



## **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 DEL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR  
MITSUBISHI 4D31T CON EL USO DE BIODIÉSEL A BASE DE  
ALGAS, EMPLEANDO MEZCLA B5”**

**AUTORES: ALVARO SEBASTIÁN GÓMEZ MORENO  
EDISON DARÍO OSCULLO CASTILLO**

**DIRECTOR: ING. CARLOS MAFLA Msc.**

**IBARRA – ECUADOR**

**2017**

## **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 Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

### **CERTIFICO:**

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR MITSUBISHI 4D31T CON EL USO DE BIODIÉSEL A BASE DE ALGAS, EMPLEANDO MEZCLA B5” presentado por los señores: GÓMEZ MORENO ALVARO SEBASTIÁN con número de cédula 100323411-7, y, OSCULLO CASTILLO EDISON DARÍO con número de cédula 100330650-1, 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.

Atentamente:



---

ING. CARLOS MAFLA MSC  
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA**  
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato 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:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100323411-7		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	GÓMEZ MORENO ALVARO SEBASTIÁN		
<b>DIRECCIÓN:</b>	MANUELA LARREA S/N Y TERESA VALDIVIESO (COTACACHI)		
<b>EMAIL:</b>	dogg_ghetto@hotmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062915764	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0962795752
<b>DATOS DE LA OBRA</b>			
<b>TÍTULO:</b>	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR MITSUBISHI 4D31T CON EL USO DE BIODIÉSEL A BASE DE ALGAS, EMPLEANDO MEZCLA B5		
<b>AUTOR (ES):</b>	GÓMEZ MORENO ALVARO SEBASTIÁN OSCULLO CASTILLO EDISON DARÍO		
<b>FECHA:</b>	2016/11/21		
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>			
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>		
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ		
<b>ASESOR/DIRECTOR:</b>	ING. CARLOS MAFLA MSC.		

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, **GÓMEZ MORENO ALVARO SEBASTIÁN**, con cédula de identidad Nro. **100323411-7**, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago 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 un apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 3. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días del mes de noviembre del 2016.

Firma:.....

Nombre: **GÓMEZ MORENO ALVARO SEBASTIÁN**

Cédula: 100323411-7



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA**  
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**I. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato 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:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	DE	100330650-1	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Y	OSCULLO CASTILLO EDISON DARÍO	
<b>DIRECCIÓN:</b>	AV. EL RETORNO Y NAZACOTA PUENTO		
<b>EMAIL:</b>	edyoscullo@hotmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	2 510 695	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0995678706
<b>DATOS DE LA OBRA</b>			
<b>TÍTULO:</b>	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR MITSUBISHI 4D31T CON EL USO DE BIODIÉSEL A BASE DE ALGAS, EMPLEANDO MEZCLA B5		
<b>AUTOR (ES):</b>	GÓMEZ MORENO ALVARO SEBASTIÁN OSCULLO CASTILLO EDISON DARÍO		
<b>FECHA:</b>	2016/11/21		
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>			
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>		
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERÍA	EN	MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
<b>ASESOR/DIRECTOR:</b>	ING. CARLOS MAFLA MSC.		

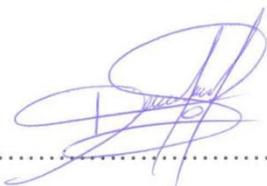
## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, **OSCULLO CASTILLO EDISON DARÍO**, con cédula de identidad Nro. **100330650-1**, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago 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 un apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 3. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días del mes de noviembre del 2016.



Firma:.....

Nombre: OSCULLO CASTILLO EDISON DARÍO

Cédula: 100330650-1



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, **GÓMEZ MORENO ALVARO SEBASTIÁN**, con cédula de identidad Nro. **100323411-7**, 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 DEL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR MITSUBISHI 4D31T CON EL USO DE BIODIÉSEL A BASE DE ALGAS, EMPLEANDO MEZCLA B5”**, 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.

Ibarra, a los 21 días del mes de noviembre de 2016.

Firma:.....  


Nombre: **GÓMEZ MORENO ALVARO SEBASTIÁN**

Cédula: 100323411-7



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, **OSCULLO CASTILLO EDISON DARÍO**, con cédula de identidad Nro. **100330650-1**, 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 DEL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR MITSUBISHI 4D31T CON EL USO DE BIODIÉSEL A BASE DE ALGAS, EMPLEANDO MEZCLA B5”**, 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.

Ibarra, a los 21 días del mes de noviembre de 2016.

Firma:.....

Nombre: OSCULLO CASTILLO EDISON DARÍO

Cédula: 100330650-1

## DEDICATORIA

Antes que nada, quiero dar gracias a Dios y a todas aquellas personas que siempre estuvieron apoyándome para seguir adelante, hasta poder cumplir un sueño y una pasión que empezó desde niño.

A mi padre, con quien enriquecí parte de mi sabiduría desde pequeño, la cual empleo día a día ya sea con el método más sencillo o la aplicación más complicada, no solo en la parte profesional sino también al momento de ser una persona que maneja valores humanos.

A mi madre, quien me dio la vida y nunca dejó de creer en mí, aunque con altos y bajos hemos luchado contra situaciones duras, penas, dichas, entre otras, en todo el trayecto largo de mi vida.

A mis hermanos Carlos, una persona emprendedora y responsable, que busca siempre la manera de corregir y de la misma manera apoyar a aquellos que más lo necesitan.

A mi hermana Maritza con quien comparto momentos desde mi niñez, una persona que sencillamente admiro, ella es mi superhéroe por el simple hecho de ser una enfermera caritativa que nunca espera nada a cambio, agradecida de las personas más humildes y sencillas.

A mis sobrinos Andrés, Daniela, Carlos y Josué, son un pequeño motor en mi vida, cada uno con su manera tan especial de ser, siempre inculcando lo que generaciones anteriores me han enseñado y transmitiendo un mensaje de respeto, responsabilidad y orden.

A mis familiares y amigos que siempre estuvieron conmigo durante esta etapa de mi vida, apoyándome de una u otra manera, ya sea con una palabra de aliento para conquistar todos mis ideales hasta darme la oportunidad de trabajar con ellos, compartiendo vivencias que dejan marcado un camino.

**Sebastián Gómez**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a mi madre María de Lourdes Oscullo Castillo, quien ha sido padre y madre, amiga incondicional y sobre todo pilar fundamental en los logros alcanzados como hijo, persona, padre de familia y estudiante; ya que con trabajo arduo y constante lleno de amor al guiarme con sus consejos y apoyo en cada reto al cual me he enfrentado.

A mis dos amores Mercedes Carolina Túquerrez Sandoval quien me ha apoyado con sus consejos y sobre todo ha demostrado ser mi compañera de aventuras, locuras y madre abnegada; y a mi hijo Darío Martín Oscullo Túquerrez mi soporte y por quien he puesto todas mis metas claras para consagrarme como ingeniero.

A mis abuelitos maternos, Miguel Oscullo y Rosa Matilde Castillo, quienes me han inculcado valores y sobre todo me han demostrado que a pesar de cualquier adversidad todo se puede cumplir con convicción y trabajo constante.

A mi tío y tías maternas quienes han estado apoyándome y brindándome consejos oportunos y claves constantemente durante mi niñez y los diferentes pasos dados durante mi vida estudiantil.

A mi abuelita paterna Clara Suarez, que siempre ha estado alentándome y guiándome por los caminos del Señor, y, que de una u otra forma siempre ha estado presente para ayudarme en los momentos donde más he necesitado de ella.

A mis tíos y tía paternos, quienes me han demostrado todo su afecto y apoyo, con gestos de aliento y consejos con enfoque profesional para aplicarles en mi vida personal y estudiantil.

**Darío Oscullo**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por darnos la vida y brindarnos inteligencia y sabiduría para crecer como personas de bien, siendo él nuestro guía por los caminos de tinieblas y nuestro soporte para afrontar y superar obstáculos a lo largo de nuestras vidas.

De igual manera agradecemos al taller Rafael Túquerrez e Hijos y su propietario por el apoyo y asesoría técnica recibidos a lo largo del proceso de puesta a punto de nuestro motor Mitsubishi 4D31T y por la acogida en sus instalaciones.

Agradecemos a la Universidad técnica del Norte nuestra alma mater por acogernos y abrirnos las puertas para formarnos como personas y profesionales de bien, con visión y misión humanitaria, agradecemos a la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz y su coordinado el Ingeniero Carlos Segovia por darnos la oportunidad de formar parte de tan noble carrera que aporta con grandes profesionales a nuestro país, a los ingenieros que a lo largo de nuestra estancia en cada una de las aulas nos brindaron su conocimiento, sobre todo su amistad y su tiempo para encaminarnos como personas y hombres respetuosos de los códigos de humanidad.

Agradecemos profundamente a nuestro director de tesis Ingeniero Carlos Mafla por su entrega y dedicación para guiarnos en la consecución del presente trabajo de titulación.

Agradecemos a todos y cada uno de nuestros amigos y conocidos que de una u otra manera fueron parte fundamental para lograr avanzar y conquistar el tan anhelado reto de consagrarnos como ingenieros.

**Sebastián Gómez**

**Darío Oscullo**

# ÍNDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>ix</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xvii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xix</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>xx</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS .....</b>	<b>xxi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>xxiv</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>xxv</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>26</b>
1. Problema de investigación.....	26
1.1. Antecedentes. – .....	26
1.2. Planteamiento del problema. – .....	26
1.3. Formulación del problema. – .....	26
1.4. Delimitación. – .....	27
1.4.1. Temporal. – .....	27
1.4.2. Espacial. – .....	27
1.5. Objetivos. – .....	27
1.5.1. Objetivo general. – .....	27
1.5.2. Objetivos específicos. – .....	27
1.6. Justificación. – .....	27
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>28</b>
2. Marco teórico .....	28
2.1. Motores diésel. – .....	28
2.1.1. Historia. – .....	28
2.1.2. Sistemas de inyección. – .....	28
2.1.2.1. Sistema de inyección por bomba lineal. – .....	28
2.1.2.2. Sistema de inyección por bombas rotativas. – .....	29

2.1.2.3.	Sistema de inyección Common Rail. –	29
2.1.2.4.	Sistema de inyección UPS (inyector bomba). –	29
2.2.	Funcionamiento del motor diésel. –	30
2.2.1.	Combustión.	30
2.2.2.	Parámetros de funcionamiento.	30
2.2.3.	Ciclos de trabajo de un motor diésel.	30
2.2.3.1.	Admisión:	31
2.2.3.2.	Compresión:	31
2.2.3.3.	Expansión:	32
2.2.3.4.	Escape:	32
2.2.3.5.	Ciclo termodinámico	33
2.2.4.	Eficiencia del ciclo diésel.	33
2.3.	Emisiones de gases contaminantes.	34
2.3.1.	Gases emitidos por motores diésel.	34
2.3.1.1.	Monóxido de carbono CO:	35
2.3.1.2.	Dióxido de carbono CO <sub>2</sub> :	35
2.3.1.3.	Hidrocarburos HC:	35
2.3.1.4.	Oxígeno O <sub>2</sub> :	35
2.3.1.5.	Óxidos nítricos NO <sub>x</sub> :	35
2.4.	Normas EURO.	35
2.4.1.	EURO I:	36
2.4.2.	EURO II, III y IV:	36
2.4.3.	EURO V:	37
2.4.4.	EURO VI (AdBlue).	37
2.4.5.	Aditivo AUS32:	37
2.5.	Biodiésel. –	38
2.5.1.	Historia:	38
2.5.2.	Mezclas de biodiésel:	40
2.5.2.1.	B5:	40
2.5.2.2.	B10:	40

2.6.	Principales fuentes vegetales de obtención de biodiésel en Ecuador.....	40
2.6.1.	Palma africana.....	40
2.6.2.	Piñón.....	41
2.6.3.	Higuerilla.....	42
2.7.	Biodiésel de algas. ....	43
2.7.1.	Ventajas del biodiésel de algas.....	43
2.7.2.	Procesos de elaboración de biodiésel de algas. ....	43
2.7.2.1.	Obtención de aceite de algas.....	43
2.7.2.2.	Método de prensado simple .....	44
2.7.2.3.	Prensado solvente hidráulico .....	44
2.7.2.4.	Extracción enzimática.....	44
2.7.2.5.	Extracción por ultrasonido.....	44
2.7.3.	Proceso de elaboración del biodiésel a partir de aceite de algas.....	44
2.7.3.1.	¿Qué es un biorreactor? .....	45
2.7.3.2.	Proceso de elaboración del biodiésel de algas.....	45
2.8.	Equipos de diagnóstico para motores diésel. ....	47
2.8.1.	Opacímetro. ....	47
2.8.2.	Medidor de gases de escape. ....	48
2.9.	Cambio de la Matriz Energética.....	48
2.10.	Plan nacional del buen vivir Ecuador. ....	50
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>51</b>
3.	Propuesta. ....	51
3.1.	Fundamentación tecnológica. ....	51
3.2.	Características del motor Mitsubishi 4D31T. ....	51
3.3.	Mantenimiento del motor.....	52
3.3.1.	Limpieza del motor. ....	52
3.3.1.1.	Remoción de óxido. ....	52
3.3.1.2.	Limpieza de elementos eléctricos del motor. ....	53
3.3.1.3.	Cambio de empaques y pegas.....	54
3.3.2.	Calibración y cambio de toberas de inyectores.....	54

3.3.3.	Construcción del sistema eléctrico.....	56
3.4.	Pruebas de consumo del motor.....	58
3.4.1.	Pruebas de consumo con Diésel Premium. ....	58
3.4.2.	Pruebas de consumo con mezcla B5 de biodiésel.....	59
3.4.3.	Pruebas de consumo con mezcla B10 de biodiésel.....	60
3.5.	Mediciones de gases de escapes.....	61
3.5.1.	Monóxido de carbono “CO”:	61
3.5.2.	Hidrocarburos “HC”:	61
3.5.3.	Óxidos de nitrógeno “NOx”:	62
3.5.4.	Dióxido de carbono “CO <sub>2</sub> ”:	62
3.5.5.	Oxígeno “O <sub>2</sub> ”:	62
3.5.6.	Equipos utilizados.....	63
3.5.6.1.	Analizador de gases Brain Bee ASG 688. –.....	63
3.5.6.2.	Sonda SGD 010. –.....	63
3.5.7.	Condiciones ambientales a las que se realizó las pruebas.....	64
3.5.8.	Pruebas con diésel.....	65
3.5.9.	Pruebas con biodiésel.....	65
3.5.9.1.	Mediciones con biodiésel mezcla B5. ....	65
3.5.9.2.	Mediciones con biodiésel mezcla B10. ....	66
3.6.	Medición de opacidad.....	67
3.6.1.	Equipos utilizados.....	67
3.6.2.	Condiciones ambientales a las que se realizó las pruebas.....	68
3.6.3.	Pruebas con diésel.....	69
3.6.4.	Pruebas con biodiésel.....	69
3.6.4.1.	Pruebas con mezcla B5 de biodiésel. –.....	69
3.6.4.2.	Pruebas con mezcla B10 de biodiésel. –.....	70
	<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>71</b>
4.	Análisis de resultados.....	71
4.1.	Pruebas de consumo.....	71

4.2. Mediciones de gases de escape.....	72
4.3. Medición de opacidad.....	75
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>78</b>
5. Conclusiones y recomendaciones.....	78
5.1. Conclusiones:.....	78
5.2. Recomendaciones: .....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA NUM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PAG.</b>
2.1.	Diferencia de encendido en un motor diésel.	30
2.2.	Ciclo de admisión	31
2.3.	Ciclo de compresión	31
2.4.	Ciclo de expansión	32
2.5.	Ciclo de escape	32
2.6.	Ciclo termodinámico diésel	33
2.7.	Gases emitidos al ambiente	34
2.8.	Evolución norma EURO	36
2.9.	Normativa NTE INEN 2 482	39
2.10.	Requisitos del biodiésel en Ecuador	39
2.11.	Biorreactor	45
2.12.	Colocación del hidróxido de sodio, adición del alcohol metílico	46
2.13.	Mezclado del aceite con la solución catalítica	46
2.14.	Mezclado final previo la obtención de mezcla B100	47
2.15.	Opacímetro	48
2.16.	Medidor de gases de escape	48
2.17.	Porcentaje consumo biocombustibles	49
3.1.	Estado de compra del motor	52
3.2.	Pulida del Motor	53
3.3.	Limpieza Alternador	53
3.4.	Bomba de agua lista para armar	54
3.5.	Inyector desarmado	55
3.6.	Extracto Catálogo Bosch	55
3.7.	Inyectores con sus toberas	56
3.8.	Pruebas de Presión Inyector	56
3.9.	Arnés de Cables	57
3.10.	Tablero de Instrumentos	57
3.11.	Recipiente plástico para mediciones de 8lt y llave de paso	58

<b>3.12.</b>	Preparación biodiésel B5	59
<b>3.13.</b>	Preparación biodiésel B10	60
<b>3.14.</b>	Analizador de Gases Brain Bee AGS-688	63
<b>3.15.</b>	Sonda SGD 010 “Brain Bee”	64
<b>3.16.</b>	Condiciones de Medición	64
<b>3.17.</b>	Pruebas de gases contaminantes con mezcla B5	66
<b>3.18.</b>	OPA 100 Brain Bee	68
<b>3.19.</b>	Pruebas de opacidad en motor Mitsubishi 4D31T	68
<b>4.1.</b>	Comparativa de consumo en 1 hora	72
<b>4.2.</b>	Límites máximos permitidos de emisiones de gases contaminantes	72
<b>4.3.</b>	Porcentaje de CO	73
<b>4.4.</b>	Porcentaje de CO <sub>2</sub>	74
<b>4.5.</b>	Porcentaje de HC	74
<b>4.6.</b>	Porcentaje de O <sub>2</sub>	75
<b>4.7.</b>	Porcentaje de NO <sub>x</sub>	75
<b>4.8.</b>	Normativa NTE INEN 2 207	76
<b>4.9.</b>	Coefficiente de absorción de luz	76
<b>4.10.</b>	Porcentaje del coeficiente de luz	77
<b>4.11.</b>	Porcentaje de opacidad del humo	77
<b>A2.1.</b>	Estado final del motor vista delantera	93
<b>A2.2.</b>	Estado final del motor vista posterior	93
<b>A2.3.</b>	Número de identificación del motor	94
<b>A2.4.</b>	Modelo de motor Mitsubishi	94

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA NUM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PAG.</b>
<b>3.1.</b>	Características técnicas motor 4D31T	51
<b>3.2.</b>	Valores de consumo con Diésel Premium	59
<b>3.3.</b>	Valores de consumo con mezcla B5 de biodiésel	60
<b>3.4.</b>	Valores de consumo con mezcla B10 de biodiésel	61
<b>3.5.</b>	Promedio General Diésel Premium	65
<b>3.6.</b>	Promedio General Biodiésel B5	66
<b>3.7.</b>	Promedio General Biodiésel B10	67
<b>3.8.</b>	Promedio General Diésel Premium	69
<b>3.9.</b>	Promedio General Biodiésel B5	70
<b>3.10.</b>	Promedio General Biodiésel B10	70
<b>4.1.</b>	Nivel de consumo en 1 hora y porcentaje de reducción	71
<b>4.2.</b>	Porcentaje de reducción de gases de escape	73
<b>4.3.</b>	Porcentajes de opacidad reducida	76
<b>A1.1.</b>	Resultados de la prueba de consumo	86
<b>A1.2.</b>	Datos de la prueba de opacidad con diésel premium	87
<b>A1.3.</b>	Datos de la prueba de opacidad con mezcla B5 de biodiésel de algas	88
<b>A1.4.</b>	Datos de la prueba de opacidad con mezcla B10 de biodiésel de algas	89
<b>A1.5.</b>	Resultados de las pruebas de opacidad	90
<b>A1.6.</b>	Resultados de reducción de opacidad	90
<b>A1.7.</b>	Resultados de la prueba de medición de gases contaminantes	91
<b>A1.8.</b>	Resultados de reducción de gases de escape	92

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>ECUACIÓN NUM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PAG.</b>
[2.1]	Eficiencia ciclo diésel	33

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Aditamento.** - Cosa que se añade para completar o complementar algo.

**Arnés.** - Cableado del automotor.

**ASTM.**- Sociedad americana de pruebas de materiales.

**B10.**- Mezcla de biodiésel con 90% de diésel.

**B5.**- Mezcla de biodiésel con 95 % de diésel.

**Biodiésel.** - Combustible producido a partir de aceites vegetales o grasas animales para el uso en motores diésel.

**Carotenoides.** - Componente orgánico que poseen ciertas plantas y organismos para proceso de fotosíntesis.

**CH.**- Hidrocarburos.

**CIS.**- Isomería geométrica.

**CO.**- Monóxido de carbono.

**CO<sub>2</sub>.**- Dióxido de carbono.

**Common Rail.** - “Riel común”, conducto de suministro de combustible de un sistema electrónico de inyección directa en motores diésel.

**Diésel.** - Aceite liviano de origen fósil usado como fuente energía para alimentar motores diésel.

**DPF.**- Filtro de larga duración para motores diésel.

**ECU.**- Del inglés Engine Control Unit o unidad de control del motor.

**FAP.**- Filtro anti partículas.

**INEN.**- Instituto ecuatoriano de normalización.

**Isentrópica.** - Proceso adiabático reversible en donde no se tiene una transferencia de calor.

**ISO.**- Sociedad internacional de normalización.

**KHz.**- Unidad de frecuencias.

**MAN.**- Maschinenfabrick Augsburg Nürnberg SE, empresa dedicada al transporte de origen alemán.

**Mm de Hg.**- Medida empleada para la presión atmosférica en milímetros de mercurio.

**NO<sub>x</sub>.**- Óxidos de nitrógeno.

**NTE.**- Normativa técnica ecuatoriana.

**O<sub>2</sub>.**- Oxígeno.

**pH.**- Porcentaje de acides e hidrógeno.

**PMI.**- Punto muerto inferior del pistón.

**PMS.**- Punto muerto superior del pistón.

**PPM.**- Partículas por millón.

**Prensado.** - Compresión de un objeto en una prensa.

**Purgar.** - Quitar las cosas malas, peligrosas o dañinas que puede tener un ducto.

**REDOX.**- Reducción de oxidación.

**Remoción.** - Acción de remover.

**RPM.**- Revoluciones por minuto.

**Sonda.** - Interfaz infrarrojo que ayuda a la medición de gases y opacidad.

**Termodinámica.** - Rama de la física que estudia todo lo referente a transferencia de calor.

**Tocoferoles.** - Resultado de la unión de varios elementos orgánicos como fenoles metilados, que actúan como vitamina E.

**UPS.**- Unit Pump Sistem, sistema de inyección diésel de alta presión.

**UV.**- Rayos ultra violetas.

**VOL.**- Unidad de volumen.

## RESUMEN

Ecuador al ser un país petrolero, ha sufrido impactos directos y considerables en la economía y producción de crudo, debido a las múltiples caídas del precio de petróleo, la implementación de biodiésel en vehículos destinados para brindar servicio de transporte de pasajeros en la ciudad de Ibarra retribuirá en un gran porcentaje a la reducción de emisión de gases contaminantes entre un 25 a 80% de los mismos, todo eso en base al tipo de biodiésel empleado. Al analizar el comportamiento de los motores diésel empleando biodiésel de algas en mezclas B5 permite recaudar información valiosa sobre los porcentajes de reducción de gases y opacidad de estos. Las normas de control ambiental que se implementaron en nuestro territorio controlan a los vehículos de servicio público. Desde las políticas de gobierno se plantea considerar a los vehículos de transporte de pasajeros como agentes de reducción de emisiones contaminantes, esto debido a que el plan nacional del buen vivir exige que se genere entornos amigables para la ciudadanía a nivel nacional, y, al implementar prácticas de uso de biodiésel en los vehículos de servicio público alinea los parámetros del plan nacional del buen vivir, como a la norma de control vehicular emitida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, los motores que usan biodiésel de algas demuestran una reducción considerable de consumo en relación al diésel con un promedio de 4% empleando mezcla B5; y al utilizar mezclas mayores de biodiésel los parámetros de consumo se reducen favorablemente ya que al emplear una mezcla B10 por ejemplo el porcentaje de reducción en el consumo es de un 9%.

## SUMMARY

Ecuador as an oil producer country, it has suffered direct and significant impacts on the economy and production of crude oil, due to the multiple declines in the price of petroleum, the implementation of biodiesel in vehicles destined to provide transport service Passengers in the city of Ibarra respond in a large percentage to the reduction of emission of gaseous pollutants between 25 to 80% of the same, all based on the type of biodiesel used. By analyzing the behavior of diesel engines using algae biodiesel in B5 mixes, it is possible to collect valuable information about the percentages of gas reduction and opacity of these. The environmental control regulations that were implemented in our territory control the public service vehicles. From government policies it is considered to consider passenger transport vehicles as pollutants for reducing emissions, this because the national plan of good living requires that it generates friendly environments for citizenship at the level National, and, by implementing practices of use of biodiesel in the public service vehicles aligns the parameters of the national plan of the good living, as with the norm of vehicular control emitted by the Ecuadorian Institute of Normalization, the engines that use Algae biodiesel shows a considerable reduction in consumption relative to diesel with an average of 4% using B5 mixture; And when using major mixtures of biodiesel consumption parameters are reduced favorably because when using a mixture B10 For example the percentage of reduction in consumption is 9%.

## INTRODUCCIÓN

El principal objetivo del presente trabajo radica en analizar el comportamiento del motor Mitsubishi 4D31T con uso de biodiésel a base de algas empleando mezcla B5, con la finalidad de recaudar datos específicos sobre los niveles y porcentajes de emisiones de gases contaminantes que se generan en el proceso de combustión del motor.

Así se puede comparar los diferentes resultados obtenidos en las pruebas realizadas al motor en función con las normativas que rigen en el control de gases contaminantes en el territorio ecuatoriano. El presente trabajo de grado se desarrolló en las instalaciones y laboratorios de la carrera de ingeniería automotriz perteneciente a la Universidad Técnica del Norte.

En el primer capítulo se presenta el problema a investigar y para ello se detalla los antecedentes, el planteamiento del problema con su respectiva formulación, la delimitación del trabajo; al igual se pone en conocimiento el objetivo general y sus respectivos objetivos específicos, culminando con la justificación.

A continuación, se encuentra el capítulo dos, donde se expone el marco teórico y se pone en detalle lo referente a las fuentes de obtención de aceite para biodiésel en Ecuador, y la manera de cómo elaborar biodiésel de alga. Contextualmente se aborda diferentes temas de interés para el desarrollo del trabajo, los cuales radican en parámetros y normativas en las cuales se debe regir al momento de elaborar biodiésel y de igual manera las pruebas a las que se van a someter el motor en el transcurso del trabajo.

Para finalizar este capítulo se da a conocer los diferentes equipos que se emplearan para la realización de las pruebas al motor Mitsubishi 4D31T.

El tercer capítulo está enfocado en todo el desarrollo del presente trabajo de titulación, donde se observa la puesta a punto que se ejecutó al motor Mitsubishi 4D31T. Además, se detalla cada una de las pruebas a las que fue sometido el motor con sus respectivas tablas de datos que se registraron para cada una de las pruebas.

En el cuarto capítulo se tiene el análisis de los resultados que se obtuvieron en cada una de las pruebas realizadas al motor, se muestra de igual manera los cuadros porcentuales y gráficas de los resultados de variación que se obtuvieron en las pruebas al motor en función de las mezclas que se utilizaron para el desarrollo de este trabajo.

Para finalizar se tiene el capítulo cinco en el que se observan las conclusiones y recomendaciones que se extrajeron en el transcurso del presente trabajo de titulación, seguido de esto se adjunta la bibliográfica empleada y los anexos más relevantes.

# CAPÍTULO I

## 1. Problema de investigación.

### 1.1. Antecedentes. –

El avance tecnológico dentro del campo automotriz y los desarrollos biotecnológicos, han contribuido a masificar campos de trabajo conjunto en post de buscar soluciones de mediación ante las emisiones de gases contaminantes producto de la combustión de combustibles de origen fósil; el control de emisiones contaminantes por parte de la unión europea tiene por misión la de garantizar el cumplimiento del tratado de Kioto en cuanto a la reducción de seis tipos de gases de efecto invernadero (Unidas, 2014).

Países desarrollados pertenecientes a la unión europea, los EE. UU y Argentina cuentan con este tipo de combustibles alternativos, los cuales han rendido fruto en cuanto a su eficiencia respecto a los combustibles de origen mineral. Lo más relevante que se ha logrado notar en los países que cuentan con esta tecnología del biodiésel a base de algas, es que su producción es más eficiente.

Un estimado de producción del cultivo de alga está entre 130.000 litros de biodiésel por hectárea (Twenergy, 2012) y este no requiere de una inversión significativa, se puede hacer de manera artesanal sin necesidad de implementaciones de carácter industrial y sin necesidad de tierra cultivable.

A su vez este tipo de combustibles radica en una accesibilidad mucho menor a la del costo normal de un combustible a base de petróleo.

### 1.2. Planteamiento del problema. –

Ecuador al ser un país petrolero, ha sufrido impactos directos en la economía y producción de esta, en base a la caída mundial del petróleo.

A su vez la implementación de biodiésel en vehículos destinados al transporte masivo de pasajeros dentro de la ciudad de Ibarra retribuirá en un gran porcentaje la disminución de gases contaminantes entre un 25 a 80% de los mismos, todo eso en base al tipo de biodiésel empleado.

### 1.3. Formulación del problema. –

¿Cómo disminuir las emisiones de gases contaminantes provocada por los vehículos con motores diésel?

#### **1.4. Delimitación. –**

##### **1.4.1. Temporal. –**

El proyecto se llevará a cabo dentro de los meses comprendidos entre febrero del 2017 hasta el mes de diciembre del 2017.

##### **1.4.2. Espacial. –**

El presente trabajo se desarrollará en laboratorios de la Universidad Técnica del Norte, laboratorios de la Universidad Politécnica del Ejército, comprendidas en las ciudades de Ibarra y Quito.

#### **1.5. Objetivos. –**

##### **1.5.1. Objetivo general. –**

Analizar el comportamiento del motor “Mitsubishi 4D31T” con el uso de biodiésel a base de algas, empleando mezclas B5, en relación al rendimiento con diésel común de venta en las distintas estaciones de servicio de la ciudad de Ibarra.

##### **1.5.2. Objetivos específicos. –**

- Ejecutar la puesta a punto del motor Mitsubishi 3D31T.
- Estimar la contaminación que produce el motor 4D31T mediante el empleo de biodiésel a base de algas, con respecto al uso de Diésel Premium.
- Cuantificar el consumo de combustible en el motor 4D31T.

#### **1.6. Justificación. –**

La Universidad Técnica del Norte conjuntamente con la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz requieren este proyecto para ampliar campos de conocimiento en cuanto a nuevos recursos energéticos aplicados en el área automotriz y que contribuyan con los requerimientos que el país necesita en cuanto al cambio de la matriz energética, ya que este brinda posibilidades de nuevas fuentes de energía sustentables y fiables para el consumo del sector transporte a nivel nacional, y en nuestro caso en particular local (Estratégicos, 2013).

El “PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR” que el actual gobierno planteó en el período 2013-2017. Específicamente el objetivo N°3, está enfocado al mejoramiento de la calidad de vida de la población, mediante la preservación del medio ambiente. Y para su efecto este trabajo va dirigido dentro de los lineamientos del plan (SENPLADES, 2013).

## **CAPÍTULO II**

### **2. Marco teórico**

#### **2.1. Motores diésel. –**

Desde su creación, los motores diésel han ido evolucionando poco a poco; desde su sistema de alimentación de combustible e incluso sus materiales de construcción, ya que es necesario cumplir estándares de calidad tanto en su funcionamiento, así como también en control ambiental, mejorando su sistema de combustión.

##### **2.1.1. Historia. –**

El motor diésel fue inventado en el año 1883, por el Ing. Rudolf Diesel. De origen francés, aunque de familia alemana, fue empleado de la legendaria firma MAN, que por aquellos años ya estaba en la producción de motores y vehículos de carga.

Rudolf Diesel estudiaba los motores de alto rendimiento térmico, con el uso de combustibles alternativos en los motores de combustión interna. Su vida corrió peligro, ya que estuvo a punto de perderla cuando uno de sus motores experimentales explotó, provocando lesiones a sus colaboradores y a él mismo (Miguel, 1987).

Durante años, Diesel, trabajó para poder utilizar otros combustibles diferentes a la gasolina, basados en principios de los motores de compresión sin ignición por chispa, cuyos orígenes se remontan a la máquina de vapor y que poseen mayores prestaciones. Así fue como a finales del siglo XIX, en el año 1897, MAN, produjo el primer motor conforme los estudios de Rudolf Diesel, encontrando para su funcionamiento, un combustible de bajo poder calorífico, que por aquellos años era muy utilizado, el aceite liviano, más conocido como aceite-combustible que se utilizaba para alumbrar las lámparas de la calle (Miguel, 1987).

##### **2.1.2. Sistemas de inyección. –**

###### **2.1.2.1. Sistema de inyección por bomba lineal. –**

Estas bombas disponen por cada cilindro del motor de un elemento de bombeo que consta de cilindro de bomba y de émbolo de bomba. El émbolo de bomba se mueve en la dirección de suministro por el árbol de levas accionado por el motor, y retrocede empujado por el muelle del émbolo.

Los elementos de bomba están dispuestos en línea. La carrera de émbolo es invariable. Para hacer posible una variación del caudal de suministro, existen en el émbolo aristas de mando inclinadas, de forma tal que, al girar el émbolo mediante una varilla de regulación, resulte la carrera útil deseada.

Entre la cámara de alta presión de bomba y el comienzo de la tubería de impulsión, existen válvulas de presión adicionales según las condiciones de inyección. Estas válvulas determinan un final de inyección exacto, evitan inyecciones posteriores en el inyector y procuran un campo característico uniforme de bomba (Calle, 2014).

#### **2.1.2.2. Sistema de inyección por bombas rotativas. –**

Estas bombas poseen en su interior un regulador de revoluciones mecánico para regular el caudal de inyección, así como de un regulador hidráulico para variar el avance de inyección. En bombas rotativas controladas electrónicamente se sustituyen los elementos mecánicos por actuadores electrónicos. Las bombas rotativas solo tienen un elemento de bombeo de alta presión para todos los cilindros (Calle, 2014).

#### **2.1.2.3. Sistema de inyección Common Rail. –**

En la inyección de acumulador riel común se realizan por separado la generación de presión y la inyección.

La presión de inyección se genera independientemente del régimen del motor y del caudal de inyección y está a disposición en el "Rail" (acumulador). El momento y el caudal de inyección se calculan en la unidad de control electrónica ECU y se realizan por el inyector en cada cilindro del motor, mediante el control de una electroválvula (Calle, 2014).

#### **2.1.2.4. Sistema de inyección UPS (inyector bomba). –**

Este sistema trabaja según el mismo procedimiento que la unidad de bomba-inyector. Se trata aquí de un sistema de inyección de alta presión estructurado modularmente. Contrariamente a la unidad bomba-inyector, el inyector y la bomba están unidos por una tubería corta de inyección. El sistema UPS dispone de una unidad de inyección por cada cilindro del motor, la cual es accionada por el árbol de levas del motor.

Una regulación electrónica por campo característico del comienzo de inyección y de la duración de inyección (o caudal de inyección) aporta una reducción destacada de las emisiones contaminantes del motor diésel. En combinación con electroválvula de

conmutación rápida, accionada electrónicamente, se determina la correspondiente característica de cada proceso de inyección en particular (Calle, 2014).

## 2.2. Funcionamiento del motor diésel. –

### 2.2.1. Combustión.

La combustión es el resultado de una reacción química que se produce entre el carbono y el oxígeno mediante el calor sometido a un combustible, con lo cual se logra que se libere total o parcial la energía calorífica que es portador. (Miguel, 1987)

En los motores diésel, la combustión se logra a partir de mezclar un aceite pesado con un volumen de aire, mismo que previo sometimiento a compresión, alcanzan una presión elevada que permite la reacción química de combustionar dentro de la cámara del motor (Edgar J Kate, 2003).

### 2.2.2. Parámetros de funcionamiento.

Un motor diésel a diferencia de un motor a gasolina funciona por autoencendido y mediante un proceso de compresión, mismo que al calentar el aire que ingresa hacia la cámara de combustión a temperaturas de 700 a 900°C provoca un encendido automático al inyectar el combustible (Miguel, 1987).

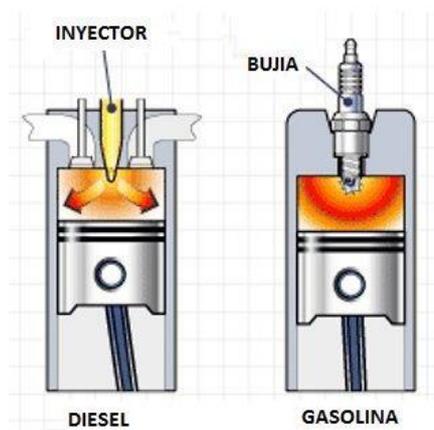


Figura 2.1. Diferencia de encendido en un motor diésel.

Fuente: (Tecnología, 2015)

### 2.2.3. Ciclos de trabajo de un motor diésel.

Se puede decir que el motor diésel trabaja con una aproximación teórica al comportamiento de un motor de encendido por compresión; los ciclos de trabajo se

asemejan a los ciclos de un motor Otto, con la diferencia que carece de bujía para su explosión. Los ciclos de trabajo de un motor diésel son los siguientes:

**2.2.3.1. Admisión:** El pistón desciende desde el PMS hacia el PMI, al mismo tiempo la válvula de admisión se abre con la finalidad de ingresar la mayor cantidad de aire a presión atmosférica constante.

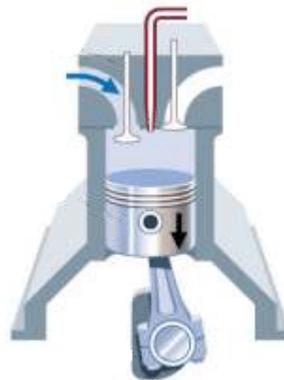


Figura 2.2. Ciclo de admisión

Fuente: (Obando, 2008)

**2.2.3.2. Compresión:** El pistón asciende del PMI al PMS con la válvula de admisión y escape cerradas, en este tiempo se debe recordar que, al no contener aire, ninguna mezcla de combustible se puede comprimir a mayor relación volumétrica, mediante una transformación adiabática.

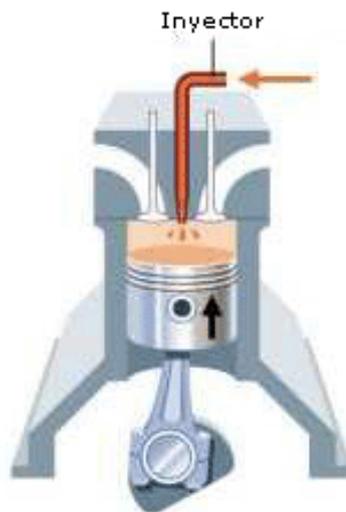


Figura 2.3. Ciclo de compresión

Fuente: (Obando, 2008)

**2.2.3.3. Expansión:** Antes de llegar el pistón al PMS de ciclo de compresión, se inyecta a la cámara de combustión la cantidad necesaria de diésel pulverizado y mediante una reacción exotérmica se genera la cantidad necesaria para empujar el pistón hacia el PMI. Las válvulas de admisión y escape en este ciclo permanecen cerradas.

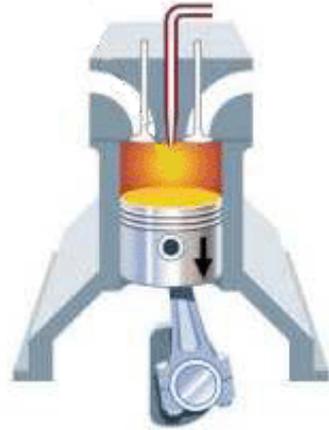


Figura 2.4. Ciclo de expansión

Fuente: (Obando, 2008)

**2.2.3.4. Escape:** En este ciclo, la válvula de escape se abre para facilitar la evacuación de los gases que el pistón al ascender va barriendo y expulsando, a llegar el pistón al PMS la válvula de escape se cierra y abre la válvula de admisión completando así un ciclo de trabajo del motor.

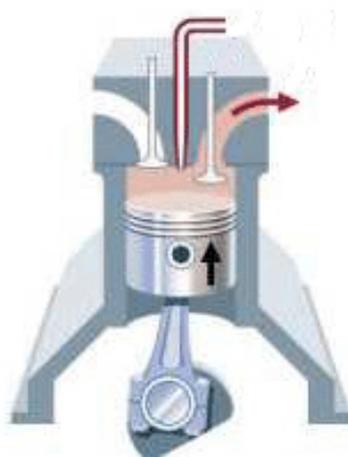


Figura 2.5. Ciclo de escape

Fuente: (Obando, 2008)

### 2.2.3.5. Ciclo termodinámico

El motor Diésel no es encendido por chispa, en su lugar la atomización del combustible dentro de la cámara de combustión por medio de un inyector, por medio de la válvula de admisión ingresa aire para obtener una mezcla con diésel dentro del cilindro.

Cuando esta mezcla llega a un grado de compresión, genera combustión dentro de la cámara por efecto de las partículas de aire, temperatura y presión reinantes que existe dentro de la misma (Miguel, 1987).

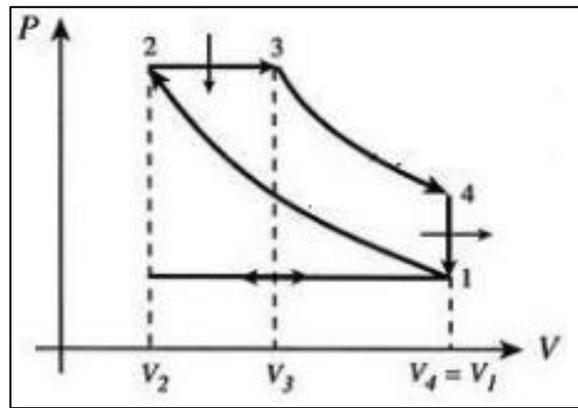


Figura 2.6. Ciclo termodinámico diésel

Fuente: (Miguel, 1987)

El gráfico 1 presenta el ciclo que se obtiene con el trabajo de un motor diésel, el cual tiene secuencias representadas numéricamente:

- El punto número 1 representa la compresión isentrópica.
- El punto número 2 representa la adición de calor constante.
- El punto número 3 representa la descompresión o expansión isentrópica.
- El punto número 4 representa el rechazo de calor.

### 2.2.4. Eficiencia del ciclo diésel

$$n = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{cv(T_4 - T_1)}{cp(T_3 - T_2)}$$

[2.1]

En donde “q” representa la cantidad de calor que se tiene tanto de entrada como de salida, “cv y cp” representa la proporción entre capacidades caloríficas, y “T” significa la temperatura que se tiene en cada punto del ciclo explicado anteriormente.

### **2.3. Emisiones de gases contaminantes.**

La mayor cantidad de gases contaminantes a nivel mundial son producto de la combustión de diferentes elementos como pueden ser el carbón, petróleo y gas de la industria y los automóviles. Así también se puede considerar las emisiones naturales, producto de las erupciones volcánicas, la descomposición de las plantas, incendios forestales recayendo en una producción de dióxido de carbono natural (Oceana, 2015).

Según estudios realizados, se afirma que cada persona a nivel mundial emite una media de 11Kg y un porcentaje mayor diario equivalente a 55 Kg de monóxido de carbono en EE.UU. Actualmente a nivel mundial se libera 42 mil millones de toneladas de CO<sub>2</sub> distribuidas en porcentajes de: 77% de CO<sub>2</sub>, 14% de CH<sub>4</sub>, 8% de N<sub>2</sub>O y 1% de otros gases (Oceana, 2015).

Se considera que los motores de combustión interna son los primeros generadores de gases contaminantes, por este motivo se debe recalcar la importancia de mejorar los combustibles, con la finalidad de reducir en cantidades significativas la producción de gases nocivos para el ambiente. Dentro de los gases emanados por los motores a combustión interna se menciona los relacionados con el estudio de este trabajo que se centra en los motores diésel y su impacto al ambiente.



Figura 2.7. Gases emitidos al ambiente

Fuente: (Varon, 2012)

#### **2.3.1. Gases emitidos por motores diésel.**

Los principales gases que se generan en la combustión dentro de un motor diésel son los siguientes:

### **2.3.1.1. Monóxido de carbono CO:**

Es un gas altamente tóxico e inflamable generado por el proceso de combustión, no presenta olor ni color particular; produce daños en el ser humano ya que bloquea el transporte de oxígeno a los glóbulos rojos (Conalep, 2012).

### **2.3.1.2. Dióxido de carbono CO<sub>2</sub>:**

Es un gas no tóxico no combustible que se produce por la quema de combustibles con contenido de carbón; sus principales perjuicios que genera es la de reducir el estrato atmosférico, el cual sirve como barrera de protección para la penetración de rayos UV, con lo cual provoca una variación térmica global en la tierra más conocido como el efecto invernadero (Conalep, 2012).

### **2.3.1.3. Hidrocarburos HC:**

Es el resultado de una combustión incompleta en la quema de combustibles, puede afectar a los órganos sensoriales generando irritación y al igual que puede considerarse cancerígenos como el benceno (Conalep, 2012).

### **2.3.1.4. Oxígeno O<sub>2</sub>:**

Es el gas indispensable para respirar, es generador de las mezclas ideales en los procesos de combustión en los motores; no posee color y es inodoro e insípido.

### **2.3.1.5. Óxidos nítricos NO<sub>x</sub>:**

Se produce por una combinación química entre el nitrógeno N<sub>2</sub> y oxígeno O<sub>2</sub>; en los motores diésel se produce este gas en particular ya que las condiciones para su generación son compatibles con el trabajo del motor a altas presiones y elevadas temperaturas, así como la presencia de grandes cantidades de oxígeno durante la combustión (Conalep, 2012).

## **2.4. Normas EURO.**

Las normas Euro fueron desarrolladas por la Unión Europea en el año de 1988, estas normas se basan y rigen para los vehículos de turismo con motorizaciones a diésel y gasolina; designando valores máximos permisivos para los niveles de gases contaminantes que la industria automotriz debe cumplir al momento de desarrollar y poner en producción sus vehículos (NGK, 2013).

A lo largo de los años las distintas normativas han evolucionado, y mejorando cada una de ellas en función del bienestar y relación con la preservación del ambiente.

A continuación, se detalla la evolución de las normas EURO:

Limitaciones a las emisiones para vehículos nuevos con motor diésel						
	válido a partir de	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
<b>Euro I</b>	01/92	3,16	-	-	1,13	0,14
<b>Euro II</b>	01/96	1,00	0,15	0,55	0,70	0,08
<b>Euro III</b>	01/00	0,64	0,06	0,50	0,56	0,05
<b>Euro IV</b>	01/05	0,50	0,05	0,25	0,30	-
<b>Euro V</b>	09/09	0,50	0,05	0,18	0,23	0,005
<b>Euro VI</b>	08/14	0,50	0,09	0,08	0,17	0,005

Figura 2.8. Evolución norma EURO

Fuente: (Europe, 2017)

#### 2.4.1. EURO I:

La normativa EURO 1 se implementó en el año de 1992, la cual requería la implementación de un catalizador, reduciendo las emisiones tanto a vehículos diésel como gasolina. La función de este componente era reducir y transformar los gases de combustión del vehículo. El mecanismo utilizado se lo denomina reacciones “REDOX”, los niveles de dióxidos de nitrógeno se descomponen en su primera parte, dando paso a la conversión en nitrógeno molecular (reducción), los hidrocarburos no quemados y el monóxido de carbono se los trata en la segunda parte del catalizador, estos se convierten en dióxido de carbono y agua. El catalizador posee cerámicas y metales de alto valor, pero para obtener la reacción REDOX se necesita que el catalizador trabaje a 300°C aproximadamente (Sostenible F. V., 2015).

#### 2.4.2. EURO II, III y IV:

A medida que pasan los años, la Unión Europea aumentaban las restricciones respecto al límite de emisión de gases que los motores de combustión interna debían emitir. Una de las primeras ideas fue modificar el catalizador usado en la normativa EURO 1, a pesar de que la ideología de otros fabricantes dio paso al ensamble de motores con menor cilindrada, centrándose también el ahorro de combustible. También se implementan sistemas turbocompresores y turbo cargadores, los cuales ayudan a los motores de combustión interna a tener una mayor eficiencia de funcionamiento y bajo nivel de emisión de gases de escape. El implemento de cajas de cambio con mayor número de

marchas o cambios fue un punto clave para esta norma, ya que con esto se obtiene un menor régimen de circulación del motor, consumiendo menos combustible. Cuando el motor trabaja a un menor rango de revoluciones se genera menos monóxido de carbono, menor cantidad de hidrocarburos sin quemar e incluso se reduce notablemente la reducción de óxidos de nitrógeno ya que el motor posee temperaturas de trabajo menores (Sostenible F. V., 2015).

#### **2.4.3. EURO V:**

Esta normativa entró en vigencia a partir del año 2009, donde se exigía la incorporación de los denominados filtros particulados, esta normativa se enfocó a los vehículos que tenían motorizaciones diésel, los filtros particulados (FAP o DPF), trabajan como una trampa que recolecta las impurezas que se generan después de la combustión debido a la suciedad que permanece en el diésel.

Una vez que este filtro se satura, su regeneración es automática, manda una orden a la central ya que necesita alterar su temperatura de los gases combustionados para que las partículas puedan eliminarse. En un periodo de 10 a 20 minutos, el motor no puede parar de funcionar, además se tiene un 20% más de consumo aproximadamente. Existen dos tipos, los que tienen aditivo, estos son más eficaces, pero dependen de un líquido que se va consumiendo en función de los kilómetros que se recorra. Su límite de uso se encuentra entre 120,000 Km y un costo de 120 euros por cada litro (Sostenible F. V., 2015).

#### **2.4.4. EURO VI (AdBlue)**

Esta norma se desarrolló para tener un control drástico en los motores diésel, misma que sale a partir del año 2014; se desarrolla un componente denominado “AdBlue”, el cual se bva suministrando en pequeñas cantidades en los gases, el cual genera una reacción química a alta temperatura la cual provoca la producción de amoníaco que descompone las moléculas de óxidos de nitrógeno en nitrógeno molecular y agua, cabe recalcar que no son nocivos para el medio ambiente. El líquido AdBlue es un componente muy diferente a los que se utiliza en los filtros particulados (Sostenible F. V., 2015).

#### **2.4.5. Aditivo AUS32:**

Es una marca registrada de urea AUS32, su composición química que radica en una solución acuosa de urea al 32,5%, no es tóxica, pero si altamente corrosiva. Al pensar en

la palabra aditivo se piensa que es suministrable en el tanque de combustible, pues este líquido no se suministra ahí. Posee un cilindro que se encuentra a la salida de los gases de escape junto a los catalizadores o integrados en estos y el filtro de partículas. El aditivo se pulveriza dentro del cilindro, pero son las altas temperaturas el complemento para que este genere amoníaco y altere las moléculas de óxidos nítricos en nitrógeno y agua, que son menos nocivos para la salud y el medio ambiente (Villareal, 2014).

## **2.5. Biodiésel. –**

Se puede denotar al biodiésel como un tipo de combustible verde u orgánico, los cuales pueden ser usados en diferentes aplicaciones de la industria, ya sea automotriz. De igual manera se considera biocombustibles a la producción de carburantes que no posean relación directa con el ámbito fósil. En este caso para la producción de biodiésel se puede tomar a consideración diversas alternativas, entre ellas:

- Palma.
- Piñón (Ecuador higuera).
- Girasol.
- Vegetales de soja.
- Algas.

En consecuencia, la ASTM (American Society for Testing and Materials) por sus siglas en inglés, considera al biodiésel como: “el éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores diésel” (ASTM, 2015).

### **2.5.1. Historia:**

Con el pasar del tiempo, y considerando el impacto ambiental que las emisiones causadas por el combustible diésel han provocado ante la capa de ozono, se comienza a investigar varios tipos de energías alternativas que puedan reemplazar al aceite fósil.

Empezaron a extraer aceite natural de plantas que se encuentra a nuestro alrededor, para dar vida a nuevas alternativas de combustible que reduzcan las emisiones de gases y sean amigables con el medio ambiente.

Los estudios y pruebas realizadas al pasar de los años dieron como resultado una buena acogida por parte de diferentes gobiernos internacionales, los cuales han invertido recursos para continuar con la investigación y producción de biodiésel. (Gómez, 2016)

La “norma técnica ecuatoriana voluntaria (Biodiésel Requisitos) NTE INEN 2 482:2009” tiene como objeto establecer los requisitos que debe cumplir los ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos que van a hacer usados como combustibles para motores de ciclo diésel. Con un alcance de concentración del 100%, es decir, aplicable en mezclas B100.

<b>Documento:</b> TÍTULO: BIODIESEL. REQUISITOS. NTE INEN 2 482		<b>Código:</b> QU 03.02-405
<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio: 2007-07-24	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior del Directorio Oficialización con el Carácter de por Resolución No. de publicado en el Registro Oficial No. de  Fecha de iniciación del estudio:	
Fechas de consulta pública: de _____ a _____		

Figura 2.9. Normativa NTE INEN 2 482

Fuente: (INEN, 2009)

A continuación podemos también evidenciar los requisitos con los que el diésel debe cumplir, para que este sea de calidad aceptable.

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Métodos de Ensayo
Densidad a 15° C	kg/m <sup>3</sup>	860	900	ASTM D 1298
Punto de Inflamación	°C	120	--	ASTM D 93
Punto de Turbidez	°C	Reportar <sup>1</sup>		
Φ <sub>Agua y sedimento</sub>	%	--	0,05	ASTM D 1796
Contenido de Agua	mg/kg	--	500	ASTM D 95
Viscosidad Cinemática a 40° C	mm <sup>2</sup> /S	3,5	5	ASTM D 445
Cenizas Sulfatadas	% (m/m)	--	0,02	ASTM D 874
Contenido de Azufre	mg/kg	--	10	ASTM D 1552
W <sub>Carbón Residual</sub> <sup>2</sup>	%	--	0,05	ASTM D 4530
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	--	3	ASTM D 130
Número de cetano	-	49	--	ASTM D 613
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	--	360	ASTM D 1160
W <sub>Glicerina libre</sub>	%	--	0,02	ASTM D 6584
W <sub>Glicerina total</sub>	%	--	0,25	ASTM D 6584
W <sub>Contenido de ésteres</sub>	%	96,5	--	EN 14103
Índice de yodo	g yodo/100 g	--	120	EN 14111
W <sub>Contenido de metanol</sub>	%	--	0,20	ASTM D 4815 EN 14110
Contenido de fósforo	mg/kg	--	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na + K)	mg/kg	--	5	EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca + Mg)	mg/kg	--	5	prEN 14538
Número de acidez	mg KOH/g	--	0,5	ASTM D 664

<sup>1</sup> El punto de turbidez del biodiésel generalmente es mayor que el diésel de origen fósil y debe ser tomado en consideración para los procesos de mezcla  
<sup>2</sup> Debe ser determinado en el 100% de la muestra

Figura 2.10. Requisitos del biodiésel en Ecuador

Fuente: (INEN, 2009)

### **2.5.2. Mezclas de biodiésel:**

Dentro de la producción de biodiésel a nivel global se han desarrollado diferentes tipos y muestras los cuales cumplen los reglamentos y especificaciones técnicas según las normativas ambientales, ASTM, INEN e ISO.

El presente trabajo toma como referencia los diferentes tipos de mezclas de biodiésel que se estudiará en la ciudad de Ibarra las cuales son:

**2.5.2.1. B5:** La relación de mezcla es de 5 por ciento de biodiésel y el 95 por ciento de diésel fósil. Actualmente es la más común y la máxima autorizada por la regulación europea (Biocombustibles, 2011).

**2.5.2.2. B10:** Sobre estima una combinación del 10 por ciento de biodiésel y el 90 por ciento de diésel fósil. Este tipo de mezcla es la más empleada en los U.S.A, debido a que el motor no necesita ningún tipo de modificación para su implementación dentro del circuito de inyección (Biocombustibles, 2011).

## **2.6. Principales fuentes vegetales de obtención de biodiésel en Ecuador.**

### **2.6.1. Palma africana**

Nativa del occidente Africano Ecuatorial “*Elaeis guineensis*” conocida como palma africana, fue introducido en Ecuador en los años de 1953, específicamente en la provincia de Esmeraldas logrando hasta los años de 1967 incrementar su producción de 5 toneladas a 15 toneladas por hectárea (SciELO, 2014).

Por altos niveles de triglicéridos, y, sus características de adaptación en tierras bajas del trópico húmedo. Además de sus cualidades de prevención en la erosión de suelos, hacen de esta planta la mejor opción para producir biodiésel a base de su aceite.

El aceite de palma se extrae del mesocarpio del fruto de la semilla de la palma africana “*Elae guineensis*” a través de procedimientos mecánicos. Está constituido por una mezcla de ésteres de glicerol (triglicéridos) y es fuente natural de carotenos y vitamina E. Con base en el aumento significativo de su producción a nivel mundial, se han diversificado sus usos en otros campos como el de combustibles, detergentes, cosméticos, plásticos, farmacéuticos entre otros, ya que cumple con las especificaciones de productos requeridas en estos sectores.

Lo anterior hace del aceite de palma una materia prima de gran interés para el desarrollo industrial. Los ácidos grasos insaturados que constituyen el aceite de palma son el oleico (36-44%) y el linoleico (9-12%) que tienen configuración CIS. También posee los ácidos grasos saturados palmítico (39,3-47,5%) y esteárico (3,5-6%). Los carotenos presentes en concentraciones del orden de la partícula por millón son sustancias de gran importancia para la estabilidad del aceite de palma africana ya que previenen la oxidación causada por el oxígeno del aire y acelerada por las altas temperaturas y los rayos UV de la luz solar. Al igual que los carotenoides, los tocoferoles y tocotrienoles, le confieren una gran estabilidad contra la oxidación. Diluidos en el aceite se encuentran en cierta cantidad los ácidos grasos libres (sin esterificar), producto de la hidrólisis causada por enzimas naturales que provienen de los frutos de la palma o de bacterias del ambiente. El ácido graso que se encuentra presente en mayor proporción en el aceite de palma africana es el ácido palmítico, y junto con los demás ácidos grasos libres son los responsables de los niveles de acidez del aceite. El aceite crudo de palma también contiene cierta cantidad de agua que puede ser generadora de la hidrólisis de los triglicéridos si se exceden niveles críticos. Esta humedad proviene en parte de los mismos frutos de la palma, o del agua añadida en las diferentes etapas del proceso de obtención del aceite (SciELO, 2014).

### **2.6.2. Piñón**

Es una planta del tipo arbusto leñoso cuyo nombre científico es “*Jatropha Curcas*” oriunda de las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Es catalogada como candidatos para la producción de biodiésel por su robusto esquema para sobrevivir en condiciones de sequía, ya que necesita de 300 a 1000 mm anual.

Sus principales cualidades y usos desde su explotación radican en que su aceite tiene acción purgativa, en enfermedades de la piel y se usa para disminuir el dolor causado por el reumatismo, en tanto que el látex tiene propiedades antimicrobianas. Y a su vez el extracto de sus hojas fue y es empleada como un excelente pesticida en el campo agrícola (Bluemix, 2007).

Sus semillas rinden de 6 a 8 toneladas por hectárea, y contiene de 20 a 40% de aceite con un patrón de ácidos grasos similares a los de los aceites comestibles (Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería , s.f.).

Su proceso de extracción para la producción de biodiésel a base de piñón se puede generar de la siguiente manera; se extraen las semillas del fruto, después se lavan con agua destilada y se secan en una estufa a 60°C durante aproximadamente 12 horas.

Posteriormente, las semillas se trituran y se meten a un sistema denominado Soxhlet, que consiste en extraer compuestos de naturaleza lipídica empleando un condensador de vidrio.

El extracto obtenido se evapora y el aceite conseguido se almacena en un refrigerador hasta su posterior uso. Cabe recordar que el biodiésel es una mezcla de ésteres alquílicos de ácidos grasos; su obtención se hace por la reacción de transesterificación de los triglicéridos presentes en los aceites vegetales. Para la reacción se emplean diferentes alcoholes como metanol, etanol, 1-propanol y 1-butanol, y se puede catalizar con bases, ácidos y enzimas (Bluemix, 2007).

El aceite vegetal se mezcla con el alcohol y el catalizador y se somete a calentamiento a una temperatura menor al punto de ebullición del alcohol; dependiendo del catalizador, la reacción puede completarse entre 1 y 12 horas.

Después de completarse la reacción, el biodiésel se separa de la glicerina y del alcohol que no reaccionó y se hacen pruebas fisicoquímicas (como acidez, índice de yodo, índice de refracción, valor de saponificación, pH, gravedad específica y viscosidad, entre otras) para confirmar su calidad.

### **2.6.3. Higuera.**

Planta oleaginosa de climas calientes, cuyo nombre científico es “*Ricinus communis*”, y que en el habla inglés se conoce como “Castor bean”. Antiguamente empleada en el campo medicinal por sus múltiples virtudes y características en el uso de medicinas sanas y naturales. Muchos de sus usos parte desde su aceite que se extrae de sus semillas, en las cuales la ingesta de una cantidad proporcional del aceite puede contribuir a eliminar dolores estomacales producidos por empachos secos, diarrea, acidez y bilis (INIAP, 2014).

De igual manera dentro del ámbito respiratorio frotar o ingerir su aceite ayuda con problemas de asma y bronquitis.

En contexto industrial, el aceite que se obtiene de sus semillas es empleado para desarrollar aceites de altas prestaciones lubricantes para motores de competencia que giran a altas rpm.

Actualmente en el país se desarrolló una planta de procesamiento industrial de esta planta con fines allegados a masificar la producción de biodiésel, cuyo ente desarrollador es la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra (Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra, 2014).

## **2.7. Biodiésel de algas.**

Para obtener biodiésel a partir de algas primero se debe extraer el aceite y por un proceso químico llamado transesterificación es posible obtener biodiésel. El cultivo de microalgas y la obtención de aceite a partir de éste presentan muchas ventajas con respecto a los cultivos terrestres. Por un lado, presentan una tasa de crecimiento mucho mayor y por otro lado la producción de aceite por área está estimada entre 4.6 y 18.4 l/m<sup>2</sup>, esto es de 7 a 30 veces mayor que los mayores cultivos terrestres. No requiere de grandes superficies para su producción. En una superficie de 52.000 Km<sup>2</sup>, se pueden obtener 95 millones de barriles de biodiésel al día a un precio sensiblemente inferior al del petróleo actual (Olmedo, 2009).

### **2.7.1. Ventajas del biodiésel de algas.**

Al producir biodiésel a partir de los aceites se algas, se puede tener varias ventajas en relación con el diésel de origen fósil:

- Las algas poseen un ácido graso llamado poliinsaturados; este ácido hace que disminuya la estabilidad del biodiésel. Una de las mejores ventajas de los ácidos grasos poliinsaturados es que sus puntos de fusión son muy bajos, esto hace que el biodiésel de estas características tenga un rendimiento mejor en arranques en frío y temperaturas bajas.
- En comparación con otros tipos de plantas, las algas presentan un margen de obtención 200 veces mayor.
- Su acumulación de energía es mayor por estar plenamente recibiendo rayos solares, de esta manera almacena ese potencial en su sabia.
- El biodiésel a base de algas también ayuda a reducir los niveles de CO<sub>2</sub> y gases que poseen nitrógeno. (Olmedo, 2009)

### **2.7.2. Procesos de elaboración de biodiésel de algas.**

#### **2.7.2.1. Obtención de aceite de algas**

Existen métodos simples y complicados para extraer el aceite de algas; para iniciar con la extracción de su fluido, es importante mantener secas las algas a la luz y el calor, ya que de esta manera retienen su aceite listo para su extracción. (Badillo, 2011)

### **2.7.2.2. Método de prensado simple**

Las algas son sometidas a una prensa, ya que gracias a la fricción de sus elementos, produce calor el cual hace deslizar el aceite a través de la prensa hasta un depósito, la prensa emite una presión de 2800 a 3000 kg/cm<sup>2</sup> usado para su extracción. (Badillo, 2011)

### **2.7.2.3. Prensado solvente hidráulico**

Este es un proceso similar al anterior, con la diferencia de que el aceite es sometido a solventes químicos que ayudan a la extracción del aceite de alga.

Cuando se usan solventes orgánicos para la obtención de dicho líquido, se dice que se puede extraer hasta un 95% del aceite que contiene cada alga; cuando se usa ciclohexano para el procedimiento se tiene como desventaja el alto riesgo de explosión. (Badillo, 2011)

### **2.7.2.4. Extracción enzimática**

Para este proceso se aplica algo llamado “hidrólisis enzimática”, se llama así porque se usa agua como disolvente para que las enzimas procedan a separarse de las proteínas que tienen las algas.

La ventaja de esta forma de extracción es que prácticamente es natural, no usa ninguna clase de químicos, pero su obtención es más lenta, sin embargo, el aceite obtenido es de mayor calidad. (Badillo, 2011)

### **2.7.2.5. Extracción por ultrasonido**

Se usan equipos que emiten una frecuencia de 20KHz, por medio de esta onda desprende el compuesto y busca la materia vegetal, de esta manera la obtención del aceite es más fácil. Se toma como principio, que las burbujas de sonido reducen el tamaño de las partículas vegetales, y aumenta el área de la que se obtendrá el aceite (Ronnie Gazalo Torres Badillo, 2011).

## **2.7.3. Proceso de elaboración del biodiésel a partir de aceite de algas.**

Existen diversos métodos de extracción de biodiésel a base de aceite de algas, se debe realizar en un ambiente libre de polvo y baja humedad, por consiguiente, es necesario tener a disponibilidad un biorreactor que cumpla con los parámetros establecidos para su efecto, el aceite empleado proviene del tipo de alga “dunaliella salina”.

### 2.7.3.1. ¿Qué es un biorreactor?

Es un equipo industrial que se emplea para realizar procesos químicos de combinación y des combinación de materiales.

Está conformado por un grupo de cilindros, cuyo interior contiene un conjunto de paletas las cuales mezclan a los elementos para obtener el biodiesel.

Los ejes de las paletas son impulsados por motores eléctricos controlados desde una caja de control, misma que contiene temporizadores para programar el tiempo de agitación del aceite base y el resto de ingredientes.

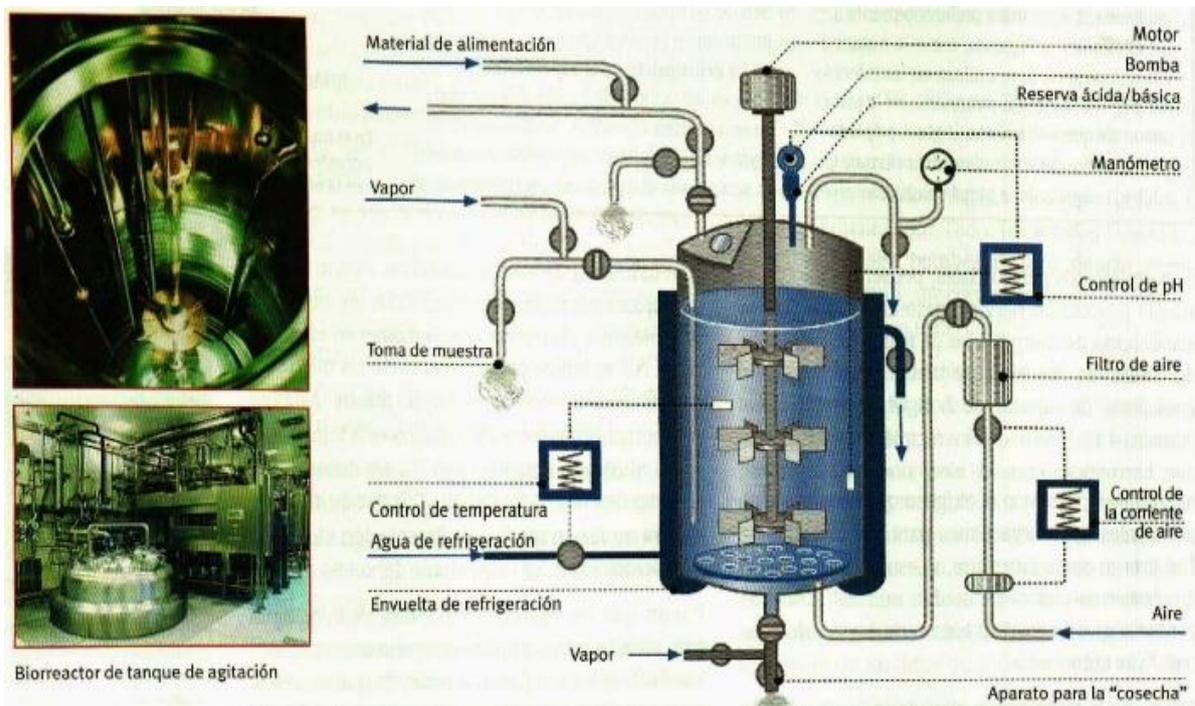


Figura 2.11. Biorreactor

Fuente: (Smith, 2017)

### 2.7.3.2. Proceso de elaboración del biodiésel de algas.

Se parte por obtener la mezcla catalizada entre los dos elementos químicos como son; hidróxido de sodio y alcohol metílico, todo eso se mezcla en el primer tanque durante una hora hasta conseguir que el hidróxido de sodio en su estado sólido se disuelva.

En vista de que estos elementos químicos pueden ser nocivos para la salud laboral, se debe usar guantes para su manipulación, ya que dichos compuestos al estar en contacto con la piel puede producir daños e irritaciones, también se debe evitar contacto con los ojos.



Figura 2.12. Colocación del hidróxido de sodio, adición del alcohol metílico

Una vez concluida la etapa de disolución de hidróxido de sodio se procede a verter el aceite extraído de las algas en la segunda tina para mezclar la solución catalítica con el aceite. Con esto se genera que las moléculas de glicerina se separen del aceite. Cabe recalcar que para esta fase el aceite de algas debe ser lo más puro y libre de partículas de agua en su mínima expresión, al igual que se debe generar temperatura en la tina de 55°C.



Figura 2.13. Mezclado del aceite con la solución catalítica

Al concluir la segunda etapa, se procede nuevamente a mezclar en la tercera tina por un tiempo de 4 a 5 horas con la finalidad de disolver las partículas de agua existentes, de la misma manera la tina se calienta a una temperatura de 35°C para facilitar la evaporación de agua.

Al concluir el tiempo de mezclado se deja decantar la mezcla por un tiempo de dos días, con la finalidad de si existe partículas de glicerina se asiente para poder extraerlas y al final poder recolectar la mezcla B100 de biodiésel de algas. De igual manera se debe medir los valores de Ph de la mezcla para garantizar su eficiencia, como resultado debe mantenerse en un rango no mayor a 7 y no menor a 6.



Figura 2.14. Mezclado final previo la obtención de mezcla B100

## **2.8. Equipos de diagnóstico para motores diésel.**

### **2.8.1. Opacímetro.**

El opacímetro es un instrumento que se usa para la medición del nivel de opacidad del humo que emane un motor diésel, este equipo se maneja con aceleraciones y desaceleraciones del vehículo.

Este equipo de flujo parcial, se toma la muestra del gas por medio de una sonda, que se conecta en el tubo de escape del motor, dicha sonda puede ser que sus elementos base sea espejos los cuales captan que tan opaco es el humo.

En otros casos también se usa una sonda con cámara interna dentro del equipo, que contienen lentes emisores y receptores los cuales trabajan conjuntamente con luz, entonces se basa en la cantidad de luz que atraviesa entre el humo. (Technology - Garage, 2010)

Dentro de la ley está establecido que:

“Los vehículos del año 1999 para atrás pueden tener un nivel de opacidad del 60%, mientras que los vehículos del 2000 en adelante pueden tener un nivel del 50%”.

Este elemento contiene dos filtros, que ayudan al instrumento a determinar datos y transformarlos a binarios. Además, cuenta con puertos de conexión a una computadora, en donde se podrá monitorear todos los datos adquiridos a través de la sonda y el aparato conjuntamente trabajando.



Figura 2.15. Opacímetro

Fuente: (Technology - Garage, 2010)

### 2.8.2. Medidor de gases de escape.

El analizador de gases de escape es un instrumento óptico/químico diseñado y fabricado para medir los gases producidos tras la combustión en motores diésel y gasolina.

Su principio de funcionamiento radica en tomar muestras de gases del tubo de escape para hacerlos circular por unas celdas electroquímicas y celdas de rayos infrarrojos quienes miden el contenido de cada componente y reflejan en la pantalla del programa en el computador.



Figura 2.16. Medidor de gases de escape

### 2.9. Cambio de la Matriz Energética

En nuestro país, se ha pensado mucho en la generación de biocombustibles a partir de productos agrícolas. El gobierno se encuentra interesado en la inversión de la llamada

energía limpia, la cual reducirá notablemente el impacto ambiental que genera combustibles y fuentes de energía derivados del petróleo.

En países que conforman la Unión Europea y los Estados Unidos de Norte América, la producción de biodiésel ya es un hecho, la demanda de hidrocarburos han crecido en los últimos años, y la preocupación de estos países por preservar ha crecido conjuntamente por dicha demanda.

En Sudamérica también se empezó con la producción de biocombustibles, Brasil es uno de los pioneros en la materia con una producción de 32.4%, seguido por Colombia con un 0,4% y a continuación en Argentina con una producción muy decadente (Gómez, 2016).

A continuación, se puede observar datos de consumo de biocombustible en América:

País	Biocombustible %
<b>Brasil</b>	21,57
<b>Cuba</b>	3,06
<b>Nicaragua</b>	4,24
<b>Guatemala</b>	2,74
<b>Argentina</b>	1,12
<b>Ecuador</b>	<b>0,92</b>
<b>México</b>	0,07

Figura 2.17. Porcentaje consumo biocombustibles

Fuente: (Gómez, 2016)

Con el cambio de esta matriz, se elevará el 0,92% de consumo que la tabla indica, la producción se ha empezado a dar, uno de ellos es la higuera, de cuya planta se extrae aceite para la producción de biocombustible.

Cuando entre en proceso la producción, se llevarán a cabo estudios acerca de las materias primas para la extracción, se habla de insumos agrícolas y forestales entre otros, además la tecnología que se empleará para realizar un proceso de extracción adecuado.

Los estudios también valorarán y preservarán el ambiente con una explotación controlada de los elementos base.

## **2.10. Plan nacional del buen vivir Ecuador.**

De acuerdo con los lineamientos del plan nacional del buen vivir 2013 – 2017 implementado para las políticas de gestión del territorio ecuatoriano, en el presente trabajo se enfoca y alinea con las directrices que se establecen en el objetivo #3, en el cual hace referencia al mejoramiento de calidad de vida de la población.

El objetivo #3 del plan se rige en función de la constitución del estado ecuatoriano donde el artículo 66, establece el derecho a una vida digna, que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, vivienda, saneamiento ambiental, educación, trabajo, empleo, descanso y ocio, cultura física, vestido, seguridad social y otros servicios sociales necesarios. Por ello, mejorar la calidad de vida de la población es un proceso multidimensional y complejo (SENPLADES, 2013).

En el marco de las directrices del plan nacional del buen vivir en conjunto con el objetivo #3, hace referencia a mantener una movilidad sostenible que contribuya con el mejoramiento de calidad de vida y la reducción del impacto negativo hacia el ambiente. El presente trabajo contribuye con los lineamientos que el estado nacional requiere para dar por cumplido el plan nacional del buen vivir, ya que, al implementar nuevas fuentes de combustibles amigables con el ambiente, se genera un impacto favorable para incentivar el uso de biodiésel en los vehículos destinados al servicio de la transportación ya sea mercantil como de pasajeros.

## CAPÍTULO III

### 3. Propuesta.

#### 3.1. Fundamentación tecnológica.

El presente trabajo se enfocó a determinar el régimen de trabajo y operación de los diferentes sistemas que conforman el circuito de inyección, con la finalidad de establecer los niveles de contaminación que produce la combustión del diésel Premium de venta local en la ciudad de Ibarra con relación a las mezclas de biodiésel a base de aceites de algas en porcentajes B5 y B10.

Por tal motivo para la investigación de este trabajo se debe realizar las pruebas con equipos destinados para pruebas de motores diésel.

#### 3.2. Características del motor Mitsubishi 4D31T.

El motor empleado para desarrollar el presente trabajo proviene de un camión Mitsubishi modelo Canter año 1995. Cuyos datos y especificaciones técnicas se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3.1. Características técnicas motor 4D31T

Fabricante:	Mitsubishi.
País de origen:	Japón.
Modelo:	FE444 Canter 4D31-0AT
Número de cilindros:	4
Cilindraje:	3298cc
Horse Power:	130 Hp @ 3500 rpm
Año de fabricación:	1995
Bomba de inyección:	Lineal Zexel 105921-3081
Potencia:	80Kw / 108.76 Cv
Torque:	255 N-m/188lb-pie @ 1600rpm

### 3.3. Mantenimiento del motor.

El mantenimiento del motor Mitsubishi 4D31T se realizó en diferentes fases, debido a las condiciones en las que se encontraba el motor previo a la adquisición. Los puntos más fuertes y de mayor importancia para mantener el motor con una puesta a punto firme se detallan a continuación con sus respectivas evidencias fotográficas.



Figura 3.1. Estado de compra del motor

#### 3.3.1. Limpieza del motor.

Al presentar una cantidad moderada de óxido debido a las condiciones en las que se encontraba almacenado el motor, fue necesaria una limpieza exhaustiva de cada una de las partes y elementos del motor, mismos que se detallan a continuación:

##### 3.3.1.1. Remoción de óxido.

Con la ayuda de una amoladora y un cepillo de alambre, se procedió a limpiar las zonas afectadas por el óxido, en la siguiente imagen se representa la pulida del block del motor y la pulida del volante de inercia.

Se procedió también a una pulverización de removedor de grasa y gasolina para obtener una limpieza total de los elementos externos de motor.

En vista de que el motor estuvo parado bastante tiempo, el resultado de la limpieza fue muy provechoso, pudimos observar que el motor no tenía ningún tipo de fisuras externas así como también en algunos de sus elementos externos.

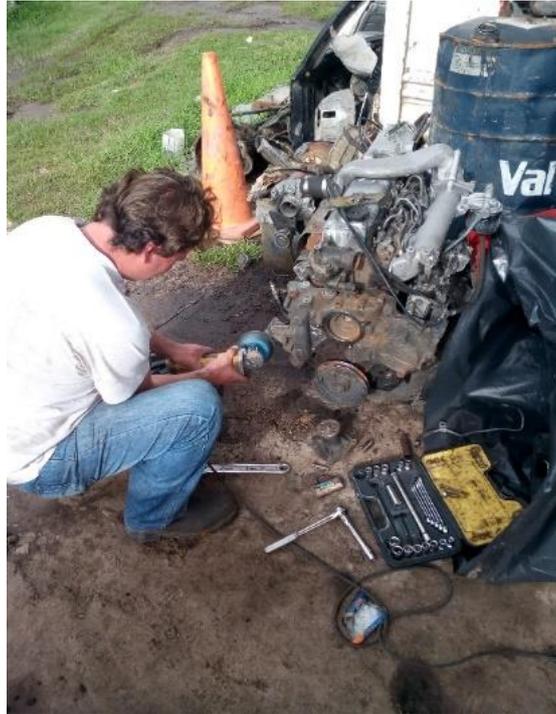


Figura 3.2. Pulida del Motor

### 3.3.1.2. Limpieza de elementos eléctricos del motor.

El alternador de este motor tiene circulante de aceite para su lubricación y refrigeración, por lo cual se procedió a limpiar con aire a presión los conductos de lubricación con la finalidad de remover grumos o residuos que puedan dañar al motor.



Figura 3.3. Limpieza Alternador

### 3.3.1.3. Cambio de empaques y pegas.

Para optimizar el funcionamiento correcto del motor, y evitar fugas de fluidos, se procedió a desmontar aquellas piezas que, para su sujeción tienen empaques o usan siliconas para su adicción y sellado, tales como cárter, bomba de agua, empaque de tapa válvulas, tapones de la bomba de inyección.



Figura 3.4. Bomba de agua lista para armar

### 3.3.2. Calibración y cambio de toberas de inyectores.

Los inyectores a su inicio no presentaban los parámetros de trabajo ideal como los requiere el fabricante, todo ello debido a la suciedad acumulada en el cuerpo de los inyectores.

Para efecto se hizo uso de los laboratorios de inyección diésel de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, donde se realizó los despieces y pruebas de presión de cada uno de los inyectores.



Figura 3.5. Inyector desarmado

Mediante el sometimiento de los inyectores al banco de pruebas de presión, en su inicio presentaron una presión de 150 bares, en ese momento se debía hacer referencia con una tabla comparativa, con la cual se confirma que los inyectores no poseían la presión suficiente de trabajo.

Las pruebas realizadas con los inyectores se las ejecutaron en los laboratorios de la universidad bajo supervisión del ingeniero tutor.

## Tablas de aplicación

### Toberas Zexel

 Stamping	Código Zexel	Código Bosch	 Marca	Motor	Presión de Apertura (bares)
NP-DLLA158SN852	105015-8520	9 432 610 305	MITSUBISHI	56A3	216
NP-DLLA160P3	105017-0740	9 432 610 323	MITSUBISHI	4D31T / 4D31A / 4D31	225
NP-DLLA160PN004	105017-0040	9 432 610 168	MITSUBISHI	4D31T	177
<b>NP-DLLA160PN036</b>	<b>105017-0360</b>	<b>9 432 610 227</b>	<b>MITSUBISHI</b>	<b>4D31T / 6D31T</b>	<b>216</b>
NP-DLLA160PN070	105017-0700	9 432 610 732	MITSUBISHI	4D31	177
NP-DLLA160PN135	105017-1350	9 432 610 459	HYUNDAI	D4AF 97 (Mighty)	216
NP-DLLA160PN141	105017-1410	9 432 610 374	HYUNDAI	4D31 / 4D31T (K3500)	216
NP-DLLA160S295N422	105015-4220	9 432 610 046	MITSUBISHI	6D14CT / 6D15 / 6D15 STD	216

Figura 3.6. Extracto Catálogo Bosch

Fuente: (Bosch, 2015)

Se procede a realizar el cambio de toberas, las cuales presentaban desgaste, este fue el motivo principal para su deficiencia al momento de liberar presión de combustible, los muelles y las arandelas de regulación se encontraban en buen estado.



Figura 3.7. Inyectores con sus toberas

El cambio fue notable, desde el momento que se sometió al banco de pruebas para medir su presión, el cual marcó 215 bares, incluso al momento de expulsar diésel en la prueba de pulverización, el afecto abanico fue mejor comparando con la prueba anterior.



Figura 3.8. Pruebas de Presión Inyector

### 3.3.3. Construcción del sistema eléctrico.

La construcción del sistema eléctrico comprendió en diseñar un arnés completo de cables que se empatan al panel de mando y tablero.

El arnés está constituido por cables número 10, 12 y 18, distribuidos hacia los componentes y trompos ubicados en el motor para emisión de lectura de magnitudes según corresponda.

Cabe recalcar que este motor usa 2 baterías de 12 voltios cada una, ya que su motor de arranque funciona con 24 voltios, sin embargo, también se tiene aditamentos como su electro-ventilador de 12 voltios, por lo cual se construyó dos circuitos con un interruptor principal de 4 terminales.



Figura 3.9. Arnés de Cables

El tablero de instrumentos se puede denominar como un sistema de información, ya que gracias a él se puede saber el comportamiento que el motor tiene cuando está trabajando. Este tablero cuenta con un contador de r.p.m., un medidor de temperatura de agua del motor, un voltímetro de 24v, y un amperímetro.

En lo que constituye a los botones se posee un interruptor principal de color naranja, un pulsador negro para arrancar, una clavija on/off para el electro-ventilador y un pulsador rojo para bujías de precalentamiento.



Figura 3.10. Tablero de Instrumentos

### 3.4. Pruebas de consumo del motor.

Las pruebas de consumo consisten en medir la cantidad de combustible empleado en un lapso de tiempo, para desarrollar este tipo de pruebas es necesario contar con recipientes adecuados como se muestra en la figura A, que presentan niveles de medición que favorecen a la toma de datos exactos en el transcurso de cada una de las pruebas realizadas. Las pruebas de consumo se realizaron para dos mezclas de biodiésel y una de diésel Premium. De igual manera como referencia se realizó una prueba a bordo en un camión de las mismas características del motor del presente trabajo durante un tiempo de 60 minutos, en la cual se pudo notar las diferentes condiciones a las que el motor se somete durante un viaje.

La metodología empleada para la realización de cada una de las pruebas se basó en mantener un régimen de giro de motor constante durante una hora reloj a 2500 revoluciones por minuto.

Además, se implementó una llave de corte como se puede apreciar en la figura B, para colocar un recipiente de medición plástico con la finalidad de permitir manipular el circuito de combustión sin tener que desmontar el tanque de combustible original del motor.



Figura 3.11. Recipiente plástico para mediciones de 8lt y llave de paso

#### 3.4.1. Pruebas de consumo con Diésel Premium.

Para esta prueba se tomaron como parámetros principales, las distintas aceleraciones que mantiene un motor a condiciones normales de trabajo, con un régimen de giro del motor a 2500 r.p.m., la temperatura ambiente a 22°C, altitud de 2340 msnm, con una presión atmosférica de 751 mm de Hg (1.00125 Bar) y temperatura del motor 98 °C.

A su vez las pruebas estuvieron divididas en las cinco paradas mismas que se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 3.2. Valores de consumo con Diésel Premium

PRUEBA DE CONSUMO	
	<b>Diésel (ml/h)</b>
Prueba 1	1600
Prueba 2	1600
Prueba 3	1550
Prueba 4	1600
Prueba 5	1500
Promedio:	1570

### 3.4.2. Pruebas de consumo con mezcla B5 de biodiésel.

Previo la realización de las pruebas de consumo con mezcla B5 de biodiésel a base de algas, se realizó la combinación entre los dos elementos como son: el combustible de origen fósil (95%) y aceite de algas (5%). A su vez es necesario realizar el cambio de filtro de combustible, al igual que purgar el sistema de combustión. Las pruebas se efectuaron bajo las mismas condiciones que las del diésel Premium, con la diferencia que la temperatura del motor rondaba los 103°C.



Figura 3.12. Preparación biodiésel B5

Los datos obtenidos en las diferentes pruebas se visualizan en la tabla correspondiente al consumo con mezcla B5.

Tabla 3.3. Valores de consumo con mezcla B5 de Biodiésel

PRUEBA DE CONSUMO	
	B5 (ml/h)
Prueba 1	1500
Prueba 2	1550
Prueba 3	1600
Prueba 4	1500
Prueba 5	1500
Promedio:	1530

### 3.4.3. Pruebas de consumo con mezcla B10 de biodiésel.

Tras finalizar las pruebas con mezcla B5% biodiésel, se realizó un purgado del sistema por un lapso de 15 minutos a régimen de ralentí a 720 r.p.m.

La mezcla para este efecto se comprende de 90% combustible fósil y 10% aceite de algas.



Figura 3.13. Preparación biodiésel B10

Los valores obtenidos en las diferentes pruebas de consumo con mezcla B10 se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 3.4. Valores de consumo con mezcla B10 de biodiésel

PRUEBA DE CONSUMO	
	B10 (ml/h)
Prueba 1	1400
Prueba 2	1450
Prueba 3	1400
Prueba 4	1500
Prueba 5	1400
Promedio:	1430

### 3.5. Mediciones de gases de escapes.

Las mediciones de gases son métodos no invasivos que no influyen en la pérdida de garantía en los vehículos nuevos, la finalidad de este método es poder analizar las variaciones en el sistema de combustión que sufren los vehículos con el pasar del tiempo. Para este proceso se realiza mediciones de 5 gases a diferencia de los 4 gases de un motor a gasolina, esto debido a que los motores a diésel emanan óxidos nítricos (NOx).

Los principales gases analizados y medidos en el presente trabajo son:

#### 3.5.1. Monóxido de carbono “CO”:

Una combustión incompleta, es producida por el nivel de aire que un motor recibe para mezclar con el combustible y así tener un trabajo, el rango de valores que una mezcla debe tener es de 0,5 a 2% de oxígeno en el motor.

Aquella variación de porcentaje se llama mezcla rica o mezcla pobre, ya que depende del porcentaje que los gases de escape para determinar si se tiene una mezcla óptima.

Cuando se dice que un vehículo que tiene niveles de CO altos tiene una mezcla rica, ya que posee un nivel alto de hidrocarburos y baja oxigenación.

Es decir, que el aire que ingresa a la cámara de combustión es menor a 5%. (Gases, 2015)

#### 3.5.2. Hidrocarburos “HC”:

Los hidrocarburos que salen del motor sin quemar, a través de los gases de escape, el 1% de un hidrocarburo representan 10000 ppm. Un nivel alto de HC puede ser provocado por un nivel alto de combustible en la cámara de combustión y también por un nivel bajo en la misma cámara.

Incluso también puede haber niveles altos de hidrocarburos cuando existe aceite en la cámara de combustión. Por el contrario, cuando los niveles de HC son bajos, quiere decir que hay un exceso de oxígeno en el motor, o podría faltar combustible. El número de partículas que normalmente debe tener un motor es de 100 a 400 ppm. (Gases, 2015)

### **3.5.3. Óxidos de nitrógeno “NOx”:**

Estos gases son producidos por la combinación del oxígeno y nitrógeno que existe en el aire y a una temperatura sobre los 1200 °C.

En vehículos modernos existe la válvula EGR que regula la temperatura del motor para reducir los niveles de gases NOx. (Gases, 2015)

El daño más frecuente para que un motor emitiera más gases NOx, por lo general se presenta en el sistema de refrigeración del vehículo, ya que la temperatura debe ser constante a un régimen de trabajo regulado. (Gases, 2015)

### **3.5.4. Dióxido de carbono “CO<sub>2</sub>”:**

Los valores de dióxido de carbono que emane un motor pueden mostrar la eficiencia que un motor tiene en cuanto a su funcionamiento.

Cuando se tiene un nivel más alto de CO<sub>2</sub> significa que el motor está en un funcionamiento eficiente, el valor porcentual es de 12-15%.

Si se encuentra un nivel inferior a lo indicado, significa que se tiene una mezcla pobre, o también podría ser una falla en el encendido del motor, incluso la calidad del combustible, bomba e inyectores.

Se debe tomar en cuenta que mientras menos CO<sub>2</sub> haya en los gases de escape, los niveles de CO y HC aumentan. (Gases, 2015)

### **3.5.5. Oxígeno “O<sub>2</sub>”:**

Los niveles de oxígeno identificados en los gases de escape son los residuos que no se usaron durante la combustión.

Al medir niveles de oxígeno alto, podrían significar que hay combustiones que no se producen, o la mezcla está pobre e incluso podría ser que la cañería de escape se encuentre rota en algún lugar.

Esto podría generar mayor cantidad de HC también o incluso a una calibración de válvulas. Lo normal es que un nivel de oxígeno sea menor a un 2%, y si se tiene una mezcla rica quiere decir que el nivel de oxígeno es bajo. (Gases, 2015)

### 3.5.6. Equipos utilizados.

Los equipos empleados para la realización de las diferentes pruebas de medición de gases de escape son: AGS 688 Brain Bee y la sonda SGD 010.

#### 3.5.6.1. Analizador de gases Brain Bee ASG 688. –

Es una herramienta especializada para el diagnóstico automotriz, con la capacidad de medir los cinco gases que se analizan en los vehículos modernos.

El equipo está diseñado para cumplir con todas las normativas europeas, cuyo fin es la de localizar la presencia de algunos componentes considerados como los principales causantes de la contaminación del aire (Giga, 2014).



Figura 3.14. Analizador de Gases Brain Bee AGS-688

#### 3.5.6.2. Sonda SGD 010. –

Es una sonda con filtro de partículas incorporada la cual permite analizar y medir los gases presentes en los motores diésel, todo esto gracias a su sofisticado software. Este equipo trabaja en conjunto con el medidor de gases AGS 688. (Automotive, 2017)



Figura 3.15. Sonda SGD 010 “Brain Bee”

### 3.5.7. Condiciones ambientales a las que se realizó las pruebas.

Para la realización de las distintas pruebas de emisión de gases contaminantes en motores diésel es necesario hacerlas en un ambiente cerrado y con buena ventilación con el fin, que permita evacuar los gases producidos por la combustión y así precautelar la salud de los técnicos encargados de medir los niveles de gases.

La temperatura ambiente a la que se sometió las pruebas constaba de 20°C a una altitud de 2340 msnm. En condiciones soleadas con baja presencia de humedad en el ambiente. Al igual que pruebas anteriores, sometimos al motor a realizar 5 pruebas diferentes, a un rango de giro diferente, para poder realizar un promedio general que nos permita ejecutar una comparativa entre los datos obtenidos.



Figura 3.16. Condiciones de medición

### 3.5.8. Pruebas con diésel.

Para las pruebas de gases de escape se procedió a abastecer el tanque con diésel Premium, posteriormente el circuito debe estar libre de impurezas o agentes contaminantes.

La prueba se desarrolló con una metodología de aceleraciones constantes a régimen de giro diferentes del motor, durante un periodo de 1 minuto por cada prueba.

Para iniciar se parte de 720 r.p.m. para terminar con 3000 r.p.m. y cumplir con un ciclo de 5 ensayos por cada régimen de giro del motor.

Una vez que se realizaron las pruebas a esos rangos de giro, se obtuvieron los datos del analizador de gases, los cuales fueron promediados entre cada una de las pruebas, una vez calculado se procede a promediar todos los resultados obtenidos detallados en el siguiente cuadro:

Tabla 3.5. Promedio General Diésel Premium

Promedio General Diésel Premium				
CO (% Vol.)	CO <sub>2</sub> (% Vol.)	HC (ppm Vol.)	O <sub>2</sub> (% Vol.)	NO <sub>x</sub> (ppm Vol.)
0,11475	3,025	25,7	17,2185	264,1

### 3.5.9. Pruebas con biodiésel.

#### 3.5.9.1. Mediciones con biodiésel mezcla B5.

Tras culminar las mediciones de gases contaminantes con diésel Premium, es necesario sustituir el filtro de combustible para erradicar sobrantes de diésel que altere las condiciones medición con la mezcla de biodiésel. Consiguiente a la sustitución del filtro de combustible, se procede nuevamente a purgar el circuito de combustible con la finalidad de tener el circuito única y exclusiva para el empleo de mezcla biodiésel B5.

Cabe recalcar que, de igual manera con pruebas anteriores, la temperatura del motor debe mantenerse sobre el rango estimado de trabajo.

También debemos considerar la velocidad de giro que tiene el motor, y el tiempo de funcionamiento que este tendrá durante la prueba, deben ser iguales o similares a las anteriores para que no altere resultados.



Figura 3.17. Pruebas de gases contaminantes con mezcla B5

De igual manera que las pruebas con diésel, la obtención de resultados y valores de los gases contaminantes por parte del motor Mitsubishi 4D31T empleando biodiésel de algas con mezcla B5, se realizó con un ciclo de cinco repeticiones a condiciones similares con la finalidad de obtener resultados exactos y sin errores.

Así mismo, una vez recopilados todos los datos obtenidos a través del analizador de gases, se procedió a realizar el promedio general de cada uno de los gases que emane el motor, obteniendo estos resultados:

Tabla 3.6. Promedio General Biodiésel B5

Promedio General Biodiesel B5				
CO (% Vol.)	CO2 (% Vol.)	HC (ppm Vol.)	O2 (% Vol.)	NOx (ppm Vol.)
0,1102	2,965	20,5	16,923	251,95

### 3.5.9.2. Mediciones con biodiésel mezcla B10.

Al igual que en pruebas anteriores, la necesidad del cambio de filtro de combustible y la purga total del sistema es primordial para poder obtener medidas reales.

Se realiza un precalentamiento de 15 min aproximadamente para que el motor se encuentre en óptimas condiciones de funcionamiento.

Luego de eso se procede a tomar mediciones con el analizador de gases en 4 etapas de rango de giro del motor, divididas en 5 pruebas de avance progresivo.

Una vez completadas las 5 pruebas y habiendo obtenido los índices de gases de escape del motor, se procede a promediar todos los gases conseguidos con biodiésel de algas B10, obteniendo lo siguiente:

Tabla 3.7. Promedio General Biodiésel B10

Promedio General Biodiesel B10				
CO (% Vol.)	CO2 (% Vol.)	HC (ppm Vol.)	O2 (% Vol.)	NOx (ppm Vol.)
0,10365	2,88	14,2	16,767	236,1

### 3.6. Medición de opacidad.

El proceso de medición de opacidad en los vehículos con motor diésel radica en medir el grado de luminosidad de los gases de escape, se determina el grado de opacidad que un vehículo emane en escalas normalizadas que va de 0 a 100% según el grado de luminosidad que emane la carbonilla de los motores diésel.

La Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 207:2002, estipula que los vehículos del 2000 en adelante deben presentar un rango del 50% máximo de opacidad, mientras que los vehículos de 1999 y posteriores deben cumplir con un rango del 60% máximo (INEN, 2009).

#### 3.6.1. Equipos utilizados.

Para desarrollar la prueba correspondiente a mediciones de niveles de opacidad en los gases de escape del motor Mitsubishi 4D31T, se emplea el equipo Opa 100 Brain Been, activo fijo de la carrera de Ingeniería Automotriz “UTN”.

La marca del equipo antes nombrado, nos ofrece una buena lectura de la cantidad de carbonilla que el motor emane por medio del tubo de escape.

El equipo posee su propia sonda destinada para pruebas de opacidad, estas pruebas solo son aplicadas en vehículos que poseen motores diésel.



Figura 3.18. OPA 100 Brain Bee

Fuente: (Automotrizenvideo.com, 2013)

### 3.6.2. Condiciones ambientales a las que se realizó las pruebas.

Para su efecto las pruebas de gases de opacidad se realizaron bajo condiciones ambientales normales con una temperatura de 20°C y a una altitud de 2340 msnm, con clima seco y soleado.

Cabe recalcar que el comportamiento de un motor de combustión interna puede variar su funcionamiento dependiendo del lugar en donde se realicen las pruebas, esto podría alterar los niveles de los gases salientes del motor.



Figura 3.19. Pruebas de opacidad en motor Mitsubishi 4D31T

### 3.6.3. Pruebas con diésel.

El proceso para la realización de opacidad de los gases de escape empleando diésel fósil se desarrolló con un pre calentamiento del motor a ralentí de 720 r.p.m. con la finalidad de alcanzar la temperatura idónea de trabajo del motor a 87 °C.

De igual manera se realizaron cinco pruebas, mismas que se las dividió en régimen de r.p.m. diferentes, partiendo desde ralentí hasta un par motor de 3000 r.p.m.

Mismas pruebas se detallan en los cuadros y gráficas siguientes:

Tabla 3.8. Promedio General Diésel Premium

Promedio General Diésel	
k (m <sup>-1</sup> )	N (%)
0,118	4,905

### 3.6.4. Pruebas con biodiésel.

#### 3.6.4.1. Pruebas con mezcla B5 de biodiésel. –

Una vez finalizada las pruebas con diésel fósil, se procede a realizar un purgado total del combustible antes nombrado.

Es necesario también el cambio de filtro de combustible, ya que el sistema debe quedar limpio para obtener mediciones precisas.

Cuando se tiene el sistema vacío, cargamos biodiésel con mezcla B5 y se acciona el bombín ubicado en la bomba de inyección del motor, para recircular el combustible nuevo.

Una vez que se obtuvo biodiésel B5 en los inyectores, se procede a generar arranque al motor, para a continuación someterlo a un precalentamiento de 15 min con la finalidad que los residuos de diésel premium se eliminen y dejen en el circuito de combustible solo mezcla B5 de biodiésel.

Las pruebas que se realizó en este proceso, al igual que lo anterior se dividieron en 5 partes, cada una de un minuto a diferentes velocidades del motor y estos fueron sus resultados:

Tabla 3.9. Promedio General Biodiésel B5

Promedio General B5	
k (m <sup>-1</sup> )	N (%)
0,084	3,51

### 3.6.4.2. Pruebas con mezcla B10 de biodiésel. –

Para la realización de las pruebas con mezcla B10 de biodiésel, es necesario sustituir el filtro de combustible para evitar contaminación con la mezcla anterior; ya que los resultados de medición pueden sufrir alteración. A su vez es indispensable purgar la alimentación de combustible, para ello se debe desconectar las cañerías de alimentación de los inyectores, mediante el bombín de la bomba de inyección se purga para eliminar todo el excedente de combustible, con la finalidad de mantener el circuito limpio y cargado con la mezcla a ser medida.

Después del proceso de purgado se arranca el motor y se deja a ralentí durante 15 minutos con la finalidad de mantener una temperatura idónea de trabajo del motor que debe sobrepasar los 87°C.

Las pruebas de igual manera se completaron partiendo del test oficial emitido con el Opa 100 Brain Been, la cual arrojó un resultado que se puede evidenciar en la gráfica siguiente:

Para mayor rango de seguridad se realizaron cinco test posteriores, con la finalidad de tener un margen comparativo mayor con respecto al oficial producto del software.

Las pruebas de igual manera se iniciaron con el motor a temperatura idónea de funcionamiento y a un régimen de giro de 720 r.p.m., hasta llegar a 3000 r.p.m. como rango tope para las pruebas. A continuación, se detallan los valores obtenidos en cada una de las pruebas de opacidad del motor.

Así se obtuvo el siguiente promedio:

Tabla 3.10. Promedio General Biodiésel B10

Promedio General B10	
k (m <sup>-1</sup> )	N (%)
0,0785	3,245

## CAPÍTULO IV

### 4. Análisis de resultados.

#### 4.1. Pruebas de consumo.

Tras realizar las diferentes pruebas de consumo empleando diésel premium de origen fósil, y a su vez las mezclas B5 y B10 de biodiésel a base de aceites de algas se pudo notar que la diferencia en consumo respecto al diésel fósil se reduce en un 3,8% con respecto a la mezcla B5 y un 8,9% con respecto a la mezcla B10, tal cual se muestra en la tabla comparativa siguiente:

Tabla 4.1. Nivel de consumo en 1 hora y porcentaje de reducción

Pruebas de Consumo en 1 hora					
	Diésel (ml/h)	B5 (ml/h)	% de Reducción B5 / Diésel	B10 (ml/h)	% de Reducción B10 / Diésel
Prueba 1	1600	1500	-6,3%	1400	-12,5%
Prueba 2	1600	1550	-3,1%	1450	-9,4%
Prueba 3	1550	1500	-3,2%	1400	-9,7%
Prueba 4	1600	1500	-6,3%	1500	-6,3%
Prueba 5	1500	1500	0,0%	1400	-6,7%
Promedio:	<b>1570</b>	<b>1510</b>	<b>-3,8%</b>	<b>1430</b>	<b>-8,9%</b>

A simple vista de los número de la tabla anterior podemos ver que la diferencia de consumo entre los tres tipos de combustible, tiene una gran cantidad de reducción, las pruebas que se realizaron simulaban las aceleraciones y frenadas del motor de un camión con las mismas características circulando por una avenida transitada.

Para mejor apreciación de los valores presentados en la tabla 1, en el gráfico siguiente se denota mejor la relación de consumo que el motor Mitsubishi 4D31T presenta al emplear biodiésel de algas.

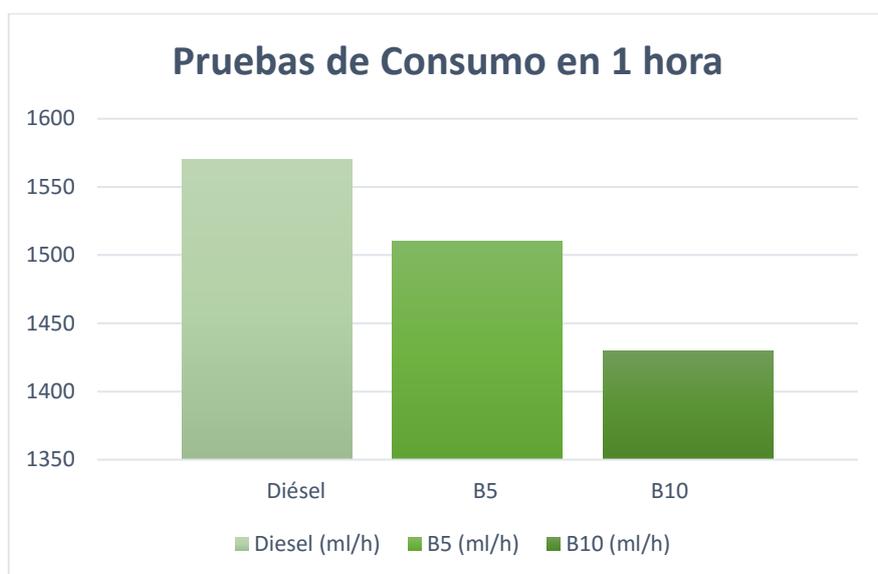


Figura 4.1. Comparativa de consumo en 1 hora

#### 4.2. Mediciones de gases de escape.

Antes de realizar una comparativa, se ha citado una tabla de límites máximos permisibles de emisión.

Dicho dato fue encontrado en un decreto mexicano (Mexicano, 2016), en el cual de acuerdo con su constitución dice que los ciudadanos tienen derecho a un ambiente libre de gases nocivos, que garantiza mejorar la calidad de vida de la ciudadanía:

Característica vehicular	Hidrocarburos (HC) ppm	Monóxido de carbono (CO) % vol.	Óxidos de nitrógeno (NOx) ppm	Oxígeno (O <sub>2</sub> ) % vol.	Dilución (CO+CO <sub>2</sub> ) % vol.		Lambda
					Mínimo	Máximo	
1994 y anteriores	100	1	1000	2	7	14,3	1,05

Figura 4.2. Límites máximos permitidos de emisiones de gases contaminantes para pruebas estáticas

Fuente: (Mexicano, 2016)

Tras recaudar la información necesaria sobre los distintos parámetros que a nivel mundial se maneja en el control de gases contaminantes emitidos por vehículos motorizados e impulsados por diésel; y al concluir las pruebas en el motor Mitsubishi 4D31T, se obtuvo

los siguientes datos que se reflejan en la tabla 2 de porcentajes de reducción de gases de escape.

Tabla 4.2. Porcentaje de reducción de gases de escape

Tabla Comparativa				
Gas	Norma MX	Prom. Diésel	Prom. B5	Prom. B10
CO (% Vol.)	1	0,11	0,11	0,10
CO2 (% Vol.)	14,3	3,03	2,97	2,88
HC (ppm Vol.)	100	25,70	20,5	14,20
O2 (% Vol.)	2	17,22	16,9	16,77
NOx (ppm Vol.)	1000	264,10	251,95	236,10

Como se puede evidenciar en la tabla 2, existe una gran variación de reducción de los niveles de gases que emite un motor diésel al momento de su trabajo, en tal virtud y con respecto a los valores obtenidos con el diésel Premium, la mezcla B5 precisa una reducción de 4% correspondiente al CO. Mientras que al emplear una mezcla B10 el porcentaje se reduce en un 9.7%.

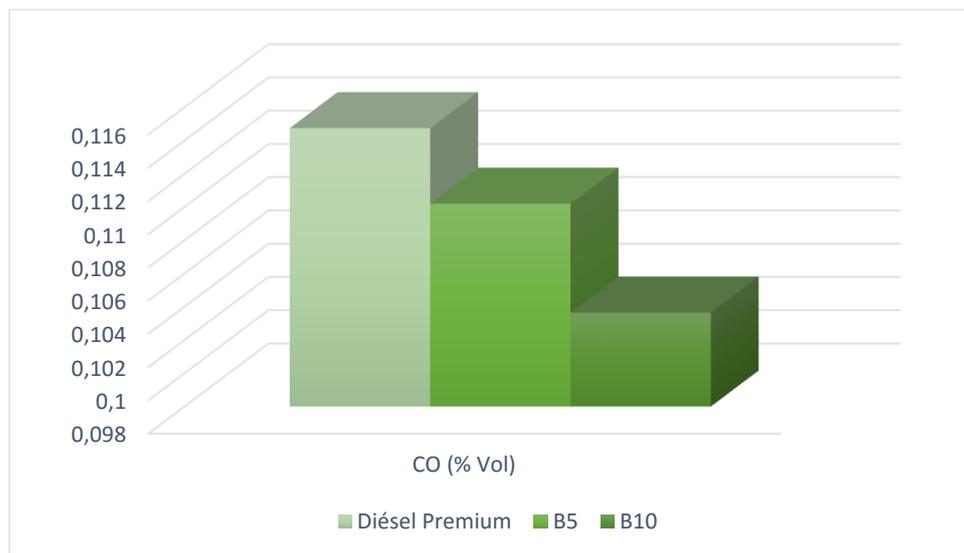


Figura 4.3. Porcentaje de CO

De igual manera como se refleja en los niveles de CO<sub>2</sub>, se tiene una reducción de 2% entre la mezcla B5 y el diésel Premium, y a su vez un porcentaje de disminución 4.8% en relación a la mezcla B10. Valores que generan confianza para garantizar el uso de biodiésel de algas.

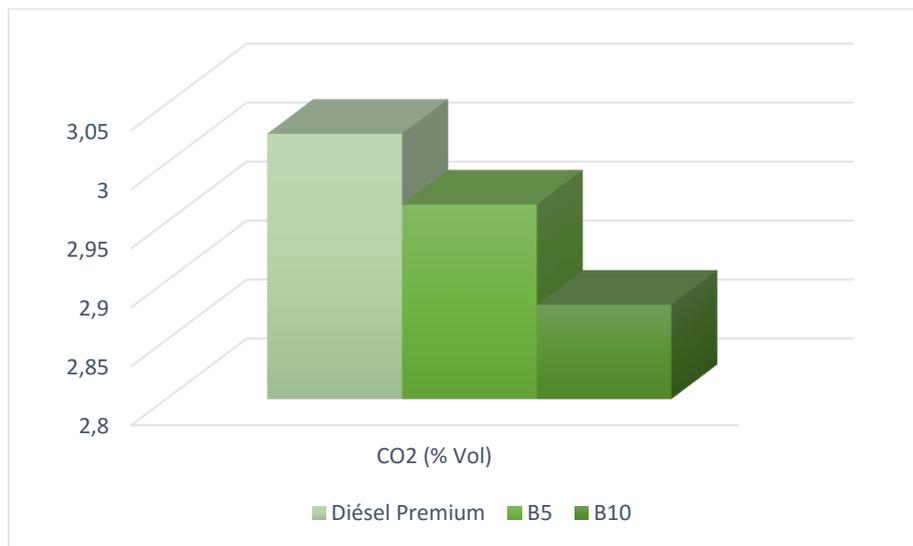


Figura 4.4. Porcentaje de CO2

El tema de los hidrocarburos (HC) de igual manera sufren una gran reducción, es de conocimiento que este tipo de gases se genera por una mala combustión, pero al momento de implementar biodiésel de algas se genera una mayor combustión en nuestro motor, es así que los valores de reducción en la mezcla B5 es de 20.2%, y un valor mucho mejor al emplear la mezcla B10, donde el porcentaje de reducción de HC es del 44.7%.



Figura 4.5. Porcentaje de HC

En relación a los valores emitidos y que como resultado de las diferentes pruebas de medición de gases de escape se realizó al motor, en la tabla 2 se puede apreciar una

reducción de 1.7% de O<sub>2</sub> con relación entre la mezcla B5 y el diésel Premium; y un porcentaje de 2.6% que se reduce al emplear una mezcla B10 en relación con el diésel.

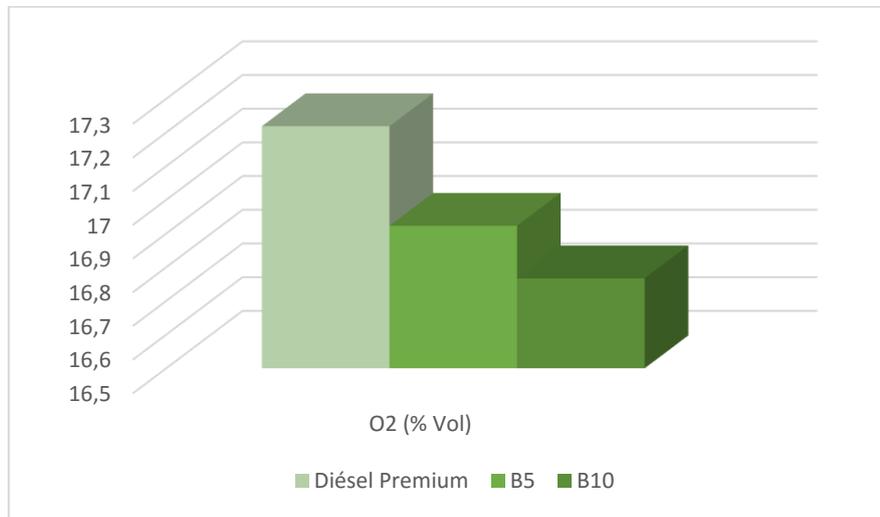


Figura 4.6. Porcentaje de O<sub>2</sub>

Los óxidos nítricos que se generan en la combustión de los motores diésel presentaron una reducción sustancial, donde los valores porcentuales con mezclas B5 y B10 disminuyeron en 4.6% y 10.6% respectivamente, todo ello con relación al empleo de diésel Premium.

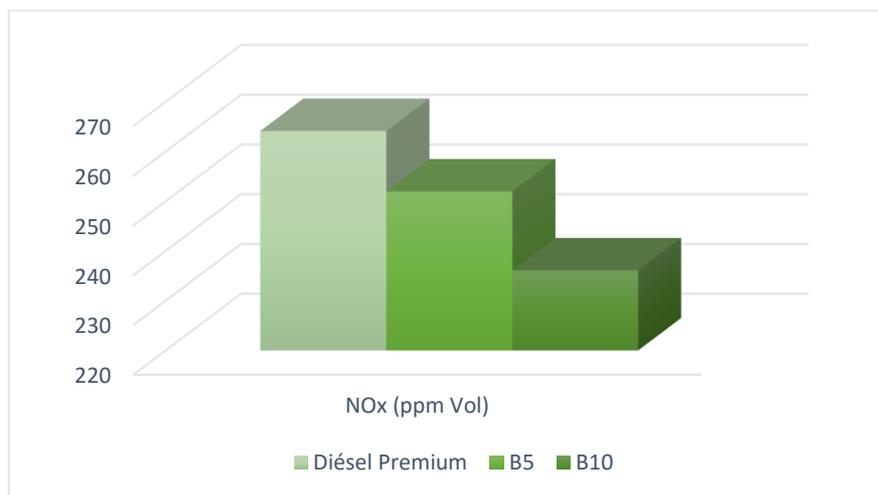


Figura 4.7. Porcentaje de NO<sub>x</sub>

### 4.3. Medición de opacidad.

Las diferentes pruebas con diésel Premium y las mezclas de biodiésel empleadas para la realización de este tema, se logró realizar comparaciones donde la cantidad de humo se reduce con el empleo de biodiésel a base de aceite de algas.

Basándonos en la normativa que rige en el territorio ecuatoriano para el control de los niveles de opacidad para vehículos con motor diésel, establece que, para vehículos que sean menor al año 1999, los niveles máximos permitidos son del 60%.

Límite máximo de opacidad	
Año modelo	% Opacidad
1999 y anteriores	60

Figura 4.8. Normativa NTE INEN 2 207

Fuente: (Normalización, 2002)

Además, se tiene como dato el coeficiente “k”, para lo cual se necesita saber cuáles son los límites máximos permitidos del coeficiente de luz que un motor debe tener para pasar pruebas ambientales, en este caso se basa en la normativa mexicana citada anteriormente:

Límite máximo coeficiente de luz	
Característica	Coefficiente Absorción
Automotriz	Luz ( $m^{-1}$ )
2003 y anteriores	2.00

Figura 4.9. Coeficiente de absorción de luz

Fuente: (Mexicano, 2016)

Se puede identificar en la tabla 4 correspondiente al porcentaje de opacidad, al realizar las diferentes pruebas y sacar las respectivas medidas en relación con la diferencia entre el diésel y el biodiésel con las mezclas B5 y B10; se puede denotar que existe una gran variación sobre los niveles de opacidad al emplear biodiésel, llegando incluso a tener valores menores a los del diésel premium empleado para las diferentes pruebas en el motor.

Tabla 4.3. Porcentajes de opacidad reducida

Índice	Tabla Comparativa Opacidad			
	Normativa	Prom. Diésel	Prom. B5	Prom. B10
N (%)	60	4,905	3,51	3,245
k ( $m^{-1}$ )	2.00	0,118	0,084	0,0785

En la siguiente figura podemos apreciar la reducción del índice de opacidad entre diésel Premium, biodiesel B5 y B10.



Figura 4.10. Porcentaje del coeficiente de luz

De igual manera los porcentajes de reducción al emplear la mezcla B10 de biodiésel con respecto al diésel Premium, se obtiene 33.5% del coeficiente de luz y 33.8% en la coloración del humo emanado.

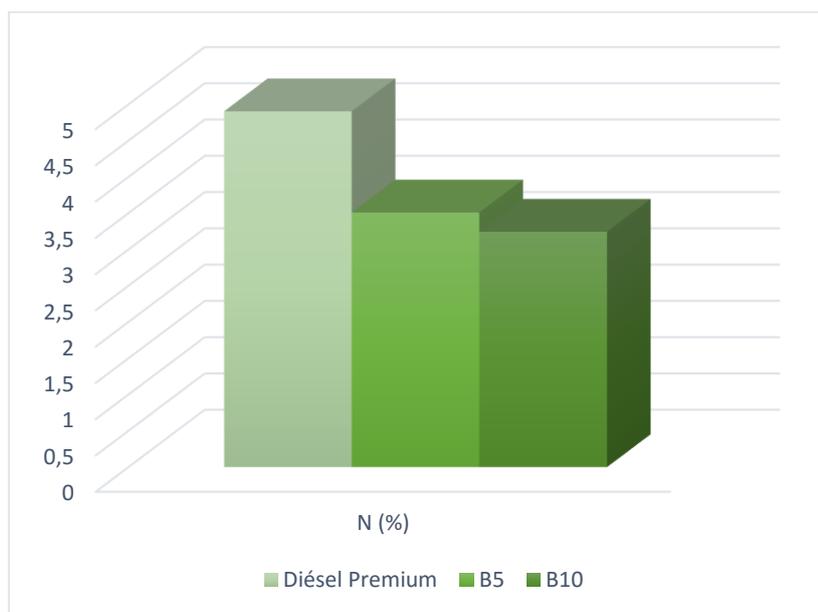


Figura 4.11. Porcentaje de opacidad del humo

## CAPÍTULO V

### 5. Conclusiones y recomendaciones.

#### 5.1. Conclusiones:

- Al iniciar las pruebas e implementación de biodiésel a base de algas con mezcla B5, tras un lapso de 5 minutos de haber puesto en marcha el motor se pudo evidenciar que la presencia de humo negro se redujo notablemente a simple precepción visual. Y al momento de realizar las pruebas con los equipos de diagnóstico se pudo corroborar que los niveles de opacidad se reducen en rangos de 28.4% con mezcla B5 y 33.8% mezcla B10 en relación al diésel premium, además se puede denotar que los parámetros cumplen con lo establecido en la normativa ecuatoriana de control de gases para vehículos con motor diésel.
- Implementando biodiésel a base de aceite de algas en las pruebas de consumo reduce un porcentaje nominal del 3.5% al emplear mezcla B5 con respecto al diésel premium, al cambiar a mezcla B10 se reduce un 8.9% el consumo con relación al diésel premium.
- Los índices de gases contaminantes son relativamente bajos en relación con el empleo de diésel premium. Concluyendo que a medida que la mezcla de biodiésel aumenta, los gases de escape son más amigables con el medio ambiente, y por lo tanto se ajustan a los parámetros de los objetivos del cambio de la matriz energética y el plan nacional del buen vivir; ya que contribuyen con mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.
- El uso de mezclas B10 de biodiésel de algas, sirve como aditivo para reducir la emanación de gases de escape, debido que se hizo una prueba en un camión tipo wincha con motor Nissan 175 del año 80, el cual presentaba un exceso de emisiones de gases de escape y opacidad, que al cabo de 10 minutos de haber colocado  $\frac{1}{4}$  de litro de biodiésel en el depósito de combustible del vehículo las emisiones y el nivel de opacidad se redujeron notablemente.
- El uso de biodiésel a partir de aceite de algas ayuda a mejorar la combustión del motor Mitsubishi 4D31T, y por efecto contribuye a cumplir con los parámetros de control ambiental y las normativas establecidas, puesto que los índices de emanación de gases contaminantes se reducen notablemente con respecto al diésel premium.

Llegando a tener como resultado que los niveles de NOx se encuentran en 251, 95 y 236,10 ppm respectivamente en mezclas B5 y B10 con respecto a los parámetros fijados en la normativa mexicana cuyo valor máximo permitido es de 1000 ppm.

## **5.2. Recomendaciones:**

- Se recomienda realizar estudios a futuro con la finalidad de determinar si el uso de mezclas mayor a B10 generan mejor eficiencia con respecto a las mezclas empleadas en el presente trabajo, e implementar las mezclas en diferentes motores con la finalidad de analizar su comportamiento, y, a su vez realizar modificaciones en los sistemas de sellos de la bomba de combustible con la finalidad de reducir averías producto del uso de mezclas con mayor contenido de aceite puro de biodiésel de algas.
- Implementar el presente trabajo en estudios de campo en vehículos de servicio público en la ciudad de Ibarra ya que para el 2018 los vehículos con motores diésel se someterán a controles de opacidad y medición de gases contaminantes por parte de la empresa pública de movilidad “Movildelnor EP”.
- Generar un estudio de factibilidad de producción de biodiésel de algas dentro de la provincia de Imbabura, determinando que alga es más compatible para este efecto y mejorar los procesos a nivel industrial.
- Sociabilizar los resultados obtenidos en el presente trabajo a las diferentes empresas, cooperativas de transporte de pasajeros, comerciales e instituciones de control ambiental en la ciudad, sobre los beneficios que se obtiene al usar biodiésel de algas con mezcla B5.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. *American Society for Testing and Materials*. (s.f.). Obtenido de <http://www.astm.org/>
2. Anderson, J. (26-26 April 2013). Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS), 2013 IEEE. *IEEE Explore*, 189 - 194.
3. ASTM. (2015). *Next Fuel*. Obtenido de <http://biodiesel.com.ar/que-es-el-biodiesel>
4. Automotive, B. B. (2017). *Brain Bee*. Obtenido de <http://www.brainbee.it/>
5. Automotrizenvideo.com. (2013). <http://automotrizenvideo.com>. Obtenido de <http://automotrizenvideo.com/opacimetro-brain-bee-opa-100/>
6. Badillo, R. G. (2011). <https://www.dspace.espol.edu.ec>. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20018/2/TESIS%20FINAL.pdf>
7. *Biocombustibles*. (2011). Obtenido de <http://biocombustibleseafit.blogspot.com/2011/04/tipos-de-biocombustibles.html>
8. Bluemix. (2007). [www.biodisol.com](http://www.biodisol.com). Obtenido de <http://www.biodisol.com/biocombustibles/el-pinon-una-alternativa-para-producir-biodiesel/>
9. Bosch. (2015). [boschecuador.com](http://boschecuador.com). Obtenido de [http://boschecuador.com/sites/default/files/Catalogo\\_Toberas\\_2015.pdf](http://boschecuador.com/sites/default/files/Catalogo_Toberas_2015.pdf)
10. Calle, A. C. (2014). *Aficionados a la Mecánica*. Obtenido de <http://www.aficionadosalamecanica.com/sistemas-de-inyeccion-para-motores-diesel-2/>
11. Conalep. (2012). *Aficionados a la mecanica*. Obtenido de <http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>
12. Edgar J Kate, W. E. (2003). *Motores Diésel y de gas de alta presión*. Reverté, S.A.
13. España, B. G. (s.f.). Obtenido de Se considera biocombustibles a la producción de carburantes que no posean relación directa con el ámbito fósil. En este caso para la producción de biodiésel se puede tomar a consideración diversas alternativas, entre ellas:
14. España, B. G. (2012). *BP España*. Obtenido de [http://www.bp.com/es\\_es/spain/medio-ambiente-y-sociedad/biocombustibles/que-son-los-biocombustibles.html](http://www.bp.com/es_es/spain/medio-ambiente-y-sociedad/biocombustibles/que-son-los-biocombustibles.html)

15. Estratégicos, S. (2013). Obtenido de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/Web-Sectores-Estrate%CC%81gicos-para-el-Buen-Vivir-01.pdf>
16. Europe, N. S. (2017). *NGK Spark Plug Europe* . Obtenido de <https://www.ngk.de/es/tecnologia-en-detalle/sondas-lambda/aspectos-basicos-de-los-gases-de-escape/normas-euro/>
17. Gases, A. (2015). *descarbonizadoras.com*. Obtenido de <http://descarbonizadoras.com/wp-content/uploads/2015/06/INTERPRETACI%C3%93NAN%C3%81LISISGASES1.pdf>
18. Giga, M. (2014). *Motor Giga*. Obtenido de <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/analizador-de-los-gases-de-escape-definicion-significado/gmx-niv15-con187.htm>
19. Gómez, J. M. (2016). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción. *EG Estudios Gerenciales*, 122 - 125.
20. Hamdi J, e. a.-I. (2014). 37 - 41.
21. INEN. (3 de Marzo de 2009). *Servicio Ecuatoriano de Normalización* . Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec/>
22. INIAP. (2014). *tecnologia.iniap.gob.ec*. Obtenido de <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/magroe/rhiguerilla>
23. Kotrba, R. (2013). *Biodiesel Magazine*. Obtenido de <http://www.biodieselmagazine.com/articles/9332/feds-charge-e-biofuels-imperial-cima-green-and-others-in-scheme>
24. Materials, A. S. (s.f.). *American Society of Testing and Materials*. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/D6751.htm>
25. Mexicano, G. (07 de 06 de 2016). *Diario Oficial de la Federación SEGOB*.  
Obtenido de [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5440157&fecha=07%2F06%2F2016](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5440157&fecha=07%2F06%2F2016)
26. Miguel, D. C. (1987). *El motor diésel en el automovil*.  
Barcelona, España: CEAC SA.
27. NGK. (2013). *NGK*. Obtenido de <https://www.ngk.de/es/tecnologia-en-detalle/sondas-lambda/aspectos-basicos-de-los-gases-de-escape/normas-euro/>

28. Normalización, I. E. (2002). *Servicio Ecuatoriano de Normalización*. Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec/>
29. Obando, G. B. (2 de Diciembre de 2008). *Blogspot*. Obtenido de <http://maquinariasagricolas.blogspot.com/2008/12/funcionamiento.html>
30. Oceana. (2015). *Oceana Protegiendo los océanos del mundo*. Obtenido de <http://eu.oceana.org/es/eu/que-hacemos/cambio-climatico-y-energias-renovables/cambio-climatico/mas-informacion/fuentes-de-emisiones-de-gases-contaminant>
31. Olmedo, F. (08 de octubre de 2009). *BiodiSol*. Obtenido de <http://www.biodisol.com/biocombustibles/biodiesel-de-algas-proceso-de-produccion-de-biodiesel-utilizando-algas-energias-renovables-biocombustibles-cultivos-energeticos/>
32. *Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra*. (2014). Obtenido de [www.pucesi.edu.ec](http://www.pucesi.edu.ec)
33. Ronnie Gazalo Torres Badillo, D. G. (2011). *ESPOL*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20018/2/TESIS%20FINAL.pdf>
34. School of Automobile Tongji University, S. C., Hu, Z., & Lou, D. (2014). Transient particle number emissions from diesel engines with biodiesel fuel. *IEEE Explore*, 240-243.
35. *SciELO*. (2014). Obtenido de <http://www.scielo.org.co>
36. SENPLADES. (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir*. Obtenido de <http://www.buenvivir.gob.ec/>
37. *SlideShare*. (2009). Obtenido de <http://es.slideshare.net/ivangenio1989/microalgae-for-biodiesel-production>
38. Smith, J. E. (26 de Mayo de 2017). *Apuntes de biotecnología*. Obtenido de <http://apuntesbiotecnologiageneral.blogspot.com/2014/05/biorreactores.html>
39. *Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería*. (s.f.). Obtenido de <http://www.smbb.com.mx/>
40. Sostenible, F. V. (Enero de 2015). *Vida sostenible*. Obtenido de <http://www.vidasostenible.org/informes/historia-de-las-tecnologias-de-reduccion-de-emisiones-contaminantes-en-vehiculos/>
41. *Technology - Garage*. (2010). Obtenido de <http://www.technologygarage.cz/kouromer-opacimetr-brain-bee-opa-100-sestava-01>

42. Tecnología. (2015). *Área tecnológica*. Obtenido de [www.areatecnologia.com](http://www.areatecnologia.com)
43. TESTO. (s.f.). *Testo Inc*. Obtenido de [https://www.testo.com/en-US/combustion-flue-gas/combustion-flue-gas-analyzer/c/parameters\\_fluegas\\_particle\\_flue-gas](https://www.testo.com/en-US/combustion-flue-gas/combustion-flue-gas-analyzer/c/parameters_fluegas_particle_flue-gas)
44. *Twenergy*. (2012). Obtenido de <http://twenergy.com/a/como-hacer-biodiesel-con-algas-251>
45. Unidas, N. (2014). Obtenido de <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
46. University of Chinese Academy of Sciences, B. C. (19 de Agosto de 2014). *Energy Research*. Obtenido de <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fenrg.2014.00032/full>
47. Varon, M. G. (Noviembre de 2012). *Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/emisiones-contaminantes#documentos-relacionados>
48. Villareal, D. (15 de Septiembre de 2014). *Diario Motor*. Obtenido de <https://www.diariomotor.com/2014/09/15/adblue/>

# ANEXOS

## ANEXO 1

### TABLAS DE MEDICIONES OBTENIDAS

Tabla A1.1. Resultados de la prueba de consumo

		Pruebas de Consumo en 1 hora			
	Diésel (ml/h)	B5 (ml/h)	% de Reduc	B10 (ml/h)	% de Reduc
<b>Prueba 1</b>	1600	1500	-6,3%	1400	-12,5%
<b>Prueba 2</b>	1600	1550	-3,1%	1450	-9,4%
<b>Prueba 3</b>	1550	1500	-3,2%	1400	-9,7%
<b>Prueba 4</b>	1600	1500	-6,3%	1500	-6,3%
<b>Prueba 5</b>	1500	1500	0,0%	1400	-6,7%
<b>Promedio:</b>	1570	1510	-3,8%	1430	-8,9%

Tabla A1.2. Datos de la prueba de opacidad con diésel Premium

<b>Pruebas de opacidad Diésel Común</b>		
<b>rpm</b>	<b>k (m-1)</b>	<b>N (%)</b>
<b>720</b>	0,1	4
	0,08	3,3
	0,09	3,6
	0,06	2,7
	0,07	2,9
<b>Promedio:</b>	<b>0,08</b>	<b>3,3</b>
<b>1500</b>	0,35	14,1
	0,25	10,1
	0,01	0,4
	0,06	2,6
	0,04	1,9
<b>Promedio:</b>	<b>0,142</b>	<b>5,82</b>
<b>2500</b>	0,14	5,9
	0,08	3,3
	0,06	2,6
	0,06	2,5
	0,06	2,5
<b>Promedio:</b>	<b>0,08</b>	<b>3,36</b>
<b>3000</b>	0,22	8,9
	0,21	8,8
	0,16	6,8
	0,13	5,6
	0,13	5,6
<b>Promedio:</b>	<b>0,17</b>	<b>7,14</b>

Tabla A1.3. Datos de la prueba de opacidad con mezcla B5 de biodiésel de algas

<b>Pruebas Opacidad B 5</b>		
<b>rpm</b>	<b>k (m-1)</b>	<b>N (%)</b>
<b>720</b>	0,06	2,5
	0,06	2,4
	0,08	3,4
	0,06	2,4
	0,06	2,4
<b>Promedio:</b>	<b>0,064</b>	<b>2,62</b>
<b>1500</b>	0,06	2,6
	0,05	2
	0,05	2,1
	0,05	2
	0,05	2
<b>Promedio:</b>	<b>0,052</b>	<b>2,14</b>
<b>2500</b>	0,08	4,1
	0,06	2,7
	0,03	2,7
	0,11	2,6
	0,07	3
<b>Promedio:</b>	<b>0,07</b>	<b>3,02</b>
<b>3000</b>	0,16	6,5
	0,13	5,6
	0,1	4,2
	0,19	7,8
	0,17	7,2
<b>Promedio:</b>	<b>0,15</b>	<b>6,26</b>

Tabla A1.4. Datos de la prueba de opacidad con mezcla B10 de biodiésel de algas

<b>Pruebas Opacidad B 10</b>		
<b>rpm</b>	<b>k (m-1)</b>	<b>N (%)</b>
<b>720</b>	0,1	4
	0,03	1,2
	0,02	0,7
	0,07	2,9
	0,06	2,4
<b>Promedio:</b>	<b>0,056</b>	<b>2,24</b>
<b>1500</b>	0,05	2
	0,04	1,5
	0,03	1,5
	0,04	1,6
	0,04	1,6
<b>Promedio:</b>	<b>0,04</b>	<b>1,64</b>
<b>2500</b>	0,1	3,3
	0,06	2,4
	0,06	1,3
	0,06	4,8
	0,07	3
<b>Promedio:</b>	<b>0,07</b>	<b>2,96</b>
<b>3000</b>	0,16	6,6
	0,17	7
	0,14	5,8
	0,14	6
	0,13	5,3
<b>Promedio:</b>	<b>0,148</b>	<b>6,14</b>

Tabla A1.5. Resultados de las pruebas de opacidad

Promedio General Diésel			Promedio General B5			Promedio General B10	
<b>k (m-1)</b>	<b>N (%)</b>		<b>k (m-1)</b>	<b>N (%)</b>		<b>k (m-1)</b>	<b>N (%)</b>
0,118	4,905		0,084	3,51		0,0785	3,245

Tabla A1.6. Resultados de reducción de opacidad

Indice	Prom. Diésel	Porcentaje de Reducción Opacidad			% Reducción
		Prom. B5	% Reducción	Prom. B10	
<b>k (m-1)</b>	0,118	0,084	-28,8%	0,0785	-33,5%
<b>N (%)</b>	4,905	3,51	-28,4%	3,245	-33,8%

Tabla A1.7. Resultados de la prueba de medición de gases contaminantes

Datos Diésel Fósil						Datos Biodiésel B5						Datos Biodiésel B10				
rpm	CO (% Vol)	CO2 (% Vol)	HC (ppm Vol)	O2 (% Vol)	Nox (ppm Vol)	CO (% Vol)	CO2 (% Vol)	HC (ppm Vol)	O2 (% Vol)	Nox (ppm Vol)	CO (% Vol)	CO2 (% Vol)	HC (ppm Vol)	O2 (% Vol)	Nox (ppm Vol)	
<b>720</b>	0,117	2,7	26	17,86	254	0,123	2,7	28	17,11	236	0,12	2,4	15	17,34	224	
	0,105	2,5	25	18,04	360	0,091	2,5	23	17,54	266	0,107	2,3	14	17,46	232	
	0,102	2,5	23	18,04	347	0,09	2,4	21	17,61	308	0,087	2,3	19	17,5	264	
	0,103	2,5	24	18,01	362	0,087	2,4	17	17,51	324	0,082	2,3	16	17,46	243	
	0,103	2,5	24	18	336	0,096	2,4	17	17,58	331	0,08	2,3	13	17,33	248	
<b>Promedio:</b>	0,106	2,54	24,4	17,99	331,8	0,0974	2,48	21,2	17,47	293	0,0952	2,32	15,4	17,418	242,2	
<b>1500</b>	0,136	2,7	26	17,72	193	0,12	2,7	26	17,05	180	0,153	2,5	16	17,36	200	
	0,113	2,5	26	17,87	229	0,109	2,5	20	17,33	192	0,126	2,4	13	17,39	218	
	0,101	2,4	25	17,92	246	0,107	2,4	20	17,53	211	0,103	2,4	20	17,49	222	
	0,127	2,5	25	17,87	205	0,112	2,4	18	17,5	233	0,091	2,4	17	17,38	203	
	0,119	2,5	27	17,87	216	0,108	2,4	18	17,53	251	0,085	2,4	13	17,23	216	
<b>Promedio:</b>	0,1192	2,52	25,8	17,85	217,8	0,1112	2,48	20,4	17,388	213,4	0,1116	2,42	15,8	17,37	211,8	
<b>2500</b>	0,141	3,3	30	16,8	174	0,138	3,4	27	16,39	153	0,145	3,2	12	16,39	160	
	0,125	3,2	27	16,95	178	0,125	3,1	22	16,6	181	0,117	3,1	10	16,59	176	
	0,116	3,1	26	16,95	190	0,122	3,1	20	16,72	177	0,107	3,1	20	16,66	185	
	0,135	3,2	25	16,94	172	0,126	3	20	17,74	188	0,102	3,1	15	16,49	165	
	0,127	3,2	28	16,96	183	0,127	3	19	16,76	197	0,101	3,1	15	16,4	175	
<b>Promedio:</b>	0,1288	3,2	27,2	16,92	179,4	0,1276	3,12	21,6	16,842	179,2	0,1144	3,12	14,4	16,506	172,2	
<b>3000</b>	0,109	3,9	26	16,02	295	0,109	3,8	24	15,94	310	0,115	3,7	7	15,72	296	
	0,103	3,8	26	16,16	392	0,103	3,8	20	15,95	320	0,093	3,7	6	15,85	322	
	0,1	3,8	24	16,12	317	0,097	3,8	18	15,94	340	0,084	3,7	17	15,88	347	
	0,11	3,9	26	16,16	313	0,107	3,7	17	16,02	320	0,088	3,6	14	15,7	293	
	0,103	3,8	25	16,11	320	0,107	3,8	15	16,11	321	0,087	3,6	12	15,72	333	
<b>Promedio:</b>	0,105	3,84	25,4	16,114	327,4	0,1046	3,78	18,8	15,992	322,2	0,0934	3,66	11,2	15,774	318,2	

Tabla A1.8. Resultados de reducción de gases de escape

Gas	Porcentaje de reducción de gases de escape				
	Prom. Diésel	Prom. B5	% de Reduc	Prom. B10	% de Reduc
CO (% Vol)	0,11475	0,1102	-4,0%	0,10365	-9,7%
CO2 (% Vol)	3,025	2,965	-2,0%	2,88	-4,8%
HC (ppm Vol)	25,7	20,5	-20,2%	14,2	-44,7%
O2 (% Vol)	17,2185	16,923	-1,7%	16,767	-2,6%
NOx (ppm Vol)	264,1	251,95	-4,6%	236,1	-10,6%

## ANEXO 2



Figura A2.1. Estado final del motor vista delantera



Figura A2.2. Estado final del motor vista posterior



Figura A2.3. Número de identificación del motor



Figura A2.4. Modelo de motor Mitsubishi