



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TEMA: Análisis de emisiones de gases de escape en un motor diésel con inyección UPS utilizando biodiésel B5 a base de aceite de higuera.

AUTOR: Cristian Raynier Godoy Jurado

DIRECTOR: Ing. Erik Paúl Hernández R.

Ibarra, Abril 2018

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Educación Ciencia y Tecnología.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es “Análisis de emisiones de escape en un motor diésel con inyección UPS utilizando biodiésel B5 a base de aceite de higuera” presentado por el señor: Cristian Raynier Godoy Jurado con número de cédula 1003759865, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 24 días del mes de Abril del 2018.

Atentamente



Ing. Paúl Hernández MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de texto completos en forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DE CONTACTO	
CEDULA DE IDENTIDAD:	1003759865
APELLIDOS Y NOMBRES:	Godoy Jurado Cristian Raynier
DIRECCIÓN:	Pastora Alomía 4-31 y Argentina
EMAIL:	crgodoyj@utn.edu.ec
TELEFONO FIJO:	2957266 TELEFONO MÓVIL: 0987187822

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis de emisiones de gases de escape en un motor diésel con inyección UPS utilizando biodiésel B5 a base de aceite de higuera.
AUTOR(ES):	Cristian Raynier Godoy Jurado
FECHA:	24/04/2018
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR/DIRECTOR	Ing. Paúl Hernández MSc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

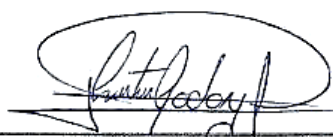
Yo, **Cristian Raynier Godoy Jurado** con cédula de identidad Nro. **1003759865**, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago la entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 24 días del mes de abril del 2018.

AUTOR(ES):



Firma

Cristian Raynier Godoy Jurado

Nombre completo

1003759865

C.C

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Yo, **Cristian Raynier Godoy Jurado**, con cédula de identidad Nro. **1003759865**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **Análisis de emisiones de gases de escape en un motor diésel con inyección UPS utilizando biodiésel B5 a base de aceite de higuera**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Cristian Godoy Jurado', is written over a horizontal line.

Firma

Cristian Raynier Godoy Jurado

Nombre completo

1003759865

C.C

Ibarra, a los 24 días del mes de abril del 2018.

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado va dedicado especialmente a mis padres por haberme guiado y aconsejado en todo mi trayecto de formación, porque gracias a ellos soy una persona de valores y principios, sin su apoyo incondicional no habría llegado a cumplir la mayoría de mis objetivos y metas, ellos son mi ejemplo a seguir, mi inspiración de trabajar cada día más fuerte para forjar mi futuro tanto personal como profesional, han sido las personas más maravillosas que les debo mucho, siento orgullo dedicar este logro para los seres que me dieron la vida y desean lo mejor del mundo para mí, realizando lo imposible para mi satisfacción, ahora quiero su satisfacción mediante los frutos que está dando su cosecha.

Gracias mamita y papito por todo, este logro es para ustedes, les prometo continuar con mi lucha y dedicación que me caracteriza como persona.

AGRADECIMIENTO

Mis más grandes agradecimientos a Dios, por brindarme salud lo que me permitió cumplir mis propósitos que me llevan cada vez a acercarme más a mis sueños, por darme la oportunidad de tener los mejores padres que con su amor incondicional y consejos me guían por el camino del bien, por darme tanto fuerza como esperanza en los momentos más difíciles, los mismos que han forjado mi carácter y actitud frente a la vida, gracias Dios por permitir que el mundo conspire a mi favor, por ti soy un soñador.

Agradezco también a mis hermanos que de alguna manera influyeron a tomar mis decisiones y me apoyaron para seguir adelante, Darwin eres un ejemplo para mí como hermano mayor, me guiaste para seguir tus pasos, eres mi admiración, Ericka me diste el coraje para saber decidir los aspectos de mi vida y Francis, eres la razón de mi madurez, por ti coloqué en práctica todo lo aprendido de mis hermanos mayores, así como de mis experiencias, quiero que seas la versión mejorada de todos.

A mi mejor amiga, compañera, enamorada, Ana Paula gracias por tu apoyo incondicional, por tus consejos, comprensión y deseos, por no permitirme desistir cuando todo estaba oscuro y gracias a ti cumplir uno de mis sueños

A mis maestros, por sus enseñanzas, un preciado regalo que son los conocimientos que he adquirido a lo largo de mi formación profesional, del mismo modo, a mi tutor que me guio a realizar el presente trabajo y todos los que hicieron posible obtener este gran logro.

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR	ii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	iii
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
RESUMO	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
 CAPÍTULO I	 1
1 Problema de investigación	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	4
1.3 Formulación del problema	5
1.4 Delimitación	5
1.4.1 Temporal	5
1.4.2 Espacial	5
1.5 Objetivos	5
1.5.1 Objetivo General	5
1.5.2 Objetivos Específicos	5
1.6 Justificación	6

CAPÍTULO II	7
2 Marco Teórico	7
2.1 Motores diésel de vehículos pesados Tracto Camión (TCM).....	7
2.1.1 Introducción.....	7
2.1.2 Principio de funcionamiento de un motor diésel.....	8
2.1.3 Ciclo teórico de funcionamiento.....	9
2.2 Tipos de motores de tracto camiones (TCM) y sus diferencias.....	10
2.2.1 Motores Detroit serie 60.....	12
2.2.1.1 Historia.....	12
2.2.2 Motores Cummins.....	13
2.2.3 Motores Volvo.....	13
2.2.4 Motores Caterpillar.....	14
2.3 Efecto de la altitud en el comportamiento del motor diésel.....	14
2.3.1 La temperatura y la presión atmosférica.....	17
2.4 Sistema de bomba unitaria (UPS).....	17
2.4.1 Historia y evolución.....	17
2.4.2 Funcionamiento y especificaciones.....	19
2.4.3 Diseño.....	21
2.4.4 Estructura y montaje.....	23
2.4.5 Electroválvulas.....	26
2.4.5.1 Funcionamiento.....	26
2.4.6 Principales beneficios.....	27
2.5 Emisiones de gases de escape.....	29
2.5.1 Los óxidos de nitrógeno (NOX).....	30
2.5.2 El material particulado (PM).....	31
2.5.3 Efectos ambientales de las emisiones.....	33

2.6	Analizadores de gases	35
2.6.1	Equipos portátiles de medición	36
2.7	Opacímetro	36
2.8	Biodiésel.....	37
2.9	La higuera	38
2.9.1	Obtención de biodiésel	39
CAPÍTULO III		41
3	Propuesta.....	41
3.1	Fundamentación	41
3.2	Desarrollo de la propuesta.....	41
3.2.1	Caracterización del motor.....	41
3.2.2	Caracterización de los combustibles usados.....	41
3.3	Pruebas de opacidad	43
3.3.1	Opacímetro	43
3.3.2	Software Omni BUS 800.....	45
3.3.2.2	Análisis de opacidad.....	46
3.3.2.3	Prueba continua	46
3.3.2.4	Test Oficial	47
3.3.3	Pruebas con diésel convencional	51
3.3.3.1	Prueba a 1607 msnm en la parroquia de Salinas – Imbabura.....	52
3.3.3.2	Prueba a 2207 msnm en la ciudad de Ibarra – Imbabura	54
3.3.3.3	Prueba a 2895 msnm en Zuleta - Imbabura.....	56
3.3.4	Pruebas con biodiésel B5 de higuera	58
3.3.4.1	Pruebas a 1607 msnm en la parroquia de Salinas - Imbabura.....	61
3.3.4.2	Pruebas a 2207 msnm en la ciudad de Ibarra – Imbabura.....	63
3.3.4.3	Pruebas a 2895 msnm en Zuleta - Imbabura	65

CAPÍTULO IV	68
4 Análisis de Resultados	68
4.1 Pruebas de opacidad.....	68
4.1.1 Comparativa de opacidad a diferente altitud usando diésel.....	68
4.1.2 Comparativa de opacidad a diferente altitud usando biodiésel.....	70
4.1.3 Comparativa de opacidad a diferente altitud entre diésel y biodiésel.	72
4.1.4 Comparativa de opacidad usando diésel y biodiésel con la Normativa Ecuatoriana.	73
4.1.5 Comparativa de opacidad usando diésel y biodiésel con una Normativa internacional.	75
CAPÍTULO V	77
5 Conclusiones y Recomendaciones	77
5.1 Conclusiones.....	77
5.2 Recomendaciones.....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
ANEXOS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 2.1 Primer prototipo de un motor diésel	7
Figura 2.2 Ciclo teórico de funcionamiento diésel.....	10
Figura 2.3 Vehículo pesado TCM	11
Figura 2.4 Efecto de la altitud sobre la composición volumétrica del oxígeno	15
Figura 2.5 Efecto de la presión atmosférica en la pérdida de potencia de un MEP	16
Figura 2.6 Sistema de inyección UPS	20
Figura 2.7 Presiones de trabajo de los diferentes sistemas de inyección	20
Figura 2.8 Áreas del sistema de inyección inyector bomba UPS.....	22
Figura 2.9 Sistema de inyección UPS y sus partes en un motor diésel	23
Figura 2.10 Bomba unitaria (1)	23
Figura 2.11 Porta inyector STH (2).....	24
Figura 2.12 Conexión de Presión (3).....	24
Figura 2.13 Sensor de Presión y Temperatura del Aire (4).....	24
Figura 2.14 Módulo Pedal del Acelerador (5).....	25
Figura 2.15 Sensor de temperatura (6)	25
Figura 2.16 Sensor de Fase y Sensor de Rotación del Motor (7).....	26
Figura 2.17 Esquema interno de una electroválvula de alta presión para unidad de bomba inyector para vehículo industrial	27
Figura 2.18 Concentración relativa de emisiones contaminantes en el gas de escape diésel.....	30
Figura 2.19 Comparación visual de depósitos de PM de diversas tecnologías de LDV Vehículos ligeros, prueba FTP-75 (bolsa 1 = arranque en frío)	32
Figura 2.20 Sistema de medición en banco de pruebas.....	35
Figura 2.21 Higuierilla o Ricinus communis / Castor Bean.....	38
Figura 2.22 Proceso para obtención de biodiésel mediante transesterificación	39
Figura 2.23 Ciclo del biodiesel.....	40
Figura 3.1 Opacímetro OPA 100 Brain Bee.....	44
Figura 3.2 Cuentarrevoluciones – medidor de temperatura MGT-300	44
Figura 3.3 Sensor de RPM y sensor de temperatura	45
Figura 3.4 Software Omni BUS 800	45

Figura 3.5	Software Omni Bus 800 en modalidad de opacímetro	46
Figura 3.6	Prueba continua de opacidad.....	47
Figura 3.7	Formulario para el llenado de datos del vehículo	48
Figura 3.8	Límites oficiales de pruebas.....	48
Figura 3.9	Etapa de espera de temperatura de motor	49
Figura 3.10	Colocación de sonda al tubo de escape.....	49
Figura 3.11	Resultados de opacidad.....	50
Figura 3.12	Modelo de informe de resultados final	51
Figura 3.13	Opacidad promedio a varios regímenes del motor a 1607 msnm.....	54
Figura 3.14	Opacidad promedio a varios regímenes del motor a 2207 msnm.....	56
Figura 3.15	Opacidad promedio a varios regímenes del motor a 2207 msnm.....	58
Figura 3.16	Recipiente de 20 litros de capacidad usado para las pruebas.....	59
Figura 3.17	Medición del porcentaje de biodiésel.....	59
Figura 3.18	Método para realizar las pruebas	60
Figura 3.19	Opacidad promedio usando biodiésel a varios regímenes del motor a 1607 msnm	63
Figura 3.20	Opacidad promedio usando biodiésel a varios regímenes del motor a 2207 msnm	65
Figura 3.21	Opacidad promedio a varios regímenes del motor a 2895 msnm.....	67
Figura 4.1	Comparativa de opacidad promedio con diésel a diferente altitud y RPM.	69
Figura 4.2	Influencia de la temperatura en la presión atmosférica.....	69
Figura 4.3	Comparativa de opacidad con biodiesel B5 a diferente altitud y RPM	71
Figura 4.4	Influencia de la temperatura en la presión atmosférica.....	71
Figura 4.5	Comparativa de opacidad promedio a plena carga entre diésel y biodiésel	73
Figura 4.6	Curvas de opacidad promedio a plena carga usando diésel y biodiésel.....	73
Figura 4.7	Comparativa de las normativas ecuatoriana y mexicana con los datos obtenidos de opacidad a plena carga.	76

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 2.1	Contaminantes del aire, sus fuentes y efectos	34
Tabla 2.2	Parámetros de un opacímetro	37
Tabla 3.1	Especificaciones técnicas del motor	41
Tabla 3.2	Requisitos para el combustible diésel.....	42
Tabla 3.3	Propiedades del biodiésel de higuera B5.....	43
Tabla 3.4	Especificaciones climáticas de la parroquia Salinas - Imbabura.....	52
Tabla 3.5	Datos obtenidos de opacidad con diésel a 1607 msnm	53
Tabla 3.6	Especificaciones climáticas de Ibarra - Imbabura	54
Tabla 3.7	Datos obtenidos de opacidad con diésel a 2207 msnm	55
Tabla 3.8	Especificaciones climáticas de Zuleta - Imbabura	56
Tabla 3.9	Datos obtenidos de opacidad con diésel a 2895 msnm	57
Tabla 3.10	Especificaciones climáticas de la parroquia Salinas – Imbabura	61
Tabla 3.11	Datos obtenidos de opacidad con biodiésel B5 a 1607 msnm.....	62
Tabla 3.12	Especificaciones climáticas de Ibarra - Imbabura	63
Tabla 3.13	Datos obtenidos de opacidad con biodiésel B5 a 2207 msnm.....	64
Tabla 3.14	Especificaciones climáticas de Zuleta- Imbabura	65
Tabla 3.15	Datos obtenidos de opacidad con biodiésel B5 a 2895 msnm.....	66
Tabla 4.1	Comparativa de opacidad promedio con diésel a diferente altitud y RPM.....	68
Tabla 4.2	Comparativa de opacidad promedio con biodiesel B5 a diferente altitud y RPM	70
Tabla 4.3	Comparativa de opacidad promedio entre el diésel fósil y el biodiesel B5 a diferente altitud	72
Tabla 4.4	Normativa ecuatoriana de control de emisiones.....	74
Tabla 4.5	Comparativa entre la normativa ecuatoriana y las pruebas realizadas a plena carga.....	74
Tabla 4.6	Norma mexicana EM-167-SEMARNAT	75
Tabla 4.7	Comparativa entre la Normativa mexicana y los datos obtenidos de opacidad a plena carga.....	75

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN NÚM.	PÁGINA
[2.1]	Estado de los gases perfectos 17

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I	
Resultados de las pruebas en software Omni 800.....	86
ANEXO II	
Figuras: campo de mediciones, vehículo y motor	91
ANEXO III	
Altitud recopilada por un altímetro (app de celular)	94
ANEXO IV	
Equivalencias de presión atmosférica según la altitud.....	96
ANEXO V	
Norma NTE INEN 2 207	97
ANEXO VI	
Norma EM-167-SEMARNAT.....	98

RESUMEN

En el presente trabajo de grado 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.

ABSTRACT

In the present degree work, an analysis of the impact of the use of castor oil biodiesel is made in regard to 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 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.

RESUMO

No presente trabalho de graduação, uma análise do impacto do uso de biocombustível de óleo de rícino é feita em relação a opacidade em motores de combustão interna por compressão, para o qual realizaram-se provas de análise de concentração de fuligem na fumaça gerada pelo escape. Para executar os testes, utilizou-se um motor diesel de caminhão pesado com sistema de injeção UPS (bomba-injetor) e uma mistura de biodiesel numa concentração do 5% (B5). Foram-se focados três pontos específicos para a realização dos testes a diferentes alturas acima do nível do mar; a 1607, 2207 e 2895. Em cada uma das alturas antes mencionadas, realizaram-se medições estáticas de opacidade tanto com combustível diesel convencional como com biodiesel de rícino B5, analisando o efeito causado pela altitude na opacidade dos gases de exaustão, onde se obteve mediante o uso do biodiesel B5 uma redução média de 42,95% e com relação ao diesel convencional, em seguida, os resultados obtidos foram comparados com o regulamento de controle de emissões equatoriano e um internacional (mexicano), nas quais, cumpriram-se os requisitos de controle com sucesso.

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.

CAPÍTULO I

1 Problema de investigación

1.1 Antecedentes

La búsqueda de fuentes de combustibles alternativos de origen orgánico, su adaptación y promoción surgió como una de las principales áreas de enfoque en todo el mundo, lo que podría tener un efecto positivo en la reducción de los precios de los combustibles fósiles y la solución de los problemas ambientales (Felneris & Raslavičius, 2016).

Los biocombustibles, o como lo conocen en la actualidad con el nombre de combustibles renovables, según Aguilera Peña (2014), fueron los primeros en usarse en el motor de combustión interna diésel (MPC) creado por Rudolf Diesel (1893), quien para su funcionamiento usaba biocombustible elaborado a base de aceite de maní.

La producción global de biocombustibles ha tenido un crecimiento de 100 billones de litros entre el año 2000 y 2010, siendo Brasil y Estados Unidos los mayores productores de bioetanol, mencionando aquí también a países que están emergiendo como productores de biodiésel como China, India y Tailandia. Sin embargo, la producción global de biodiésel ascendió a 24,7 millones de toneladas métricas en el año 2013, gracias a altas producciones de biodiésel de aceite de soja, siendo Europa uno de los principales productores (Aguilera Peña, 2014).

En todo el mundo, el número de países que producen y utilizan fuentes de energía renovables se ha incrementado, como “Argentina, Tailandia e Indonesia, han crecido en el mercado del biodiésel”. El uso de biocombustibles como una alternativa al uso de combustibles fósiles se ha dado gracias a las políticas que cada gobierno estableció en las últimas décadas, para combatir y prevenir la contaminación como el calentamiento global, por lo que se estima que la producción mundial del biodiésel crecerá alrededor de 4 a 5 % anual en los próximos años y

alcanzará la cantidad de 41 mm³ en el año 2022 según (OCDE, 2013) citado por (Conejero, Aldara Da Silva, & Pereira Batista, 2017).

“Las mezclas de biodiésel con diésel fósil tienen muchos beneficios como la reducción de emisiones, menor desgaste del motor, menor consumo de aceite de motor y una eficiencia térmica comparada con el combustible diésel” (Tamilselvan, Nallusamy, & Rajkumar, 2017).

Las investigaciones realizadas en los biocombustibles para explorar sus ventajas, así como posibles desventajas en los motores diésel han sido exhaustivas por parte de los investigadores, con el fin de determinar y analizar los productos idóneos para extraer el biodiésel como su factibilidad de ser un combustible alternativo.

Estudios realizados mostraron que el biodiésel puede funcionar por un tiempo prolongado en motor que funciona con diésel convencional, en EEUU, en los estados de Missouri e Idaho se ha probado el uso de mezclas de biodiésel y diésel convencional desde B2 (2 % de biodiésel y 98 % de diésel) hasta B100 (100 % biodiésel) en camionetas, autobuses, camiones grandes y tractores, en donde las pruebas mostraron como el biodiésel comienza a nublarse y a espesarse en clima frío a 272 °K, del mismo modo, se tuvieron en cuenta las concentraciones de gases de escape de óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO) y materia particulada total (PM) (Balat, 2007)).

Una de las alternativas a ser tomadas en cuenta para la sustitución de los combustibles fósiles es el biodiésel a base de aceite de higuera, higuera del diablo, ricino o bean”, en inglés según comenta Martínez (1979) citado por Vibrans (2009). Un biocombustible sustentable y de alto potencial de producción debido a que no compite con la cadena alimentaria y sus cultivos pueden establecerse en terrenos que no son de uso agrícola, como terrenos en desuso o marginados, del mismo modo no posee restricciones en mezclas con el diésel convencional y puede ser empleado en motores sin antes necesitar modificarlo, como lo indica Ogunkoya et al. (2015) citado por (Sánchez, Llano, & Riosn, 2017).

La semilla de higuera puede contener hasta el 50 % de contenido de aceite, alto porcentaje que sería destinado a la producción del biodiésel de acuerdo con Armendáriz Velázquez (2012). Éste es un aspecto ventajoso, por su gran contenido de aceite aprovechado para producir el biodiesel con relación a otros aceites.

Portugal es uno de los países que realizó evaluaciones de adaptabilidad con la planta de higuera o ricino para la extracción de aceite crudo sin refinamiento para la producción de biodiésel que fue obtenido por transesterificación alcalina homogénea, usando las semillas de plantas cosechadas después del período de 2 años evaluando los procedimientos de extracción mecánicos y químicos del aceite, de igual manera se evaluó la influencia de la temperatura y el tiempo de reacción en el rendimiento y la calidad del producto (Dias, Araújo, Costa, & Alvim-Ferraz, 2013).

Las especificaciones antes analizadas en el uso de los biocombustibles a base de aceite de higuera o ricino en los motores de combustión interna diésel en estudios realizados en países como Brasil o Portugal, como por otros investigadores en otros países, permiten determinar las ventajas que pueden hacer que este biocombustible sustituya el gasóleo o diésel puro sin tener grandes pérdidas ni modificaciones algunas en el motor. Se puede obtener algunas mejoras dependiendo de varios factores, tanto el ajuste que tenga el motor diésel, como las características del biocombustible y en qué porcentaje se encuentra la mezcla (diésel– biodiésel). Para todo esto es necesario avances, más estudios a fondo para lograr desarrollar y diseñar tecnologías avanzadas capaces de reducir los costos de procesamiento, elaboración del biodiésel, así como su rendimiento y viabilidad, sin afectar con la producción de materia prima necesaria para consumo humano, ni intervenir con el daño del motor diésel por la alta viscosidad que contiene el aceite de ricino.

1.2 Planteamiento del problema

Debido a la situación de cambio climático, contaminación ambiental y disminución de las reservas de combustibles fósiles existentes hoy en día, surge la necesidad de crear una fuente alternativa de combustible que sea sostenible, limpia y renovable que reemplace combustibles a base de petróleo y disminuya el precio de su producción, así como para contribuir con la sostenibilidad de la atmósfera y el medio ambiente.

Puesto que los costos de elaboración y ejecución para realizar estudios y pruebas de los combustibles alternativos existentes como los sintéticos, el hidrógeno, los combustibles oxigenados como los combustibles con alcohol, el éter di metílico y los combustibles biodiesel, etc. son altos, así como falta de tecnología existente en países poco desarrollados como Ecuador y la mayoría de países de Latinoamérica, investigadores de instituciones, universidades y asociaciones especializados en biotecnología acudieron al estudio de biocombustibles de origen vegetal por su facilidad de obtención y producción.

Un aspecto muy serio a analizar, es la problemática que existe dentro de los motores de combustión interna diésel, el uso de diésel fósil puro de alguna manera acorta con su vida útil por la presencia de azufre en el mismo y su consumo es alto, existe mayor consumo de aceite de motor y por ende la producción excesiva de emisiones contaminantes al ambiente como las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidruro de carbono (HC) y material particulado (PM), lo que está provocando grandes concentraciones de hollín en los gases de escape, esto produce un efecto nocivo en la salud de las personas que inhalen o estén en contacto con estos gases, desde leves a graves enfermedades, al igual que la polución del medio ambiente y generación de gases de invernadero a la capa de ozono, por ende el calentamiento global con cambios drásticos de clima y fenómenos naturales. Éstas son las más serias preocupaciones de los motores diésel hoy en día, la reducción simultánea de NOx y PM es un desafío y una tarea difícil en los motores diésel convencionales.

1.3 Formulación del problema

¿Cómo reducir la opacidad presente en los gases de escape de los vehículos diésel?

1.4 Delimitación

1.4.1 Temporal

El presente proyecto se llevará a cabo desde el mes de Octubre del 2017 hasta el mes de Abril del 2018.

1.4.2 Espacial

Las pruebas se las realizará en tres puntos específicos: el primero en la ciudad de Ibarra (2207 msnm), el segundo en la comunidad de Zuleta - Imbabura (2895 msnm) y como último punto en Salinas - Imbabura (1607 msnm).

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Analizar la opacidad de los gases escape en un motor diésel con sistema de inyección UPS utilizando biodiésel B5 a base de aceite de higuera.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros de funcionamiento del motor diésel con sistema de inyección UPS.
- Realizar pruebas de opacidad con diésel y con biodiésel B5 a base de aceite de higuera en un motor a diésel con sistema de inyección UPS.
- Analizar los resultados obtenidos en las pruebas de opacidad con el uso de diésel convencional y con biodiésel B5 a base de aceite de higuera.

1.6 Justificación

La conciencia despertada debido al aumento de la contaminación atmosférica producto de las emisiones contaminantes generadas por el sector transporte y la mala calidad del combustible por su alto contenido de azufre que existe en Ecuador y algunos países de Latinoamérica, ha despertado el interés y preocupación por estudiar e investigar nuevas alternativas para contribuir en cierta parte la disminución de emisiones contaminantes. Centrándose en la utilización de biodiesel a base de aceite de ricino en los motores Diésel, se quiere con esta investigación determinar el impacto que este combustible alternativo puede llegar a generar mediante su utilización en una mezcla del 5 % de biodiesel y 95 % de diésel convencional, esperándose resultados positivos y favorables, como en ciertas investigaciones realizadas con aceite de ricino las destacan. Las semillas de ricino por lo general contienen de 40 a 50 % de aceite, un potencial muy elevado en comparación a otros cultivos oleaginosos más utilizados para la producción de biodiésel, el girasol de 25 a 35 %, la colza de 38 a 46 % y la palma de 30 a 60 % de aceite según (Dias, Araújo, Costa, & Alvim-Ferraz, 2013). El aceite de ricino se puede utilizar como alternativa al diésel, ya que es de bajo costo, de fácil disponibilidad y baja emisión, el nivel de humo para el biodiésel es bajo en comparación con el diésel en todas las cargas, debido al alto contenido de oxígeno y al menor contenido de azufre del biodiésel, este uso de biodiésel tiene un gran impacto en la reducción de la dependencia de la India en las importaciones de petróleo según (Sattanathan, 2015). Contribuye con la reducción de NOx, HC y PM, ya que se sabe que estos últimos están relacionados con efectos nocivos en la salud de las personas, enfermedades tales como el cáncer de pulmón, asma y/o la muerte según la (OMS, 2016).

CAPÍTULO II

2 Marco Teórico

2.1 Motores diésel de vehículos pesados Tracto Camión (TCM)

2.1.1 Introducción

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 (Cummins Inc., 2017) .

Según Escudero, González, Rivas, & Suárez (2011), 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.

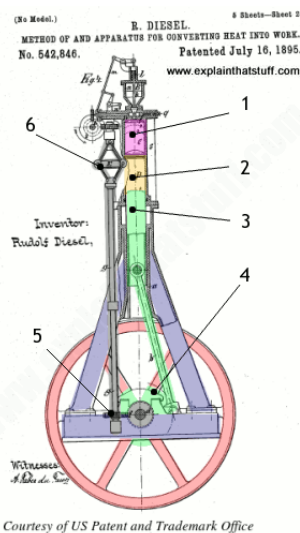


Figura 2.1 Primer prototipo de un motor diésel

Fuente: (Alemania Patente nº 542,846, 1895).

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 el existe una desaceleración del motor (Woodford, 2017).

2.1.2 Principio de funcionamiento de un motor diésel

Motores del ciclo diésel son aquellos que aspiran aire, que después de ser comprimido en el interior de los cilindros, recibe el combustible a presiones altas que alcanzan valores entre 30 y 60 bares (MACO I.C., 2003).

La combustión ocurre por auto ignición de la mezcla cuando el combustible entra en contacto con el aire a presiones elevadas. El combustible que es inyectado al final de la compresión del aire en la mayoría de los motores de ciclo diésel.

El funcionamiento de un motor diésel en comparación con el de gasolina radica en la mezcla de aire - combustible, ya que la mezcla en un motor diésel es relativamente más homogénea debido a que la inyección se la realiza poco antes de la inflamación de la mezcla. Estos motores aspiran aire en exceso, por lo que, si las concentraciones de aire son bajas, los gases contaminantes aumentarían según lo comenta DELPHI (2007).

Otros de los aspectos a enfocarse es que los motores Diésel auto inflaman el combustible únicamente por el calor generado al comprimir el aire, por lo que carecen de un sistema de encendido exterior a diferencia de los motores a gasolina (J. Kates & E. Luck).

Según Albert Martínez Villegas (2007), debido a que lo motores diésel requieren de una temperatura mayor al momento de comprimir el aire para encender la mezcla que los de gasolina, la relación de compresión es mayor. Como los motores diésel “adquieren temperaturas entre los 600 a 800 °C” (Parera, 1996). Una razón de que el motor diésel sea más eficiente termodinámicamente es que Otto debido a su alta compresión, lo que provoca que los gases atrapados en la cámara se quemen

espontáneamente y se expandan empujando al pistón en su recorrido descendente (Castillo, 2013).

El proceso de combustión normal en un motor diésel se inicia por auto inflamación de parte del combustible recién inyectado y evaporado que prosigue por una combustión por difusión en la que el combustible se quema conforme se continúa inyectando en la cámara de combustión a altas temperaturas. En los motores Otto la combustión normal consiste en la deflagración de una mezcla premezclada y homogénea de aire – combustible en estado gaseoso. Llegan a temperaturas entre los 300°C y los 400°C, menores que en los motores diésel, por ende, menores presiones (Rovira de Antonio, & Muñoz Domínguez, 2015).

2.1.3 Ciclo teórico de funcionamiento

Un motor diésel de 4 tiempos realiza su ciclo de trabajo en 4 carreras del pistón en el siguiente orden como lo indica Escudero y otros (2011):

- **Admisión:** El pistón se desplaza desde el punto muerto superior (PMS) hasta su punto muerto inferior (PMI), aquí se abre la válvula de admisión para que entre el aire al cilindro previamente filtrado de impurezas.
- **Compresión:** Aquí se cierra la válvula de admisión y el pistón se desplaza del punto muerto inferior (PMI) al punto muerto superior (PMS), de esta forma comprimiendo el aire presente en la cámara a altas temperaturas que llegan los 800 °C debido a las altas presiones que está sometido el aire.
- **Expansión:** Esta etapa llega el pistón al PMS, en donde el inyector abre el conducto correspondiente y entra el combustible pulverizado de una manera perfecta y a una presión elevada, en este momento la combustión se la realiza espontáneamente al entrar en contacto el combustible con el aire comprimido que tiene una temperatura mucho más elevada que la del encendido del combustible. Este incremento de temperatura como la turbulencia generada dentro de la cámara combustiona el resto de la mezcla,

la presión permanece constante. Luego los gases generados por la combustión se expanden y empuja al pistón en su carrera descendente al PMI generando trabajo.

- Escape: una vez el pistón en el PMI, la válvula de escape se abre y los gases quemados salen rápidamente al exterior con una presión mayor hasta llegar a la atmosférica, el pistón sigue su desplazamiento hasta expulsar el resto de los gases quemados por la válvula de escape, al llegar el pistón al PMS se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión para comenzar de nuevo el ciclo.

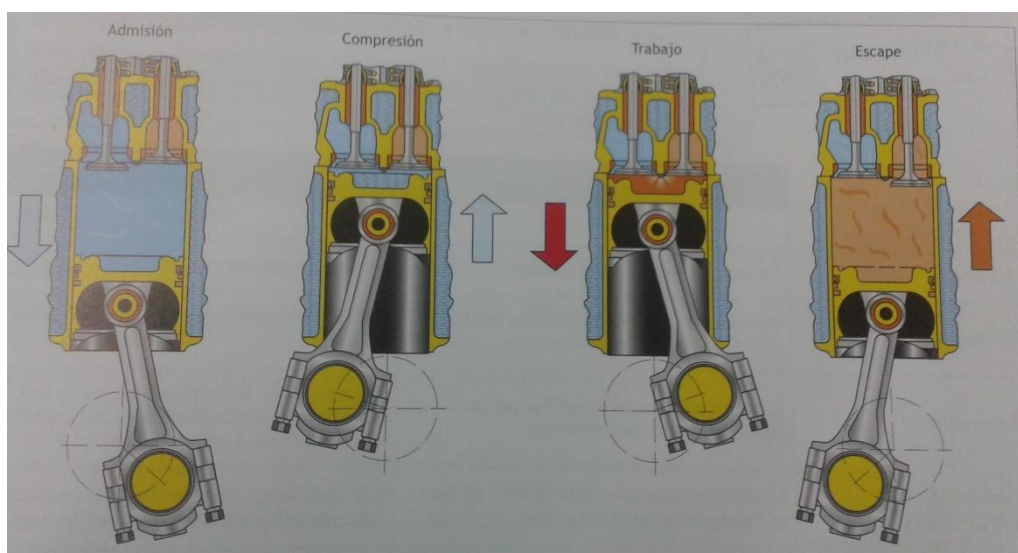


Figura 2.2 Ciclo teórico de funcionamiento diésel

Fuente: (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2011)

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

Con la palabra tracto camiones (TCM) según la norma técnica ecuatoriana (INEN, 2016), 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” (Diesel Technology Forum, 2016).

Los motores diésel son el poder detrás de nuestras máquinas más grandes: camiones, trenes, barcos y submarinos. A primera vista, son similares a los motores de gasolina ordinarios, pero generan más potencia, de manera más eficiente al trabajar de una manera sutilmente diferente (Woodford, 2017).

Las piezas principales de estos tipos de motores son más fuertes y reforzadas debido al gran esfuerzo al que están sometidos, debido a las altas temperaturas y presiones a la que es sometido, la construcción de motor de vehículo pesado se diferencia del resto de motores diésel de turismo en que poseen mayor robustez ya que sus componentes se fabrican de materiales de gran resistencia para soportar los esfuerzos mecánicos, su desventaja es que las piezas poseen mayor coste de fabricación, otra característica es su enorme precisión ya que al ser motores tan pesados requieren que sus componentes realicen su trabajo de forma precisa y así asegurar una marcha segura, eficaz y fiable. Otra característica es su alto rendimiento, estos motores tienen un rendimiento del 43 al 44% en camiones y autobuses mientras que para turismos es algo inferior con un rendimiento del 36% (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2011)

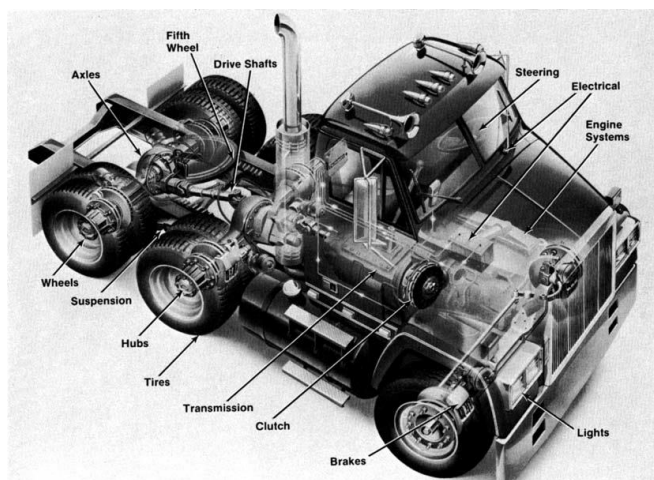


Figura 2.3 Vehículo pesado TCM

Fuente: (Bennett & Norman, 2011)

2.2.1 Motores Detroit serie 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 (Detroit Diesel Corporation, 2009).

2.2.1.1 Historia

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 (Rowe, 2017).

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 (Senefsky, 2007).

2.2.2 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 (Cummins Inc., 2017).

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 (Centro diesel, 2016) .

Cummins Inc (2017) afirma que los motores diésel Cummins de la actualidad son los motores más potentes y confiables en la carretera, en el agua y en el lugar de trabajo. Tienen un rango de 2.8 a 95 litros de desplazamiento, permite a los conductores aprovechar el motor Cummins perfecto para sus necesidades específicas gracias a su confiabilidad y rendimiento.

2.2.3 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 (Rowe, 2017).

De acuerdo con las especificaciones de Volvo Trucks (2016), 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%.

2.2.4 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 (Laboratorios Omega Diesel, 2016).

2.3 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 (Lapuerta , Armas, Agudelo, & Sánchez, 2006).

Lapuerta y otros (2006) 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.

A medida que se incrementa la altura sobre el nivel del mar, la densidad del aire disminuye directamente con la presión atmosférica y el volumen del oxígeno en el aire disminuye por tener mayor peso molecular que el nitrógeno, siendo estos dos los principales componentes que forman el aire de la atmósfera, en otras palabras, a medida que se aumenta la altura se tendrá menos aire y por ende menos oxígeno (Castaño, Arrieta, & Agudelo, 2003).

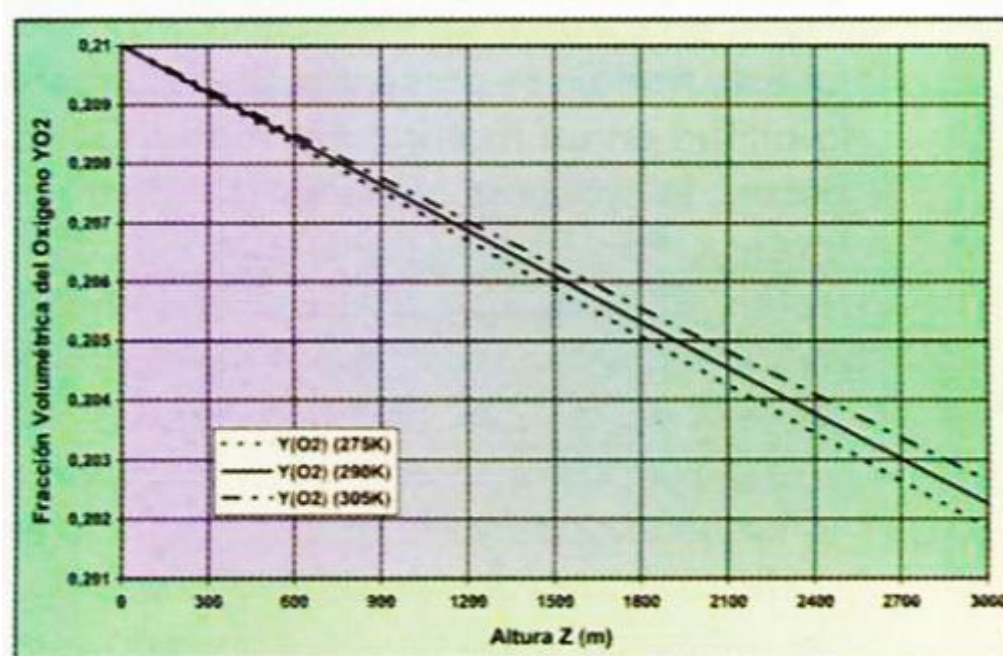


Figura 2.4 Efecto de la altitud sobre la composición volumétrica del oxígeno

Fuente: (Castaño, Arrieta, & Agudelo, 2003).

La figura 2.4. muestra que el rendimiento del motor disminuye con la altitud debido principalmente a que la presión en el cilindro es menor a lo largo de todo el ciclo del motor, si bien otros efectos relacionados con la incorporación del combustible también influyen. Todo ello provoca una pérdida de potencia indicada. Aunque la potencia de pérdidas mecánicas se reduce ligeramente con la altitud debido a que la potencia de pérdidas de bombeo y la de rozamiento se reducen por la disminución de la contrapresión de escape y de presión en el cilindro

respectivamente, esta disminución es mucho menos significativa que la de la potencia indicada (Lapuerta, Armas, Agudelo, & Sánchez, 2006).

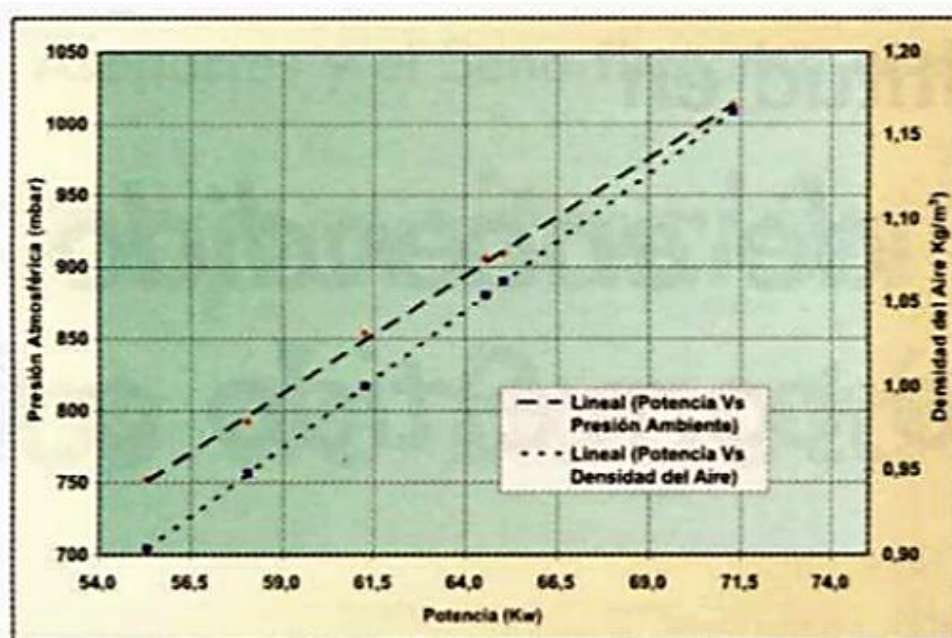


Figura 2.5 Efecto de la presión atmosférica en la pérdida de potencia de un MEP

Fuente: (Castaño, Arrieta, & Agudelo, 2003)

Según explica Castaño, Arrieta, & Agudelo (2003), la figura muestra como un motor pierde potencia únicamente por efecto de la densidad, lo que en la práctica o funcionamiento real del motor podrían ser mayores las pérdidas debido principalmente a que los demás parámetros de la ecuación se ven afectados con la altitud. Del mismo modo, el rendimiento del combustible disminuye por efecto de la densidad y por la influencia de la transferencia de calor y se dificulta el proceso de combustión.

En motores de encendido provocado con lazo de control cerrado, el requerimiento de dosado estequiométrico obliga a la unidad de control electrónico del motor a inyectar menos cantidad de combustible a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar (menor disponibilidad de aire atmosférico). La menor temperatura exterior obliga a avanzar el ángulo de encendido ya que disminuye la velocidad de combustión. Olin y Maloney (1999) desarrollaron un algoritmo de cálculo basado en las ecuaciones de flujo a través de válvulas, que permite corregir los parámetros de

la unidad de control electrónico en función de la presión barométrica (Lapuerta , Armas, Agudelo, & Sánchez, 2006).

2.3.1 La temperatura y la presión atmosférica

Según Viñas (2002), 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, como la podemos analizar en la ecuación de estado de los gases perfectos:

$$P = \rho \cdot R \cdot T \quad [2.1]$$

Donde:

- P: Presión
- ρ : Densidad del aire
- R: Constante de los gases ideales sobre la masa molecular del aire
- T: Temperatura

2.4 Sistema de bomba unitaria (UPS)

2.4.1 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 (Magdi K. Khair, Unit Injector & Unit Pump Systems, 2010).

“En 1985, el motor de dos tiempos Serie 92 de Detroit Diesel se convirtió en el primer motor diésel de servicio pesado en adoptar la inyección de unidad controlada electrónicamente” (Bara, 1990).

Debido a que se incorporó la unidad de control electrónica, se llevó a cabo una amplia evolución de los inyectores de unidades con niveles altos de sofisticación, llevando a tomar varios caminos a las aplicaciones en motores livianos y pesados, es posible que el diseño con mayor avance de los inyectores de unidad para aplicaciones ligeras sea el inyector PPD producido al poco tiempo por Volkswagen Mechatronic (una empresa conjunta entre Volkswagen y Siemens VDO) comenzando en el año 2004 para aplicaciones de Euro 4 previstas para el año 2006, aquí el inyector usó actuadores piezoeléctricos capaces de hasta 2 inyecciones piloto y 2 inyecciones secundarias aparte de la inyección principal, fue entonces que los sistemas common rail tomaban el puesto en aplicaciones ligeras ganando terreno rápidamente, a lo que el inyector PPD no pudo competir y fue eliminado del mercado como de su lanzamiento siendo reemplazado para el 2007 por el riel común para aplicaciones Euro 5 (Magdi K. Khair, Unit Injector & Unit Pump Systems, 2010).

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 (Bosch Worldwide, 2008).

Para aplicaciones de servicio pesado, los inyectores de unidades electrónicas continuaron evolucionando, la evolución de algunos de estos diseños se describe en el documento sobre sistemas de inyección en motores HD, la cúspide del diseño de la unidad de inyección de alta resistencia está representada por los diseños de dos válvulas del E3 de Delphi y los inyectores MEUI-C de Caterpillar para motores que cumplen con los estándares de emisiones en carretera de la EPA 2007 de EE. UU, si bien estos diseños avanzados de inyectores de unidades tienen capacidades

tales como conformación de tasas e inyecciones múltiples, los sistemas de rieles comunes para aplicaciones de servicio pesado han evolucionado hasta el punto de reemplazar los inyectores de unidades en muchos diseños nuevos para mercados con los estándares de emisión más exigentes, para facilitar este cambio, los fabricantes de equipos de inyección de combustible han diseñado sistemas de rieles comunes que se puede instalar fácilmente en las plataformas de los motores que originalmente fueron diseñadas para inyectores de unidades o sistemas de bombas de unidades y así evitar la necesidad de un diseño de motor completamente nuevo (Magdi K. Khair, Unit Injector & Unit Pump Systems, 2010).

2.4.2 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. Tiene la capacidad de analizar con la misma precisión y a la vez las condiciones del motor junto con características del ambiente para realizar un proceso óptimo y perfecto de inyección. El eje de mando acciona la bomba, que está unida al inyector a través de un conductor de presión corto. Como son utilizados inyectores mecánicos muy pequeños. 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 (Bosch, Sistemas Modernos de Inyección a Diesel Unidades Completas y su despiece, 2015).



Figura 2.6 Sistema de inyección UPS

Fuente: (Bosch, 2015)

Este sistema consta de una combinación de porta-boquillas conectado mediante una línea corta de alta presión con presiones de inyección de combustible que llegan a los 2200 bar. Está constituido por una bomba de alta presión impulsada por el movimiento directo del árbol de levas del motor que brinda una tasa elevada de inyección de combustible que permite un aumento continuo de la presión durante toda la misma. El sistema UPS es apta para motores de vehículos comerciales o pesados de hasta 8 cilindros que llegan a tener rendimientos de 80 KW por cada uno de ellos. Tiene la capacidad de incluir una segunda unidad de control para que la inyección se extienda a los 16 cilindros (Bosch Worldwide, 2008).

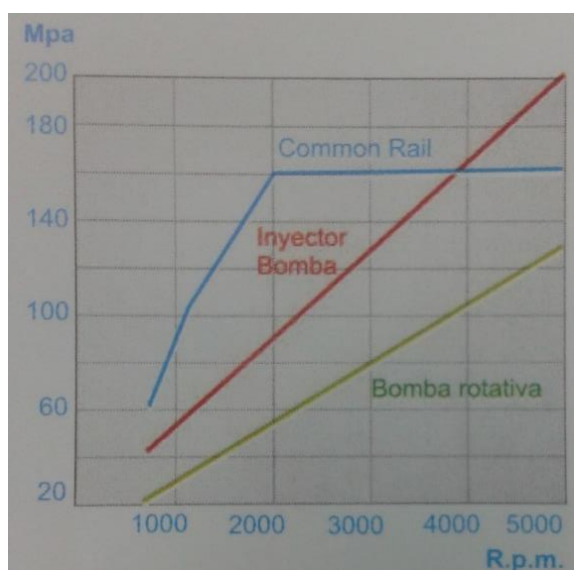


Figura 2.7 Presiones de trabajo de los diferentes sistemas de inyección

Fuente: (Salinas Villar, 2007)

En la figura se presenta la curva de las presiones de inyección alcanzada con relación a las RPM del motor por los diferentes sistemas de inyección. El sistema de inyector bomba o UPS es uno de los sistemas más fiables y potentes que alcanza altas presiones conforme se aumentan las RPM del motor, llegando hasta los 200 MPa, seguido del Common rail que cuando el motor llega a las 2000 RPM inyecta con una presión constante de aproximadamente 160 MPa, teniendo ventaja sobre los otros sistemas a bajas revoluciones.

El sistema de bomba unitaria (UPS) también se conoce con la designación de tipo PF.MV para motores a gran escala de acuerdo (Bosch, 2014) , de la misma forma que el sistema de inyector unitario, este sistema realiza la inyección de combustible mediante bombas controladas por un temporizador, teniendo aplicaciones en los motores a continuación mencionados:

- Motores comerciales de hasta 6 cilindros (37kW por cilindro) – Sistema UPS 12
- Motores comerciales pesados de hasta 8 cilindros (65Kw por cilindro) – Sistema UPS 20.
- Motores comerciales pesados de hasta 18 cilindros (92 kW por cilindro) – Sistema SP con bomba enchufable o Steckpumpe.
- Motores comerciales de hasta 6 cilindros (40 kW por cilindro) – Sistema SPS con bomba enchufable pequeña.
- Motores de maquinaria agrícola y de construcción, ferrocarriles y barcos con potencias hasta de 20 cilindros (500 kW por cilindro) – Sistema UPS.

2.4.3 Diseño

El sistema inyector bomba o UPS se conforma por cuatro distintas áreas en su sistema como se muestra en la figura 2.8:

- Sistema UPS con control electrónico de diésel o EDC que se constituye principalmente de sensores, una unidad de control ECU y actuadores, la

inyección aquí es controlada por las interfaces eléctricas y electrónicas dando una inyección más perfecta.

- Sistema de baja presión en el cual se suministra el combustible filtrado a la presión correcta.
- Sistema de alta presión en la cual la presión de inyección es la necesaria y adecuada para suministrar a la cámara de combustión.
- Presenta un sistema de admisión de aire como de gases de escape para manejar el suministro de aire tanto en la combustión como para la recirculación de gases de escape y su tratamiento.

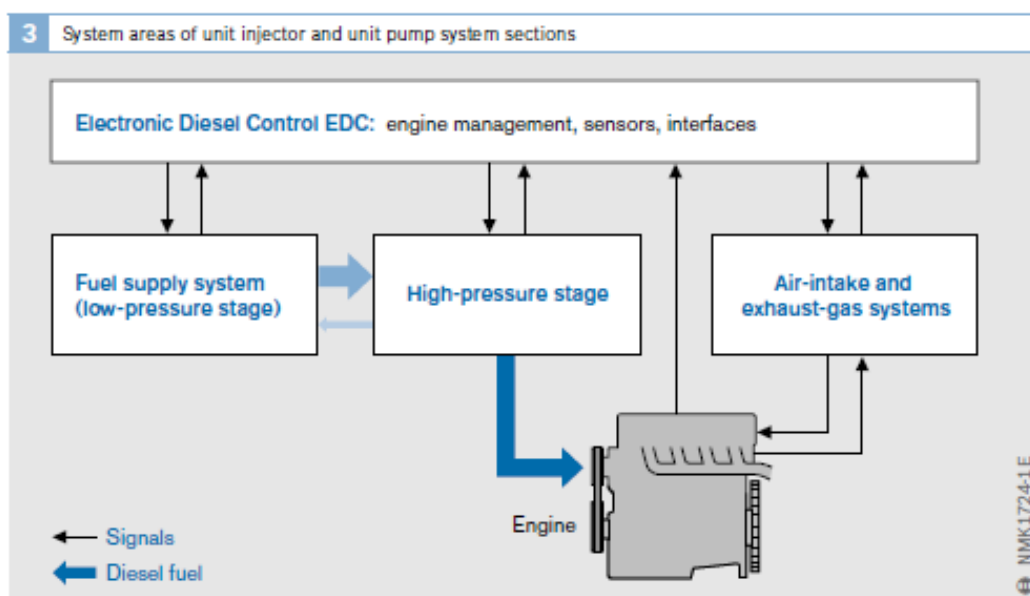


Figura 2.8 Áreas del sistema de inyección inyector bomba UPS

Fuente: (Bosch, 2014)

En la figura 2.8, muestra como actúan las señales de las tres áreas antes explicadas en un motor diésel, presentando las señales de entrada y salida como la entrada del combustible diésel del sistema de baja presión al de alta presión y por último al motor por medio de los inyectores bomba.

2.4.4 Estructura y montaje

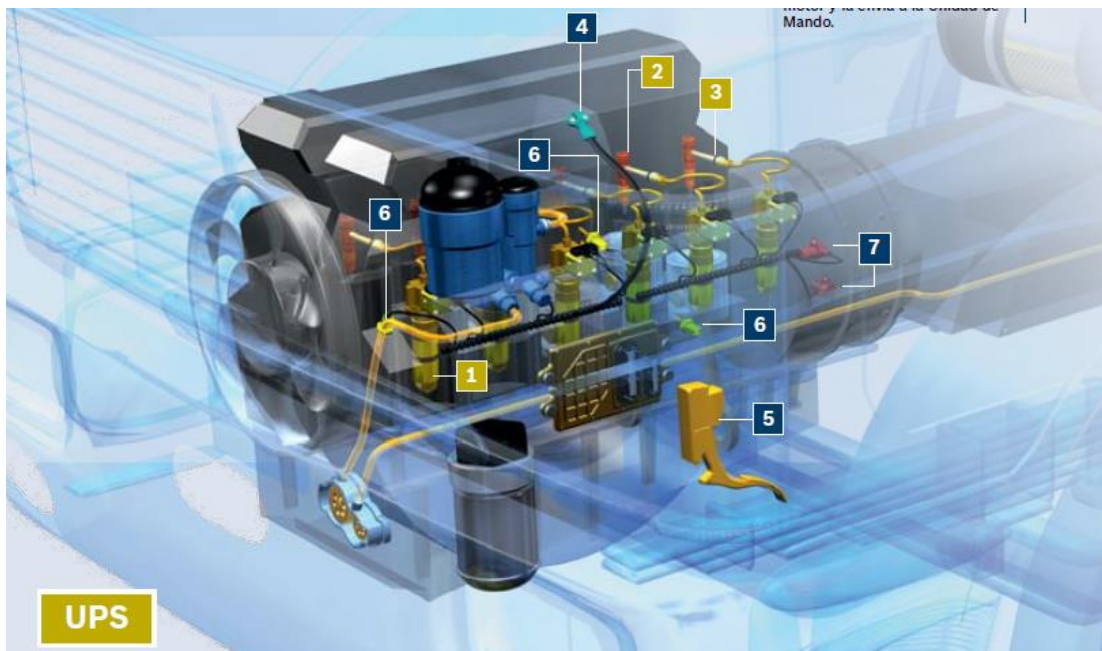


Figura 2.9 Sistema de inyección UPS y sus partes en un motor diésel

Fuente: (Bosch, 2015)

En el sistema UPS de la fig. 2.9. tenemos la bomba unitaria (1) que es el componente principal del sistema que tiene como función general alta presión del combustible que sea necesaria para optimizar la combustión en el motor.



Figura 2.10 Bomba unitaria (1)

Fuente: (Bosch, 2015)

El conjunto Porta inyector STH (2) que es el responsable de inyectar el combustible a alta presión en el cilindro del motor, aquí la importancia de tenerlo en buenas para asegurar el desempeño del vehículo.



Figura 2.11 Porta inyector STH (2)

Fuente: (Bosch, 2015)

Otro elemento que conforma el sistema UPS es la conexión de presión (3) viene instalado dentro del cabezote del motor que es el que envía el combustible de la bomba al conjunto porta inyector a altas presiones.



Figura 2.12 Conexión de Presión (3)

Fuente: (Bosch, 2015)

Dentro de los sensores del sistema está el sensor de presión de temperatura del aire (4), que es el que informa a la unidad de control tanto la temperatura como la presión del aire, éste influye directamente en la inyección del combustible.



Figura 2.13 Sensor de Presión y Temperatura del Aire (4)

Fuente: (Bosch, 2015)

Dentro del módulo del pedal del acelerador (5) se tiene un sensor de posición que da la señal a la unidad de mando el nivel del pedal del acelerador.



Figura 2.14 Módulo Pedal del Acelerador (5)

Fuente: (Bosch, 2015)

Otro componente parte de este sistema es el sensor de temperatura (6) que mide la temperatura del motor por medio del líquido refrigerante como aceite lubricante, genera una señal eléctrica a la unidad de mando, influye en el volumen del combustible.



Figura 2.15 Sensor de temperatura (6)

Fuente: (Bosch, 2015)

El sensor de fase (7) y de rotación del motor (7), como su nombre lo dice mide la señal de rotación del motor y la envía a la unidad de control, mientras que el sensor de fase administra las etapas del motor para identificar en un par de cilindros el que se encuentre en fase de compresión o de escape.



Figura 2.16 Sensor de Fase y Sensor de Rotación del Motor (7)

Fuente: (Bosch, 2015)

2.4.5 Electroválvulas

2.4.5.1 Funcionamiento

Las electroválvulas poseen dos posiciones; una abierta si no existe corriente atravesando por la bobina del imán, en donde el muelle de válvula empuja la aguja contra el tope de modo que queda abierta la sección de paso por la válvula (9), aquí las zonas de alta presión (3) y baja presión (4) de la bomba se encuentran comunicadas, en esta posición de reposo puede fluir el combustible hacia la cámara de alta presión, mientras que la posición cerrada que ocurre cuando la unidad de control activa a la bobina, al efectuar una inyección, la bobina se excita y genera un flujo magnético en el núcleo magnético e inducido generando una fuerza que atrae al inducido hacia el cabezote a tal punto que la aguja y el cuerpo de la válvula en el asiento de cierre hagan contacto, cuanto mayor sea el contacto mayor fuerza magnética y la bomba inyecta, cuando concluya la inyección se desconecta la corriente de la bobina así perdiendo el flujo magnético y la fuerza del muelle presiona la aguja hasta llevarla a su estado de reposo, ahora la válvula permanecerá en posición abierta (Meganeboy, 2005).

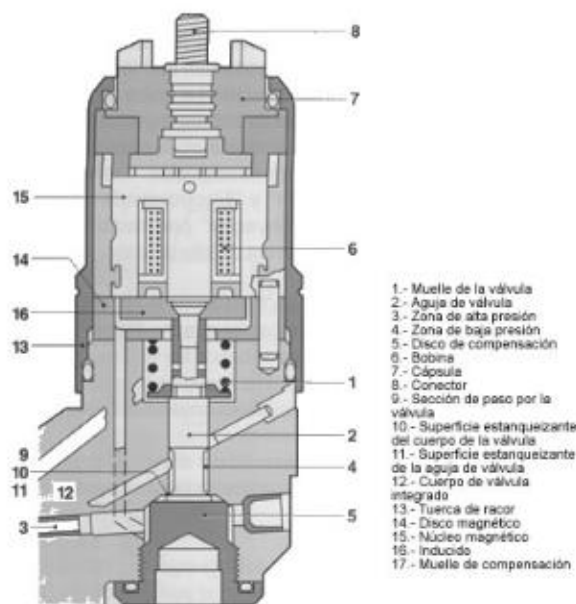


Figura 2.17 Esquema interno de una electroválvula de alta presión para unidad de bomba inyector para vehículo industrial

Fuente: (Meganeboy, 2005)

2.4.6 Principales beneficios

Debido a que el inyector y la bomba están ensambladas en una sola unidad permite que se eliminen o reduzcan las líneas largas de alta presión de combustible que da como resultado grandes beneficios tanto para la inyección como para factores externos:

- Se tiene la ventaja de reducir las emisiones contaminantes, Un consumo de combustible económico, así como una fácil conversión de sistemas de inyección de combustible con bombas en línea o de distribuidor (no es necesario rediseñar la culata). El servicio al cliente es simple y rápido ya que las bombas pueden intercambiarse fácilmente (Bosch Worldwide, 2008).
- Existe la reducción de problemas de dinámica del combustible en la línea en los sistemas de inyector bomba que los modelos PLN, que son bombas de línea al inyector donde existía retrasos en la inyección de combustible, esto se corrigió en los sistemas UPS ya que se puede modular la tasa de inyección.

- Mayor presión de inyección: el sistema de interfaz de usuario tradicionalmente ha tenido la capacidad de presión de inyección más alta entre todos los tipos de sistema de inyección. A principios de la década de 2000, los sistemas de interfaz de usuario tenían capacidades de presión de 200 MPa, en comparación con 160 MPa en sistemas de carril común. Desde entonces, las presiones pico de inyección del sistema UI / UP se elevaron a 250 MPa como máximo para algunas aplicaciones del año modelo 2007 (Magdi K. Khair, Unit Injector & Unit Pump Systems, 2010).
- Mayor potencia del motor, se presenta menos ruido. Presenta fácil acceso al mantenimiento debido a la estructura y montaje de la bomba que es fuera del cabezote y el mando electrónico aumenta la seguridad y durabilidad del motor (Bosch, 2009).
- Salinas Villar (2007) señala como una de sus desventajas a señalar es el diseño complejo que posee al estar ubicado en la culata, lo que tiene que ver con una exigencia mayor para el árbol de levas y la correa dentada que estarían sometidas a cargas mayores.

Tanto los sistemas UI como UP son accionados desde el árbol de levas del motor. En un diseño de sistema mecánico común, el control del combustible se logró típicamente mediante la rotación del elemento de bombeo (émbolo) de la misma manera que se hace en los sistemas PLN. Con la introducción de la electrónica en los motores diésel, se desarrollaron sistemas de inyectores de unidades electrónicas (EUI) y bombas de unidades electrónicas (EUP). Estos emplean una válvula de derramamiento accionada electromagnéticamente para el control del combustible. Debido a la presencia de líneas de combustible, el sistema de bomba de la unidad puede clasificarse como una variante del sistema de inyección de PLN. Sin embargo, el diseño de los sistemas de bomba de unidad e inyector de unidades es a menudo similar, por lo que es conveniente discutir juntos estos sistemas. De hecho, algunos fabricantes ofrecen sus sistemas de inyección en las versiones IU y UP (Magdi K. Khair, Unit Injector & Unit Pump Systems, 2010).

2.5 Emisiones de gases de escape

Los motores diésel a diferencia de los motores Otto, la mezcla de aire-combustible es heterogénea y las emisiones formadas como resultado de quemar esta mezcla depende mucho de las condiciones de combustión, así como la expansión, especialmente antes de la apertura de la válvula de escape, es por esto que es muy importante la preparación de la mezcla durante el retardo de encendido, la calidad del encendido del combustible, el tiempo de residencia a diferentes temperaturas de combustión, la duración de la expansión y las características generales del diseño del motor ya que son factores de gran relevancia en lo que respecta a formación de emisiones, en esencia, la concentración de las diferentes especies de emisión en el escape es el resultado de su formación y su reducción en el sistema de escape, los productos de combustión incompletos formados en las primeras etapas de la combustión pueden oxidarse más tarde durante la carrera de expansión, la mezcla de hidrocarburos no quemados con gases oxidantes, alta temperatura de la cámara de combustión y tiempo de residencia adecuado para el proceso de oxidación permite una combustión más completa, en la mayoría de los casos, una vez que se forma óxido nítrico (NO) no se descompone, pero puede aumentar la concentración durante el resto del proceso de combustión si la temperatura permanece alta (Magdi K. Khair, Emission Formation in Diesel Engines, 2015).

Como sabemos una de las partes del proceso de combustión de la mezcla aire-combustible de un motor de combustión interna es liberar gases por el escape al ambiente. Majewski (2012) señala que en este proceso se convierte la energía química del combustible en energía mecánica, una combustión ideal del combustible diésel (mezcla de hidrocarburos) daría como resultado únicamente dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O), debido a que los gases de escape están formados principalmente por estos compuestos y por la parte de aire de carga de motor no utilizada, estos gases tienen una concentración volumétrica en los gases de escape en un rango de 2 a 12% de CO_2 , 2 a 12% de H_2O , un 3 a 17% de O_2 y N_2 en equilibrio, estas concentraciones dependen de la carga del motor, si ésta aumenta el contenido de CO_2 y H_2O aumentan, mientras que el contenido de

O₂ disminuye, ninguna de estas emisiones posee efectos nocivos a la salud o al medio ambiente, aunque el CO₂ es gas de invernadero que se concentra en la atmósfera, la concentración total de contaminantes en los gases de escape del diésel se ilustra esquemáticamente en la Figura 2.18.

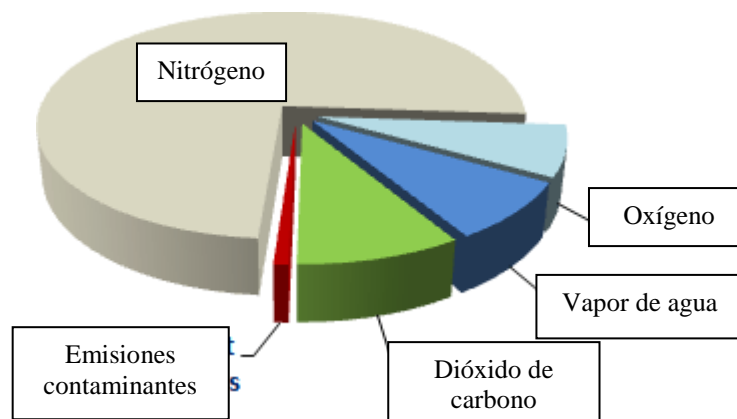


Figura 2.18 Concentración relativa de emisiones contaminantes en el gas de escape diésel

Fuente: (Majewski, 2012)

2.5.1 Los óxidos de nitrógeno (NO_x)

Los óxidos de nitrógeno son precursores de ozono que además de las partículas de diésel o PM, el NO_x es considerado uno de los contaminantes más críticos que se encuentran en los gases de escape de los motores diésel según lo afirma W. Addy Majewski en su estudio *Gaseous emissions* (2010).

John Pignon (2005) en una de sus investigaciones dice que el NO producido durante la combustión de la mezcla, rápidamente se oxida y se convierte en NO₂ (colectivamente llamado NO_x). El NO_x se combina con hidrocarburos o compuestos orgánicos volátiles en presencia de la luz solar para formar ozono de bajo nivel, lo que provoca la presencia del smog en el ambiente. Se ha comprobado que las reducir las temperaturas máximas en la cámara de combustión reduce la cantidad de NO producido, pero existe la probabilidad de que exista o se forme hollín, por lo que lo óptimo sería una mejor mezcla de aire – combustible para reducir las emisiones.

2.5.2 El material particulado (PM)

Según W. Addy Majewski (2016), la materia particulada es la responsable de la existencia de humo negro en los gases de escape en motores propulsado por diésel, esta es una de las principales características de su composición, las partículas diésel forman un sistema de aerosol muy complejo que a pesar de tantas investigaciones realizadas, no se puede comprender en su totalidad la formación de PM en el cilindro del motor, así como sus propiedades físicas y químicas, como los efectos nocivos sobre la salud humana, se llegó al punto que el PM es una de las principales emisiones nocivas producidas por los motores diésel por lo que están sujetas a rigurosas regulaciones de emisiones de diésel en todo el mundo en conjunto las emisiones NOx.

La materia particulada del diésel (PM, también abreviado DPM) es una mezcla compleja de material sólido y líquido. Las partículas en el escape de diésel son especialmente preocupantes porque, debido a su tamaño respirable, pueden penetrar profundamente en los pulmones humanos. La composición de DPM incluye muchas especies que son conocidas por sus efectos adversos para la salud, incluidos varios cancerígenos. Los efectos en la salud más a menudo relacionados con la contaminación por partículas, del diésel y otras fuentes, incluyen un aumento en la muerte debido a enfermedades respiratorias y cardiovasculares y un empeoramiento de los síntomas en personas con asma.

Contrariamente a las emisiones de diésel gaseoso, PM no es una especie química bien definida. La definición de materia particulada está determinada de hecho por su método de muestreo, cuya especificación detallada es una parte importante de todas las regulaciones de emisiones de diésel. La toma de muestras de PM consiste en extraer una muestra de gas de escape del sistema de escape del vehículo, diluirlo con aire y filtrarlo a través de los filtros de muestreo. La masa de las emisiones de partículas se determina en función del peso de PM recogido en el filtro de muestreo. Es bastante obvio que cualquier cambio en el procedimiento, por ejemplo, usando un tipo diferente de filtro de muestreo o diferentes parámetros de dilución, puede producir resultados diferentes. La estandarización de los métodos de muestreo es de suma importancia si los resultados de los diferentes laboratorios

deben ser comparables. Dichos estándares se han desarrollado para la medición de la masa de PM en el área de las regulaciones de salud pública (es decir, normas de emisión para motores diésel y vehículos) en todo el mundo (Majewski, Diesel Particulate Matter, 2016).

Existen otras fuentes que pueden contribuir a las emisiones contaminantes de los motores de combustión interna, generalmente en pequeñas concentraciones, pero en algunos casos contienen material de alta toxicidad, estas emisiones adicionales pueden incluir metales y otros compuestos del desgaste del motor o compuestos emitidos por los catalizadores de control de emisiones (a través del desgaste del catalizador o la volatilización de compuestos sólidos a altas temperaturas de escape). La formación de nuevas especies, normalmente no presentes en el escape del motor, también puede ser facilitada por los catalizadores. Esto parece ser especialmente el caso cuando se introducen catalizadores en la cámara de combustión. Por ejemplo, algunos aditivos de combustible, los llamados "catalizadores de combustible", utilizados para respaldar la regeneración de los filtros de partículas diésel, se han relacionado con las emisiones de dioxinas y furanos altamente tóxicos (Majewski, 2010).

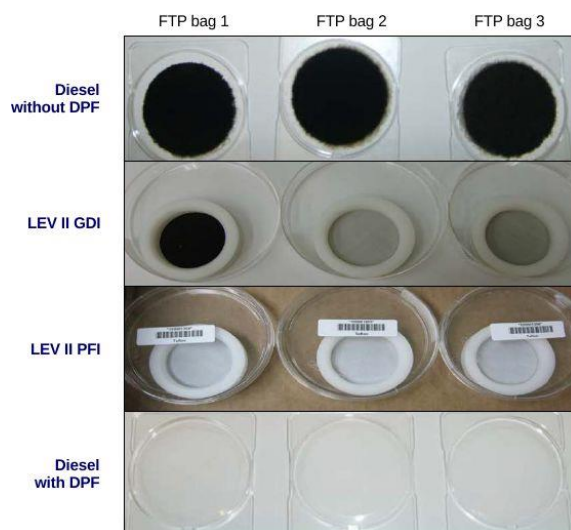


Figura 2.19 Comparación visual de depósitos de PM de diversas tecnologías de LDV Vehículos ligeros, prueba FTP-75 (bolsa 1 = arranque en frío)

Fuente: (CARB, 2011)

En la figura 2.19. podemos observar una serie de filtros con muestras de PM de motores diésel tanto en la primera como en la última fila, y de motores a gasolina tanto en la segunda (motor GDI) como en la tercera fila (motores PFI). La apariencia que tienen los filtros de los motores diésel nos muestra que existen cantidades significativas de hollín (partículas carbonáceas). Mientras que en las muestras de los motores de gasolina se puede concluir que el motor de gasolina GDI o de inyección directa provoca emisiones de materia particulada más altas que los motores PFI o inyectados de combustible. Por otro lado, el uso de los filtros de partículas diésel (DPF) pueden controlar de manera efectiva las emisiones de PM, reduciéndolas casi o completamente.

2.5.3 Efectos ambientales de las emisiones

En los procesos de combustión no ideal es donde las emisiones de diésel incluyen también contaminantes que pueden ser nocivos para la salud y el medio ambiente, estos contaminantes son producidos por la combustión incompleta del combustible, la combustión de aceite del motor, así como aditivos.

La combustión de componentes no hidrocarburos como el azufre presente en el combustible así generando hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (PM), y cada uno de los compuestos antes mencionados provocan una determinada reacción o afección en el ambiente como en la salud humana.

En la tabla 2.1 mostrada a continuación, se presentan las fuentes naturales, las fuentes antropogénicas y su efecto ambiental que originan los contaminantes como óxidos de nitrógeno NO + NO₂, el material particulado o PM, el dióxido de azufre o SO₂, el ozono, el monóxido de carbono o CO, el dióxido de carbono o CO₂, los hidrocarburos no metano o VOC, metano y los clorofluorocarbonos o CFC.

Tabla 2.1 Contaminantes del aire, sus fuentes y efectos

Contaminante	Fuente natural	Fuente antropogénica	Efecto ambiental
Los óxidos de nitrógeno (NO + NO ₂)	Relámpagos, bacterias del suelo	Combustión de combustible a alta temperatura, vehículos de motor, industriales y de servicios públicos	Contaminantes primarios que producen smog fotoquímico, lluvia ácida y partículas de nitrato. Destrucción del ozono estratosférico. Impacto en la salud humana
Partículas	Incendios forestales, erosión eólica, erupción volcánica	Combustión de biocombustibles como madera y combustibles fósiles como carbón o diésel	Visibilidad atmosférica reducida. Impacto en la salud humana Las partículas de carbono negro contribuyen al calentamiento global.
Dióxido de azufre	Erupciones volcánicas y decaimiento	Combustión de carbón, fundiciones de mineral, refinerías de petróleo, motores diésel que queman combustibles con alto contenido de azufre	Lluvia ácida. Impacto en la salud humana
Ozono	Rayo, reacciones fotoquímicas en la troposfera	Contaminante secundario producido en el smog fotoquímico	Daño a plantas, cultivos y productos hechos por el hombre. Impacto en la salud humana
Monóxido de carbono	Imperceptible	Combustión rica y estequiométrica, principalmente de vehículos de motor	Impacto en la salud humana
Dióxido de carbono	Respiración animal, decaimiento, liberación de los océanos	Combustible fósil y combustión de madera	Gas de efecto invernadero más común
Hidrocarburos no metano (VOC)	Procesos biológicos	Combustión incompleta, utilización del solvente	Contaminantes primarios que producen smog fotoquímico
Metano	Deterioro anaeróbico, animales que mastican, pozos de petróleo	Fuga de gas natural y combustión	Gases de efecto invernadero
Clorofluorocarbonos (CFC)	Ninguna	Disolventes, propulsores de aerosoles, refrigerantes	Destrucción del ozono estratosférico

Fuente: (W. Addy Majewski, 2004)

Como podemos analizar en la tabla anterior, cada uno de los gases contaminantes, tiene una influencia directa en la naturaleza, dichos efectos son graves ya que desencadenan una serie de consecuencias que a la larga llega a afectar la salud humana y de otros los seres vivos, además de destruir ecosistemas: plantas, cultivos, así como aumentar el daño en la capa de ozono y el aumento del calentamiento global

2.6 Analizadores de gases

Una de las formas para medir las emisiones de escape de un vehículo es por medio de un sistema de medición homologado o banco de prueba de rodillos, en donde se realiza un ciclo de conducción definido y este sistema detecta la medición de concentraciones de los componentes integrados en los gases de escape. Por lo general estas pruebas se las realizan cuando sale un nuevo modelo al mercado (Sánchez E. , 2009).

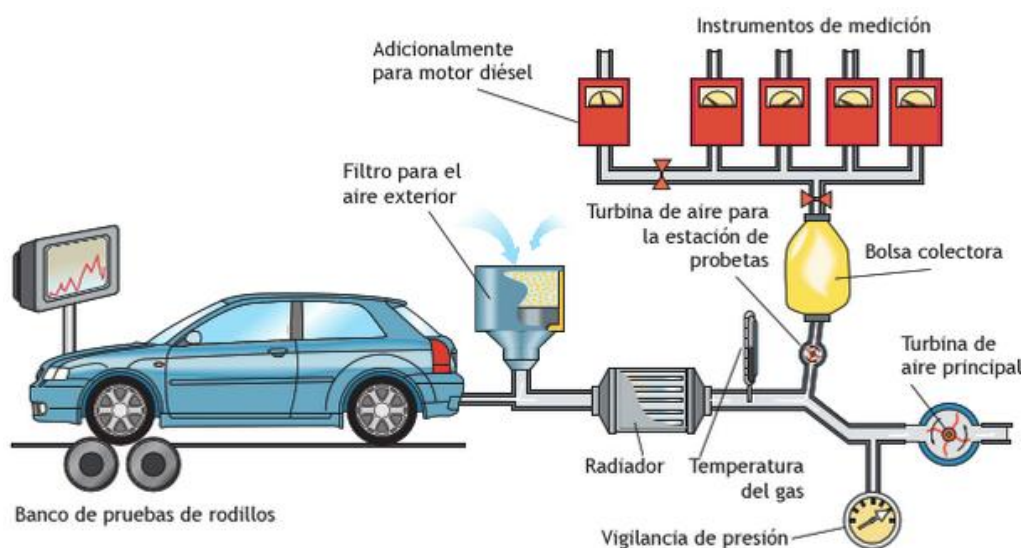


Figura 2.20 Sistema de medición en banco de pruebas

Fuente: (Sánchez E. , 2009)

Según Sánchez (2009), mediante este banco de pruebas se realiza dos tipos de ciclos de conducción: el primero es el ciclo de conducción urbana a velocidad máxima de 60 km/h que simula conducir por la ciudad, el segundo es el ciclo de conducción extraurbana, éste simula conducir a por carreteras a velocidades máximas de 120 km/h partiendo del reposo y realizando los correctos cambios de marcha.

De igual forma se tiene analizadores de gases que usan métodos con rayos infrarrojos que miden simultáneamente concentraciones de HC, CO, CO₂, O₂, NO, NO₂, NO_x y PM.

2.6.1 Equipos portátiles de medición

Una forma de medir los gases de escape es el método en ruta mediante equipos portátiles de medición, los mismos que pueden ser transportados en el vehículo a analizar y obtener resultados en tiempo real. Existen analizadores de gases de diferentes tipos, aunque es preferible el uso de sistemas tradicionales de laboratorio, podemos encontrar detectores de ionización de llama (FDI), para la medición de hidrocarburos (HC), un analizador de infrarrojo no disperso (NDIR) para mediciones de monóxido (CO) y dióxido de carbono (CO₂) y un analizador ultravioleta no disperso (NDUV) o de luminiscencia química (CHLM) para NO_x (Gallardo Klenner, Corvalan Paiva, & Mena Carrasco, 2009).

2.7 Opacímetro

El opacímetro es un equipo de estructura modular que se encarga de medir y analizar la opacidad o ennegrecimiento de los humos de escape. Consta de la cámara de medición u opacímetro y la unidad de ordenados para procesamiento de datos (Sánchez E. , 2009) .

En otras palabras, el opacímetro es un equipo que mide la cantidad de partículas de hollín o impurezas dentro de los gases de escape, se puede determinar por medio del color del humo desprendido en relación con su oscurecimiento. Según Santos Parreño (2012), cuando ganan oscurecimiento u opacidad los humos aumenta el poder de absorción lumínica, no pasan estos rayos para poder ser analizados en el opacímetro, lo que lleva un aumento del coeficiente K, los gases de escape se van haciendo más opacos a medida que la calidad del combustible empeora y existe una combustión incompleta, aumentando las partículas de hollín.

Los elementos que conforman un opacímetro son una sonda para tomar pruebas, una cámara para medir la opacidad, una unidad de control, un captador piezoeléctrico que mide la velocidad del motor y un sensor de temperatura del aceite.

En un opacímetro se muestra dos parámetros: la opacidad de los gases de escape (N), que se expresa en porcentaje, está relacionado al coeficiente de absorción lumínica (K), que se mide en unidades de m^{-1} como lo muestra la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Parámetros de un opacímetro

Relación entre absorción lumínica (K) y opacidad (N)								
K (en m^{-1})	0,52	1,19	1,61	2,50	3,00	5,35	6,97	16,06
N (en %)	20	40	50	66	72	90	95	99,9

Fuente: (Parreño Ibáñez, 2012)

2.8 Biodiésel

Los biocombustible o combustibles renovables fueron producidos y usados desde la antigüedad a finales del siglo XIX, cuando por primera vez se obtuvo etanol a base de maíz, del mismo modo, el primer motor de combustión interna por compresión creado por Rudolf Diesel en 1893 usaba un biocombustible a base de aceite de maní para su funcionamiento, estos combustibles renovables se usaron hasta los años 40 como una alternativa efectiva en el uso de combustibles para el área del transporte, pero su crecimiento se vio afectado por el bajo costo del petróleo que en esos años se estaba teniendo, y se dejó de utilizar los biocombustibles, pero éstos luego fueron retomados como uso de una alternativa al combustible fósil por parte de Brasil y Estados Unidos, se volvió a producir y utilizar etanol de caña de azúcar y de maíz respectivamente (Aguilera Peña, 2014).

Desde el año de 1973 se viene intentando producir biodiésel a partir de fuentes primarias como secundarias, pero a partir del año 1973 se firmó el Protocolo de Kioto en la convención de las Naciones Unidas, en la que se centran en el cambio climático, desde ese momento se ha venido intensificando el afán por producir biodiésel y combatir con la contaminación (Calvo B., 2006).

Desde entonces se ha logrado un largo avance en la producción y uso de un biocombustible sustentable en contra del calentamiento global, los cambios

climáticos y la alta contaminación que ha producido el área del transporte hasta la actualidad.

2.9 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 triiricinoleína, 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 (Benavides, Benjumea, & Pashova, 2007).

Martínez (1979) citado por Heike Vibrans (2009) dice que otros nombres más comunes en español con los que se la conoce a la higuera son palmacristi, ricino, higuera del diablo, mientras que su nombre común en inglés es “castor bean”. Es una planta herbácea alta, a veces algo arbustiva de color verde claro a azul-grisáceo, en ocasiones se la puede encontrar de color rojiza como lo ilustra la Figura 20., tiene un tamaño de hasta 6 m de alto, tiene diversos usos, sus tallos se usan para la fabricación del papel, sus semillas son el aspecto más importante de esta planta ya que de aquí se extrae el aceite comúnmente conocido como de ricino o de castor que se utiliza de modo medicinal o como lubricante técnico para la fabricación de jabones y tinturas.



Figura 2.21 Higuera o *Ricinus communis* / Castor Bean

Fuente: (California, 1995)

La higuera crece en cualquier tipo de suelo, aunque se produce mejor en suelos donde sean bien drenados de tipo limo-arenoso, ligeramente ácido quiere decir con PH de 5 -6,5 pero puede tolerar suelos que tengan un PH superior a 8, no es recomendable los suelos con características salinas ya que son inadecuados para obtener el mejor rendimiento de la planta. La higuera presenta sensibilidad a las sales más que el maíz dependiendo de la variedad, mientras más pequeña ésta sea más sensible a las sales.

2.9.1 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, Mondragón, & López, 2011).

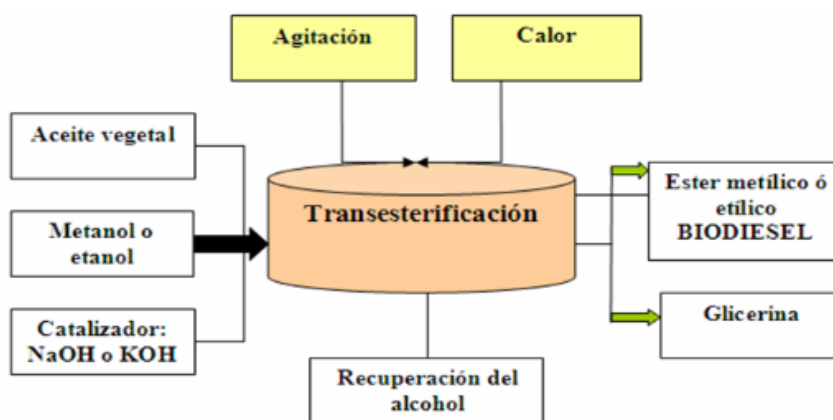


Figura 2.22 Proceso para obtención de biodiésel mediante transesterificación

Fuente: (Proaño Molina, 2010)

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 ester metílico o etílico (biodiésel) según sea el caso (Aguilera Peña, 2014).



Figura 2.23 Ciclo del biodiésel

Fuente: (Aguilera Peña, 2014)

CAPÍTULO III

3 Propuesta

3.1 Fundamentación

La finalidad de la presente investigación es llegar a demostrar el impacto del uso del biodiésel a base de aceite de higuera en proporción B5 (5% biodiésel y 95% diésel fósil) en un motor diésel con sistema inyección de bomba unitaria (UPS) para obtener en su mayoría ventajas, ya que como se sabe el biodiesel es un combustible alternativo y renovable que aporta con la disminución de gases contaminantes.

3.2 Desarrollo de la propuesta

3.2.1 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 3.1 Especificaciones técnicas del motor

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

Fuente: (Detroit Diesel, 2000)

3.2.2 Caracterización de los combustibles usados

Como combustible empleado para realizar las pruebas en el motor diésel tenemos:

- a) Diésel convencional (origen fósil).

Para el uso de diésel de origen fósil, éste debe cumplir una serie de características para poder ser usado en los motores de combustión por compresión, las mismas que se detallan a continuación:

Tabla 3.2 Requisitos para el combustible diésel

REQUISITO	UNIDAD	DÍESEL PREMIUM		MÉTODO DE ENSAYO
		Mín.	Máx.	
Punto de inflamación	°C	51	---	ASTM D93
Contenido de agua y sedimento (masa)	%	--	0,05	ASTM D2709
Contenido de ceniza (volumen)	%	--	0,01	ASTM D482
Contenido de azufre (volumen)	%	--	0,05	ASTM D2622 ASTM D4294 ASTM D5453
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm^2/s	2,0	5,0	ASTM D445
Temperatura de destilación del 90%.	°C	--	360	ASTM D86
Índice de cetano	--	45	--	ASTM D976
Contenido de Biodiésel (volumen)	%	5	10	EN 14078

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016)

Resaltando las características principales del diésel elaborado en Ecuador según las normas INEN, tiene un índice de cetano de 45, y sabiendo que el número o índice de cetano da la relación del tiempo de la inyección del carburante y el momento de auto encendido o combustión, por lo que si un número de cetano es alto, indica un menor retraso del auto encendido del combustible y da una combustión de casi todo el combustible según (Téllez V., Guzmán Murcia., & Casas, 2013).

b) Biodiésel a base de aceite de higuera o ricino B5.

Para las pruebas con biodiésel se utiliza una mezcla en concentración del 5% y posee las siguientes propiedades:

Tabla 3.3 Propiedades del biodiésel de higuera B5

Biodiésel B5	
Densidad (kg/m^3)	868,63
Número de cetano	51
Viscosidad a 40 °C (mm^2/s)	4,79
Punto de inflamación (°C)	62,3
Poder calorífico (MJ/kg)	45,01

Fuente: (Benavides, Benjumea, & Pashova, 2007)

Resaltando de la tabla anterior que las propiedades del biodiésel B5 de higuera se basan en las normas ASTM D-975, posee un número de cetano igual a 51, por lo tanto, mayor al del diésel, de la misma manera mayor viscosidad y menor contenido de azufre.

3.3 Pruebas de opacidad

Los gases de escape son el producto de la combustión de la mezcla aire-combustible que al quemarse desprenden gases que contienen CO₂ y vapor de agua en condiciones ideales, sin embargo, el combustible no llega a quemarse en su totalidad y desprende gases como CO₂, CO, HC, NO_x y hollín.

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.

3.3.1 Opacómetro

Para realizar las mediciones de opacidad, un método es realizar pruebas estacionarias en el motor diésel, un opacómetro que contiene una sonda que es ubicada en el tubo de escape y posteriormente con el motor encendido, en ralentí y a diferentes RPM de motor va a arrojar datos de porcentajes de opacidad de los gases de escape. Como instrumento de medición se usó el opacómetro OPA 100 Brain Bee y el cuentarrevoluciones – medidor de temperatura MGT-300.



Figura 3.1 Opacímetro OPA 100 Brain Bee



Figura 3.2 Cuentarrevoluciones – medidor de temperatura MGT-300

Para el uso del opacímetro, este debe ser previamente calibrado para poder hacer las pruebas de opacidad de acuerdo con las normas de control vigentes en el país, además para obtener datos confiables ya que posee lentes en su interior que necesitan de mantenimiento para poder dar lecturas verdaderas sin ser influenciadas por suciedad.

El dispositivo MGT-300 cuenta con un sensor cuentarrevoluciones que se mide por medio de un sensor con imán conectado al block del motor o se mide por medio de la batería, y un sensor de temperatura que se coloca en el aceite de motor.



Figura 3.3 Sensor de RPM y sensor de temperatura

Ambos dispositivos antes nombrados funcionan conjuntamente comunicándose por radio mediante un programa o software de computador que muestra en tiempo real las pruebas de opacidad realizadas en el vehículo.

3.3.2 Software Omni BUS 800

Es un software de mediciones automotrices de la marca italiana Brain Bee que trabaja juntamente con el opacímetro y otros dispositivos de la misma marca, en el que existe varias modalidades de uso como análisis de gases de escape, análisis de opacidad de los gases, osciloscopio, etc.

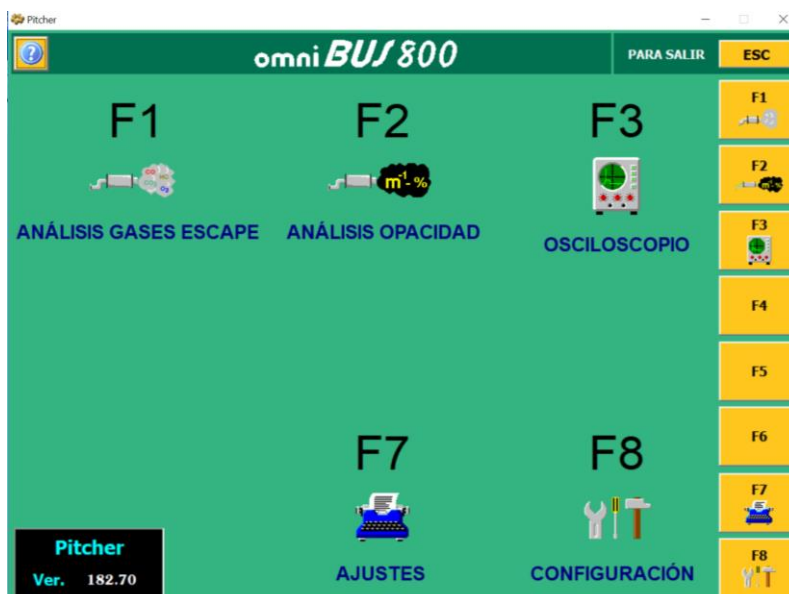


Figura 3.4 Software Omni BUS 800

3.3.2.2 Análisis de opacidad

Para realizar el análisis de opacidad en el software Omni BUS 800 se puede encontrar dos tipos de pruebas; la prueba continua y el Test Oficial, ya sea para mediciones con picos realizadas libremente o la prueba oficial para cumplir normas de control.



Figura 3.5 Software Omni Bus 800 en modalidad de opacímetro

3.3.2.3 Prueba continua

Se puede visualizar en tiempo real una gráfica que nos muestra las curvas de RPM y opacidad, este tipo de prueba es considerada como libre, ya que se puede medir la opacidad de manera manual a cualquier RPM y verla en picos de opacidad donde el programa nos muestra el momento de acelerar como desacelerar a las RPM deseadas para poder realizar promedios, tanto valores en porcentaje o N como en valores de k o m^{-1} y poder imprimir respaldos o resultados de las mediciones.



Figura 3.6 Prueba continua de opacidad

3.3.2.4 Test Oficial

Las pruebas son más estrictas, debido a que este tipo de prueba es para control de emisiones de acuerdo con las normas establecidas en cada país con valores máximos de opacidad en porcentaje.

Se realizan los siguientes pasos para llevarlas a cabo dicho test:

- a) Nos pide llenar datos del vehículo para determinar los límites oficiales de cada motor según su año de fabricación, que consta de límite de temperatura que debe tener el motor, límites de opacidad, el número de repeticiones de las pruebas, el régimen de ralentí y régimen máximo como lo muestra las siguientes figuras.

Figura 3.7 Formulario para el llenado de datos del vehículo

Figura 3.8 Límites oficiales de pruebas

Cabe mencionar que los límites antes especificados, son ya establecidos en el opacímetro según la norma ecuatoriana NTE INEN 2 207 para vehículos diésel.

- b) Luego el motor debe de cumplir con la temperatura establecida mínima de 75 °C para poder iniciar las pruebas de opacidad, al ser la temperatura

superior a la antes mencionada, el programa automáticamente pasa a la siguiente etapa.



Figura 3.9 Etapa de espera de temperatura de motor

- c) En el siguiente paso, el opacímetro automáticamente realiza el auto cero del programa para iniciar las pruebas, por lo que es recomendable tapar la punta de la sonda con el dedo para evitar que se encere erróneamente y de esta manera, insertar la sonda en el tubo de escape en el momento que termine el proceso propuesto por el software.



Figura 3.10 Colocación de sonda al tubo de escape

- d) En este último paso, tanto el opacímetro como el programa están listos para comenzar a realizar las mediciones, a diferencia de la prueba continua, aquí las mediciones las realiza el programa automático, nos pide un tiempo de espera de 5 segundos y el momento preciso para acelerar, para llegar a las revoluciones tanto en ralentí como a régimen máximo, se requiere como mínimo 5 pruebas en las cuales se realiza un promedio que el programa mismo lo calcula.

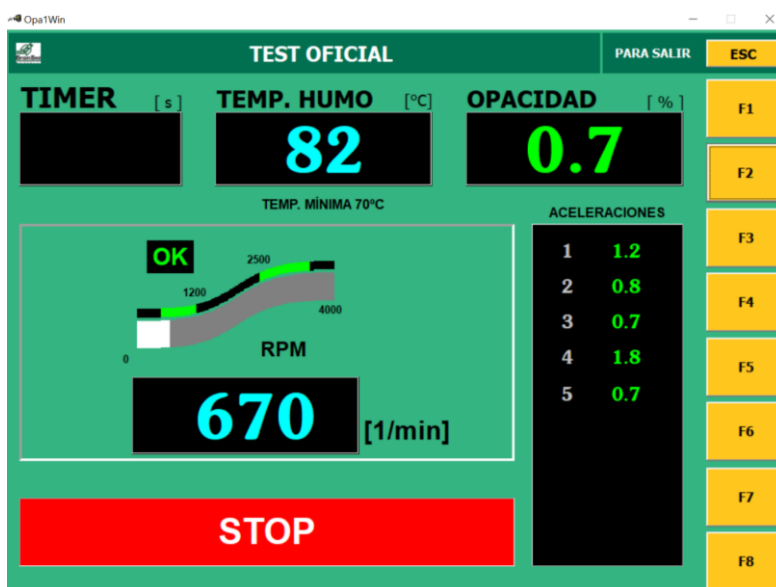


Figura 3.11 Resultados de opacidad

- e) Como último paso el programa permite realizar un informe final especificando los aparatos usados, las especificaciones del vehículo, la temperatura, las RPM y los porcentajes de opacidad (N) y determina si el vehículo es aceptado o no en dichas pruebas en forma de certificación.

El modelo de informe que permite imprimir el opacímetro presentado a continuación es usado por las entidades de control de emisiones al momento de realizar la revisión vehicular, por lo tanto, son documentos certificados y de valor.


 ANALISIS OPACIDAD HUMOS		
ANALIZADOR Número de serie :	OPA-100 090407000314	CUENTARREVOLUCIONES Número de serie :
ADDRESS ZIP - CITY	NAME	TELEPHONE FAX - EMAIL
Datos del vehículo:		
Marca :	Modelo :	
Matrícula :	No. Chasis :	
Km :		
Valores relevados:		
Temperatura motor :	— [°C]	
RPM :	0 [1/min]	
MEDICIÓN DE PICO		
Valor opacidad :	k = 0.17 [m-1]	
	N = 6.9 [%]	
Fecha y hora prueba :	03/03/2018 15:29	
Sello		
Firma		

Figura 3.12 Modelo de informe de resultados final

3.3.3 Pruebas con diésel convencional

Las pruebas tuvieron una duración de dos horas y media en total, tiempo empleado en calentar el vehículo (15 minutos), realizar las pruebas de opacidad (dos horas) y el enfriamiento del mismo (15 minutos). Para llevar a cabo dichas pruebas con diésel, se procedió a realizar los siguientes pasos:

- a) Se encendió el motor, se dejó en período de calentamiento en el tiempo de 15 minutos.
- b) Se purgó el sistema de escape, para este paso se procedió a pisar el acelerador a fondo 3 veces consecutivas, de esta manera, se libera los residuos de hollín que se encuentren presentes en el tubo de escape y al momento de realizar las pruebas de opacidad estos residuos influyan en los resultados.

- c) Se preparó el opacímetro, realizando la instalación del equipo conjunto con el cuentarrevoluciones MGT-300 y el software Omni BUS 800.
- d) Se instaló la sonda del opacímetro en el tubo de escape, se colocó el sensor de RPM, el sensor de temperatura en el motor que se comunicaron vía radio con el software y se realizaron las pruebas oficiales de opacidad durante de 2 horas.
- e) Se mide los porcentajes de opacidad de los gases de escape de acuerdo con las revoluciones del motor: ralentí (720 RPM), a 1500 RPM y en plena carga del motor (2200 RPM), los datos mostrados a continuación se obtuvieron en tres alturas diferentes a nivel del mar.
- f) Se dejó enfriar el motor durante 15 minutos.

3.3.3.1 Prueba a 1607 msnm en la parroquia de Salinas – Imbabura

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, tomando en cuenta las siguientes condiciones del lugar:

Tabla 3.4 Especificaciones climáticas de la parroquia Salinas - Imbabura

Clima	Templado seco
Temperatura promedio	20 °C
Temperatura máxima	30 °C
Temperatura mínima	10 °C
Presión atmosférica	840 hPa

Fuente: (Worldmeteo, 2018)

Los datos antes mostrados se tomaron en cuenta, ya que influye en las condiciones de funcionamiento del motor, por ende, influencia en las pruebas de opacidad, la presión atmosférica fue tomada de la tabla mostrada en el Anexo IV (Rugel, 2011) en conjunto con una calculadora en línea (Timur, 2014). Cabe resaltar que las

pruebas se las realizó en un día soleado, con presencia mínima de viento y nubosidad.

Al ejecutar las cinco pruebas de opacidad a 1607 msnm se obtuvieron los siguientes datos y sus respectivos promedios de acuerdo con la carga:

Tabla 3.5 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	

Después de realizar cinco repeticiones de las pruebas antes mostradas, se obtuvo a 720 rpm un porcentaje promedio de opacidad de 0,84%. A 1500 rpm los porcentajes variaron a 1,96%. Por último, a 2200 rpm los porcentajes de opacidad fueron de 19,96%.

Para mejor entendimiento, la siguiente gráfica detalla el incremento de la opacidad promedio conforme se aumenta el régimen del motor:

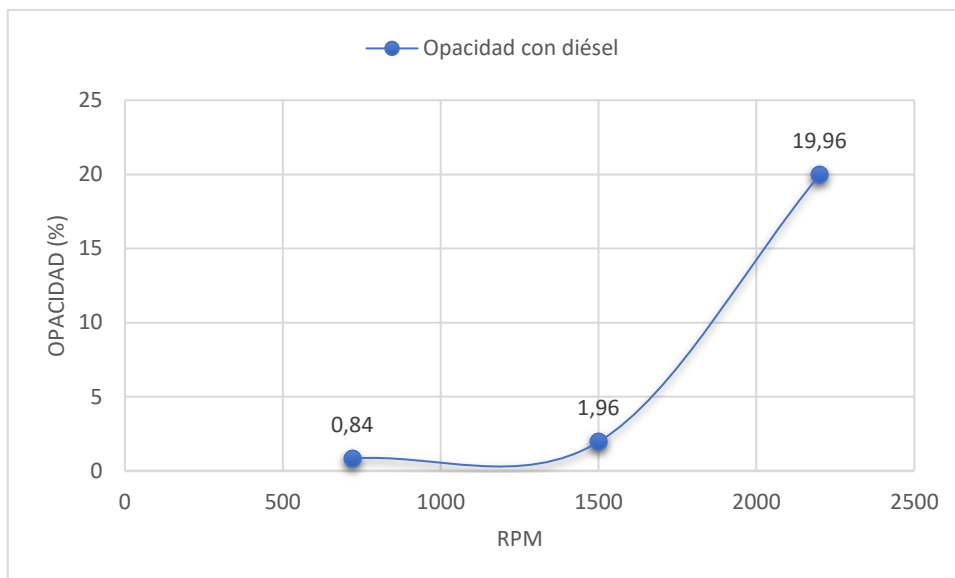


Figura 3.13 Opacidad promedio a varios regímenes del motor a 1607 msnm

3.3.3.2 Prueba a 2207 msnm en la ciudad de Ibarra – Imbabura

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 con el fin de obtener datos más confiables, tomando en cuenta las siguientes condiciones del lugar:

Tabla 3.6 Especificaciones climáticas de Ibarra - Imbabura

Clima	Templado seco-mediterráneo
Temperatura promedio	18 °C
Temperatura máxima	22 °C
Temperatura mínima	13 °C
Presión atmosférica	781 hPa

Fuente: (Meteored, 2018)

En la tabla anterior nos muestra que a la altura de 2207 msnm se presentó una temperatura de 18°C debido al clima característico del lugar. Cabe resaltar que las pruebas se las realizó en un día soleado, con presencia mínima de viento y nubosidad.

Al ejecutar las cinco pruebas de opacidad a 2207 msnm se obtuvieron los siguientes datos y sus respectivos promedios:

Tabla 3.7 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	

Tras realizar cinco repeticiones de las pruebas antes mostradas, se obtuvo a 720 rpm un porcentaje promedio de opacidad de 0,24%. A 1500 rpm los porcentajes variaron a 1,48%. Por último, a 2200 rpm los porcentajes de opacidad fueron de 21,18%.

Para mejor entendimiento, la siguiente gráfica detalla el incremento de la opacidad promedio a 2207 msnm conforme se aumenta el régimen del motor:

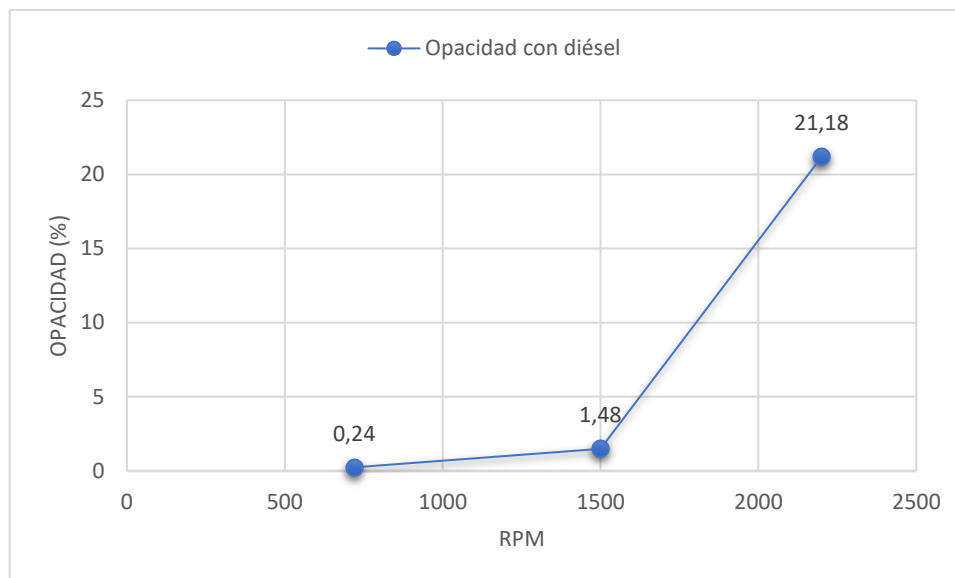


Figura 3.14 Opacidad promedio a varios regímenes del motor a 2207 msnm

3.3.3.3 Prueba a 2895 msnm en Zuleta - Imbabura

Al igual que en las alturas de 1607 y 2207 msnm, 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, tomando en cuenta las siguientes condiciones del lugar:

Tabla 3.8 Especificaciones climáticas de Zuleta - Imbabura

Clima	Cálido-templado
Temperatura promedio	12,4 °C
Temperatura máxima	18 °C
Temperatura mínima	7 °C
Presión atmosférica	716 hPa

Fuente: (Accuweather, 2018)

En esta área se presentó una temperatura de 12,4 °C debido a su clima y altura, es un lugar frío, estas características dan lugar a una presión atmosférica más baja. Cabe resaltar que las pruebas se las realizó en un día soleado, con presencia alta de viento y nubosidad.

Al ejecutar las cinco pruebas de opacidad a 2895 msnm se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 3.9 Datos obtenidos de opacidad con diésel a 2895 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	

Tras realizar cinco repeticiones de las pruebas antes mostradas, se obtuvo a 720 rpm un porcentaje promedio de opacidad de 0,46%. A 1500 rpm los porcentajes variaron a 1,6%. Por último, a 2200 rpm los porcentajes de opacidad fueron de 11,26%.

Para mejor entendimiento, la siguiente gráfica detalla el incremento de la opacidad promedio a 2895 msnm conforme se aumenta el régimen del motor:

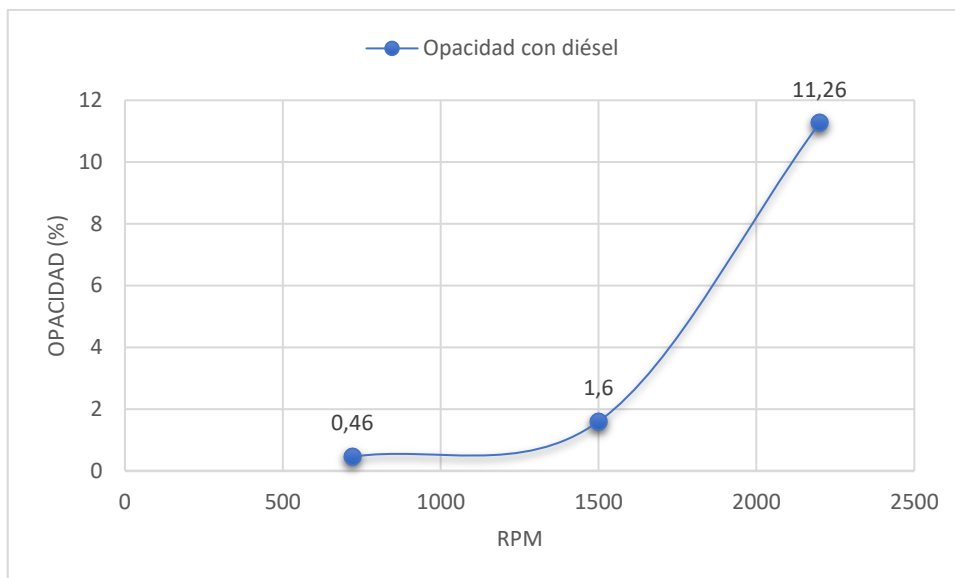


Figura 3.15 Opacidad promedio a varios regímenes del motor a 2207 msnm

3.3.4 Pruebas con biodiésel B5 de higuera

Las pruebas fueron realizadas en el período de dos horas y media, tiempo empleado en calentar el vehículo y llenado de los filtros (15 minutos), realizar las pruebas de opacidad (dos horas) y el enfriamiento (15 minutos). Se utilizó un recipiente graduado de 20 litros de capacidad, en donde se procedió a realizar los siguientes pasos:

- a) Se desconectó la manguera de alimentación del tanque del vehículo.
- b) Se colocó solo la manguera de alimentación en el recipiente graduado de 20 litros de capacidad con la mezcla del 5% de biodiésel y se procedió a encender el motor, con el fin de vaciar el sistema de alimentación de combustible con el combustible diésel y que se llenen los filtros con la mezcla B5, en el período de 15 minutos.



Figura 3.16 Recipiente de 20 litros de capacidad usado para las pruebas



Figura 3.17 Medición del porcentaje de biodiésel

- c) Luego de los 15 minutos se apagó el motor, se desconectó la manguera de retorno del tanque de combustible, se la colocó en el recipiente con la mezcla B5, se volvió a encender el motor, para que la mezcla B5 retorne al recipiente y no al tanque de combustible del vehículo.



Figura 3.18 Método para realizar las pruebas

- d) Se purgó el sistema de escape, para este paso se procedió a pisar el acelerador a fondo 3 veces consecutivas de esta manera se previene que exista residuos de hollín en el tubo de escape e influya en los resultados.
- e) Se preparó el opacímetro, realizando la instalación del equipo conjunto con el cuentarrevoluciones MGT-300 y el software Omni BUS 800.
- f) Se instaló la sonda del opacímetro en el tubo de escape, se colocó el sensor de RPM, el sensor de temperatura en el motor que se comunicaron con el software vía radio y se realizaron las pruebas oficiales de opacidad durante de 2 horas.
- g) Se obtuvieron resultados de porcentajes de opacidad de los gases de escape usando biodiésel B5 de higuera en las mismas tres áreas de prueba realizadas con el combustible diésel.
- h) Se dejó enfriar el motor durante 15 minutos.

3.3.4.1 Pruebas a 1607 msnm en la parroquia de Salinas - Imbabura

De la misma manera que las pruebas con diésel, se realizaron cinco pruebas oficiales de la 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 biodiésel B5 con el fin de obtener datos más confiables, tomando en cuenta las siguientes condiciones del lugar:

Tabla 3.10 Especificaciones climáticas de la parroquia Salinas – Imbabura

Clima	Templado seco
Temperatura promedio	22 °C
Temperatura máxima	30 °C
Temperatura mínima	10 °C
Presión atmosférica	841 hPa

Fuente: (Worldmeteo, 2018)

Los datos antes mostrados se tomaron en cuenta, ya que influye en las condiciones de funcionamiento del motor, por ende, influencia en las pruebas de opacidad, cabe destacar que las condiciones del clima fueron similares a las tomadas para las pruebas con diésel, la presión atmosférica fue tomada de la tabla mostrada en el Anexo IV (Rugel, 2011) en conjunto con una calculadora en línea (Timur, 2014).

Al ejecutar las cinco pruebas de opacidad usando biodiésel a 1607 msnm se obtuvieron los siguientes datos y sus respectivos promedios de acuerdo con la carga:

Tabla 3.11 Datos obtenidos de opacidad con biodiésel B5 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	

Después de realizar 5 repeticiones de las pruebas antes mostradas, se obtuvo a 750 rpm un porcentaje promedio de opacidad de 0,36%. A 1500 rpm los porcentajes variaron a 1,2%. Por último, a 2200 rpm los porcentajes de opacidad fueron de 9,18%.

Para mejor entendimiento, la siguiente gráfica detalla el incremento de la opacidad promedio a 1607 msnm usando biodiésel B5 conforme se aumenta el régimen del motor:

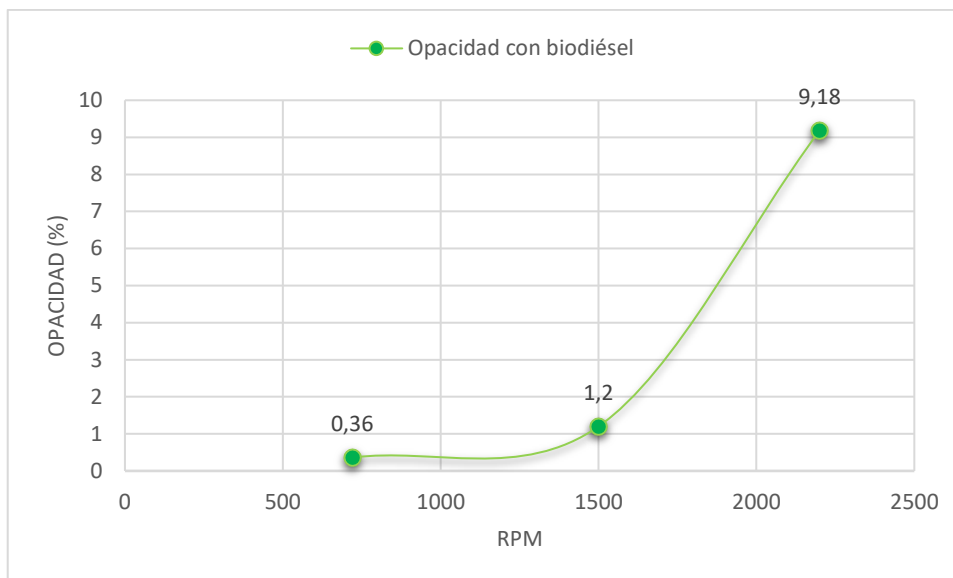


Figura 3.19 Opacidad promedio usando biodiésel a varios regímenes del motor a 1607 msnm

3.3.4.2 Pruebas a 2207 msnm en la ciudad de Ibarra – Imbabura

Se realizaron cinco pruebas oficiales de la 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 biodiésel B5 con el fin de obtener datos más confiables, tomando en cuenta las siguientes condiciones del lugar, siendo similares a las encontradas en las pruebas con diésel:

Tabla 3.12 Especificaciones climáticas de Ibarra - Imbabura

Clima	Templado seco-mediterráneo
Temperatura promedio	20 °C
Temperatura máxima	22 °C
Temperatura mínima	13 °C
Presión atmosférica	782 hPa

Fuente: (Meteored, 2018)

En la tabla anterior nos muestra que a la altura de 2207 msnm se presentó una temperatura de 20 °C debido al clima característico del lugar y una presión atmosférica de 782 hPa. Cabe resaltar que las pruebas se las realizó en un día

soleado, con presencia mínima de viento y nubosidad, similares a las condiciones en las que se realizó las pruebas con diésel.

Al ejecutar las cinco pruebas de opacidad a 2207 msnm con biodiésel B5 se obtuvieron los siguientes datos y sus respectivos promedios:

Tabla 3.13 Datos obtenidos de opacidad con biodiésel B5 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	

Tras realizar 5 repeticiones de las pruebas antes mostradas, se obtuvo a 750 rpm un porcentaje promedio de opacidad de 0,78%. A 1500 rpm los porcentajes variaron a 1,42%. Por último, a 2200 rpm los porcentajes de opacidad fueron de 10,22%.

Para mejor entendimiento, la siguiente gráfica detalla el incremento de la opacidad promedio a 2207 msnm usando biodiesel B5 conforme se aumenta el régimen del motor:

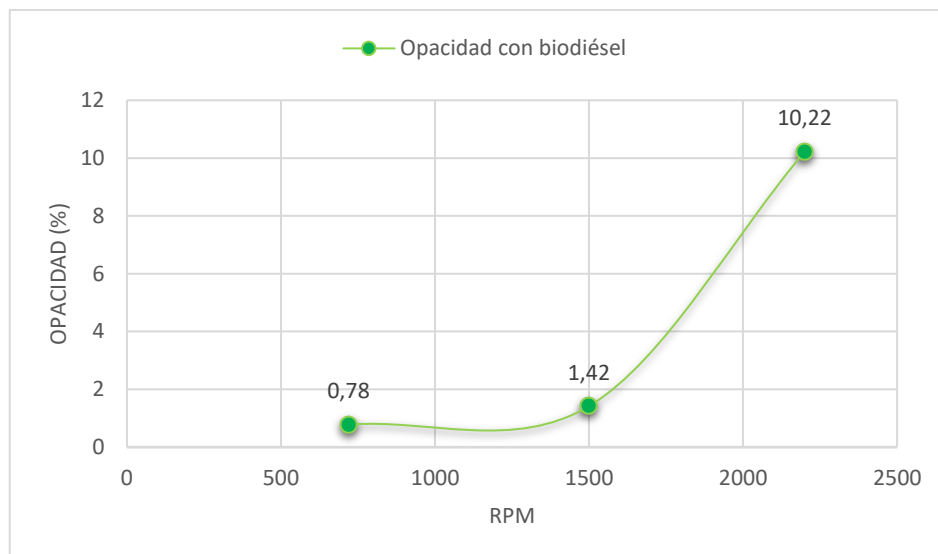


Figura 3.20 Opacidad promedio usando biodiésel a varios regímenes del motor a 2207 msnm

3.3.4.3 Pruebas a 2895 msnm en Zuleta - Imbabura

De la misma manera, se realizaron cinco pruebas de la 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 en cada gas de escape usando biodiésel B5 con el fin de obtener datos más confiables, tomando en cuenta las siguientes condiciones del lugar:

Tabla 3.14 Especificaciones climáticas de Zuleta- Imbabura

Clima	Cálido-templado
Temperatura promedio	13 °C
Temperatura máxima	18 °C
Temperatura mínima	7 °C
Presión atmosférica	716 hPa

Fuente: (Accuweather, 2018)

En esta área se presentó una temperatura de 13 °C debido a su clima y altura, es un lugar frío, estas características dan lugar a una presión atmosférica más baja. Cabe resaltar que las pruebas se las realizó en un día soleado, con presencia alta de viento y nubosidad, similares a las condiciones en las que se realizó las pruebas con diésel.

Al ejecutar las cinco pruebas de opacidad a 2895 msnm con biodiésel B5 se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 3.15 Datos obtenidos de opacidad con biodiésel B5 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	

Al realizar 5 repeticiones de las pruebas antes mostradas, se obtuvo a 720 rpm un porcentaje promedio de opacidad de 1%. A 1500 rpm los porcentajes variaron a 2,62%. Por último, a 2200 rpm los porcentajes de opacidad fueron de 8,66%.

Para mejor entendimiento, la siguiente gráfica detalla el incremento de la opacidad promedio a 2895 msnm usando biodiesel B5 conforme se aumenta el régimen del motor.

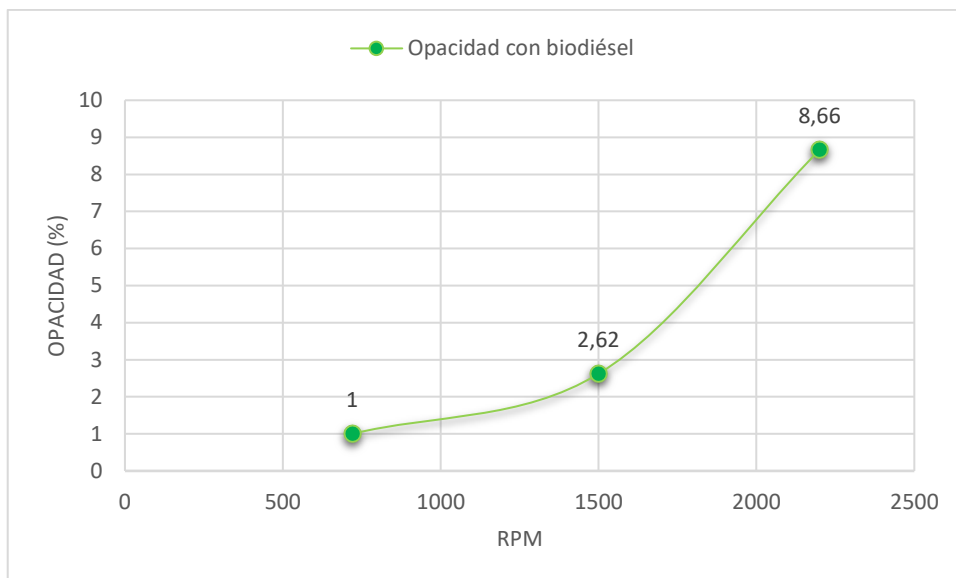


Figura 3.21 Opacidad promedio a varios regímenes del motor a 2895 msnm

CAPÍTULO IV

4 Análisis de Resultados

4.1 Pruebas de opacidad

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.

4.1.1 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 4.1 Comparativa de opacidad promedio con diésel a diferente altitud y RPM

Altura sobre el nivel del mar	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 Lapuerta y otros (2006) 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.

Para un mayor entendimiento y análisis de la influencia de la altura con la opacidad, se muestran los valores antes comparados en las siguientes figuras:

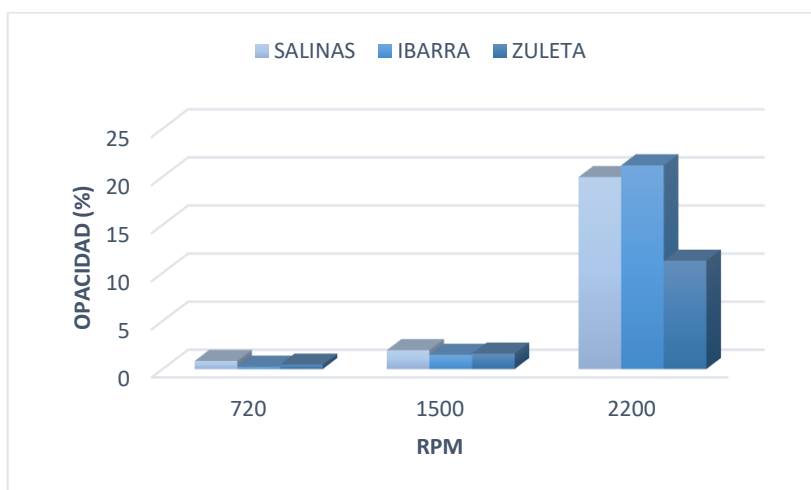


Figura 4.1 Comparativa de opacidad promedio con diésel a diferente altitud y RPM

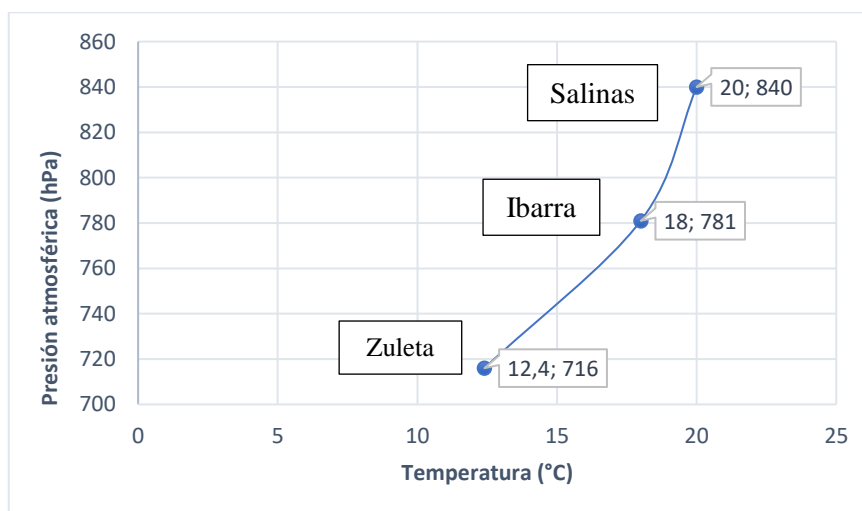


Figura 4.2 Influencia de la temperatura en la presión atmosférica

Como se explicó anteriormente, uno de los factores que influyen en la opacidad en altura es la temperatura, como lo muestra la figura 4.2, 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 (2017) 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, que convierte una fracción mayor de la energía del combustible en trabajo útil. Siendo este uno de los factores relevantes que provocó una mejor combustión en el motor y porcentajes bajos de opacidad con relación a la altura de 1607 y 2207 msnm.

4.1.2 Comparativa de opacidad a diferente altitud usando biodiésel

De la misma manera, la siguiente tabla nos muestra los resultados de opacidad promedio obtenidos a 1607, 2207 y 2800 msnm, pero ahora usando el biodiésel B5 a base de aceite de higuera:

Tabla 4.2 Comparativa de opacidad promedio con biodiesel B5 a diferente altitud y RPM

Altura sobre el nivel del mar	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 biodiesel B5 a base de aceite de higuera 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.

El siguiente gráfico muestra más detallado la comparación de opacidad obtenida a diferentes alturas sobre el nivel del mar:

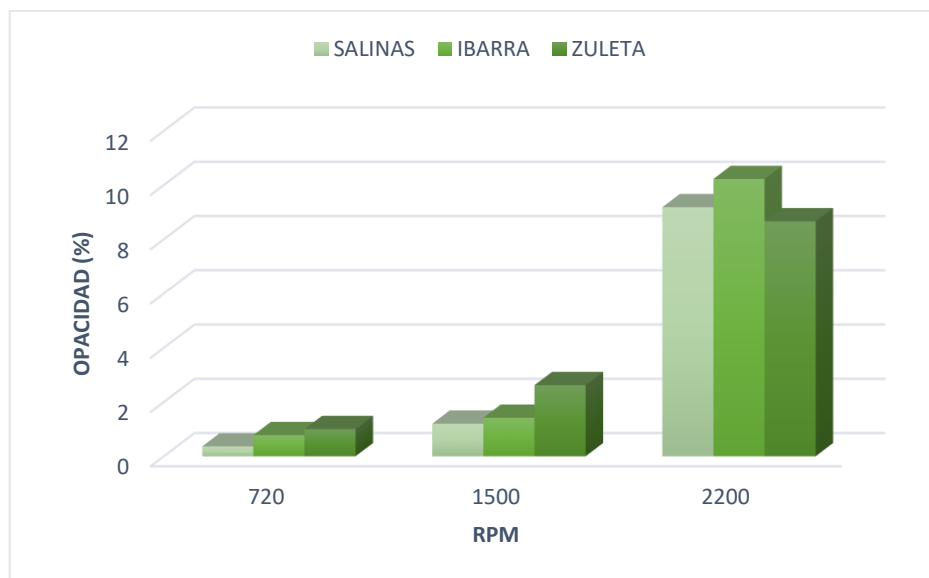


Figura 4.3 Comparativa de opacidad con biodiesel B5 a diferente altitud y RPM

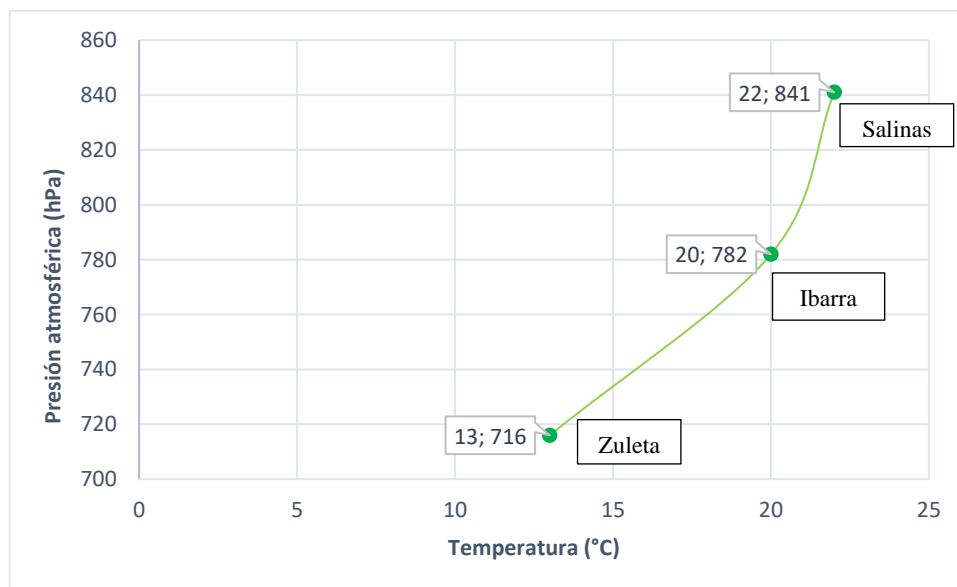


Figura 4.4 Influencia de la temperatura en la presión atmosférica

En la figura 4.4, nos muestra que para condiciones climáticas similares tomadas en las tres altitudes como anteriormente se analizó, donde se encontró con una temperatura más baja a los 2895 msnm que en las alturas de 1607 y 2207 msnm

al igual que con las pruebas realizadas con diésel. Esto dio lugar a una potencia del motor mayor y una mejor combustión a 2895 msnm (Zuleta) debido a su baja temperatura (presencia de aire frío), y en conjunto con el uso del biodiésel B5 de higuierilla se logró apreciar un decrecimiento extra en la opacidad de los gases como lo muestra la figura 4.3.

4.1.3 Comparativa de opacidad a diferente altitud entre diésel y biodiésel

Otro método para analizar los datos obtenidos de opacidad es una comparativa entre los datos obtenidos entre el diésel convencional y el biodiésel B5 a base de aceite de higuierilla a altitudes de 1607, 2207 y 2895 msnm a 2200 RPM, en donde se logró obtener resultados muy favorables, la siguiente tabla muestra dicha comparativa:

Tabla 4.3 Comparativa de opacidad promedio entre el diésel fósil y el biodiesel 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 (%)
Prueba a 1607 msnm	19,96	9,18	54,01
Prueba a 2207 msnm	21,18	10,22	51,75
Prueba a 2895 msnm	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, las figuras que se muestra a continuación detallan la reducción de opacidad que se consiguió usando el biodiésel B5:

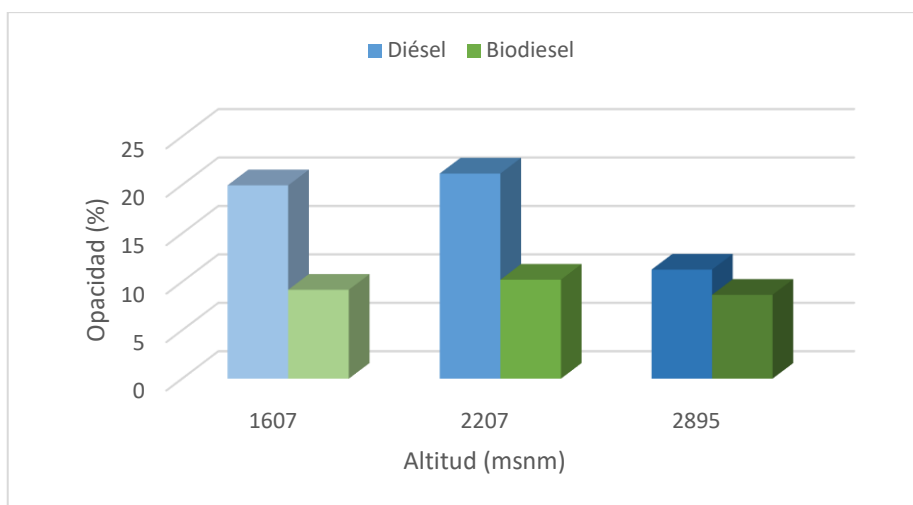


Figura 4.5 Comparativa de opacidad promedio a plena carga entre diésel y biodiésel

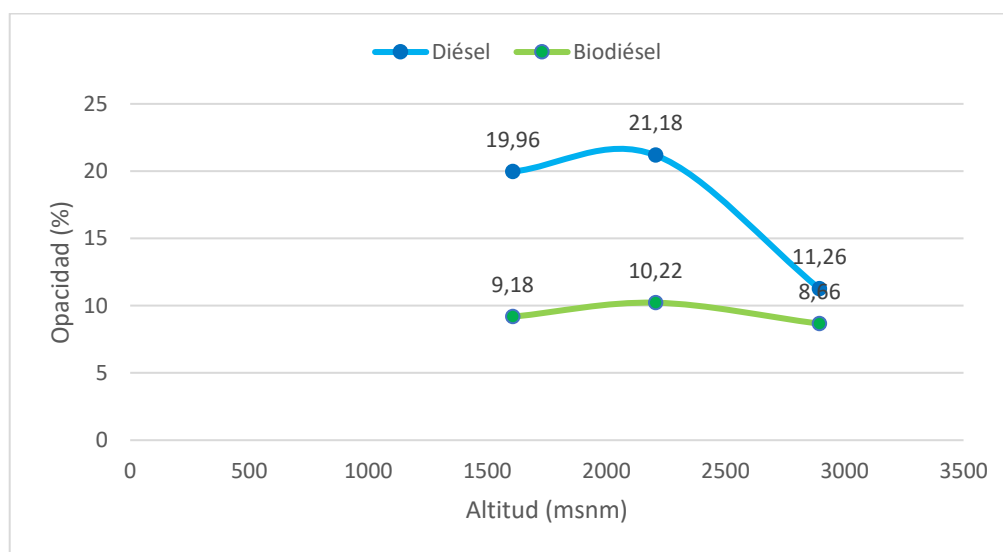


Figura 4.6 Curvas de opacidad promedio a plena carga usando diésel y biodiésel

4.1.4 Comparativa de opacidad usando diésel y biodiésel con la Normativa Ecuatoriana

Ahora basándonos en un plano ambiental donde rigen las normativas de control, tomamos en cuenta las normas de control de opacidad existentes en Ecuador 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 como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.4 Normativa ecuatoriana de control de emisiones

Año modelo	% máx. de opacidad
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

Fuente: (Instituto Ecuatoriano De Normalización, 2012)

Según la normativa ecuatoriana antes mostrada, el porcentaje máximo permitido para los vehículos anteriores al año 1999 es de 60 % de opacidad, con lo que esa sería la base para ser aceptada su circulación.

De esta forma podemos analizar en la siguiente tabla, la comparativa entre la normativa antes mostrada con los datos promedio obtenidos tanto con diésel convencional como con biodiésel B5 a base de aceite de higuera a plena carga.

Tabla 4.5 Comparativa entre la normativa ecuatoriana y las pruebas realizadas a plena carga.

	Normativa NTE 2 207	Promedio Diésel (%)			Promedio Biodiésel B5 (%)		
		Salinas	Ibarra	Zuleta	Salinas	Ibarra	Zuleta
N (%)	60	19,96	21,28	11,26	9,18	10,22	8,66

De los resultados detallados, se analiza que tanto con diésel como con biodiésel B5, el vehículo cumple con las normas de control de opacidad vigentes en Ecuador, y que con biodiésel se redujo notablemente la opacidad.

4.1.5 Comparativa de opacidad usando diésel y biodiésel con una Normativa internacional.

Para el análisis de opacidad se tomó en cuenta una normativa internacional, en este caso mexicana, que muestra los siguientes requisitos con valores de N (%) o porcentaje de opacidad para vehículos anteriores a 1999:

Tabla 4.6 Norma mexicana EM-167-SEMARNAT

Característica tren motriz	Opacidad (%)
1990 y anteriores	61.99
1991 y posteriores	47.53

Fuente: (Secretaria De Medio Ambiente Y Recursos Naturales, 2016)

En la siguiente tabla se muestra la comparativa realizada entre los datos máximos de opacidad en porcentaje de N de la normativa mexicana antes mostrada que es de 47,53% y los datos obtenidos de promedio de opacidad a plena carga (2200 RPM) con diésel convencional (premium) y con biodiésel B5 a base de aceite de higuera:

Tabla 4.7 Comparativa entre la Normativa mexicana y los datos obtenidos de opacidad a plena carga

	Normativa EM-167-SEMARNAT	Promedio Diésel (%)			Promedio Biodiésel B5 (%)		
		Salinas	Ibarra	Zuleta	Salinas	Ibarra	Zuleta
N (%)	47,53	19,96	21,28	11,26	9,18	10,22	8,66

La tabla comparativa detallada muestra que el vehículo cumple con los requisitos de las normas mexicanas 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.

La siguiente figura detalla la comparación entre los datos de opacidad de la normativa ecuatoriana, la normativa mexicana y los datos obtenidos de opacidad con el uso de diésel fósil y el biodiésel B5 en plena carga:

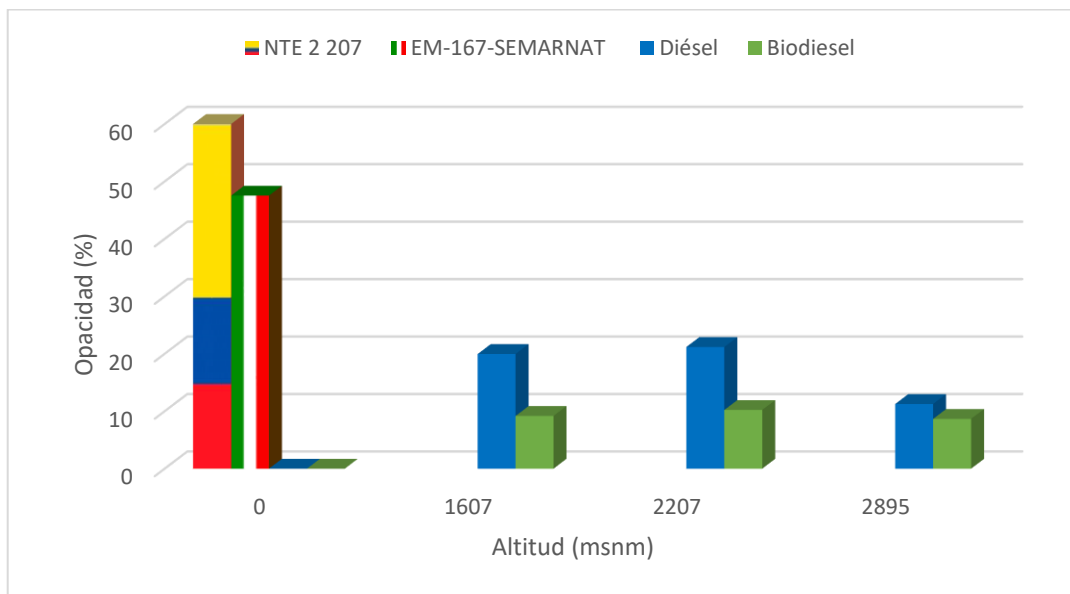


Figura 4.7 Comparativa de las normativas ecuatoriana y mexicana con los datos obtenidos de opacidad a plena carga.

Como se puede apreciar en la figura anterior, el biodiésel B5 de higuera reduce notablemente la opacidad de los gases de escape, teniendo un efecto favorable para el ambiente y para la vida útil del motor por sus propiedades de lubricante y de alta viscosidad. De la misma forma brinda mayores posibilidades de que el motor pueda compararse con normativas internacionales más rígidas para el control de emisiones como lo es la EURO 6 usada en Europa.

CAPÍTULO V

5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 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.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar más estudios con el uso de biodiésel en altura, ya que nuestro país tiene un relieve irregular y podemos encontrar desde alturas cerca del nivel del mar hasta alturas que sobrepasan los 3000 msnm, en las tres regiones con diversos tipos de clima y propiedades del aire que afectan la formación de gases de escape y por ende su opacidad.
- Se recomienda dar a conocer a la población los beneficios del uso de biodiésel de higuierilla en los motores diésel, y poner en utilización los recursos que fácilmente se pueden encontrar en nuestro país como lo es la higuierilla, para aprovecharlos en una fuente más limpia de combustible.
- Es recomendable que en futuras investigaciones se analice y realicen pruebas con el biodiésel de higuierilla con mayor porcentaje como lo es el B30, B50, B75, B80 para determinar la factibilidad del combustible y cuál sea el más óptimo para el correcto funcionamiento y comportamiento en un motor diésel.
- Se sugiere sociabilizar los resultados del presente trabajo y de investigaciones del uso del biodiésel B5 de higuierilla para empresas relacionadas al área del transporte de la provincia como para entidades de control ambiental con el fin de implementar los biocombustibles en proyectos en contra de la contaminación y mejorar nuestros combustibles.

Referencias Bibliográficas

1. Accuweather. (2018). *Accuweather*. Obtenido de <https://www.accuweather.com/es/ec/hacienda-zuleta/1239703/daily-weather-forecast/1239703>
2. Aguilera Peña, J. (2014). *Sostenibilidad de los biocombustibles para autoconsumo en un entorno rural*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
3. Armendáriz Velázquez, J. (2012). *Caracterización fenotípica y molecular de genotipos de higuierilla (ricinus communis l.) para la producción de biodiesel*. Universidad Autónoma De Nuevo León.
4. Balat, M. (2007). (2007). Production of biodiesel from vegetable oils: A survey. . *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 29, 895–913. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/00908310500283359>
5. Bara, M. H. (1990). Field Experience with the Detroit Diesel Electronic Control System. *SAE Technical Paper* , 11. doi:10.4271/901159.
6. Benavides, A., Benjumea, P., & Pashova, V. (2007). EL BIODIESEL DE ACEITE DE HIGUERILLA COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA MOTORES DIESEL. *Redayc.org*, 141-150.
7. Bennett, S., & Norman, I. (2011). *Heavy Duty Truck Systems* (Fifth ed.). United States: Delmar, Cengage Learning.
8. Birtok Băneasă, C., Rațiu, S., & Heput , T. (2017). Influence of intake air temperature on internal combustion. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 163. doi:10.1088/1757-899X/163/1/012039
9. Bosch. (2014). *Diesel Engine Management: Systems and Components*. (K. Reif, Ed.) doi:10.1007/978-3-658-03981-3
10. Bosch Worldwide. (2008). *Bosch autoparts*. Obtenido de https://in.bosch-automotive.com/en_GB/parts_and_accessories/engine_systems_1/diesel_2/unit_pump_system/unit_pump_system_1
11. Bosch, R. (2009). *Catálogo : Sistemas de Injeção Eletrônica Diesel*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/93720064/BOSCH-CATALOGO-INJECAO-ELETRONICA-DIESEL-2009>

12. Bosch, R. (2015). *Sistemas Modernos de Inyección a Diesel Unidades Completas y su despiece*.
13. California, S. M. (1995). Obtenido de http://calphotos.berkeley.edu/cgi/img_query?where-lifeform=any&rel-taxon=contains&where-taxon=ricinus
14. Calvo B., E. (2006). Biocombustibles de plantas para producción de biodiesel. *Biocombustibles de plantas para producción de biodiesel*.
15. CARB. (7 de December de 2011). "LEV III PM Technical Support Document: Appendix P. *California Air Resources Board*.
16. Castaño, D. A., Arrieta, A. A., & Agudelo, J. R. (2003). Efecto de la altitud en un motor de encendido provocado convertido a GN. *Gas vehicular*.
17. Castillo, A. F. (2013). *SISTEMAS DE INYECCIÓN DIÉSEL*.
18. Centro diesel. (13 de Enero de 2016). *Centro diesel*. Obtenido de <http://centrodiesel.cl/tag/motores-cummins/>
19. Conejero, M., Aldara Da Silva, C., & Pereira Batista, A. (2017). The organizational arrangement of castor bean family farmers promoted by the Brazilian Biodiesel Program: A competitiveness analysis. *Energy Policy*, 110, 461-470. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.08.036>
20. Cummins Inc. (2017). *Cummins Engines*. Obtenido de <https://cumminsengines.com/how-a-diesel-engine-works.aspx>
21. DELPHI. (2007). *Manual Common Rail: principios de funiconamiento*. Francia: Delphi France SAS.
22. Detroit Diesel. (2000). *Manual: Series 60 Truck Power*.
23. Detroit Diesel Corporation. (2009). *Demand Detroit*. Obtenido de <https://demanddetroit.com/engines/legacy-engines/series-60>
24. Dias, J., Araújo, J., Costa, J., & Alvim-Ferraz, M. (2013). Dias, J., Araújo, J., Costa, J., Alvim-Ferraz, M., and Almeida, M. Biodiesel production from raw castor oil. *Energy*, 53((Supplement C)), 58-66. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.018>
25. Diesel Technology Forum. (2016). *Diesel Technology Forum*. Obtenido de <https://www.dieselforum.org/about-clean-diesel/trucking>
26. Diesel, R. (1895). *Alemania Patente nº 542,846*.

27. Escudero, S., González, J., Rivas, J. L., & Suárez, A. (2011). *Motores*. MACMILLAN.
28. Felneris, M., & Raslavičius, L. (2016). Algal biodiesel in lithuania: From promise to reality. *Procedia Engineering*, 134, 109 – 113. doi:"<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.046>"
29. Gallardo Klenner, L., Corvalan Paiva, R., & Mena Carrasco, M. (2009). *Análisis de emisiones en ruta de vehículos Diesel en ciudad de México, Santiago y Sao Paulo*. Chile: Universidad de Chile.
30. Hincapié, G., Mondragón, F., & López, D. (2011). Conventional and in situ transesterification of castor seed oil. *Fuel*, 1618–1623. doi:doi:10.1016/j.fuel.2011.01.027
31. INEN. (2016). Clasificación vehicular. *NTE INEN 2656:2016*. Ecuador.
32. Instituto Ecuatoriano De Normalización. (2012). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 207* (Primera ed.). Quito, Ecuador.
33. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016). *NTE INEN: 1489*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
34. J. Kates, E., & E. Luck, W. (s.f.). *Motores de Diésel y de gas de alta compresión*. REVERTÉ S.A.
35. Laboratorios Omega Diesel. (2016). *Omega Diesel*. Obtenido de <http://www.omegadiesel.com/fichas-informativas-cummins-celect.html>
36. Lapuerta , M., Armas, O., Agudelo, J., & Sánchez, C. (2006). Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 1: Funcionamiento. Información tecnológica. *Scielo*, 21-30. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000500005>
37. Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J., & Agudelo, A. (2006). Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 2: Motores Diesel. *Scielo*, 31-41. doi:10.4067/S0718-07642006000500006
38. MACO I.C. (2003). *MECANICA Y GESTION ELECTRONICA DE MOTORES DIESEL AB026*.
39. Magdi K. Khair, H. J. (2010). Unit Injector & Unit Pump Systems. *DieselNet Technology Guide*.

40. Magdi K. Khair, H. J. (2015). Emission Formation in Diesel Engines. *DieselNet Technology Guide*.
41. Majewski, W. A. (2010). Gaseous Emissions. *DieselNet*. Obtenido de https://www.dieselnet.com/tech/emi_gas.php
42. Majewski, W. A. (2012). What Are Diesel Emissions. *DieselNet Technology Guide*. Obtenido de https://www.dieselnet.com/tech/emi_intro.php
43. Majewski, W. A. (2016). Diesel Particulate Matter. *DieselNet Technology Guide*.
44. Meganeboy, D. (2005). *MECANICA Virtual*. Obtenido de <http://www.mitsugt.com/data/cm.pdf>
45. Meteored. (2018). *Meteored*. Obtenido de https://www.meteored.com.ec/tiempo-en_lbarra-America+Sur-Ecuador-Imbabura--1-20221.html
46. OMS. (2016). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
47. Parera, A. M. (1996). *Inyección electrónica en motores diesel*. Barcelona, España: Marcombo S.A. Obtenido de <https://books.google.es/books?id=gn8cyPMWDSUC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
48. Parreño Ibáñez, S. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Diésel (MF0133_2)*. IC.
49. Pignon, J. (2005). REVIEW OF A COURSE ON DIESEL PARTICULATES AND NOX EMISSIONS. *REVIEW OF A COURSE ON DIESEL PARTICULATES AND NOX EMISSIONS*. doi:10.1595/147106705X58394
50. Proaño Molina, P. (2010). *Investigación de la utilización de aceite de higuera, como combustible alternativo al 5-10% en motores diésel con bomba de alta presión convencional*. Latacunga: Escuela Politécnica Del Ejército Extensión Latacunga.
51. Rovira de Antonio, A., & Muñoz Domínguez, M. (2015). *Motores de combustión interna*. Madrid: UNED.
52. Rowe, R. (2017). *It still runs*. Obtenido de Types of Truck Engines & Their Differences: <https://itstillruns.com/types-truck-engines-differences-5945947.html>

53. Rugel, J. (21 de Junio de 2011). *Slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/jfrugel/equivalencia-altitudpresion>
54. Salinas Villar, A. (2007). *Electromecánica de vehículos. Motores*. Paraninfo.
55. Sánchez, E. (2009). *Sistemas auxiliares del motor*. Macmillan Iberia, S.A.
56. Sánchez, L., Llano, B., & Riosn, L. (2017). Producción de Diésel Renovable a partir de Aceite de Higuera mediante Catalizadores de Níquel-Molibdeno Soportados sobre Alúmina. *Información Tecnológica*, 28. doi:10.4067/S0718-076420170001000031
57. Sattanathan, R. (2015). Production of Biodiesel from Castor Oil with its Performance and Emission Test. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, IV, 273-279. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/e9f5/126ac3fcd72ba2df3f7c6f6334a141f47e4e.pdf>
58. Secretaria De Medio Ambiente Y Recursos Naturales. (2016). *Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-167-SEMARNAT*. México. Obtenido de http://dof.gob.mx/avisos/2503/SEMARNAT_070616/SEMARNAT_070616.html
59. Senefsky, B. (28 de September de 2007). *Truck Trend*. Obtenido de <http://www.trucktrend.com/news/0709dp-detroit-diesel-engine-history/>
60. Tamilselvan, P., Nallusamy, N., & Rajkumar, S. (2017). A comprehensive review on performance, combustion and emission characteristics of biodiesel fuelled diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1134 –1159. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.176>
61. Téllez V., A., Guzmán Murcia., S., & Casas, C. (2013). TERMOQUÍMICA Y COMBUSTIBLES.
62. Timur. (2014). *Planetcalc: Calculadoras en línea*. Obtenido de <https://es.planetcalc.com/938/>
63. Vibrans, H. (20 de Julio de 2009). *Conabio.gob*. Obtenido de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/euphorbiaceae/ricinus-communis/fichas/ficha.htm>
64. Villegas Martínez, A. (2007). *Motores de combustión interna*.
65. Viñas, J. (2002). Presión y Temperatura. *Avión & Piloto*, 54-57.

66. Volvo. (2016). *Volvo Trucks*. Obtenido de <http://www.volvotrucks.co.uk/en-gb/trucks/volvo-fh-series/features/diesel-engines.html>
67. W. Addy Majewski, H. J. (2004). Environmental Effects of Emissions. *DieselNet*. Obtenido de https://www.dieselnet.com/tech/env_effect.php
68. Woodford, C. (19 de Marzo de 2017). *Explain that stuff!* Obtenido de <http://www.explainthatstuff.com/diesel-engines.html>
69. Worldmeteo. (2018). *Worldmeteo*. Obtenido de <https://www.worldmeteo.info/es/america-del-sur/ecuador/salinas/tiempo-101136/>

ANEXOS

ANEXO I

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN SOFTWARE OMNI 800

TEST OFICIAL - RESULTADOS DE LA PRUEBA		PARA SALIR	ESC
OPACIDAD			
ACELERACIÓN	1 : =	0.2 *	[%]
ACELERACIÓN	2 : =	0.3 *	[%]
ACELERACIÓN	3 : =	0.4 *	[%]
ACELERACIÓN	4 : =	0.3 *	[%]
ACELERACIÓN	5 : =	0.0 *	[%]
DIFERENCIA OPACIDAD	:	=	0.4 [%]
VALOR PROMEDIO	:	=	0.2 [%]
RESULTADO DEL TEST		APROBADO SIN FALTAS	
EXAMINADOR :	<input type="text" value="OPERATOR"/>		
		F1	
		F2	
		F3	
		F4	
		F5	
		F6	
		F7	
		F8	

Figura AI.1. Resultados de la prueba de opacidad en ralentí – Ibarra

TEST OFICIAL - RESULTADOS DE LA PRUEBA		PARA SALIR	ESC
OPACIDAD			
ACELERACIÓN	1 : =	1.2 *	[%]
ACELERACIÓN	2 : =	0.8 *	[%]
ACELERACIÓN	3 : =	0.7 *	[%]
ACELERACIÓN	4 : =	1.8 *	[%]
ACELERACIÓN	5 : =	0.7 *	[%]
DIFERENCIA OPACIDAD	:	=	1.1 [%]
VALOR PROMEDIO	:	=	1.0 [%]
RESULTADO DEL TEST		APROBADO SIN FALTAS	
EXAMINADOR :	<input type="text" value="OPERATOR"/>		
		F1	
		F2	
		F3	
		F4	
		F5	
		F6	
		F7	
		F8	

Figura AI.2. Resultados de la prueba de opacidad a 1500 RPM – Ibarra

TEST OFICIAL - RESULTADOS DE LA PRUEBA		PARA SALIR	ESC
OPACIDAD			
ACELERACIÓN	1 : =	30.1 *	[%]
ACELERACIÓN	2 : =	29.2 *	[%]
ACELERACIÓN	3 : =	28.8 *	[%]
ACELERACIÓN	4 : =	30.5 *	[%]
ACELERACIÓN	5 : =	29.4 *	[%]
DIFERENCIA OPACIDAD		: =	1.7 [%]
VALOR PROMEDIO		: =	29.6 [%]
RESULTADO DEL TEST		APROBADO SIN FALTAS	
EXAMINADOR :	Cristian Godoy		
		F1	
		F2	
		F3	
		F4	
		F5	
		F6	
		F7	
		F8	

Figura AI.3. Resultados de la prueba 1 de opacidad a 2200 RPM – Ibarra

TEST OFICIAL - RESULTADOS DE LA PRUEBA		PARA SALIR	ESC
OPACIDAD			
ACELERACIÓN	1 : =	1.0 *	[%]
ACELERACIÓN	2 : =	0.6 *	[%]
ACELERACIÓN	3 : =	0.7 *	[%]
ACELERACIÓN	4 : =	0.9 *	[%]
ACELERACIÓN	5 : =	1.0 *	[%]
DIFERENCIA OPACIDAD		: =	0.4 [%]
VALOR PROMEDIO		: =	0.8 [%]
RESULTADO DEL TEST		APROBADO SIN FALTAS	
EXAMINADOR :	OPERATOR		
		F1	
		F2	
		F3	
		F4	
		F5	
		F6	
		F7	
		F8	

Figura AI.4. Resultados de la prueba de opacidad a ralentí – Salinas



Figura AI.5. Resultados de la prueba de opacidad a 1500 RPM – Salinas



Figura AI.6. Resultados de la prueba de opacidad a 2200 RPM – Salinas

TEST OFICIAL - RESULTADOS DE LA PRUEBA		PARA SALIR	ESC
OPACIDAD			
ACELERACIÓN	1 : =	0.9 *	[%]
ACELERACIÓN	2 : =	1.2 *	[%]
ACELERACIÓN	3 : =	0.9 *	[%]
ACELERACIÓN	4 : =	1.3 *	[%]
ACELERACIÓN	5 : =	1.6 *	[%]
DIFERENCIA OPACIDAD		: =	0.7 [%]
VALOR PROMEDIO		: =	1.2 [%]
RESULTADO DEL TEST		APROBADO SIN FALTAS	
EXAMINADOR :	Cristian Godoy		
			F1
			F2
			F3
			F4
			F5
			F6
			F7
			F8

Figura AI.7. Resultados de la prueba 1 de opacidad a ralentí – Zuleta

TEST OFICIAL - RESULTADOS DE LA PRUEBA		PARA SALIR	ESC
OPACIDAD			
ACELERACIÓN	1 : =	2.4 *	[%]
ACELERACIÓN	2 : =	1.3 *	[%]
ACELERACIÓN	3 : =	2.5 *	[%]
ACELERACIÓN	4 : =	4.9 *	[%]
ACELERACIÓN	5 : =	2.0 *	[%]
DIFERENCIA OPACIDAD		: =	3.6 [%]
VALOR PROMEDIO		: =	2.6 [%]
RESULTADO DEL TEST		APROBADO SIN FALTAS	
EXAMINADOR :	OPERATOR		
			F1
			F2
			F3
			F4
			F5
			F6
			F7
			F8

Figura AI.8. Resultados de la prueba 1 de opacidad a 1500 RPM – Zuleta



Figura AI.9. Resultados de la prueba de opacidad a 2200 RPM – Zuleta

ANEXO II

FIGURAS: CAMPO DE MEDICIONES, VEHÍCULO Y MOTOR

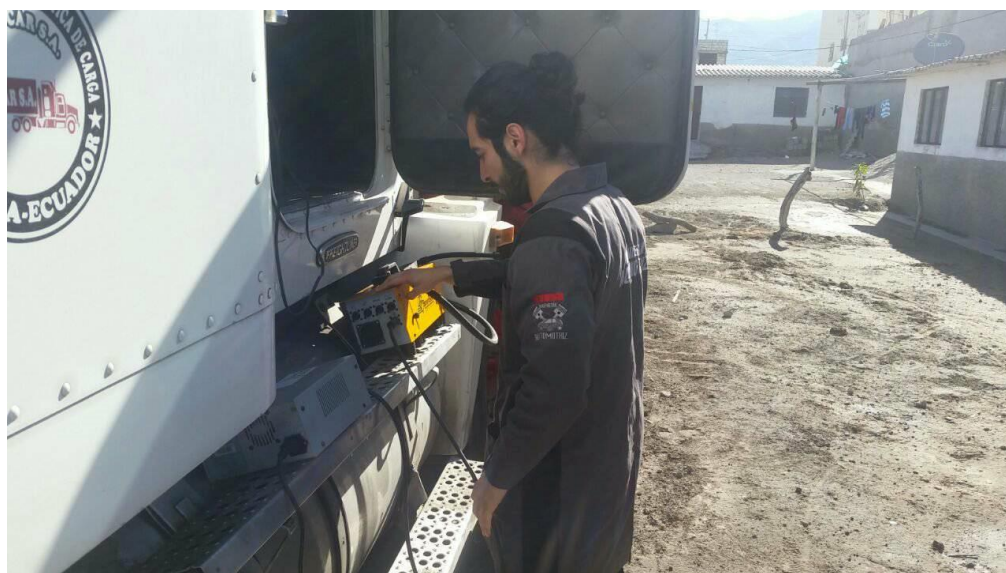


Figura AII.1. Preparación del opacímetro

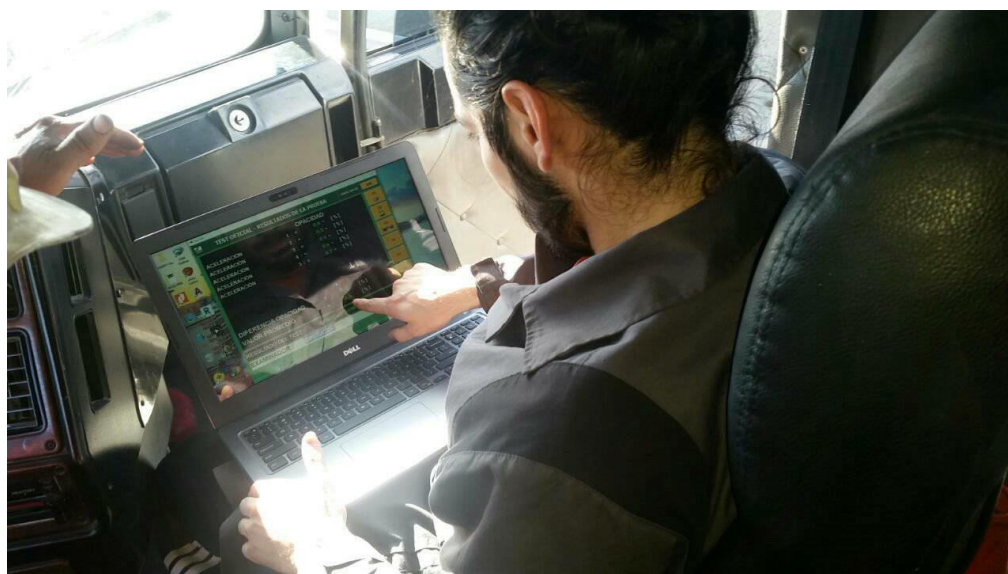


Figura AII.2. Obtención de datos de opacidad en software Omni 800



Figura AII.3. Preparación del porcentaje de la mezcla B5



Figura AII.4. Vehículo utilizado para las pruebas



Figura AII.5. Motor utilizado para las pruebas (lado derecho)



Figura AII.6. Nombre de identificación del motor

ANEXO III

ALTITUD RECOPIADA POR UN ALTÍMETRO (APP DE CELULAR)



Figura AIII.1. Altitud de Salinas – Imbabura



Figura AIII.2. Altitud de Ibarra – Imbabura



Figura AIII.3. Altitud de Ibarra – Imbabura

ANEXO IV

EQUIVALENCIAS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA SEGÚN LA ALTITUD

Altitud Metros	Presion Milibares	Altura en mm de Hg	Presion Atmosferica	Altitud Metros	Presion Milibares	Altura en mm de Hg	Presion Atmosferica
0	1013	760	1,000	3000	701	526	0,692
50	1007	756	0,994	3050	697	523	0,688
100	1001	751	0,988	3100	692	519	0,683
150	995	747	0,982	3150	688	516	0,679
200	989	742	0,977	3200	683	513	0,674
250	984	738	0,971	3250	679	509	0,670
300	978	733	0,965	3300	675	506	0,666
350	972	729	0,959	3350	670	503	0,662
400	966	725	0,953	3400	666	500	0,657
450	960	720	0,948	3450	662	496	0,653
500	955	716	0,942	3500	658	493	0,649
550	949	712	0,936	3550	653	490	0,645
600	943	707	0,931	3600	649	487	0,641
650	938	703	0,925	3650	645	484	0,637
700	932	699	0,920	3700	641	481	0,632
750	926	695	0,914	3750	637	478	0,628
800	921	691	0,909	3800	633	475	0,624
850	915	686	0,903	3850	629	471	0,620
900	910	682	0,898	3900	624	468	0,616
950	904	678	0,892	3950	620	465	0,612
1000	899	674	0,887	4000	616	462	0,608
1050	893	670	0,882	4050	612	459	0,604
1100	888	666	0,876	4100	608	456	0,600
1150	883	662	0,871	4150	604	453	0,597
1200	877	658	0,866	4200	600	450	0,593
1250	872	654	0,860	4250	597	447	0,589
1300	867	650	0,855	4300	593	445	0,585
1350	861	646	0,850	4350	589	442	0,581
1400	856	642	0,845	4400	585	439	0,577
1450	851	638	0,840	4450	581	436	0,573
1500	846	634	0,834	4500	577	433	0,570
1550	840	630	0,829	4550	573	430	0,566
1600	835	626	0,824	4600	570	427	0,562
1650	830	623	0,819	4650	566	424	0,559
1700	825	619	0,814	4700	562	422	0,555
1750	820	615	0,809	4750	558	419	0,551
1800	815	611	0,804	4800	555	416	0,548
1850	810	607	0,799	4850	551	413	0,544
1900	805	604	0,794	4900	547	411	0,540
1950	800	600	0,789	4950	544	408	0,537
2000	795	596	0,785	5000	540	405	0,533
2050	790	593	0,780	5050	537	402	0,530
2100	785	589	0,775	5100	533	400	0,526
2150	780	585	0,770	5150	529	397	0,523
2200	775	582	0,765	5200	526	394	0,519
2250	771	578	0,761	5250	522	392	0,516
2300	766	574	0,756	5300	519	389	0,512
2350	761	571	0,751	5350	515	387	0,509
2400	756	567	0,746	5400	512	384	0,505
2450	752	564	0,742	5450	508	381	0,502
2500	747	560	0,737	5500	505	379	0,498
2550	742	557	0,732	5550	502	376	0,495
2600	737	553	0,728	5600	498	374	0,492
2650	733	550	0,723	5650	495	371	0,488
2700	728	546	0,719	5700	492	369	0,485
2750	724	543	0,714	5750	488	366	0,482
2800	719	539	0,710	5800	485	364	0,479
2850	715	536	0,705	5850	482	361	0,475
2900	710	533	0,701	5900	478	359	0,472
2950	706	529	0,696	5950	475	356	0,469

<https://es.slideshare.net/jfrugel/equivalencia-altitudpresion>

ANEXO V
NORMA INEN 2 207



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 207:2002
(Primera Revisión)

**GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS
AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES
PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE
DIESEL.**

Primera Edición

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. AIR. MOTOR VEHICLES. EMISSIONS PERMITTED LEVELS PRODUCED BY DIESEL
ROAD MOVABLE SOURCES.

First Edition

DESCRIPTORES: Emisión de gases, límites, contaminación atmosférica, protección del medio ambiente, calidad del aire,
requisitos.

MC 08.06-402
CDU: 75.662.94
CIIU: 3530
ICS: 13.040.50

ANEXO VI

NORMA EM-167-SEMARNAT

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

NORMA Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-167-SEMARNAT-2016, Que establece los niveles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en la Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la certificación de dichos niveles y las especificaciones de los equipos que se utilicen para dicha certificación, así como las especificaciones para los equipos tecnológicos que se utilicen para la medición de emisiones por vía remota y para la realización de dicha medición.

QUAUHTÉMOC OCHOA FERNÁNDEZ, Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en los artículos 32 Bis fracciones II, IV, V y XLII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 1o., fracciones I y VI, 5o. fracciones V y XII, 6o., 7o. fracciones III y XIII, 8o. fracciones III, VI y XII, 9o., 36 fracciones I y II, 37 Ter, 110, 111 fracciones III, VIII y IX, 112 fracciones V, VII, X y XII de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 3o., 4o. fracción III, 5^a, párrafos primero y segundo, 7o. fracciones II, IV, VII, X, XIII y XXII, 13, 28, 31, 32, 34, 35, 36, 39, y 49 de su Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera; 38 fracciones II, V y IX, 40 fracciones X y XIII, 41, 43, 48, 52, 71, 73, último párrafo, y 74 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28, 34, párrafo primero, y 80 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 1 y 4 de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; así como el artículo 8, fracciones III y IV, del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y

CONSIDERANDO

Que el artículo 4, párrafo quinto, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos reconoce el derecho humano de toda persona a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar y ordena que el Estado garantice ese derecho y, para garantizar su ejercicio, el Congreso de la Unión estableció la prevención y el control de la contaminación del aire como uno de los objetivos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, materia en la cual estableció las competencias de los tres órdenes de gobierno y definió como criterios para la protección que la calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del país, así como el que las emisiones de contaminantes de la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas y controladas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico;

Que para la prevención y control de la contaminación de la atmósfera, dentro de la concurrencia y distribución de competencias prevista en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, el artículo 5o. fracción XII, de dicho ordenamiento faculta a la Federación, por conducto de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, para regular la contaminación de la atmósfera proveniente de todo tipo de fuentes emisoras;

Que la facultad apuntada en el párrafo que antecede, conforme al artículo 111, fracciones VIII y XI, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, se ejerce, respectivamente, a través de normas oficiales mexicanas para la certificación por la autoridad competente, de los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes determinadas, así como de normas oficiales mexicanas que, entre otros aspectos, establezcan los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera de vehículos automotores en circulación, considerando los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente, determinados por la Secretaría de Salud;

Que en ejercicio de las facultades que le confiere el artículo 111 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales expidió los siguientes instrumentos normativos:

- a. Norma Oficial Mexicana NOM-050-SEMARNAT-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos como combustible, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 22 de octubre de 1993,
- b. Norma Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2015, que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de marzo de 2007, y su respectivo Acuerdo por el que se modifican diversos numerales y el artículo primero transitorio de la Norma Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2015, que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 14 de octubre de 2015,
- c. Norma Oficial Mexicana NOM-042-SEMARNAT-2003 que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usen gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diesel, así como las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 7 de septiembre de 2005;
- d. Norma Oficial Mexicana NOM-045-SEMARNAT-2006, Protección Ambiental.- Vehículos en circulación que usan diesel como combustible.- Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 13 de septiembre de 2007; y,
- e. Norma Oficial Mexicana NOM-047-SEMARNAT-2014, que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de noviembre de 2014;