para asegurarse de que el biodiésel está bien hecho, pero todos ellos juntos si son suficiente motivo como para tener certeza de la calidad del biodiésel obtenido.

1. La prueba más concluyente y tajante es que el coche sigue funcionando después de ponerlo en funcionamiento con biodiésel.
2. La cantidad de glicerina que se produce: Después de las dos transesterificaciones hay que medir, aunque sea a ojo la cantidad de glicerina producida. Si por cada 100 litros de aceite obtenemos unos 16 litros de glicerina, es que la transesterificación ha ido bien. Con lotes de 150 litros lo normal es obtener unos 25 litros de glicerina.
3. El biodiésel terminado es transparente: Esto implica que está correctamente deshidratado.
4. Cromatografía casera: Si a un frasco conteniendo una muestra de biodiésel se le dirige una luz blanca, observaremos la proyección de esa luz en una superficie también blanca. Si el color es amarillo nuestro biodiésel estará dentro de la norma en cuanto a contenido de mono-di y triglicéridos.



5. Ausencia de jabón, por tanto, de metales alcalinos: Tomaremos una pequeña muestra de biodiésel y la pondremos en un frasco de cristal. Añadiremos una cantidad igual de agua destilada. Cerramos el frasco y agitamos vigorosamente unas cuantas veces. Antes de un minuto debe haber una separación clara entre biodiésel y agua. Si la separación no es clara (o no hay separación) entonces es que el biodiésel contiene jabones (no está bien lavado) y/o contiene mono-di-triglicéridos (las transesterificaciones no fueron satisfactorias).

6. El frasco conteniendo la muestra de biodiésel no debe originar el más mínimo asentamiento de cualquier tipo, aunque transcurran meses: Esta sería la prueba de que en el biodiésel no quedan rastros de reactivos y que tampoco contiene aceite para reaccionar. Un biodiésel en donde queda aceite por reaccionar y reactivos, una vez almacenado, a pesar de no estar en agitación ni a la temperatura de proceso de 50°C, sigue produciéndose la reacción muy lentamente, de manera que al cabo de días o semanas se produce un pequeño poso de glicerina que se percibe claramente a la vista en el fondo del frasco. En un biodiésel bien hecho, el fondo del frasco está perfectamente transparente y limpio, aunque transcurran meses desde su envasado.

7. El biodiésel no se enturbia, aunque transcurran meses: Nuevamente, esto significa que el biodiésel estaba bien deshidratado. No deben observarse cambios de color ni de textura.



# CAPÍTULO 4

# RESULTADOS Y

# CONCLUSIONES

#### 4.1 Análisis de resultados

Las pruebas para el estudio del biodiésel en esta tesis se llevaron a cabo en un “Kit banco de pruebas para motores de combustión interna con combustible diésel” modelo: DBS-MCD-001. (Figura 4.1)



**Figura 4.1** Marca y modelo. **Fuente:** Autoría propia

Como primer paso se procedió a poner en funcionamiento el motor y tomar lecturas del mismo. (Figura 4.2)



**Figura 4.2** Motor de pruebas. **Fuente:** Autoría propia



Los primeros datos obtenidos del motor diésel recién iniciado su funcionamiento se muestra en las siguientes tablas. (Tabla 8 – 15)

Temp. motor entrada	
+ 28.2	°C
+ 108.36	°F
+ 301.35	°K

Tabla 8 Temp. Motor entrada

Temp. motor salida	
+ 83.1	°C
+ 207.18	°F
+ 356.25	°K

Tabla 9 Temp. Motor salida

Temp. lubricante motor	
+ 67.8	°C
+ 179.64	°F
+ 340.95	°K

Tabla 10 Temp. Lubricante motor

Presión lubricante motor	
+ 1.532	Atm
+ 1.555	Bar
+ 22.823	Psi

Tabla 11 Presión lubricante motor

Flujo de combustible	
+ 0.057	Gpm
+ 0.215	Lpm
+ 0.179	Kg / h

Tabla 12 Flujo de combustible

Flujo aire de admisión	
+ 4285.435	Gpm
+ 4979.351	Lpm
+ 5.934	Kg / h

Tabla 13 Flujo aire de admisión

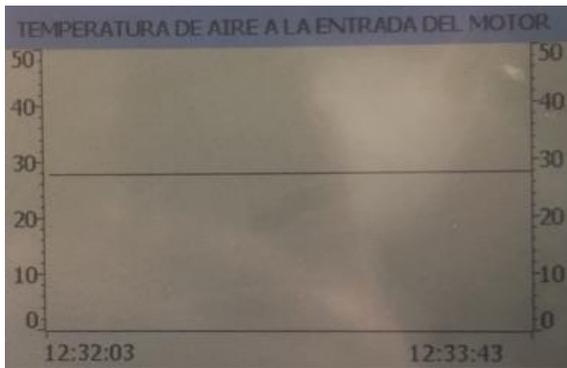
Presión aire admisión	
+ 2.04	Atm
+ 2.544	Bar
+ 30.94	Psi

Tabla 14 Presión aire admisión

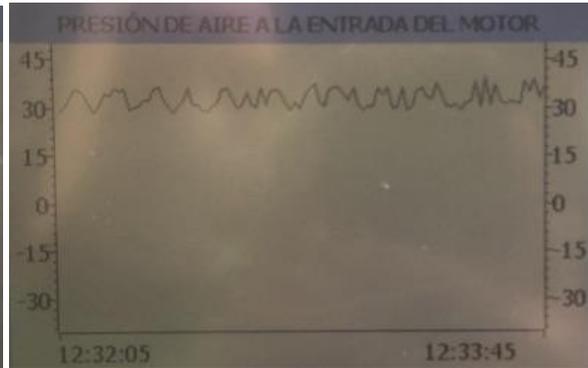
Temp. aire admisión	
+ 27.75	°C
+ 107.55	°F
+ 300.9	°K

Tabla 15 Temp. Aire admisión

Las gráficas obtenidas de esta primera lectura fueron:

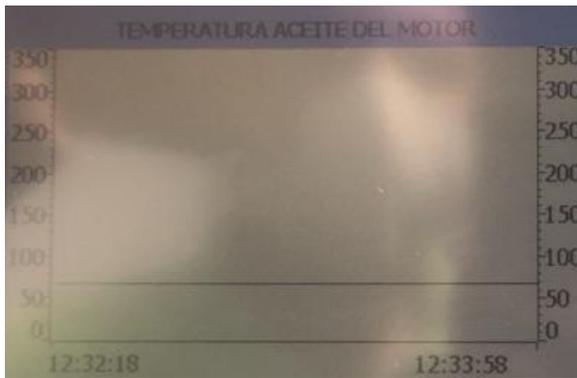


**Figura 4.3** Temp. de aire admisión 28.2

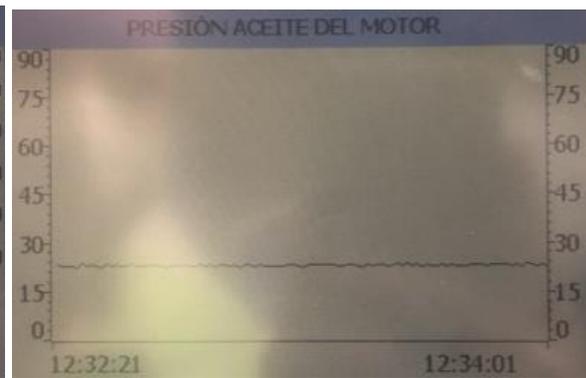


**Figura 4.4** Presión aire admisión 30.94 psi

**Fuente:** Autoría propia



**Figura 4.5** Temp. aceite del motor 67.8°C



**Figura 4.6** Presión aceite motor 22.823 psi

**Fuente:** Autoría propia

Los segundos datos se tomaron 20 minutos después, cuando el motor ya había alcanzado sus niveles de trabajo óptimo. (Tabla 16 - 23)

Temp. motor entrada	
+ 29.3	°C
+ 110.34	°F
+ 302.45	°K

**Tabla 16** Temp. Motor entrada

Temp. motor salida	
+ 82.4	°C
+ 205.92	°F
+ 355.55	°K

**Tabla 17** Temp. Motor salida

Temp. lubricante motor	
+ 66.3	°C
+ 176.94	°F
+ 339.45	°K

**Tabla 18** Temp. Lubricante motor

Presión lubricante motor	
+ 1.63	Atm
+ 1.655	Bar
+ 24.555	Psi

**Tabla 19** Presión lubricante motor

Flujo de combustible	
+ 0.06	Gpm
+ 0.228	Lpm
+ 0.19	Kg / h

**Tabla 20** Flujo de combustible

Flujo aire de admisión	
+ 4576.533	Gpm
+ 5398.188	Lpm
+ 6.423	Kg / h

**Tabla 21** Flujo aire de admisión

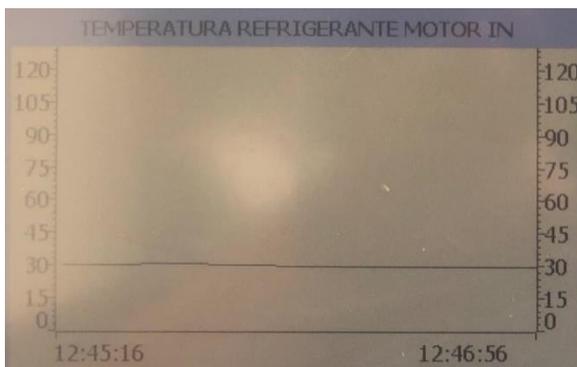
Presión aire admisión	
+ 1.881	Atm
+ 2.22	Bar
+ 28.9	Psi

**Tabla 22** Presión aire admisión

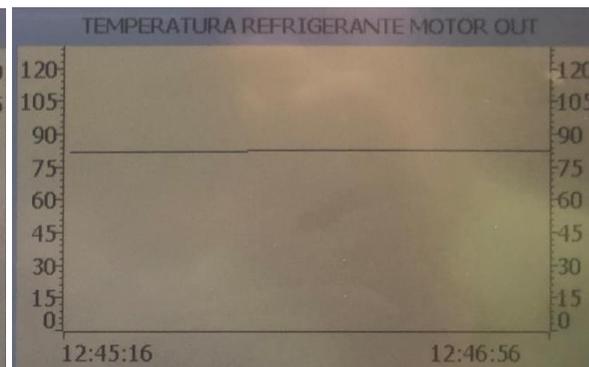
Temp. aire admisión	
+ 27.75	°C
+ 107.55	°F
+ 300.9	°K

**Tabla 23** Temp. Aire admisión

De estos datos obtenidos, se obtuvieron las siguientes graficas

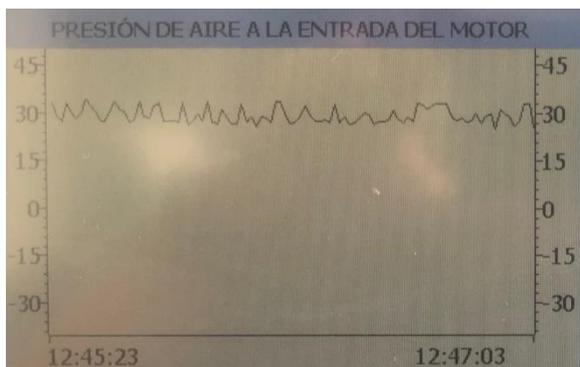
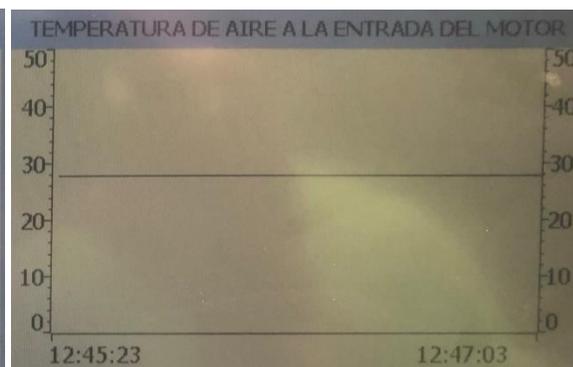
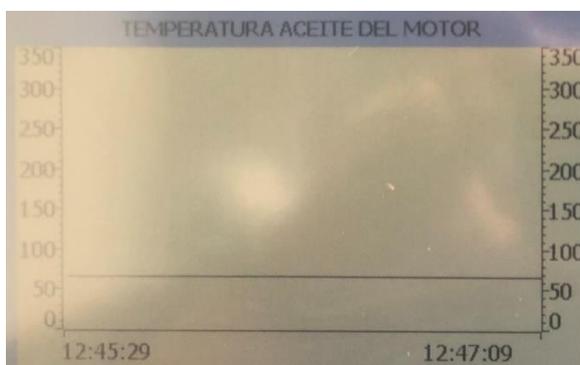
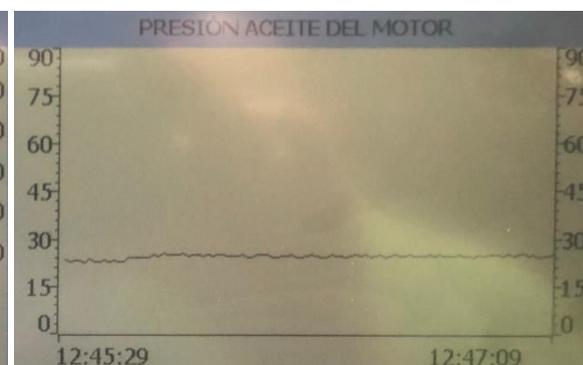


**Figura 4.7** Temp, refrigerante admisión



**Figura 4.8** Temp. refrigerante salida

**Fuente:** Autoría propia

**Figura 4.9** Presión aire admisión**Figura 4.10** Temp. aire admisión**Figura 4.11** Temp. lubricante motor**Figura 4.12** Presión lubricante motor

**Fuente:** Autoría propia

Para finalizar estas pruebas se procedió a tomar lecturas del motor con el biodiésel elaborado en esta tesis, cabe mencionar que para esta parte, se hizo una mezcla de diésel común con biodiésel, comúnmente llamada “Bn” en esta ocasión fue un B10, que consta de 10% de biodiésel (Figura 4.13) y 90% de diésel común, el motivo de esta mezcla fue el motor; el motor al ser un modelo antiguo nos dice que algunas partes plásticas o de goma que hacen parte del sistema de inyección, podrían desintegrarse por los pequeños residuos de metanol que llegan a quedar contenidos en el biodiésel y este al circular por este sistema podría ocasionar algunas fugas del combustible e incluso averías en algunos componentes.



**Figura 4.13** 10% de biodiésel para la mezcla. **Fuente:** Autoría propia

Una vez elaborada la mezcla y puesta en su lugar, se procedió a tomar lecturas del motor después de 10 minutos de funcionamiento del motor con la mezcla B10, los datos fueron los siguientes. (Tabla 24 - 31)

Temp. motor entrada	
+ 27.7	°C
+ 107.46	°F
+ 300.85	°K

**Tabla 24** Temp. Motor entrada

Temp. motor salida	
+ 82.6	°C
+ 206.28	°F
+ 355.75	°K

**Tabla 25** Temp. Motor salida

Temp. lubricante motor	
+ 71.8	°C
+ 186.84	°F
+ 344.95	°K

**Tabla 26** Temp. Lubricante motor

Presión lubricante motor	
+ 2.845	Atm
+ 2.913	Bar
+ 42.6	Psi

**Tabla 27** Presión lubricante motor

Flujo de combustible	
+ 0.106	Gpm
+ 0.381	Lpm
+ 0.317	Kg / h

**Tabla 28** Flujo de combustible

Flujo aire de admisión	
+ 7780.855	Gpm
+ 8995.844	Lpm
+ 10.705	Kg / h

**Tabla 29** Flujo aire de admisión

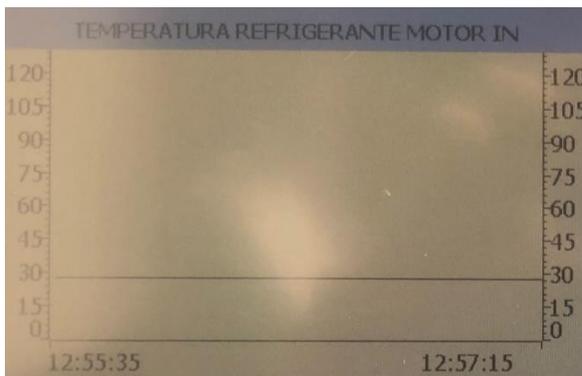
Presión aire admisión	
+ 1.088	Atm
+ 1.11	Bar
+ 12.24	Psi

**Tabla 30** Presión aire admisión

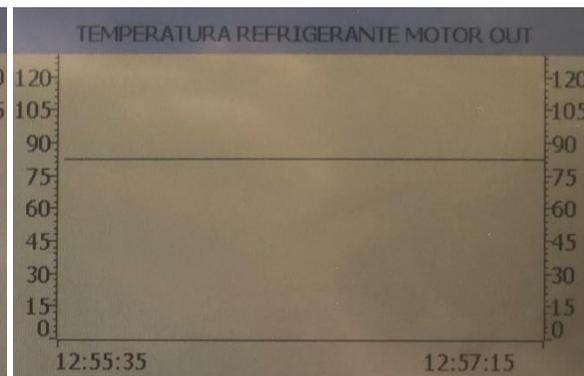
Temp. aire admisión	
+ 27.75	°C
+ 107.55	°F
+ 300.9	°K

**Tabla 31** Temp. Aire admisión

Las respectivas graficas de estos datos, se muestran a continuación.

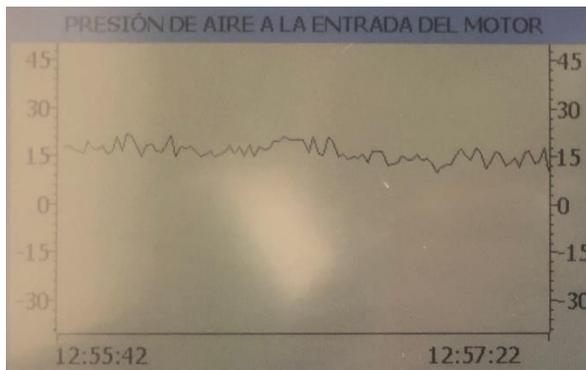


**Figura 4.14** Temp. refrigerante admisión

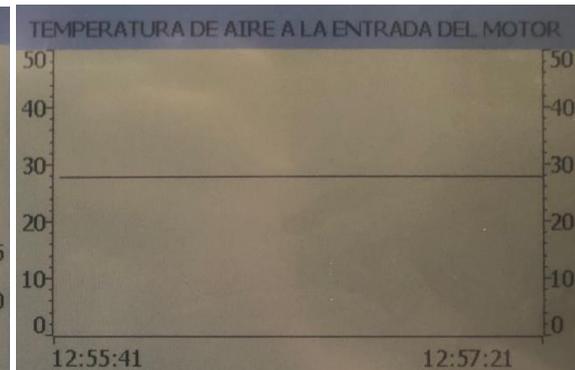


**Figura 4.15** Temp. refrigerante salida

**Fuente:** Autoría propia

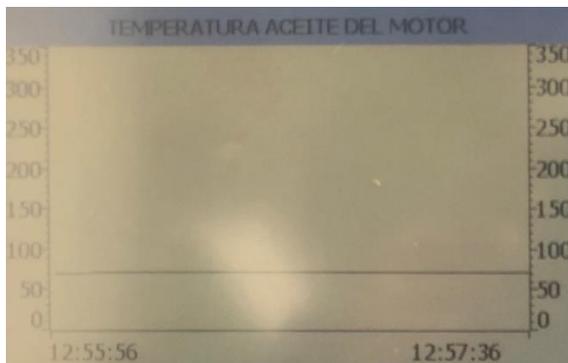


**Figura 4.16** Presión aire de admisión

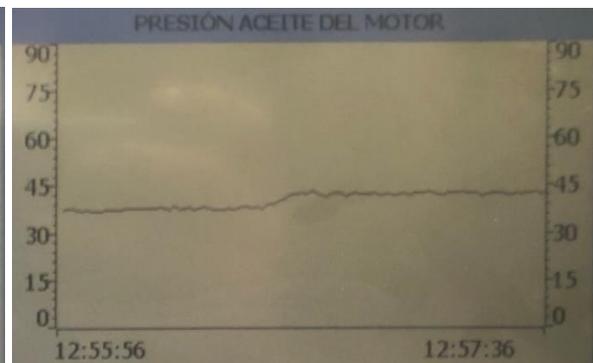


**Figura 4.17** Presión lubricante motor

Fuente: Autoría propia



**Figura 4.18** Temp. lubricante motor



**Figura 4.19** Presión lubricante motor

Fuente: Autoría propia

## 4.2 Comparación diésel-biodiésel

Para lograr esta parte del estudio se compararán los segundos datos tomados contra los terceros, así se podrá determinar el nivel del funcionamiento del motor y se determinara en que momento tiene un mejor rendimiento o mejor desempeño (Tabla 32). Cabe mencionar que para este estudio se hizo convirtiendo todas las unidades necesarias al sistema internacional de medida, para una mejor comprensión.

Tipo de comb.	T. motor entrada.	T. motor salida.	T. aceite.	Presión aceite.	Flujo comb.	Flujo aire de admisión.	Presión aire de admisión.	T. aire de admisión.
Diésel	302.45 °K	355.55 °K	339.45 °K	165159.8 Pa	0.228 lpm	5398.188 lpm	190592.33 Pa	300.9 °K
Biodiésel B10	300.85 °K	355.75 °K	344.95 °K	288269.63 Pa	0.381 lpm	8995.844 lpm	110241.6 Pa	300.9 °K

**Tabla 32** Comparación de combustibles.

Como se puede apreciar en la tabla 32, las temperaturas de entrada y salida, son prácticamente las mismas, la temperatura de entrada al momento de hacer la lectura de biodiésel está 2 °K debajo de la del diésel, pero esto se puede deber a la ventilación del laboratorio, en ese sentido de la temperatura de salida no cambia para ambos combustibles; se presenta un ligero cambio en la temperatura del aceite, lo cual para el biodiésel se incrementa en 5.5 °K.

Posteriormente en la presión de aceite si se muestra un cambio considerable al usar biodiésel, el cual hace incrementar esta en 123,109.83 Pa. En cuanto al flujo de combustible, presentamos un incremento de 0.153 lpm para el biodiésel, por lo que también el flujo de aire de admisión se verá incrementado en 3,597.656 lpm para el biodiésel.

Para los datos de presión de aire de admisión, se nota una reducción de 80,350.73 Pa. Por último, la temperatura del aire de admisión se mantiene igual para ambos combustibles.



**Figura 4.19** Evidencia del tesista en las pruebas. **Fuente:** Autoría propia



### 4.3 Conclusiones

El biodiésel como otro combustible, está excelente en cuanto a seguridad y ayuda a nuestro planeta e incluso para resolver derrames de petróleo en océanos o agua en general, tiene buenas propiedades que nos pueden ayudar a reducir estos accidentes.

Como bio-combustible también presenta grandes beneficios, pero también presenta algunos problemas que se tienen que estudiar más a fondo para así poder resolver, un ejemplo claro es que el biodiésel presenta un alto punto de inflamación, arriba de los 150°C esto lo hace uno de los combustibles más seguros que pueda haber o sino, el más seguro, esto es una gran ventaja para los lugares de almacenamiento, la desventaja es que en la cámara de combustión de algún motor donde se utilice, necesita una mayor compresión para poder crear su combustión, eso nos quiere decir que se necesita un estudio en los motores diésel que en la actualidad usamos, así podemos determinar si después de un largo tiempo de usar biodiésel no presenta problemas en la cuestión mecánica e incluso tribológicamente, aunque está comprobado por diferentes estudios que el biodiésel al ser de origen vegetal, presenta una mejor lubricación.

Como se vio en esta tesis, al usar biodiésel no presenta cambios negativos en el motor, pero si se ven cambios en el flujo de admisión del combustible, lo que trae consigo un mayor flujo de aire de admisión, para que así se pueda crear la “explosión” requerida por el motor.

Cabe mencionar que al tener el motor funcionando con biodiésel el único ligero problema que se presentó, fue que, al inicio de esto, el motor presento una ligera vibración, como si el motor estuviera ligeramente fuera de “tiempo” o sincronización, lo cual se resolvió aumentando sus revoluciones por minuto, posterior de esto, el motor trabajó con normalidad e incluso presento una disminución del ruido emitido por el motor por el normal funcionamiento.



De parte de esta tesis, se cumple con los objetivos previstos y se recomienda el uso de biodiésel en sus fases de mezcla, para lograr usar el biodiésel puro o al 100% se requiere hacer pruebas en un motor de fabricación actual, ya que en estos se implementaron nuevas normar para cambiar las partes plásticas o de goma del sistema de inyección que pudieran desintegrarse por el uso de biodiésel.



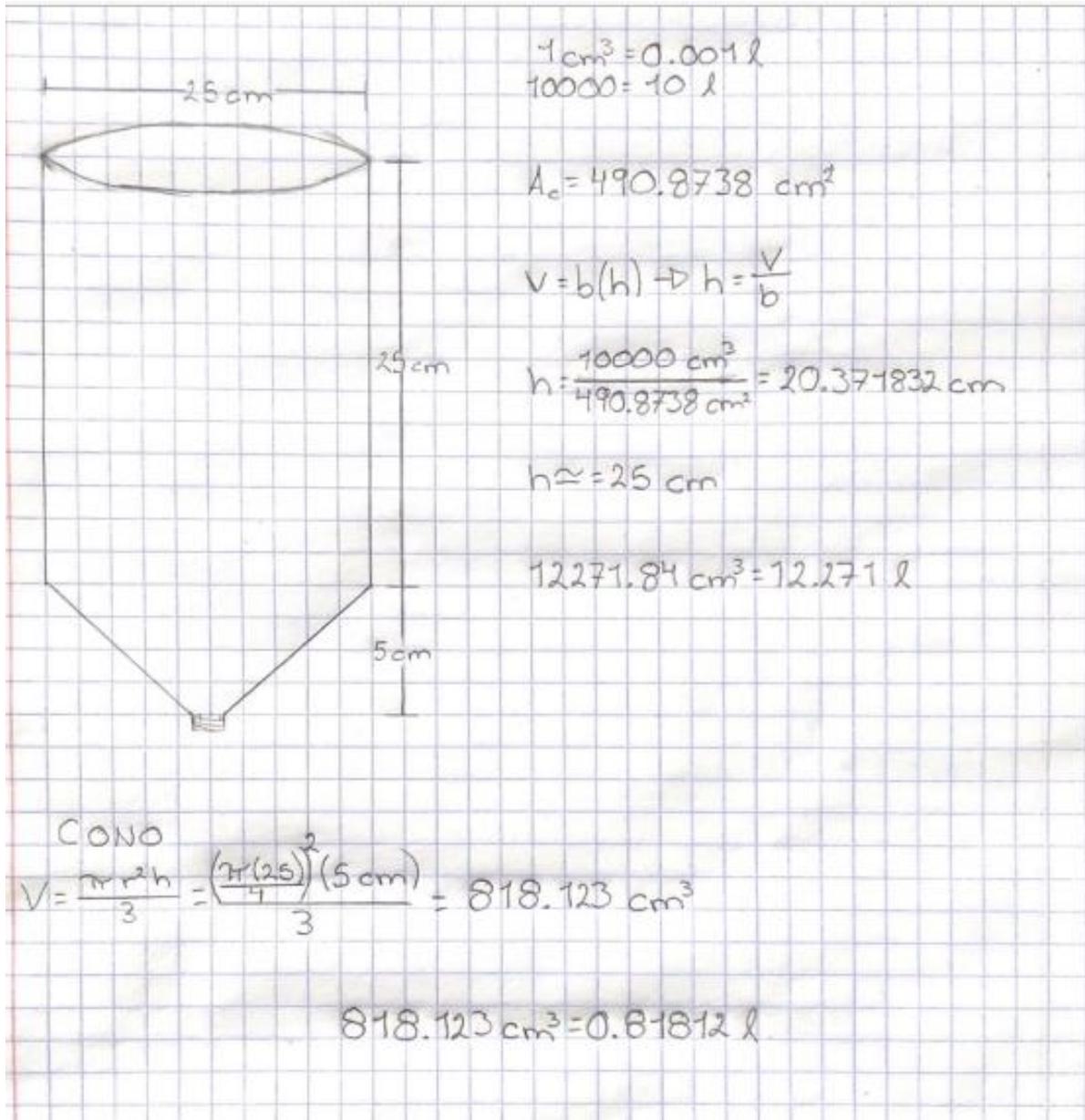
# ANEXOS

**Anexo 1 Ficha técnica de acero inoxidable 304**

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE			SERIE 300	
			Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno
DESIGNACIÓN	TIPO AISI		<b>304</b>	<b>316</b>
	COMPOSICIÓN QUÍMICA		<b>C ≤ 0.08%*</b> Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% <b>Cr 18% - 20%*</b> <b>Ni 8% - 10,5%*</b>	<b>C ≤ 0.08%*</b> Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% <b>Cr 16% - 18%*</b> <b>Ni 10% - 14%*</b> <b>Mo 2% - 2.5%*</b>
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD)	(g/cm <sup>3</sup> )	7.9	7.95 - 7.98
	MÓDULO DE ELASTICIDAD	(N/mm <sup>2</sup> )	193,000	193,000
	ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO
	CALOR ESPECÍFICO A 20C	(J/Kg K)	500	500
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100 C	(W/m K)	15 / 16	15 / 16
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C	(x 10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5
	INTERVALO DE FUSIÓN	(C)	13981454	13711398
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO		AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C	(μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130150 / 180330	130185 / -
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7088 / 1035	7085 / -
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rp (N/mm <sup>2</sup> )	210 / 230	205410 / -
	ELONGACIÓN (A <sub>5</sub> ) MIN	(%)	≥ 45	
	RESILIENCIA KCUL / KVL	(J/cm <sup>2</sup> )	160 / 180	160 / 180
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300 C/400 C/500 C (N/mm <sup>2</sup> )	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300 C/400 C/500 C (N/mm <sup>2</sup> )	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500 C/600 C/700 C/800 C	σ <sub>1/10<sup>5</sup>/t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL	(OC)	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120
	TEMPLADO		NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL	(C)	1200 / 925	1200 / 925
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE		925 / 840	925 / 840
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD		MUY BUENA	MUY BUENA
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112		45%	45%
	EMBUTICIÓN		MUY BUENA	BUENA

\* Son aceptables tolerancias de un 1%

## Anexo 2 Bosquejo para tanque de tratamientos



### Anexo 3 Tanque de tratamientos





### Anexo 4 Muestra de aceite vegetal usado para elaboración de biodiésel





Anexo 5 Artículo XX CNIES

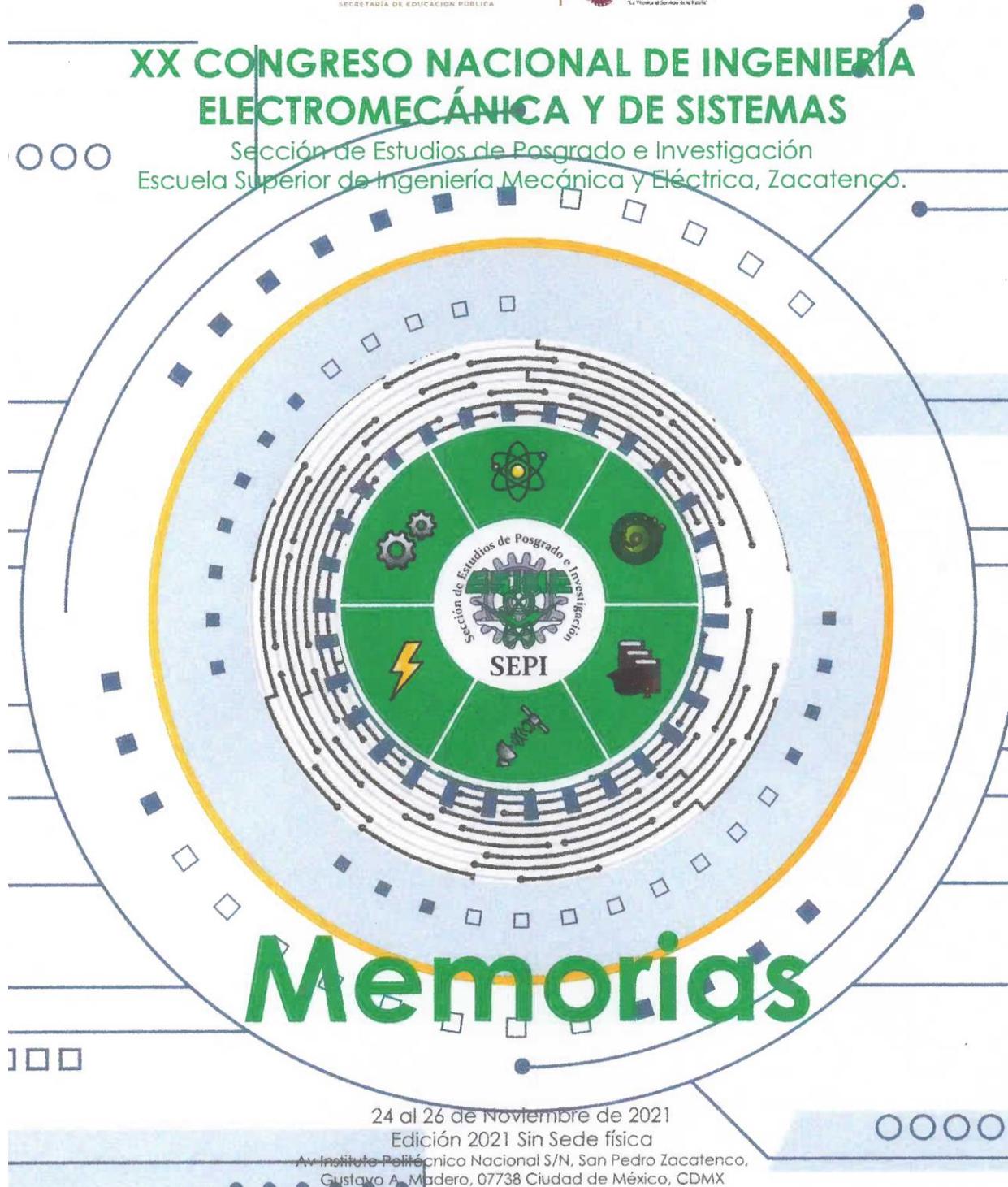
EDUCACIÓN  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional  
"La Unidad al Servicio de la Patria"

# XX CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA Y DE SISTEMAS

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zacatenco.



24 al 26 de Noviembre de 2021

Edición 2021 Sin Sede física

Av Instituto Politécnico Nacional S/N, San Pedro Zacatenco,  
Gustavo A. Madero, 07738 Ciudad de México, CDMX



**Comité Evaluador externo Mecánica (Diseño)**

1. Dr. José Antonio García Merino

Instituto de Física, Pontificia Universidad de Chile, Santiago de Chile

2. Dr. José Alfredo Leal Naranjo

School of Engineering, University of Liverpool, UK

3. Dr. Gerson Figueroa Flores

FORD de México, Departamento de Instrumentación

4.-Dr. Noe Lopez Perrusquia

Universidad Politécnica del Valle de México, Departamento de Materiales

**Comité Evaluador interno Mecánica (Diseño)**

1. Dr. Juan Alejandro Flores Campos

Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas

2. Dr. Carlos De la Cruz Alejo

Instituto Politécnico Nacional, ESIME unidad Culhuacán

3. M. en C. Armando Oropeza Osornio

Instituto Politécnico Nacional, ESIME unidad Ticomán

4. Dr. Juan Carlos Paredes Rojas

Instituto Politécnico Nacional, Centro Mexicano para la Producción más Limpia



24 de Noviembre	25 de Noviembre		26 de noviembre	
	ID	Moderador : Dr. Christopher René Torres San Miguel / Dr. Carlos De la cruz Alejo	ID	Moderador: Dr. Christopher René Torres San Miguel / M. en C. José Luis Rueda Arreguin
Inauguración 9:00 a 10:00	21	Estudio experimental del desgaste en acero H13 con recubrimiento de TiAlON 10:00 a 10:20	132	Estudio numérico de un tornillo intersomático para tratar hernias discales lumbares 10:00 a 10:20
	123	Investigación científica sobre tecnologías empleadas en quemadores de pellets, aplicando bibliometría especializada que permita plantear un prototipo a escala real 10:20 a 10:40	88	Simulación computacional del comportamiento estructural de una placa tipo DCP (Placa de Compresión Dinámica) en huesos largos 10:20 a 10:40
	74	Análisis de la influencia de los parámetros de entrada en un horno cubilote sobre la temperatura de fundición de hierro gris mediante lógica difusa 10:40 a 11:00	120	Validación de modelo de tejido cortical óseo bajo cargas dinámicas para estudio de fractura 10:40 a 11:00
	98	Estimación de la Vida de Fatiga Inicial de las MRPs Aplicando la Regla de Palmgren-Miner 11:00 a 11:20	121	Análisis numérico de tejido prostático bajo estado de relajación 11:00 a 11:20
	67	Comprobación experimental térmica del grafeno aplicando termografía. 11:20 a 11:40	65	Diseño de un sistema de retención infantil embebido en un automóvil sedán 11:20 a 11:40
	119	Metodología de producción de una mezcla de biodiésel B20 para su evaluación 11:40 a 12:00	122	Truck Chassis: Design and Analysis 11:40 a 12:00
	130	Diseño de un Sistema Automático de Embotellado y Sellado de Botellas para Jugos de 250 [mm] ^3 12:00 a 12:20		Clausura 12:00 a 13:00
	127	Diseño mecánico de un Sistema de Freno Regenerativo en un scooter eléctrico 12:20 a 12:40		
		<a href="https://teams.microsoft.com/join/19%3ameeting_ZGFZjRhNWU1MTNlNy00MTY4LW12N2UlYmZlMjM3NGNiMTIj%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%22194bf4d9-8097-4794-adf6-a5466ca28563%22%2c%22Oid%22%3a%22a3f6009e-2835-4adb-8d5e-2919e0cc2a62%22%7d">https://teams.microsoft.com/join/19%3ameeting_ZGFZjRhNWU1MTNlNy00MTY4LW12N2UlYmZlMjM3NGNiMTIj%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%22194bf4d9-8097-4794-adf6-a5466ca28563%22%2c%22Oid%22%3a%22a3f6009e-2835-4adb-8d5e-2919e0cc2a62%22%7d</a>		<a href="https://teams.microsoft.com/join/19%3ameeting_YWFhMWRlZGYlNlIzYS00NDM3LTIkZjclM2ZhNDQ5YjBhYWZl%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%22194bf4d9-8097-4794-adf6-a5466ca28563%22%2c%22Oid%22%3a%22a3f6009e-2835-4adb-8d5e-2919e0cc2a62%22%7d">https://teams.microsoft.com/join/19%3ameeting_YWFhMWRlZGYlNlIzYS00NDM3LTIkZjclM2ZhNDQ5YjBhYWZl%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%22194bf4d9-8097-4794-adf6-a5466ca28563%22%2c%22Oid%22%3a%22a3f6009e-2835-4adb-8d5e-2919e0cc2a62%22%7d</a>

# Elaboración de biodiésel para su estudio en mezcla B20

J. P. Rivera Ruiz, C. de la Cruz Alejo, F. E. Ortiz-Hernández

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Culhuacán. Ingeniería en Sistemas Automotrices, San Francisco Culhuacán, C.P. 04440 Ciudad de México, México.

juanpablolvz@gmail.com, cdelaacruz@ipn.mx, julian.gaspar73@gmail.com, fernandoelth@gmail.com

**Resumen**— Un alto consumo de combustibles fósiles, que ha contribuido principalmente a la contaminación ambiental, es una de las razones para que la industria automotriz desarrolle nuevas tecnologías para regular la contaminación vehicular; las diversas tecnologías van desde nuevas normas, motores más eficientes y mejores combustibles, entre otros. Esta investigación se llevó a cabo para obtener pruebas experimentales de la producción de biodiésel y analizar los principales parámetros energéticos de la combustión debido al biodiésel en motores que usan gasóleo. El biodiésel se produjo de un aceite vegetal usado o reciclado y posteriormente puesto a trabajar en un banco de pruebas para motores de combustión interna con combustible Diésel. Los resultados obtenidos muestran una mejora en el rendimiento de la potencia del motor con respecto a otras mezclas de biodiésel reportadas, adicionalmente mayores beneficios en cuanto a la reducción de humo negro y olor desagradable.

**Palabras Clave** — Biodiésel, reciclado, transesterificación, producción.

**Abstract**— Due to the high consumption of fossil fuels, it has mainly affected environmental pollution, for this reason, the automotive industry has developed new technologies for regular vehicular pollution; the various technologies range from new standards, more efficient engines, and better fuels, among others. This research was carried out to obtain experimental evidence of biodiesel production and to analyze the main energy parameters of combustion due to biodiesel in engines that use diesel. The biodiesel was produced from a used or recycled vegetable oil and later put to work on a test bed for internal combustion engines with diesel fuel. The results obtained showed an increase in engine power compared to other reported biodiesel blends, additionally greater benefits in terms of reducing black smoke and unpleasant odor.

**Keywords** — Biodiesel, recycling, transesterification, production.

## I. INTRODUCCIÓN

El origen del biodiésel se remonta a 1898, cuando en una Exposición Mundial de París Rudolf Diésel, presento su motor diésel alimentado por aceite de cacahuete, un biocombustible [1]. El biodiésel es un líquido de color amarillo-ámbar, con una viscosidad similar a la del diésel de petróleo, no es inflamable, no es explosivo, con un punto de inflamación superior

comparado con el diésel de petróleo, es biodegradable, disminuye significativamente las emisiones de gases tóxicos y de otras sustancias volátiles cuando se quema como combustible. Además, presenta mejor índice de Cetano y mejor eficiencia en la lubricación. Es un biocombustible líquido renovable producido a partir de los aceites vegetales (nuevos o reciclados) y grasas animales, siendo la colza, el girasol y la soja las materias primas más utilizadas en la actualidad para este fin. Las propiedades del biodiésel son prácticamente las mismas que las del gasóleo en cuanto a densidad y número de Cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el biodiésel puede mezclarse con el gasóleo para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan éstos convenientemente. [2] En comparación con el diésel de origen fósil, este reduce las emisiones que provocan los gases de efecto invernadero. De acuerdo con estudios realizados se dice que una tonelada de biodiésel evita la producción de 2.5 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) además de eliminar las emisiones de azufre (SO<sub>2</sub>), si se le utiliza solo. Además, el biocombustible es un producto renovable [3]. El biodiésel es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación. La técnica de transesterificación fue desarrollada en 1853 por los británicos E. Duffy y J. Patrick, con el principal objetivo de obtener glicerina y utilizarla como materia prima en la producción de jabón, varios años antes de que se hubiera inventado el motor diésel. Esta técnica fue utilizada primordialmente para producir glicerina a partir de aceites de cacahuete, marihuana y maíz; pero actualmente se utiliza para extraer tanto glicerina como biodiésel a partir de una gran cantidad de materias primas como son los aceites de girasol, algodón, linaza, soya, oliva, uva, coco, colza, ricino, piñón y algunas otras especies de plantas, la técnica ha sido aplicada con éxito también en grasas animales y aceite comestible residual [1]. El biodiésel puede mezclarse, y de acuerdo con esa mezcla puede utilizar diversas anotaciones como B100 para biodiésel puro, B5, B15, B20, B30, B50, y la numeración indicará el porcentaje de biodiésel en la mezcla [4].



# REFERENCIAS



## REFERENCIAS

- [1] Demirbas A. 2008. "Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. Energy Conversion and Management" 49: 2106–2116. [Fecha de consulta octubre de 2020]
- [2] E. Leclercq, A. Finiels, C. Moreau. "Transesterification of Rapeseed Oil in the Presence of Basic Zeolites and Related Solid Catalysts", C. J. Am. Oil Chem. Soc., 78, 1161-1169, 2001.
- [3] García-Díaz, Marilin, & Gandón-Hernández, José, & Maqueira-Tamayo, Yudisel (2013). "Estudio de la obtención de biodiésel a partir de aceite comestible usado". Tecnología Química, XXXIII (2),134-138. [Fecha de Consulta 15 de diciembre de 2020]. ISSN: 0041-8420.
- [4] D. Leung, X. Wu, M. K. H. Leung. 2010 "A review on biodiésel production using catalyzed transesterification", Appl. Energy, 87, 1083–1095.
- [5] MGC Comunicación Corporativa S.A. de C.V., Motor a diésel. 2020. "Origen del biodiésel". Se puede consultar en:<https://motoradiesel.com/dev/2011/08/origen-del-biodiesel/#:~:text=Durante%20los%20a%C3%B1os%20%20y,para%20su%20uso%20como%20combustibles%E2%80%9D>.
- [6] Balat M., H. Balat. 2008. "A critical review of bio-diesel as a vehicular fuel. Energy Conversion and Management" 49: 2727- 2741.
- [7] Ma F. y Hanna M. 1999. "Biodiésel Production: A Review. Bioresource Technology" 70: 1-15.



[8] Riba Ruiz, Jordi-Roger, Baquero Armans, Grau. 2010. “Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible”. 19.

[9] Díaz Fernández A. 2006. Biodiésel como sustituto del gas natural o diésel en calentadores a fuego directo. Tesis UNAM. México. 97 pp.

[10] Saydut A., M. Z. Duz, C. Kaya, A. Beycar Kafadar y C. Hamamci. 2008. Transesterified sesame (*Sesamum indicum* L.) seed oil as a biodiésel fuel. *Bioresource Technology* 99: 6656–6660.

[11] L.M Morales-Villamil. RENOVETEC. 2009. “Centrales termoeléctricas de Biomasa”. 84 – 89.

[12] Iturriaga de P. J. Renovetec. 2009. “Biodiésel” Para su consulta en:  
<http://www.plantasdebiomasa.net/la-ingenieria-del-mantenimiento/89-articulos.html>

[13] E. ESPINÓS, A. SAURAS Y E. ALONSO. Autofacil. 2019. “¿Qué es un motor diésel y cuánto contamina?”. para su consulta en:  
<https://www.autofacil.es/diesel/2018/07/20/motor-diesel-gasta-produce-nox/45366.html>

[14] Anderson R. BBC. 2015. “¿Cuál es el problema con los autos diésel?”. Para su consulta en:  
[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/09/150925\\_economia\\_autos\\_diesel\\_lf#:~:text=Siempre%20nos%20han%20dicho%20que,combustible%20debe%20significar%20menos%20emisiones.](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/09/150925_economia_autos_diesel_lf#:~:text=Siempre%20nos%20han%20dicho%20que,combustible%20debe%20significar%20menos%20emisiones.)



[15] Roberto P. González Valdés, Yanara Rodríguez López, Lucía Fernández. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2010. “Consumo de combustible de los motores de combustión interna”. Para su consulta en:

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542010000100001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542010000100001)

[16] Universidad de Sevilla, Departamento de física aplicada III. 2013. “Ciclo Diésel”.

Para su consulta en: [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo\\_Diesel](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Diesel)

[17] León C. Miriam. World of diesel. 2017. “Ciclo diésel”. Para su consulta en:

<https://sites.google.com/site/worlddiesel220897/ciclo-del-diesel>

[18] José A. Aranda, Francisco Valle, José D. Pascual. Motor.es. 2018. “El gasóleo o

gasoil: propiedades y tipos”. Para su consulta en: <https://www.motor.es/que-es/gasoil>

[19] Claudia Nayibe, Carrillo Santana, Sergio Israel Jorge, Papacristofilou Sedano.

CONUE. “Derivados del petróleo”. 2.

[20] PEMEX. Conoce más de nuestros productos. “Acerca de nuestros combustibles”.

Para su consulta en: <https://www.pemex.com/negocio/gasolineras/nuestros-productos/Paginas/Conoce-mas.aspx>

[21] Papacristofilou Sedano, Claudia Nayibe, Carrillo Santana, Sergio Israel Jorge.

CONUE. “El Petróleo”. 2,3. Para su consulta en:

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/241728/DieselFT.pdf>

[22] OPS, OMS. “Calidad del aire”. Para su consulta en:

<https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>



[23] OPS Argentina. “La población de América Latina y el Caribe vive hoy 45 años más que en 1900” Para su consulta en:

[https://www.paho.org/arg/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1034:la-poblacion-america-latina-caribe-vive-hoy-45-anos-mas-que-1900&Itemid=227#:~:text=Por%20otro%20lado%2C%20la%20regi%C3%B3n,Caribe%20resid%C3%ADan%20en%20zonas%20urbanas.](https://www.paho.org/arg/index.php?option=com_content&view=article&id=1034:la-poblacion-america-latina-caribe-vive-hoy-45-anos-mas-que-1900&Itemid=227#:~:text=Por%20otro%20lado%2C%20la%20regi%C3%B3n,Caribe%20resid%C3%ADan%20en%20zonas%20urbanas.)

[24] EOI. Blogs. “Los motores diésel y la contaminación”. Para su consulta en:

<https://www.eoi.es/blogs/redinnovacionEOI/2015/10/08/los-motores-diesel-y-la-contaminacion/>

[25] Flores Oscar, Fabela Manuel, Blake Carlos, Vázquez David, Hernández Ricardo. Instituto Mexicano del Transporte. NOTAS núm. 149. 2014. “Regulación de emisiones contaminantes de los motores de combustión interna”. Para su consulta en:

[https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=396&IdBoletin=149#:~:text=Los%20productos%20derivados%20de%20la,NOx\)%20y%20diverso%20material%20particulado.&text=Esta%20combinaci%C3%B3n%20da%20lugar%20a,una%20gran%20cantidad%20de%20calor.](https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=396&IdBoletin=149#:~:text=Los%20productos%20derivados%20de%20la,NOx)%20y%20diverso%20material%20particulado.&text=Esta%20combinaci%C3%B3n%20da%20lugar%20a,una%20gran%20cantidad%20de%20calor.)

[26] G. Castellar, E.R. Angulo, B.M. Cardozo, “Transesterification vegetable oils using Heterogeneous catalysts”, Prospect, Vol 12, N° 2, 90-104, 2014. [Fecha de Consulta 15 de noviembre de 2020].

[27] P. K. Sahoo, L. M. Das, “Process optimization for biodiésel production from Jatropha, Karanja and Polanga oils”, Fuel, 88, 1588–1594, 2009.

[28] P. D. Patil, S. Deng, “Optimization of biodiésel production from edible and nonedible vegetable oils”, Fuel, 88, 1302–1306, 2009.



## Bibliografía

### Textos

Van Gerpen J., B. Shanks, R. Pruszko, D. Clements y G. Knothe. 2004. Biodiésel Production Technology. National Renewable Energy Laboratory. EUA. 106.

Vicente G., M. Martínez, Concepción V. C., y J. Aracil. 2004. Integrated biodiésel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems. Bioresource Technology 92.

La puerta M., J. Rodríguez-Fernández y J.R. Agudelo. 2008. Diesel particulate emissions from used cooking oil biodiésel. Bioresource Technology 99.

Balat M., H. Balat. 2008. A critical review of bio-diesel as a vehicular fuel. Energy Conversion and Management 49.

Waddell R. 2008. The Biodiésel debate. Billboard 120.

“Protección ambiental.- Que establece los límites máximos permisibles de emisión de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no metano, hidrocarburos no metano más óxidos de nitrógeno, partículas y amoniaco, provenientes del escape de motores nuevos que utilizan diésel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos, así como del escape de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos equipados con este tipo de motores”.

NORMA Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2017. Diario de la Federación 19 de febrero de 2018.



“Protección ambiental. - Vehículos en circulación que usan diésel como combustible”.  
NORMA Oficial Mexicana NOM-045-SEMARNAT-2017. Diario Oficial de la Federación  
8 de febrero de 2018.

### **Cibernéticas**

<https://sites.google.com/site/worlddiesel220897/ciclo-del-diesel>

<https://www.pemex.com/negocio/gasolineras/nuestros-productos/Paginas/nuestros-combustibles.aspx>

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/241728/DieselFT.pdf>

<https://www.eoi.es/blogs/redinnovacionEOI/2015/10/08/los-motores-diesel-y-la-contaminacion/>

[https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es)

<https://www.autofacil.es/diesel/2018/07/20/motor-diesel-gasta-produce-nox/45366.html>

[http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo\\_Diesel](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Diesel)

<https://www.motor.es/que-es/gasoil>

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/241728/DieselFT.pdf>

<http://www.plantasdebiomasa.net/biodies.html>



<https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=396&IdBoletin=149>

<http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n2/v12n2a10.pdf>

<https://motoradiesel.com/dev/2011/08/origen-del-biodiésel/#:~:text=Su%20origen%20se%20remonta%20a,aceite%20de%20cacahuat e%20E%80%A6%20un%20biocombustible.&text=En%20comparaci%C3%B3n%20con%20el%20diesel,los%20gases%20de%20efecto%20invernadero.>

[https://www.unicach.mx/\\_/ambiental/descargar/Gaceta4/Biodiésel.pdf](https://www.unicach.mx/_/ambiental/descargar/Gaceta4/Biodiésel.pdf)

[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5513626&fecha=19/02/2018](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5513626&fecha=19/02/2018)

[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5515481&fecha=08/03/2018](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5515481&fecha=08/03/2018)

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4455/445543779005>

<http://www.revistauniversa.com/articulo/obtencion-debiodiésel-a-partir-de-aceite-residual-domestico/&usg>

<https://sites.google.com/site/biodiéselcasero/home/cmo-saber-si-est-bien-hecho-el-bd>