



# **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:**

**COMPROBACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR DE  
COMBUSTIÓN INTERNA ELECTRÓNICO CICLO OTTO USANDO BIOETANOL  
CON MEZCLAS E5.**

#### **AUTOR:**

**LEMA PARRA EDISON FABRICIO**

#### **DIRECTOR:**

**ING. HERNÁNDEZ RUEDA ERIK PAÚL, MSc.**

**Ibarra, Abril 2019**

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

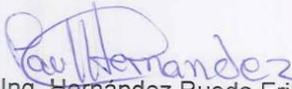
En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo de la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería de Ciencias Aplicadas.

### CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "Comprobación del comportamiento de un motor de combustión interna electrónico ciclo Otto usando bioetanol con mezclas E5." presentado por el señor: Edison Fabricio Lema Parra con número de cédula 1726112392, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 02 días del mes Abril del 2019.

Atentamente

  
Ing. Hernández Rueda Erik Paúl, MSc.

DIRECTOR DEL 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 texto completos en forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

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

<b>DATOS DE CONTACTO</b>	
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1726112392
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Lema Parra Edison Fabricio
<b>DIRECCIÓN:</b>	Galo Plaza y José Gómez
<b>EMAIL:</b>	eflemap@utn.edu.ec
<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	Comprobación del comportamiento de un motor de combustión interna electrónico ciclo Otto usando bioetanol con mezclas E5.
<b>AUTOR:</b>	Lema Parra Edison Fabricio
<b>FECHA:</b>	Ibarra 02 de abril de 2019
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA</b>	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
<b>ASESOR/DIRECTOR</b>	Ing. Hernández Rueda Erik Paúl, MSc.

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

Yo, Lema Parra Edison Fabricio con cédula de identidad Nro.1726112392, 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 apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 02 días del mes de Abril de 2019

**AUTOR**



Firma

Lema Parra Edison Fabricio  
Nombre completo

1726112392  
C.C



## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

### TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Lema Parra Edison Fabricio con cédula de identidad Nro. 1726112392, 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 Comprobación del comportamiento de un motor de combustión interna electrónico ciclo Otto usando bioetanol con mezclas E5. Que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO 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.

Firma

Lema Parra Edison Fabricio  
Nombre completo

1726112392  
C.C

Ibarra, a los 02 días del mes de Abril de 2019

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado es dedicado a mis padres Mauricio Lema y Lourdes Parra, quienes me han guiado y me han apoyado durante todo el trayecto de mi formación, porque gracias a ellos con su esfuerzo, apoyo y dedicación he logrado cumplir todos mis objetivos. Así también a mis hermanos Jefferson y Juan Pablo por ser plena motivación para seguir adelante, brindándome todo su cariño en el trascurso de nuestras vidas.

A mis abuelitas Ester Guzmán Y Rosa Rocha mis segundas madres, por haberme enseñado valores y aportes invaluable para afrontar las circunstancias de la vida.

A mis tíos Víctor, Marco, Edguitar, Rodrigo y Consue quienes, con sus consejos y el apoyo brindado, han logrado guiarme por el camino correcto, con el fin de convertirme en una persona de bien.

**Edison Fabricio Lema Parra**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por todo lo manifestado en mi vida, por brindarme la sabiduría necesaria para culminar esta etapa en mi vida y en especial agradezco por brindarme una familia unida.

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte, institución que me ha brindado sólidos conocimientos para desempeñarme en el campo profesional. Así como, a todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, en especial agradezco profundamente a mi director de trabajo de grado el Ing. Paúl Hernández MSc, que muy gentilmente compartió su sabiduría, conocimiento y experiencia para culminar este trabajo de titulación, demostrando su apoyo incondicional hacia mi persona.

Para culminar también quiero agradecer a todos mis amigos, compañeros, y personas conocidas que han formado parte del desarrollo de mi vida, brindándome su apoyo durante toda la preparación universitaria.

**Edison Fabricio Lema Parra**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	xvii
<b>ABSTRACT</b>	xviii
<b>CAPÍTULO I</b>	1
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.</b>	1
1.1 Antecedentes.	1
1.2 Situación actual.	2
1.3 Prospectiva.	3
1.4 Planteamiento del problema.	4
1.5 Formulación del problema.	5
1.6 Delimitación.	5
1.6.1 Delimitación temporal.	5
1.6.2 Delimitación espacial.	5
1.7 Objetivos.	5
1.7.1 Objetivo general.	6
1.7.2 Objetivos específicos.	6
1.8 Alcance.	6
1.9 Justificación.	7
1.10 Tipo de investigación	8
1.10.1 Investigación experimental.	8
1.10.2 Investigación transversal.	8
1.10.3 Investigación bibliográfica.	8
1.11 Métodos investigativos.	9
1.11.1 Método inductivo.	9
1.11.2 Método histórico lógico.	9
1.12 Combustión.	9
1.13 Tipos de combustión.	10
1.13.1 Combustión completa.	10
1.13.2 Combustión incompleta.	11
1.13.3 Combustión estequiométrica.	11
1.14 Combustibles.	11
1.14.1 Combustibles fósiles sólidos.	11
1.14.2 Combustibles fósiles gaseosos.	12
1.14.3 Combustibles fósiles líquidos.	13
1.15 Biomasa.	16
1.16 Biocombustibles.	18
1.16.1 Biocombustibles gaseosos.	19
1.16.2 Biocombustibles líquidos.	20
1.17 Bioetanol.	22
1.17.1 Bioetanol de primera generación.	22
1.17.2 Bioetanol de segunda generación.	23
1.17.3 Obtención de bioetanol.	23
1.17.4 Características del bioetanol.	25
1.18 Gasolina usada en Ecuador.	26
1.18.1 Gasolina extra.	26
1.18.2 Gasolina súper.	27
1.18.3 Ecopaís.	28

1.19	Motor de combustión interna ciclo otto.	28
1.19.1	Sistemas auxiliares del motor.	30
1.20	Emisiones contaminantes.	33
1.20.1	Monóxido de carbono (CO).	33
1.20.2	Óxidos de nitrógeno (No <sub>x</sub> ).	33
1.20.3	Hidrocarburos (HC).	34
1.20.4	Compuestos orgánicos volátiles (COV).	34
1.20.5	Partículas.	34
1.20.6	Ozono (O <sub>3</sub> ).	34
1.20.7	Óxido de azufre, cloruros y bromuros.	35
1.20.8	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).	35
1.20.9	Oxígeno (O <sub>2</sub> ).	36
1.21	Normativas de emisiones.	36
1.21.1	Unión europea.	36
1.21.2	Normativa chilena.	38
1.21.3	Norma oficial mexicana Nom-042-Semarnat-2003.	39
1.21.4	Normativa ecuatoriana.	39
1.22	Tipos de pruebas de emisiones.	41
1.22.1	Pruebas estacionarias.	41
1.22.2	Pruebas dinámicas.	42
	<b>CAPÍTULO II</b>	43
	<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.</b>	43
2.1	Desarrollo de la propuesta de estudio.	43
2.2	Materiales.	44
2.2.1	Banco motor.	44
2.2.2	Gasolina extra.	44
2.2.3	Gasolina ecopaís.	45
2.2.4	Analizador de gases Brain Bee.	45
2.2.5	Cuenta revoluciones MGT-300 de Brain Bee.	46
2.3	Funcionamiento del banco motor.	47
2.4	Puesta a punto del motor.	47
2.5	Verificación del motor.	47
2.5.1	Verificación de bujías.	48
2.5.2	Verificación del bloque de cilindros.	48
2.5.3	Verificación del estado de los cojinetes de fricción y del cigüeñal.	49
2.5.4	Verificación de culata y válvulas.	50
2.5.5	Cojinetes de fricción de la biela y cabeza del pistón.	50
2.5.6	Sincronización.	52
2.6	Compresión del motor.	53
2.7	Sistema de alimentación del combustible.	54
2.7.1	Verificación del filtro de combustible.	54
2.7.2	Verificación del depósito y bomba de combustible.	55
2.7.3	Verificación de inyectores.	56
2.7.4	Verificación de mangueras y cañerías.	57
2.8	Pruebas con diferentes combustibles.	58
	<b>CAPÍTULO III</b>	64
	<b>3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b>	64
3.1	Análisis de los datos obtenidos utilizando gasolina extra a ralentí.	64
3.1.1	Análisis de monóxido de carbono (CO) utilizando gasolina extra.	64

3.1.2	Análisis de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) utilizando gasolina extra.	65
3.1.3	Análisis de hidrocarburos (HC) utilizando gasolina extra.	66
3.1.4	Análisis de oxígeno (O <sub>2</sub> ) presentes en los gases de escape utilizando gasolina extra.	66
3.2	Análisis de los datos obtenidos utilizando mezcla E5 a ralentí.	67
3.2.1	Análisis de monóxido de carbono (CO) utilizando mezcla E5.	67
3.2.2	Análisis de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) utilizando mezcla E5.	68
3.2.3	Análisis de hidrocarburos (HC) utilizando mezcla E5.	69
3.2.4	Análisis de oxígeno (O <sub>2</sub> ) presentes en los gases de escape utilizando mezcla E5.	70
3.3	Análisis de los datos obtenidos utilizando gasolina extra en un promedio de 2 500 rpm.	71
3.3.1	Análisis de monóxido de carbono (CO) utilizando gasolina extra.	71
3.3.2	Análisis de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) utilizando gasolina extra.	72
3.3.3	Análisis de hidrocarburos (HC) utilizando gasolina extra.	73
3.3.4	Análisis de oxígeno (O <sub>2</sub> ) presentes en los gases de escape utilizando gasolina extra.	74
3.4	Análisis de los datos obtenidos utilizando mezcla E5 en un promedio de 2 500 rpm.	74
3.4.1	Análisis de monóxido de carbono (CO) utilizando mezcla E5.	75
3.4.2	Análisis de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) utilizando mezcla E5.	75
3.4.3	Análisis de hidrocarburos (HC) utilizando mezcla E5.	76
3.4.4	Análisis de oxígeno (O <sub>2</sub> ) presentes en los gases de escape utilizando mezcla E5.	77
3.5	Análisis de todo el comportamiento de las emisiones de gases con gasolina extra y mezcla E5 a diferente régimen de giro.	78
3.5.1	Análisis de monóxido de carbono (CO).	78
3.5.2	Análisis de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).	79
3.5.3	Análisis de hidrocarburos (HC).	80
3.5.4	Análisis de oxígeno (O <sub>2</sub> ) presente en los gases de escape.	81
3.5.5	Análisis del factor lambda ( $\lambda$ ).	82
<b>CAPÍTULO IV</b>		84
<b>4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>		84
4.1	Conclusiones.	84
4.2	Recomendaciones.	86
Referencias Bibliográficas.		87

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.		PÁGINA
1.1	Composición elemental de la biomasa.	17
1.2	Principales residuos de la provincia de imbabura.	17
1.3	Producción total de residuos agrícolas en el ecuador para el año 2014.	18
1.4	Evolución de la producción de biogás en la unión europea expresada en miles de toneladas equivalentes de petróleo.	19
1.5	Principales materias primas para la elaboración de biodiesel.	21
1.6	Propiedades del etanol.	25
1.7	Índices de octano.	26
1.8	Requisitos de la gasolina de 87 octanos.	27
1.9	Requisitos de la gasolina 92 octanos.	27
1.10	Elementos básicos del MCIA.	29
1.11	Clasificación de los vehículos europeos.	37
1.12	Límites máximos de emisiones para vehículos a gasolina.	37
1.13	Límites de emisión por cilindrada.	38
1.14	Límites para vehículos que usan gasolina.	39
1.15	Prueba estática para medir los límites máximos de emisiones permitidos para motores de gasolina. Marcha mínima o ralentí.	40
1.16	Prueba dinámica para medir los límites máximos de emisiones permitidos para motores de gasolina.	40
2.1	Especificaciones técnicas del motor.	44
2.2	Datos técnicos de funcionamiento.	46
2.3	Calibración de las bujías del Chevrolet Aveo 1.6.	48
2.4	Propiedades del combustible extra empleado.	59
2.5	Propiedades del combustible ecopaís empleado.	59
2.6	Condiciones atmosféricas aplicadas para la investigación.	60
2.7	Horario establecido para la toma de datos de emisiones.	60
2.8	Factores de emisión con gasolina extra y mezcla E5 (ecopaís) a ralentí.	62
2.9	Factores de emisión con gasolina extra y mezcla E5 (ecopaís) a un promedio de 2 500 rpm.	63
3.1	Factores de emisión total con gasolina extra y mezcla E5.	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.		PÁGINA
1.1	Triángulo de la combustión o de fuego.	10
1.2	Representación de la estructura de la biomasa lignocelulósica.	16
1.3	Transformaciones y aplicaciones bioenergéticas de la biomasa.	18
1.4	Tendencia mundial en la producción de biodiesel.	21
1.5	Esquema de las etapas de obtención del bioetanol (2G).	23
1.6	Esquema básico de los MCIA.	29
1.7	Esquema del funcionamiento del motor de cuatro tiempos.	30
1.8	Sistema más habitual de lubricación a presión con Cártter húmedo.	31
1.9	Sistema de refrigeración.	32
1.10	Emisiones contaminantes en MEP en función del factor lambda $F_R$ .	35
1.11	Prueba estática de emisiones.	41
1.12	Prueba dinámica de emisiones	42
2.1	Etapas de desarrollo.	43
2.2	Analizador de Gases Brain Bee AGS-688	45
2.3	Cuenta revoluciones MGT-300.	46
2.4	Verificación de bujías.	48
2.5	Verificación del bloque de cilindros.	49
2.6	Verificación del estado de los cojinetes de fricción y del cigüeñal.	49
2.7	Verificación de culata y válvulas	50
2.8	Verificación de los cojinetes de fricción de la biela.	51
2.9	Estado de la cabeza del pistón.	51
2.10	Puntos de referencia para la ubicación del pistón.	52
2.11	Polea del árbol de levas.	52
2.12	Compresión del motor.	53
2.13	Verificación del filtro de combustible.	54
2.14	Depósito de combustible.	55
2.15	Bomba de combustible.	55
2.16	Verificación de los inyectores del banco motor.	56
2.17	Limpieza y prueba de inyectores por ultrasonido.	56
2.18	Pruebas realizadas en el banco de inyectores.	57
2.19	Verificación de mangueras y cañerías.	58
2.20	Combustibles empleados en la investigación.	58
2.21	Calibración del analizador de gases.	61
2.22	Banco motor conectado a los equipos de medición.	62
3.1	Valores promedio de (CO) a ralentí usando gasolina extra.	64
3.2	Valores promedio de (CO <sub>2</sub> ) a ralentí usando gasolina extra.	65
3.3	Valores promedio de (HC) a ralentí usando gasolina extra.	66
3.4	Valores promedio de (O <sub>2</sub> ) a ralentí usando gasolina extra.	67
3.5	Valores promedio de (CO) a ralentí usando mezcla E5.	68
3.6	Valores promedio de (CO <sub>2</sub> ) a ralentí usando mezcla E5.	68
3.7	Valores promedio de (HC) a ralentí usando mezcla E5.	69
3.8	Valores promedio de (O <sub>2</sub> ) a ralentí usando mezcla E5.	70
3.9	Valores promedio de (CO) en un promedio de 2 500 rpm usando gasolina extra.	71

<b>3.10</b>	Valores promedio de (CO <sub>2</sub> ) en un promedio de 2 500 rpm usando gasolina extra.	72
<b>3.11</b>	Valores promedio de (HC) en un promedio de 2 500 rpm usando gasolina extra.	73
<b>3.12</b>	Valores promedio de (O <sub>2</sub> ) en un promedio de 2 500 rpm usando gasolina extra.	74
<b>3.13</b>	Valores promedio de (CO) en un promedio de 2 500 rpm usando mezcla E5.	75
<b>3.14</b>	Valores promedio de (CO <sub>2</sub> ) en un promedio de 2 500 rpm con mezcla E5.	76
<b>3.15</b>	Valores promedio de (HC) en un promedio de 2 500 rpm usando mezcla E5	76
<b>3.16</b>	Valores promedio de (O <sub>2</sub> ) en un promedio de 2 500 rpm utilizando mezcla E5.	77
<b>3.17</b>	Datos totales obtenidos de (CO).	78
<b>3.18</b>	Datos totales obtenidos de (CO <sub>2</sub> ).	79
<b>3.19</b>	Datos totales obtenidos de (HC).	80
<b>3.20</b>	Datos totales obtenidos de (O <sub>2</sub> ) presente en los gases de escape.	81
<b>3.21</b>	Datos totales obtenidos del factor lambda ( $\lambda$ ).	82

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**°C:** Grado Celsius.

**atm:** Atmosfera.

**B10:** Compuesto por un 90 % de diésel derivado del petróleo y un 10 % de biodiesel.

**B20:** Compuesto por un 80 % de diésel derivado del petróleo y un 20 % de biodiesel.

**B5:** Compuesto por un 95 % de diésel derivado del petróleo y un 5 % de biodiesel.

**C:** Carbono.

**CEE:** Comunidad Económica Europea.

**Cl:** Cloro.

**CO<sub>2</sub>:** Monóxido de Carbono.

**COV:** Compuestos Orgánicos Volátiles.

**DOHC:** Double Overhead Camshaft.

**E5:** Mezcla del 5 % de etanol y el 95 % de gasolina.

**ECU:** Engine Control Unit.

**GLP:** Gas licuado de petróleo.

**GNV:** Gas natural vehicular.

**H:** Hidrógeno.

**H<sub>2</sub>O:** Agua.

**HC:** Hidrocarburos.

**IAC:** Idle Air Control Valve.

**INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización.

**kPa:** Kilopascal.

**kWh:** Kilovatios- hora.

**MI:** Vehículos que transporte hasta 8 personas.

**MCIA:** Motor de combustión interna alternativo.

**MJ:** Megajoules.

**MON:** Motor Octane Number.

**MPa:** Megapascal.

**msnm:** Metros sobre el nivel del mar.

**N.m:** Newton metro.

**N:** Nitrógeno.

**N:** Vehículos de carga con cuatro ruedas.

*NI*: Vehículos con peso que no supere las 3,5 toneladas.

*NC*: Número de cetano.

*NM*: Número de metano.

*NOx*: Óxidos de nitrógeno.

*NTE*: Norma Técnica Ecuatoriana.

*O<sub>2</sub>*: Oxígeno.

*O<sub>3</sub>*: Ozono.

*Pa*: Pascal.

*pH*: Potencial hidrógeno o potencial de hidrogeniones.

*PMI*: Punto muerto inferior.

*PMS*: Punto muerto superior.

*ppm*: Partes por millón.

*psi*: Pounds force per square inch.

*RON*: Research Octane Number.

*rpm*: Revoluciones por minuto.

*S.I.*: Sistema International.

*S*: Azufre.

*So<sub>2</sub>*: Dióxido de azufre.

*TSI*: Two Speed Idle.

$\lambda$ : Factor lambda.

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.		PÁGINA
<b>AI.1</b>	Extracción de líquido refrigerante.	93
<b>AI.2</b>	Extracción del aceite.	93
<b>AII.1</b>	Desmontaje del banco motor.	94
<b>AII.2</b>	Desmontaje del bloque de cilindros y culata.	94
<b>AIII.1</b>	Montaje del bloque de cilindros y culata.	95
<b>AIII.2</b>	Reposición del filtro de aceite.	95
<b>AIV.1</b>	Convertidor catalítico para el Aveo activo 1.6	96
<b>AIV.2</b>	Convertidor catalítico instalado en el banco motor.	96
<b>AV.1</b>	Mezcla E5 (gasolina ecopaís).	97
<b>AV.2</b>	Gasolina Extra.	97
<b>AVI.1</b>	Banco motor encendido alcanzando la temperatura necesaria de funcionamiento.	98
<b>AVI.2</b>	Banco motor conectado los equipos de medición.	98
<b>AVII.1</b>	Introduciendo la sonda.	99
<b>AVII.2</b>	Toma de datos de las pruebas realizadas.	99
<b>AVIII.1</b>	Datos obtenidos con gasolina extra a ralentí.	100
<b>AVIII.2</b>	Datos obtenidos con gasolina extra a un promedio de 2 500 rpm.	100
<b>AIX.1</b>	Datos obtenidos con mezcla E5 a ralentí.	101
<b>AIX.2</b>	Datos obtenidos con mezcla E5 a un promedio de 2 500 rpm.	101

## RESUMEN

Actualmente la principal fuente de contaminación proviene de las emisiones de gases contaminantes expuestas por los motores de combustión interna, ya sean de ciclo Otto o diésel utilizados en la automoción, por lo tanto, en el presente trabajo se comprobó el comportamiento de un motor de combustión interna electrónico ciclo Otto usando bioetanol con mezclas E5, el cual es una alternativa viable al uso de combustibles fósiles debido a que el petróleo es un recurso no renovable. Cabe destacar que el uso de biocombustibles reduce hasta en un 30 a 40 % el nivel de gases nocivos hacia el medio ambiente. Para la presente investigación fue necesario poner a punto un banco motor de la marca Chevrolet, modelo Aveo 1 600 sin ningún tipo de modificaciones, con la finalidad de obtener buenos resultados durante el proceso de combustión. La cantidad de combustible empleada para esta investigación fue; cuatro galones de combustible extra y cuatro galones de mezcla E5 o denominada gasolina ecopaís. Las pruebas de análisis de emisiones se realizaron en el taller de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte en la ciudad de Ibarra a una altura de 2 225 metros sobre el nivel del mar y una presión atmosférica de 101 700 Pa. Con la ayuda del analizador de gases Brain Bee, conectado al cuenta revoluciones MGT-300 de la misma marca, se procedió a analizar y determinar las concentraciones presentes en los gases de escape del banco motor mediante un horario establecido durante cuatro días de pruebas para cada combustible y a diferente régimen de giro. Con la mezcla E5 para el análisis de gases contaminantes se obtuvo como resultado una disminución del 44,3 % a ralentí y 39,1 % a un promedio de 2 500 rpm del nivel de monóxido de carbono (CO). Para hidrocarburos (HC) se redujo 8,1 % a ralentí y 32,3 % a un promedio de 2 500 rpm. Así también el nivel de oxígeno (O<sub>2</sub>) a la salida de los gases de escape disminuyó un 49,8 % a ralentí y 26,9 % a un promedio de 2 500 rpm. Con el presente trabajo de investigación se demuestra, que el uso de biocombustibles reduce notoriamente el nivel de gases contaminantes al usar una concentración del 5 % de etanol y 95 % de gasolina extra en la mezcla, contribuyendo a la disminución de la contaminación por fuentes móviles.

## ABSTRACT

Actually the main source of pollution comes from the emissions of polluting gases exposed by internal combustion engines, whether cycle Otto or diesel used in the automotive industry, therefore, in this work was checked the behavior of a combustion engine internal electronic cycle Otto using bioethanol with E5 mixtures, which is a viable alternative to the use of fossil fuels because oil is a non-renewable resource. It should be noted that the use of biofuels reduces the level of harmful gases to the environment by up to 30 to 40 %. For the present investigation it was necessary to develop a Chevrolet engine, model Aveo 1 600 without any modifications, in order to obtain good results during the combustion process. The amount of fuel used for this investigation was; four gallons of extra fuel and four gallons of E5 mixture or called gasoline ecopaís. The emission analysis tests were carried out in the Automotive Maintenance Engineering career workshop of the Universidad Técnica del Norte in the city of Ibarra at an altitude of 2 2225 meters above sea level and an atmospheric pressure of 101 700 Pa. With the help of the Brain Bee gas analyzer, connected to the rev counter MGT-300 of the same brand, proceeded to analyze and determine the concentrations present in the exhaust gases of the engine bank through a set schedule during four days of testing for each fuel already different rotation regime. The E5 mixture for the analysis of polluting gases resulted in a 44.3 % decrease at idle and 39.1 % at an average of 2 500 rpm of the level of carbon monoxide (CO). For hydrocarbons (HC) it was reduced 8.1 % at idle and 32.3 % at an average of 2500 rpm. So also, the level of oxygen (O<sub>2</sub>) at the exit of the exhaust gases decreased 49.8 % at idle and 26.9 % at an average of 2 500 rpm. With the present research work it is demonstrated that the use of biofuels significantly reduces the level of polluting gases by using a concentration of 5 % ethanol and 95 % extra gasoline in the mixture, contributing to the reduction of contamination by mobile sources.

## CAPÍTULO I

### 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

#### 1.1 ANTECEDENTES.

El uso de combustibles fósiles como fuente de energía se remonta a inicios del siglo XX con la extracción industrial del petróleo, debido a su gran contenido energético fue utilizado en la industria y en el campo automotriz, por todo esto en la actualidad la mayoría de energía se obtiene de combustibles fósiles (Fernandez, 2006, pág. 1).

Los motores de combustión interna tanto gasolina y diésel han sido parte de grandes logros a través de la historia, ya que por medio de estos se ha podido lograr cualquier avance tecnológico dentro del campo automotriz. También son considerados como máquinas que generan un trabajo efectivo por medio del proceso de combustión (Santo, Rodríguez , Vega, & Rodríguez, 2012, pág. 1551).

La necesidad energética es directamente proporcional al crecimiento poblacional, por lo tanto, a mayor consumo de energía generada por combustibles fósiles mayor será el nivel de contaminación, lo que da inicio a la necesidad de usar nuevas alternativas que cumplan con la misma función o mejoren a las ya existentes.

La prolongación de los habitantes eternamente ha sido y seguirá siendo uno de los principales factores del requerimiento energético, contiguo con el mejoramiento financiero y social (WORLD RESOURCES ENERGY, 2003, pág. 6).

Tomando en cuenta que el cambio climático es un efecto directo de la inflamación de combustibles fósiles se toma algunas consideraciones como alternativa a esta y la posible disminución de niveles de contaminación, la sociedad tiene la necesidad de crear y desarrollar combustibles alternativos. Es por todo esto la necesidad de aprovechar la energía, en este caso la alternativa más considerable para motores de combustión interna son todas las biomásas conocidos como biocombustibles, por ejemplo: maíz, caña y semillas.

El bioetanol es un combustible alternativo que se está utilizando para reemplazar los combustibles fósiles, siendo utilizado en motores de combustión interna como complemento de la gasolina, aunque el bioetanol puede sustituir a la gasolina el uso adecuado como aditivo es el que mejora la potencia del motor y disminuye el nivel de gases contaminantes. Su obtención se da a partir de la descomposición de plantas hasta llegar a un punto de fermentación.

El etanol anhidrido es incoloro e inflamable con punto de ebullición de 78 °C y se caracteriza por ser compatible con la gasolina y contener como máximo 0.5 % de agua y como combustible resulta una opción muy atractiva debido a las bajas emisiones ya que puede ser obtenido de fuentes renovables (Naranjo Sanango & Sarate Naula, 2012, pág. 46).

El bioetanol con mezclas E5 es una composición porcentual de gasolina-etanol, este combustible en nuestro país se lo conoce como ecopaís que consiste en una mezcla del 95 % de gasolina y el 5 % de etanol.

La utilización de alcohol anhidrido en mixturas con nafta en el motor disminuye incluso un 20 % en volumen, no exige alteraciones de los motores ciclo Otto, y exclusivamente en algunos casos requiere arreglos en carburación, debido a su derivación de empobrecimiento de la mixtura (Torres, Molina , Pinto, & Rueda , 2002, pág. 73). Haciendo que la utilización de bioetanol sea muy conveniente con cualquier tipo de motor electrónico a gasolina.

El estado ecuatoriano promovió el uso y la aplicación de energías alternativas no contaminantes, implementando la producción de biocombustibles en el país con la finalidad de beneficiar el desarrollo agroindustrial y disminuir el nivel de contaminación en el aire, siendo este último el soporte fundamental de investigaciones realizadas dentro del territorio ecuatoriano con temas de investigación relacionados al bioetanol a partir de biomásas. Como es el caso en la Universidad Técnica del Norte se analizó el comportamiento del motor a gasolina Chevrolet Luv 2 200, utilizando la mezcla E10 a partir de la biomasa residual de la papa, el cual es una alternativa al uso de gasolina convencional comúnmente utilizado y hay que destacar que su uso contribuye con la reducción de emisiones de gases nocivos para el medio ambiente y para los seres vivos (Lomas , 2018, pág. 14).

## **1.2 SITUACIÓN ACTUAL.**

En la actualidad los biocombustibles han ocupado un espacio importante a nivel de América latina, pero el biocombustible más usado en esta zona es el etanol. Brasil fue el primer país del mundo en eliminar totalmente el tetraetilo de plomo de su matriz de combustibles en el año de 1992 por medio de estudios, ya que al combinar el etanol con la gasolina se puede elevar su nivel de octanaje y ya no es necesario adicionar el tetraetilo de plomo lo que conlleva a su total eliminación (Monteiro, 2010, pág. 7).

Los biocombustibles son una alternativa que actualmente se está combinando, en el mundo desarrollado, con otras opciones como son los cambios tecnológicos relacionados con el menor consumo de los vehículos por kilómetro recorrido, calidad menos contaminante de los combustibles y filtros más eficaces para controlar las emisiones (Coviello, Gómez, Razo, & Rodríguez, 2008, págs. 17-18).

La idea de introducir biocombustibles para la utilización en América Latina es disminuir los altos niveles de contaminación. Sabiendo que en la actualidad existen motores con gran tecnología es sorprendente cuando se habla del impacto positivo que genera la versatilidad de los biocombustibles en la reducción de gases contaminantes.

Ecuador al estar ubicado en América Latina también se incluye en introducir biocombustibles, es así que en el año 2010 el país inició un plan con la finalidad de producir bioetanol con mezclas E5 que actualmente en el país se lo conoce como ecopaís. La mezcla se realiza mediante la fermentación de la caña de azúcar que por un proceso de refinación y destilación se obtiene un porcentaje de bioetanol, pero para obtener la gasolina deseada se requiere mezclar la gasolina convencional conocida como extra y el bioetanol en sus correspondientes porcentajes. El proceso productivo de la gasolina se basa en el procesamiento de la caña y la obtención de etanol a partir del jugo de caña o guarapo (PRO ECUADOR, 2013, pág. 14).

### **1.3 PROSPECTIVA.**

América Latina para el año 2020 producirá más de la mitad del total de biocombustibles, se presenta una gran oportunidad al momento de importar estos biocombustibles, ya que Estados Unidos y la Unión Europea requerirán de los biocombustibles creados en América Latina y se considera que los países más beneficiados serán Brasil, México, Argentina y Colombia (Vivero, 2009, pág. 4).

En 2020, 37,9 billones de litros de biocombustibles serán comercializados globalmente, de estos, cerca de un 80 % serán producidos en América Latina (Monteiro, 2010, pág. 76).

El incremento de la demanda a nivel mundial podría convertirse en una excesiva producción lo que conllevaría a destruir y terminar con otros recursos que son los suelos fértiles. Los biocombustibles están considerados como una nueva fuente de energía, capaz de levantar la economía agrícola y mejorar los procesos de producción de cada país.

Sin embargo, estudios realizados muestran que el aumento de la producción de biocombustibles podría tener efectos adversos de no ser acompañado por un paquete adecuado de políticas (Coviello et al., 2008, pág.10).

La utilización de biocombustibles como el bioetanol tendrá un proceso de transformación de la matriz productiva y el interés por parte de los usuarios al usar estas nuevas mezclas. Se quiere establecer que para los próximos años el uso de gasolina extra se remplace por mezclas E5 a nivel nacional y más del 80 % de personas que disponen de vehículos con gasolina usen esta nueva alternativa ya que el porcentaje de bioetanol en la mezcla es bajo los vehículos no necesitan ningún tipo de modificación, por lo que algunas marcas han decidido ya construir los vehículos capaces de soportar mezclas hasta de un 85 % de bioetanol.

#### **1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En la actualidad la mayoría de los vehículos usan combustibles fósiles debido a su gran potencial energético, por lo tanto, la necesidad energética es directamente proporcional al crecimiento poblacional. Todo esto debido al consumo energético excesivo de combustibles fósiles que da como resultado el cambio brusco del clima por ser un efecto directo de la inflamación de mencionados combustibles. Se estima que las reservas de petróleo a nivel mundial terminaran dentro de 50 años, pero la necesidad de consumir más energía obliga a buscar otras fuentes de energía.

Los combustibles fósiles son recursos limitados que se utilizan para obtener y generar energía, este uso indiscriminado provoca contaminación atmosférica, gases generadores del efecto invernadero, lluvia ácida y enfermedades respiratorias producto de los gases de combustión (Pasquel & Gordillo, 2018, pág. 2).

El tetraetilo de plomo aún es usado en la gasolina super y extra para aumentar el octanaje, se considera este componente químico como un aditivo pesado que es expulsado por los gases de escape, transformándose en un gas venenoso para la salud humana capaz de afectar el sistema nervioso de los seres vivos. Debido a la abundante presencia de motores de combustión interna las ciudades se han visto afectadas por la contaminación exponiendo a sus habitantes a inhalar estas toxinas.

Por otro lado, el ambiente a nivel mundial tiene un 15 % de contaminación especialmente

por el uso de carburantes de origen fósil y sus derivados no renovables como la gasolina y el diésel, que son utilizados por la industria de la automoción (Rodríguez, 2017, pág. 2). Ecuador también considera importante el uso de estos combustibles, es así que en el año 2010 generan un plan para producir mezclas E5 e introducirlas al mercado nacional al mismo precio que la gasolina extra. En el territorio ecuatoriano es necesario buscar nuevas fuentes de energía limpia y renovable, debido a que los recursos cada vez se van agotando a pasos agigantados.

## **1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

¿Cómo comprobar el comportamiento de un motor de combustión interna electrónico ciclo Otto usando bioetanol con mezclas E5 con el fin de determinar cuál de estos dos combustibles contamina en menor cantidad?

## **1.6 DELIMITACIÓN.**

El presente proyecto de titulación guarda las siguientes delimitaciones:

### **1.5.1 DELIMITACIÓN TEMPORAL.**

Este proyecto se llevó a cabo desde el mes de Junio del 2018, al mes de Enero del 2019.

### **1.5.2 DELIMITACIÓN ESPACIAL.**

El proyecto de investigación se llevará a cabo en los talleres de la Universidad Técnica del Norte ubicado en la Ciudad de Ibarra.

## **1.7 OBJETIVOS.**

Este trabajo investigativo tiene como finalidad cumplir los siguientes objetivos presentados

a continuación:

### **1.7.1 OBJETIVO GENERAL.**

Comprobar el comportamiento de un motor de combustión interna electrónico ciclo Otto usando bioetanol con mezclas E5 y gasolina extra, mediante la comparación y cuantificación de gases tóxicos de escape con cada combustible con el fin de determinar cuál de estos combustibles presenta menor contaminación para el medio ambiente.

### **1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Calibrar un motor sin modificaciones previo a la investigación mediante la realización de mantenimientos preventivos y correctivos a fin de obtener valores reales con un buen estado del motor.
- Realizar el análisis de emisiones con mezclas E5 y gasolina extra con la ayuda del analizador de gases Brain Bee a diferentes regímenes de giro con el fin de obtener valores reales en cada una de las pruebas de gases contaminantes.
- Analizar y comparar los datos obtenidos mediante la utilización de herramientas y software con el propósito de evidenciar posibles diferenciaciones en valores de gases tóxicos presentes en ambos combustibles.

## **1.8 ALCANCE.**

El bioetanol en mezclas E5 es una alternativa favorable para la reducción de consumo de combustibles fósiles, como también la reducción de un 30 % a 40 % del nivel de contaminación producto de los gases de combustión (García , Cendales, & Eslava, 2016, pág. 87).

En esta investigación se calibrará un motor alternativo electrónico, sin modificación a gasolina de 4 cilindros que se encuentran en el taller de la Universidad Técnica del Norte para poder realizar los respectivos análisis de emisiones de gases. Continuando con la investigación se analizará y comparará las emisiones en el uso de combustibles alternativos

con mezclas E5 que contiene 5% de bioetanol y el restante 95% de gasolina común (extra) producidas por el motor anteriormente mencionado.

## **1.9 JUSTIFICACIÓN.**

Mediante el Plan Nacional de Desarrollo - Toda una Vida en su objetivo número 5 establece, impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria, tomando énfasis en su política 5.6 que menciona promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades (Plan Nacional de Desarrollo, 2017, pág. 83). Así también establece en su política 5.7 garantizar el suministro energético con calidad, oportunidad, continuidad y seguridad, con una matriz energética diversificada, eficiente, sostenible y soberana como eje de la transformación productiva y social (Plan Nacional de Desarrollo, 2017, pág. 83).

El petróleo al ser un recurso no renovable tiene una gran desventaja la cual es que su existencia es limitada, según estudios se estima que la demanda de caída de petróleo empezara en el año 2040 y esta fuente de energía puede acabar dentro de 50 años. Cada año, las reservas mundiales de petróleo van disminuyendo y la población demanda más de lo que se puede producir (Camarillo Montero, 2011, pág. 5).

La presente investigación tiene como objetivo analizar las emisiones producidas por la combustión dentro de un motor electrónico de combustión interna sin modificaciones usando gasolina común (extra) con la mezcla de etanol al cinco por ciento (E5). En la implementación de nuevos combustibles alternativos para los motores de combustión interna, los procesos de mayor interés son los efectos que estos causan en el rendimiento del motor y la reducción de la concentración de emisiones de gases al medio ambiente (Maldonado Sarmiento, 2014, pág. 3).

Para la realización de estas pruebas con combustibles alternativos lo más importante es presenciar cuales son los posibles efectos en el motor, es decir ver el nivel de contaminación que se puede reducir comparado con la gasolina extra. En la región costa de Ecuador se expende gasolina con mezclas E5 denominada ecopaís. Dicha mezcla pretende reemplazar a la gasolina extra.

Por esto la investigación pretende analizar y comparar el nivel de contaminación de cada uno de los combustibles usados por medio de pruebas con la ayuda de analizadores de gases. El bioetanol puede ser utilizado en motores de combustión interna, pero al ser mezclado un porcentaje bajo de etanol y gasolina común se puede reducir el nivel de gases contaminantes y aumentar la potencia del motor.

La mezcla E5 (5 % de etanol) y (95 % combustible extra) en Ecuador tiene la denominación de Ecopaís y no tiene ningún problema al ser usado en motores convencionales, ya que estos motores no necesitan modificaciones.

## **1.10 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de investigación fue desarrollado de la mejor manera utilizando diferentes métodos mencionados a continuación.

### **1.10.1 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.**

La investigación experimental abarcó la realización de las pruebas estáticas de gases contaminantes a diferente régimen de giro utilizando combustible extra y mezcla E5 (gasolina ecopaís), obteniendo como resultado los datos respectivos.

### **1.10.2 INVESTIGACIÓN TRANSVERSAL.**

La investigación trasversal es aquella en la cual se utiliza un lapso determinado de tiempo, en el caso de la presente investigación se presentó un horario diferente para cada prueba de gases, logrando establecer un patrón favorable para la toma y análisis de las pruebas.

### **1.10.3 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

La investigación bibliográfica consiste en tomar contenido bibliográfico de trabajos ya

realizados y que son de uso público, encargados de proporcionar la información necesaria para desarrollar el presente trabajo de investigación.

## **1.11 MÉTODOS INVESTIGATIVOS.**

Para el presente trabajo investigativo se utilizaron los siguientes métodos:

### **1.11.1 MÉTODO INDUCTIVO.**

El método inductivo, también conocido como método experimental es un método científico que alcanza todo tipo de resultados empezando por una pequeña idea, por lo que para el presente trabajo de investigación se llegará a las conclusiones con datos relacionados de otras investigaciones presentes por divulgación.

### **1.11.2 MÉTODO HISTÓRICO LÓGICO.**

Este método se encarga de un estudio de consecuencia lógica relacionado con algún tipo de investigación, por lo que con ayuda de información recopilada y estructurada se logrará alcanzar los objetivos planteados haciendo uso de investigaciones anteriormente realizadas para luego formar parte de posibles futuras investigaciones.

## **1.12 COMBUSTIÓN.**

La combustión es el agrupamiento de varias reacciones fisicoquímicas, en la cual el combustible presenta un proceso de oxidación rápida al entrar en contacto con el comburente. Complementariamente se necesita de una fuente de energía capaz de activar e iniciar la combustión, dando así origen al desprendimiento de calor acompañado de una luz en forma de flama.

Para que se produzca la combustión, el combustible y el comburente deben encontrarse en

el espacio y en el tiempo en unas proporciones adecuadas (Barrera Puigdollers, Betoret Valls, Castelló Gómez, & Pérez Esteve, 2018, pág. 3). A la unión de estos tres elementos se conoce como triángulo de la combustión o fuego.



**Figura 1.1** Triángulo de la combustión o de fuego.  
(Barrera Puigdollers, Betoret Valls, Castelló Gómez, & Pérez Esteve, 2018, pág. 3).

La Figura 1.1 es la representación gráfica de un triángulo de fuego que indica los componentes necesarios para desatar la reacción, generalmente en la realidad se utiliza al aire como comburente ya que contiene oxígeno. Mientras que la energía de activación puede generarse por una chispa desencadenado y produciendo la reacción.

### 1.13 TIPOS DE COMBUSTIÓN.

Dependiendo de la cantidad de comburente utilizado y el potencial de combustión que se logra presenciar se puede generar los siguientes tipos de combustión:

#### 1.13.1 COMBUSTIÓN COMPLETA.

El proceso de combustión completa es aquel que el combustible se oxida en su totalidad y como resultado de esta oxidación tenemos nitrógeno, carbono, hidrógeno y azufre. El nitrógeno se considera como masa inerte, si bien a las altas temperaturas de los humos pueden formarse óxidos de nitrógeno en pequeñas proporciones (del orden de 0,001 %) (Masson Ricaurte, 2012, pág. 5). Todo esto involucra que el resultante de oxígeno en el medio ambiente ha sido en poca proporción suficiente para oxidar a los elementos.

### **1.13.2 COMBUSTIÓN INCOMPLETA.**

Al no oxidarse en su totalidad el combustible aparecen partículas no quemadas que al no completar su combustión se convierten en gases contaminantes (HC), todo esto debido a la falta de oxígeno presente en la mezcla. Estas sustancias son los contaminantes más comunes que escapan a la atmosfera en los gases de combustión ( Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2013, pág. 16).

### **1.13.3 COMBUSTIÓN ESTEQUIOMÉTRICA.**

Este tipo de combustión también es conocida como teórica, ya que se introduce dentro de la mezcla la cantidad exacta de oxígeno que se requiere para producir mencionado proceso de oxidación dando como resultado agua líquida ( $H_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y dióxido de azufre ( $SO_2$ ), teóricamente se elimina la presencia de oxígeno en el humo por las formaciones anteriormente mencionadas.

## **1.14 COMBUSTIBLES.**

Combustible es cualquier material capaz de liberar energía cuando reacciona con el oxígeno, habitualmente el contenido en el aire, transformando su estructura química ( Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2013, pág. 29). La función principal de un combustible es liberar toda su energía para ser aprovechada potencialmente, todo combustible es una sustancia apta para ser quemada.

### **1.14.1 COMBUSTIBLES FÓSILES SÓLIDOS.**

Los combustibles fósiles son sustancias procedentes de biomásas que con el pasar del tiempo sufren transformaciones por medio de la descomposición. Estos combustibles al final de su descomposición tienen una reacción con alto contenido energético.

### **1.14.1.1 CARBÓN.**

El carbón o también conocido como carbón natural o mineral es una roca sedimentaria del resultado residual de vegetales y plantas descompuestos hace millones de años. El origen del carbón es la descomposición de vegetales terrestres que se acumulan en zonas pantanosas de poca profundidad, estos restos se van acumulando y quedan cubiertos de agua, como consecuencia, desprovistos del oxígeno del aire, el que los degradaría, es ahí cuando comienza una lenta transformación por la acción de bacterias anaerobias (microorganismos que no necesitan oxígeno) (Méndez , 2017, pág. 2). El proceso de carbonización se realiza con la ayuda de los microorganismos sin oxígeno, aumentando la cantidad de carbono con el transcurso del tiempo.

### **1.14.2 COMBUSTIBLES FÓSILES GASEOSOS.**

Son mezclas que se obtienen del proceso de destilación, estas mezclas tienen concentraciones de metano que juntamente con el hidrogeno pueden provocar la combustión, así también constan de un porcentaje muy pequeño de monóxido de carbono y otros compuestos en mínimas cantidades.

#### **1.14.2.1 GAS NATURAL.**

El gas natural es una fuente de energía no renovable, esta energía es producida por el ambiente natural y su composición principal es el metano que se encuentra en medios naturales con una concentración entre 87 y 96 partes. Porcentualmente hablando el gas natural abarca un 22 % para el uso de energía convencional en todo el mundo.

Cuando se emplea el gas natural en hogares o en la industria, se generan entre 25 y 30 % menos emisiones de CO<sub>2</sub> que empleando petróleo, y entre 40 y 50 % menos emisiones de CO<sub>2</sub> que al emplear carbón en relación con cada unidad energética producida; al usarlo para la generación de energía eléctrica, se libera cerca de 60 % menos CO<sub>2</sub> que al emplear carbón por cada kWh producido; si es empleado en transporte por medio del Gas Natural Vehicular

(GNV), se generan entre 20 % y 25 % menos emisiones de CO<sub>2</sub> que al emplear combustibles tradicionales (Becerra & Rodriguez, 2017, págs. 191-192).

#### **1.14.2.2 GAS LICUADO DE PETRÓLEO.**

Gas licuado del petróleo (GLP) son los hidrocarburos que a presión y temperatura ambiente se encuentran en estado gaseoso (butano y propano), pero cuando se los somete a presión moderada se pueden licuar fácilmente, es decir, al comprimir las moléculas de estos hidrocarburos comienzan a evidenciarse las interacciones de London, ya que las moléculas se atraen pasando al estado líquido (Pamparato & Bejonja, 2017, pág. 92).

Es por estas interacciones que el gas licuado de petróleo puede ser almacenado fácilmente en cilindros, bombonas o garrafas de volúmenes pequeños con capacidad de abarcar gran cantidad del contenido presurizado.

#### **1.14.3 COMBUSTIBLES FÓSILES LÍQUIDOS.**

Estos combustibles son característicos por mantenerse en estado líquido en condiciones normales (temperatura y presión), en su mayoría son derivados del petróleo y muy usados en la industria y la automoción (vehículos livianos y transporte pesado). Entre los principales tenemos:

##### **1.14.3.1 PETRÓLEO.**

El petróleo está compuesto por una mezcla de sustancias naturales que se encuentra en yacimientos bajo la tierra, principalmente se caracteriza por poseer un color oscuro y olor desagradable.

(Trujillo, 2012) afirma. “Que el carbono y el hidrógeno que dan como resultado el precioso líquido negro, son la consecuencia de formaciones que durante millones de años se establecieron por la acción de la naturaleza, tanto de animales como de plantas en pantanos y aguas en descomposición”, (pág.4).

### **1.14.3.2 GASOLINA.**

La gasolina es un hidrocarburo que se obtiene a partir de la destilación del petróleo, utilizada generalmente como combustible para producir energía mecánica por medio de un proceso de ignición. Esta energía se obtiene por medio de la explosión que ocurre dentro de una cámara de ignición. Las gasolinas empleadas en motores de ignición satisfacen diversos requerimientos tanto en su etapa de producción como es su posterior rendimiento vehicular, su composición química está formada por moléculas de carbono e hidrogeno normalmente tiene entre 7 y 11 átomos de carbono unidos a átomos de hidrogeno (Pérez Darquea, 2017, pág. 25).

Especialmente los carburantes (gasolina) que son empleadas en motores de encendido por chispa requieren unas determinadas características en cuanto a volatilidad, poder calorífico, resistencia al picado, etcétera (Alonso, 2014, pág. 5).

### **1.14.3.3 DIÉSEL.**

El diésel o gasoil se obtiene en las partes más bajas de la torre de destilación a presión atmosférica, son los hidrocarburos de mayor tamaño, contienen de 11 a 20 átomos de carbono y suele tratarse químicamente para formar moléculas de menor tamaño que son más valiosas como combustibles, en un proceso denominado cracking o craqueo (Pamparato & Bejonja, 2017, pág. 93).

### **1.14.3.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS CARBURANTES**

Dependiendo estas características la calidad del combustible puede verse o no afectada al momento de realizar el proceso de combustión.

- **Número de Octano.**

El octanaje o número de octano en la gasolina es la medida de su calidad antidetonante, es

decir la habilidad que tiene para quemarse sin causar detonación en los motores de combustión interna (Pérez Darquea, 2017, pág. 25 ). Para medir el número de octano u octanaje se aplican los 3 métodos existentes; MON, RON y número de octano en marcha. El MON es el encargado de ver la capacidad del combustible para impedir detonaciones a velocidad con una conducción regular. El RON mide posibles detonaciones representada como un comportamiento dentro de la ciudad, es decir a bajo régimen de giro y una variación de aceleraciones y el número de octano en marcha es la conducta normal del combustible en funcionamiento. En motores de alta compresión, cuando el número de octanaje es bajo, el combustible tiende a auto detonarse.

- **Poder calorífico.**

Por definición, el poder calorífico de un combustible dado indica la máxima cantidad de energía que es posible obtener de la combustión de dicho combustible, una de las unidades de medición (no la única y hay que considerar comprender las tablas de equivalencias) de energía son los mega Joules (MJ), los cuales sirven para medir el poder calorífico de un material o de un combustible (Ramírez Montoya & Mendoza Domínguez, 2017, pág. 37).

- **Volatilidad.**

La volatilidad en los combustibles se presenta cuando se eleva potencialmente la temperatura del combustible líquido hasta alcanzar un punto de evaporación. Todo combustible líquido al evaporarse a temperaturas bajas tiende a ser altamente volátil.

- **Densidad.**

La densidad es la relación existente entre la masa y el volumen de los cuerpos, es por eso por lo que podemos decir que determina la cantidad de masa o materia por cada unidad de volumen presente. En el Sistema Internacional (S.I.) se expresa en ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) pero, también se puede expresar en ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

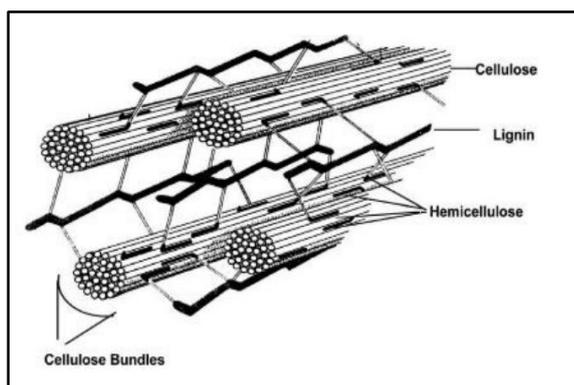
- **Viscosidad.**

La viscosidad se define como una medida de la resistencia al movimiento de un fluido y también puede enunciarse como la velocidad de deformación del fluido cuando se le aplica un esfuerzo cortante dado (Zacarías Santiago, González López, Granados Manzo, & Mota Lugo, 2017, pág. 17).

### 1.15 BIOMASA.

La biomasa también conocida como materia viva es el conjunto de materias orgánicas de origen vegetal o animal que pueden ser utilizadas como fuente de energía. La biomasa, a pesar de no ser gradualmente estimada como el origen de generación sostenible de energía eléctrica ostenta un futuro promisorio, principalmente por ser amigable con el medio ambiente, por ser un recurso renovable y sobre todo el nivel de dióxido de carbono es nulo (Serrano, Mejía, Ortiz, Sánchez, & Zalamea, 2017, pág. 44).

La biomasa, sea cual sea su tipo está conformada principalmente por tres elementos. La celulosa, hemicelulosa y lignina. La composición de cada uno de estos elementos siempre va a depender del tipo de planta que se utilice.



**Figura 1.2** Representación de la estructura de la biomasa lignocelulósica.  
(Serrano, Mejía, Ortiz, Sánchez, & Zalamea, 2017, pág. 45).

Como se puede apreciar en la Figura 1.2 la representación de la estructura de la biomasa lignocelulósica está dada por la celulosa que es el material que más abunda en el planeta y está constituida por glucosa. Así también se aprecia la hemicelulosa que forma parte de las

paredes de las células vegetales y está compuesta por una mezcla de azúcares con contenido entre 5 y 6 carbonos y la lignina que es encargado de formar parte de los tejidos de las plantas. Todos estos elementos que conforman la biomasa y que se menciona anteriormente están catalogados por un nivel porcentual en peso en base seca.

La medida porcentual depende de la composición de cada átomo constituido como el carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, azufre y cloro detallado en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1** Composición elemental de la biomasa.

Elemento	Porcentaje en peso en base seca
Carbono (C)	30-60 %
Oxígeno (O)	30-40 %
Hidrógeno (H)	5-6 %
Nitrógeno (N), Azufre (S), Cloro (Cl)	<1 %

**Fuente:** (Serrano, Mejía, Ortiz, Sánchez, & Zalamea, 2017, pág. 46).

A continuación, se presenta en la Tabla 1.2 los principales residuos de biomasa encontrados en la provincia de Imbabura que consigna, para cada uno de los cinco principales residuos, los siguientes parámetros: producción absoluta de cada actividad, cantidad de residuos generados, ambos expresados en toneladas anuales y la estimación energética asociada cada uno en TJ/año, destacando que las cifras corresponden a la totalidad de los residuos de cada producto sin haberse considerado valores mínimos de producción de residuos, que resulten no significativos para su utilización energética (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014, pág. 16).

**Tabla 1.2** Principales residuos de la provincia de Imbabura.

Provincia	Superficie (km <sup>2</sup> )	Producto	Producción absoluta (t/año)	Residuos (t/año)	Energía bruta (TJ/año)
IMBABURA	4 583,48	Forestal	23 313,19	50 123,36	965,34
		Caña de azúcar	224 361,43	35 897,83	712,55
		Palmito	3 097,85	7 533,98	99,75
		Plátano	6 476,49	4 274,48	53,97
		Banano	3 146,73	2 076,84	26,22
		<b>Total</b>		260 395,69	99 906,49

**Fuente:** (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014, pág. 16).

Para examinar el potencial energético de la biomasa en el Ecuador, es ineludible distinguir y cuantificar la cantidad generada por año y el acercamiento que se tiene hacia estos recursos durante el año 2014, la producción general de despojos agrícolas en Ecuador se muestra en la Tabla 1.3 (Serrano, Mejía, Ortiz, Sánchez, & Zalamea, 2017, pág. 52).

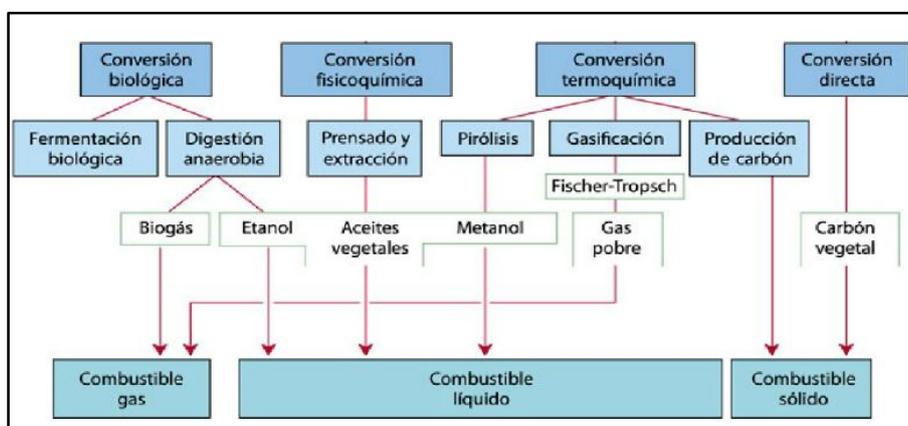
**Tabla 1.3** Producción total de residuos agrícolas en el Ecuador para el año 2014.

Cultivo	Producción total de residuos (t/año)
Cacao	1 935 496,50
Banano	4 891 143,60
Plátano	276 473,30
Arroz	2 101 948,90
Caña de azúcar	87 885,9
Maíz	346 002,0
Forestales	136 547,6

**Fuente:** (Serrano, Mejía, Ortiz, Sánchez, & Zalamea, 2017, pág. 52).

## 1.16 BIOCOMBUSTIBLES.

Los biocombustibles son mezclas de componentes orgánicos obtenidos a través de la biomasa. Los biocombustibles son empleados como recurso energético para la utilización en motores de combustión interna tratando de reemplazar a los combustibles fósiles. En la actualidad existen biocombustibles gaseosos y líquidos. Centraremos el estudio en los combustibles líquidos y en aquellos compuestos gaseosos obtenidos de la biomasa que pueden utilizarse como sustitutos de combustibles líquidos para hacer funcionar un motor de combustión interna, ya sea de tipo diésel o de gasolina (Pérez, 2016, pág. 63).



**Figura 1.3** Transformaciones y aplicaciones bioenergéticas de la biomasa. (Pérez, 2016, pág. 64).

En la Figura 1.3 representa las transformaciones y aplicaciones bioenergéticas de la biomasa, es decir, los procesos que se pueden aplicar para obtener diferentes fuentes de bioenergía, estos procesos pueden ser por conversión biológica, fisicoquímica, térmica y directa para al final obtener combustibles aplicables al transporte.

### 1.16.1 BIOCOMBUSTIBLES GASEOSOS.

Dentro de los combustibles gaseosos tenemos el biogás y una mezcla gaseosa proveniente de un proceso termoquímico de madera.

#### 1.16.1.1 BIOGÁS.

El denominado biogás, proviene de la descomposición en ausencia de aire de materias vegetales, un proceso biológico conocido como digestión anaerobia que en su interés estriba en que produce una mezcla de gases, principalmente metano y dióxido de carbono en proporciones de 50-75 % del primero, y 25-50 % del segundo (Pérez, 2016, pág. 64).

En la Tabla 1.4 presentada a continuación establece la evolución de la producción de biogás en la Unión Europea expresada en miles de toneladas de petróleo por lo que no se presentan datos exactos y por separado del biogás debido a que estudios realizados por distintos organismos vinculados de una u otra manera a la Unión Europea no lo detallan (Pérez, 2016, pág. 66). Encubriendo así la situación que se presenta en Europa ya que la mayoría de biogás que se produce son de diferentes fuentes energéticas.

**Tabla 1.4** Evolución de la producción de biogás en la Unión Europea expresada en miles de toneladas equivalentes de petróleo.

Fuente del biogás	2006	2007	2008	2009	2010	2012
Cultivos energéticos / estiércol / residuos municipales	1 331	3 504	4 155	4 341	4 700	5 500
Vertederos	2 007	2 795	2 891	3 002	3 050	3 150
Lodos de depuradoras	868	925	953	1 004	1 050	1 150
TOTAL	4 206	7 224	7 999	8 346	8 800	9 800

Fuente: (Pérez, 2016, pág. 66).

### **1.16.1.2 GASIFICACIÓN DE LA MADERA.**

En épocas de una enorme escasez de petróleo, como aconteció en la segunda Guerra Mundial, o en los años posteriores a la Guerra Civil española, se ha utilizado la madera como fuente de combustible en vehículos motorizados, alimentando el motor no con gasolina ni gasóleo sino con los gases que provenían de la combustión parcial de madera que tenía lugar en un recipiente voluminoso o gasificador que el vehículo automóvil, camión, autobús o tractor remolcaba (Pérez, 2016, pág. 70).

En los gasificadores se puede utilizar madera o carbón vegetal (o también carbón), aunque si se emplea carbón vegetal hay que tener en cuenta que en su fabricación se emplea hasta 70 % de la energía inicialmente contenida en la madera, lo que hace que el conjunto del proceso sea muy poco eficiente desde el punto de vista energético, estos gases generados en el proceso de gasificación están formados por 40 % de gases combustibles, principalmente monóxido de carbono e hidrógeno, y metano en menor cantidad, el resto son gases no combustibles y consisten principalmente en nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua (Pérez, 2016, pág. 70).

Para que este gas funcione en los motores de combustión interna se debe eliminar todos los residuos de alquitrán y ácidos que se presenten en el proceso de gasificación. La obtención de este gas genera un gas con bajo poder calorífico en comparación con la gasolina

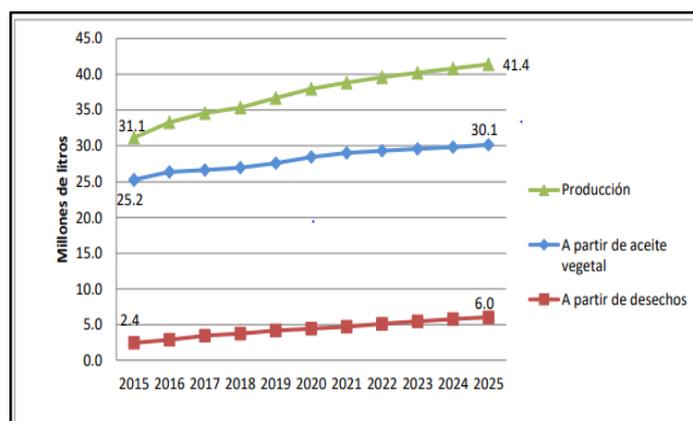
### **1.16.2 BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS.**

Se trata de una opción de aprovechamiento directo de la materia orgánica para sustituir a los combustibles líquidos fósiles, sobre todo en los vehículos y para aplicaciones de transporte, existen dos tipos de biocombustibles líquidos el biodiesel, que sustituye al gasóleo, y el bioetanol, que sustituye a la gasolina (Jarauta, 2015, pág. 82).

#### **1.16.2.1 BIODIESEL.**

El biodiésel es una excelente alternativa para prevenir situaciones de crisis relacionadas con el petróleo puesto que la relación de producción y consumo es favorable ya que la materia

prima del biodiésel son los aceites vegetales o grasas animales, el cual resulta de la transesterificación de los triglicéridos al ser contenidos por un alcohol de cadena corta (Paez & Marulanda, 2018, pág. 242). Actualmente el biodiesel consiste en la mezcla de diesel fósil con biodiesel obtenido de biomásas, como resultado de estas mezclas se codifica B0, B5, B10 y B20 expresando “B” como el biodiésel y el número que sigue a la letra “B” es el encargado de indicar el porcentaje de diésel fósil ingresado en la mezcla.



**Figura 1.4** Tendencia mundial en la producción de biodiesel.  
(Ramírez, 2018, pág. 5).

El aumento de producción de biodiesel en la actualidad se establece como una tendencia global ya que para el año 2015 alrededor de todo el mundo se tenía en mente producir 30 millones de litros, teniendo en cuenta una proyección para el año 2025 que sobrepase los 40 millones de litros de producción como lo detalla la Figura 1.4.

El biodiesel se puede utilizar directamente en motores diesel, pues de hecho el motor diesel se inventó a partir del aceite de cacahuete. (Jarauta, 2015, pág. 82).

En la Tabla 1.5 se presenta un listado de materias primas que se usan para la elaboración del biodiesel, este listado está clasificado por aceites vegetales convencionales como por ejemplo el aceite de girasol, aceite de palma entre otros. También se clasifica por aceites vegetales alternativos combinados entre sí para culminar con una clasificación de otras fuentes.

**Tabla 1.5** Principales materias primas para la elaboración de biodiesel.

Aceites vegetales convencionales	Aceites vegetales alternativos	Otras fuentes
Aceite de Girasol	Aceite de Brassica carinata	Aceite de semillas modificadas genéticamente

**Tabla 1.5** Principales materias primas para la elaboración de biodiesel. **(Continuación...)**

Aceite de colza	Aceite de <i>Cynara cardunculus</i>	Grasas animales
Aceite de Soya	Aceite de <i>Camelina sativa</i>	Aceites de fritura usados
Aceite de coco	Aceite de <i>Crambe abyssinica</i>	Aceites producidos por microorganismos y microalgas
Aceite de palma	Aceite de <i>Pogonius</i>	
	Aceite de <i>Jatropha curcas</i>	

Fuente: (Ramírez, 2018, pág. 17).

## 1.17 BIOETANOL.

El etanol es el combustible más utilizado a lo largo de la historia en la industria automovilística, aunque su consumo se ha visto alterado a lo largo de los años, actualmente se está empleando principalmente como combustible, ya sea de forma única o mediante una mezcla con gasolina que permite características muy similares y alto poder energético, además de disminuir las emisiones contaminantes (Abascal, 2017, pág. 10). El bioetanol es un biocombustible renovable capaz de reemplazar al combustible fósil (gasolina), producido por fermentación alcohólica de materia orgánica de todo tipo de cereales o plantas azucareras como la caña de azúcar, el bioetanol proporciona un combustible de mejor calidad comparado con la gasolina y brinda la posibilidad de seguir mejorando los alcoholes para el uso como ruta de salida por medio del etanol (Alcalá, Cujilema, León, Baryolo, & Ramos, 2018, pág. 141). Estados Unidos y Brasil son los principales productores mundiales de alcohol anhidrido, ambos producen el 70 % a nivel mundial, seguidos por China, India y Francia, alicientes del mercado han provocado el desarrollo de crecientes manufacturas en el mundo (Cabezas & Moyano, 2016, págs. 18-19).

### 1.17.1 BIOETANOL DE PRIMERA GENERACIÓN.

El bioetanol de primera generación o conocido también como bioetanol convencional, se obtiene de todo producto agrícola (biomasas), que poseen una gran cantidad de valor alimenticio o de consumo humano, pero la ventaja de estos biocombustibles de primera generación es su bajo costo de producción. Es por este valor alimenticio que los biocombustibles de primera generación (en este caso el bioetanol) ponen a durar en el

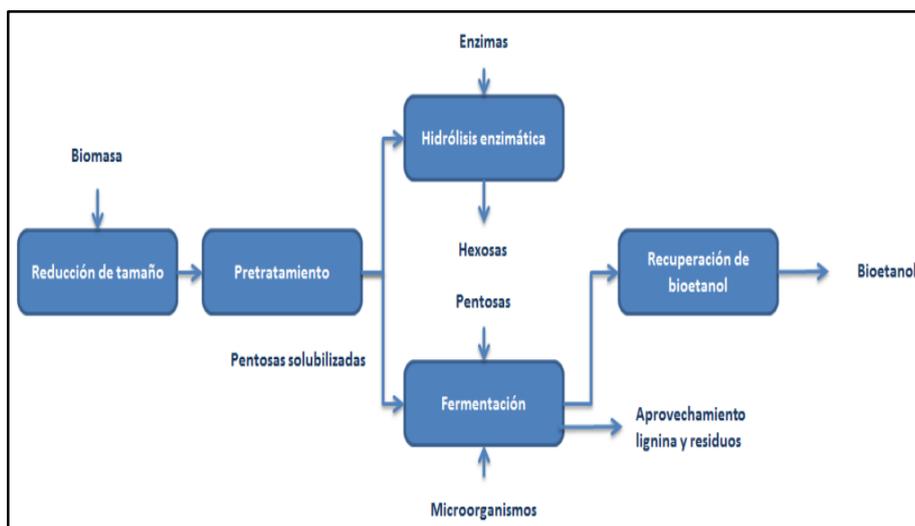
momento de la producción, debido a la paradoja que se plantea cada individuo “producir para alimentar o producir para generar bioenergía”.

### 1.17.2 BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN.

Por otra parte, el bioetanol de segunda generación se obtiene a partir de todo producto agrícola o biomasa de origen natural, por ejemplo, la madera. La principal diferencia entre los combustibles de segunda generación con respecto a los de primera generación es que su proceso de obtención no afecta a la cadena alimenticia ya que tiene un alto contenido de celulosa y hemicelulosa con un valor alimenticio nulo. También se le conoce como bioetanol proveniente de lignocelulosa.

### 1.17.3 OBTENCIÓN DE BIOETANOL.

El etanol que se produce en función de la lignocelulósica es conocido también como bioetanol de segunda generación como se mencionó anteriormente. Para la obtención del bioetanol se tiene algunas etapas, dentro de estas etapas están la reducción de tamaño, pretratamiento, hidrólisis de celulosa y hemicelulosa, fermentación, recuperación y purificación del bioetanol (Bellido Díez, 2014, pág. 13).



**Figura 1.5** Esquema de las etapas de obtención del bioetanol (2G).  
(Bellido Díez, 2014, pág. 13).

Como se muestra en la Figura 1.5 las etapas para el proceso de producción se las puede llevar por varias disposiciones determinando así que para cada proceso exista una alternativa, la etapa de reducción de tamaño puede ser aplicable a la biomasa siempre y cuando sea necesario. El proceso corresponde a la modificación de la biomasa para al final obtener un producto deseado (bioetanol), para esto se utiliza la fragmentación que es un proceso basado en disminuir la cantidad de oxígeno y reducir el nivel nutritivo y los hace polares, hidrófilos e inestables, por lo que ocasiona un problema para almacenarlos, movilizarlos y combinarlos (Abascal, 2017, pág. 24).

- A. Pretratamientos Físicos: Este pretratamiento se encarga de reducir la densidad de la masa, esta reducción afecta al entorno de su tamaño.
- B. Pretratamientos Químicos: Encargados de afectar a la materia de una manera estructural en el proceso de desfragmentación por métodos químicos como por ejemplo el uso de vapores y aplicaciones ácidas a la biomasa.
- C. Pretratamientos Biológicos: Este ejemplo de procedimientos acaban con la lignina y la hemicelulosa para ingresar a la celulosa y efectuar un ataque de enzimas (Abascal, 2017, pág. 25).

#### **1.17.3.1 HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA.**

El proceso de hidrólisis enzimática consiste en introducir los residuos y agregar agua hasta que quede totalmente sumergido. La temperatura es un factor importante que se debe tener en cuenta, así como también el grado de acidez (pH) para garantizar la actividad de la enzima, este proceso debe tener un lapso definido dependiendo que tipo de biomasa se utilice. Finalmente, se filtran las muestras y se obtiene un volumen final hidrolizado, con estas muestras hidrolizadas, se determina la cantidad de azúcares reductores presentes como factor determinante para la obtención de bioetanol (Malagón, Páez, Lache, Santos, & Zabala, 2018, pág. 50).

#### **1.17.3.2 FERMENTACIÓN.**

La etapa de fermentación consiste en transformar los azúcares liberados en la etapa de

hidrólisis enzimática en etanol y dióxido de carbono por medio de microorganismos adecuados, levaduras principalmente (Bellido Díez, 2014, pág. 28).

### 1.17.3.3 DESTILACIÓN.

Se refiere al proceso de separación en el cual se agrega, en un plato superior de la columna, un agente acarreador (solvente de punto de ebullición elevado) con el propósito de modificar las volatilidades relativas de los componentes en una mezcla de alimentación principal (Martínez & Cárdenas , 2017, pág. 1834).

El nivel de volatilidad depende de: **(A)** Igual presión de vapor y **(B)** Aparición de azeótropo. El solvente hierve por lo común a una temperatura por encima de los componentes de la alimentación por lo que es imposible la formación de nuevos azeótropos. Además, los puntos azeotrópicos problemáticos que se encuentren en la alimentación analizada desaparecen en presencia del solvente (Martínez & Cárdenas , 2017, pág. 1834).

### 1.17.4 CARACTERÍSTICAS DEL BIOETANOL.

Los alcoholes suelen ser líquidos incoloros de olor característico, solubles en el agua en proporciones variables y menos densos que ella, por lo que el metanol y el etanol son los principales alcoholes aplicables a motores de combustión interna denominados como bioetanol (Cabezas & Moyano, 2016, pág. 18).

El etanol es un compuesto químico, incoloro e inflamable cuando presenta condiciones normales de temperatura y presión, su punto de ebullición es de 78.4 °C, como se muestra en la Tabla 1.6 podemos ver sus características físicas, químicas y termoquímicas respectivamente (Abascal, 2017, pág. 11).

**Tabla 1.6** Propiedades del etanol.

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	
Apariencia	Incoloro
Densidad	789 kg/m <sup>3</sup>
Masa molecular	46.07 g/mol
Punto de fusión	-114 °C
Punto de ebullición	78,4 °C
Temperatura crítica	241 °C
Presión crítica	63 atm

**Tabla 1.6** Propiedades del etanol. (Continuación...)

Estructura	Estructura cristalina monoclinico
Viscosidad	1.074 mPa a 20 °C
Índice de refracción	1 3611
<b>PROPIEDADES QUÍMICAS</b>	
Acidez	15.9 pKa
Solubilidad	Miscible
<b>PROPIEDADES TERMOQUÍMICAS</b>	
Entalpía vaporización	-235.3 kJ/mol
Entalpía de líquido	-277.6 kJ/mol

Fuente: (Abascal, 2017, pág. 11).

Los índices de octano determinan la capacidad que tiene el combustible (etanol) de no auto detonarse por las altas relaciones que presentan los motores de combustión interna. En la Tabla 1.7 se presenta el listado con su debida unidad y el valor que representa.

**Tabla 1.7** Índices de octano.

Propiedad	Unidad	Etanol (Anhidro)
Número de octano Research	ROM	120
Número de octanos motor	MON	87
Número de cetano	NC	5
Número de metano	NM	70

Fuente: (Cabezas & Moyano, 2016, pág. 20)

## 1.18 GASOLINA USADA EN ECUADOR.

Las gasolinas son una mezcla de hidrocarburos líquidos que tienen de cuatro a diez átomos de carbono, además poseen pequeñas cantidades de hidrocarburos más ligeros y pesados, existen cantidades meticulosas de impurezas crudas de petróleo tales como azufre y nitrógeno (Quimbita & Guallichico, 2017, pág. 22).

En Ecuador se utilizan tres tipos de gasolinas: la extra, de 87 octanos, la súper de 92 octanos y ecopaís de 87 octanos la cual se adapta al uso en vehículos sin modificaciones reemplazando a la gasolina extra.

### 1.18.1 GASOLINA EXTRA.

La NORMA NTE INEN 935, establece que la gasolina de 87 octanos denominada extra, ensayada de acuerdo con las normas correspondientes, debe cumplir con los requisitos

establecidos en la Tabla 1.8 (INEN, 2016, pág. 2).

**Tabla 1.8** Requisitos de la gasolina de 87 octanos.

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo
Número de octano Research (RON)	--	87	--
Destilación: 10 %	°C	--	70
50 %	°C	77	121
90 %	°C	--	189
Punto final	°C	--	220
Residuo de destilación	%	--	2
Relación vapor – líquido a 60 °C	--	--	20
Presión de vapor	kPa	--	60
Corrosión a la lámina de cobre (3 h a 50 °C)	--	--	1
Contenido de gomas	mg/100 ml	--	3
Contenido de azufre	%	--	0,065
Contenido de aromáticos	%	--	30
Contenido de benceno	%	--	1
Contenido de olefinas	%	--	18
Estabilidad a la oxidación	Min	240	--
Contenido de oxígeno	%	--	2,7
Contenido de plomo	mg/L	--	No detectable
Contenido de manganeso	mg/L	--	No detectable
Contenido de hierro	mg/L	--	No detectable

Fuente: (INEN, 2016, pág. 3).

### 1.18.2 GASOLINA SÚPER.

La NORMA NTE INEN 935, establece que la gasolina de 92 octanos denominada súper, ensayada de acuerdo con las normas correspondientes, debe cumplir con los requisitos establecidos en la Tabla 1.9 (INEN, 2016, pág. 2).

**Tabla 1.9** Requisitos de la gasolina 92 octanos.

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo
Número de octano Research (RON)	--	92,0	--
Destilación: 10 %	°C	--	70
50 %	°C	77	121
90 %	°C	--	190
Punto final	°C	--	220
Residuo de destilación	%	--	2
Relación vapor – líquido a 60 °C	--	--	20
Presión de vapor	kPa	--	60
Corrosión a la lámina de cobre (3 h a 50 °C)	--	--	1

**Tabla 1.9** Requisitos de la gasolina 92 octanos. (Continuación...)

Contenido de gomas	mg/100 ml	--	4,0
Contenido de azufre	%	--	0,065
Contenido de aromáticos	%	--	35
Contenido de benceno	%	--	2,0
Contenido de olefinas	%	--	25,0
Estabilidad a la oxidación	Min	240	--
Contenido de oxígeno	%	--	2,7
Contenido de plomo	mg/L	--	No detectable
Contenido de manganeso	mg/L	--	No detectable
Contenido de hierro	mg/L	--	No detectable

Fuente: (INEN, 2016, pág. 4).

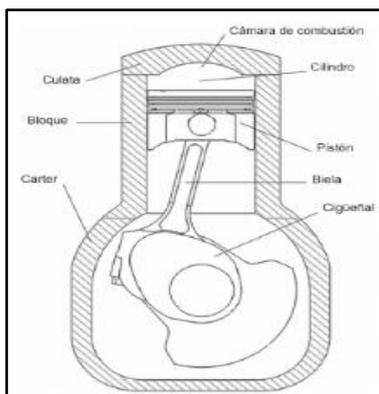
### 1.18.3 ECOPAÍS.

La gasolina ecopaís es alcohol etílico anhídrido al 5 % en volumen en una mezcla con gasolina extra que se comercializaba como parte de un plan piloto en Guayaquil desde el año 2010 con la posibilidad que en la actualidad se extienda ese plan piloto a nivel nacional debido a que el uso de biocombustibles es parte de las estrategias del gobierno actual como lo menciona en su objetivo número 5, política 5.7 (Pérez Darquea, 2017, pág. 24).

EP PETROECUADOR tiene como proyecto amigable la producción de gasolina ecopaís. El uso de este combustible tiene múltiples ventajas, entre ellas la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, disminuye la salida de divisas porque se importan en menor cantidad Naftas de Alto Octano (NAO), la que se utiliza en la producción de gasolinas (EP PETROECUADOR, 2018, pág. 1). El beneficio que genera la producción de la gasolina “ECOPAÍS” hacia los productores promueve el desarrollo para la producción de caña de azúcar.

### 1.19 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO.

Los motores de combustión interna alternativos (MCIA) son motores térmicos de desplazamiento positivo (o volumétricos), en los que el trabajo se obtiene mediante el desplazamiento lineal del émbolo de un mecanismo biela-manivela (Rovira & Muñoz, 2015, pág. 27).



**Figura 1.6** Esquema básico de los MCIA.  
(Rovira & Muñoz, 2015, pág. 27).

La Figura 1.6 representa un esquema básico de los motores de combustión interna alternativos.

Cada elemento está detallado brevemente a continuación en la Tabla 1.10.

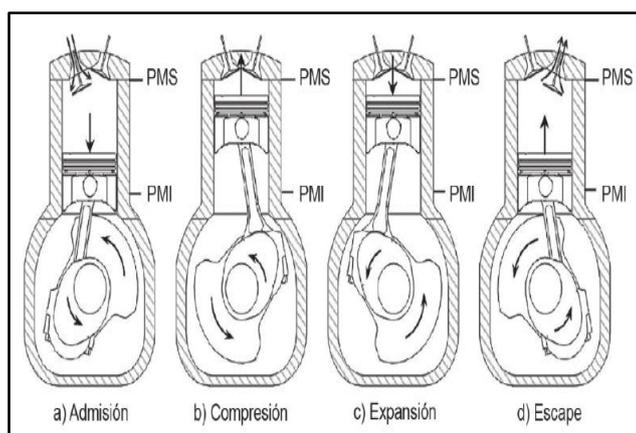
**Tabla 1.10** Elementos básicos del MCIA.

<b>Pistón</b>	Elemento con movimiento rectilíneo alternativo. Es el émbolo del mecanismo biela-manivela y aumenta o disminuye el volumen del cilindro.
<b>Biela</b>	Elemento que, junto con la manivela, convierte el movimiento lineal del pistón en el rotativo del cigüeñal.
<b>Cigüeñal</b>	Elemento rotativo del motor. En él se integra la manivela del mecanismo.
<b>Cilindro</b>	Es el volumen que aloja el fluido de trabajo.
<b>Cámara de Combustión</b>	Es el volumen que queda por encima del pistón al finalizar la compresión y donde básicamente tiene lugar la combustión de la mezcla.
<b>Culata</b>	Elemento que constituye el cerramiento superior de los cilindros.
<b>Bloque</b>	Elemento que contiene los cilindros.
<b>Cárter</b>	Cierre inferior del motor. Contiene el aceite para la lubricación.

**Fuente:** (Rovira & Muñoz, 2015, pág. 28).

Los motores de combustión interna mientras funcionan efectúan algunos procesos repetitivos que se denomina ciclos, al ser este un proceso termodinámico se da prioridad a conocerlos como ciclos térmicos.

- A. Admisión: El pistón se encuentra en la parte superior o conocido como punto muerto superior (PMS), las válvulas de admisión se abren introduciendo aire dentro del cilindro, el pistón desciende al (PMI) mientras las válvulas se cierran.
- B. Compresión: Una vez el pistón en el PMI empieza nuevamente a ascender hacia el PMS. En este ciclo las válvulas están completamente cerradas.
- C. Combustión: El pistón se encuentra en el punto más alto (PMS), es en ese momento que se activa la chispa produciendo una reacción.
- D. Expansión: Producto de la combustión los gases tienden a expandirse empujando al pistón hacia el (PMI) debido a la reacción producida. En este ciclo aumenta potencialmente el volumen y efectivamente la presión decae.
- E. Escape: Una vez el pistón se encuentra en el (PMI) las válvulas de escape empiezan a abrirse y el pistón empieza a ascender barriendo con los gases producidos hasta sacarlos de la cámara de combustión.



**Figura 1.7** Esquema del funcionamiento del motor de cuatro tiempos.  
(Rovira & Muñoz, 2015, pág. 31).

En la Figura 1.7 se presenta un esquema básico del funcionamiento del motor de cuatro tiempos determinando cada ciclo; a) Admisión, b) Compresión, c) Expansión, d) Escape.

### 1.19.1 SISTEMAS AUXILIARES DEL MOTOR.

Los motores de combustión interna provocados por chispa, para su funcionamiento dependen de algunos sistemas auxiliares que son el complemento. Los sistemas se mencionan a continuación.

### 1.19.1.1 SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE.

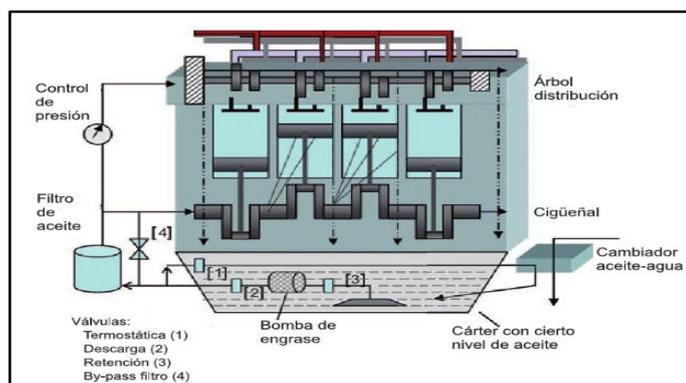
La función principal de este sistema es filtrar todas las partículas que ingresan a la cámara de combustión dentro del motor. Como barrera protectora en este sistema tenemos un filtro de aire que evita que las posibles impurezas y residuos ingresen provocando posibles picaduras a los cilindros.

### 1.19.1.2 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE.

El sistema de alimentación de combustible está conformado por una bomba de suministro de combustible, un filtro purificador de partículas, cañerías por donde circula el combustible, riel de los inyectores donde se almacena el combustible conjuntamente con una válvula liberadora de presión, la ECU encargada de la sincronización del proceso, sensor de posición del cigüeñal conectado a la válvula IAC que mantienen el régimen de giro estable, todo esto accionado por un relé que activa y desactiva el sistema una vez encendió o apagado el vehículo.

### 1.19.1.3 SISTEMA DE LUBRICACIÓN.

El sistema más básico de lubricación y conocido es la lubricación por salpicadura o barboteo que consiste en distribuir el aceite de una forma más eficaz hacia los émbolos, cilindros, cojinetes del cigüeñal para que todas las partes estén lubricadas.



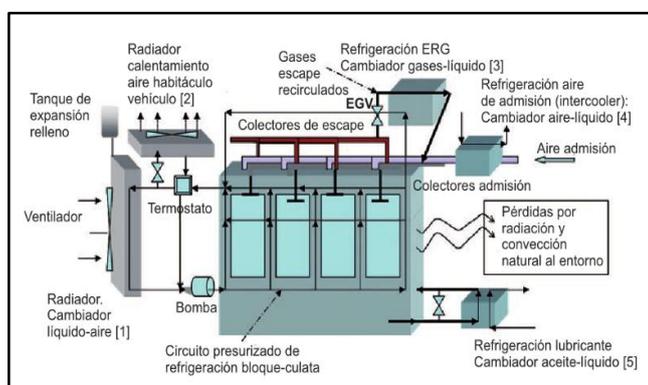
**Figura 1.8** Sistema más habitual de lubricación a presión con Cárter húmedo. (Rovira & Muñoz, 2015, pág. 138).

La Figura 1.8 describe los elementos del sistema más habitual de lubricación que existe teniendo en cuenta que el cárter húmedo está presente en el bloque del motor y se dispersa solo por salpicadura.

#### 1.19.1.4 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.

El circuito de refrigeración del motor esta presurizado mediante una bomba, en general centrífuga, de forma que el fluido puede alcanzar temperaturas por encima ligeramente de los 100 °C sin riesgo de ebullición (Rovira & Muñoz, 2015, pág. 119).

Disminuyendo así el choque térmico ya que el fluido refrigerante se introduce por el bloque del motor y por medio de la recirculación refrigera los cilindros por un proceso de transferencia de calor. Existe el sistema de refrigeración por convección, es decir se refrigera por la brisa del aire presente mientras el automotor se desplaza, pero no es tan eficiente para motores de más de dos cilindros.



**Figura 1.9** Sistema de refrigeración.

(Rovira & Muñoz, 2015, pág. 119).

En la Figura 1.9 se presenta el sistema de refrigeración con todos sus elementos. Generalmente el líquido refrigerante es el agua, aunque existen casos que los motores utilizan etilenglicol o a su vez una mezcla etilenglicol-agua en concentración del 50%.

#### 1.19.1.5 SISTEMA DE ENCENDIDO.

El sistema de encendido en la actualidad es electrónico y su función principal es controlar

y temporizar el salto de la chispa en el instante preciso cuando la mezcla se encuentre comprimida. Este sistema es más eficaz ya que su rendimiento puede mejorar el proceso de combustión y disminuir el nivel de contaminación generado por la emisión de gases mediante la unidad de control.

## **1.20 EMISIONES CONTAMINANTES.**

Las fuentes de contaminación asociadas a los motores de combustión interna alternativos y, más particularmente, a los vehículos pueden ser de distinta naturaleza, pues producen contaminación acústica, residuos, tanto en el mantenimiento como en el ciclo de vida global del motor y derraman variedades contaminantes al aire a través de los gases de escape, lo que se conoce por emisiones contaminantes (Rovira & Muñoz, 2015, pág. 82). Como resultado de la combustión de motores se obtiene los siguientes gases:

### **1.20.1 MONÓXIDO DE CARBONO (CO).**

Este es un gas inodoro e incoloro, es decir no tiene olor ni color respectivamente. Este gas está presente en todo proceso de combustión debido al proceso químico que genera la reacción. Peligroso y muy tóxico para el hombre debido a que al ser inhalado puede desprender oxígeno en la sangre causando asfixia. A pesar de que en el medio ambiente con el pasar del tiempo se convierte en CO<sub>2</sub> está considerado como mortal en lugares cerrados y sin ventilación.

Es uno de los principales contaminantes expulsados por los motores de combustión interna, por lo que en ciudades con promedio de 2 500 metros sobre el nivel del mar (msnm), existe menor cantidad de oxígeno en comparación con localidades ubicadas al nivel del mar, lo que provoca una menor eficiencia en los procesos de combustión y por lo tanto una mayor emisión de CO (Veintimilla, 2015, págs. 9-10).

### **1.20.2 ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO<sub>x</sub>).**

Los NO<sub>x</sub> son óxidos nitrosos y nítricos. Refiriéndose a salud humana son de igual manera

peligrosos como el CO. También son incoloros e inodoro y aparecen en procesos de combustión en motores.

### **1.20.3 HIDROCARBUROS (HC).**

Estos gases aparecen cuando la combustión es incompleta, se consideran también que aparecen hidrocarburos cuando existe carencia de combustión apareciendo la presencia de partículas de combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseoso.

Los motores a gasolina emiten mayores cantidades de hidrocarburos, en comparación a los motores diesel equivalentes, entre los hidrocarburos el benceno es cancerígeno y las principales fuentes de benceno en el aire son las emisiones provenientes de los vehículos motorizados juntamente con las perdidas por evaporación durante la manipulación, distribución y almacenamiento de la gasolina (Veintimilla, 2015, pág. 10).

### **1.20.4 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV).**

Los compuestos orgánicos volátiles son los hidrocarburos líquidos volátiles y los gaseosos que están presentes en los gases de escape, la contribución de las emisiones de los MCIAs es muy baja en comparación con las de otros sectores industriales (pintura, barnices o productos de limpieza) (Rovira & Muñoz, 2015, págs. 83-84).

### **1.20.5 PARTÍCULAS.**

Son pequeños fragmentos suspendidos en el aire, generalmente compuestos por hidrocarburos. Para la salud humana es más peligroso que existan partículas de menor tamaño porque no pueden ser filtradas y son más fáciles de ingresar cuando se inhala.

### **1.20.6 OZONO (O<sub>3</sub>).**

El ozono es un contaminante secundario, formado por la conjunción de la presencia de

óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y radiación solar (Rovira & Muñoz, 2015, pág. 84). Es un gas muy corrosivo y a la vez oxidante, pero sobre todo afecta a la salud humana por ser muy irritante.

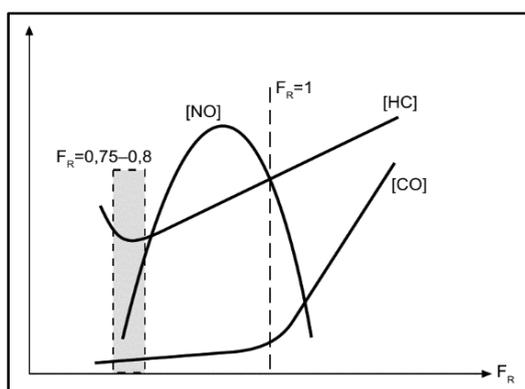
### 1.20.7 ÓXIDO DE AZUFRE, CLORUROS Y BROMUROS.

La aparición de estos compuestos se debe a la combustión, son resultado de la composición del combustible (azufre, cloro, plomo y bromo) agentes principales de la lluvia acida.

### 1.20.8 DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>).

El dióxido de carbono no es un gas dañino para la salud humana. Considerado no contaminante ya que forma parte de la atmosfera. Tiende a convertirse en dañino cuando existe la presencia de vapor de agua generando el efecto invernadero.

Es un componente natural que se encuentra en la atmósfera en niveles de aproximadamente 0,035 por ciento y se conoce que exposiciones a corto plazo de CO<sub>2</sub>, es decir a niveles por debajo del 2 por ciento, no produce efectos nocivos (Veintimilla, 2015, pág. 9).



**Figura 1.10** Emisiones contaminantes en MEP en función del factor lambda  $F_R$ .  
(Rovira & Muñoz, 2015, pág. 91).

La Figura 1.10 muestra los tres principales gases contaminantes en motores de gasolina, así también presenta la variación de cada gas en función del factor lambda  $F_R$ . El factor lambda es la relación existente entre la masa de aire y la masa de combustible, conocida como

relación estequiométrica, por cada parte de combustible debe existir 14.7 partes de aire.

### **1.20.9 OXÍGENO (O<sub>2</sub>).**

El oxígeno es un gas incoloro, inodoro e insípido que representa el 21 por ciento del aire que respiramos y es imprescindible para el proceso de combustión, al darse una mezcla perfecta el consumo de oxígeno debería ser total, sin embargo, cuando se da una combustión incompleta, el oxígeno restante es expulsado por el sistema de escape (Veintimilla, 2015, pág. 9).

## **1.21 NORMATIVAS DE EMISIONES.**

Los vehículos son el principal factor contaminante nivel global para el deterioro de la atmosfera. Es por esto por lo que se establecen parámetros a nivel mundial para mitigar esta problemática mediante normas de emisiones de gases contaminantes. Actualmente todo tipo de vehículos automotores están obligados a cumplir con las regulaciones de los países de origen, lo que conlleva a que los niveles de emisiones, normas de seguridad y el diseño de sus componentes sean cada vez más estrictas (Torres E. , 2017, pág. 25).

### **1.21.1 UNIÓN EUROPEA.**

La normativa que maneja la Unión Europea está conformada por la unificación de algunos países de Europa en el consejo directivo 70/220 / CEE, pero a través de los años se recopiló nueva información y fue sustituida para formar parte del nuevo reglamento 715/2007 (Euro 5/6). Esta normativa establece para vehículos livianos M1, M2, N1 Y N2 puestos a prueba en un dinamómetro de chasis que simula el ciclo de conducción.

La Tabla 1.11 corresponde a información de la Unión Europea referente a la clasificación de los vehículos dependiendo su peso, y características de fabricación, también incluye el número de ruedas y la disposición del motor para cada una de las categorías establecidas para vehículos livianos.

**Tabla 1.11** Clasificación de los vehículos europeos.

<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>
M	Vehículos de motor con al menos cuatro ruedas diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros.
M <sub>1</sub>	vehículos diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros que no conste de más de ocho plazas además del asiento del conductor
M <sub>2</sub>	vehículos diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros, con más de ocho plazas además del asiento del conductor, y cuyo peso máximo ("técnicamente admisible peso máximo de carga") que no exceda de 5 toneladas
M <sub>3</sub>	Vehículos diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros, con más de ocho plazas además del asiento del conductor y con una masa máxima superior a 5 toneladas
N	Vehículos de motor con al menos cuatro ruedas diseñados y fabricados para el transporte de mercancías.
N <sub>1</sub>	vehículos diseñados y fabricados para el transporte de mercancías y con una masa máxima no superior a 3,5 toneladas
N <sub>2</sub>	Vehículos diseñados y fabricados para el transporte de mercancías con una masa máxima superior a 3,5 toneladas, pero inferior a 12 toneladas
N <sub>3</sub>	Vehículos diseñados y fabricados para el transporte de mercancías con una masa máxima superior a 12 toneladas
O	remolques (incluidos los semirremolques)
G*	Los vehículos de todo terreno

Fuente: (Torres E. , 2017, pág. 23).

En la Tabla 1.12 se muestra los límites permitidos para la Unión Europea referente a emisiones de gases contaminantes, se presenta las fechas que han sido emitidas las normativas y su correspondiente valor determinado en gr/Km. Cabe recalcar que estos límites son para vehículos livianos de categoría M1 y N1.

**Tabla 1.12** Límites máximos de emisiones para vehículos a gasolina.

<b>LÍMITES MÁXIMOS DE EMISIONES PARA VEHÍCULOS A GASOLINA</b>							
<b>NORMA TIPO</b>	<b>FECHA EMISIÓN</b>	<b>CATEGORIA VEHÍCULO</b>	<b>CO (en gr/Km)</b>	<b>HC (en gr/Km)</b>	<b>NOX (en gr/Km)</b>	<b>HC+NOX (en gr/Km)</b>	<b>PM (en gr/Km)</b>
EURO 1	Jul-92	M1	2,72			0,97	
EURO 1	Jul-92	N1	6,9			1,7	
EURO 2	Ene-96	M1	2,2			0,5	
EURO 2	Ene-96	N1	5			0,8	
EURO 3	Ene-00	M1	2,3	0,2	0,15		
EURO 3	Ene-00	N1	5,22	0,29	0,21		
EURO 4	Ene-05	M1	1	0,1	0,08		
EURO 4	Ene-05	N1	2,27	0,16	0,11		
EURO 5	Sep-09	M1	1	0,1	0,06		0,005
EURO 5	Sep-09	N1	2,27	0,16	0,082		0,005
EURO 6	Sep-14	M1	1	0,1	0,06		0,005

**Tabla 1.12** Límites máximos de emisiones para vehículos a gasolina. (Continuación...)

EURO 6	Sep-14	N1					
--------	--------	----	--	--	--	--	--

Fuente: (Miranda Vizuete, 2016, pág. 28).

### 1.21.2 NORMATIVA CHILENA.

La normativa establecida en Chile es la (DTO-149) establecida para el año 2 006 y publicada para en el año 2007. A pesar de mantenerse como una norma antigua esta norma establece cambios importantes año tras año como reducción de (ppm) en los diferentes gases contaminantes, es así que la última versión se establece el 12 de marzo de 2018 (BCN, 2018, pág. 1).

El ministerio de transporte chileno establece que todos los vehículos de combustión interna con motores de ciclo Otto deben apearse a los límites de emisión, con procedimiento por medio de los modos 5 015 y 2 525 establecidos en la Tabla 1.13.

**Tabla 1.13** Límites de emisión por cilindrada.

			Cilindrada del Motor (cc)		
			≤ 1 000	1 001 a 2 000	> 2 000
Automóvil y Station Wagon o similares, con sello verde o sello amarillo	Modo 5 015	HC (ppm)	179	153	117
		CO (%)	1,01	0,86	0,66
		NO (ppm)	1 455	1 222	907
	Modo 2 225	HC (ppm)	173	147	113
		CO (%)	0,98	0,83	0,63
		NO (ppm)	1 314	1 104	821
Furgón, camioneta, todo terreno, Jeep o similares con revisión técnica A o B. Vehículo año 1999 y posteriores con sello verde.	Modo 5 015	HC (ppm)	179	153	117
		CO (%)	1,01	0,86	0,66
		NO (ppm)	1 455	1 222	907
	Modo 2 225	HC (ppm)	173	147	113
		CO (%)	0,98	0,83	0,63
		NO (ppm)	1 314	1 104	821
Furgón, camioneta, todo terreno, Jeep o similares con revisión técnica A o B. a) Vehículo año 1998 y anteriores con sello verde. b) vehículos con sello amarillo	Modo 5 015	HC (ppm)	233	197	150
		CO (%)	1,77	1,5	1,13
		NO (ppm)	3 267	2 887	2 123
	Modo 2 225	HC (ppm)	226	191	145
		CO (%)	2,18	1,84	1,38
		NO (ppm)	3 204	2 678	1 970

Fuente: (BCN, 2018, pág. 18).

### 1.21.3 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-042-SEMARNAT-2003.

Establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3 857 kilogramos, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diesel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos (Torres E. , 2017, pág. 126).

A continuación, se presenta los límites establecidos por la normativa mexicana para la disminución de gases contaminantes como lo detalla la Tabla 1.14.

**Tabla 1.14** Límites para vehículos que usan gasolina.

Estándar	Clase	CO g/Km		HC g/Km		NOX g/Km		Part (1) g/Km		HC ev g/prueba	
		Ga.	Di.	Ga.	Di.	Ga.	Di.	Ga.	Di.	Ga.	Di.
A	VP	2,11		0,156		0,25	0,62	-	0,050	2,0	-
	CL1 YVU										
	CL2 Y VU	2,74		0,200		0,44	0,62	-	0,062		
	CL3 Y VU										
	CL4 Y VU	3,11		0,240		0,68	0,95	-	0,075		
B	VP	2,11		0,099		0,249		-	0,050	2,0	-
	CL1 YVU										
	CL2 Y VU							-	0,062		
	CL3 Y VU	2,74		0,121							
	CL4 Y VU							-	0,075		
C	VP	2,11		0,047		0,068		-	0,050	2,0	-
	CL1 YVU										
	CL2 Y VU							-	0,062		
	CL3 Y VU			0,087		0,124					
	CL4 Y VU							-	0,075		

(1) Aplica sólo para vehículos a diesel.  
(2) Aplica sólo para vehículos a gasolina y gas LP  
Estándar A Límites máximos permisibles para vehículos año modelo 2004 y hasta 2009 (ver tabla 3).  
Estándar B Límites máximos permisibles para vehículos año modelo 2007 y hasta año 3 (ver tabla 4).  
Estándar C Límites máximos permisibles aplicables a partir del año 1 y posteriores.

**Fuente:** (Torres E. , 2017, pág. 127).

### 1.21.4 NORMATIVA ECUATORIANA.

La normativa NTE INEN 2 204:2002, primera revisión tiene como objetivo establecer los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de gasolina, aplicada para vehículos de más de tres ruedas con motores de pistón libre, motores fijos, motores náuticos, motores para tracción sobre rieles,

motores para aeronaves, motores para tractores agrícolas, maquinarias y equipos para uso en construcciones y aplicaciones industriales (INEN, 2002, págs. 1-2).

Esta normativa se basa en el año modelo del vehículo para posteriormente aplicar pruebas de medición de gases contaminantes. Las pruebas pueden ser realizadas en marcha mínima o ralentí y pruebas dinámicas con la ayuda de un dinamómetro, las dos pruebas mencionadas anteriormente son aplicables con equipos de medición.

Todo vehículo con motor de gasolina, funcionando en ralentí o marcha mínima no debe superar los valores establecidos en la Tabla 1.15. Cabe recalcar que es importante el funcionamiento del motor en condiciones de temperatura normal para la emisión de HC y CO.

**Tabla 1.15** Prueba estática para medir los límites máximos de emisiones permitidos para motores de gasolina. Marcha mínima o ralentí.

Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0 – 1 500**	1 500 – 3 000**	0 – 1 500**	1 500 – 3 000**
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1 000	1 200
*Volumen **Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).				

Fuente: (INEN, 2002, pág. 4).

El monóxido de carbono, óxidos nitrosos e hidrocarburos no podrán estar presentes en el aire con cantidades que superen a lo establecido en la Tabla 1.16 como se presenta a continuación.

**Tabla 1.16** Prueba dinámica para medir los límites máximos de emisiones permitidos para motores de gasolina.

Categoría	Peso bruto del vehículo Kg	Peso de referencia kg	CO g/km	HC + NO <sub>x</sub> g/km	Ciclos de prueba	Evaporativas g/ensayo SHED
M1	≤ 3 500		2,72	0,97	ECE 15 + EUDC	2
M1, N1		< 1 250	2,72	0,97		2
		>1 250 <1 700	5,17	1,4		2
		>1 700	6,9	1,7		2

Fuente: (INEN, 2002, pág. 5).

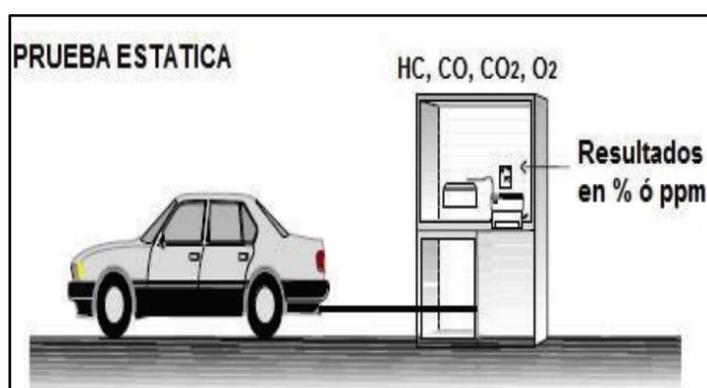
Esta norma establece una clasificación basada en los ciclos europeos denotando la categoría M como vehículos para el transporte de pasajeros con cuatro ruedas, M1 a los vehículos que transporte hasta 8 personas, N vehículos de carga con cuatro ruedas y N1 vehículos con peso que no supere las 3,5 toneladas.

## 1.22 TIPOS DE PRUEBAS DE EMISIONES.

Para medir la concentración de los gases contaminantes generalmente se realiza con diferente régimen de giro del motor, aplicando diferentes velocidades, aplicando rutas. Así también con diferentes condiciones climáticas, medioambientales, topográficas, etc. Las pruebas que se realizan para la medición de gases contaminantes son; estacionarias y dinámicas.

### 1.22.1 PRUEBAS ESTACIONARIAS.

En las pruebas o ensayos estacionarios el motor se estabiliza en una condición de par motor y régimen de giro constante y se mide la concentración de emisiones y el caudal de los gases (Miranda Vizuite, 2016, pág. 37).



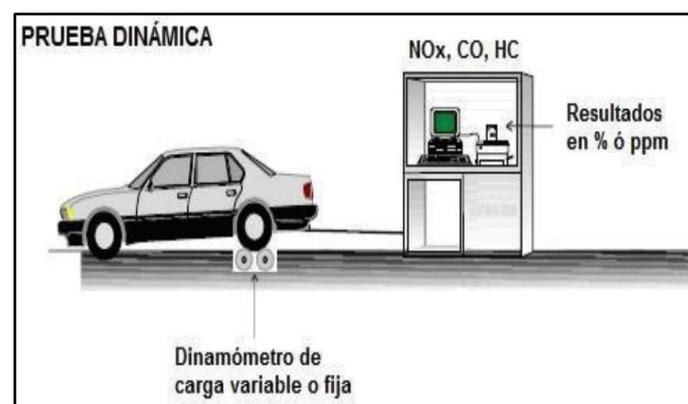
**Figura 1.11** Prueba estática de emisiones.  
(Miranda Vizuite, 2016, pág. 37).

La medición de monóxido de carbono, hidrocarburos y dióxido de carbono se lo realiza por medio de un procedimiento establecido denominada TSI que consiste que las pruebas se realizan a dos velocidades del motor en ralentí como lo indica la Figura 1.11.

- A. Prueba en ralentí en bajo régimen de giro entre 350 a 1200 rpm durante un lapso de 30 a 40 segundos hasta que se tomen los datos por medio del equipo.
- B. Prueba en ralentí en alto régimen de giro entre 2 200 a 3 000 rpm durante un lapso de 30 a 40 segundos hasta que se tomen los datos por medio del equipo.

### 1.22.2 PRUEBAS DINÁMICAS.

En las pruebas o ensayos dinámicos el motor se mantiene en condiciones variables de carga y régimen de giro, es decir, condiciones transitorias en las cuales se mide las emisiones en bancos de rodillos con resistencia e inercia equivalente al vehículo y siguiendo un ciclo de conducción (Miranda Vizquete, 2016, pág. 37).



**Figura 1.12** Prueba dinámica de emisiones  
(Miranda Vizquete, 2016, pág. 38).

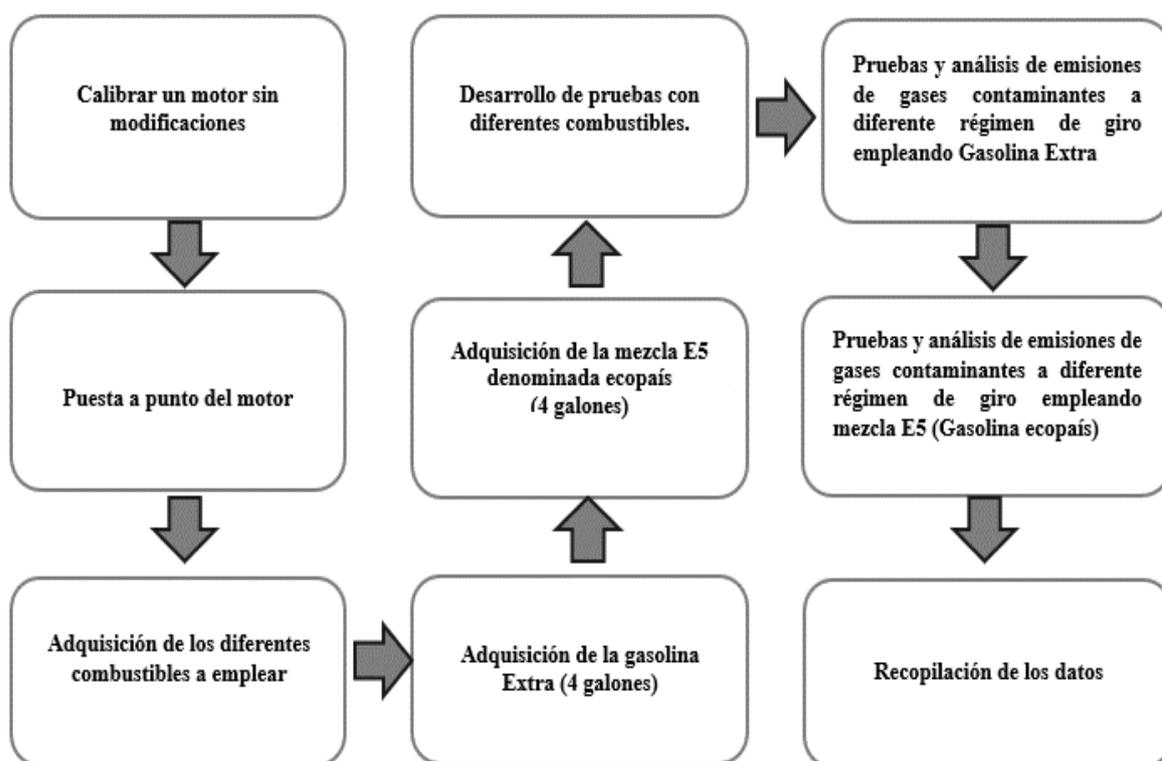
Para la prueba dinámicas se usa un banco de rodillos de frenos dinámicos encargado de simular la trayectoria de un vehículo con su masa real que actúan sobre las ruedas ya sea tracción delantera o trasera. La función principal de los frenos dinamométricos es simular el nivel de resistencia con diferente variación de velocidad como lo indica la Figura 1.12.

## CAPÍTULO II

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

#### 2.1 DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE ESTUDIO.

La presente investigación consta de la comprobación del comportamiento de un motor de combustión interna electrónico ciclo Otto usando bioetanol con mezclas E5. El trabajo de investigación se realizó en el taller de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, perteneciente a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte; para lo cual se empleó una serie de etapas con base a los objetivos.



**Figura 2.1** Etapas de desarrollo.

La primera etapa consistió en calibrar un motor de combustión interna y verificar que el motor se encontraba en perfectas condiciones tanto mecánicas como eléctricas y electrónicas, para obtener datos reales. Mientras que en la segunda etapa se realizó la adquisición de diferentes combustibles a emplear especificando los porcentajes suministrados de gasolina extra y el etanol con su respectivo nivel de concentración. Para finalizar la tercera etapa se realizaron pruebas con diferentes combustibles; extra, mezcla

E5 o denominada ecopaís como lo muestra la Figura 2.1.

## 2.2 MATERIALES.

Se presentan los materiales utilizados para el desarrollo del tema de investigación planteado, detallando algunos equipos e insumos manipulados para la obtención de datos.

### 2.2.1 BANCO MOTOR.

El uso de un motor de combustión interna fue indispensable para realizar el análisis de gases contaminantes, este banco motor debe estar en óptimas condiciones para obtener resultados satisfactorios. Por lo tanto, al banco motor se le instaló un catalizador que disminuye el nivel de emisiones.

El motor utilizado para esta investigación fue un motor de la marca Chevrolet, modelo Aveo con especificaciones técnicas mostradas en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Especificaciones técnicas del motor.

<b>Potencia</b>	103 HP @ 6 000 RPM
<b>Cilindrada</b>	1 598 cm <sup>3</sup>
<b>Torque</b>	14,7 Nm @ 3 600 RPM
<b>Sistema de combustible</b>	Inyección multipunto
<b>Distribución</b>	DOCH
<b>Posición de cilindros</b>	Lineal
<b>Número de cilindros</b>	4
<b>Diámetro de cilindros</b>	79 mm
<b>Carrera del cilindro</b>	81,5 mm
<b>Número de válvulas por cilindro</b>	4

### 2.2.2 GASOLINA EXTRA.

Para realizar esta prueba se adquirió 4 galones de gasolina extra comercializada en la Ciudad de Ibarra con 87 octanos, hay que destacar que la gasolina extra puede ser adquirida en cualquier estación de servicio del país.

### 2.2.3 GASOLINA ECOPAÍS.

Para realizar esta prueba de igual manera se adquirió 4 galones de gasolina Ecopaís de la estación de servicio PETROECUADOR con 86,1 octanos, este tipo de gasolina solo se pudo adquirir en la zona costera del Ecuador debido a que el plan piloto solo se mantiene en mencionada zona. También se puede encontrar gasolina ecopaís en las provincias del Azuay y Loja.

### 2.2.4 ANALIZADOR DE GASES BRAIN BEE.

El analizador de gases de escape Brain Bee AGS-688 tiene como objetivo analizar y determinar las concentraciones presentes de los gases contaminantes producidos por los motores de combustión interna que utilicen como combustible gasolina. Este aparato de medición funcionó mediante filtros que disminuyen el paso de los gases conocido como conjunto separador de condensación.

El proceso de extracción del gas se lo realizó por medio del tubo de escape con la ayuda de la sonda que se introdujo dentro del mismo. Su fácil utilización hace de este aparato ideal para cumplir la norma de medición establecida.



**Figura 2.2** Analizador de Gases Brain Bee AGS-688

La Figura 2.2 es la representación del analizador utilizado para las pruebas de medición de gases de escape, este analizador cuenta con la opción de medir 5 gases; CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>.

El analizador de gases Brain Bee AGS-688 presenta un listado de características que abarcan

datos técnicos de funcionamiento del equipo de medición como se muestra en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.2** Datos técnicos de funcionamiento.

Tiempo de Calentamiento	10 minutos
Flujo de los gases	4 l/min
Flujo mínimo de los gases	2.5 l/min
<b>Rango de medición de gases</b>	
CO	0÷9.99 % vol.
CO <sub>2</sub>	0÷19.9 % vol.
HC	0÷9999 ppm vol.
O <sub>2</sub>	0÷0.25 % vol.
Λ	0.5÷5
Contador de RPM	300÷9990 min <sup>-1</sup>
Resolución	10 min <sup>-1</sup>
Medidor de temperatura de aceite	20÷150 °C
Resolución	1 °C
Temperatura de funcionamiento	5÷40 °C
Fuente de Alimentación	1÷15 Vdc; 20 W
Periodo de control	12 mese
Rango de Presión	85÷106 kPa

### 2.2.5 CUENTA REVOLUCIONES MGT-300 DE BRAIN BEE.

Este es un equipo de medición que cumple la función de medir el régimen de giro de los vehículos únicamente conectando a la batería. El cuenta revoluciones MGT-300 es un equipo con diferentes modos de operación ya sea para motores de dos o cuatro ciclos. Así también se puede variar el número de cilindros dependiendo sea su requerimiento.



**Figura 2.3** Cuenta revoluciones MGT-300.

En la Figura 2.3 se muestra el cuenta revoluciones MGT-300 que fue complemento del analizador de gases, se alimenta con conexión a la batería y consta de un sensor de detonación conectado por medio de un imán a la culata del motor.

Como elemento adicional cuenta con un medidor de temperatura del aceite por medio de una sonda insertada en la varilla medidora de nivel de aceite. Esta herramienta de medición es el complemento del analizador de gases Brain Bee AGS-688, ya que están conectados inalámbricamente y trabajan en simultaneo.

### **2.3 FUNCIONAMIENTO DEL BANCO MOTOR.**

El banco motor para pruebas Chevrolet, modelo Aveo se encontró con todos sus sistemas auxiliares, el estado de este motor de cuatro cilindros aparentemente funcionaba, pero se procedió a encender el motor normalmente para verificar cualquier inconveniente. Durante estas pruebas se encontró una serie de inconvenientes que se presentan a continuación.

### **2.4 PUESTA A PUNTO DEL MOTOR.**

La puesta a punto del motor consistió en efectuar una serie de procedimientos capaces de ajustar a un motor para trabajar en condiciones normales de funcionamiento; estos procedimientos garantizaron que el sistema de inyección, el sistema de encendido y el reglaje de la distribución sean los correctos. Todos estos procedimientos se los realizaron con la finalidad de garantizar resultados reales necesarios para la investigación.

### **2.5 VERIFICACIÓN DEL MOTOR.**

La verificación del motor y el estado actual del mismo consistió en revisar cada elemento ya sea mecánico o electrónico. Así al encontrar algún tipo de anomalía, corregirlo para el buen funcionamiento de este con la finalidad de obtener datos precisos para el desarrollo de este tema de investigación.

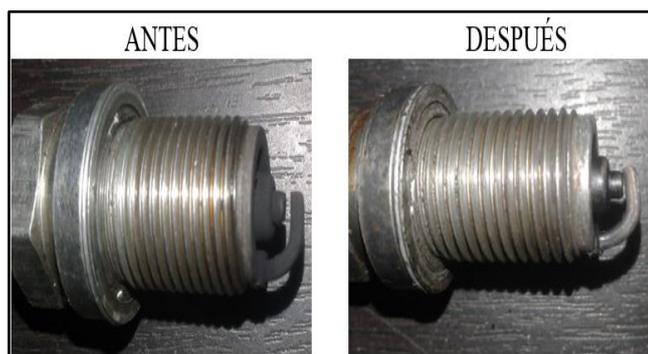
### 2.5.1 VERIFICACIÓN DE BUJÍAS.

La verificación de bujías consistió en desmontar las bujías del motor, analizar la bujía de cada cilindro. Se les practicó una limpieza integral y se utilizó las mismas, debido al buen estado. Así mismo se procedió a calibrar las bujías a 44 milésimas de pulgada como se muestra en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3** Calibración de las bujías del Chevrolet Aveo 1.6.

Año	Motor	Bujía	Pulgadas
2011 – 2016	4 – 1.6L (16V) DOHC	NGK	0,044

La calibración incorrecta provoca que la chispa no pueda encender la mezcla aire combustible provocando fallas e ineficiencia en el motor.



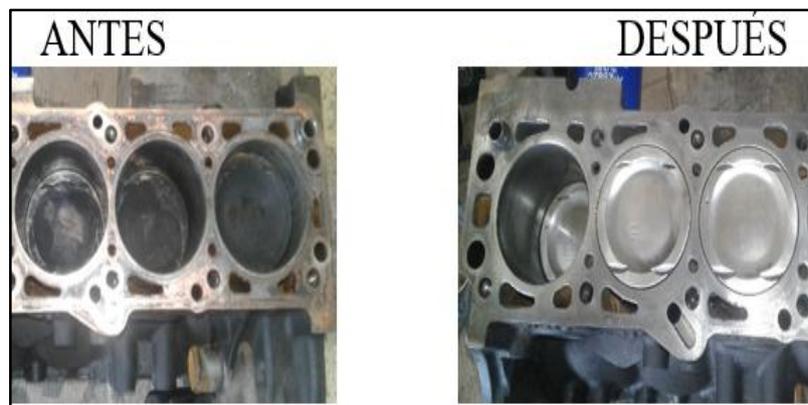
**Figura 2.4** Verificación de bujías.

Como muestra la Figura 2.4 el antes y el después de la verificación de bujías se puede apreciar que se encontraban con exceso de carbonilla producto de la combustión, se procedió a limpiarlas y calibrar cada una de ellas.

### 2.5.2 VERIFICACIÓN DEL BLOQUE DE CILINDROS.

Para verificar el estado del bloque del motor fue necesario desprender la culata del bloque con la finalidad de verificar el estado de los dos elementos. El bloque presentaba desgaste habitual por el proceso de combustión y la junta (empaquetamiento) presentaba desgaste y rotura. Así

también se procedió a limpiar el bloque, los cilindros y la cabeza de los pistones.



**Figura 2.5** Verificación del bloque de cilindros.

El bloque al ser un elemento fundamental del motor debe estar en óptimas condiciones, así también los cilindros donde se desplaza en pistón, es por eso que se realizó un proceso de lustre y como lo indica la Figura 2.5.

### 2.5.3 VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE LOS COJINETES DE FRICCIÓN Y DEL CIGÜEÑAL.

La presencia de suciedad en el aceite lubricante es una de las causas para dañar los cojinetes. Su principal efecto es la presencia de rayones alrededor del cojinete. Tomando en consideración que para poner a punto un motor siempre se debe limpiar todo el circuito de lubricación y realizar el cambio de aceite.

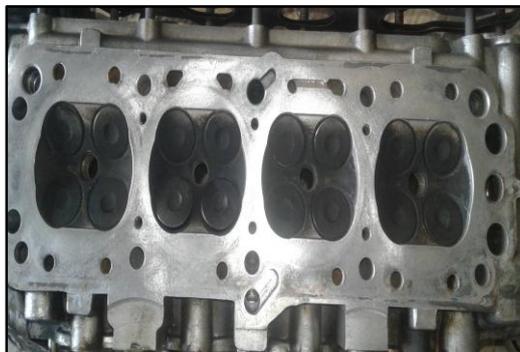


**Figura 2.6** Verificación del estado de los cojinetes de fricción y del cigüeñal.

La Figura 2.6 presenta la verificación que se realizó con el cigüeñal y el cojinete de fricción o también conocido en el medio como chaqueta. Para el proceso de verificación no fue necesario desmontar todo el cigüeñal, sino solo desmontar cada bancada y verificar el estado tanto del cigüeñal como del cojinete. Debido a que no se encontró ningún tipo de desgaste y al buen estado de los elementos se procedió a limpiarlos e instalar los mismos con un torque de 35 lb - pie, la medida de los cojinetes estaba aumentada más 2 milésimas de pulgada, por lo que el cojinete ya fue cambiado, debido a que el cigüeñal fue anteriormente rectificado.

#### **2.5.4 VERIFICACIÓN DE CULATA Y VÁLVULAS.**

La culata es el elemento encargado de sellar la cámara de compresión y es donde se genera todo el proceso de combustión. Para la verificación se desmonto la culata del bloque del motor y debido al buen estado solo se realizó una limpieza, debido a que la culata no presentaba ni picaduras ni rupturas.



**Figura 2.7** Verificación de culata y válvulas

La cámara de compresión, el lugar donde se encuentran ubicadas las válvulas presentaba una mínima cantidad de hollín, pero todo esto debido a que es en ese lugar donde se produce la combustión. La Figura 2.7 muestra el estado óptimo en el que se encontraba la culata y sus válvulas.

#### **2.5.5 COJINETES DE FRICCIÓN DE LA BIELA Y CABEZA DEL PISTÓN.**

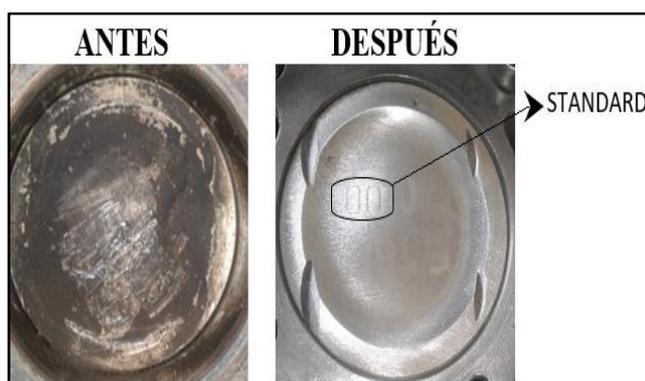
Para la verificación de estos dos elementos no fue necesario desmontarlos, para la

verificación de los cojinetes de fricción de la biela solo se desmonto la cabeza de biela. Así también para la verificación de la cabeza del pistón solo fue necesario desmontar la culata del bloque y verificar el estado.



**Figura 2.8** Verificación de los cojinetes de fricción de la biela.

La verificación que se realizó con el cojinete de fricción se presenta en la Figura 2.8, la cual se procedió a limpiarlos e instalar los mismos componentes con un torque de 25 lb - pie, el procedimiento fue muy parecido a la verificación del cojinete del cigüeñal y de la misma manera no se encontró rayaduras considerables, pero debido al desgaste, tenía instalados unos cojinetes más 0,5 milésimas de lo normal.



**Figura 2.9** Estado de la cabeza del pistón.

El estado de la cabeza del pistón se presenta en la Figura 2.9. Así también se observó que la cabeza estaba con exceso de hollín producto de la combustión generada. Se procedió a limpiar con liquido removedor y posterior a realizar un proceso de lustre denotando la tolerancia entre los pistones y los cilindros, lo que indica claramente que los pistones son de fábrica y no han sido removidos.



**Figura 2.10** Puntos de referencia para la ubicación del pistón.

Los pistones en la parte superior de la cabeza tienen marcas o puntos de referencia los cuales indican el sentido de posición que deben ser instalados. Es así, que las marcas o puntos deben señalar hacia el frente del motor. La Figura 2.10 indica cómo se encontró las marcas ubicadas en sentido contrario por lo que se procedió a desmontar los pistones y ponerlos en la ubicación correcta.

### 2.5.6 SINCRONIZACIÓN.

La sincronización del motor consiste en hacer coincidir en el momento exacto a los pistones con las válvulas, para así tener una abertura y cierre de válvulas exacto. Así también para que el salto de chispa se presente en el momento adecuado y no presentar daños en algún componente del motor. Para este banco motor fue necesario cambiar la polea de el árbol de levas de escape, debido a que la polea se encontró defectuosa.



**Figura 2.11** Polea del árbol de levas.

La polea del árbol de levas se encontró con una rotura en el sector dentado, debido a la

mala manipulación, a pesar de esto el motor funcionaba normalmente, pero para evitar cualquier inconveniente con la banda de rodadura se procedió a reemplazar la polea por una nueva tal cual se muestra en la Figura 2.11.

## 2.6 COMPRESIÓN DEL MOTOR.

La compresión de un motor garantiza el funcionamiento de este y asegura que no existan fallas en el interior del motor. Para la verificación de la compresión se inició desconectando el capuchón de cada bujía. Seguido de esto se retiró la bujía del cilindro N°1 para posterior insertar y ajustar el manómetro para realizar la medida. El proceso finalizó una vez que se da pequeños arranques y el manómetro cumple su función.

Número de Cilindro	Foto	Compresión (PSI)
Cilindro 1		120
Cilindro 2		120
Cilindro 3		120
Cilindro 4		125

**Figura 2.12** Compresión del motor.

El proceso se llevó a cabo en todos los cilindros, cabe destacar que este proceso se realizó cilindro tras cilindro, es decir se sacó una bujía se conectó el manómetro, se realizó la prueba y se volvió a instalar la bujía repitiendo el ciclo hasta verificar todos los cilindros. En la Figura 2.12 se evidencia los valores obtenidos en el motor.

Mediante esta prueba se pudo evidenciar que no existe ningún tipo de fuga, debido a que el sello hermético formado por los anillos del pistón se encontraba en excelentes condiciones. Así también se notó que la junta entre el bloque y la culata esta correctamente instalada y sobre todo el asiento de válvulas no presenta ningún inconveniente.

## 2.7 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL COMBUSTIBLE.

El sistema de alimentación de combustible cumple la función de entregar la cantidad necesaria de combustible limpio al motor para su buen funcionamiento. Por todo esto fue necesario revisar el sistema de alimentación de combustible del banco motor. Todo el proceso que se manejó para la verificación del sistema de alimentación de combustible prácticamente consistió en limpiar y reemplazar lo defectuoso.

### 2.7.1 VERIFICACIÓN DEL FILTRO DE COMBUSTIBLE.

El filtro de combustible se sitúa después de la bomba de suministro de combustibles, la función principal que tiene este componente fue evitar que pequeñas partículas o impurezas del combustible ingresen al motor para garantizar el buen funcionamiento del motor.



**Figura 2.13** Verificación del filtro de combustible.

El filtro de combustible al ser un componente no reutilizable se procedió a cambiar el filtro debido a la suciedad almacenada en este. Además, se instaló un sistema bypass con una válvula aliviadora de presión como lo indica la Figura 2.13.

Para lo cual fue necesario usar herramientas simples como son; un destornillador y un depósito para recoger el combustible que se quedó en el sistema.

### 2.7.2 VERIFICACIÓN DEL DEPÓSITO Y BOMBA DE COMBUSTIBLE.

Al ser un banco motor no disponía del depósito original de combustible, por lo que en su lugar disponía de un depósito adaptado a las condiciones. Hay que dejar en claro que ese depósito contaba con la instalación respectiva para la bomba de combustible.



**Figura 2.14** Depósito de combustible.

La Figura 2.14 indica el depósito de combustible instalado en el banco motor. Así también se procedió a limpiar toda impureza presente dentro del depósito de combustible para posteriormente introducir el combustible para realizar las pruebas de verificación de encendido del motor. La bomba de combustible es la encargada de hacer que todo el sistema reciba combustible, lo presurice en el riel para luego ser suministrado por los inyectores. La mayoría de estas bombas son eléctricas y se sumergen en el combustible. La presión de esta bomba fue de 2.8 Bar, presión suficiente para alimentar a todo el sistema y formar el espray necesario para que en banco motor encienda.



**Figura 2.15** Bomba de combustible.

Para esta investigación fue necesario reemplazar la bomba de combustible por una nueva, debido a que la bomba anterior del banco motor pudo estar defectuosa por el uso cotidiano. En la Figura 2.15 se presenta la medición de presión de la nueva bomba que es la correcta para alimentar el sistema.

### 2.7.3 VERIFICACIÓN DE INYECTORES.

La función principal de los inyectores es suministrar la cantidad necesaria de combustible en el tiempo adecuado para generar la combustión. Todo esto lo realizan con ayuda de la bomba de suministro de combustible.



**Figura 2.16** Verificación de los inyectores del banco motor.

Los inyectores del banco motor están representados por la Figura 2.16, ya que se tomó solo uno de los cuatro inyectores para la representación. Además, se apreció suciedad en los microfiltros, por lo que se procedió a realizar la limpieza por ultrasonido.



**Figura 2.17** Limpieza y prueba de inyectores por ultrasonido.

Como se puede apreciar en la Figura 2.17 a los inyectores se les aplicó una limpieza por

ultrasonido durante un lapso de 5 minutos para posteriormente verificar el estado en el banco de pruebas de inyectores, todo esto debido a que si primero se realizaba la prueba había la posibilidad de contaminar el líquido del banco de pruebas para inyectores.



**Figura 2.18** Pruebas realizadas en el banco de inyectores.

Una vez realizada la limpieza por ultrasonido se procedió a montar los inyectores en el banco de pruebas, este banco de pruebas es acoplado a un riel el cual almacena el líquido que simula al combustible. Este proceso simula la inyección mediante pulsos eléctricos hacia los inyectores activando y desactivando el suministro.

La primera prueba que se realizó a los inyectores fue la de pulverizado o espray la cual consistía en enviar la mayor cantidad de pulsos para verificar el estado de los inyectores.

La segunda prueba que se realizó fue la de fugas o goteos, en esta prueba no se envían pulsos, pero el combustible se mantiene presurizado en el riel verificando si existe algún tipo de fuga. Para finalizar se situó a prueba el flujo de inyección el cual consiste en determinar la entrega de combustible de cada inyector como lo muestra la Figura 2.18.

#### **2.7.4 VERIFICACIÓN DE MANGUERAS Y CAÑERÍAS.**

Las cañerías son componentes indispensables que transportan el combustible desde el tanque hasta el riel. Por todo esto fue necesario realizar una inspección en toda la línea de suministro, encontrándose pequeñas fugas producto del mal ajuste de las abrazaderas. Se procedió a ajustar correctamente y verificar el estado de ajuste de las demás abrazaderas para corregir cualquier desperfecto.



**Figura 2.19** Verificación de mangueras y cañerías.

En la Figura 2.19 se aprecia la instalación de las nuevas mangueras y el cambio de todas las abrazaderas para evitar fugas. Así también se realizó una limpieza a la cañería del riel donde se almacena y presuriza el combustible.

## **2.8 PRUEBAS CON DIFERENTES COMBUSTIBLES.**

Para el desarrollo de las pruebas de emisiones de gases fue necesario poner a punto el motor de combustión interna, instalar un convertidor catalítico acorde a la marca del banco motor que en este caso fue de la marca Chevrolet, modelo Aveo 1.6. Posteriormente se adquirió 4 galones de cada combustible (extra y ecopaís) almacenados en envases individuales ya que se utilizó un galón de cada combustible por día.



**Figura 2.20** Combustibles empleados en la investigación.

En la Figura 2.20 se muestra los dos combustibles almacenados individualmente para posteriormente ser expuestos al análisis de emisiones.

Para este tipo de investigación se utilizó gasolina extra de 87 octanos y mezcla E5 o denominada gasolina ecopaís que se encuentra entre 85 y 87 octanos, cumpliendo la normativa de calidad INEN. En la Tabla 2.4 se presenta las propiedades del combustible utilizado, en este caso se refiere a la gasolina extra que cumple los requerimientos aplicados por la normativa NTE INEN 935:2012.

**Tabla 2.4** Propiedades del combustible extra empleado.

Propiedades del combustible	Norma NTE INEN: 935:2012	Gasolina 87 octanos (extra)
Número de octanos	87 min.	88,3
T <sub>10</sub> – 10 %evap., °C	70 máx..	50
T <sub>50</sub> – 50 %evap., °C	77 - 121	99
T <sub>90</sub> – 90 %evap., °C	189 máx..	163
Residuos de destilación %	98 min	98,5
Presión de vapor de Reid, kPa	60 máx..	58,6
Corrosión a la lámina de cobre (3h at 50 °C)	1	1
Contenido de azufre	650 máx..	169
Contenido de gomas (mg/cm <sup>3</sup> )	3 máx..	1

**Fuente:** (Rocha & Zambrano, 2015, págs. 69-74).

De igual manera en la Tabla 2.5 se aprecia las propiedades del combustible ecopaís que fue aplicado para las pruebas de investigación.

**Tabla 2.5** Propiedades del combustible ecopaís empleado.

Propiedades del combustible	Norma NTE INEN: 935:2012	Gasolina con 5 % de Etanol
Número de octanos	87 min.	86,1
T <sub>10</sub> – 10 %evap., °C	70 máx..	56
T <sub>50</sub> – 50 %evap., °C	77 - 121	105
T <sub>90</sub> – 90 %evap., °C	189 máx..	167,5
Residuos de destilación %	98 min	98,5
Presión de vapor de Reid, kPa	60 máx..	50
Corrosión a la lámina de cobre (3h at 50 °C)	1	1
Contenido de azufre	650 máx..	190
Contenido de gomas (mg/cm <sup>3</sup> )	3 máx..	1

**Fuente:** (Urgilés & Erreyes, 2018, pág. 42).

La Tabla 2.6 representa las condiciones climáticas de la ciudad de Ibarra, donde fue realizada las pruebas de emisiones de gases contaminantes con diferentes combustibles. Ibarra presenta unas condiciones climáticas que corresponden al denominado clima templado seco-mediterráneo con temperaturas promedio de 19 °C a una presión atmosférica de 101 700 Pascales con un porcentaje de humedad del 63 % a una altura de 2 225 metros sobre el nivel del mar. Así también presenta vientos promedio de 7 kilómetros por hora.

**Tabla 2.6** Condiciones atmosféricas aplicadas para la investigación.

CIUDAD	CONDICIÓN ATMOSFÉRICA				
	Presión atm.	Temperatura	Humedad	Altura	Viento
Ibarra	101 700 Pa	19 °C	63 %	2 225 msnm	7 km/h

Las mediciones se realizaron cuando el banco motor alcanzó la temperatura necesaria de funcionamiento de 87 °C a 92°C aproximadamente. Esta temperatura debía ser controlada debido a que el convertidor catalítico empieza a trabajar cuando el motor está en su temperatura óptima.

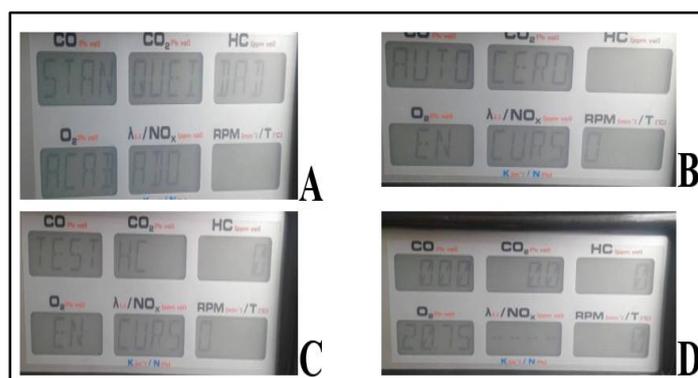
Para cada tipo de combustible se ejecutaron tres pruebas diarias durante 4 días. Empezando el martes 20 de noviembre de 2018 utilizando gasolina extra hasta el viernes 23 de septiembre de 2018. Para las pruebas con gasolina ecopaís de igual manera se realizó tres pruebas diarias durante 4 días, empezando así el martes 27 de noviembre de 2018 y culminando las pruebas el viernes 30 de noviembre de 2018. Para la realización de las pruebas se estableció un horario fijo para tomar cada dato, este horario aseguró igualdad de condiciones al momento de realizar las pruebas como lo establece la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7** Horario establecido para la toma de datos de emisiones.

Horario	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
11:00 – 12:00 am	3 datos a ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	3 datos a ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	3 datos a ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	3 datos a ralenti y 3 datos a 2 500 rpm
14:00 – 15:00 pm	3 datos a ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	3 datos a ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	3 datos a ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	3 datos a ralenti y 3 datos a 2 500 rpm
16:00 – 17:00 pm	3 datos a ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	3 datos a ralenti y 3 datos a 2500 rpm	3 datos a ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	3 datos a ralenti y 3 datos a 2 500 rpm

Para los dos combustibles se estableció el mismo horario, y los datos obtenidos fueron tomados de las diferentes mediciones. Se realizó la toma de datos en bajas revoluciones o ralentí y en altas revoluciones establecidas en aproximadamente 2 500 rpm. Para esto fue necesario establecer un tiempo para que los valores se estabilicen, este tiempo fue aproximadamente entre 45 y 60 segundos para cada una de las pruebas.

Con la ayuda del analizador de gases Brain Bee se realizó mediciones de cuatro gases producidos por la combustión, entre estos tenemos; monóxido de carbono CO en porcentaje de volumen (% vol.), CO<sub>2</sub> dióxido de carbono de igual manera en porcentaje de volumen (% vol.), hidrocarburos no combustionados HC medidos en partes por millón (ppm), oxígeno O<sub>2</sub> en porcentaje de volumen (% vol.) y adicional a esto se midió el factor lambda ( $\lambda$ ). Antes de iniciar cada una de las pruebas fue indispensable calibrar el equipo de medición que consistió en seguir los pasos que el equipo indicaba.



**Figura 2.21** Calibración del analizador de gases.

El analizador de gases debió pasar por un periodo de calentamiento y calibración para poder usarlo como lo indica la Figura 2.21. Este proceso consistía realizar una prueba de estanqueidad dentro del sistema, debido a que el analizador de gases funciona con un vacío dentro de su sistema (A). Continuando con el proceso el equipo debía encenderse automáticamente para poder tomar los valores de medición (B), una vez el equipo encendido se procedió a realizar una prueba de hidrocarburos en el ambiente lo que evitó datos erróneos por exceso de gases no combustionados en el ambiente (C). Para culminar con el periodo de calibración y calentamiento el equipo instauró los valores para poder trabajar (D).

Para la realización de las pruebas de medición se verificó que el motor alcance la temperatura óptima de trabajo, continuando con el proceso de medición se conectó el cuenta revoluciones a la batería del motor, alimentado por 12 volts para conocer el número de revoluciones en

ese instante. Así también se conectó el captor magnético (sensor de detonación) para verificar el mismo número de revoluciones. Posteriormente se alistó y limpió la sonda para ser introducida en el tubo de escape verificando que estaba asegurada en el tubo durante cada una de las pruebas de medición. Para tomar las medidas tanto en ralentí como a 2 500 rpm aproximadamente, se procedió a dejar el motor encendido por un lapso de 10 minutos hasta que se estabilice, todo esto relacionado con la temperatura del motor. Una vez establecido el régimen de giro ralentí se procedió a tomar los datos correspondientes a la hora indicada anteriormente. Para las pruebas de aproximadamente 2 500 rpm se aceleró progresivamente elevando el número de revoluciones y manteniéndolas estables durante 45 a 60 segundos, debido a que los valores de los gases debían estabilizarse para ser tomados como datos. Una vez culminada la prueba se apagó el motor y se repitió el procedimiento el número de veces requerido durante los horarios y días establecidos.



**Figura 2.22** Banco motor conectado a los equipos de medición.

La Figura 2.22 representa el banco motor conectado al analizador de gases Brain Bee y al cuenta revoluciones funcionando a temperatura óptima de trabajo para posteriormente tomar los datos adquiridos con los diferentes combustibles.

En la Tabla 2.8 se aprecia los valores obtenidos de las diferentes mediciones utilizando gasolina extra y mezcla E5 (ecopaís) al mismo régimen de giro (ralentí).

**Tabla 2.8** Factores de emisión con gasolina extra y mezcla E5 (ecopaís) a ralentí.

Extra	CO (% vol.)	CO <sub>2</sub> (% vol.)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (% vol.)	$\lambda$
Ralentí	0,112	15,125	64,75	0,367	1,008
Mezcla E5 (ecopaís)	CO (% vol.)	CO <sub>2</sub> (% vol.)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (% vol.)	$\lambda$
Ralentí	0,062	15,489	59,500	0,185	1,004

En la Tabla 2.9 se aprecia los valores obtenidos de las diferentes mediciones utilizando gasolina extra y mezcla E5 (ecopaís) al mismo régimen de giro establecido en aproximadamente 2 500 rpm.

**Tabla 2.9** Factores de emisión con gasolina extra y mezcla E5 (ecopaís) a un promedio de 2 500 rpm.

<b>Extra</b>	<b>CO (% vol.)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (% vol.)</b>	<b>HC (ppm)</b>	<b>O<sub>2</sub> (% vol.)</b>	<b><math>\lambda</math></b>
2 500 rpm	0,183	15,183	107,000	0,374	1,009
<b>Mezcla E5 (ecopaís)</b>	<b>CO (% vol.)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (% vol.)</b>	<b>HC (ppm)</b>	<b>O<sub>2</sub> (% vol.)</b>	<b><math>\lambda</math></b>
2 500 rpm	0,125	15,367	72,389	0,272	1,007

## CAPÍTULO III

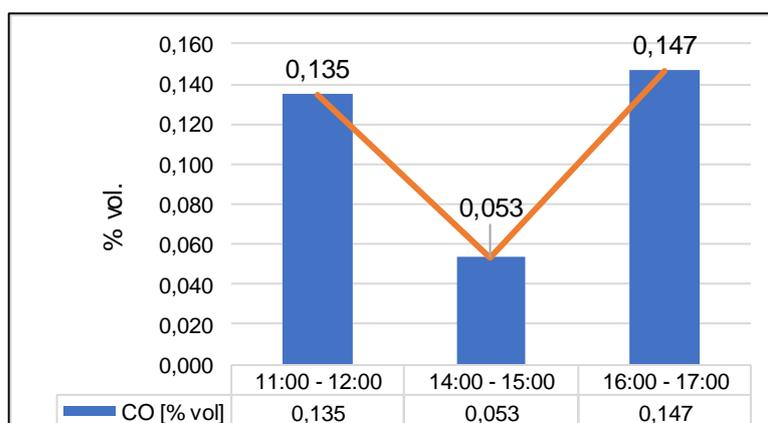
### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 3.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS UTILIZANDO GASOLINA EXTRA A RALENTÍ.

Realizadas las pruebas de emisiones de gases contaminantes con gasolina extra a ralentí se obtuvo los datos necesarios para conseguir resultados de la presente investigación.

##### 3.1.1 ANÁLISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) UTILIZANDO GASOLINA EXTRA.

Estos valores se obtuvieron de las pruebas realizadas desde el 20 de noviembre de 2018 hasta el 23 de noviembre de 2018.



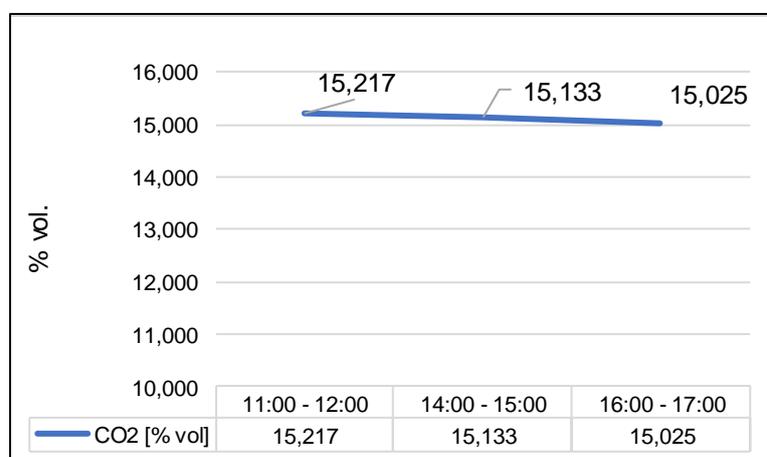
**Figura 3.1** Valores promedio de (CO) a ralentí usando gasolina extra.

La Figura 3.1 presenta los datos obtenidos de monóxido de carbono utilizando gasolina extra a ralentí. Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas. Como resultado se obtiene 0,135 % vol de CO para el horario comprendido entre las 11:00 horas a 12:00 horas. Para el horario establecido entre las 14:00 horas a 15:00 horas el valor de CO pertenece a 0,053 % vol. Así también el horario de 16:00 horas a 17:00 horas presenta un valor de 0,147 % vol de CO. El monóxido de carbono se produce cuando existe escasa cantidad de oxígeno en la mezcla, debido a este factor (a mayor CO, menor O<sub>2</sub>) se puede relacionar el aumento de 0,147 % vol

de CO comparado con 0,421 % vol de O<sub>2</sub> establecido en el horario de 16:00 a 17:00 horas debido a que en este horario el oxígeno está saturado.

### 3.1.2 ANÁLISIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) UTILIZANDO GASOLINA EXTRA.

Los datos obtenidos corresponden a los mismos horarios establecidos, y de igual manera con el mismo régimen de giro utilizando gasolina extra.



**Figura 3.2** Valores promedio de (CO<sub>2</sub>) a ralentí usando gasolina extra.

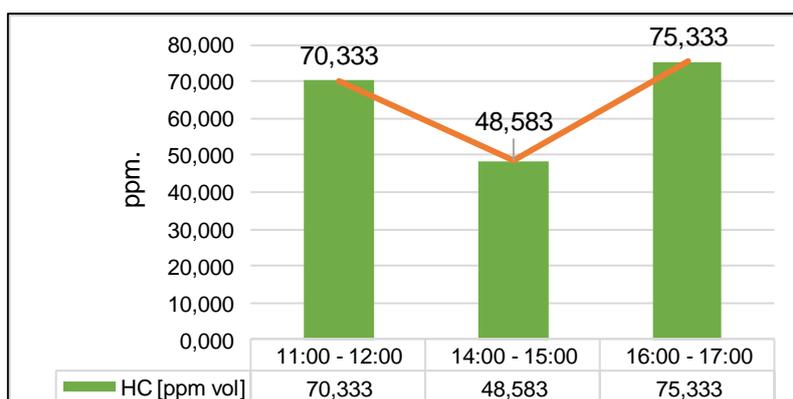
La Figura 3.2 presenta los datos obtenidos de dióxido de carbono utilizando gasolina extra a ralentí. Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas.

Como resultado se obtiene 15,217 % vol de CO<sub>2</sub> para el horario establecido entre 11:00 horas a 12:00 horas. Para el horario de 14:00 horas a 15:00 horas el valor de CO<sub>2</sub> es 15,133% vol. Para el horario de 16:00 horas a 17:00 horas presenta un valor de 15,025 % vol de CO<sub>2</sub>. La semejanza que tienen estos valores corresponde a que el porcentaje de CO<sub>2</sub> presente en la combustión está vinculada con la cantidad de oxígeno en la mezcla, indicando una buena combustión.

El dióxido de carbono se produce cuando existe escasa cantidad de oxígeno en la mezcla, debido a este factor (a mayor CO<sub>2</sub>, menor O<sub>2</sub>) se puede relacionar el aumento de 15,217 % vol de CO<sub>2</sub> comparado con 0,263 % vol de O<sub>2</sub> establecido en el horario de 11:00 a 12:00 horas respectivamente.

### 3.1.3 ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS (HC) UTILIZANDO GASOLINA EXTRA.

Los datos obtenidos de hidrocarburos no combustionados corresponden a los mismos horarios establecidos, y de igual manera con el mismo régimen de giro utilizando gasolina extra.



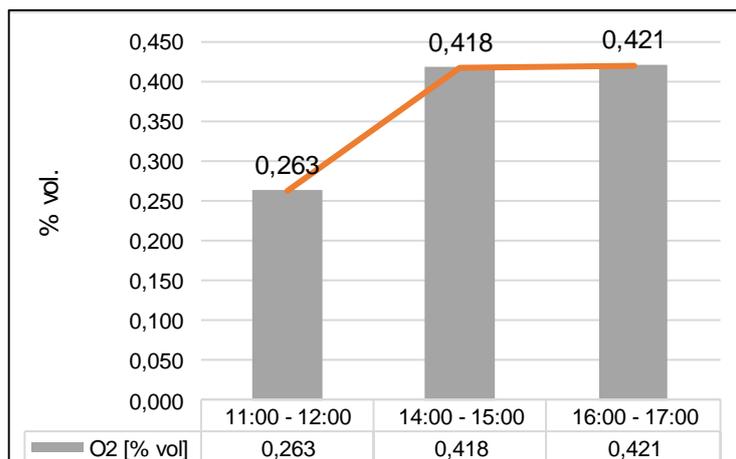
**Figura 3.3** Valores promedio de (HC) a ralentí usando gasolina extra.

Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas. Como resultado se obtiene 70,33 partículas por millón (ppm) de HC para el horario establecido entre 11:00 horas a 12:00 horas. Para el horario de 14:00 horas a 15:00 horas el valor de HC es de 48,583 partículas por millón (ppm). Para el horario de 16:00 horas a 17:00 horas presenta un valor de 75,333 partículas por millón (ppm) de HC, siendo este horario el que más altos niveles de hidrocarburos no combustionados presenta como lo indica la Figura 3.3.

Los hidrocarburos se producen cuando existe una excesiva cantidad de oxígeno en la mezcla, debido a este factor (a mayor HC, mayor O<sub>2</sub>) se puede relacionar el aumento de 75,333 partículas por millón (ppm) de HC comparado con 0,421 % vol de O<sub>2</sub> establecido en el horario de 16:00 a 17:00 horas debido a la saturación del aire en el horario mencionado.

### 3.1.4 ANÁLISIS DE OXÍGENO (O<sub>2</sub>) PRESENTES EN LOS GASES DE ESCAPE UTILIZANDO GASOLINA EXTRA.

A continuación, se presentan los datos de oxígeno obtenidos durante las pruebas a ralentí utilizando gasolina extra.



**Figura 3.4** Valores promedio de ( $O_2$ ) a ralentí usando gasolina extra.

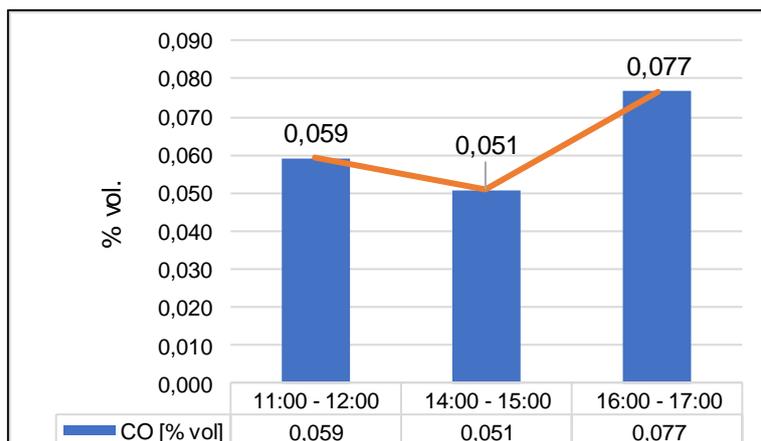
Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas. Como resultado se obtiene 0,263 % vol de  $O_2$  para el horario comprendido entre las 11:00 horas a 12:00 horas. Para el horario establecido entre las 14:00 horas a 15:00 horas el valor de  $O_2$  es 0,418 % vol. El horario de 16:00 horas a 17:00 horas presenta un valor de 0,421 % vol de  $O_2$  siendo este el valor más alto respecto a los demás, pero no existe gran diferencia con el valor obtenido del horario de 14:00 horas a 15:00 horas como lo indica la Figura 3.4. Los valores resultantes de oxígeno están sujetos a comparación con cada uno de los gases contaminantes; monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarburos con el mismo régimen de giro y con su horario correspondiente.

### **3.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS UTILIZANDO MEZCLA E5 A RALENTÍ.**

Realizadas las pruebas de emisiones de gases contaminantes con mezcla E5 a ralentí se obtuvo los datos necesarios para la investigación.

#### **3.2.1 ANÁLISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) UTILIZANDO MEZCLA E5.**

Estos valores se obtuvieron de las pruebas realizadas desde el 27 de noviembre de 2018 hasta el 30 de noviembre de 2018.

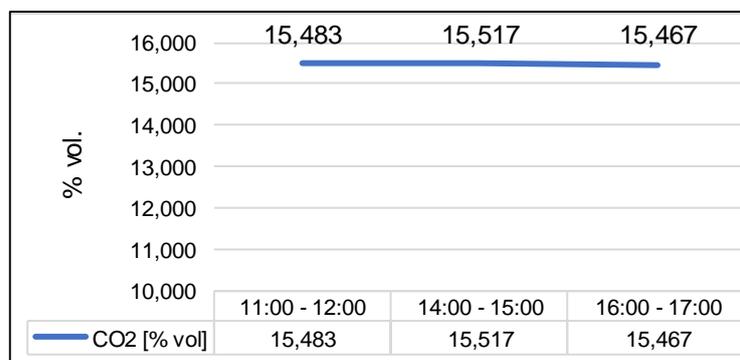


**Figura 3.5** Valores promedio de (CO) a ralentí usando mezcla E5.

La Figura 3.5 presenta los datos obtenidos de monóxido de carbono utilizando mezcla E5 a ralentí. Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes. Como resultado se obtiene 0,059 % vol de CO para el horario comprendido entre las 11:00 a 12:00 horas. Para el horario establecido entre las 14:00 a 15:00 horas el valor de CO es 0,051 % vol. Así también el horario de 16:00 a 17:00 horas presenta un valor de 0,077 % vol de CO. El monóxido de carbono se produce cuando existe escasa cantidad de oxígeno en la mezcla, debido a este factor (a mayor CO, menor O<sub>2</sub>) se puede relacionar el aumento de 0,077 % vol de CO comparado con 0,202% vol de O<sub>2</sub> establecido en el horario de 16:00 a 17:00 horas debido a la saturación del aire ambiental.

### 3.2.2 ANÁLISIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) UTILIZANDO MEZCLA E5.

Los datos obtenidos corresponden a los mismos horarios establecidos, y de igual manera con el mismo régimen de giro utilizando mezcla E5.

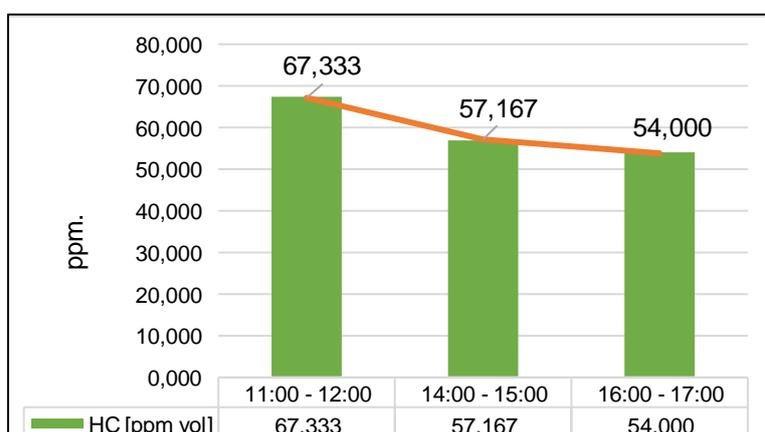


**Figura 3.6** Valores promedio de (CO<sub>2</sub>) a ralentí usando mezcla E5.

La Figura 3.6 presenta los datos obtenidos de dióxido de carbono utilizando mezcla E5 a ralentí. Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas. Como resultado se obtiene 15,483 % vol de CO<sub>2</sub> para el horario establecido entre 11:00 horas a 12:00 horas. Para el horario de 14:00 horas a 15:00 horas el valor de CO<sub>2</sub> es 15,517 % vol. Para el horario de 16:00 horas a 17:00 horas presenta un valor de 15,467 % vol de CO<sub>2</sub>. La semejanza que tienen estos valores corresponde a que el porcentaje de CO<sub>2</sub> presente en la combustión está vinculada verdaderamente con la cantidad de oxígeno en la mezcla, indicando una buena combustión. El dióxido de carbono se produce cuando existe escasa cantidad de oxígeno en la mezcla, debido a este factor (a mayor CO<sub>2</sub>, menor O<sub>2</sub>) se puede relacionar el aumento de 15,517 % vol de CO<sub>2</sub> comparado con 0,165 % vol de O<sub>2</sub> establecido en el horario de 14:00 a 15:00 horas.

### 3.2.3 ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS (HC) UTILIZANDO MEZCLA E5.

Los datos obtenidos de hidrocarburos no combustionados corresponden a los mismos horarios establecidos, y de igual manera con el mismo régimen de giro a ralentí utilizando mezcla E5.



**Figura 3.7** Valores promedio de (HC) a ralentí usando mezcla E5.

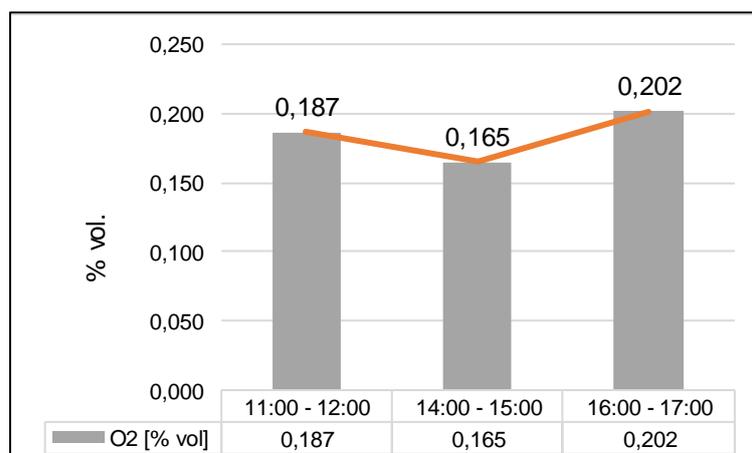
Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas. Como resultado se obtiene 67,333 partículas por millón (ppm) de HC para el horario establecido entre 11:00 horas a 12:00 horas. Para el horario de 14:00 horas a 15:00 horas el valor de HC es de 57,167 partículas por millón (ppm). Para el

horario de 16:00 horas a 17:00 horas presenta un valor de 54,000 partículas por millón (ppm) de HC, siendo el horario establecido entre las 11:00 horas a 12:00 horas el que alcanza mayor nivel de hidrocarburos no combustionados como lo indica la Figura 3.7.

Los hidrocarburos se producen cuando existe una excesiva cantidad de oxígeno en la mezcla, debido a este factor (a mayor HC, mayor O<sub>2</sub>) se puede relacionar el aumento de 67,333 partículas por millón (ppm) de HC comparado con 0,187 % vol de O<sub>2</sub> establecido en el horario de 11:00 a 12:00 horas.

### 3.2.4 ANÁLISIS DE OXÍGENO (O<sub>2</sub>) PRESENTES EN LOS GASES DE ESCAPE UTILIZANDO MEZCLA E5.

A continuación, se presentan los datos de oxígeno obtenidos durante las pruebas a ralentí utilizando mezcla E5.



**Figura 3.8** Valores promedio de (O<sub>2</sub>) a ralentí usando mezcla E5.

Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas. Como resultado se obtiene 0,187 % vol de O<sub>2</sub> para el horario comprendido entre las 11:00 horas a 12:00 horas. Para el horario establecido entre las 14:00 horas a 15:00 horas el valor de O<sub>2</sub> es 0,165 % vol. El horario de 16:00 horas a 17:00 horas presenta un valor de 0,202 % vol de O<sub>2</sub> siendo este el valor más alto respecto a los demás, pero no existe gran diferencia con el valor obtenido del horario de 11:00 horas a 12:00 horas como se muestra en la Figura 3.8.

Los valores resultantes de oxígeno están sujetos a comparación con cada uno de los gases

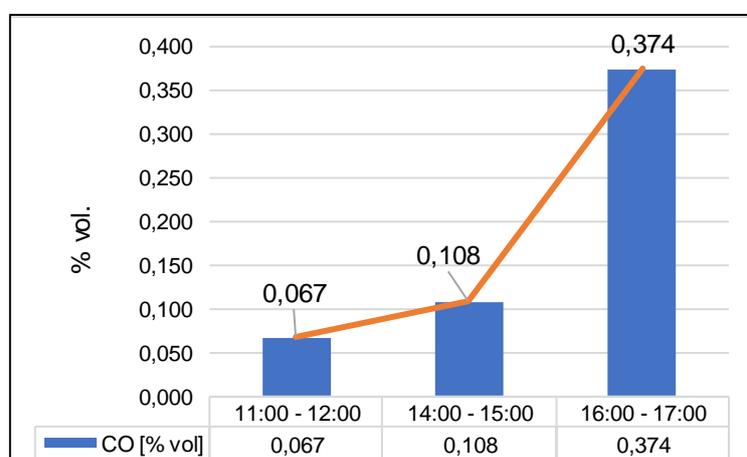
contaminantes; monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarburos con el mismo régimen de giro y con su horario correspondiente.

### 3.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS UTILIZANDO GASOLINA EXTRA EN UN PROMEDIO DE 2 500 RPM.

Realizadas las pruebas de emisiones de gases contaminantes con gasolina extra en un promedio de 2 500 rpm se obtuvo los datos necesarios para la investigación.

#### 3.3.1 ANÁLISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) UTILIZANDO GASOLINA EXTRA.

Estos valores se obtuvieron de las pruebas realizadas desde el 20 de noviembre de 2018 hasta el 23 de noviembre de 2018.



**Figura 3.9** Valores promedio de (CO) en un promedio de 2 500 rpm usando gasolina extra.

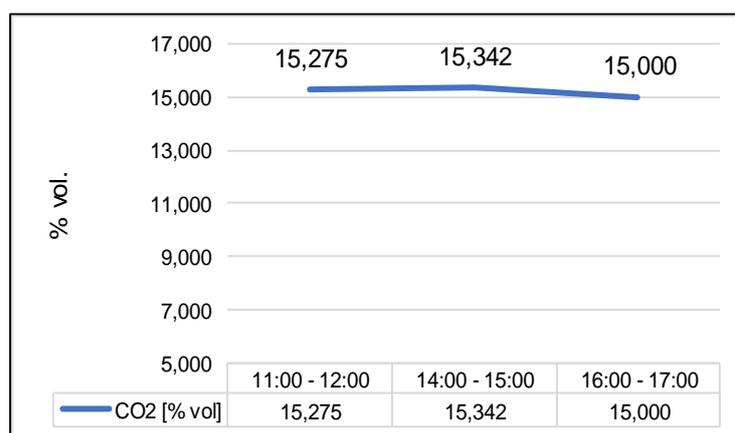
La Figura 3.9 presenta los datos obtenidos de monóxido de carbono utilizando gasolina extra en un promedio de 2 500 rpm. Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas. Como resultado se obtiene 0,067 % vol de CO para el horario comprendido entre las 11:00 horas a 12:00 horas. Para el horario establecido entre las 14:00 horas a 15:00 horas el valor de CO pertenece a 0,108 % vol. Así también el horario de 16:00 horas a 17:00 horas presenta un valor de 0,374 %

vol de CO siendo este el valor más alto respecto a los demás.

El monóxido de carbono se produce cuando existe escasa cantidad de oxígeno en la mezcla, debido a este factor (a mayor CO, menor O<sub>2</sub>) se puede relacionar el aumento de 0,374 % vol de CO comparado con 0,202 % vol de O<sub>2</sub> establecido en el horario de 16:00 a 17:00 horas debido a la saturación del aire en este horario.

### 3.3.2 ANÁLISIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) UTILIZANDO GASOLINA EXTRA.

Los datos obtenidos corresponden a los mismos horarios establecidos, y de igual manera con el mismo régimen de giro utilizando gasolina extra.



**Figura 3.10** Valores promedio de (CO<sub>2</sub>) en un promedio de 2 500 rpm usando gasolina extra.

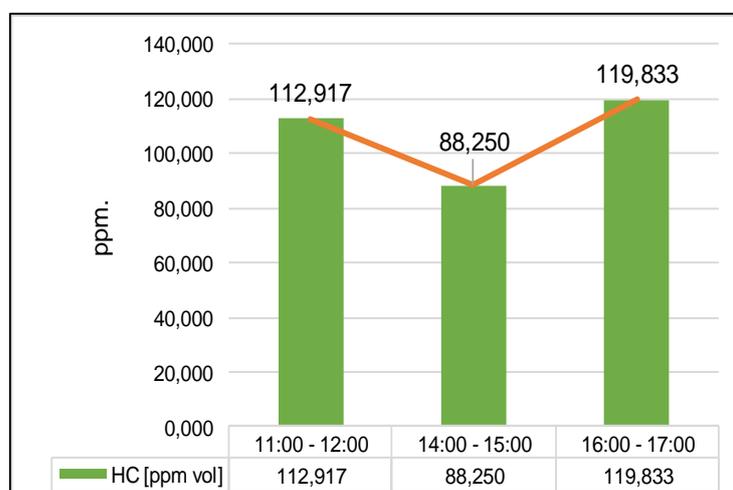
La Figura 3.10 presenta los datos obtenidos de dióxido de carbono utilizando gasolina extra en un promedio de 2 500 rpm. Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas. Como resultado se obtiene 15,275 % vol de CO<sub>2</sub> para el horario establecido entre 11:00 horas a 12:00 horas. Para el horario de 14:00 horas a 15:00 horas el valor de CO<sub>2</sub> es 15,342 % vol. Para el horario de 16:00 horas a 17:00 horas presenta un valor de 15,000 % vol de CO<sub>2</sub>. La semejanza que tienen estos valores corresponde a que el porcentaje de CO<sub>2</sub> presente en la combustión está vinculada con la cantidad de oxígeno en la mezcla, indicando una buena combustión.

El dióxido de carbono se produce cuando existe escasa cantidad de oxígeno en la mezcla, debido a este factor (a mayor CO<sub>2</sub>, menor O<sub>2</sub>) se puede relacionar el aumento de 15,342 %

vol de CO<sub>2</sub> comparado con 0,217 % vol de O<sub>2</sub> establecido en el horario de 14:00 a 15:00 horas.

### 3.3.3 ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS (HC) UTILIZANDO GASOLINA EXTRA.

Los datos obtenidos de hidrocarburos no combustionados corresponden a los mismos horarios establecidos, y de igual manera con el mismo régimen de giro utilizando gasolina extra.



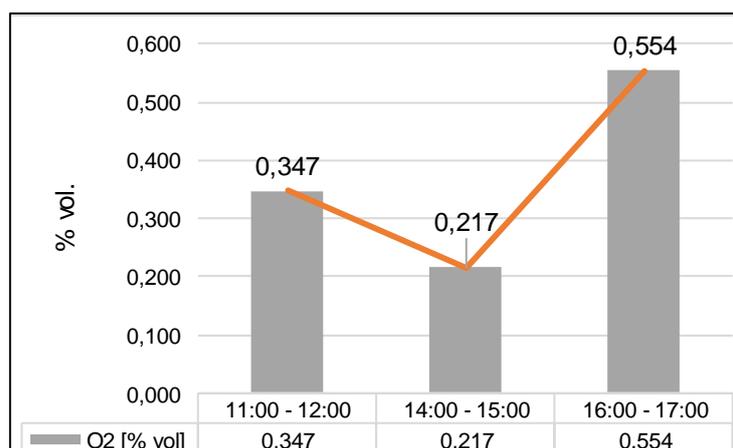
**Figura 3.11** Valores promedio de (HC) en un promedio de 2 500 rpm usando gasolina extra.

Durante la prueba de medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas. Como resultado se obtiene 112,917 partículas por millón (ppm) de HC para el horario establecido entre 11:00 horas a 12:00 horas. Para el horario de 14:00 horas a 15:00 horas el valor de HC es de 88,250 partículas por millón (ppm).

Para el horario de 16:00 horas a 17:00 horas presenta un valor de 119,833 partículas por millón (ppm) de HC, siendo este horario el que más altos niveles de hidrocarburos no combustionados presenta como lo indica la Figura 3.11. Los hidrocarburos se producen cuando existe una excesiva cantidad de oxígeno en la mezcla, debido a este factor (a mayor HC, mayor O<sub>2</sub>) se puede relacionar el aumento de 119,833 partículas por millón (ppm) de HC comparado con 0,554 % vol de O<sub>2</sub> establecido en el horario de 16:00 horas a 17:00 horas debido a la saturación del aire en este horario.

### 3.3.4 ANÁLISIS DE OXÍGENO (O<sub>2</sub>) PRESENTES EN LOS GASES DE ESCAPE UTILIZANDO GASOLINA EXTRA.

A continuación, se presentan los datos de oxígeno obtenidos durante las pruebas en un promedio de 2 500 rpm utilizando gasolina extra.



**Figura 3.12** Valores promedio de (O<sub>2</sub>) en un promedio de 2 500 rpm usando gasolina extra.

Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas. Como resultado se obtiene 0,347 % vol de O<sub>2</sub> para el horario comprendido entre las 11:00 a 12:00 horas. Para el horario establecido entre las 14:00 a 15:00 horas el valor de O<sub>2</sub> es 0,217 % vol. El horario de 16:00 a 17:00 horas presenta un valor de 0,554 % vol de O<sub>2</sub> siendo este el valor más alto respecto a los demás como lo indica la Figura 3.12.

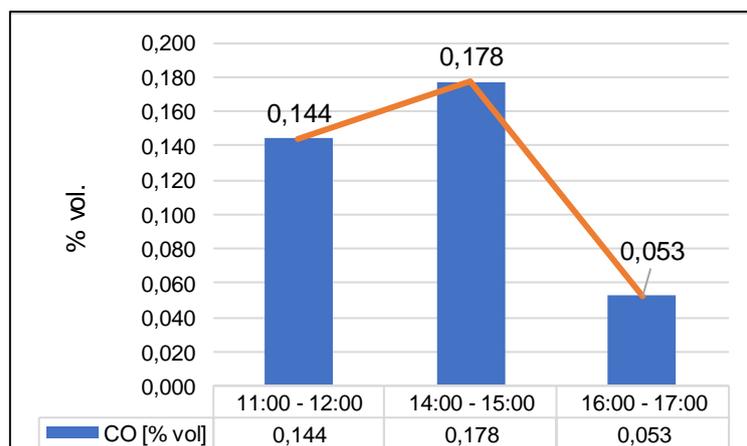
Los valores resultantes de oxígeno están sujetos a comparación con cada uno de los gases contaminantes; monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarburos con el mismo régimen de giro y con su horario correspondiente.

### 3.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS UTILIZANDO MEZCLA E5 EN UN PROMEDIO DE 2 500 RPM.

Realizadas las pruebas de emisiones de gases contaminantes con mezcla E5 en un promedio de 2 500 rpm se obtuvo los datos necesarios para la investigación.

### 3.4.1 ANÁLISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) UTILIZANDO MEZCLA E5.

Estos valores se obtuvieron de las pruebas realizadas desde el 27 de noviembre de 2018 hasta el 30 de noviembre de 2018.



**Figura 3.13** Valores promedio de (CO) en un promedio de 2 500 rpm usando mezcla E5.

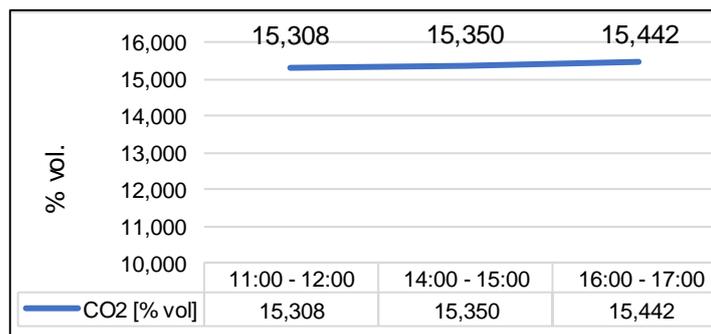
La Figura 3.13 presenta los datos obtenidos de monóxido de carbono utilizando mezcla E5 en un promedio de 2 500 rpm. Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas.

Como resultado se obtiene 0,144 % vol de CO para el horario comprendido entre las 11:00 horas a 12:00 horas. Para el horario establecido entre las 14:00 horas a 15:00 horas el valor de CO es 0,178 % vol. Así también el horario de 16:00 horas a 17:00 horas presenta un valor de 0,053 % vol de CO.

El monóxido de carbono se produce cuando existe escasa cantidad de oxígeno en la mezcla, debido a este factor (a mayor CO, menor O<sub>2</sub>) se puede relacionar el aumento de 0,178 % vol de CO comparado con 0,240 % vol de O<sub>2</sub> establecido en el horario de 14:00 horas a 15:00 horas.

### 3.4.2 ANÁLISIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) UTILIZANDO MEZCLA E5.

Los datos obtenidos corresponden a los mismos horarios establecidos, y de igual manera con el mismo régimen de giro utilizando mezcla E5.

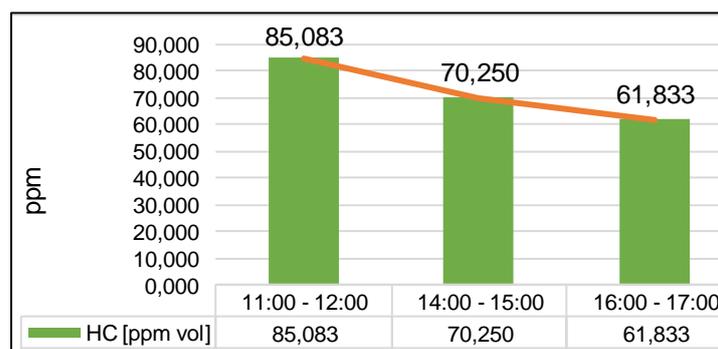


**Figura 3.14** Valores promedio de ( $\text{CO}_2$ ) en un promedio de 2 500 rpm con mezcla E5.

La Figura 3.14 presenta los datos obtenidos de dióxido de carbono utilizando mezcla E5 en un promedio de 2 500 rpm. Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas. Como resultado se obtiene 15,308 % vol de  $\text{CO}_2$  para el horario establecido entre 11:00 horas a 12:00 horas. Para el horario de 14:00 horas a 15:00 horas el valor de  $\text{CO}_2$  es 15,350 % vol. Para el horario de 16:00 horas a 17:00 horas presenta un valor de 15,442 % vol de  $\text{CO}_2$ . La semejanza que tienen estos valores corresponde a que el porcentaje de  $\text{CO}_2$  presente en la combustión está vinculada verdaderamente con la cantidad de oxígeno en la mezcla, indicando una buena combustión. El dióxido de carbono se produce cuando existe escasa cantidad de oxígeno en la mezcla, debido a este factor (a mayor  $\text{CO}_2$ , menor  $\text{O}_2$ ) se puede relacionar el aumento de 15,442 % vol de  $\text{CO}_2$  comparado con 0,312 % vol de  $\text{O}_2$  establecido en el horario de 16:00 horas a 17:00 horas debido a la saturación del aire en el ambiente en este horario.

### 3.4.3 ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS (HC) UTILIZANDO MEZCLA E5.

Los datos obtenidos de hidrocarburos corresponden a los mismo horarios determinados, y a un régimen de giro establecido en un promedio de 2 500 rpm utilizando mezcla E5.



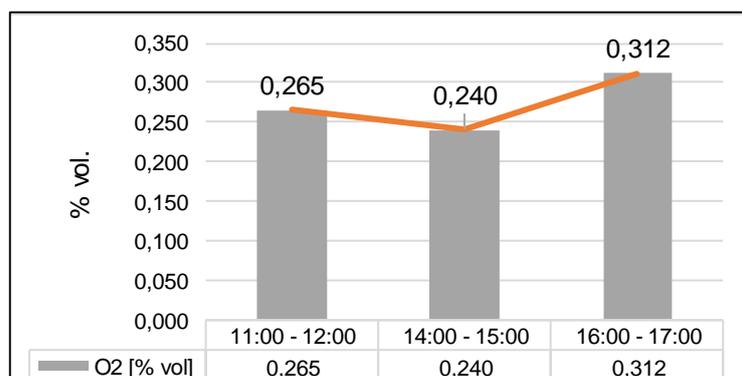
**Figura 3.15** Valores promedio de (HC) en un promedio de 2 500 rpm usando mezcla E5

Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas. Como resultado se obtiene 85,083 partículas por millón (ppm) de HC para el horario establecido entre 11:00 horas a 12:00 horas. Para el horario de 14:00 horas a 15:00 horas el valor de HC es de 70,250 partículas por millón (ppm). Para el horario de 16:00 horas a 17:00 horas presenta un valor de 61,8333 partículas por millón (ppm) de HC, siendo el horario establecido entre las 11:00 horas a 12:00 horas el que alcanza mayor nivel de hidrocarburos no combustionados como lo indica la Figura 3.15.

Los hidrocarburos se producen cuando existe una excesiva cantidad de oxígeno en la mezcla, debido a este factor (a mayor HC, mayor O<sub>2</sub>) se puede relacionar el aumento de 85,083 partículas por millón (ppm) de HC comparado con 0,265 % vol de O<sub>2</sub> establecido en el horario de 11:00 a 12:00 horas.

#### 3.4.4 ANÁLISIS DE OXÍGENO (O<sub>2</sub>) PRESENTES EN LOS GASES DE ESCAPE UTILIZANDO MEZCLA E5.

A continuación, se presentan los datos de oxígeno obtenidos durante las pruebas en un promedio de 2 500 rpm utilizando mezcla E5.



**Figura 3.16** Valores promedio de (O<sub>2</sub>) en un promedio de 2 500 rpm utilizando mezcla E5.

Durante la medición de gases de escape se obtuvo los valores promedio correspondientes durante los cuatro días de pruebas. Como resultado se obtiene 0,265 % vol de O<sub>2</sub> para el horario comprendido entre las 11:00 horas a 12:00 horas. Para el horario establecido entre las 14:00 horas a 15:00 horas el valor de O<sub>2</sub> es 0,240 % vol. El horario de 16:00 horas a 17:00 horas presenta un valor de 0,312 % vol de O<sub>2</sub> siendo este el valor más alto respecto a los demás como se muestra en la Figura 3.16.

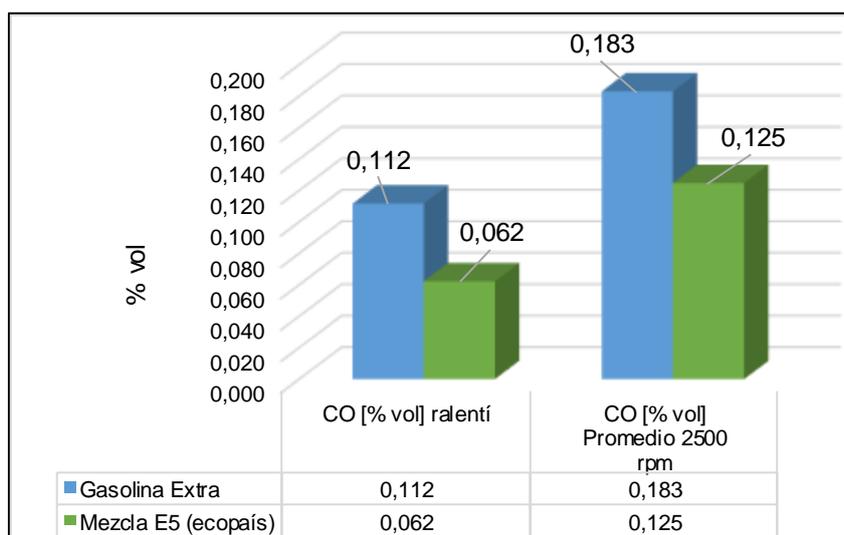
Los valores resultantes de oxígeno están sujetos a comparación con cada uno de los gases contaminantes; monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarburos con el mismo régimen de giro y con su horario correspondiente.

### 3.5 ANÁLISIS DE TODO EL COMPORTAMIENTO DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES CON GASOLINA EXTRA Y MEZCLA E5 A DIFERENTE RÉGIMEN DE GIRO.

Los valores fueron tomados durante las diferentes horas establecidas con gasolina extra y mezcla E5 o denominada gasolina ecopaís.

#### 3.5.1 ANÁLISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO).

Para el análisis del monóxido de carbono (CO) se tomaron todos los valores de las pruebas con gasolina extra y mezcla E5 a ralentí a un régimen promedio de giro de 2 500 rpm. A continuación, se presentan los datos obtenidos de monóxido de carbono (CO) con diferentes combustibles y a diferente régimen de giro.



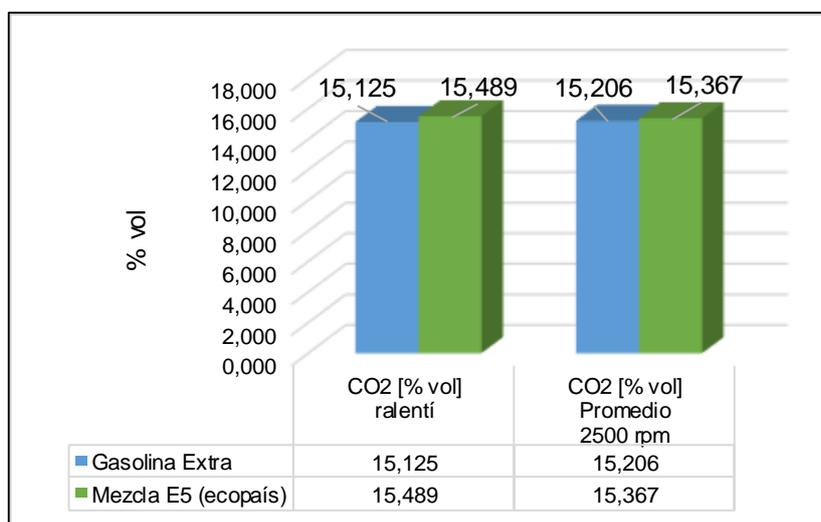
**Figura 3.17** Datos totales obtenidos de (CO).

La Figura 3.17 muestra los datos obtenidos de monóxido de carbono utilizando gasolina extra y mezcla E5 a diferente régimen de giro. En el gráfico de la izquierda, para ralentí

utilizando gasolina extra se obtuvo como resultado 0,112 % vol de CO y para el mismo régimen de giro utilizando mezcla E5 se obtuvo como resultado 0,062 % vol de CO, al final se tuvo como resultado una disminución del 44,64 % del nivel total de CO utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra a ralentí. De la misma manera en el gráfico de la derecha, para un régimen promedio de 2 500 rpm se obtuvo 0,183 % vol de CO utilizando gasolina extra y 0,125 % vol de CO utilizando mezcla E5, como resultado se alcanzó a disminuir un 31,69 % del nivel total de CO utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra al régimen de giro antes mencionado.

### 3.5.2 ANÁLISIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>).

Para el análisis de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se tomaron todos los valores de las pruebas con gasolina extra y mezcla E5 a ralentí y a un régimen promedio de giro de 2 500 rpm. A continuación, se presentan los datos obtenidos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) con diferentes combustibles y a diferente régimen de giro.



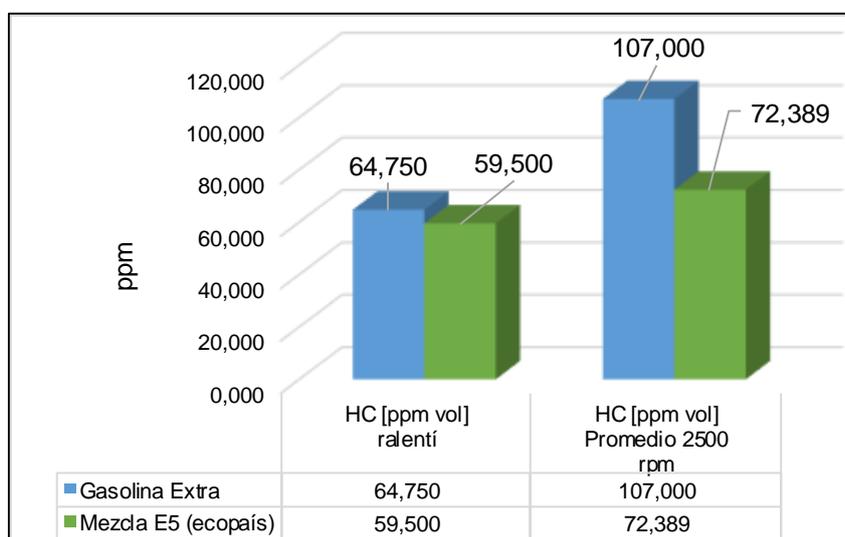
**Figura 3.18** Datos totales obtenidos de (CO<sub>2</sub>).

La Figura 3.18 muestra los datos obtenidos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) utilizando gasolina extra y mezcla E5 a diferente régimen de giro. En el gráfico de la izquierda, correspondiente a ralentí utilizando gasolina extra se obtuvo como resultado 15,125 % vol de CO<sub>2</sub> y para el mismo régimen de giro utilizando mezcla E5 se obtuvo como resultado 15,489 % vol de

CO<sub>2</sub>, al final se tuvo como resultado un aumento del 2,41 % del nivel total de CO<sub>2</sub> utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra a ralentí. De la misma manera en el gráfico de la derecha, correspondiente a un régimen promedio de 2 500 rpm se obtuvo 15,206 % vol de CO<sub>2</sub> utilizando gasolina extra y 15,367 % vol de CO<sub>2</sub> utilizando mezcla E5, como resultado aumentó un 1,06 % del nivel total de CO<sub>2</sub> utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra al régimen promedio de 2 500 rpm. El aumento del porcentaje de CO<sub>2</sub> utilizando gasolina ecopaís se debe a que el CO<sub>2</sub> presente en la combustión está vinculada precisamente con la cantidad de oxígeno en la mezcla, lo que se puede considerar un factor despreciable para la investigación.

### 3.5.3 ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS (HC).

Para el análisis de hidrocarburos (HC) se tomaron todos los valores de las pruebas con gasolina extra y mezcla E5 a ralentí y a un régimen promedio de giro de 2 500 rpm. A continuación, se presentan los datos obtenidos de hidrocarburos (HC) con diferentes combustibles y a diferente régimen de giro.



**Figura 3.19** Datos totales obtenidos de (HC).

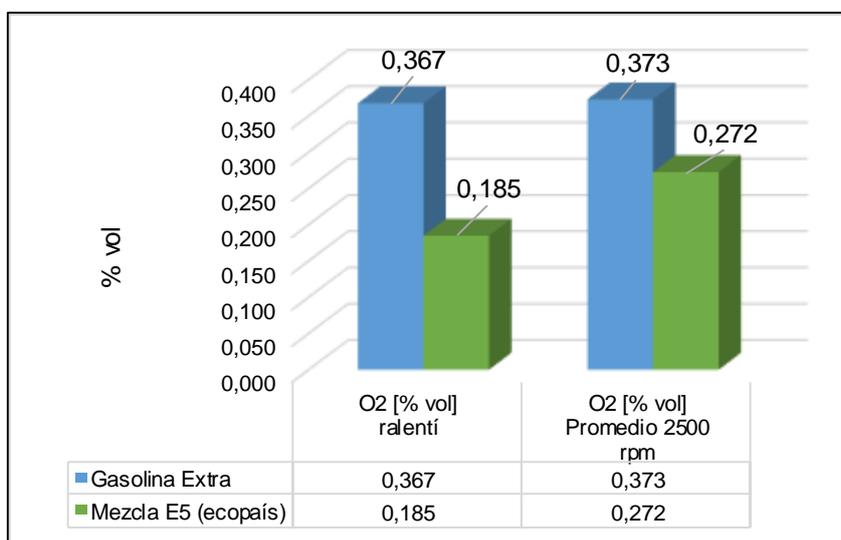
Los datos presentes a continuación son de hidrocarburos (HC) utilizando gasolina extra y mezcla E5 obtenidos a diferente régimen de giro. En el gráfico de la izquierda, correspondiente a ralentí utilizando gasolina extra se obtuvo como resultado 64,750 partículas por millón (ppm) de HC y para el mismo régimen de giro utilizando mezcla E5

se obtuvo como 59,500 partículas por millón (ppm) de HC, al final se tuvo una disminución del 8,11 % del nivel total de hidrocarburos (HC) utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra a ralentí. De la misma manera en el gráfico de la derecha, correspondiente a un régimen promedio de 2 500 rpm se obtuvo 107,00 partículas por millón (ppm) de HC utilizando gasolina extra y 72,389 ppm de HC utilizando mezcla E5, como resultado se alcanzó a disminuir un 32,35 % del nivel total de hidrocarburos (HC) utilizando gasolina ecopaís con respecto a la gasolina extra al régimen de giro antes mencionado como se muestra en la Figura 3.19.

### 3.5.4 ANÁLISIS DE OXÍGENO (O<sub>2</sub>) PRESENTE EN LOS GASES DE ESCAPE.

Para el análisis de oxígeno (O<sub>2</sub>) se tomaron todos los valores de las pruebas con gasolina extra y mezcla E5 a ralentí y a un régimen promedio de giro de 2 500 rpm.

A continuación, se presentan los datos obtenidos de oxígeno (O<sub>2</sub>) con diferentes combustibles y a diferente régimen de giro.



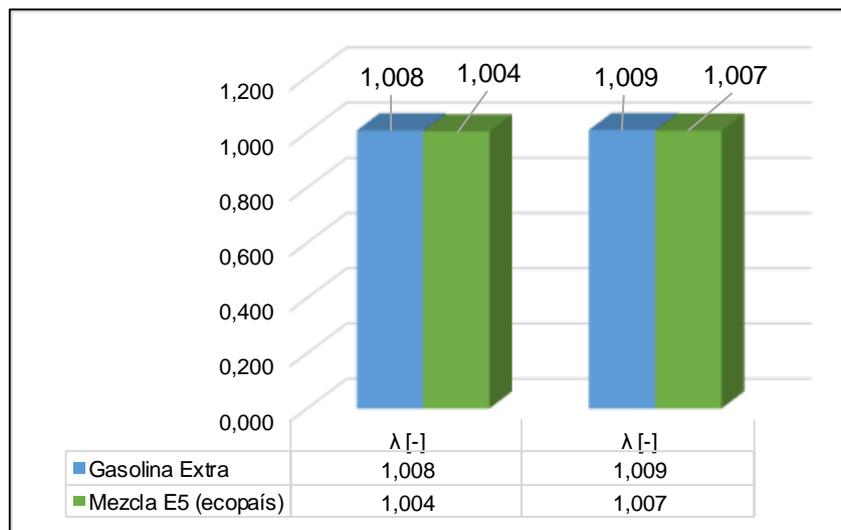
**Figura 3.20** Datos totales obtenidos de (O<sub>2</sub>) presente en los gases de escape.

La Figura 3.20 muestra los datos obtenidos de oxígeno utilizando gasolina extra y mezcla E5 a diferente régimen de giro. En el gráfico de la izquierda, correspondiente a ralentí utilizando gasolina extra se obtuvo como resultado 0,367 % vol de O<sub>2</sub> y para el mismo régimen de giro utilizando mezcla E5 se obtuvo como resultado 0,185% vol de O<sub>2</sub>, al final

se tuvo como resultado una disminución del 49,59 % del nivel total de  $O_2$  utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra a ralentí. De la misma manera en el gráfico de la derecha, correspondiente a un régimen promedio de 2 500 rpm se obtuvo 0,373 % vol de  $O_2$  utilizando gasolina extra y 0,272 % vol de  $O_2$  utilizando mezcla E5, como resultado se alcanzó a disminuir un 27,08 % del nivel total de  $O_2$  utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra al régimen de giro antes mencionado.

### 3.5.5 ANÁLISIS DEL FACTOR LAMBDA ( $\lambda$ ).

Para el análisis del factor lambda se relaciona el peso del aire con respecto al combustible que se presenta dentro de un motor de combustión interna. Si lambda es menor a 1 existe exceso de combustible y se conoce como mezcla rica, y si el valor de lambda es mayor a 1 existe exceso de oxígeno y se conoce como mezcla pobre.



**Figura 3.21** Datos totales obtenidos del factor lambda ( $\lambda$ ).

La Figura 3.21 indica los valores obtenidos del factor lambda, todos los valores oscilan entre 1 debido a que el factor lambda maneja esta relación. En el gráfico de la izquierda, correspondiente a ralentí utilizando gasolina extra se obtuvo como resultado 1,008 y para el mismo régimen de giro utilizando mezcla E5 se obtuvo como resultado 1,004 al final se tuvo como resultado una disminución del 0,40 % del nivel total del factor lambda utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra a ralentí. De la misma manera en el gráfico de la derecha, correspondiente a un régimen promedio de 2 500 rpm se obtuvo 1,009 utilizando

gasolina extra y 1,007 utilizando mezcla E5, como resultado se alcanzó a disminuir un 0,20 % del nivel total del factor lambda utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra al régimen de giro antes mencionado. El factor lambda al estar relacionado con la mezcla estequiométrica presenta esta variación mínima en los valores, por lo tanto, se puede considerar despreciable el uso de estos valores. Los valores son los más cercanos a 1 expresando la buena relación estequiométrica de la mezcla.

En la Tabla 3.1 se aprecia todos los datos obtenidos por medio de la prueba estática de emisiones correspondiente a la gasolina extra de 87 octanos y la gasolina con mezcla E5 denominada ecopaís a diferente régimen de giro recopilando toda la información y presentándola de la siguiente manera.

**Tabla 3.1** Factores de emisión total con gasolina extra y mezcla E5.

Gasolina	Régimen de Giro	CO [% vol]	CO <sub>2</sub> [% vol]	HC [ppm]	O <sub>2</sub> [% vol]	$\lambda$ [-]
Extra	Ralentí	0,112	15,125	64,750	0,367	1,008
Mezcla E5 (ecopaís)	Ralentí	0,062	15,489	59,500	0,185	1,004
Extra	Promedio de 2500 rpm	0,183	15,206	107,000	0,373	1,009
Mezcla E5 (ecopaís)	Promedio de 2500 rpm	0,125	15,367	72,389	0,272	1,007

## CAPÍTULO IV

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 4.1 CONCLUSIONES.

- La relación directa existente entre el monóxido de carbono y el oxígeno se debe a la escases del mismo en la mezcla, por lo que se concluye que el valor de CO correspondiente a 0,062 % vol con mezcla E5 y a ralentí es producto directo de la relación de oxígeno (O<sub>2</sub>), reduciendo un 44,64 % del nivel total. De la misma forma para un régimen promedio de 2 500 rpm el valor de CO correspondiente a 0,125 % vol es producto inmediato de la misma relación de oxígeno (O<sub>2</sub>) con un valor de 0,272 % vol con mezcla E5, reduciendo 31,69 % del nivel total de contaminación.
- Mediante el análisis de gases contaminantes y aplicando la prueba estática se puede evidenciar un crecimiento del 2,41 % de CO<sub>2</sub> utilizando mezcla E5 a ralentí, así también aumentó 1,06 % de CO<sub>2</sub> utilizando la misma mezcla, pero a un régimen promedio de 2 500 rpm, esto se debe a la dependencia directa existente con el oxígeno (O<sub>2</sub>), ya que, si el nivel de oxígeno en la salida de los gases de escape es menor, mayor será el nivel de CO<sub>2</sub> para cualquier régimen de giro.
- El horario entre las 16:00 y 17:00 horas el nivel de contaminación para HC es menor utilizando mezcla E5, resultando valores de 54,000 partículas por millón (ppm) a ralentí y 61,833 partículas por millón (ppm) a un régimen promedio de 2 500 rpm en la ciudad de Ibarra. Comprendiendo que los hidrocarburos son producto directo de la excesiva cantidad de oxígeno dentro de la mezcla, por lo que es evidente la saturación del aire a mencionadas horas de la tarde.
- Con el uso de mezcla E5 o gasolina ecopaís, se manifiesta una reducción notable del 44,64 % de CO a ralentí y un 31,69 % de CO a un régimen promedio de 2 500 rpm comparados con gasolina extra. Mientras tanto, para los hidrocarburos no combustionados (HC) se muestra una reducción del 8,1 % y 32,3 % de HC a ralentí y un régimen promedio de 2 500 rpm.

- La utilización de mezcla E5 o denominada gasolina ecopaís como sustituto de gasolina extra, disminuye notoriamente el porcentaje de gases contaminantes en un 44,64 % para monóxido de carbono (CO), 49,59 % para oxígeno (O<sub>2</sub>) y 8,11 % para hidrocarburos (HC) debido a que el porcentaje de alcohol en la mezcla ayuda a disminuir el nivel de contaminación.

## 4.2 RECOMENDACIONES.

- Mediante los resultados obtenidos durante la investigación realizada con mezcla E5, se recomienda el uso de este biocombustible para próximas indagaciones referentes a biocombustibles con el propósito de suministrar en cualquier motor de combustión interna de ciclo Otto, puesto que los niveles de emisiones de gases de CO, CO<sub>2</sub> y HC disminuyen notoriamente por el uso de alcohol en la mezcla.
- Una vez culminadas las pruebas estáticas de emisiones de gases contaminantes, para futuras investigaciones con mezclas de etanol se recomienda realizar pruebas dinámicas con el mismo motor, a las mismas condiciones atmosféricas, igual régimen de giro y de igual manera establecer el mismo horario a fin de evaluar y comparar los posibles resultados.
- Es recomendable realizar el análisis de gases contaminantes en las horas pico de la ciudad en la que el flujo vehicular es más saturado, utilizando la misma metodología para mezclas con etanol, para así adquirir mayor cantidad de datos y conseguir nuevos resultados de futuras investigaciones.
- Una vez analizados los resultados e interpretado la disminución del nivel de gases contaminantes de monóxido de carbono CO e hidrocarburos HC con mezcla E5, para futuras investigaciones relacionadas con mezcla de etanol se debería emplear la misma técnica, utilizando dos o más motores de diferentes marcas para comparar los futuros resultados con estos.
- El uso de este biocombustible es recomendable debido a que los niveles de emisiones de gases de monóxido de carbono (CO), oxígeno (O<sub>2</sub>) e hidrocarburos (HC) disminuyen claramente, garantizando así que el uso del 5 % de etanol en la mezcla favorece al medio ambiente, siendo los valores obtenidos de las pruebas ayuda suficiente para futuras investigaciones con mezclas de gasolina y etanol.

## Referencias Bibliográficas.

1. Abascal, R. (2017). Estudio de la obtención de bioetanol a partir de diferentes tipos de biomasa lignocelulósica. Universidad de Cantabria. obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12178/RAF.pdf?sequence=1>
2. Alcalá, D., Cujilema, M., León, G., Baryolo, L., & Ramos, L. (2018). Producción enzimática lignocelulósica de biodiesel con biomasa. *Revista Tecnología Química*, 38(1), 208.
3. Alonso, J. (2014). *Sistemas Auxiliares del Motor*. Madrid: Ediciones Paraninfo, SA.
4. Barrera Puigdollers, C., Betoret Valls, N., Castelló Gómez, M., & Pérez Esteve, E. (2018). *Principios Básicos de la Combustión*. València: Universitat de València.
5. BCN. (12 de Marzo de 2018). Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Obtenido de Ley chile: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=260350#0>
6. Becerra, M., & Rodriguez, R. (2017). Selección de Alternativas para el Suministro de Gas Natural en Colombia empleando el Proceso Analítico Jerárquico. *Ingeniería*, 23, 210.
7. Bellido Díez, C. (2014). Obtención de bioetanol 2G a partir de hidrolizados de paja de trigo. Fermentación conjunta de los penta y hexa carbohidratos con *Pichia stipitis*. Valladolid: Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales.
8. Cabezas, W., & Moyano, M. (2016). Análisis de torque, potencias consumo de combustible y emisiones contaminantes a diferentes concentraciones de gasolina/etanol en un banco de pruebas motor corsa 1.6 Lt de la C.I.A. Riobamba: Escuela Politécnica del Chimborazo.
9. Camarillo Montero, J. A. (2011). Estudio de la combustión de un motor monocilíndrico de ignición alimentada con mezclas gasolina-etanol anhidro e hidratado a distintas concentraciones. Xalapa Equez: Universidad Veracruzana.
10. Coviello, M. F., Gómez, J. J., Razo, C., & Rodríguez, A. (2008). *Biocombustibles Líquidos para Transporte en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile.

11. EP PETROECUADOR. (25 de Enero de 2018). EP PETROECUADOR. Obtenido de Noticia: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=5254>
12. Fernandez, R. D. (2006). El inicio del fin de la era de los combustibles fósiles. Madrid.
13. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2013). Calderas Industriales Eficientes. Madrid.
14. García , A., Cendales, E., & Eslava, A. (2016). Internal combustion engines (ice) fuelled using ethanol-gasoline blends: review. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(1), 75-96. doi:<https://doi.org/10.18359/rcin.1626>
15. INEN. (17 de Abril de 2002). NTE INEN 2204. Obtenido de gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina. obtenido de: <https://ia601901.us.archive.org/7/items/ec.nte.2204.2002/ec.nte.2204.2002.pdf>
16. INEN. (2016). Productos derivados de petróleo. Gasolina. Obtenido de <http://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/06/nte-inen-935-9.pdf>
17. Jarauta, L. (2015). Las energías renovables. Editorial UOC.
18. Lomas, A. (2018). Estudio del comportamiento del motor de gasolina Chevrolet Luv 2200 utilizando bioetanol a partir del residuo de papa con la mezcla E10. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
19. Malagón, M., Páez, A., Lache, A., Santos, J., & Zabala, D. (2018). Producción de bioetanol a partir de diferentes mezclas de los residuos orgánicos generados en una empresa alimentos. *Revista de Investigación*, 10(1), 47-59.
20. Maldonado Sarmiento, L. E. (2014). Pruebas de Rendimiento y Comparación de las Curvas Características y de Emisión de Gases de Combustible de Un Motor Nissan A12 Utilizando los Combustibles E0, E5 y E10. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
21. Martínez, C., & Cárdenas , J. (2017). Vol. 2 no. 1, Verano de la Investigación Científica, aspectos de diseño y operación en el proceso de bioetanol vía destilación extractiva. *Jóvenes en la ciencia*, 3(2), 1833-1837.

22. Masson Ricaurte, M. A. (2012). Determinación de la eficiencia de mezcla de gasolina de ochenta octanos con etanol anhidro para su utilización en motores de combustión interna de cuatro tiempos encendidos por chispa. Riobamba: Escuela Politécnica del Chimborazo .
23. Méndez , P. (2017). Desarrollo y caracterización analítica de un material con propiedades adsorbentes a partir de carbón mineral de las minas de Lebu. Concepción: D - Universidad de Concepción.
24. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2014). Atlas Bioenergético del Ecuador. Obtenido de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00194.pdf>
25. Miranda Vizuete, D. C. (2016). Metodología de pruebas y su aplicación, para el diagnóstico de convertidores catalíticos, mediante ciclo ASM, en vehículos con motores de encendido provocado. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16499/1/CD-7176.pdf>
26. Monteiro, C. (2010). Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era Generación en América Latina y Caribe. Brasil: OLADE.
27. Naranjo Sanango, Á. P., & Sarate Naula, L. R. (2012). Estudio del comportamiento de par, potencia y emisión de gases aplicando mezclas de combustibles gasolina/etanol en un vehículo Nissan 1500. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
28. Paez, B., & Marulanda, D. (2018). Nanofotónica en el análisis de biocombustibles. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26(2), 11. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v26n2/0718-3305-ingeniare-26-02-00241.pdf>
29. Pamparato, M., & Bejonja, S. (2017). Introducción a la Química: hidrocarburos, alimentos y procesos industriales. Editorial Maipue.
30. Pasquel, J., & Gordillo, I. (2018). Construcción de una maqueta didáctica de un vehículo eléctrico. Ibarra: Universidad Técnica del Norte
31. Pérez Darquea, D. G. (2017). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. *INNOVA Research Journal*, 2, 12.
32. Pérez, J. (2016). Biocombustibles.

33. Plan Nacional de Desarrollo. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida. Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Senplades.
34. Pro Ecuador. (2013). Biocombustibles. Biocombustibles, 26.
35. Quimbita, A., & Guallichico, E. (2017). Determinación del potencial energético y mecánico del motor mazda f2 al utilizar los tipos de gasolina comercial empleados en el ecuador. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas.
36. Ramírez Montoya, M. S., & Mendoza Domínguez, A. (2017). Innovación y sustentabilidad energética: formación con MOOCs e investigación educativa. Madrid: Narcea Ediciones.
37. Ramírez, N. (2018). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de aceites y grasas residuales potenciales para la producción de biocombustibles. Querétaro: CIDETEQ.
38. Rocha, J., & Zambrano, V. (2015). Análisis del funcionamiento del motor de encendido provocado, debido a la presencia de aditivos. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
39. Rodríguez, D. (2017). Estudio del comportamiento del motor a gasolina utilizando bioetanol a partir de despojos de maíz en la provincia de Imbabura-Ecuador. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
40. Rovira, A., & Muñoz, M. (2015). Motores de combustión interna. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.
41. Santo, A., Rodríguez, J., Vega, Á., & Rodríguez, E. (2012). Análisis del desempeño de motores Diésel operados con Biodiésel. Academia Journals, 4(2), 6.
42. Serrano, J., Mejía, W., Ortiz, J., Sánchez, A., & Zalamea, S. (2017). Determinación del Potencial de Generación Eléctrica a Partir de Biomasa en el Ecuador. Revista de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad del Azuay, 21. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/29791/1/4.%201592-4835-1-PB.pdf>
43. Torres, E. (2017). Normatividad nacional e internacional de emisiones contaminantes para vehículos nuevos en planta. Cd. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

44. Torres, J., Molina , D., Pinto, C., & Rueda , F. (Enero de 2002). Estudio de la mezcla de gasolina con 10 % de etanol Anhidro, evaluación de propiedades fisicoquímicas. CT&F, Ciencia, Tecnología y Futuro, 2(3), 12. Obtenido de [http://www.ub.edu/ecologia/carlos.gracia/PublicacionesPDF/Cap%C3%ADtulo%204\\_Bioetanol.pdf](http://www.ub.edu/ecologia/carlos.gracia/PublicacionesPDF/Cap%C3%ADtulo%204_Bioetanol.pdf)
45. Trujillo, R. (2012). Hidrocarburos (Vol. 4). Ecoe Ediciones.
46. Urgilés, L., & Erreyes, J. (2018). Análisis de la influencia del combustible Ecopaís en emisiones contaminantes y prestaciones de un vehículo Chevrolet Grand Vitara como prototipo en la ciudad de Cuenca. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
47. Veintimilla, P. (2015). Análisis de resultados de la medición de emisiones de gases contaminantes de fuentes móviles a partir de la implementación de la revisión técnica vehicular en el cantón Cuenca. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca.
48. Vivero , J. (2009). Biocombustibles contra los alimentos: sugerencias para un debate amplio y no polarizado. Letras Verdes, 4, 7.
49. World Resources Energy. (2003). Recursos energéticos globales. Obtenido de <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/04/Traduccion-Estudio-Recursos-Energeticos1.pdf>
50. Zacarías Santiago, A., González López, J., Granados Manzo, A., & Mota Lugo, A. (2017). Mecánica de fluidos: teoría con aplicaciones y modelado. Grupo Editorial Patria.

## **ANEXOS**

## ANEXO I

### PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LOS FLUIDOS DEL BANCO MOTOR



**Figura AI.1** Extracción de líquido refrigerante.



**Figura AI.2** Extracción del aceite.

## ANEXO II

### DESMONTAJE DE LOS ELEMENTOS DEL BANCO MOTOR AVEO ACTIVO 1.6



**Figura AII.1** Desmontaje del banco motor.



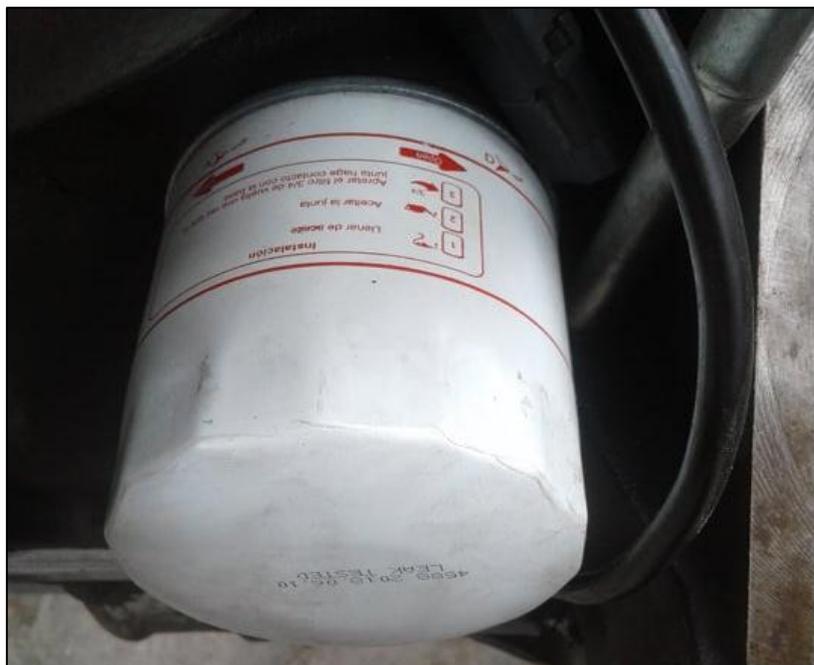
**Figura AII.2** Desmontaje del bloque de cilindros y culata.

### ANEXO III

## MONTAJE DE LOS NUEVOS ELEMENTOS DEL BANCO MOTOR AVEO ACTIVO 1.6



**Figura AIII.1** Montaje del bloque de cilindros y culata.



**Figura AIII.2** Reposición del filtro de aceite.

## ANEXO IV INSTALACIÓN DEL CONVERTIDOR CATALÍTICO



**Figura AIV.1** Convertidor catalítico para el Aveo activo 1.6



**Figura AIV.2** Convertidor catalítico instalado en el banco motor.

**ANEXO V****ADQUISICIÓN DE LOS COMBUSTIBLES EXTRA Y MEZCLA E5  
DENOMINADA ECOPAÍS**

**Figura AV.1** Mezcla E5 (gasolina ecopaís).



**Figura AV.2** Gasolina Extra.

## ANEXO VI

### INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS PARA MEDIR GASES CONTAMINANTES



**Figura AVI.1** Banco motor encendido alcanzando la temperatura necesaria de funcionamiento.



**Figura AVI.2** Banco motor conectado los equipos de medición.

## ANEXO VII

### PRUEBAS DE ANÁLISIS DE GASES CONTAMINANTES



**Figura AVII.1** Introduciendo la sonda.



**Figura AVII.2** Toma de datos de las pruebas realizadas.

## ANEXO VIII

## DATOS OBTENIDOS CON GASOLINA EXTRA

		EXTRA RALENTÍ			
HORA	CO [% vol]	CO2 [% vol]	HC [ppm vol]	O2 [% vol]	$\lambda$ [-]
11:00 -12:00	0,135	15,217	70,333	0,263	1,001
14:00-15:00	0,053	15,133	48,583	0,418	1,014
16:00-17:00	0,147	15,025	75,333	0,421	1,007
RPM	CO [% vol]	CO2 [% vol]	HC [ppm vol]	O2 [% vol]	$\lambda$ [-]
830	0,112	15,125	64,750	0,367	1,008

Figura AVIII.1 Datos obtenidos con gasolina extra a ralentí.

		EXTRA 2500			
HORA	CO [% vol]	CO2 [% vol]	HC [ppm vol]	O2 [% vol]	$\lambda$ [-]
11:00 -12:00	0,067	15,275	112,917	0,347	1,010
14:00-15:00	0,108	15,342	88,250	0,217	1,004
16:00-17:00	0,374	15,000	119,833	0,554	1,013
RPM	CO [% vol]	CO2 [% vol]	HC [ppm vol]	O2 [% vol]	$\lambda$ [-]
2500	0,183	15,206	107,000	0,373	1,009

Figura AVIII.2 Datos obtenidos con gasolina extra a un promedio de 2 500 rpm.

## ANEXO IX

DATOS OBTENIDOS CON MEZCLA E5 O DENOMINADA  
ECOPAÍS

MEZCLA E5 RALENTÍ					
HORA	CO [% vol]	CO2 [% vol]	HC [ppm vol]	O2 [% vol]	$\lambda$ [-]
11:00 -12:00	0,059	15,483	67,333	0,187	1,005
14:00-15:00	0,051	15,517	57,167	0,165	1,003
16:00-17:00	0,077	15,467	54,000	0,202	1,005
RPM	CO [% vol]	CO2 [% vol]	HC [ppm vol]	O2 [% vol]	$\lambda$ [-]
830	0,062	15,489	59,500	0,185	1,004

Figura AIX.1 Datos obtenidos con mezcla E5 a ralenti.

MEZCLA E5 2 500					
HORA	CO [% vol]	CO2 [% vol]	HC [ppm vol]	O2 [% vol]	$\lambda$ [-]
11:00 -12:00	0,144	15,308	85,083	0,265	1,004
14:00-15:00	0,178	15,350	70,250	0,240	1,003
16:00-17:00	0,053	15,442	61,833	0,312	1,012
RPM	CO [% vol]	CO2 [% vol]	HC [ppm vol]	O2 [% vol]	$\lambda$ [-]
2500	0,125	15,367	72,389	0,272	1,007

Figura AIX.2 Datos obtenidos con mezcla E5 a un promedio de 2 500 rpm.