



**LOS LIBERTADORES**  
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

**REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL DESEMPEÑO  
Y LAS EMISIONES DE MOTORES DE COMBUSTIÓN  
INTERNA OPERANDO CON BIODIÉSEL O ACEITE DE  
JATROPHA**

RAFAEL GUILLERMO GAMBOA TORRES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C

2018

REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL DESEMPEÑO Y LAS EMISIONES  
DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA OPERANDO CON BIODIÉSEL O  
ACEITE DE JATROPHA

RAFAEL GUILLERMO GAMBOA TORRES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C

2018

REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL DESEMPEÑO Y LAS EMISIONES  
DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA OPERANDO CON BIODIÉSEL O  
ACEITE DE JATROPHA

RAFAEL GUILLERMO GAMBOA TORRES

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO  
MECÁNICO

DIRECTOR

MSc. ALEXANDER GARCIA MARIACA

ING. MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C

2018

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C. 21 / 03 / 2018

Las directivas de la Fundación Universitaria los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo docente no es responsable por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	9
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2 JUSTIFICACIÓN.....	13
3 OBJETIVOS.....	14
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
4 MARCO REFERENCIAL.....	15
4.1 MARCO CONCEPTUAL.....	15
4.1.1 ANTECEDENTES.....	15
4.2 MARCO TEORICO.....	16
4.2.1 PARÁMETROS Y DESEMPEÑO.....	20
5 METODOLOGÍA.....	21
6 ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.....	23
<b>6.1 DESEMPEÑO Y EMISIONES.....</b>	<b>23</b>
7 ANÁLISIS DE LA REVISIÓN.....	45
8 CONCLUSIONES.....	69
9 RECOMENDACIONES.....	69
10 Bibliografía.....	70

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1 - CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA JATROPHA CURCAS.....	18
TABLA 2 - PROPIEDADES DEL DIÉSEL, JATROPHA BIODIÉSEL Y ACEITE JATROPHA .....	21

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PLANTA JATROPHA CURCAS. ....	16
FIGURA 2- SEMILLAS DE JATROPHA CURCAS .....	17
FIGURA 3- PLANTA Y FRUTO JATROPHA CURCAS .....	19
FIGURA 4- APLICACIONES DE LA PLANTA DE JATROPHA CURCAS .....	19
FIGURA 5- BÚSQUEDA Y RECOPIACIÓN DE BIBLIOGRAFÍA.....	22
FIGURA 6- CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE D/JO.....	49
FIGURA 7- EFICIENCIA TÉRMICA FRENADO D/JO.....	50
FIGURA 8- TEMPERATURA GASES DE ESCAPE D/JO.....	52
FIGURA 9- CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE D/BJ. ....	53
FIGURA 10- EFICIENCIA TÉRMICA FRENADO D/BJ .....	54
FIGURA 11- TEMPERATURA GASES DE ESCAPE D/BJ.....	56
FIGURA 12 - CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE D/JO/BJ.....	57
FIGURA 13- CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE 75D/25JO/25BJ.58	
FIGURA 14- CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE 50D/50JO/50BJ.59	
FIGURA 15 - CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE 25D/75JO/75BJ 60	
FIGURA 16 - EFICIENCIA TÉRMICA FRENADO D/JO/BJ.....	61
FIGURA 17 - EFICIENCIA TÉRMICA FRENADO 75D/25JO/25BJ....-.....	62
FIGURA 18 - EFICIENCIA TÉRMICA FRENADO 50D/50JO/50BJ .....	63
FIGURA 19 - EFICIENCIA TÉRMICA FRENADO 25D/75JO/75BJ .....	64
FIGURA 20 - TEMPERATURA GASES DE ESCAPE D/JO/BJ.....	65
FIGURA 21 - TEMPERATURA GASES DE ESCAPE 75D/25JO/25BJ .....	66
FIGURA 22 - TEMPERATURA GASES DE ESCAPE 50D/50JO/50BJ .....	67
FIGURA 23 - TEMPERATURA GASES DE ESCAPE 25D/75JO/75BJ...-.....	68
FIGURA 24 - EMISIONES CO <sub>2</sub> .....	69
FIGURA 25 - EMISIONES NO .....	70

FIGURA 26 - EMISIONES CO .....	71
FIGURA 27 - EMISIONES HC .....	72

## GLOSARIO

AJ	Aceite de Jatropha Curcas L.
BJ	Biodiésel de Jatropha Curcas L.
BMEP	Presión media efectiva al freno
BP	Potencia al freno
BSCO	Emisión específica al freno de monóxido de carbono
BSCO <sub>2</sub>	Emisión específica al freno de dióxido de carbono
BSFC	Consumo específico de combustible al freno
BSHC	Emisión específica al freno de Hidrocarburos sin quemar
BSMP	Emisión específica al freno de Material particulado
BSNO <sub>x</sub>	Emisión específica al freno de óxidos de nitrógeno
CAD	Grados de ángulo del cigüeñal
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono
EC	encendido por compresión
EGR	Recirculación de gases de escape
HC	Hidrocarburos sin quemar
IMEP	Presión media efectiva indicada
JCL	Jatropha curcas L.
JO	Aceite Jatropha
LEV	Bajas emisiones en vehículos
LHV	Poder calorífico inferior
MBJ	Mezclas de biocombustibles de Jatropha Curcas L.
MCI	Motor de combustión interna
MP	Material particulado
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NO <sub>x</sub>	óxidos de nitrógeno
PMS	Punto muerto superior
rpm	Velocidad angular
SULEV	Súper ultra bajas de emisiones en vehículos
THC	Hidrocarburos totales sin quemar

## RESUMEN

El presente trabajo de grado da a conocer una investigación documental sobre la utilización de la *Jatropha curcas* L. en motores Diésel sin modificaciones. El trabajo empieza por la justificación la cual es capaz de resolver el proyecto de investigación el cual está enfocado en aportar ideas, métodos, montajes experimentales y estrategias para el análisis de los motores de combustión interna que puedan utilizar biocombustibles a base de *Jatropha curcas* L, para así complementar y adquirir nuevos conocimientos, aclarar estudios hechos que pueden ser contradictorios y se ahonde más en el tema mencionado. Luego se muestra una metodología la cual ayuda de manera significativa y clara a la realización de las investigaciones documentales respecto al tema con un objetivo claro de efectuar un completo análisis de las revisiones realizadas y un análisis detallado de los resultados expuestos en la literatura. Los resultados encontrados por diferentes autores muestran que la eficiencia térmica al freno siempre presenta resultados mayores en motores funcionando con diésel puro en comparación a los mismos pero funcionando con una mezcla de biodiésel. Por último, se evidencia que las emisiones (excepto el NO<sub>x</sub>) disminuyen considerablemente utilizando biodiésel beneficiando el medio ambiente y los recursos energéticos que este posee.

Palabras Clave: *Jatropha curcas* L, biodiésel, emisiones, biocombustibles, motores.

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de las necesidades energéticas del mundo se suministran a través de combustibles fósiles como el petróleo, carbón, gas natural y gas licuado de petróleo; las cuales son fuentes finitas de energía y fuentes alternas como hidroelectricidad, energía nuclear, energía solar, energía eólica, entre otras [1]. Los combustibles diésel tienen una función esencial en la economía industrial del desarrollo de países y se utilizan para el transporte de productos industriales y agrícolas, operación de maquinaria industrial, maquinaria agrícola y transporte urbano [2]. El crecimiento económico siempre va acompañado de un crecimiento acorde al aumento del transporte urbano. La alta demanda de energía en el mundo industrializado, así como en el sector doméstico y la contaminación son problemas causados por el uso desmesurado de combustibles fósiles que hacen cada vez más necesario desarrollar fuentes de energía renovables de duración ilimitada y menor impacto ambiental.

Esta situación ha estimulado el interés reciente en utilizar combustibles alternativos en lugar de combustibles derivados del petróleo. Desde el punto de vista de la protección del medio ambiente mundial y las preocupaciones por seguridad energética a largo plazo, se vuelve necesario desarrollar combustibles alternativos con propiedades semejantes a las basadas en los combustibles a base de petróleo. A diferencia del resto del mundo, la demanda de la India de combustibles diésel es aproximadamente seis veces más que la gasolina, de ahí que busque una alternativa al diésel mineral es una elección natural [3]. La preocupación constante por el cambio climático y el aumento del precio del petróleo han llevado a la búsqueda de combustibles alternativos. Aceites no comestibles son combustibles prometedores para aplicaciones industriales y de transporte. Los aceites vegetales tienen propiedades físico químicas comparables al Diésel y se pueden usar para hacer funcionar motores CI con pocas o ninguna modificación [4].

Un combustible alternativo debe ser técnicamente factible, económicamente competitivo, ambientalmente aceptable y fácilmente disponible [5]. Una posible alternativa al combustible diésel fósil es el uso de aceites de origen vegetal como aceites vegetales y semillas oleaginosas de árboles [6]. Este combustible alternativo se puede denominar como biodiésel ya que es biodegradable y el uso de este permitirá buscar un equilibrio entre agricultura, desarrollo económico y medio ambiente [7].

De los diversos combustibles alternativos bajo consideración, el biodiésel, los derivados de aceites vegetales, son los combustibles alternativos más prometedores debido a las siguientes razones:

1. El biodiésel se puede utilizar en el motor existente sin ninguna modificación [9].
2. El biodiésel está hecho completamente de fuentes vegetales; no contiene azufre, hidrocarburos aromáticos, metales o residuos de petróleo crudo [9].
3. El biodiésel es un combustible oxigenado; emisiones de carbono, el monóxido y el hollín tienden a reducirse [8].
4. A diferencia de los combustibles fósiles, el uso de biodiésel no contribuye a calentamiento global, debido a que  $\text{CO}_2$  es absorbido por las plantas cultivadas para producción de aceite vegetal / biodiésel. Por lo tanto, el equilibrio se mantiene [8].
5. El uso de biodiésel puede extender la vida de los motores diésel porque es más lubricante que el combustible diésel de petróleo [9].
6. El biodiésel se produce a partir de aceites / animales vegetales renovables grasas y, por tanto, mejora la seguridad del combustible o la energía e independencia económica [9].

Se ha llevado a cabo un gran trabajo de investigación para usar aceite vegetal tanto en su forma ordenada como en su forma modificada. Los estudios tienen demostrado que el uso de aceites vegetales en forma ordenada es posible, pero

no es preferible. La alta viscosidad de los aceites vegetales y la baja la volatilidad afecta la atomización y el patrón de pulverización del combustible, lo que lleva a combustión incompleta y depósitos de carbón severos, asfixia del inyector y anillo de pistón pegado [10]. Los métodos usados para reducir la viscosidad son:

- Mezcla con Diésel
- Emulsificación
- Pirólisis
- Transesterificación

Entre estos, la transesterificación es comúnmente utilizada como un proceso químico - industrial para producir combustibles limpios y respetuosos con el medio ambiente [11]. Sin embargo, esto agrega un costo adicional de procesamiento, debido a que la reacción de la transesterificación involucra insumos químicos y procesos de calor [12]. Debido a todos estos beneficios este trabajo realiza un análisis del rendimiento y emisiones en motores Diésel sin modificación para así evaluar los beneficios de utilizar este tipo de combustible alternativo.

## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el incremento en el precio del barril del petróleo y un consumo de 98.51 millones de barriles diarios (mbd) de este hidrocarburo [13], los daños ambientales que su explotación y uso provoca al planeta se multiplican, aumentando así la importancia y urgencia en buscar una alternativa a la dependencia energética de los combustibles fósiles.

Se han encontrado cultivos que responden como excelentes alternativas para la generación de biocombustibles; uno de ellos es la *Jatropha curcas* L. (Piñón), un pequeño arbusto nativo de Centroamérica, que además de colaborar a la diversificación en los recursos de energía renovable, es una opción viable para asegurar en buena parte la disponibilidad de energía ayudando a disminuir considerablemente la utilización de combustibles fósiles [14].

Por esto, es importante el uso de recursos alternos, que puedan suplir las necesidades energéticas que aumentan día a día, utilizando nuevas fuentes naturales como la planta *Jatropha curcas*, contando así con una mayor disponibilidad de materias primas y produciendo los requerimientos necesarios de energía [15]. Por esta falta de conocimiento y de investigaciones acerca de este tema a través de este proyecto y de su autor, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

*¿Cuáles son las condiciones actuales y los desafíos investigativos del desempeño y emisiones de los motores de combustión interna que operan con mezcla de aceites y biodiésel de *Jatropha curcas* L?*

## 2 JUSTIFICACIÓN

El acuerdo de París no es un tratado fácil de cumplir, ya que establece rangos para la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a través de la mitigación, adaptación y resiliencia de los ecosistemas a efectos del Calentamiento Global, que en países tercermundistas a diferencia de las potencias mundiales o líderes en factores económicos y ambientales, no cuentan con la tecnología suficiente o son reacios a cumplir a cabalidad las normas impuestas por este [16].

El proyecto de investigación está enfocado en aportar ideas, métodos, montajes experimentales y estrategias para el análisis de los motores de combustión interna que puedan utilizar biocombustibles a base de *Jatropha curcas* L, para que así se llenen los vacíos de conocimiento, se aclaren los estudios hechos que pueden ser contradictorios y se ahonde más en el tema mencionado. Con este proyecto se busca establecer el desempeño y las emisiones de motores de combustión interna operando con biodiésel o aceite de *Jatropha curcas* L, planta caracterizada por:

- Contar con bajos requerimientos en cuanto terrenos agrícolas fértiles [17].
- Requerir un aspecto hídrico reducido (1-2 % H<sub>2</sub>O) [17].
- No ser comestible [17].
- Tener una huella ecológica menor a la de los cultivos habituales [17].
- No requerir de conocimientos agrícolas especializados [17].

Puesto que las ventajas son muchas, se está trabajando para disminuir los inconvenientes que pueda implicar el proceso y cultivos como los de *Jatropha* pueden suponer una alternativa económica y eficiente para la producción de biodiésel. Esta investigación permitirá también determinar el rendimiento de los motores que pueden funcionar con biodiésel, las emisiones de los mismos, cuáles son los estudios más importantes y cuales han sido los resultados de estos estudios.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar una revisión documental del uso de biocombustibles con *Jatropha Curcas* en motores de combustión interna.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar, categorizar y clasificar la información proveniente de los artículos investigados referente a la *Jatropha Curcas*.
- Analizar el impacto que tiene el uso de biocombustibles en motores Diésel a partir de la *Jatropha curcas*.
- Evaluar y documentar la información de biocombustibles a partir de la *Jatropha Curcas* en motores Diésel recopilada.

## 4 MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO CONCEPTUAL

#### 4.1.1 ANTECEDENTES

Debido a la urgente búsqueda de soluciones energéticas que disminuyan la contaminación ambiental se han desarrollado todo tipo de estudios que pudieran llegar a una solución viable y acorde a las circunstancias. Una de las respuestas que se han encontrado a esta problemática es el uso de aceites vegetales como combustible para motores de combustión, en 1895 el Dr. Rudolf Diésel desarrolló esta idea aplicándola a un motor que él mismo estaba adelantando <sup>1</sup>. A partir de ahí han sido muchas las intervenciones de ingenieros y científicos quienes preocupados por esta situación han sacado sus propias conclusiones, como en el caso del Ing. Diésel quien utilizaría aceite de maní como combustible, señalando que “el motor Diésel puede funcionar con aceites vegetales, esto podría ayudar considerablemente al desarrollo de la agricultura de los países que lo usen así” [18].

Sabiendo esto, aumentó el deseo por perfeccionar el uso de motores Diésel utilizando destilados medios de petróleo ya que estos tenían mucha menor viscosidad que los aceites vegetales, siendo este uno de los problemas más importantes encontrados en el proceso, aunque fueron muchos los estudios realizados no todos dieron con los resultados esperados, como en el caso de Francia quien no logró los objetivos planteados en el desarrollo de biodiésel a partir de piñón (*Jatropha curcas*), sin embargo en Cabo Verde y en Mali decidieron responder a esta inconsistencia logrando sus propios y excelentes resultados con el mismo piñón [19].

---

<sup>1</sup> SALINAS, Edmar. Los biocombustibles. México. 2009. En línea <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=32512739009>

Finalmente, la idea del Ing. Diésel de utilizar aceites vegetales en sus motores cobra fuerza a partir de finales del siglo XX cambiando de nombre a Biodiésel, preocupándose no por el rendimiento del combustible sino por aspectos ambientales que a esa hora afectaban al mundo como lo son el cambio climático y la utilización de combustibles fósiles [20].

Con la rápida subida de los precios del petróleo a partir de 2004 y la disminución de este, se generó el boom de los biocombustibles líquidos a nivel mundial creando conciencia de que los combustibles fósiles se acabarán y que la implementación y uso de biocombustibles es la mejor manera de preservar el planeta y seguir con el desarrollo de la humanidad [21].

## 4.2 MARCO TEÓRICO

### **Jatropha curcas**

*Jatropha* es un género de aproximadamente 175 suculentas, arbustos y árboles (algunos son de hojas caducas, como *Jatropha curcas*), de la familia de las Euforbiáceas. La planta *Jatropha curcas*, pertenece a la familia Euphorbiaceae originaria de México y América Central [21].



Figura 1. Planta *Jatropha curcas*  
Fuente. <http://argentinainvestiga.edu.ar>

Tabla 1. Clasificación científica *Jatropha curcas*

CLASIFICACION CIENTIFICA	
Reino	Plantae
Division	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Malpighiales
Familia	Euphorbiaceae
Subfamilia	Crotonoideae
Tribu	Jatropheae
Genero	Jatropha L
ESPECIES	
Aprox.	175

Fuente. <http://argentinainvestiga.edu.ar>

El árbol de JCL es de corteza grisácea que exuda látex blanquecino no muy espeso cuando su tallo o ramas son cortadas. Normalmente crece a una altura entre tres y cinco metros, y en ocasiones su altura puede llegar a los ocho o diez metros. Sus hojas son grandes, alternadas de color verde a verde pálido. En sus flores, el peciolo mide entre seis y veintitrés milímetros. La inflorescencia se forma en la axila de las hojas. Los frutos se producen en invierno cuando el árbol queda sin hojas. Las semillas maduran cuando su caparazón cambia de color verde a amarillo, dos o tres meses después de la floración. La floración ocurre en la época de lluvia, y la muda de hojas en la estación seca. Las flores son polinizadas por insectos, especialmente abejas del tipo europeo [22].



Figura 2. Semillas de *Jatropha curcas*

Fuente. <http://www.agricultura-ecologica.com/jatropha-curcas-una-planta-muy-ecologica/>

### El árbol *Jatropha*

La planta *Jatropha* puede desarrollarse en suelos pobres y en regiones con alta o baja precipitación pluvial, pero los mejores rendimientos se obtienen en suelos

arenosos de fertilidad media a escasa, no adecuados para cultivo de alimentos en zonas tropicales y subtropicales del mundo [23].

### **Variedades**

De acuerdo con investigación y colección en herbarios de México se han encontrado dos especies adicionales de *Jatropha* además de *Jatropha curcas* y son [24]:

1. *Jatropha pereziae* con presencia en la región del río Balsas en el Estado de Michoacán [25].
2. *Jatropha dehganii* con presencia en lomeríos del río Armería en el Estado de Jalisco [26].

En el Gran Chaco de Paraguay y Argentina, donde existe una variedad nativa (*Jatropha matacensis*) [27], estudios ya mostraron la aptitud de la planta para la explotación comercial y algún proyecto de plantación a gran escala está en estudio de planificación [28].

### **Toxicidad**

Investigaciones en ratas y peces establecieron que la harina de semillas de la planta *Jatropha* en estado salvaje originaria de México no mostró toxicidad como alimento. El contenido de proteína, energía, lípidos y aminoácidos en *Jatropha curcas* fue similar al de variedades tóxicas de *Jatropha*. La harina mostró niveles significativos de lecitina, fitatos e inhibidor de la tripsina similares a los de la variedad tóxica [29].

La ausencia de ésteres de forbol (líquido incoloro de olor penetrante y sofocante) en las semillas de *Jatropha curcas* originaria de México sugiere que uno de los principios de toxicidad en las variedades tóxicas de *Jatropha* puede estar relacionado con la presencia de ésteres de forbol [30].

El fitato en las harinas constituye el mayor componente anti-nutritivo que no se destruye con el calor y que puede tener efectos adversos, mientras que otros

factores anti-nutricionales como los inhibidores de la tripsina y lecitinas pueden ser destruidos mediante calor [31].

## Floración

La floración en *Jatropha* puede presentarse entre los 12 y 24 meses en condiciones muy favorables, pero normalmente toma más tiempo. La producción de semilla se estabiliza a partir del 4° y 5° año. El desarrollo del fruto toma alrededor de 90 días desde la floración hasta la madurez de la semilla. Puede florear nuevamente después de producir frutos cuando las condiciones permanecen favorables por otros 90 días, pero después de esta segunda floración, la planta no florea nuevamente, sino que se desarrolla vegetativamente [32].



Figura 3. Planta y fruto *Jatropha curcas*.

Fuente. <https://panoramaagrario.com/2017/12/estudiante-experimenta-plantas-generar-biodiésel-en-jalisco/>

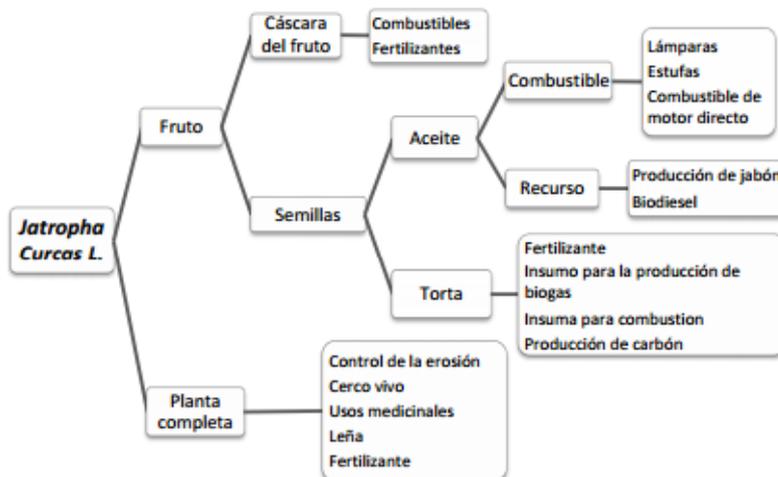


Figura 4. Aplicaciones de la planta de *Jatropha curcas*

Fuente. *Jatropha handbook* 2009.

#### 4.2.1 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO

Los combustibles de estudio son Diésel mineral, biodiésel Jatropha y aceite de Jatropha, los valores de las principales propiedades físicas, químicas y térmicas se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2. Propiedades del Diésel, Jatropha biodiésel y Aceite Jatropha.

SI No	PROPIEDADES	DIÉSEL	BIODIÉSEL JATROPHA	ACEITE JATROPHA
1	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	840+/-1732	879	917+/-1
2	Viscosidad cinemática a 40 °C (cSt)	2,44+/-0,27	4,84	35,98+/-1,3
3	Punto de fluidez °C	6+/-1	3+/-1	4+/-1
4	Punto de inflamabilidad °C	71+/-3	191	229+/-4
5	Residuo carbono (%w/w)	0,1+/-0,0	0,01	0,8+/-0,1
6	Contenido de cenizas (%w/w)	0,01+/-0,0	0,013	0,03+/-0,0
7	Poder calorífico (MJ/kg)	45,343	38,5	39,071
8	Azufre (%w/w)	0,25	<0,001	0
9	Cetano No.	48-56	51-52	23-41
10	Carbon (%w/w)	86,83	77,1	76,11
11	Hidrogeno (%w/w)	1272	11,81	10,52
12	Oxigeno (%w/w)	1,19	10,97	11,06

Fuente. Propiedades del Diésel, Jatropha biodiésel y Aceite Jatropha [en línea] <http://www.scielo.br>

Las propiedades del biodiésel son muy similares a las del combustible fósil (Diésel), y por lo tanto puede ser utilizado en cualquier motor Diésel sin adaptaciones. El biodiésel limpio, bien producido y refinado es al menos tan buen combustible de motor como el Diésel. Incluso da una mejor ignición y combustión y emite menos componentes nocivos como el humo y azufre. Las desventajas son su contenido energético ligeramente inferior, dando lugar a un aumento en el consumo de combustible de cerca de 2-10 %, y el hecho de que puede funcionar como un solvente. El biodiésel tiende a limpiar el sistema de combustible, removiendo la suciedad que se acumuló durante el uso anterior de Diésel, por lo que puede causar un bloqueo del filtro de combustible poco después del cambio de uso de combustible. Además, su naturaleza disolvente puede afectar la integridad de las líneas de combustible y juntas del sistema de combustible, de acuerdo con su material [33].

## 5 METODOLOGÍA

Para la elaboración de este Proyecto de Grado, se desarrolló la siguiente metodología cumpliendo con todos los objetivos específicos descritos anteriormente:

- Seleccionar, categorizar y clasificar la información proveniente de los artículos investigados referente a la *Jatropha Curcas*.

Se recopilaron artículos científicos referentes a la utilización de biocombustibles a base de la planta *Jatropha curcas* en motores diésel convencionales. Estos artículos científicos se buscaron en bases de datos de la universidad e internet, posteriormente se procedió a realizar un filtro teniendo como criterio que los artículos se enfocaran en desempeño y emisiones de motores de combustión interna de encendido por compresión. Finalmente se elaborando una base de datos en Excel, donde se sustrajo la información más específica de cada artículo (nombre del artículo, resumen, objetivo, el qué, el cómo, ficha técnica del motor utilizado en el experimento, resultados, conclusiones, bibliografía).

- Analizar el impacto que tiene el uso de biocombustibles en motores Diésel a partir de la *Jatropha curcas*.

Se analizó cada artículo de la base de datos y se realizó un resumen muy detallado, donde se mostraron los resultados más relevantes expuestos en cada uno, analizando el impacto que tiene el uso de los biocombustibles en motores diésel a partir de la *Jatropha curcas*, sus emisiones y su desempeño.

- Evaluar y documentar la información de biocombustibles a partir de la *Jatropha Curcas* en motores Diésel recopilada.

Se obtuvieron resultados concluyentes donde se expone con figuras detallas los análisis de consumo específico de combustible, eficiencia térmica al freno, temperatura de gases de escape, emisiones de CO<sub>2</sub>, emisiones de CO, emisiones de HC y emisiones de NO<sub>x</sub>. Finalmente, con los resultados se procedió a realizar el documento con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.



Figura 5. Búsqueda y recopilación de bibliografía  
Fuente. elaboración

## 6 ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

El análisis bibliográfico mostrado a continuación incluye la descripción de la prueba experimental junto con el MCI y los principales resultados obtenidos de las variables de desempeño y emisiones de los motores operando con diferentes mezclas de biodiésel y aceite de *Jatropha curcas*.

### 6.1 DESEMPEÑO Y EMISIONES

Para este análisis bibliográfico se presentó esta gran categoría que abarca la investigación hecha tanto al desempeño como las emisiones de los motores Diésel que funcionan con biocombustibles. Donde se pueden encontrar las siguientes revisiones, las cuales son análisis e investigaciones orientadas a motores sin modificaciones técnicas que puedan funcionar con mezclas de biodiésel y aceite de *Jatropha curcas*:

Cabrera et al. [34] Caracterizan el desempeño de un motor Diésel vertical de 4 tiempos enfriado por agua con inyección indirecta de un cilindro, el motor opero bajo diferentes regímenes de carga, empleando mezclas de *Jatropha* y combustible Diésel. Se observó una disminución del torque en hasta un 5.8% y un aumento del consumo específico de combustible al emplear un mayor porcentaje de aceite de *Jatropha* en las mezclas.

Kumar et al. [35] Compararon diferentes métodos de uso de metanol para mejorar el rendimiento del aceite vegetal en un motor Diésel, como la mezcla, la transesterificación y la dosificación de combustible mientras se utilizaba el aceite de *Jatropha* como combustible principal. Se usó un motor Diésel de inyección directa de un solo cilindro. Las pruebas se realizaron a una velocidad constante de 1500 rpm en diferentes potencias de salida. Se descubrió que la cantidad de alcohol que se puede mezclar con aceite vegetal está limitada al 30% (en volumen de la mezcla) y, por lo tanto, se utilizó la misma cantidad de metanol

para preparar la mezcla. El tiempo de retardo de ignición es más cercano al Diésel con el éster ya que el índice de cetano es más alto. El uso de éster metílico de aceite de *Jatropha* y la operación de doble combustible con inducción de metanol puede dar un rendimiento superior y más moderadas que la mezcla.

Datta et al. [36] Investigaron experimentalmente las variaciones de combustible y el funcionamiento del motor. El experimento se llevó a cabo en un motor Diésel de inyección directa, de doble cilindro y a 1500 rpm constantes. El par y las tasas de consumo de combustible se midieron para diferentes cargas y mezclas de combustible. Se encuentra que BSFC disminuye con el aumento de las cargas de 1 a 5.5 kW y tiende a disminuir con más aumento en la carga. Sin embargo, la tasa de disminución es más al principio. Las mezclas y el biodiésel de *Jatropha* siguen una tendencia similar a la del Diésel. Sin embargo, se encuentra que el BSFC en el caso de las mezclas es más alto que el del Diésel en todo el rango de carga. Esto se debe principalmente a los efectos combinados de la densidad de combustible, la viscosidad y el valor de calentamiento de las mezclas. Las eficiencias máximas del motor se encuentran en 21.2 % y 29.6 % con biodiésel puro y Diésel puro respectivamente.

Liaquat et al. [37] Elaboraron un estudio experimental para analizar el rendimiento y las emisiones características de un motor Diésel utilizando diferentes mezclas de JCL con diésel. Los resultados muestran que el par motor y la potencia de frenado para los combustibles de mezcla disminuyeron en comparación con el combustible diésel. También se observa que, a algunas velocidades de motor más bajas, los valores de BSFC para los combustibles de mezcla se encontraron inferiores a los de DF debido a la combustión mejorada debido al contenido inherente de oxígeno. En comparación con el combustible diésel, los combustibles de mezcla produjeron niveles de sonido más bajos debido a muchos factores, incluido el aumento del contenido de oxígeno, la reducción del retardo de encendido, una mayor viscosidad, lubricidad, etc. Se puede ver que la potencia del freno aumenta al aumentar la velocidad del motor hasta 2200 rpm y luego la potencia comienza a disminuir debido al efecto de una

mayor fuerza de fricción. En todo el rango de velocidad, el aumento promedio en BSFC comparado con DF se encuentra como 0.54 % para JB5, 1.0 % para JB10.

Sagar et al. [38] Investigaron el efecto de la recirculación de gases de escape con *Jatropha methyl éster* y Diésel en la reducción de emisiones de NOx y también investigaron el rendimiento y las características de emisión de un motor Diésel con biodiésel como combustible con y sin EGR en diferentes porcentajes como 5 % de EGR, 10 % de EGR, en las mismas condiciones de carga. El motor utilizado para este estudio fue un motor Diésel mono cilíndrico, de cuatro tiempos, refrigerado por aire y de inyección directa, acoplado al dinamómetro de corrientes inducidas con un sistema de control. La eficiencia térmica de los frenos se incrementa a cargas más bajas usando EGR debido a la nueva quema de hidrocarburos que estaban presentes en los gases recirculados, pero a mayores cargas con un 10 % de EGR, Las eficiencias de la propiedad han bajado un poco debido a las mayores concentraciones de gases de escape en la cámara de combustión. Con cargas más bajas, el consumo específico de combustible es menor para el Diésel en comparación con el biodiésel con y sin EGR. El uso de un 20 % en volumen de biodiésel en diésel no afecta en mayor medida el rendimiento ni la emisión medida, a excepción de las emisiones de NOx. las emisiones de NOx se reducen en un 30 % en comparación con las del diésel que usa un 10 % de EGR porque la EGR reduce la disponibilidad de oxígeno y disminuye la temperatura de la llama.

Prasad et al. [39] Estudian la extracción y estimación de ésteres de forbol tóxicos en aceite, torta y biodiésel *J. curcas* y el uso de biodiésel en motores Diésel. Estudio de rendimiento y emisión de mezclas de biodiésel como JB2 (2 % de *Jatropha* biodiésel + 98 % convencional Diésel), JB5 (5 % de *Jatropha* biodiésel + 95 % convencional Diésel) y JB10 (10 % de *Jatropha* biodiésel + 90 % convencional Diésel) en comparación con el Diésel convencional en un motor Diésel mono cilíndrico a velocidad constante (1500 rpm). Todas las mezclas de prueba de biodiésel de *Jatropha* exhiben BSFC marginalmente alto en comparación con el Diésel base. Esto se atribuye a un bajo valor de

calentamiento y, por lo tanto, se requiere más cantidad de combustible para la misma cantidad de potencia de salida. Hubo un ligero aumento en la tasa aparente de consumo de combustible observada al operar un motor con mayor carga. La eficiencia térmica marginal del freno inferior se puede atribuir al hecho de que dado que el valor calorífico del *Jatropha* biodiésel (38.00 MJ / kg) es menor que el del Diésel (45 MJ / kg).

Manieniyan et al. [40] estudiaron las características de rendimiento, combustión y emisiones. Este experimento se lleva a cabo en un motor Diésel DI refrigerado por agua de un solo cilindro con diferentes tiempos de inyección y diferentes presiones de inyección funcionando a una velocidad constante de 1500 rpm. La mayor viscosidad y la menor volatilidad conducen a una mala formación de la mezcla y, por lo tanto, a una menor eficiencia térmica. El motor desarrolla la tasa máxima de aumento de presión y la tasa máxima de emisiones de calor para el Diésel en comparación con las mezclas de biodiésel. El consumo de combustible aumenta con el aumento en el porcentaje de mezclas de biodiésel debido a un menor poder calorífico. La eficiencia térmica del freno para el Diésel es 32.71 % y B20 es 32.22 %.

Maina et al. [41] investigaron la producción, el análisis y la caracterización del biodiésel del aceite de *Jatropha curcas*, También se realizaron las características de combustión a corto plazo, el rendimiento del motor y el análisis de emisiones de este biodiésel para evaluar su comportamiento en un motor. Las pruebas del motor se llevaron a cabo en un Audi, 1.9 litros, inyección directa turboalimentada, motor de encendido por compresión a diferentes cargas. Las características de combustión fueron ligeramente más altas en comparación con el Diésel fósil. Aunque el biodiésel tenía un consumo de combustible específico de freno ligeramente mayor en comparación con el Diésel fósil, su comportamiento de emisión fue significativamente mejor, a 100 % de carga el Diésel tuvo 0.2 SFC mientras que el biodiésel de *Jatropha* tuvo 0.32 SFC a 100 % de carga. Por lo tanto, este estudio concluyó que el biodiésel derivado de *Jatropha curcas* de origen keniano puede utilizarse como un sustituto seguro del Diésel mineral.

Kawade et al. [42] Redujeron la viscosidad del biodiésel de Jatropha con mezcla de combustible Diésel haciendo un combustible adecuado para su uso en un motor de CI para así evaluar su rendimiento con el combustible blending modificado con combustible Diésel. La prueba de rendimiento se lleva a cabo en una plataforma de prueba computarizada de un solo motor Diésel, cuatro tiempos, inyección directa y prueba de motor Diésel refrigerado por agua. A partir de los resultados de la prueba, se observó que inicialmente con una carga creciente, las eficiencias térmicas de los frenos de las mezclas de Jatropha y Diésel se incrementaron y se obtuvieron las máximas eficiencias térmicas y luego tendieron a disminuir con un aumento adicional de la carga, pero las eficiencias térmicas de los frenos de las mezclas y el aceite de Jatropha curcas fueron menores que con el combustible Diésel en toda la gama. Los valores máximos de eficiencias térmicas para el 20 % Mezclan Diésel de biodiésel Jatropha al 60% de carga. Se observó que los consumos específicos de combustible del aceite, así como las mezclas se redujeron con el aumento de la carga. También se encontró que el consumo de combustible aumenta con una mayor proporción de biodiésel Jatropha en la mezcla. Las eficiencias térmicas de los frenos aceptables y SFC se lograron con las mezclas que contienen hasta 40 % de biodiésel Jatropha con combustible diésel.

Luijten et al. [43] demostraron la posibilidad de utilizar una ingeniería para generar electricidad con aceite de Jatropha y biogás como combustibles, eliminando la necesidad de costosas importaciones de Diésel. El grupo electrógeno consta de un motor diésel horizontal de cuatro cilindros, 1.093 L, de aspiración directa, de inyección directa y un cilindro, conectado con correas trapezoidales a un generador con una potencia eléctrica nominal de 12 kW. Las pruebas se realizaron a diferentes cargas por encima de 6 kW (correspondientes a media carga). Debajo de eso, la eficiencia sufría demasiado y el motor funcionaba irregularmente, a plena carga, la eficiencia térmica del motor fue del 32 %. Para cargas más bajas, la eficiencia térmica disminuye, hasta 22 % en la liberación de calor de biogás más alta.

Varatharajan et al. [44] investigación sobre el efecto de los antioxidantes en la formación de NOx de un motor diésel de inyección directa alimentado con biodiésel derivado de *Jatropha*. Los experimentos se llevaron a cabo en un motor diésel de inyección directa de aspiración natural, refrigerado por agua, de un solo cilindro, computarizado, de 4,4 kW. Se puede observar que la mayor reducción de emisiones de NOx se encontró en p-fenilendiamina y seguida por etilendiamina, un acetato de tocoferol e hidroxitolueno butilado (BHT), mientras que el ácido L-ascórbico tuvo el más bajo. A plena carga, los consumos específicos de combustible con aditivos de etilendiamina y p-fenilendiamina fueron de 0.133 y 0.136 kg / kWh respectivamente, mientras que el biodiésel puro fue de 0.145 kg / kW hr. Esta reducción en el consumo de combustible específico podría deberse a las propiedades de reducción de la fricción de las aminas. Se observó un ligero aumento en BSFC con ácido L-ascórbico, BHT y a-tocoferol, mientras que etilendiamina y p-fenilendiamina significa una ligera reducción en el consumo de combustible específico en comparación con el biodiésel puro.

Gamboa et al. [45] Estudiaron el rendimiento y los niveles de emisión de un motor diésel Cummins de 4 tiempos, 4,8 litros y 4 cilindros con inyección de combustible Common Rail, equipado con una recirculación de gases de escape enfriada (EGR). los valores de BSFC fueron 0.21 kg/kWh con combustible diésel y 0.25 kg/kWhr con JOB. Las eficiencias térmicas máximas del freno obtenidas son 44.1 % para el combustible Diésel y 40.9 % para el JOB.

Tan et al. [46] Estudiaron los efectos del biodiésel en el número de partículas y la distribución del tamaño del motor Diésel mediante un medidor de partículas de escape del motor (EEPS). El motor de prueba es un motor Diésel de inyección directa de cuatro cilindros, cuatro tiempos, turboalimentado e intercooled con control electrónico de alta presión del sistema de combustible common-rail. S. El sistema de inyección de combustible tiene una presión máxima de inyección de 145 MPa. El número de partículas del modo de acumulación por encima de 30

nm disminuye con las proporciones de mezcla de biodiésel que aumentan con las cuatro cargas del motor. El número de partículas del modo de nucleación por debajo de 30 nm continuamente aumenta con las proporciones de mezcla de biodiésel que aumentan de 0 % a 100 %. Con la proporción de mezcla de biodiésel aumentando, la concentración de número total aumenta en cada carga de motor, la concentración de partículas de modo de nucleación domina la concentración de número total de partículas. La relación de mezcla de biodiésel tiene más efectos sobre el número total de partículas en cargas medias y altas del motor. Para todos los combustibles de prueba, el número de partículas y la distribución de tamaños muestran un valor máximo de modo de nucleación en 6 diámetro de partícula de nm a 11 nm y con un valor máximo de acumulación en diámetro de partícula de 39 nm a 61 nm. Para una presión en BMEP de 077 MPa se ve los mayores cambios en el total de concentración en el número de partículas donde para mezclas de combustibles como (B0, B10, B20, B100) se muestran concentración de partículas (1.8 E+04, 2.3 E+04, 5.8 E+04, 8 E+04) (#/cm<sup>3</sup>) respectivamente

Millo et al. [47] caracterizaron los efectos de dos biodiésel diferentes, procedentes del aceite de colza (RME) y el aceite de Jatropha (JME), y mezclados con Diésel ultra bajo en azufre (ULSD), tanto en partículas en masa como en masa, emisiones, a la salida del motor. El experimento se realizó con un moderno motor diésel para automóviles de inyección directa (DI) de pequeño desplazamiento, turboalimentado, Common Rail, a 1500 rpm y 2 bares BMEP. No se detectaron diferencias significativas en términos de número de partículas en la salida de los motores para los diferentes combustibles en condiciones de funcionamiento en régimen permanente, se pudo observar una reducción moderada en la distribución del tamaño de la masa de partículas para los biocombustibles.

Kondo et al. [48] analizaron y obtuvieron resultados con diversos biocombustibles a un tiempo fijo de inyección estática. En el experimento se realizó con un motor Yammar NFD170, de un solo cilindro, enfriado por agua y

de inyección directa. el tiempo de inyección dinámica de JOH se retrasa, por lo que se puede tomar en consideración para ajustar el tiempo de inyección estática en el caso de usar el sistema de calefacción de combustible. Para el porcentaje de la cantidad de calor del biogás es 50 %, la combustión se volvió significativamente diferente de JO, y el tiempo de retardo de encendido se hace largo debido a la baja temperatura al final de la carrera de compresión debido a la baja relación de calor específico de pre gas de mezcla en el cilindro. En términos de proporción de mezcla de biogás y aceite de *Jatropha*, de nuestros resultados experimentales, es mejor mezclar con solo 25 % para obtener una buena estabilidad de combustión y baja emisión de gases de escape en comparación con Diésel a baja carga. En alta carga, la relación de mezcla con 50% se muestra que tiene un buen rendimiento y casi igual al gasoil en la eficiencia térmica del freno debido al relativamente alto grado de volumen constante debido a la corta duración de la combustión de la premezcla. a baja carga, todos los combustibles muestran variaciones de combustión alrededor del 6 %, mientras que, a una carga alta, la variación de la combustión es del 3 %. Esto muestra que la estabilidad de combustión es similar al Diésel.

Chauhan et al. [49] Compararon las características de rendimiento, emisión y combustión del biodiésel derivado de aceite de *Jatropha* no comestible en un motor Diésel de combustible dual con resultados de línea base de combustible Diésel. Se seleccionó un motor Diésel no modificado modelo 8 de la marca Kirloskar, mono cilíndrico, refrigerado por aire, de inyección directa, que se utiliza principalmente para actividades agrícolas y para la generación de energía eléctrica. Fue un motor de aspiración suave, vertical y refrigerado por aire. La viscosidad cinemática del biodiésel derivado del aceite de *Jatropha* es más alta que la del Diésel. Al utilizar el motor con biodiésel y sus mezclas, se redujeron las emisiones como el CO, la densidad del humo y el HC en comparación con el Diésel. el alto punto de flúor del aceite de *Jatropha* hace que sea más seguro almacenar, usar y manejar que el Diésel de petróleo; 210 °C es la temperatura a la que se encenderá cuando se expone a una llama, mientras que el Diésel es solo 45 - 55 °C. En el caso del aceite de *Jatropha* precalentado, la eficiencia

térmica del freno más alta se encontró a 100 ° C. Máxima eficiencia térmica para PJO 40 (aceite de Jatropha precalentado a 40 ° C), PJO60 ( aceite de Jatropha precalentado a 60 °C), PJO 80 (aceite de Jatropha precalentado a 80 ° C) y PJO 100 (aceite de Jatropha precalentado a 100 ° C) fue 26.17 %, 26.44 %, 27.4 % y 27.69 % respectivamente, mientras que la eficiencia térmica máxima del diésel fue del 28,51 %

Yogish et al. [50] establecieron la utilidad y la adaptabilidad de los aceites no comestibles en forma mixta para diversos sectores que utilizan biodiésel como combustible sin modificaciones del motor en uso. Se usó un motor Diésel sin modificar marca Kirloskar de un cilindro enfriado por agua. En el caso del biodiésel compuesto, el consumo de combustible fue un 20 % menor que el del Diésel. La disminución porcentual en el consumo específico de combustible fue del 18% en comparación con el Diésel. Se descubrió que la eficiencia térmica de los frenos para el biodiésel y sus mezclas era un 34 % más alta que la del Diésel. Las reducciones en los principales contaminantes del escape fueron: CO 42.8 %, HC 17.35 %, NOx 19.01 % y CO<sub>2</sub> 8.5 % en comparación con el Diésel. Por lo tanto, se podría concluir que el biodiésel compuesto podría ser un sustituto de los combustibles fósiles en los próximos años.

Indi et al. [51] Obtuvieron resultados con pruebas llevadas a cabo sobre el rendimiento del motor y las características de la combustión. Los experimentos se realizan utilizando un motor diésel de inyección directa de un solo cilindro naturalmente aspirado con diferentes cargas a 1500 rpm nominales. La eficiencia térmica del freno del JPD-2 tiene un 28.5 % máximo en comparación con el Diésel puro. 27.5 % a 4 kW de potencia de frenado debido a la presencia de oxígeno en la estructura molecular del multidúplex que intensifica el fenómeno de combustión completa. La eficiencia mecánica del diésel puro es ligeramente superior a la del biodiésel multicapa con una potencia de freno de 4,5 kW debido al menor poder calorífico del biodiésel de mezcla múltiple. El consumo máximo específico de combustible se obtiene en JPD-5 (0,77) en comparación con el Diésel puro con una potencia de frenado de 1 kW.

Millo et al. [52] se llevaron a cabo más pruebas experimentales para comprender mejor los efectos de las mezclas de biocombustibles en las emisiones de NOx y humo, El motor es un moderno motor diésel common rail, DI, turboalimentado, de 4 cilindros en línea y 1248 cc Euro 5 de pequeño desplazamiento, uno de los motores más pequeños del mercado si se tiene en cuenta el desplazamiento de la unidad. En condiciones de operación de carga completa, con una calibración ajustada de la ECU, se pueden obtener los mismos niveles de torque medidos bajo el funcionamiento Diésel con el 30% vol. también se combina, pero con niveles más bajos de humo, lo que resalta el potencial para mantener el mismo nivel de rendimiento a la vez que se logran importantes beneficios de emisiones destacando un aumento promedio del 4% en el consumo de combustible, en masa, con la misma eficiencia de conversión de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>. Se observa que el BSFC del Diésel a 1500rpm es 325 g/kWh mientras que el b30 es mayor 375 g/kWh al mismo rpm. Pero si se aumenta el rpm a 2500 el BSFC disminuye en el Diésel a 240 g/kWh y el de la Jatropha al mismo rpm es mayor 260 g/kWh.

Elango et al. [53] Se llevaron a cabo una serie de pruebas con motores Diésel y biodiésel para conocer el efecto de varias mezclas en el rendimiento y las características de emisión del motor cuando se lo alimenta con mezclas de Jatropha y gasóleo. Se usó un motor kirloskar Diésel mono cilíndrico enfriado por aire a 1500 rpm. El consumo específico de combustible es ligeramente mayor para B20, pero más cercano al Diésel entre todas las mezclas. Cuando la concentración de aceite de Jatropha en el Diésel es más del 30 % en volumen, hay un aumento apreciable en el consumo específico de combustible. Se encontró que la opacidad del humo es más alta que el Diésel para todas las mezclas, pero las mezclas hasta en un 20 % reducen sustancialmente las emisiones de CO<sub>2</sub> con una disminución marginal en BSFC. Se logró una eficiencia térmica máxima del freno del 29.4 % para B20 mientras que para el Diésel fue del 30.9 % para la misma potencia de salida. Sin embargo, la disminución del BSFC puede mejorarse de manera efectiva al agregar aditivos a

base de alcohol. Las investigaciones experimentales muestran que la mezcla de *Jatropha* metil ésteres hasta 20 % en volumen con Diésel para uso en un motor Diésel no modificado es viable.

Zhang et al. [54] Estudiaron las características de combustión y emisión de un motor diésel common rail turboalimentado de alta presión de 4 cilindros en línea que funciona con mezclas Diésel-biodiésel-DEE, y el efecto de la adición de DEE en la combustión y las emisiones. El consumo de combustible específico del freno de las mezclas de biodiésel-Diésel-DEE aumenta con el aumento de la fracción de combustible oxigenado en estas mezclas. La eficiencia térmica de los frenos muestra una variación mínima cuando se opera con diferentes mezclas de biodiésel-Diésel-DEE. Las emisiones de HC y CO disminuyen con el aumento de la fracción de combustible oxigenado en las mezclas. A 1600 rpm el BMEP a 0.255 MPa tiene un NO<sub>x</sub> de 120 ppm al 90 % del porcentaje de biodiésel en volumen, mientras que a las mismas revoluciones el BMEP, pero a 0.765 MPa sube a 480 ppm.

Westphal et al. [55] Comparan las emisiones de HVO (Aceite vegetal hidrotratado) puro, RME (por sus siglas en ingles rapessed methyl éster), JME (por sus siglas en ingles *Jatropha* methyl éster) y DF (por sus siglas en ingles Diésel fuel) después de la combustión. Además de los componentes de escape regulados HC, NO<sub>x</sub>, CO y PM, investigaron las emisiones no reguladas, especialmente el número de partículas y la distribución de tamaños, los aldehídos y los HAP. Usaron un motor Mercedes-Benz OM 906 LA de seis cilindros y 6.37 L equipado con turbocompresor e intercooler. El motor proporciona un par máximo de 1100 N m a 1300 rpm y cumple con el estándar de emisión EURO III. El cigüeñal del motor de prueba se acopló con un freno de Foucault controlable (AG 250, Froude Hoff mann, Elze, Alemania) que permite un cambio automático a los diferentes modos de carga del ESC (por sus siglas en ingles European Stationary Cycle). Los números de partículas fueron aproximadamente 1 orden de magnitud más bajos para RME y JME. Sin embargo, los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) de RME de 5.3 g/kWh y JME de 5.8

g/kWh excedieron el valor límite de Euro III de 5 g/kWh, mientras que la combustión de HVO produjo la cantidad más pequeña de NO<sub>x</sub> de 4.1 g/kWh y el DF produjo 4.8 g/kWh.

Gogoi et al. [56] Analizaron el rendimiento y las características de combustión de mezclas de éster metílico de aceite de semilla de korocho (KSOME) de 10 %, 20 %, 30 % y 40 % y éster metílico de *Jatropha* (JME) con Diésel como combustible en un motor Diésel. Las pruebas se realizaron con un motor Diésel enfriado por agua a una velocidad promedio de 1535 rpm. El consumo de combustible específico del freno (BSFC) fue más para las mezclas de ésteres de metilo y particularmente para las mezclas de JME. La eficiencia térmica de los frenos (BTE) fue ligeramente menor para las mezclas de biodiésel y para las mezclas de JME fue menor en comparación con la de las mezclas de KSOME. La observación general fue que la mezcla KSOME hasta un 30% mostró un rendimiento aceptable y una tendencia de combustión mientras que las mezclas JME mostraron una tendencia de combustión favorable, pero debido a sus características de consumo de combustible comparativamente más altas, finalmente el BTE del motor fue menor con las mezclas de combustible JME. La tasa de consumo de combustible para Diésel NRL, KB10, JB10, KB20, JB20, KB30, JB30, KB40 y JB40 es 1.15, 1.187, 1.23, 1.214, 1.27, 1.228, 1.32, 1.328 y 1.34 kg/h respectivamente. Se observó que el trabajo de bucle, es decir, el trabajo realizado durante el proceso de intercambio de gases y el trabajo de compresión fueron menores, mientras que el trabajo de combustión y expansión fue más en el caso de las mezclas.

Jindal et al. [57] Compararon la combustión, el rendimiento del motor y las emisiones con los ésteres metílicos de estos aceites en un motor, manteniendo todas las demás condiciones, para establecer la idoneidad de estos ésteres frente al combustible Diésel. Se usó un motor Diésel refrigerado por agua de un cilindro. Durante las pruebas de motor, KME dio una mejor eficiencia térmica y un consumo de combustible específico que JME, pero ambos combustibles de éster tuvieron más potencia que el Diésel. El BTHE para el Diésel, JME y KME

a plena carga se encontraron como 26.49 %, 22.69 % y 24.03 %; y BSFC como 0.29, 0.39 y 0.34 kg / kWh, respectivamente. La temperatura de escape fue 427, 383 y 393 C y la potencia indicada desarrollada fue de 5,41, 5,09 y 5,19 kW, mientras que la potencia de frenado fue casi la misma para todos los combustibles. El pico de presión es más alto con Diésel, pero la posición de pico con ésteres avanza con mayor cantidad de liberación de calor en la mezcla controlada. Aproximadamente 50 % de reducción en UHC (por sus siglas en ingles unburnt hydrocarbon emission), 25 % de reducción en NOx y 20 % de reducción en la opacidad del humo con combustibles de éster.

Sahoo et al. [58] Realizaron investigaciones para optimizar el proceso de producción de biodiésel y evaluar las características de rendimiento comparativo de un motor de tres cilindros. El motor probado en este estudio es un 3 cilindro; El motor de encendido por compresión AVL tiene cilindros de 3,44 litros con una relación de compresión de 18: 1. El motor instalado en el tractor realiza una amplia gama de tareas agrícolas normales. Las cámaras de combustión son de cámara abierta, diseño de remolino mediano. A su velocidad nominal de 2200 rpm, el motor puede desarrollar 44.1 kW (60 hp), medido en el eje del motor. El sistema de inyección de combustible incorporó una bomba de inyección de tipo distribuidor que se giró externamente para ajustar el tiempo de inyección. el proceso de transesterificación mejoró las propiedades de combustible del aceite con respecto a la densidad ( $\text{kg/m}^3$ ), valor calorífico (kJ/kg), viscosidad (cSt), punto de flash, punto de enturbiamiento y punto de fluidez. no se requieren modificaciones de hardware para manejar estos combustibles (biodiésel y sus mezclas) en el motor existente. Durante la prueba de rendimiento del motor a todo gas, no se observa un cambio significativo en la potencia para el motor de tres cilindros del tractor a velocidades inferiores de 1200 y 1400 rpm para todas las mezclas de biodiésel. En condiciones de aceleración máxima, el uso de un 20 % de biodiésel karanja en diésel (KB20) provocó una reducción en la potencia en el rango de 0.44-1.93 %. De forma similar, también se observa una reducción en la potencia para KB100 en el rango de 1.2-2.55 % durante la operación del motor a mayor velocidad. El consumo de combustible específico del freno para todas las mezclas de biodiésel con Diésel aumenta con las mezclas y disminuye

con la velocidad. Hay una reducción en el humo para todo el biodiésel y sus mezclas en comparación con el Diésel. La emisión de humo se reduce con mezclas y velocidades durante la prueba de rendimiento de aceleración máxima.

Huang et al. [59] Investigaron el rendimiento y las emisiones de un motor diésel utilizando biodiésel derivado del aceite de Pistache chino en comparación con el uso de diésel puro y otro tipo de biodiésel derivado del aceite de Jatropha, y luego descubrir algunas de las ventajas y desventajas del uso de aceite de pistache chino como fuente de combustible de motores Diésel. El motor utilizado para las pruebas es un motor Diésel ZS195 fabricado por Nanji Machinery Ltd. de China. El motor es un motor de encendido por compresión de inyección directa (DI) de un cilindro, cuatro tiempos, refrigerado por agua. El diámetro interior del motor es de 95 mm, la carrera es de 115 mm, la compresión de 1: 17, el volumen barrido de 815 cm<sup>3</sup>, la potencia nominal de 8,82 kW a una velocidad nominal de 2000 r / min. Los consumos de combustible del motor son ligeramente más altos cuando el motor se llena con los dos bidones combinados con el combustible Diésel. Los BSFC para ambos biodiésel son comparables entre sí. Las emisiones de HC con BJ fueron de 18 ppm mientras que las del Diésel fueron más altas con 22 ppm trabajando a 1500 rpm. Las emisiones de NOx con Diésel fueron de 1500 ppm mientras que las emisiones de NOx con BJ fueron de 1450 ppm trabajando a 1500 rpm.

Janardhan et al. [60] Realizaron investigaciones para controlar las emisiones de escape de los niveles de humo y las emisiones de NOx de un nivel alto. El motor Diésel de bajo grado de rechazo de calor (LHR) consistía en un pistón aislado de espacio de aire con espacio de aire de 3 mm, con superni (una aleación de níquel) corona, forro con aislamiento de aire con inserto superni y culata revestida de cerámica con diferentes funciones condiciones del aceite de Jatropha crudo (CJO) y biodiésel con variados tiempos de inyección y presión de inyección con técnica de reducción catalítica. Relativamente, los niveles de humo disminuyeron en un 27 % y los niveles de NOx aumentaron en un 49 % con el aceite vegetal crudo operación en el motor LHR en su momento de inyección

óptimo, en comparación con el funcionamiento Diésel puro en CE en el momento de inyección. La operación de biodiésel disminuyó aún más los niveles de humo y aumento de las emisiones de NO<sub>x</sub>. Las emisiones de NO<sub>x</sub> se redujeron a 40-50 %.

Gopinath et al. [61] Analizaron el efecto del contenido de FFA (por sus siglas en ingles Oil with high free fatty acid) del aceite crudo *Jatropha Curcas L* (CJO) en el rendimiento y las características de emisión de un motor diésel de inyección directa (DI). Para la prueba se utilizó un motor Diésel de un solo cilindro, DI a 1500 rpm, enfriado por aire y de ignición por compresión. De los resultados, se encontró que la eficiencia térmica del freno disminuye con el aumento en el contenido de FFA en la mezcla CJO con Diésel. En comparación con el Diésel, se observó una reducción del 0,33 al 2,04 % en la eficiencia térmica de los frenos para mezclas con diferentes FFA. Se encontró que las emisiones de NO<sub>x</sub> aumentan con el aumento en el contenido de FFA. El rango de aumento en NO<sub>x</sub> varía entre 3.4 y 21.7 % en comparación con el combustible Diésel convencional. Se encontró una reducción de humo con un aumento en el contenido de FFA. El porcentaje de reducción de humo con mezclas en comparación con el Diésel varía entre 5.4 y 27 %.

Gangwar et al. [62] Diseñaron experimentos para estudiar el efecto de la reducción de la viscosidad del aceite de *Jatropha* mediante la mezcla con combustible Diésel, eliminando así su efecto sobre las características de combustión del motor. La configuración experimental del motor, utilizada en este trabajo consiste en un motor de cuatro cilindros Mahindra y Mahindra (modelo XD-3P) acoplado con un dinamómetro de corriente parásita. Es un motor diésel de cuatro tiempos refrigerado por agua, de inyección indirecta y cuatro tiempos. Las emisiones de THC por debajo de 0.22 g/kWh con una carga el 100 % y CO por debajo de 1 g/kWh con una carga de 100 %, mientras que a un 20 % de carga las emisiones fueron de THC entre 0.6 y 0.8 g/kWh y de CO entre 3 y 4 g/kWh. A medida que aumenta la carga del motor, el nivel de emisión se acerca más al Diésel. La opacidad del humo y el CO<sub>2</sub> fueron mayores para las mezclas

de aceite vegetal en comparación con el combustible Diésel. La emisión de NOx aumenta al aumentar la concentración de aceite vegetal en las mezclas. La opacidad del humo de las mezclas de aceite vegetal es más alta que el combustible Diésel. A plena carga el Diésel tiene unas emisiones de NOx de aproximadamente 3 g/kWhr, mientras que la mezcla aumenta a 4.5 g/kWhr. Las emisiones de CO<sub>2</sub> por su parte a plena carga llegan a un punto estable de 10 %.

Jain et al. [63] Investigaron el rendimiento del motor de encendido por compresión utilizando JCB estabilizado oxidativa mente y compararlo con el JCB no estabilizado. JCB se estabiliza mediante el uso de PY (antioxidante). El motor utilizado para los experimentos fue un motor Diésel de encendido por compresión de acción simple de acción simple Kirloskar, AA35 de un cilindro, vertical, 4 tiempos con un diámetro de 30 mm, una carrera de 76 mm, capacidad cúbica de 0.382 L y una relación de compresión de 15.6: 1. El BSFC de combustible biodiésel con y sin antioxidante es alrededor de un 7-16 % más que el del combustible Diésel de petróleo. El BSFC de combustible biodiésel con antioxidantes es alrededor de un 3-6 % menor que el del combustible de biodiésel sin antioxidantes, pero no se detectaron tendencias específicas de acuerdo con el tipo de contenido de metal y la cantidad de antioxidantes. A una carga de 2 KW las emisiones de CO estuvieron por encima 0.017 G/kWh, HC entre 6 y 7 g/kWh y NOx entre 8.5 y 9.5 g/kWh muy por encima del diésel que fue de 7.8 g/kWh.

Tan et al. [64] Analizaron las emisiones contaminantes reguladas y no reguladas de los motores Diésel que utilizan JME bajo cuatro cargas diferentes a velocidad constante. El motor utilizado en este estudio fue un motor diésel turboalimentado, de inyección directa, cuatro cilindros y cuatro tiempos, con un sistema de combustible common-rail de alta presión. El sistema de inyección de combustible Common-Rail era de Bosch y tiene un riel de combustible de alta presión (más de 1000 bar). El motor tiene una cilindrada de 3,3 L, con una potencia nominal de 79 kW a 3200 rpm y una salida de par máximo de 275 N m a 2000 rpm. En comparación con el combustible diésel puro, las emisiones de NOx provenientes

de los combustibles de biodiésel no muestran cambios obvios a bajas y medias cargas del motor funcionando a 2000 rpm, pero a un BMEP de 0.77 MPa (75 % de carga) el Diésel tuvo 900 ppm mientras que la mezcla B100 tuvo 1150 ppm. El HC a 75 % de carga del motor disminuyo tanto para el Diésel como para la mezcla B100 pasaron de 140ppm para Diésel y 100 ppm para B100 a 50 ppm para Diésel y 30 para B100 respectivamente. El CO también se redujo con una carga más alta, el Diésel paso de 130 ppm a 0.10 MPa a 45 ppm a 0.77 MPa y la mezcla B100 paso de 160 ppm a 0.10MPa a 37 ppm a 0.77 MPa.

Nabi et al. [65] Investigaron el efecto de la adición de JBD al combustible FT (Fischer – Tropsch) sobre el rendimiento del motor y las emisiones de escape. Los experimentos se realizaron con un motor diésel turboalimentado de seis cilindros, cuatro tiempos, inyección directa (DI). Comparado con DF, el combustible FT mostró BSFC y eficiencia térmica similares. El THC a un torque de 1450 Nm de la mezcla B100 de 18 ppm es mucho menor que la del Diésel 45 ppm. El CO mostro los valores más bajos a 1450 Nm, pero el Diésel nuevamente estuvo por encima de la mezcla B100 siendo 90 ppm y 50 ppm respectivamente. Los valores de NOx se vieron más altos a plena carga 1450 Nm y en este caso se super el valor de la mezcla B100 en comparación con el Diésel 1130 ppm y 1000 ppm respectivamente.

Ganapathy et al. [66] Estudiaron el efecto del tiempo de inyección, en el rendimiento, la combustión y las características de emisión del motor Diésel alimentado con Diésel y biodiésel Jatropa. Los experimentos se realizaron en un motor Diésel Greaves Cotton model GL 400 II A, de un cilindro, cuatro tiempos, refrigerado por aire, El motor se cargó con el dinamómetro de corriente de Foucault AVL Alpha - 20. La tasa de flujo de masa del aire de entrada se midió con un medidor de orificio acoplado a un manómetro. Se utilizó un tanque de compensación para amortiguar las pulsaciones producidas por el motor, para garantizar un flujo constante de aire a través del colector de admisión. Se observa que el inicio de la combustión ocurre un poco antes en el caso del biodiésel de Jatropa en comparación con el funcionamiento del diésel para

cualquier momento de inyección, carga y velocidad dados. Esto se debe a las características de retardo de ignición más cortas del biodiésel *Jatropha*. También se observa que a medida que aumenta la carga, las presiones máximas también aumentan con ambos combustibles para una velocidad dada y el tiempo de inyección. Por lo tanto, un proceso de ajuste de sincronización de inyección adecuado puede generar beneficios significativos en términos de rendimiento y emisiones, cuando el motor Diésel se opera con biodiésel *Jatropha*. Con un par de carga de 15 Nm, una velocidad del motor de 1800 rpm y un tiempo de inyección de 340 grados de ángulo del cigüeñal, la reducción porcentual en los niveles de BSFC, CO, HC y humo fue 5.1 %, 2.5 %, 1.2 % y 1.5 % respectivamente. De manera similar, el aumento porcentual en la emisión de BTE, Pmax, HRRmax y NO en este momento de inyección, carga y velocidad fueron 5.3 %, 1.8 %, 26 % y 20 % respectivamente.

Sivaramakrishnan et al. [67] Estudiaron los valores óptimos de CR (por sus siglas en inglés compression ratio), mezcla y potencia, lo que resultaría en un mejor rendimiento con menos emisiones utilizando el enfoque de conveniencia. Se utilizó un motor Diésel de inyección directa de un solo cilindro y 4 tiempos. Avanzar el CR de 17,5 a 18,1 ayudó a disminuir las emisiones de CO y HC. La disminución de las proporciones de mezcla de combustible contribuyó para un mejor BTHE con un BSFC menor con valores más bajos de CO, HC y NOx. Sin embargo, cuando la relación de mezcla era demasiado baja, los resultados fueron buenos. El BTHE máximo para B10 (35.42 %) fue más alto que el del Diésel a plena carga. Las emisiones a 5.2 kW de carga fueron CO 1.61 %, HC 235ppm y NOx 1251 ppm con un BSFC de 0.35 Kg/KWhr.

Banapurmath et al. [68] Estudiaron y determinaron las características de combustión y emisión en un motor CI de inyección directa de un solo cilindro de cuatro tiempos para verificar su viabilidad como combustible para motores CI. En comparación con el limpio funcionamiento del diésel, los ésteres metílicos del aceite de Honge, la *Jatropha* y los aceites de sésamo producen un rendimiento deficiente asociado a emisiones más altas. La eficiencia térmica de los frenos

con HOME, SOME y JOME es del 29.51 %, 30.4 % y 29 %, respectivamente, a 80% de carga y 31.25 % con Diésel. Las emisiones de HC y CO con SOME (por sus siglas en ingles sesamum oil methyl esters), HOME (por sus siglas en ingles Honge oil methyl esters) y JOME (por sus siglas en ingles Jatropha oil methyl esters) son ligeramente más que la operación diésel. Todos los ésteres resultan en emisiones de humo ligeramente más altas que el Diésel, y se atribuye a la combustión incompleta debido a su menor volatilidad y mayor viscosidad. Todos los ésteres muestran un mayor retardo de encendido y duración de la combustión en comparación con el Diésel puro. SOME, HOME dieron como resultado una liberación de calor mejorada. Todos los ésteres probados dan como resultado una eficiencia térmica ligeramente reducida y un aumento de los niveles de humo, HC y CO. El motor existente podría funcionar con los ésteres probados sin ninguna modificación importante.

Singh et al. [69] realizaron experimentos para optimizar la presión de inyección de combustible para JO y Diésel. Se usó un motor Diésel modelo FM-4 vertical de un solo cilindro, inyección directa, enfriado por agua e ignición por compresión. La BSFC del motor con aceite calentado JO es superior a la del JO sin calentar 0.38 kg/kWh y 0.34 kg/kWh respectivamente. El consumo de combustible específico del freno se redujo de 0.301 kg / kWh a 0.266 kg / kWh a una carga de 8.75 kW. El BSFC del JO calentado fue de 26 % a 8.75 kW mientras el BSFC del JO sin calentar fue de 28 % con la misma carga.

Chauhan et al. [70] Redujeron la viscosidad del aceite calentando los gases de escape antes de alimentar al motor, el estudio de los efectos de FIT (temperatura de entrada del combustible) en el rendimiento del motor y las emisiones utilizando una plataforma de prueba de doble motor con un diseño adecuado intercambiador de calor de carcasa y tubo (con disposición de derivación de escape). Se seleccionó un motor diésel Kirloskar (DAF) 8, de velocidad constante, de un solo cilindro, refrigerado por aire, inyección directa, para obtener un mayor uso en el sector agrícola y la generación de electricidad. el rendimiento del motor con aceite de Jatropha no calentado es ligeramente

inferior al rendimiento con combustible diésel. A medida que aumenta la temperatura de entrada de combustible del aceite de Jatropha, se reduce la viscosidad, se mejora el rendimiento del motor. La eficiencia térmica del motor fue menor y el consumo de energía específica del freno del motor de lavado cuando el motor se alimentó con aceite de Jatropha no calentado en comparación con el combustible diésel. Sin embargo, en el caso de aceite Jatropha precalentado, estos parámetros son superiores al aceite de Jatropha no calentado. En el caso del aceite de Jatropha precalentado, la eficiencia térmica del freno más alta se encontró a 100 °C. La eficiencia térmica del freno para PJO40 (aceite de Jatropha precalentado a 40 °C), PJO60 (precalentado Jatropha aceite a 60 °C), PJO80 (aceite de Jatropha precalentado a 80 °C) y PJO 100 (aceite de Jatropha precalentado a 100 °C) fue 26.17 %, 26.44 %, 27.4 % y 27.69 % respectivamente, mientras que la eficiencia térmica máxima del diésel fue del 28,51 %.

Agarwal et al. [71] Redujeron la viscosidad del aceite de Jatropha cerca de la del Diésel convencional para que sea adecuado para su uso en un CI motor y para evaluar el rendimiento del motor con nuevos combustibles alternativos se adquirió un motor diésel de inyección directa de un solo cilindro, cuatro tiempos y velocidad constante. Se encontró que calentar el aceite de Jatropha entre 90 °C y 100 °C es suficiente para reducir la viscosidad a corta distancia del Diésel. La viscosidad de las mezclas de Jatropha hasta 30 % también se encontró cerca del Diésel. Se encontró que calentar el aceite de Jatropha entre 90 °C y 100 °C es suficiente para reducir la viscosidad a corta distancia del Diésel. La viscosidad de las mezclas de Jatropha hasta 30 % también se encontró cerca del Diésel. El BSFC a 90 % de carga para el Diésel fue de 0.26 KG/kWh mientras que para el BJ fue de 0.35 Kg/kWh mucho más alto en comparación. El CO<sub>2</sub> también aumento considerablemente con la mezcla BJ, ya que paso con Diésel de 1.25 KG/kWh a 1.7 Kg/kWh con BJ a 90% de carga. El CO con Diésel fue de 8 g/kWh y de 43 g/kWh mientras que el HC con el Diésel tuvo un valor de 1.2 g/kWh y con BJ 2.5 g/kWh.

Forson et al. [72] Realizaron una investigación experimental para explorar el rendimiento del aceite de Jatropha y sus mezclas de combustible con diésel en un motor diésel mono cilíndrico de inyección directa. Se utilizó un motor de un solo cilindro modelo Lister. Es un motor diésel de cuatro tiempos refrigerado por aire y de inyección directa. Las emisiones de dióxido de carbono fueron similares para todos los combustibles, se observó que el 97,4 % de combustible diésel / 2,6 % de la mezcla de combustible Jatropha. La tendencia de las emisiones de monóxido de carbono fue similar para los combustibles, pero el combustible diésel mostró emisiones ligeramente menores a la atmósfera. La mezcla 2.6 JO produce máximo valores de la potencia de frenado y la eficiencia térmica del freno, así como valores mínimos del consumo específico de combustible. La mezcla de combustible 97.4 % / 2.6 % produjo el mayor índice de cetano e incluso un mejor rendimiento del motor que el diésel, lo que sugiere que el aceite de Jatropha se puede utilizar como un aditivo acelerador de encendido para combustible diésel. El BSFC con diésel fue de 0.7 Kg/kWh a 9Nm mientras que con la mezcla 0.4 Kg/KWhr a la misma carga. El CO a 9Nm del diésel fue de 60 Kg/kWh mientras que con la mezcla fue de 120 Kg/kWh. El CO<sub>2</sub> a 9Nm para el diésel fue de 2.3 Kg/kWh mientras que el de la mezcla 1.8 Kg/kWh

Agarwal et al. [73] Evaluaron la combustión, el rendimiento y el comportamiento de emisión de las mezclas de aceite de Jatropha en condiciones no calentadas en un motor. Se usó un motor diésel de inyección directa, de un solo cilindro, a 1500rpm constantes. Se encontró que BSFC y las temperaturas del gas de escape para las mezclas de aceite de Jatropha eran más altas en comparación con el Diésel mineral. La eficiencia térmica fue ligeramente menor para las mezclas de aceite de Jatropha en comparación con el Diésel. A 6 bar de BMEP para Diésel fue de 33 %, mientras que para mezcla de Jatropha J30 a la misma presión fue de 26 %. La opacidad de CO<sub>2</sub>, CO, HC y humo fue marginalmente más alta para mezclas de aceite de Jatropha más bajas (hasta J20) en comparación con la del Diésel mineral. El BSFC para un BMEP de 6 bar para el diésel fue de 0.28 Kg/kWh mientras que para J100 fue de 0.35 Kg/kWh más alta en comparación. El CO a un BMPE de 6 bar para el diésel fue de 4 g/kWh

mientras que para la mezcla J100 al mismo BMEP carga fue de 22 g/kWh. El HC a un BMEP de 6 bar para el diésel fue de 0.6 g/kWh mientras que para la mezcla fue de 1.3 g/kWh, la eficiencia térmica a un BMEP para el diésel fue más alta que para la mezcla J100 32 % y 26 % respectivamente.

Cui et al. [74] Investigaron los efectos sobre la combustión del motor Diésel y las características de emisión de NO<sub>x</sub> y PM en caso de mezclar el combustible diésel ordinario con biodiésel en los motores Diésel de turismos. El motor utilizado en este estudio es de 4 cilindros, refrigerado por agua, con turbo compresor y cumple con la regulación de emisiones EURO4, teniendo un desplazamiento de 2.2 L para aplicaciones de automóviles de pasajeros. Las mediciones de emisiones y los análisis de liberación de calor mostraron que el biodiésel puede reducir significativamente la PM (materia particulada) sin influir en la tasa de liberación de calor, la emisión de NO<sub>x</sub> y la eficiencia térmica de los frenos bajo las condiciones probadas. el 100 % de oleato de metilo tiende a emitir hollín en una región de temperatura más alta, mientras que el combustible mezclado emite hollín a temperaturas más bajas mucho más cercanas a las de la región donde el combustible Diésel común emite hollín. Sin embargo, las emisiones de NO<sub>x</sub> no variaron significativamente entre el Diésel y el biodiésel. El retardo de encendido del oleato de metilo es más corto que el del diésel y tiende a ser más corto a medida que aumenta la presión de inyección. El NO<sub>x</sub> para un EGR de 28 % se produce con Diésel 0.2 g/kWh mientras que para la mezcla con Jatropha se produce 0.3 g/kWh. El CO para un EGR de 26 % para Diésel es de 1.8 g/kWh y para la mezcla de Jatropha es de 1.2 g/kWh.

## 7 ANÁLISIS DE LA REVISIÓN

En la Figura 7 describe el comportamiento del BSFC de las mezclas de aceite de Jatropha respecto al diésel. De manera general el BSFC aumenta conforme se aumenta el porcentaje de aceite de Jatropha en la mezcla, esto ocurre porque el poder calorífico de este último es menor por tanto se requiere de un mayor suministro de combustible para equiparar la energía de salida. En esta figura se observa que para una carga del motor de 100 % operando con Diésel, se tiene un valor de 0.279 kg/kWh de BSFC, mientras que con la mezcla de 25JO se obtiene un BSFC mayor en un 8,52 % respecto al diésel, con la mezcla de 50JO se obtiene un BSFC mayor en 3.46 % respecto al Diesel y por último con la mezcla de 75JO se obtiene un BSFC menor de 4.49 % menor respecto al Diesel. Para una carga del 71% en el motor operando con Diesel, se obtuvo un valor de 0.372 kg/kWh de BSFC, mientras que con la mezcla de 25JO se tiene un BSFC menor en 27.8% menor que el Diesel, con la mezcla 50JO se obtuvo un BSFC menor en 40.9% que el Diesel y finalmente con la mezcla de 75JO se tiene un BSFC menor de 22.7% que el Diesel. Para una carga del 43% en el motor funcionando con Diesel, se tiene un valor de 0.503 BSFC, mientras que con la mezcla de 25JO se obtiene un BSFC menor de 41.2% que el Diesel, con la mezcla de 50JO se tiene un BSFC de 45.3% menor que el Diesel, finalmente con la mezcla de 75JO se obtiene un BSFC de 15.1% menor que el Diesel. Por último, para una carga del 29 % en el motor operando con Diesel, se tiene un valor de 0.67 kg/kWh de BSFC, a su vez con la mezcla de 25JO se obtiene un BSFC de 35.9% menor que el Diesel, con la mezcla 50JO se tiene un BSFC de 39% menor que el Diesel y finalmente con la mezcla de 75JO se obtiene un BSFC de 13.5% menor que el Diesel.

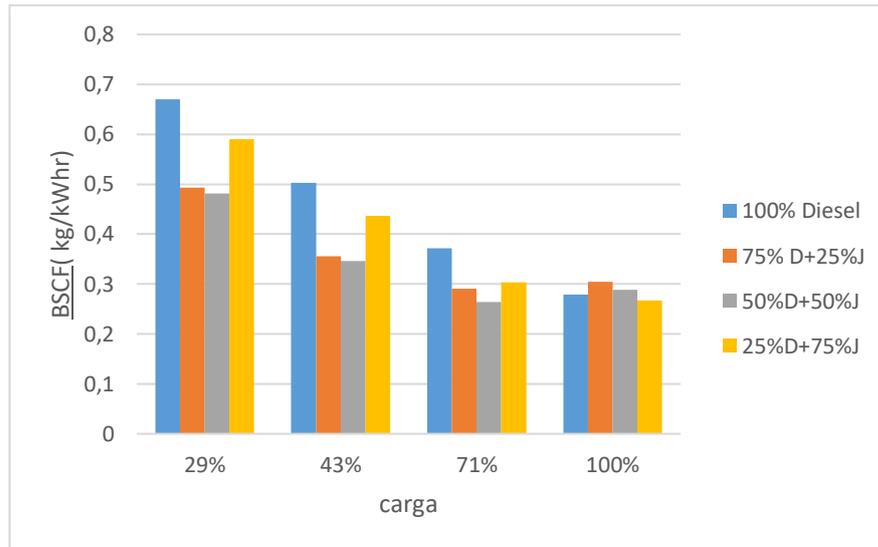


Figura 7. Consumo específico de combustible D/JO.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 8 se puede ver que, para la eficiencia térmica al freno, conforme la carga disminuye a su vez disminuye el porcentaje de eficiencia al freno, esto debido a que ingresa una mayor cantidad de combustible y se obtiene una potencia de salida menor se observa que Para una carga del 100 % en el motor operando con Diésel, se obtiene un porcentaje de 24.2 % en BET, mientras con la mezcla de 25JO se aumenta un 15.08 % de BET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50JO se aumenta un 31.88 % de BET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75JO se aumenta un 28.82 % de BET con respecto al Diésel. A su vez para una carga del 71 % en el motor operando con Diésel, se obtiene un porcentaje de 23.15 % en BET, mientras con la mezcla de 25JO se aumenta un 22.57 % de BET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50JO se aumenta un 30.75 % de BET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75JO se aumenta un 22.7 % de BET con respecto al Diésel con una carga del 43 % en el motor operando con Diésel, se obtiene un porcentaje de 17.1 % en BET, mientras con la mezcla de 25JO se aumenta un 30.06 % de BET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50JO se aumenta un 32.67 % de BET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75JO se aumenta un 17.78 % de BET con respecto al Diésel finalmente con una carga del 29 % en el motor operando con Diésel, se obtiene un porcentaje de 12.83 % en BET, mientras con la mezcla de 25JO se aumenta

un 27.3 % de BET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50JO se aumenta un 29.89 % de BET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75JO se aumenta un 16.68 % de BET con respecto al Diésel.

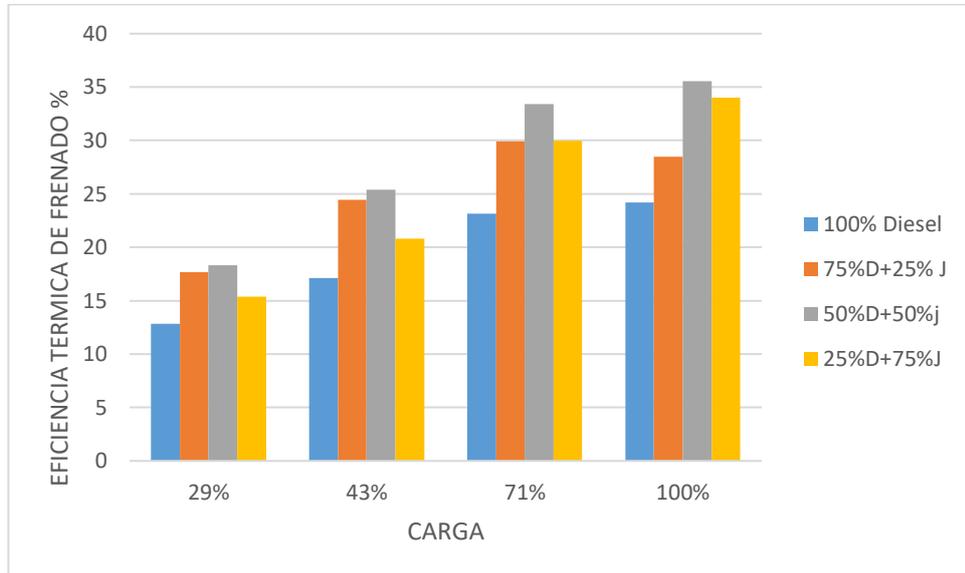


Figura 8. Eficiencia térmica frenado D/JO.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 9 se puede ver que, la temperatura de gases de escape siempre es mayor utilizando Diésel ya que la liberación de calor en el proceso de combustión con diésel es mayor y su poder calorífico también. Pero a su vez se puede observar que a medida que se reduce la carga se reduce la temperatura de los gases de escape tanto en Diésel como en mezclas, ya que el motor no trabaja con la misma cantidad de combustible inyectado por lo que se genera menor combustión ósea menor rendimiento se observa que para una carga del 100 % en el motor operando con Diésel, se obtiene una temperatura de 380 °C en GET, mientras con la mezcla de 25JO se disminuye un 16.92 % de GET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50JO se disminuye un 11.74 % de GET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75JO se disminuye un 52 % de GET con respecto al Diésel con una carga del 71 % en el motor operando con Diésel, se obtiene una temperatura de 345°C en GET, mientras con la mezcla de 25JO se disminuye un 40.81 % de GET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50JO se disminuye un 43.75 % de GET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75JO se disminuye un 50 % de GET con respecto al Diésel, en esta carga se ve como

el GET para las mezclas se empieza a estabilizar en una temperatura común. para una carga del 43 % en el motor operando con Diésel, se obtiene una temperatura de 290 °C en GET, mientras con la mezcla de 25JO se disminuye un 41.46 % de GET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50JO se disminuye un 38.09 % de GET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75JO se disminuye un 38.09 % de GET con respecto al Diésel, en esta carga se ve como el GET para las mezclas se estabilizan en una temperatura común finalmente para una carga del 29 % en el motor operando con Diésel, se obtiene una temperatura de 270°C % en GET, mientras con la mezcla de 25JO se disminuye un 36.36 % de GET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50JO se disminuye un 35 % de GET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75JO se disminuye un 35 % de GET con respecto al Diésel, en esta carga se ve como el GET para las mezclas se estabilizan en una temperatura común.

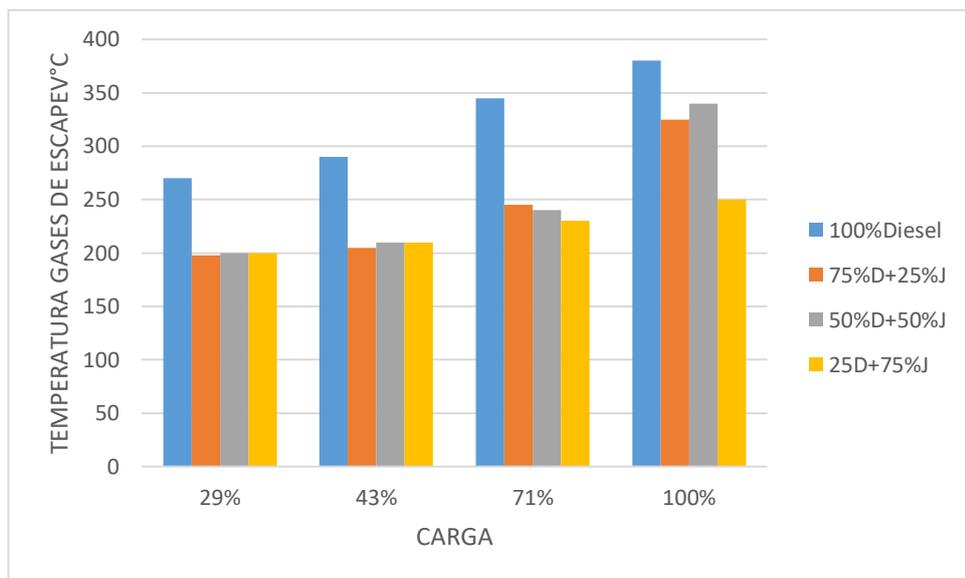


Figura 9. Temperatura gases de escape D/JO.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 10 se muestra como el consumo específico de combustible aumenta conforme se aumenta el porcentaje de biodiésel de Jatropha a la mezcla ya que el poder calorífico de este es menor y a una carga menor se observa que, para una carga del 100 % en el motor operando con Diésel, se tiene un valor de 0.279

de BSFC, mientras que con la mezcla de 25BJ se obtiene un BSFC mayor en un 1.41 % respecto al diésel, con la mezcla de 50BJ se obtiene un BSFC mayor de 32.85 % respecto al Diésel y por último con la mezcla de 75BJ se obtiene un BSFC menor de 17.72 % menor respecto al Diésel, con para una carga del 71 % en el motor operando con Diésel, se obtuvo un valor de 0.372 de BSFC, mientras que con la mezcla de 25BJ se tiene un BSFC menor en 61.73 % menor que el Diésel, con la mezcla 50BJ se obtuvo un BSFC menor en 37.77 % que el Diésel y finalmente con la mezcla de 75BJ se tiene un BSFC menor de 31.91 % que el Diésel, para una carga del 43 % en el motor funcionando con Diésel, se tiene un valor de 0.503 BSFC, mientras que con la mezcla de 25BJ se obtiene un BSFC menor de 48.81 % que el Diésel, con la mezcla de 50BJ se tiene un BSFC de 38.95 % menor que el Diésel, finalmente con la mezcla de 75BJ se obtiene un BSFC de 28.31 % menor que el Diésel finalmente para una carga del 21 % en el motor operando con Diésel, se tiene un valor de 0.67 BSFC, a su vez con la mezcla de 25BJ se obtiene un BSFC de 43.46 % menor que el Diésel, con la mezcla 50BJ se tiene un BSFC de 31.63 % menor que el Diésel y finalmente con la mezcla de 75BJ se obtiene un BSFC de 66.71 % menor que el Diésel.

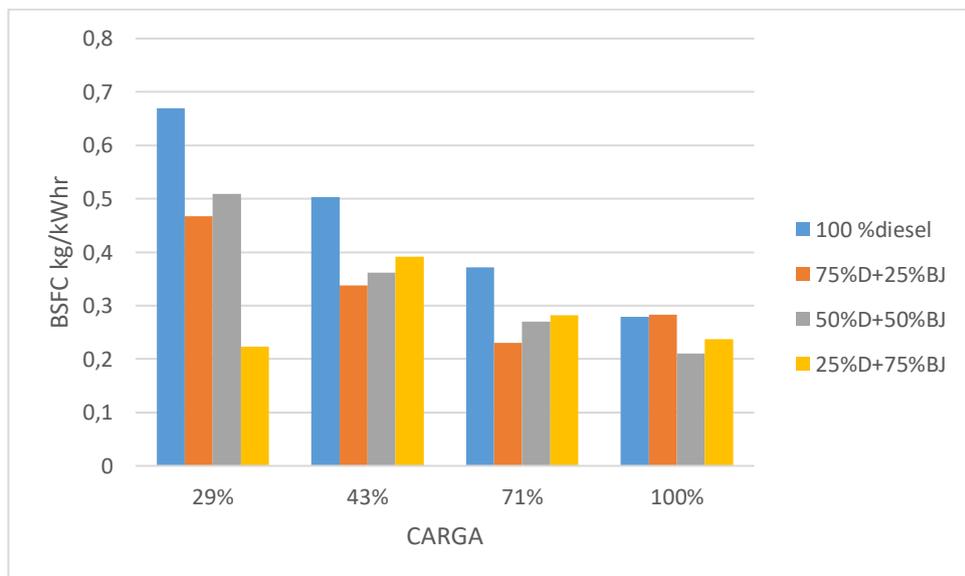


Figura 10. Consumo específico de combustible D/BJ.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 11 se puede ver que, para la eficiencia térmica al freno, conforme la carga disminuye a su vez disminuye el porcentaje de eficiencia al freno, esto debido a que ingresa una mayor cantidad de combustible y se obtiene una potencia de salida menor se observa que, para una carga del 100 % en el motor operando con Diésel, se obtiene un porcentaje de 30.85 % en BET, mientras con la mezcla de 25BJ se aumenta un 1.48 % de BET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50BJ se aumenta un 24.57 % de BET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75BJ se aumenta un 14.77 % de BET con respecto al Diésel, con una carga del 71 % en el motor operando con Diésel, se obtiene un porcentaje de 23.15 % en BET, mientras con la mezcla de 25BJ se aumenta un 37.93 % de BET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50BJ se aumenta un 27.2 % de BET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75BJ se aumenta un 24.09 % de BET con respecto al Diésel, para una carga del 43 % en el motor operando con Diésel, se obtiene un porcentaje de 17.1 % en BET, mientras con la mezcla de 25BJ se aumenta un 32.78 % de BET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50BJ se aumenta un 27.84 % de BET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75BJ se aumenta un 21.91 % de BET con respecto al Diésel, finalmente para una carga del 29 % en el motor operando con Diésel, se obtiene un porcentaje de 12.83 % en BET, mientras con la mezcla de 25BJ se aumenta un 30.27 % de BET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50BJ se aumenta un 24.08 % de BET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75BJ se aumenta un 17.22 % de BET con respecto al Diésel.

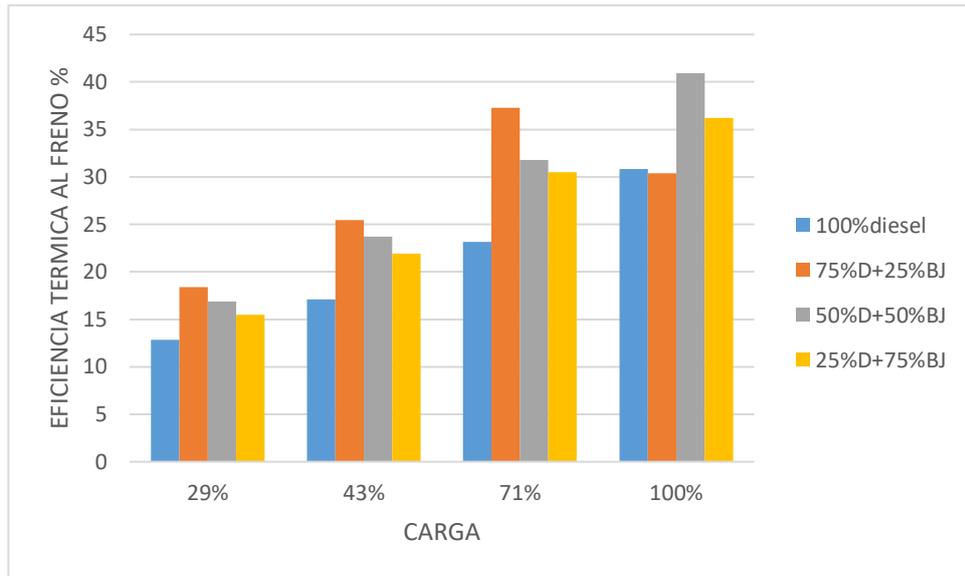


Figura 11. Eficiencia térmica frenado D/BJ.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 12 se puede ver que, la temperatura de gases de escape siempre es mayor utilizando Diésel ya que el rendimiento del motor disminuye un poco al utilizar biodiésel de Jatropha esto hace que la temperatura de gases de escape siempre sea mucho menor. Pero a su vez se puede observar que a medida que se reduce la carga se reduce la temperatura de los gases de escape tanto en Diésel como en mezclas, ya que el motor no trabaja con la misma cantidad de combustible inyectado por lo que se genera menor combustión ósea menor rendimiento se observa que, para una carga del 100 % en el motor operando con Diésel, se obtiene una temperatura de 380 °C en GET, mientras con la mezcla de 25BJ se disminuye un 39.70 % de GET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50BJ se disminuye un 46.15 % de GET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75BJ se disminuye un 49.01 % de GET con respecto al Diésel, con una carga del 71 % en el motor operando con Diésel, se obtiene una temperatura de 345 °C en GET, mientras con la mezcla de 25BJ se disminuye un 54.01 % de GET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50BJ se disminuye un 43.75 % de GET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75BJ se disminuye un 50 % de GET con respecto al Diésel, en esta carga se ve como el GET para las mezclas se empieza a estabilizar en una temperatura común, para una carga del 43 % en el

motor operando con Diésel, se obtiene una temperatura de 290 °C en GET, mientras con la mezcla de 25BJ se disminuye un 38.09 % de GET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50BJ se disminuye un 41.4 % de GET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75BJ se disminuye un 41.46 % de GET con respecto al Diésel, en esta carga se ve como el GET para las mezclas se estabilizan en una temperatura común finalmente para una carga del 29 % en el motor operando con Diésel, se obtiene una temperatura de 270 °C en GET, mientras con la mezcla de 25BJ se disminuye un 35 % de GET con respecto al Diésel, con la mezcla de 50BJ se disminuye un 35 % de GET con respecto al Diésel y para la mezcla de 75BJ se disminuye un 38.46 % de GET con respecto al Diésel, en esta carga se ve como el GET para las mezclas se estabilizan en una temperatura común.

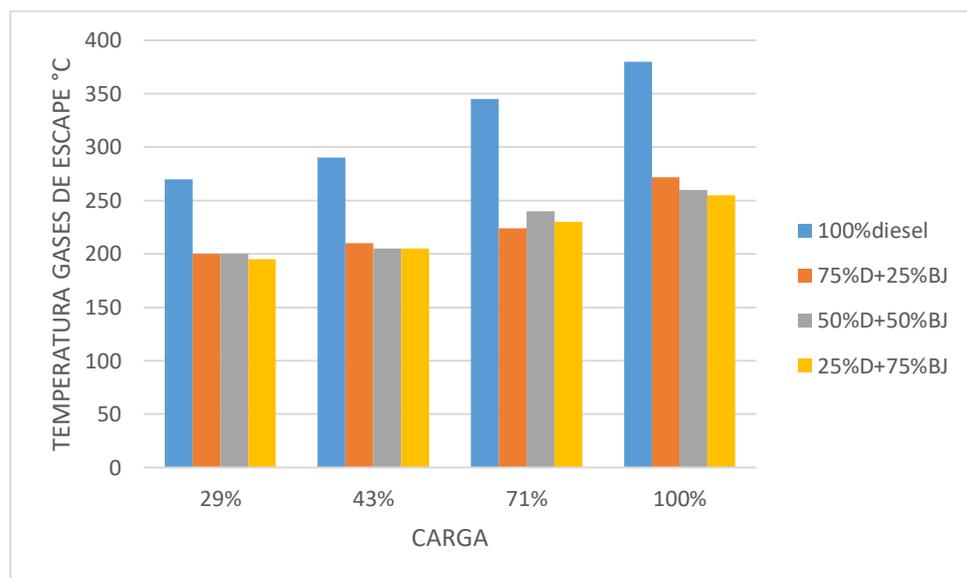


Figura 12. Temperatura gases de escape D/BJ.

Fuente. Elaboración propia

Ahora se puede hacer un análisis del Diésel, biodiésel y aceite de Jatropha en el BSFC, esto se muestra en la figura 13, donde se puede ver que a 100 % de carga en un motor que opera con Diésel tiene un BSFC de 0.279, mientras que uno que opera con biodiésel tiene un BSFC 29.36 % mayor que el que opera a Diésel y a su vez el motor que opera con aceite de Jatropha tiene un BSFC 29.27 % mayor que el que opera con Diésel, para una carga de 71 % se observa que

un motor que trabaja con Diésel tiene un BSFC de 0.372, mientras que un motor que opera con la BJ tiene un BSFC 4.85 % mayor que el que opera con Diésel y para un motor que trabaja con JO tiene un BSFC 5.10 % mayor que el que opera con Diésel, con una carga de 43 % se observa que un motor que trabaja con Diésel tiene un BSFC de 0.503, mientras que un motor que opera con BJ tiene un BSFC 16.43 % menor que el que opera con Diésel y para un motor que trabaja con JO tiene un BSFC 16.43 % menor que el que opera con Diésel finalmente para una carga de 29 % se observa que un motor que trabaja con Diésel tiene un BSFC de 0.67, mientras que un motor que opera con BJ tiene un BSFC 8.23 % menor que el que opera con Diésel y para un motor que trabaja con JO tiene un BSFC 8.23 % menor que el que opera con Diésel.

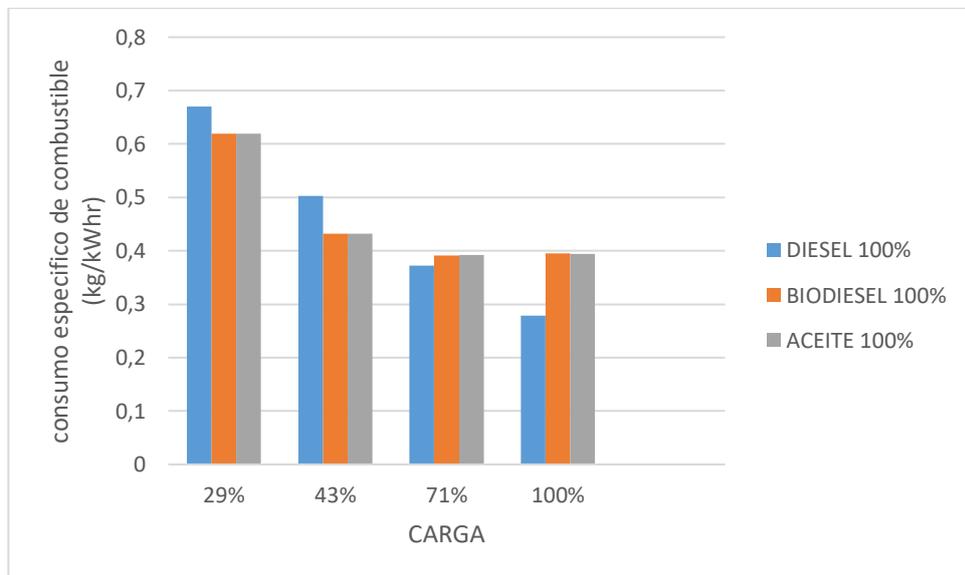


Figura 13. Consumo específico de combustible D/BJ/JO.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 14 se observa que a 100 % de carga un motor que opera con Diésel tiene un BSFC de 0.279, mientras que uno que opera con la mezcla 25JO tiene un BSFC 8.52 % mayor que el q opera con Diésel y el que opera con la mezcla 25BJ tiene un BSFC 1.41 % mayor que el que opera con Diésel, para una carga de 71% un motor que opera con Diésel tiene un BSFC de 0.372, mientras que un motor que opera con la mezcla 25JO tiene un BSFC 27.83 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 25BJ tiene un BSFC 61.73 % menor que el que opera con Diésel con una carga de 43 % un motor

que opera con Diésel tiene un BSFC de 0.503, mientras que un motor que opera con la mezcla 25JO tiene un BSFC 41.29 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 25BJ tiene un BSFC 48.81 % menor que el que opera con Diésel, finalmente para una carga de 29 % un motor que opera con Diésel tiene un BSFC de 0.67, mientras que un motor que opera con la mezcla 25JO tiene un BSFC 35.9 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 25BJ tiene un BSFC 43.46 % menor que el que opera con Diésel.

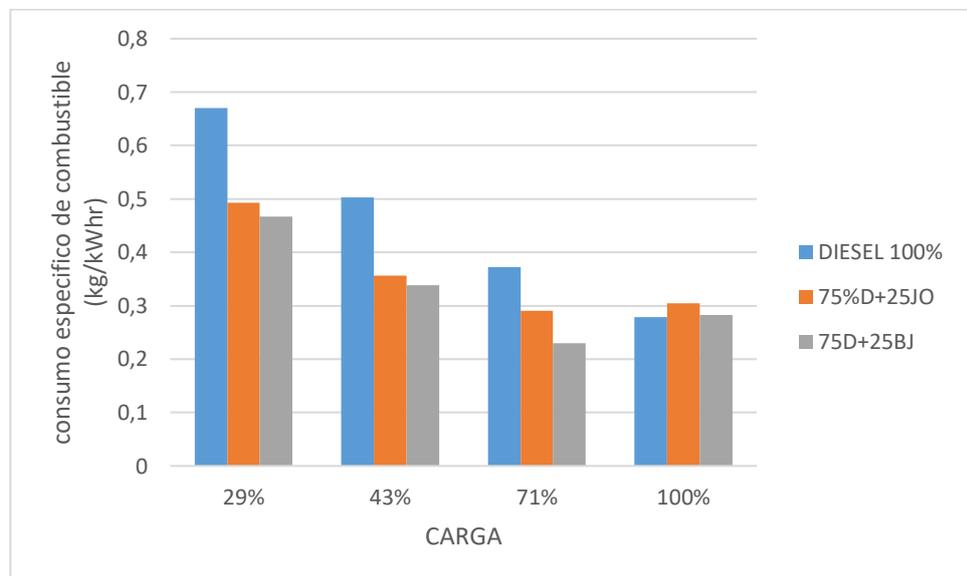


Figura 14. Consumo específico de combustible 75D/25JO/25BJ.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 15 se observa que a 100 % de carga un motor que opera con Diésel tiene un BSFC de 0.279, mientras que uno que opera con la mezcla 50JO tiene un BSFC 3.46 % mayor que el que opera con Diésel y el que opera con la mezcla 50BJ tiene un BSFC 32.50 % menor que el que opera con Diésel, para una carga de 71 % un motor que opera con Diésel tiene un BSFC de 0.372, mientras que un motor que opera con la mezcla 50JO tiene un BSFC 40.9 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 50BJ tiene un BSFC 37.77 % menor que el que opera con Diésel, para una carga de 43 % un motor que opera con Diésel tiene un BSFC de 0.503, mientras que un motor que opera con

la mezcla 50JO tiene un BSFC 45.37 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 50BJ tiene un BSFC 38.95 % menor que el que opera con Diésel, finalmente con una carga de 29 % un motor que opera con Diésel tiene un BSFC de 0.67, mientras que un motor que opera con la mezcla 50JO tiene un BSFC 39 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 50BJ tiene un BSFC 31.63 % menor que el que opera con Diésel.

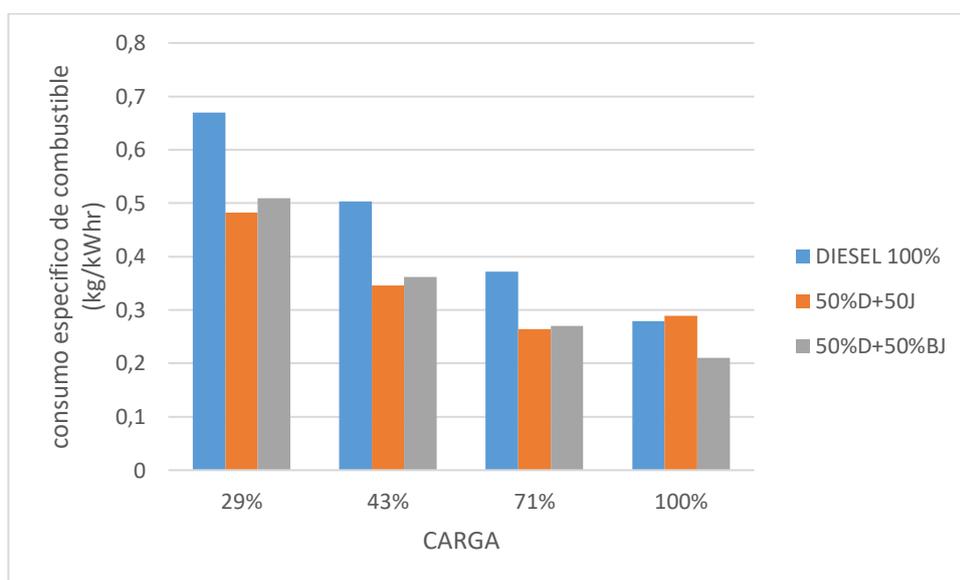


Figura 15. Consumo específico de combustible 50D/50JO/50BJ.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 16 se observa que a 100 % de carga un motor que opera con Diésel tiene un BSFC de 0.279, mientras que uno que opera con la mezcla 75JO tiene un BSFC 4.49 % menor que el que opera con Diésel y el que opera con la mezcla 75BJ tiene un BSFC 17.72 % menor que el que opera con Diésel, para una carga de 71 % un motor que opera con Diésel tiene un BSFC de 0.372, mientras que un motor que opera con la mezcla 75JO tiene un BSFC 22.77 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 75BJ tiene un BSFC 31.91 % menor que el que opera con Diésel, con una carga de 43 % un motor que opera con Diésel tiene un BSFC de 0.503, mientras que un motor que opera con la mezcla 75JO tiene un BSFC 15.10 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 75BJ tiene un BSFC 28.31 % menor que el

que opera con Diésel, finalmente para una carga de 29 % un motor que opera con Diésel tiene un BSFC de 0.67, mientras que un motor que opera con la mezcla 75JO tiene un BSFC 13.55 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 75BJ tiene un BSFC 66.71 % menor que el que opera con Diésel.

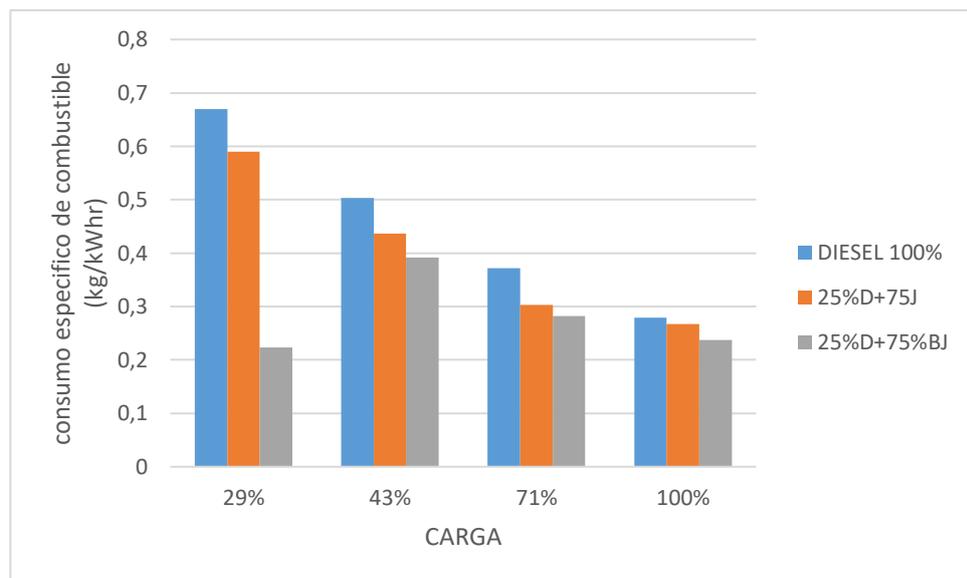


Figura 16. Consumo específico de combustible 25D/75JO/75BJ.

Fuente. Elaboración propia

Ahora se puede hacer un análisis del Diésel, biodiésel y aceite de Jatropha en el BET, esto se muestra en la figura 17, donde se puede ver que a 100 % de carga en un motor que opera con Diésel tiene un BET de 24.2, mientras que uno que opera con biodiésel tiene un BET 11.36 % menor que el que opera a Diésel y a su vez el motor que opera con aceite de Jatropha tiene un BET 11.36 % menor que el que opera con Diésel, para una carga de 71 % se observa que un motor que trabaja con Diésel tiene un BET de 23.15, mientras que un motor que opera con BJ tiene un BET 5.61 % menor que el que opera con Diésel y para un motor que trabaja con JO tiene un BET 5.61 % menor que el que opera con Diésel, con una carga de 43 % se observa que un motor que trabaja con Diésel tiene un BET de 17.1, mientras que un motor que opera con BJ tiene un BET 13.81 % menor que el que opera con Diésel y para un motor que trabaja con JO tiene un BET

13.81 % menor que el que opera con Diésel finalmente para una carga de 21 % se observa que un motor que trabaja con Diésel tiene un BET de 12.83, mientras que un motor que opera con BJ tiene un BET 7.29 % menor que el que opera con Diésel y para un motor que trabaja con JO tiene un BET 7.29 % menor que el que opera con Diésel.

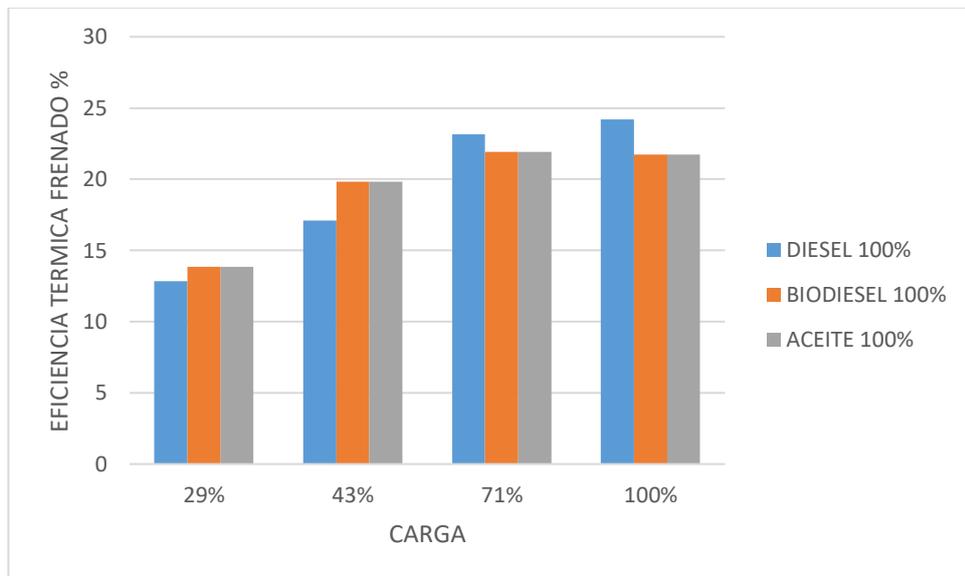


Figura 17. Eficiencia térmica frenado D/BJ/JO.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 18 se observa que a 100 % de carga un motor que opera con Diésel tiene un BET de 24.2, mientras que uno que opera con la mezcla 25JO tiene un BET 15.08 % mayor que el q opera con Diésel y el que opera con la mezcla 25BJ tiene un BET 20.39 % mayor que el que opera con Diésel para una carga de 71 % un motor que opera con Diésel tiene un BET de 23.15, mientras que un motor que opera con la mezcla 25JO tiene un BET 22.57 % mayor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 25BJ tiene un BET 37.93 % mayor que el que opera con Diésel, con una carga de 43 % un motor que opera con Diésel tiene un BET de 17.1, mientras que un motor que opera con la mezcla 25JO tiene un BET 30.06 % mayor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 25BJ tiene un BET 32.78 % mayor que el que opera con Diésel, finalmente para una carga de 29 % un motor que opera con Diésel tiene un BET de 12.83, mientras que un motor que opera con la mezcla 25JO tiene un

BET 27.30 % mayor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 25BJ tiene un BET 30.27 % mayor que el que opera con Diésel.

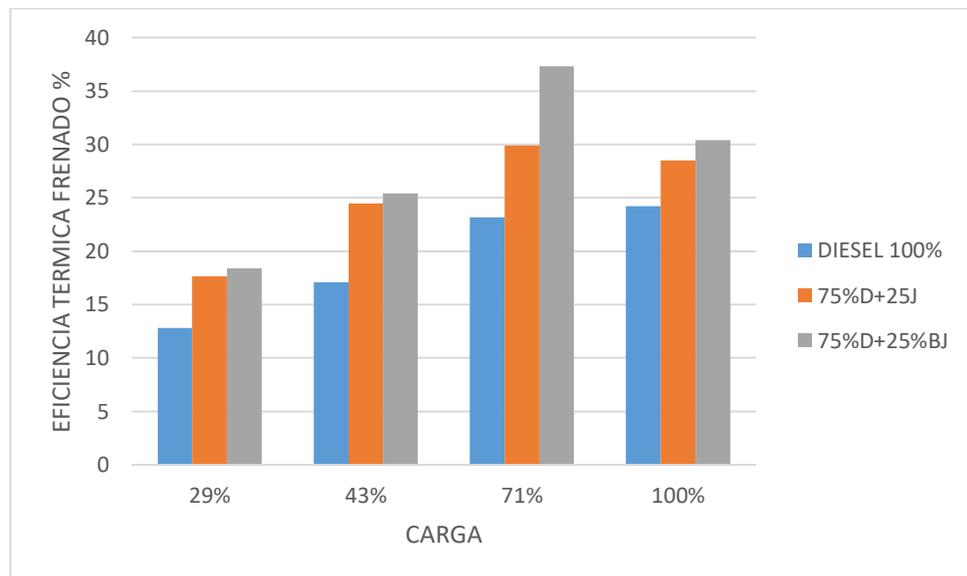


Figura 18. Eficiencia térmica frenado 75D/25JO/25BJ.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 19 se observa que a 100 % de carga un motor que opera con Diésel tiene un BET de 24.2, mientras que uno que opera con la mezcla 50JO tiene un BET 31.88 % mayor que el que opera con Diésel y el que opera con la mezcla 50BJ tiene un BET 40.83 % mayor que el que opera con Diésel, para una carga de 71 % un motor que opera con Diésel tiene un BET de 23.15, mientras que un motor que opera con la mezcla 50JO tiene un BET 30.75 % mayor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 50BJ tiene un BET 27.20 % mayor que el que opera con Diésel, con una carga de 43 % un motor que opera con Diésel tiene un BET de 17.1, mientras que un motor que opera con la mezcla 50JO tiene un BET 32.67 % mayor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 50BJ tiene un BET 27.84 % mayor que el que opera con Diésel, finalmente para una carga de 29 % un motor que opera con Diésel tiene un BET de 12.83, mientras que un motor que opera con la mezcla 50JO tiene un BET 29.89 % mayor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 50BJ tiene un BET 24.08 % mayor que el que opera con Diésel.

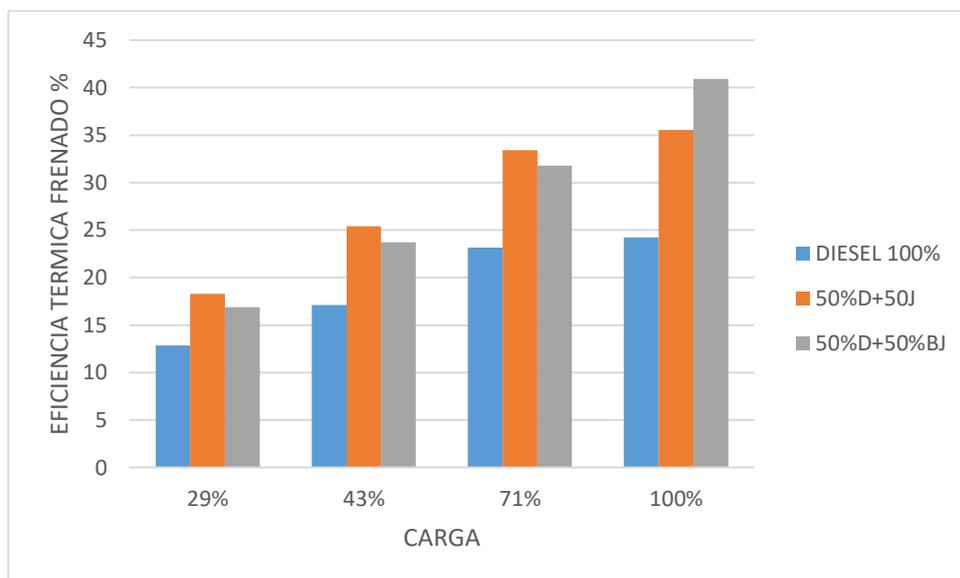


Figura 19. Eficiencia térmica frenado 50D/50JO/50BJ.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 20 se observa que a 100 % de carga un motor que opera con Diésel tiene un BET de 24.2, mientras que uno que opera con la mezcla 75JO tiene un BET 28.82 % mayor que el que opera con Diésel y el que opera con la mezcla 75BJ tiene un BET 33.14 % mayor que el que opera con Diésel, para una carga de 71 % un motor que opera con Diésel tiene un BET de 23.15, mientras que un motor que opera con la mezcla 75JO tiene un BET 22.70 % mayor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 75BJ tiene un BET 24.09 % mayor que el que opera con Diésel, con una carga de 43 % un motor que opera con Diésel tiene un BET de 17.1, mientras que un motor que opera con la mezcla 75JO tiene un BET 17.78 % mayor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 75BJ tiene un BET 21.91 % mayor que el que opera con Diésel, finalmente para una carga de 29 % un motor que opera con Diésel tiene un BET de 12.83, mientras que un motor que opera con la mezcla 75JO tiene un BET 16.68 % mayor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 75BJ tiene un BET 17.22 % mayor que el que opera con Diésel.

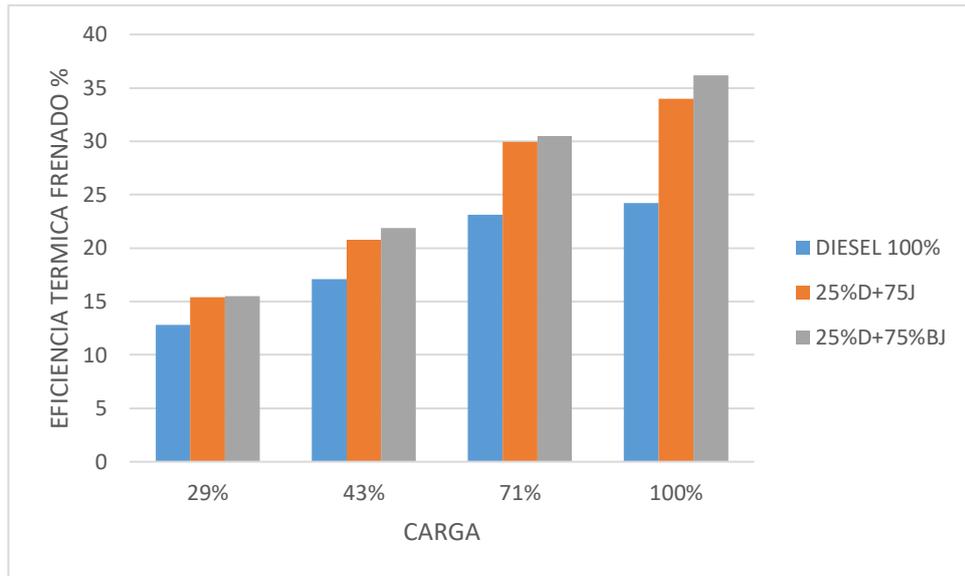


Figura 20. Eficiencia térmica frenado 25D/75JO/75BJ.

Fuente. Elaboración propia

Ahora se puede hacer un análisis del Diésel, biodiésel y aceite de Jatropha en el GET, esto se muestra en la figura 21, donde se puede ver que a 100 % de carga en un motor que opera con Diésel tiene un GET de 380 °C, mientras que uno que opera con biodiésel tiene un GET 5.26 % menor que el que opera a Diésel y a su vez el motor que opera con aceite de Jatropha tiene un GET 34.21 % menor que el que opera con Diésel, para una carga de 71 % se observa que un motor que trabaja con Diésel tiene un GET de 345 °C, mientras que un motor que opera con la BJ tiene un GET 21.73 % menor que el que opera con Diésel y para un motor que trabaja con JO tiene un GET 37.68 % menor que el que opera con Diésel, con una carga de 43 % se observa que un motor que trabaja con Diésel tiene un GET de 290 °C, mientras que un motor que opera con BJ tiene un GET 27.58 % menor que el que opera con Diésel y para un motor que trabaja con JO tiene un GET 33.10 % menor que el que opera con Diésel, finalmente para una carga de 29 % se observa que un motor que trabaja con Diésel tiene un GET de 270 °C, mientras que un motor que opera con BJ tiene un GET 25.92 % menor que el que opera con Diésel y para un motor que trabaja con JO tiene un GET 33.33 % menor que el que opera con Diésel.

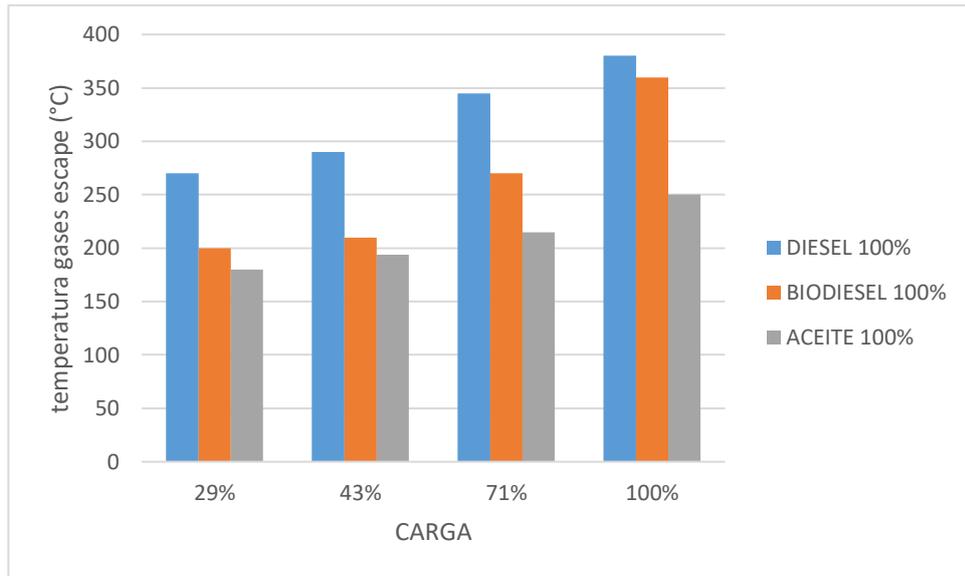


Figura 21. Temperatura gases escape D/BJ/JO.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 22 se observa que a 100 % de carga un motor que opera con Diésel tiene un GET de 380 °C, mientras que uno que opera con la mezcla 25JO tiene un GET 8.52 % menor que el q opera con Diésel y el que opera con la mezcla 25BJ tiene un GET 1.41 % menor que el que opera con Diésel, para una carga de 71 % un motor que opera con Diésel tiene un GET de 345 °C, mientras que un motor que opera con la mezcla 25JO tiene un GET 29.98 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 25BJ tiene un GET 35.07 % menor que el que opera con Diésel, con para una carga de 43 % un motor que opera con Diésel tiene un GET de 290 °C, mientras que un motor que opera con la mezcla 25JO tiene un GET 29.31 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 25BJ tiene un GET 27.58 % menor que el que opera con Diésel, finalmente con una carga de 29 % un motor que opera con Diésel tiene un GET de 270 °C, mientras que un motor que opera con la mezcla 25JO tiene un GET 26.6 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 25BJ tiene un GET 25.92 % menor que el que opera con Diésel.

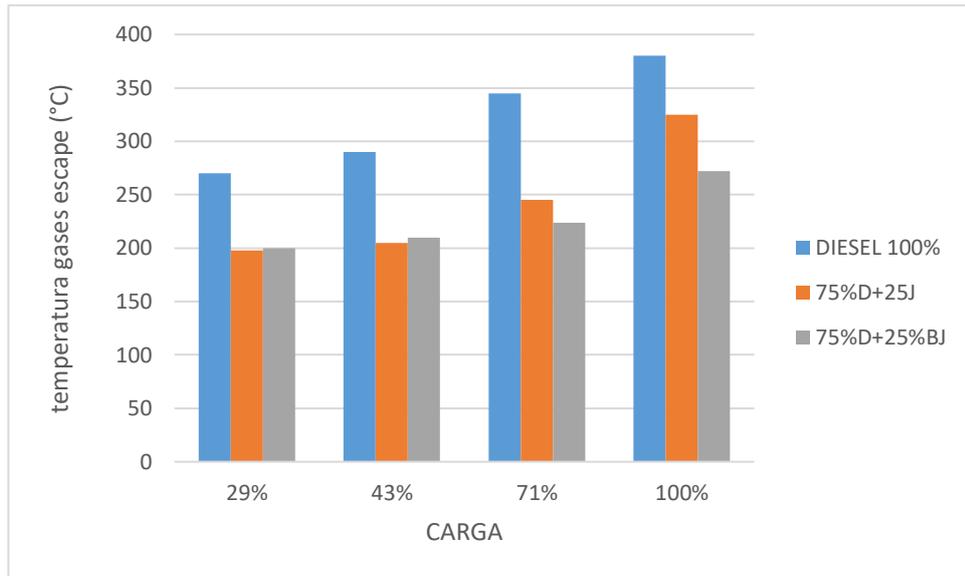


Figura 22. Temperatura gases escape 75D/25JO/25BJ.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 23 se observa que a 100 % de carga un motor que opera con Diésel tiene un GET de 380 °C, mientras que uno que opera con la mezcla 50JO tiene un GET 10.52 % menor que el que opera con Diésel y el que opera con la mezcla 50BJ tiene un GET 28.42 % menor que el que opera con Diésel, para una carga de 71 % un motor que opera con Diésel tiene un GET de 345 °C, mientras que un motor que opera con la mezcla 50JO tiene un GET 30.43 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 50BJ tiene un GET 35.07 % menor que el que opera con Diésel, con una carga de 43 % un motor que opera con Diésel tiene un GET de 290 °C, mientras que un motor que opera con la mezcla 50JO tiene un GET 27.58 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 50BJ tiene un GET 27.58 % menor que el que opera con Diésel, finalmente para una carga de 29 % un motor que opera con Diésel tiene un GET de 270 °C, mientras que un motor que opera con la mezcla 50JO tiene un GET 25.92 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 50BJ tiene un GET 25.92 % menor que el que opera con Diésel.

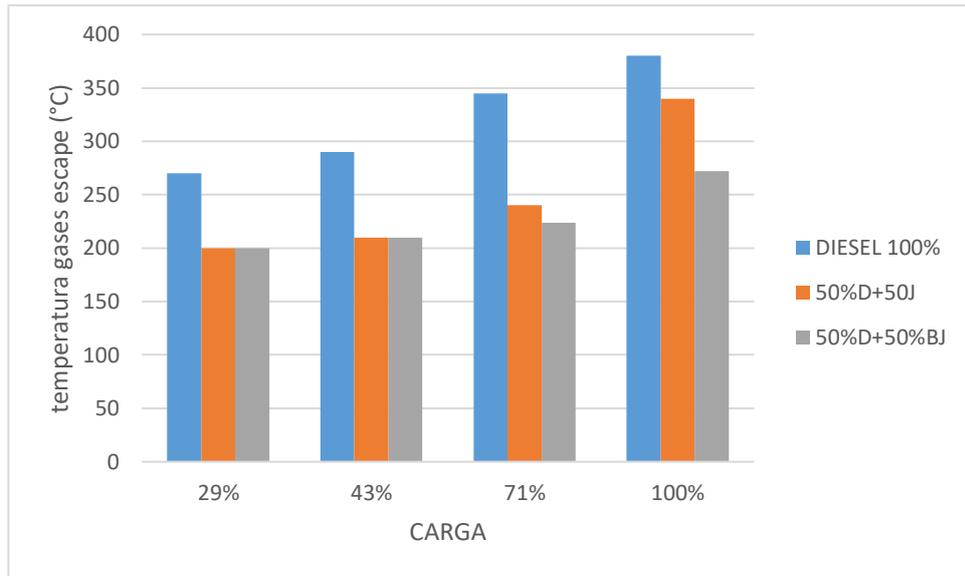


Figura 23. Temperatura gases de escape 50D/50JO/50BJ.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 24 se observa que a 100 % de carga un motor que opera con Diésel tiene un GET de 380 °C, mientras que uno que opera con la mezcla 75JO tiene un GET 34.21 % menor que el que opera con Diésel y el que opera con la mezcla 75BJ tiene un GET 31.57 % menor que el que opera con Diésel, para una carga de 71 % un motor que opera con Diésel tiene un GET de 345 °C, mientras que un motor que opera con la mezcla 75JO tiene un GET 33.33 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 75BJ tiene un GET 30.43 % menor que el que opera con Diésel, con para una carga de 43 % un motor que opera con Diésel tiene un GET de 290 °C, mientras que un motor que opera con la mezcla 75JO tiene un GET 27.58 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 75BJ tiene un GET 29.31 % menor que el que opera con Diésel, finalmente para una carga de 29 % un motor que opera con Diésel tiene un GET de 270 °C, mientras que un motor que opera con la mezcla 75JO tiene un GET 25.92 % menor que el que opera con Diésel y un motor que opera con la mezcla 75BJ tiene un GET 25.92 % menor que el que opera con Diésel.

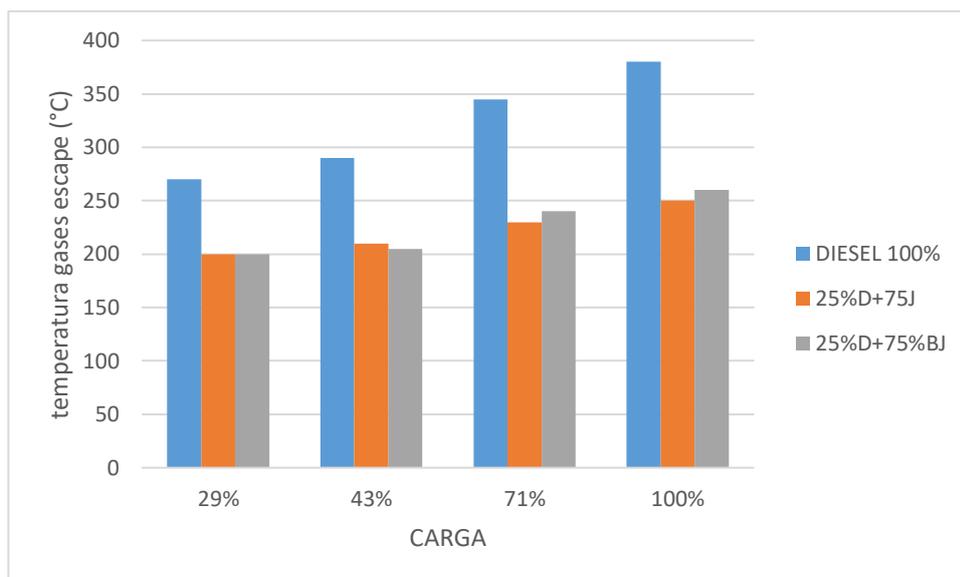


Figura 24. Temperatura gases escape 25D/75JO/75BJ.

Fuente. Elaboración propia

## Emisión de CO<sub>2</sub>

Los niveles de emisión de CO<sub>2</sub> para varias mezclas de biocombustible y Diésel se muestran en la figura 25. Los resultados revelan que la emisión de CO<sub>2</sub> para todas las mezclas es menor en comparación con el Diésel en todas las cargas. La tendencia ascendente de la emisión de CO<sub>2</sub> con la carga se debe a la mayor entrada de combustible a medida que aumenta la carga. Para el Diésel fue 9.1 %. Para una mezcla de B10 disminuyó a 8.9 % y para B50 fue la más baja a 7.1 %. Las mediciones han demostrado que la emisión de CO<sub>2</sub> para las mezclas fue menor en comparación con el Diésel que oscila entre el 2 % y el 8,9 % desde cero a la carga completa. Una mayor densidad de las mezclas aumenta la velocidad del flujo de combustible a medida que aumenta la carga, lo que a su vez aumenta la emisión de CO<sub>2</sub> con la carga. El biodiésel contiene un menor contenido de carbono en comparación con el Diésel y, por lo tanto, la emisión de CO<sub>2</sub> es comparativamente menor [75].

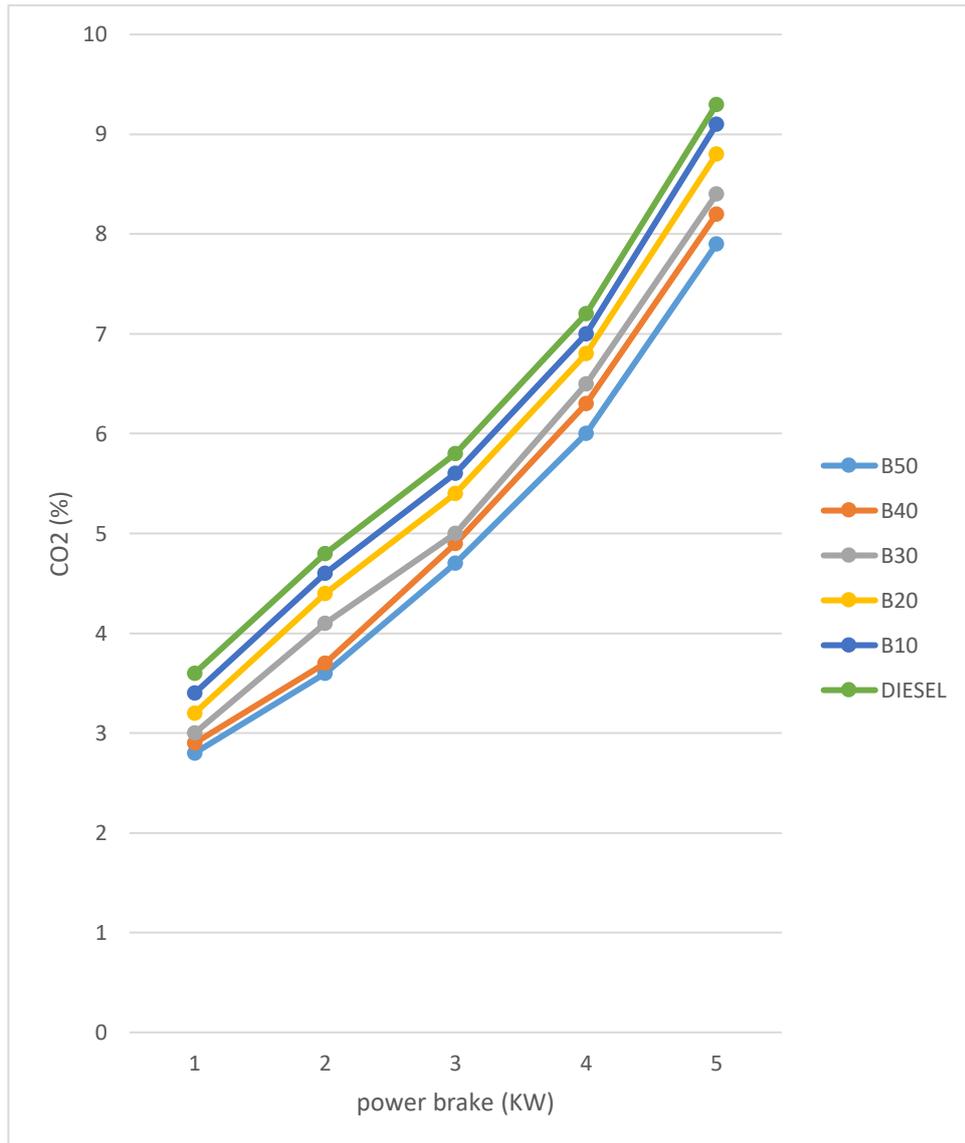


Figura 25. Emisiones CO<sub>2</sub>.

Fuente. Elango, T., et al. : Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine ... THERMAL SCIENCE, Year 2011, Vol. 15, No. 4, pp. 1205-1214

### Emisión de NOx

La variación de la emisión de NOx para diferentes mezclas se indica en la figura 26. La emisión de NOx para el Diésel y todas las mezclas de biodiésel siguió una tendencia creciente con respecto a la carga. Para las mezclas de biodiésel, se encuentra un aumento en la emisión en todas las cargas en comparación con el Diésel. La emisión de NOx se forma generalmente a altas temperaturas. Como

las temperaturas de los gases de escape son más altas, las emisiones de NOx también son más altas [76].

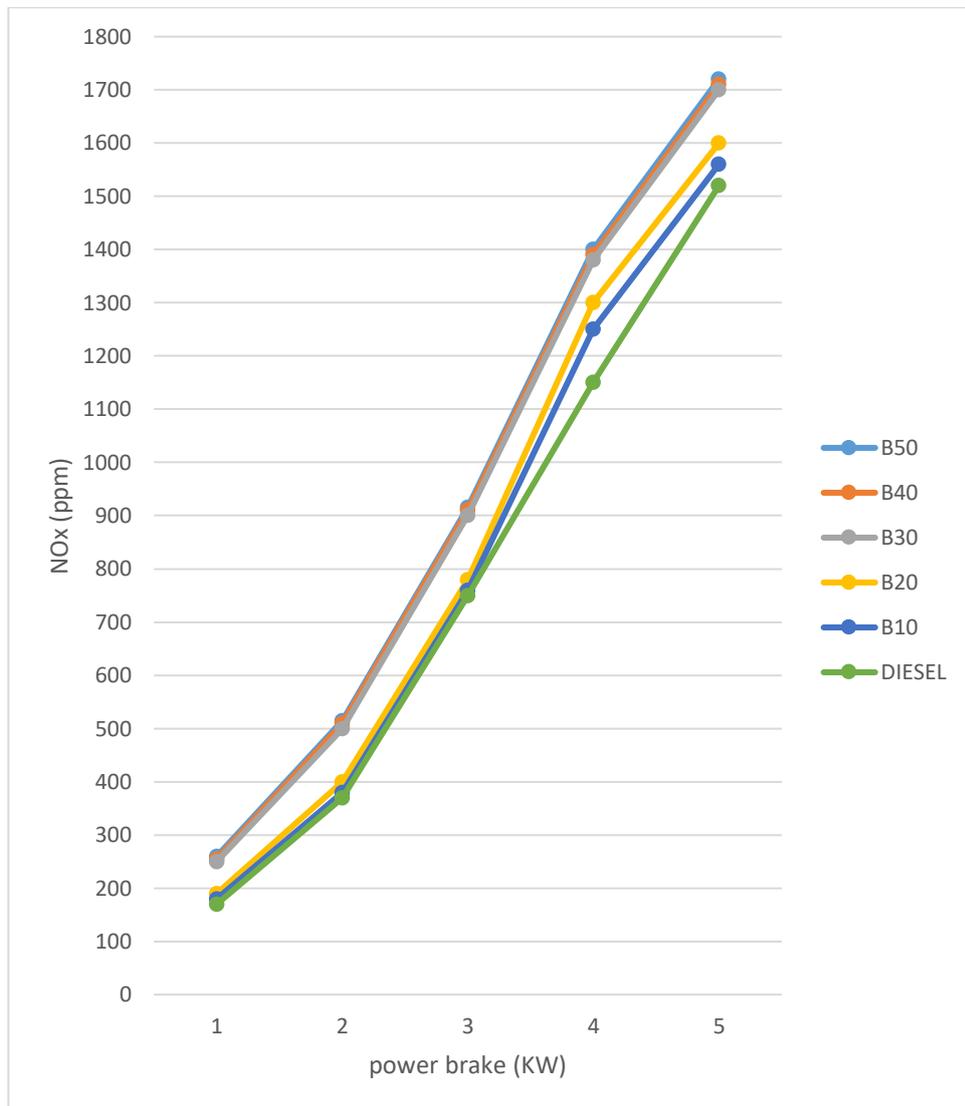


Figura 26. Emisiones NOx.

Fuente. Elango, T., et al. : Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine ... THERMAL SCIENCE, Year 2011, Vol. 15, No. 4, pp. 1205-1214

### Emisión de CO

La variación de la emisión de CO con potencia de frenado se muestra en la figura 27. Se observa que el motor emite más CO para Diésel en condiciones de carga parcial en comparación con las mezclas de biodiésel. Pero a medida que aumenta la proporción de aceite de Jatropha en la mezcla, disminuye el porcentaje de emisión. Sin embargo, la variación porcentual de CO para todas

las mezclas de biodiésel en comparación con el Diésel de línea base es mucho menor [77].

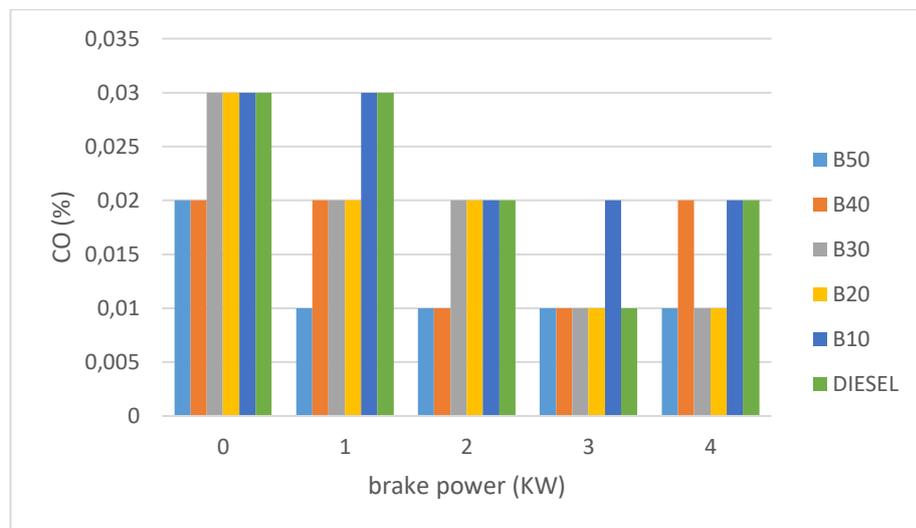


Figura 27. Emisiones CO.

Fuente. Elango, T., et al. : Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine ... THERMAL SCIENCE, Year 2011, Vol. 15, No. 4, pp. 1205-1214

### Emisión de HC

La variación de la emisión de HC para diferentes mezclas se presenta en la figura 28. Se observa que la emisión de HC disminuyó hasta una carga de 2.1 kW y luego aumentó ligeramente con un aumento adicional de la carga para el Diésel. La emisión de HC para las mezclas también siguió una tendencia similar, pero comparativamente los valores son más bajos. La presencia de oxígeno en el aceite de Jatropha ayuda a la combustión y, por lo tanto, reduce la emisión de HC. Sin embargo, a mayores cargas, los efectos de la viscosidad han aumentado estos niveles de emisión para las mezclas de biodiésel [78].

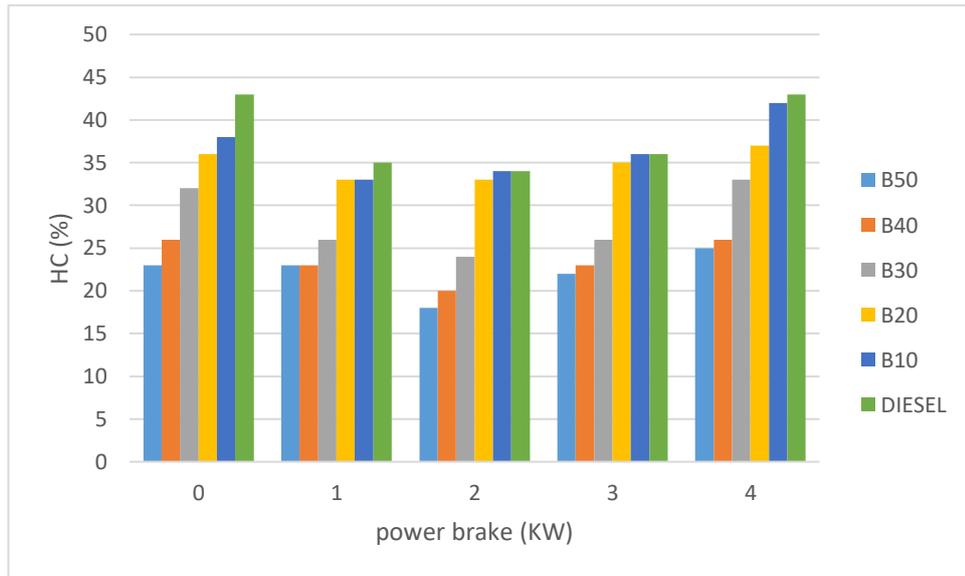


Figura 28. Emisiones HC.

Fuente. Elango, T., et al. : Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine ... THERMAL SCIENCE, Year 2011, Vol. 15, No. 4, pp. 1205-1214

La revisión de estos artículos muestra que en realidad la aplicación de un biocombustible a un motor Diésel sin modificaciones y las mezclas correctas tiene más aspectos positivos que negativos tanto para la maquina como para el medio ambiente, pero desafortunadamente no se puede generalizar ya que intervienen muchas variables como el tipo de motor el tipo de mezcla etc, pero gracias a estos estudios alrededor del mundo se logran similitudes que permiten crear una referencia.

## 8 CONCLUSIONES

- Con la elaboración de esta revisión del estado del arte se logró encontrar la necesidad de impulsar e incentivar en Colombia y en el mundo la investigación experimentación y desarrollo de la utilización de biocombustibles que constituyen una activación del sector agrícola y una diversificación energética, así como la gran ventaja que incentiva el reciclaje de un aceite o la utilización de una planta considerada toxica sin ningún uso aparente que no representa ningún riesgo para el plantea su utilización .
- Habiendo leído y analizado la literatura para elaborar el presente trabajo de grado, se puede destacar el hecho de que los motores que operan con Diésel convencional pueden trabajar con cualquier tipo de biocombustible en este caso en particular con aceite de Jatropha, ya que se pudo evidenciar que no se presenta ningún problema al momento de arrancar el motor y se ejecutó sin problemas en todo el rango del porcentaje de aceite de Jatropha en las mezclas de combustible, por lo que se puede usar directamente como combustible alternativo como reemplazo del combustible Diésel y como se dijo anteriormente no requiere alguna modificación importante en el motor Diésel existente.
- Con el análisis de cada artículo se logra comprobar el potencial de la Jatropha curcas y sus grandes ventajas sobre sus competidores más cercanos ya que se puede considerar un combustible sostenible. Durante el proceso de obtención del aceite tanto la cascara como la torta de la planta se pueden utilizar también para generar distintos tipos de electricidad y biogás, esto quiere decir que la producción de energía se puede hasta triplicar.

- El biodiésel es un sustituto viable del combustible Diésel a base de petróleo. Sus ventajas son una lubricidad mejorada, un mayor índice de cetano, extremadamente seguro de manejar y además presenta una reducción del CO<sub>2</sub>, HC y CO, lo que hace viable ambientalmente el uso de biocombustibles para motores diésel.
- Con el uso de biocombustibles a partir de Jatropha, los parámetros de desempeño se ven afectados porque se disminuyen principalmente por su bajo poder calorífico inferior que es un 15% respecto al diésel no obstante la reducción de este no afecta la operabilidad del motor.
- Las mezclas por encima del 30% (en volumen) disminuye la eficiencia térmica del motor, aumenta la temperatura del gas de escape y los parámetros de emisión como la opacidad del humo, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO y HC en el escape del motor.

## 9 RECOMENDACIONES

- Utilizar un mejor método para la recopilación, manejo y clasificación de los artículos científicos y las referencias bibliográficas.
- Realizar una investigación mucho más profunda sobre las emisiones de NOx producidas ya que existen muchos vacíos en cuanto al mecanismo de producción de esta emisión.
- Categorizar más profundamente los artículos científicos teniendo en cuenta variables más específicas de cada texto.
- Acceder a bases de datos más especializadas en el tema para así estar lo más actualizado en este tema

## 10 BIBLIOGRAFIA GENERAL

- [1] Lenntech, combustibles fosiles. (online)(pagina oficial de lenntech), (citado marzo 3 2018). Disponible en <https://www.lenntech.es/efecto-invernadero/combustibles-fosiles.htm>.
- [2] Alianza Flotillera, Laimportancia del diésel. (online)(pagina ofical de alianza flotillera), (citado marzo 3 2018). Disponible en <http://www.alianzaflotillera.com/noticias/la-importancia-del-diésel/>.
- [3] (Barnwal, 2005) (Vijaya Raju et al. alii, 2000)
- [4] (Altón, 1998).
- [5] MANUAL DE JATROPA, versión española. FACT, 2009.14p.
- [6] MANUAL DE JATROPA, versión española. FACT, 2009.86p.
- [7] Indi, V.: Analysis of performance and combustion characteristics of diésel engine operating on multi-blend biodiésel. En: International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development 3 (2014), p. 11–22.
- [8] Biodiésel argentina, propiedades y beneficios del biodiésel. (online) (página oficial biodiésel argentina), (citado marzo 3 2018). Disponible en <https://biodiésel.com.ar/propiedades-y-beneficios-del-biodiésel>.
- [9] Ecogestos, biodiésel: características de este combustible de origen vegetal. (online) (página oficial ecogestos), (citado marzo 3 2018). Disponible en <https://www.ecogestos.com/biodiésel-caracteristicas-de-este-combustible-de-origen-vegetal/>.
- [10]Galaz, A.: Jatropha curcas una alternative para la obtención de Biodiésel sin afectar el sector alimentario. (2004).
- [11] (Forson et alii, 2004) (Agarwal et alii, 2007).

- [12] Pedrero, S. Viabilidad técnica y económica de la implementación de una planta de producción de biodiésel. (en línea), (citado marzo 10 2018), disponible [http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/pedrero\\_s/sources/pedrero\\_s.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/pedrero_s/sources/pedrero_s.pdf).
- [13] La economía, producción y consumo de petróleo. (online)(página oficial de la economía), Estados Unidos Mexicanos 2017, (citado marzo 3 2018). disponible en <http://laeconomia.com.mx/consumo-mundial-de-petroleo/>.
- [14] MANUAL DE JATROPA, versión española. FACT, 2009.p88.
- [15] MANUAL DE JATROPA, versión española. FACT, 2009.p12
- [16] Acuerdo de París. (en línea) Unión Europea 2016, (citado marzo 10 2018). Disponible en [https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es)
- [17] FACT, Fuel from Agriculture Communal Technology, FACT Jatropha Handbook, 2009.
- [18] Eumed, la producción y el uso de biodiésel en España. Caso particular de Andalucía 2006. (online), (citado marzo 3 2018). Disponible en <http://www.eumed.net/ce/2006/ajct.htm>.
- [19] Las especies del género *Jatropha curcas* para producir biocombustibles. (en línea) 2015, (citado marzo 10 2018), disponible <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Espgenjatprobioar.pdf>.
- [20] Rodar con aceite vegetal. (en línea) ecohabitar 2013, (citado marzo 10 2018). Disponible en <http://www.ecohabitar.org/tag/utilizacion-de-aceite-vegetal-en-motores-diesel/>.
- [21] El biodiésel como un sustituto de los combustibles fósiles no funciona del todo. (en línea) revista dinero 2015, (citado marzo 10 2018), disponible <http://www.dinero.com/pais/articulo/biodiesel-colombia/214602>.

- [22] *Jatropha*. (en línea) esacademic 2010, (citado marzo 10 2018) disponible en <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/37640>.
- [23] *Jatropha*. (en línea) esacademic 2010, (citado marzo 10 2018) disponible en <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/37640>.
- [24] *Jatropha*. (en línea) esacademic 2010, (citado marzo 10 2018) disponible en <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/37640>.
- [25] *Jatropha*. (en línea) esacademic 2010, (citado marzo 10 2018) disponible en <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/37640>.
- [26] (Cav.) F. Muell 2009.
- [27] Instituto de Ecología; Herbario de la Facultad de Ciencias UNAM – Jaime Jiménez Ramírez.
- [28] *Jatropha en el Chaco*. Diario ABC Digital. <http://archivo.abc.com.py/suplementos/rural/articulos.php?pid=424986>. Consultado el 9 sept 2008.
- [29] *Jatropha Chaco*. Incorporación del cultivo *Jatropha Curcas* L en zonas marginales de la provincia de chaco. <http://www.jatrophachaco.com/portal/index>. Consultado el 9 sept 2008.
- [30] *Carlos Casado SA en el Chaco*. El Economista. 2 de mayo de 2008. <http://www.eleconomista.es/economia/noticias/518424/05/08/Economia-Empresas-El-presidente-de-SanJose-asume-tambien-la-presidencia-de-su-participada-argentina-Carlos-Casado.htm>.
- [31] *Jatropha*. (en línea) esacademic 2010, (citado marzo 10 2018) disponible en <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/37640>.
- [32] *Jatropha*. (en línea) esacademic 2010, (citado marzo 10 2018) disponible en <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/37640>.
- [33] MANUAL DE JATROPA, versión española. FACT, 2009.p133.

- [34] Cabrera, Rodríguez, Frontela, Espinoza, Ortega, Pérez, Caracterización de un motor Diésel trabajando con mezclas de aceite de Jatropha y combustible Diésel, 2013.
- [35] Kumar, Rameh, Nagalingam, An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine, 2003.
- [36] Datta, Palit, Mandal, An experimental study on the performance and emission characteristics of a CI engine fuelled with Jatropha biodiésel and its blends with diésel, 2014.
- [37] Liaquat, Masjuki, Kalam, Varman, Hazrat, Shahabuddin, Mofijur, Application of blend fuels in a diésel engine, 2011.
- [38] Sagar, Agarwal, Kumar, Nanthagopal, Effect of EGR on Emissions from a Single Cylinder Diésel Engine Using Jatropha Biodiésel Blends.
- [39] Prasad, Pradhan, Das, Naik, Experimental assessment of toxic phorbol ester in oil, biodiésel and seed cake of Jatropha curcas and use of biodiésel in diésel engine, 2011.
- [40] Manieniyam, Sivaprakasam, Investigation of Diésel Engine Using Bio-Diésel (Methyl Ester of Jatropha Oil) for Various Injection Timing and Injection Pressure, 2008.
- [41] Maina, Investigation of fuel properties and engine analysis of Jatropha biodiésel of Kenyan origin, 2014.
- [42] Kawade, Satpute, Jatropha Biodiésel Blending with Diésel Fuel Suitable for Diésel Engine, 2013.
- [43] Luijten, Kerkhof, Jatropha oil and biogas in a dual fuel CI engine for rural electrification, 2010.
- [44] Varatharajan, Cheralathan, Velraj, Mitigation of NOx emissions from a jatropha biodiésel fuelled DI diésel engine using antioxidant additives, 2011.

- [45] Gamboa, Serrano, Particle matter from a diésel engine fueled with jatropha curcas oil biodiésel and ultra-low sulphur diésel, 2012.
- [46] Tan, Hu, Lou, LI, Particle Number and Size Distribution from a Diésel Engine with Jatropha Biodiésel Fuel, 2009.
- [47] Millo, Vezza, Vlachos, Filippo, Ciaravino, Russo, Fino, Particle Number and Size Emissions from a Small Displacement Automotive Diésel Engine: Bioderived vs Conventional Fossil Fuels, 2012.
- [48] Kondo, Yamame Kawasaki, Potential of a Dual Fuel DI Diésel Engine Fuelled with Jatropha Curcas L. Oil and Producing Gas Derived from Biomass, 2012.
- [49] Chauhan, Kumar, Cho, A study on the performance and emission of a diésel engine fueled with Jatropha biodiésel oil and its blends, 2011.
- [50] Yogish, Chandarshekara, Kumar, A study of performance and emission characteristics of computerized CI engine with composite biodiésel blends as fuel at various injection pressures, 2013.
- [51] Indi, Navadagi, analysis of performance and combustible characteristics of diésel engine operating multi-blend biodiésel, 2014.
- [52] Millo, Ferraro, Vezza, Vlachos, Analysis of Performance and Emissions of an Automotive Euro 5 Diésel Engine Fuelled with B30 from RME and JME, 2011.
- [53] Elango, Senthilkumar, Combustion and emission characteristics of a diésel engine fuelled with jatropha and diésel oil blends, 2011.
- [54] Zhang, Huang, Wang, Zheng, Combustion and emission characteristics of a turbo-charged common rail diésel engine fuelled with diésel-biodiésel-DEE blends, 2011.

- [55] Westphal, Krahl, Munack, Rosenkranz, Schroder, Schaak, Pabst, Bruning, Bunger, Combustion of Hydrotreated Vegetable Oil and Jatropha Methyl Ester in a Heavy-Duty Engine: Emissions and Bacterial Mutagenicity, 2013.
- [56] Gogoi, Talukdar, Baruah, Comparative Analysis of Performance and Combustion of Koroch Seed Oil and Jatropha Methyl Ester blends in a Diésel Engine, 2011.
- [57] Jindal, Nandwana, Rathore, Comparative Evaluation of Combustion, Performance, and Emissions of Jatropha Methyl Ester and Karanj Methyl Ester in a Direct Injection Diésel Engine, 2009.
- [58] Sahoo Das, Babu, Arota, Singh, Kumar, Varyani, Comparative evaluation of performance and emission characteristics of jatropha, karanja and polanga based biodiésel as fuel in a tractor engine, 2009.
- [59] Huang, Wang, Qin, Roskilly, Comparative study of performance and emissions of a diésel engine using Chinese pistache and jatropha biodiésel, 2010.
- [60] Janardhan, Krishna, Ushasri, Murthy, control of exhaust emissions of jatropha oil in crude form and biodiésel from high grade low heat rejection diésel engine, 2013.
- [61] Gopinath. Sairam, Sukumar, Ganesan, Effect of FFA of Jatropha Curcas L Oil on Performance and Emissions of a DI Diésel Engine, 2012.
- [62] Gangwar, Agarwal, Emission and Combustion Characteristics of Vegetable Oil (Jatropha curcus) Blends in an Indirect Ignition Transportation Engine, 2008.
- [63] Jain, Sharma, Engine performance and emission analysis using oxidatively stabilized Jatropha curcas biodiésel, 2012.
- [64] Tan, Hu, Lou, Li, Exhaust emissions from a light-duty diésel engine with Jatropha biodiésel fuel, 2012.

- [65] Nabi, HUstad, Influence of Biodiésel Addition to Fischer-Tropsch Fuel on Diésel Engine Performance and Exhaust Emissions, 2010.
- [66] Ganapathy, Gakkhar, Murugesan, Influence of injection timing on performance, combustion and emission characteristics of Jatropha biodiésel engine, 2011.
- [67] Sivaramakrishnan, Ravikumar, Optimization of operational parameters on performance and emissions of a diésel engine using biodiésel, 2013.
- [68] Banapurmath, Tewari, Hosmath, Performance and emission characteristics of a DI compression ignition engine operated on Honge, Jatropha and sesame oil methyl esters, 2008.
- [69] Singh, Performance and emission characteristics of conventional engine running on jatropha oil, 2013.
- [70] hauhan, Kumar, Jun, Lee, Performance and emission study of preheated Jatropha oil on medium capacity diésel engine, 2010.
- [71] Agarwal, K. Agarwal, Performance and emissions characteristics of Jatropha oil (preheated and blends) in a direct injection compression ignition engine, 2007.
- [72] Forson, Hammond-Donkoh, Performance of jatropha oil blends in a diésel engine, 2003.
- [73] Agarwal, Dhar, Performance, Emission and Combustion Characteristics of Jatropha Oil Blends in a Direct Injection CI Engine, 2009.
- [74] Cui, Kim, Fujii, Kusaka, Daisho, The Effects of Jatropha-derived Biodiésel on Diésel Engine Combustion and Emission Characteristics, 2012.
- [75] Elango, Senthilkumar, Combustion and emission characteristics of a diésel engine fuelled with jatropha and diésel oil blends, 2011.

- [76] Elango, Senthilkumar, Combustion and emission characteristics of a diésel engine fuelled with jatropha and diésel oil blends, 2011.
- [77] Elango, Senthilkumar, Combustion and emission characteristics of a diésel engine fuelled with jatropha and diésel oil blends, 2011.
- [78] Elango, Senthilkumar, Combustion and emission characteristics of a diésel engine fuelled with jatropha and diésel oil blends, 2011.