

ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES DE ESCAPE EN UN MOTOR CON INYECCIÓN UPS USANDO BIODIÉSEL B5 A BASE DE ACEITE DE HIGUERILLA

ANALYSIS OF EMISSIONS OF EXHAUST GASES IN AN ENGINE WITH UPS INJECTION USING BIODIESEL B5 BASED ON CASTOR OIL

Cristian Raynier Godoy Jurado 1¹

Resumen

En el presente artículo se realiza un análisis de impacto del uso de biodiésel de higuera o ricino en lo que respecta a opacidad en motores de combustión interna por compresión, para lo cual se realizaron pruebas de análisis de la concentración de hollín en el humo generado por el escape, para su realización, se usó un motor diésel de tracto camión (TCM) con sistema de inyección UPS (inyector-bomba) y una mezcla de biodiésel en concentración del 5% (B5). Se tomaron tres puntos en específico para la realización de las pruebas a diferentes alturas sobre el nivel del mar; a 1607, 2207 y 2895 msnm. En cada una de las alturas antes mencionadas, se efectuaron ensayos estacionarios de opacidad tanto con combustible diésel convencional como con el biocombustible B5 de higuera, analizando el efecto que causa la altitud en la opacidad de los gases de escape, en donde se logró obtener mediante el uso del biodiésel B5 una reducción de opacidad promedio del 42,95% con relación al diésel convencional, luego los resultados obtenidos fueron comparados con una normativa de control de emisiones ecuatoriana y una internacional (mexicana), en las cuales se cumplieron los requisitos de control con éxito.

Palabras Clave: higuera, opacidad, TCM, UPS.

Abstract

In the present article, an analysis of the impact of the use of castor oil biodiesel is made regarding opacity in internal combustion engines by compression, for which tests were performed to analyze the concentration of soot in the smoke generated by the escape. To carry out the tests, a heavy-duty truck (HDT) diesel engine with UPS injection system (pump-injector) and a mixture of biodiesel in a concentration of 5% (B5) were used. Three specific points were taken to carry out the tests at different heights above sea level; at 1607, 2207 and 2895. In each of the heights mentioned above, stationary opacity tests were carried out with both conventional diesel fuel and with castor biodiesel B5, analyzing the effect that cause the altitude in the opacity of the exhaust gases, where it was possible to obtain using castor oil biodiesel B5 an average opacity reduction of 42,95% in relation of conventional diesel fuel, then the results obtained were compared with an Ecuadorian and an international emission control regulation (Mexican), in which the control requirements were met successfully.

Keywords: castor, HDT, opacity, UPS.

¹ Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, Universidad Técnica del Norte – Ibarra.

² Autor por correspondencia: crgodoyj@utn.edu.ec

1. Introducción

La contaminación ambiental y drásticos cambios climáticos ha llevado a la búsqueda de una alternativa sustentable, renovable y limpia que reemplace los combustibles de origen fósiles, para de esta manera contrarrestar las grandes cantidades de emisiones contaminantes al ambiente por parte del área del transporte. Del mismo modo, de alguna manera reducir los problemas internos de los motores de combustión interna diésel, como la vida útil de los mismos relacionados a la calidad de combustible presentes en el país, y a problemas de salud que puede producir la combustión del diésel convencional.

Se analiza los principios de funcionamiento generales de un motor de combustión interna diésel, así como el efecto de la altitud en el comportamiento del motor, y luego adentrarnos al conocimiento de la historia y evolución de los camiones pesados o tracto camiones (TCM) para de esta manera enfocarnos en el sistema de inyección UPS o inyector-bomba (sistema de inyección del motor que va a ser analizado) y posteriormente examinar la planta higuera y la forma de obtención del biodiésel como sus propiedades.

Se obtiene y analiza los parámetros de funcionamiento de un motor diésel con sistema de inyección UPS, que posteriormente es usado para realizar pruebas de opacidad para determinar la concentración de hollín presente en los gases de escape tanto con diésel convencional, como con biodiésel con porcentaje del 5% o B5, de esta manera poder realizar una comparativa entre los combustibles antes mencionados y con normativas de control de emisiones tanto local como internacional.

2. Marco teórico

Rudolf Diesel construyó su primer prototipo bien conocido del motor de alta compresión en 1897. Desde entonces, el motor diésel se ha convertido en una de las formas de generación de energía más eficientes y confiables del mundo. En los motores diésel, la combustión interna da como resultado la

expansión de gases de alta presión a alta temperatura, que a su vez mueven pistones, transformando la energía química en energía mecánica [1].

Según Escudero, González, Rivas, & Suárez [2], el primer motor Diesel fue mono cilíndrico y contaba con un gran volante de inercia. El diámetro de su cilindro era de 220 mm, su carrera de 400 mm y tenía una altura de 3 m.

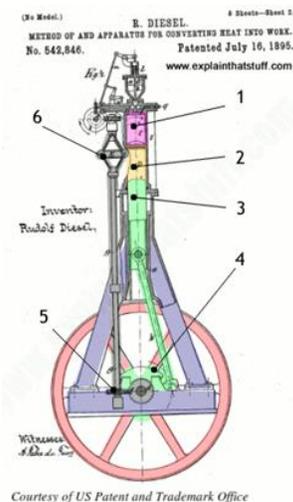


Figura 1. Primer prototipo de un motor diésel [3]

En el primer prototipo creado por Rudolf Diesel (Figura 1), el cilindro (1) está en la parte superior, luego un émbolo (2) está conectado por un mecanismo biela manivela (3) hacia un volante (4), un engranaje (5) es accionado por el volante y está conectado hacia un regulador centrífugo (6) que mantiene la velocidad del motor constante, corta el suministro de combustible si el motor funciona demasiado rápido y vuelve a suministrar cuando existe una desaceleración del motor [4].

2.1 Tipos de motores de tracto camiones (TCM) y sus diferencias

Con la palabra tracto camiones (TCM) según la norma técnica ecuatoriana INEN 2656 [5], nos referimos a un vehículo diseñado para el apoyo y arrastre de unidades de carga, no autopropulsadas con dos, tres o cuatro ejes, cuyo peso bruto vehicular combinado (PBVC) supere los 12000 kg.

“Más del 95 por ciento de todos los camiones pesados de gran capacidad son de diésel, al igual que la mayoría de los camiones de servicio mediano” [6].

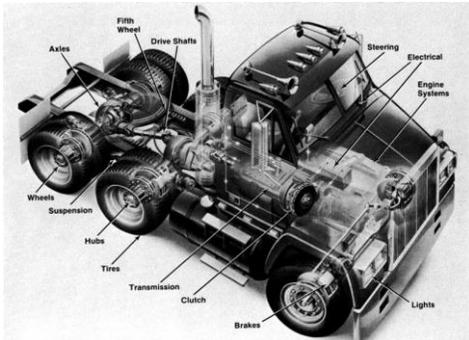


Figura 2. Vehículo tracto camión (TCM) [7]

1) Motores Detroit Series 60

Es el primer motor diésel de servicio pesado completamente controlado electrónicamente. El motor Detroit Diesel más exitoso jamás producido, la Serie 60 fue también el primer motor del mundo en utilizar completamente los controles electrónicos del motor. Con más de 1.2 millones de unidades vendidas desde 1987, la Serie 60 fue el motor de camiones pesados más utilizado en América del Norte en 1992. Se ha utilizado ampliamente en camiones, embarcaciones, generadores de energía, vehículos de emergencia y de incendio y equipos de minería [8].

Detroit Diesel se formó en 1937 por GM, por lo que la empresa tiene mucha experiencia en diseño y construcción de motores. El motor de la serie 60 es un motor de árbol de levas en línea Inline-6, y es uno de los más comunes en la carretera. El D60 es un motor bastante confiable conocido por su respuesta de aceleración, emisiones limpias, par flexible y gran potencia de RPM. El ahorro de combustible no es el mejor en el camino, pero las otras virtudes del motor lo convierten en una opción popular para grandes flotas y propietarios-operadores por igual [9].

El motor diésel Serie 60 de Detroit presentó su modelo que era controlado electrónicamente durante el comienzo de 1987, fue el ingenio y originalidad que le dio a la marca lo que significaba que Detroit

había aplicado en todos los aspectos de su diseño como la producción de sus componentes, ingeniería, fabricación y pruebas de la serie la última tecnología, sus nuevas fábricas presentaron características de monitoreo y control computarizadas del motor, este nuevo modelo contaba con un mayor ahorro de combustible y con un aspecto importante que era la vida útil de motor, su longevidad permitía llegar hasta las 1.000 000 de millas para reparaciones, pero era recomendado una revisión inicial a las primeras 500.000 millas, luego de presentar estos beneficios Detroit extendió la recomendación que tenía de revisión a períodos de 750.000 millas a lo que obtuvo altas ventas proporcionando ganancias de \$ 82 millones en el año de 1993 [10].

2) Motores Cummins

En 1919, Clessie Lyle Cummins fundó Cummins Engine Company para mejorar la tecnología diésel y producir los mejores motores del mundo. Su visión lanzó una compañía que hoy es un líder global, que produce motores diésel para aplicaciones que van desde camiones pesados y pickups para consumidores hasta minería industrial y perforación petrolera [1].

Los modelos Cummins ISB, Cummins ISC, Cummins ISL son motores que tienen la capacidad de aguantar hasta 250 hp, aunque el modelo Cummins ISM puede llegar a tener un rango de potencia de los 280 a 410 hp, con un buen rendimiento y ahorro de combustible, para motores donde las exigencias de caballaje sean mayores existe la línea de motores Cummins ISX que llega a un rango amplio y alto de potencia que va desde los 385 a 600 hp, integrado con freno de motor [11].

3) Motores Volvo

La familia de motores Volvo podría considerarse como la "anti- CAT", ya que se desarrollaron originalmente para su uso en Europa, donde la velocidad se limita electrónicamente a 56 mph. Como tal, la familia de motores Volvo sacrifica toda la potencia y el par en nombre del ahorro de combustible. Si bien las emisiones, la confiabilidad y el ahorro de combustible son excelentes, este

motor es el más adecuado para aplicaciones livianas (como autobuses y camiones de carga) en áreas bastante planas donde no se requiere torque [9].

De acuerdo con las especificaciones de Volvo Trucks [12], los motores Volvo más actuales presentan la característica de Euro 6 llegando a dar un gran salto hacia un transporte más limpio y un impacto ambiental reducido. La potencia y la eficiencia del combustible están a la par con los modelos Euro 5, pero ha llegado a reducir a la mitad las emisiones de partículas y los óxidos de nitrógeno en casi un 80%.

4) Motores Caterpillar

El motor diésel Caterpillar consiste de largas carreras de potencia, posee un sistema de inyección indirecta de alta presión que consta de un inyector unitario electrónico (EUI), el modelo de motor 3516B de gran cilindra y bajas revoluciones de operación cuenta con este sistema que proporciona presiones de inyección elevadas para mejorar la combustión así como para disminuir las emisiones contaminantes mediante configuraciones programadas por la unidad de control y los sensores, de esta manera controla y protege el motor alargando su vida útil, por ende trabaja al máximo rendimiento [13].

2.2 Efecto de la altitud en el comportamiento del motor diésel

La disminución de la presión y la temperatura atmosférica afecta a la densidad del aire y su composición, y, en consecuencia, a las prestaciones de toda máquina térmica. Este problema es más acentuado en máquinas térmicas de desplazamiento volumétrico como los motores de combustión interna alternativos, y dentro de ellos, aún más en los de aspiración natural [14].

Lapuerta y otros [15] señala que como consecuencia de las variaciones de densidad, las prestaciones de los motores alternativos de combustión interna se ven afectados debido a que funcionan con sistemas de alimentación volumétrica, lo que provoca que exista una disminución de la presión en el cilindro a

lo largo del ciclo termodinámico, por ende el rendimiento, estas variaciones de igual manera afectan a los fenómenos presentes en el lugar que de alguna manera intervienen en la combustión, lo que da lugar a la formación de gases contaminantes.

1) La temperatura y la presión atmosférica

Según Viñas [16], los cambios continuos a los que se ve sometido el aire, que están relacionados al mismo tiempo con las variaciones de temperatura, afecta constantemente a la presión atmosférica por lo que esta varía, ya que existen cambios que acontecen en el día conocidas como “marea barométrica”, en donde, en latitudes templadas existe una variación inferior a 1hPa, mientras que en los meses de verano hace que la presión sea delicadamente inferior en relación con el período de invierno en donde existe la presencia de frío, entonces la presión en la atmósfera depende de la temperatura y la densidad del aire.

2.3 Sistema de bomba unitaria (UPS)

1) Historia y evolución

La aplicación comercial de inyectores de unidades comenzó en la década de 1930 en Winton (una subsidiaria de GM) y motores diésel GM. Winton continuó suministrando motores a Electro-Motive Corporation (EMC), mientras que GM transfirió la producción de motores diésel a su Detroit Diesel Division, la línea de motores de dos tiempos de la Detroit Diesel Corporation es una de las aplicaciones más conocidas de la tecnología de inyectores de unidades, desde la década de 1930 hasta mediados de la década de 1980, Detroit Diesel utilizó un diseño de inyector de unidad mecánica [17].

El sistema de bomba de la unidad es un sistema de inyección de combustible de alta presión especialmente diseñado para vehículos comerciales. La producción en serie del sistema en Bosch comenzó en 1995 [18].

2) Funcionamiento y especificaciones

Es un sistema diferente a los convencionales ya que contiene una bomba para cada uno de los cilindros

del motor. Se caracteriza por su robustez, cada una de sus bombas como inyectores y cañerías de inyección están conectados en una estructura modular. El sistema es ideal para cilindros con diámetro reducido y también para la tecnología de inyección central con cuatro válvulas. Cada bomba posee una válvula electromagnética que es controlada por la unidad de mando del sistema, que determina la cantidad y el tiempo de inyección calculados con precisión para cada condición de rotación y carga, garantizando el mejor funcionamiento del motor [19].



Figura 3. Sistema de inyección UPS [19]

2.4 La higuera

El aceite de higuera llamado también aceite de ricino o de castor se extrae de las semillas de la higuera (*Ricinus Communis*), su principal componente es el ácido ricinoleico, el cual se encuentra formando el triglicérido simple denominado triricinoleína, cuya concentración en porcentaje por peso es cercana al 90%. Adicionalmente, en el aceite de higuera se pueden encontrar pequeñas cantidades de tripalmitina, triestearina y otros triglicéridos mixtos, dada su naturaleza química, el aceite de higuera es un líquido altamente viscoso, miscible en alcohol y ácido acético y de bajo punto de solidificación [20].



Figura 4. Higuera o *Ricinus communis* / Castor Bean [21]

1) Obtención de biodiésel

Por medio de la higuera se puede producir biodiésel mediante el proceso de transesterificación de aceites, en este caso el del ricino. Esta reacción consiste en transformar triglicéridos en ésteres alquílicos de ácidos grasos en presencia de un alcohol, como metanol o etanol, y un catalizador, con glicerol como coproducto como lo menciona Hincapié y otros [22].

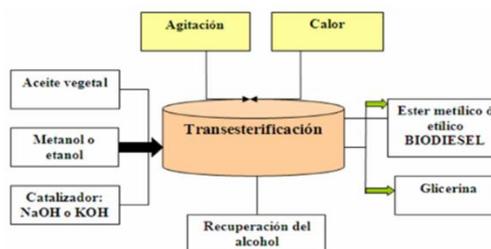


Figura 5. Proceso para obtención de biodiésel mediante transesterificación [23]

Como lo muestra la figura anterior, el proceso de transesterificación de los ácidos grasos del aceite de higuera para producir ésteres metílicos, se usa un catalizador NaOH o KOH, puede ser en rangos de 0,3 a 1,5% dependiendo del catalizador usado, el aceite se precalienta con la temperatura del proceso y se obtiene metóxido al disolverse el catalizador en alcohol, se mantiene temperatura 65° aproximadamente y agitación constante para beneficiar el proceso de la mezcla, al terminar el proceso de transesterificación se separa la glicerina del éster metílico o etílico (biodiésel) según sea el caso [24].

3. Materiales y Métodos

1) Caracterización del motor

Para efectuar las pruebas de la investigación se empleó un motor diésel con sistema de inyección UPS, a continuación, se detallan sus especificaciones técnicas:

Tabla 1: Especificaciones técnicas del motor [25]

Modelo	DETROIT SERIE 60 FLD 120 6X4
Inyección	UPS – inyector bomba
Número de cilindros	6 cilindros en línea
Año	1997
Cilindrada	12,7 L.
Potencia MÁXIMA @ RPM	370 HP @ 1800 RPM
Torque máx. @ rpm	1965.94 N.m @ 1200 RPM
Control	DDEC.
Tasa de compresión	16.5 :1

3.1 Pruebas de opacidad

Las emisiones de gases de escape dependen a varios factores como la configuración del motor, calidad de la combustión, calidad de combustible, vida del motor (tiempo de uso), tipo de inyección y tecnología, entre otros. Estos son factores importantes relacionados con la concentración de hollín que presentan los gases de escape, si un motor presenta una mejor combustión, mejor será la opacidad de sus gases.

1) Pruebas con diésel convencional

Se realizaron cinco pruebas oficiales de opacidad de los gases de escape en el periodo de un minuto a diferentes revoluciones del motor; en ralentí, carga media y plena carga, de esta manera se calculó un promedio de porcentaje de opacidad usando combustible diésel en cada una de las cargas con el fin de obtener datos más confiables.

a) Pruebas a 1607 msnm

Tabla 2. Datos obtenidos de opacidad con diésel a 1607 msnm

RPM	OPACIDAD (%)	
720	1°	1
	2°	0,6
	3°	0,7
	4°	0,9
	5°	1
Promedio	0,84	
1500	1°	2,5
	2°	1,2
	3°	1,7
	4°	1,9
	5°	2,5
Promedio	1,96	
2200	1°	17,6
	2°	17,6
	3°	19,5
	4°	25
	5°	20,1
Promedio	19,96	

b) Pruebas a 2207 msnm

Tabla 3. Datos obtenidos de opacidad con diésel a 2207 msnm

RPM	OPACIDAD (%)	
720	1°	0,2
	2°	0,3
	3°	0,4
	4°	0,3
	5°	0
Promedio	0,24	
1500	1°	1,3
	2°	1,7
	3°	1,2
	4°	1,8
	5°	1,4
Promedio	1,48	
2200	1°	29,6
	2°	20,1
	3°	19,7
	4°	18,5
	5°	18
Promedio	21,18	

c) Pruebas a 2895 msnm

Tabla 4. Datos obtenidos de opacidad con diésel a 1607 msnm

RPM	OPACIDAD (%)	
720	1°	0,1
	2°	0,6
	3°	0,1
	4°	0,6
	5°	0,9
Promedio	0,46	
1500	1°	2,1
	2°	1,8
	3°	1,5
	4°	1,5
	5°	1,1
Promedio	1,6	
2200	1°	10,9
	2°	8,9
	3°	9,3
	4°	12,3
	5°	14,9
Promedio	11,26	

b) Pruebas a 2207 msnm

Tabla 6. Datos obtenidos de opacidad con biodiésel a 2207 msnm

RPM	OPACIDAD (%)	
720	1°	1
	2°	0,8
	3°	0,5
	4°	1,1
	5°	0,5
Promedio	0,78	
1500	1°	1,1
	2°	1,4
	3°	1,6
	4°	1,9
	5°	1,1
Promedio	1,42	
2200	1°	13,8
	2°	11,3
	3°	8,2
	4°	8,9
	5°	8,9
Promedio	10,22	

2) Pruebas con biodiésel B5 de higuera

Al igual que con las pruebas con diésel convencional, se realizaron cinco pruebas oficiales de opacidad de los gases de escape en el periodo de un minuto a diferentes revoluciones del motor; en ralentí, carga media y plena carga.

a) Pruebas a 1607 msnm

Tabla 5. Datos obtenidos de opacidad con biodiésel a 1607 msnm

RPM	OPACIDAD (%)	
720	1°	0,2
	2°	0,5
	3°	0,4
	4°	0,3
	5°	0,4
Promedio	0,36	
1500	1°	1,5
	2°	1,1
	3°	2,2
	4°	0,8
	5°	0,4
Promedio	1,2	
2200	1°	12
	2°	8,8
	3°	7,1
	4°	9,1
	5°	8,9
Promedio	9,18	

c) Pruebas a 2895 msnm

Tabla 7. Datos obtenidos de opacidad con biodiésel a 2895 msnm

RPM	OPACIDAD (%)	
720	1°	1,2
	2°	1
	3°	0,7
	4°	1,1
	5°	1
Promedio	1	
1500	1°	2,4
	2°	1,3
	3°	2,5
	4°	4,9
	5°	2
Promedio	2,62	
2200	1°	8,5
	2°	6,8
	3°	9,3
	4°	9,8
	5°	8,9
Promedio	8,66	

4. Resultados y Discusión

Con las diferentes pruebas realizadas tanto con el combustible diésel fósil y el biodiésel B5 a base de aceite de higuera se pudo realizar comparaciones de acuerdo con la altura a nivel del mar en las que se procedieron a obtener los datos y comparaciones entre ambos combustibles antes mencionados.

4.1 Comparativa de opacidad a diferente altitud usando diésel

Con el fin de observar y analizar la influencia que tiene la altura en los motores de combustión por compresión en lo que respecta a opacidad de gases de escape, la siguiente tabla nos muestra una comparación que se obtuvo a 1607, 2207 y 2895 msnm, a plena carga (2200) usando el diésel convencional fósil:

Tabla 8. Comparativa de opacidad promedio con diésel a diferente altitud y RPM

Altura	Opacidad promedio a 720 RPM (%)	Opacidad promedio a 1500 RPM (%)	Opacidad promedio a 2200 RPM (%)
1607	0,84	1,96	19,96
2207	0,24	1,48	21,18
2895	0,46	1,60	11,26

Como se puede observar en la tabla anterior, la altitud tiene una notable influencia en la opacidad de los gases de escape, la teoría nos dice que si se va disminuyendo la altura sobre el nivel del mar, disminuye el porcentaje de oxígeno presente en el ambiente, por ende mayor opacidad como lo señala [15] en su investigación en el cual se ponen a prueba vehículos de carga pesada con control electrónico, donde se presentó un incremento del 20 % de opacidad al pasar de 0 a 1850 msnm, pero esto sin tomar en cuenta que también juegan papeles importantes las propiedades de aire (puro, contaminado, etc.), temperatura, presión atmosférica, por lo que, a 2895 msnm, se obtuvo un porcentaje de opacidad de 11,26% , siendo el más bajo debido a la pureza del aire ya que se realizó en un lugar abierto cerca del campo, a la altura de 1607 msnm se obtuvo una opacidad promedio de 19,96 % a pesar de ser la menor altura de las analizadas, esto es debido a que el clima es más caliente pero el aire se ve influenciado por la quema de la caña que se realiza en Salinas. A la altura de 2207 msnm se obtuvo una opacidad promedio de 21,18%, el mayor porcentaje ya que las pruebas se las realizó en el centro de la ciudad en donde el aire es más contaminado, factor que influencia.



Figura 6. Comparativa de opacidad promedio con diésel a diferente altitud y RPM

Uno de los factores que influyen en la opacidad en altura es la temperatura, a 2895 msnm se obtuvo temperatura más baja que en las alturas de 1607 y 2207 msnm, por ende, la presencia de aire frío. Esta baja temperatura dio lugar a la presencia de aire más denso y por ende, mayor cantidad de oxígeno, lo que significó más potencia, lo que provocó una reducción de CO y HC no quemados como lo señala Birtok y otros [26] en su investigación, donde afirma que el período de retardo de encendido se reduce con una menor temperatura de aire de admisión debido a una mayor disponibilidad de oxígeno, esto permite que la combustión se produzca al final de la carrera de compresión y al principio de la carrera de expansión. Siendo este uno de los factores relevantes que provocó una mejor combustión en el motor y porcentajes bajos de opacidad.

4.2 Comparativa de opacidad a diferente altitud usando biodiésel

Tabla 9. Comparativa de opacidad promedio con biodiésel a diferente altitud y RPM

Altura	Opacidad promedio a 720 RPM (%)	Opacidad promedio a 1500 RPM (%)	Opacidad promedio a 2200 RPM (%)
1607	0,36	1,2	9,18
2207	0,78	1,42	10,22
2895	1	2,62	8,66

Como podemos analizar en la tabla anterior, de la misma manera que con el diésel fósil convencional,

con el biodiésel B5 a base de aceite de higuierilla se redujo la opacidad en mayor concentración en la altura de 2895 msnm, debido a las propiedades del biodiésel como el alto contenido de oxígeno que presenta, alto número cetano, bajo contenido de azufre como factores primarios (en gran parte) y las características antes mencionadas en las pruebas con diésel convencional como factores secundarios.

Para una mejor apreciación, la figura que se muestra a continuación detalla la opacidad que se consiguió usando el biodiésel B5 en cada una de las alturas:



Figura 7. Comparativa de opacidad promedio con biodiésel a diferente altitud y RPM

4.3 Comparativa de opacidad a diferente altitud entre diésel y biodiésel

Tabla 10. Comparativa de opacidad promedio entre el diésel fósil y el biodiésel B5 a diferente altitud

Altitud	Opacidad promedio en plena carga con diésel (%)	Opacidad promedio en plena carga con biodiésel B5 (%)	Reducción de opacidad a plena carga diésel / biodiésel (%)
1607	19,96	9,18	54,01
2207	21,18	10,22	51,75
2895	11,26	8,66	23,09
Promedio de reducción de opacidad (%)			42,95

La tabla mostrada detalla que se logró la reducción del 54,01 % de opacidad a los 1500 msnm, 51,75 % a los 2207 msnm y 23,09 % a los 2800 msnm lo que daría una reducción de opacidad promedio de

42,95%, donde podemos analizar el impacto que tiene de biodiésel en los motores de combustión diésel, reduciendo en gran proporción el nivel de hollín en los gases de escape, mejorando la opacidad debido a una mejor combustión.

Para una mejor apreciación, la figura que se muestra a continuación detalla la reducción de opacidad que se consiguió usando el biodiésel B5:

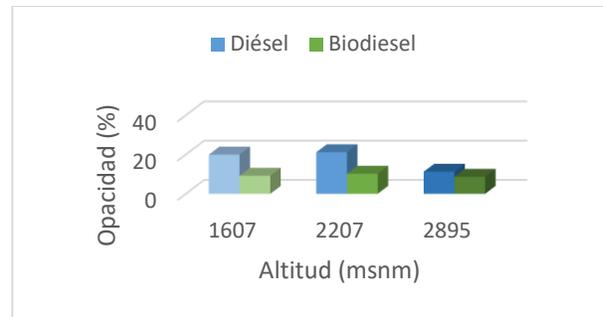


Figura 8. Comparativa de opacidad promedio a plena carga entre diésel y biodiésel

4.4 Comparativa de opacidad usando diésel y biodiésel con la Normativa Ecuatoriana y Mexicana

Ahora basándonos en un plano ambiental donde rigen las normativas de control, tomamos en cuenta las normas de control de opacidad existentes en Ecuador [27] y México [28] para vehículos diésel anteriores al año 1999, ya que el año modelo del vehículo de pruebas es 1997, se toma en cuenta el porcentaje de opacidad máximo permitido.

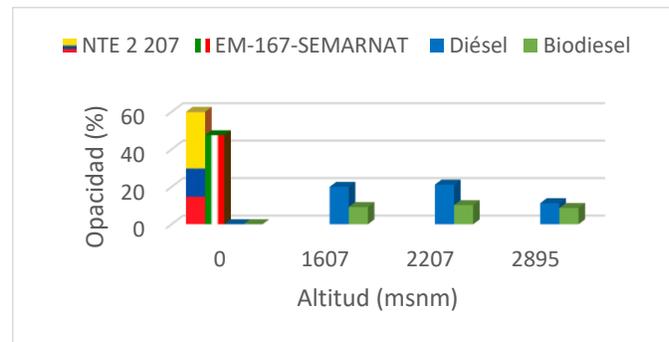


Figura 9. Comparativa de las normativas ecuatoriana y mexicana con los datos obtenidos de opacidad a plena carga.

Como se observa en la figura, el porcentaje máximo de opacidad en la normativa ecuatoriana es de 60%, mientras que en la normativa mexicana es de 47,53%, el vehículo cumple con los requisitos de las normas mexicanas y ecuatorianas de control de opacidad en valores de porcentaje de N, tanto para el uso de diésel convencional como para el uso de biodiésel B5 de aceite de higuera.

5. Conclusiones

Se puede evidenciar y constatar que el biodiésel ayuda en la disminución de la opacidad de los gases de escape en un 42,95% con relación al combustible diésel convencional de origen fósil debido a sus propiedades como alta viscosidad, alto contenido de oxígeno, menor contenido de azufre y su número de cetano mayor al diésel, siendo este más amigable con el ambiente y permitiendo el cumplimiento de las normas de control establecidas en el país como ciertas normas internacionales.

La altitud tiene efectos importantes en el desempeño y funcionamiento del motor, así como en las propiedades del aire, presencia de oxígeno, presión atmosférica, temperatura, por ende, un efecto en la formación de gases de escape modificando la opacidad de estos, por lo que no necesariamente al subir la altitud se va a percibir un incremento de la opacidad debido al porcentaje de oxígeno presente.

No hay que solo tomar en cuenta que mayores altitudes dan presiones bajas o viceversa, ya que factores como una temperatura baja influyen en la opacidad de los gases de escape debido a la presencia de aire frío, lo que brinda una mayor potencia, por ende, mejor combustión, en otras palabras, se puede contrarrestar la baja densidad de aire en lugares altos si se tiene una temperatura menor o aire más frío.

Al utilizar el biodiésel B5 se pudo notar que hubo un cambio inmediato en el funcionamiento del motor, se redujo el ruido y la disminución de potencia no se notó ya que fue insignificante al igual que la presencia de humo en el aire emanado por el escape.

Referencias

- [1] Cummins Inc., «Cummins Engines,» 2017. [En línea]. Available: <https://cumminsengines.com/how-a-diesel-engine-works.aspx>.
- [2] S. Escudero, J. González, J. L. Rivas y A. Suárez, Motores, MACMILLAN, 2011.
- [3] R. Diesel. Alemania Patente 542,846, 1895.
- [4] C. Woodford, «Explain that stuff!,» 19 Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://www.explainthatstuff.com/diesel-engines.html>.
- [5] INEN, *Clasificación vehicular*, 2016.
- [6] Diesel Technology Forum, «Diesel Technology Forum,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.dieselforum.org/about-clean-diesel/trucking>.
- [7] S. Bennett y I. A. Norman, Heavy Duty Truck Systems, Fifth ed., United States: Delmar, Cengage Learning, 2011.
- [8] Detroit Diesel Corporation, «Demand Detroit,» 2009. [En línea]. Available: <https://demanddetroit.com/engines/legacy-engines/series-60>.
- [9] R. Rowe, «It still runs,» 2017. [En línea]. Available: <https://itstillruns.com/types-truck-engines-differences-5945947.html>.
- [10] B. Senefsky, «Truck Trend,» 28 September 2007. [En línea]. Available: <http://www.trucktrend.com/news/0709-dp-detroit-diesel-engine-history/>.
- [11] Centro diesel, «Centro diesel,» 13 Enero 2016. [En línea]. Available: <http://centrodiesel.cl/tag/motores-cummins/>.
- [12] Volvo, «Volvo Trucks,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.volvotrucks.co.uk/en->

- gb/trucks/volvo-fh-series/features/diesel-engines.html.
- [13] Laboratorios Omega Diesel, «Omega Diesel,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.omegadiesel.com/fichas-informativas-cummins-celect.html>.
- [14] M. Lapuerta, O. Armas, J. R. Agudelo y C. A. Sánchez, «Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 1: Funcionamiento. Información tecnológica,» *SciELO*, pp. 21-30, 2006.
- [15] M. Lapuerta, O. Armas, J. R. Agudelo y A. F. Agudelo, «Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 2: Motores Diesel,» *SciELO*, pp. 31-41, 2006.
- [16] J. M. Viñas, «Presión y Temperatura,» *Avión & Piloto*, pp. 54-57, 2002.
- [17] H. J. Magdi K. Khair, «Unit Injector & Unit Pump Systems,» *DieselNet Technology Guide*, 2010.
- [18] Bosch Worldwide, «Bosch autoparts,» 2008. [En línea]. Available: https://in.bosch-automotive.com/en_GB/parts_and_accessories/engine_systems_1/diesel_2/unit_pump_system/unit_pump_system_1.
- [19] R. Bosch, *Sistemas Modernos de Inyección a Diesel Unidades Completas y su despiece*, 2015.
- [20] A. Benavides, P. Benjumea y V. Pashova, «EL BIODIESEL DE ACEITE DE HIGUERILLA COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA MOTORES DIESEL,» *Redayc.org*, pp. 141-150, 2007.
- [21] S. M. C. o. California, 1995. [En línea]. Available: http://calphotos.berkeley.edu/cgi/img_query?where-lifeform=any&rel-taxon=contains&where-taxon=ricinus.
- [22] G. Hincapié, F. Mondragón y D. López, «Conventional and in situ transesterification of castor seed oil.,» *Fuel*, p. 1618–1623, 2011.
- [23] P. M. Proaño Molina, *Investigación de la utilización de aceite de higuierilla, como combustible alternativo al 5-10% en motores diésel con bomba de alta presión convencional.*, Latacunga: Escuela Politécnica Del Ejército Extensión Latacunga, 2010.
- [24] J. I. Aguilera Peña, *Sostenibilidad de los biocombustibles para autoconsumo en un entorno rural*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2014.
- [25] Detroit Diesel, *Manual: Series 60 Truck Power*, 2000.
- [26] C. Birtok Băneasă, S. Rațiu y T. Hepuț, «Influence of intake air temperature on internal combustion,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 163*, 2017.
- [27] Instituto Ecuatoriano De Normalización, *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 207*, Primera ed., Quito, 2012.
- [28] Secretaria De Medio Ambiente Y Recursos Naturales, *Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-167-SEMARNAT*, 2016.