



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“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”**

**CABEZAS JARAMILLO WILLIAM EDUARDO
MOYANO MONTERO MARCO JAVIER**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2015-05-19

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

**CABEZAS JARAMILLO WILLIAM EDUARDO
MOYANO MONTERO MARCO JAVIER**

Titulado:

**“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”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Víctor Bravo Morocho
DIRECTOR

Ing. Bolívar Cuaical Angulo
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CABEZAS JARAMILLO WILLIAM EDUARDO

TÍTULO DE LA TESIS: “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”

Fecha de Examinación: 2016-06-07

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Celin Padilla Padilla PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Víctor Bravo Morocho DIRECTOR			
Ing. Bolívar Cuaical Angulo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Celin Padilla Padilla
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MOYANO MONTERO MARCO JAVIER

TÍTULO DE LA TESIS: “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”

Fecha de Examinación: 2016-06-07

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Celin Padilla Padilla PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Víctor Bravo Morocho DIRECTOR			
Ing. Bolívar Cuaical Angulo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Celin Padilla Padilla
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Cabezas Jaramillo William Eduardo

Moyano Montero Marco Javier

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Cabezas Jaramillo William Eduardo y Moyano Montero Marco Javier, declaramos que el presente trabajo de grado es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de grado.

Cabezas Jaramillo William Eduardo
Cedula de Identidad: 060359680-0

Moyano Montero Marco Javier
Cedula de Identidad: 060378211-1

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mi madre Rosa Jaramillo por ser mi apoyo, mi guía y mi razón principal para llegar a cumplir este objetivo.

A mis hermanas Patricia, Mónica y mi sobrino Juliancito por ser mi apoyo y mi aliento para superar cada obstáculo y cumplir esta meta.

William Eduardo Cabezas Jaramillo

El presente trabajo de grado está dedicado a mi esposa Albita Mariño, a mis hijos Julieth y Janphier Moyano; quienes han sido los pilares más importantes para levantarme y salir adelante cada día, venciendo cada obstáculo que se ha puesto en mi camino.

A mi abuelo Marco Moyano que fue un ejemplo a seguir y un motivo para superarme en esta vida.

Marco Javier Moyano Montero

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios por guiar mi camino en los momentos más difíciles de mi vida, por darme la fuerza y la esperanza para siempre seguir hacia adelante sin mirar hacia atrás y cumplir con cada reto y dificultad que se presentó en este duro trayecto.

Agradezco en especial a mi madre y mis hermanas por haber sido un pilar fundamental a lo largo de mi vida y ser el respaldo para enfrentar los desafíos que se me presenten en el futuro.

A mi director y asesor de tesis por apoyarnos en la realización de este proyecto.

William Eduardo Cabezas Jaramillo

Agradezco a Dios y a la Virgen María Inmaculada por darme la fe y fuerza para caminar siempre hacia adelante, por estar presente en cada aspecto de mi vida ayudándome cuando más lo necesitaba.

Agradezco a mi esposa, a mis padres y a mis hijos quienes me han apoyado sin ninguna restricción, que me han brindado las fuerzas necesarias para no rendirme, gracias a sus palabras y su amor constante culminar una meta más en mi vida.

A mi director y asesor de tesis por apoyarnos en la realización de este proyecto.

Marco Javier Moyano Montero

CONTENIDO

Pág.

1.	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación.....	1
1.2.1	<i>Justificación técnica-económica</i>	2
1.3	Objetivos	2
1.3.1	<i>Objetivo general</i>	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	3
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Sistema de inyección electrónica a gasolina	4
2.2	Partes del sistema de inyección electrónica a gasolina	5
2.2.1	<i>Sensores</i>	5
2.2.1.1	<i>Sensor de posición del cigüeñal (CKP)</i>	5
2.2.1.2	<i>Sensor de presión absoluta (MAP)</i>	6
2.2.1.3	<i>Sensor de posición de la mariposa (TPS)</i>	7
2.2.1.4	<i>Sensor de detonación o pistoneo (KS)</i>	8
2.2.1.5	<i>Sensor de temperatura del refrigerante (WTS o CTS)</i>	9
2.2.1.6	<i>Sensor de temperatura de aire de admisión (IAT)</i>	11
2.2.2	<i>Actuadores</i>	11
2.2.2.1	<i>Inyector de gasolina</i>	12
2.2.2.2	<i>Válvula de control de velocidad de ralentí (IAC)</i>	13
2.2.3	<i>Compatibilidad del sistema de inyección electrónica con combustibles alternativos (mezcla etanol-gasolina)</i>	13
2.3	Tipos de combustibles	15
2.3.1	<i>Combustibles fósiles</i>	15
2.3.2	<i>Combustibles Alternativos</i>	16
2.3.2.1	<i>Biocarburantes</i>	16
2.3.3	<i>Alcoholes</i>	17
2.3.3.1	<i>Etanol</i>	18
2.3.3.2	<i>Producción y uso del etanol como combustible</i>	18
2.3.3.3	<i>Dimensiones técnicas y ambientales del uso del etanol</i>	19
2.3.3.4	<i>Propiedades de los alcoholes</i>	20
2.3.3.5	<i>Principales propiedades de los combustibles líquidos</i>	21
2.3.4	<i>Mezclas etanol-gasolina</i>	22
2.3.4.1	<i>Marco regulador para la mezcla de etanol y gasolina</i>	23
2.4	Estequiometría de combustibles.....	23
2.5	Torque	24
2.6	Potencia	24
2.7	Emisiones Contaminantes	24
2.7.1	<i>Sustancias que integran los gases de escape:</i>	25
3.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	
3.1	Inspección del estado actual del motor	27
3.2	Inspección del sistema de alimentación de combustible	28
3.3	Inspección del sistema de inyección electrónica.....	30

3.3.1	<i>Sensor de presión absoluta (MAP)</i>	30
3.3.1.1	<i>Procedimiento</i>	31
3.3.2	<i>Sensor de posición del cigüeñal (CKP)</i>	31
3.3.2.1	<i>Procedimiento</i>	32
3.3.3	<i>Sensor de temperatura del aire aspirado (IAT)</i>	33
3.3.4	<i>Sensor de flujo de masa de aire (MAF)</i>	34
3.3.4.1	<i>Procedimiento</i>	34
3.3.5	<i>Sensor de la mariposa de aceleración (TPS)</i>	35
3.3.5.1	<i>Procedimiento</i>	35
3.3.6	<i>Inyector de combustible</i>	36
3.3.6.1	<i>Procedimiento</i>	36
3.4	<i>Mantenimiento del motor</i>	36
3.4.1	<i>Sustitución del aceite del motor</i>	36
3.4.2	<i>Limpieza de inyectores</i>	37
3.4.3	<i>Cambio de bujías</i>	37
3.4.4	<i>Cambio de filtro de aire</i>	38
3.4.5	<i>Limpieza del tanque de combustible</i>	38
3.4.6	<i>Limpieza de filtro de combustible</i>	39
3.5	<i>Prueba de compresión</i>	39
3.5.1.1	<i>Procedimiento</i>	39
3.6	<i>Prueba de presión de la bomba de combustible</i>	41
3.6.1	<i>Procedimiento</i>	41
3.7	<i>Balance químico y estequiométrico mezclas etanol-gasolina</i>	42
3.7.1	<i>Mezcla E5 (95% gasolina + 5% Etanol)</i>	43
3.7.1.1	<i>Relación Estequiométrica</i>	44
3.7.1.2	<i>Fracciones Másicas</i>	44
3.7.2	<i>Mezcla E10 (90% gasolina + 10% Etanol)</i>	47
3.7.2.1	<i>Relación Estequiométrica</i>	49
3.7.2.2	<i>Fracciones Másicas</i>	49
3.7.3	<i>Mezcla E20 (80% gasolina + 20% Etanol)</i>	51
3.7.3.1	<i>Relación Estequiométrica</i>	53
3.7.3.2	<i>Fracciones Másicas</i>	53
3.8	<i>Elaboración y preparación de las mezclas de etanol-gasolina a diferentes concentraciones</i>	56
3.8.1	<i>Preparación mezcla 5% etanol-anhidro con gasolina tipo extra</i>	56
3.8.1.1	<i>Procedimiento</i>	56
3.8.2	<i>Preparación mezcla 10% etanol-anhidro con gasolina tipo extra</i>	58
3.8.2.1	<i>Procedimiento</i>	58
3.8.3	<i>Preparación mezcla 20% etanol-anhidro con gasolina tipo extra</i>	59
3.8.3.1	<i>Procedimiento</i>	59
3.9	<i>Toma de densidades mezclas etanol gasolina al 5%, 10%, 20%</i>	59
3.9.1	<i>Procedimiento</i>	60
3.10	<i>Adaptación de probetas de medición de combustible</i>	62
3.11	<i>Pruebas de funcionamiento del motor en función a diferentes concentraciones de etanol</i>	63
3.12	<i>Porcentajes óptimos mezclas etanol-gasolina</i>	63
3.13	<i>Pruebas de consumo de combustible alternativo (etanol-gasolina)</i>	64
3.13.1	<i>Cálculo del consumo de combustible</i>	64
3.13.2	<i>Procedimiento</i>	64
3.14	<i>Pruebas de torque y potencia con y sin etanol</i>	67

3.14.1	<i>Procedimiento</i>	68
3.15	Pruebas de emisiones de gases contaminantes	74
3.15.1	<i>Procedimiento</i>	75
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	
4.1	Análisis de consumo de combustible	78
4.1.1	<i>Análisis de consumo de combustible gasolina 100%</i>	78
4.1.2	<i>Análisis de consumo de combustible etanol-gasolina 5%</i>	79
4.1.3	<i>Análisis de consumo de combustible etanol-gasolina 10%</i>	79
4.1.4	<i>Análisis de consumo de combustible etanol-gasolina 20%</i>	80
4.2	Análisis de torque y potencia	81
4.2.1	<i>Análisis torque-potencia gasolina 100%</i>	81
4.2.2	<i>Análisis torque-potencia etanol-gasolina al 5%</i>	82
4.2.3	<i>Análisis torque-potencia etanol-gasolina al 10%</i>	83
4.2.4	<i>Análisis torque-potencia etanol-gasolina al 20%</i>	84
4.3	Análisis de emisiones contaminantes	86
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1	Conclusiones	87
5.2	Recomendaciones:.....	87

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTAS DE TABLAS

Pág.

1	Características físicas y químicas más significativas del etanol y el metanol ..	20
2	Valores de voltajes de testeo sensor MAP.....	31
3	Valores de voltajes de testeo sensor CKP	32
4	Valores en pruebas de compresión	40
5	Densidades mezclas etanol-gasolina	61
6	Consumo de combustible gasolina 100% 950 rpm	65
7	Consumo de combustible gasolina 100% 2500 rpm	66
8	Consumo de combustible mezcla etanol-gasolina 5% 950 rpm.....	66
9	Consumo de combustible mezcla etanol-gasolina 5% 2500 rpm.....	66
10	Consumo de combustible mezcla etanol-gasolina 10% 950 rpm.....	66
11	Consumo de combustible mezcla etanol-gasolina 10% 2500 rpm.....	66
12	Consumo de combustible mezcla etanol-gasolina 20% 950 rpm.....	67
13	Consumo de combustible mezcla etanol-gasolina 20% 2500 rpm.....	67
14	Valores de emisiones contaminantes 100% gasolina	76
15	Valores de emisiones contaminantes mezcla 5% etanol-gasolina.....	77
16	Valores de emisiones contaminantes mezcla 10% etanol-gasolina.....	77
17	Valores de emisiones contaminantes mezcla 20% etanol-gasolina.....	77
18	Resultados de consumo real de combustible gasolina 100%	78
19	Resultados teóricos de consumo de combustible gasolina 100%	79
20	Resultados de consumo real de combustible etanol-gasolina 5%	79
21	Resultados teóricos de consumo de combustible etanol-gasolina 5%	79
22	Resultados de consumo real de combustible etanol-gasolina 10%	79
23	Resultados teóricos de consumo de combustible etanol-gasolina 10%	79
24	Resultados de consumo real de combustible etanol-gasolina 20%	80
25	Resultados teóricos de consumo de combustible etanol-gasolina 20%	80
26	Comparación etanol-gasolina a diferentes concentraciones 950 rpm	80
27	Comparación etanol-gasolina a diferentes concentraciones 2500 rpm 45 min	80
28	Resultados prueba de potencia 100% gasolina extra.....	81
29	Resultados prueba de torque 100% gasolina extra	81
30	Resultados prueba de potencia mezcla etanol-gasolina 5%	82
31	Resultados prueba de torque mezcla etanol-gasolina 5%	83
32	Resultados pruebas de potencia mezcla etanol-gasolina 10%	83
33	Resultados pruebas de torque mezcla etanol-gasolina 10%	84
34	Resultados pruebas de potencia mezcla etanol-gasolina 20%	84
35	Resultados pruebas de torque mezcla etanol-gasolina 20%	85
36	Valores comparativos de emisiones contaminantes a 950 rpm	86

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Funcionamiento básico de un sensor 5
2	Sensor CKP tipo inductivo 6
3	Forma de onda sensor CKP de giro efecto hall 6
4	Sensor de presión absoluta o MAP 7
5	Forma de onda sensor MAP 7
6	Forma de onda tipo analógica sensor TPS..... 8
7	Forma de onda del sensor KS 9
8	Sensor de temperatura del refrigerante WTS 10
9	Sensor IAT..... 11
10	Partes del inyector 12
11	Diagrama de conexión de una válvula IAC 13
12	Clasificación de los biocarburantes alternos 17
13	Estado actual del banco de pruebas 28
14	Estado actual del banco de pruebas 28
15	Filtro de combustible 29
16	Riel de inyectores 29
17	Desmontaje de inyectores 29
18	Revisión de conductos, mangueras y cañerías de combustible 30
19	Sensor MAP..... 31
20	Oscilograma sensor MAP 31
21	Sensor CKP 32
22	Medición de voltajes sensor CKP..... 32
23	Oscilograma sensor CKP..... 33
24	Sensor de temperatura del aire aspirado IAT 33
25	Medición de voltajes sensor de temperatura del aire aspirado IAT 34
26	Sensor MAF..... 34
27	Medición de voltaje del sensor MAF 35
28	Oscilograma del sensor TPS..... 35
29	Oscilograma del inyector..... 36
30	Cambio de aceite del motor 37
31	Banco de limpieza de inyectores 37
32	Desmontaje y revisión de bujías 38
33	Filtro de aire 38
34	Tanque de combustible..... 38
35	Filtro de combustible 39
36	Desmontaje de bujías..... 39
37	Acople de manómetro para medición de compresión 40
38	Desconexión de bobina..... 40
39	Equipos 41

40	Riel de inyectores	41
41	Conexión del acople para medición de presión	42
42	Manómetro	42
43	Equipos	56
44	Deshidratación química del etanol	57
45	Comprobación del etanol 99.8% de Alc. Vol.	57
46	Mezcla etanol-gasolina	58
47	Equipos	60
48	Preparación de mezclas etanol-gasolina para medición de densidades	60
49	Toma de temperatura mezclas etanol-gasolina.....	61
50	Medición de densidades.....	61
51	Probeta de medición de combustible	62
52	Adaptación de mangueras y bomba de combustible al motor	63
53	Equipos y materiales.....	65
54	Banco de pruebas motor Corsa.....	65
55	Dinamómetro de rodillos	68
56	Hardware de dinamómetro de rodillos	68
57	Ruedas motrices del vehículo sobre rodillos del dinamómetro	69
58	Anclaje del vehículo parte delantera	69
59	Anclaje del vehículo ruedas delanteras	69
60	Anclaje del vehículo ruedas traseras	70
61	Medición de presión de neumáticos	70
62	Conexión a tierra en el vehículo	70
63	Dispositivo de recolección de gases de escape.....	71
64	Dispositivo de recolección de gases de escape.....	71
65	Calentamientos de neumáticos	71
66	Medición de temperatura de los neumáticos del vehículo.....	72
67	Software del dinamómetro de rodillos.....	72
68	Curvas torque-potencia	73
69	Resultados impresos Torque-Potencia (Dinamómetro de rodillos).....	73
70	Resultados mezcla aire-combustible	73
71	Equipo analizador de gases automotriz NGA 6000.....	74
72	Tacómetro	75
73	Sonda de prueba	76
74	Impresión de prueba de emisiones contaminantes	76
75	Potencia máxima hp vs rpm 100% gasolina extra.....	81
76	Torque máximo (lb.ft) vs rpm 100% gasolina extra.....	82
77	Potencia máxima hp vs rpm mezcla etanol-gasolina 5%	82
78	Torque máximo (lb.ft) vs rpm mezcla etanol-gasolina 5%	83
79	Potencia máxima hp vs rpm mezcla etanol-gasolina 10%	83
80	Torque máximo (lb.ft) vs rpm mezcla etanol-gasolina 10%	84
81	Potencia máxima hp vs rpm mezcla etanol-gasolina 20%	85
82	Torque máximo (ft/lbs) vs rpm mezcla etanol-gasolina 20%.....	85

LISTA DE ABREVIACIONES

A/C	Aire acondicionado
Alc	Alcohol
ASTM	American Society for Testing and Materials
ETBE	Etil Terbutil Éter
ECU	Engine control unit
EGR	Válvula de recirculación de gases de escape
EVAP	Sistema de control de evaporación de emisiones
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
PCM	Módulo de control del tren motriz
PSI	Libras por pulgada cuadrada
RPM	Revoluciones por minuto
T/A	Transmisión automática

LISTA DE ANEXOS

- A** Valores impresos pruebas de torque y potencia
- B** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002

RESUMEN

Este proyecto se enfocó al análisis del torque, potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes a diferentes concentraciones de etanol-gasolina en el banco de pruebas motor corsa 1,6 litros, de la carrera de Ingeniería Automotriz. Se realizó la inspección del estado actual del motor, del sistema de alimentación de combustible, del sistema de inyección electrónica, se realizó el mantenimiento del motor, se adaptó probetas de medición, se preparó las mezclas de etanol-gasolina a diferentes concentraciones con sus respectivas densidades y se analizó las pruebas de funcionamiento del motor.

Los resultados obtenidos de las pruebas de consumo de combustible, torque - potencia y emisiones de gases contaminantes a diferentes concentraciones de etanol-gasolina (5%, 10% y 20%) son tabuladas y analizadas de acuerdo a los régimen de funcionamiento del motor para ser comparados respectivamente con los datos obtenidos de la gasolina al 100%.

En el análisis de los resultados se determinó: que en consumo de combustible se tuvo un ahorro de 16,33% a 950 rpm y un ahorro de 14,69% a 3500 rpm comparada al 20% de etanol, en emisiones contaminantes se puede afirmar que según la norma NTE INEN 2204:2002 a 950 rpm puede pasar la revisión vehicular sin inconvenientes al 5% y 10% de etanol, la potencia disminuye en 4,22% y el torque en 1,47% comparada con el etanol al 20%.

Con los resultados obtenidos, se concluyó que no es factible variar más del 5% de mezcla de etanol - gasolina con ECU estándar del vehículo, ya que no ayuda en el mejoramiento del rendimiento del motor en las pruebas realizadas.

ABSTRACT

This research focused on the analysis of torque, power, fuel consumption and polluting emissions at different concentrations of ethanol-gasoline on the corsa engine test bench 1,6 liter at the School of Automotive Engineering. It was carried out the inspection on the current state of the engine, fuel supply system, fuel injection system, it was also developed the engine maintenance and the measuring test tube was adapted. The mixtures of ethanol-gasoline were prepared at different concentrations with their respective densities and finally, it was analyzed the functional test of the engine.

The results of testing fuel consumption, torque - power, and emissions of pollutant gases at different concentrations of ethanol-gasoline (5%, 10%, and 20%) were analyzed and tabulated according to the engine operating scheme in the order to be compared with the data obtained from the gasoline to 100%.

The analysis of the results it was determined that: in fuel consumption the amount saved could reach a 16,33% at 950 rpm, and a saving of 14,69% at 350 rpm compared to 20% ethanol. In polluting emissions could be stated according to the standard NTE INEN 2204:2002 to 950 rpm can pass smoothly the vehicle revision to 5% and 10% of ethanol. The power decreases in 4,22% and torque with 1,47% compared to ethanol 20%.

Through the results it was concluded that it is not possible to vary more than 5% the ethanol-gasoline mixing with ECU vehicle standard because it cannot help improving the engine performance of the test performed.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Hoy en día se puede encontrar una mayor variedad de combustibles para automóviles, y en la actualidad en Ecuador se consume sin duda alguna la gasolina, y en segundo lugar el diésel, sin embargo se puede hacer funcionar el motor con combustibles alternativos los cuales generan menos emisiones. Estos combustibles no provienen de fuentes fósiles finitas y son sostenibles. Entre ellos se puede mencionar al etanol, la electricidad, el hidrógeno, el biodiésel, el metanol, y los combustibles gaseosos naturales, como el gas natural y el GLP.

El compuesto químico etanol, o alcohol etílico se presenta como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C. Al mezclarse con agua en cualquier proporción, se obtiene una mezcla azeotrópica. Su fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$), una de las técnicas más utilizadas, y económicas en la obtención del etanol, es la descomposición o fermentación a través de microorganismos, logrando que la materia utilizada sea la adecuada para la obtención de este producto, aunque estudios han demostrado que la opción más lógica para la obtención del etanol es la caña de azúcar.

El etanol puede utilizarse como combustible para automóviles sin mezclar o mezclado con gasolina en cantidades variables para reducir el consumo de derivados del petróleo. El combustible resultante se conoce como gasohol (en algunos países, "alconafta"). Dos mezclas comunes son E10 y E85, que contienen etanol al 10% y al 85%, respectivamente. El etanol también se utiliza cada vez más como añadido para oxigenar la gasolina estándar, como reemplazo para el metil tert-butil éter (MTBE). Este último es responsable de una considerable contaminación del suelo y del agua subterránea.

1.2 Justificación

Este trabajo se basa en el estudio de titulación: 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 encendido por chispa realizado por el Ing. Manuel Alejandro Masson Ricaurte en la ESPOCH, donde se determinó las propiedades de las mezclas etanol anhidro con gasolina de ochenta octanos mediante la elaboración de las mezclas en proporciones del 5%, 10%, 15% y 20%, realizando pruebas de presión, de vapor reíd, corrosión a lámina de cobre, destilación, índice de octanos para determinar si se pueden utilizar en los motores de combustión interna de cuatro tiempos encendidos por chispa, pruebas que fueron efectuadas en el Terminal de Productos Limpios Riobamba, donde se logró determinar que la mezcla de gasolina de ochenta octanos con etanol anhidro al 10% es la que mejor eficiencia presenta por lo que se establece que esta es la mezcla que mejor se adapta a las condiciones de funcionamiento en motores de combustión interna utilizados en nuestro medio.

El propósito de este proyecto está encaminado al análisis de torque, potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes en un banco de pruebas motor corsa 1,6 l de la carrera de Ingeniería Automotriz a partir de las mezclas de etanol-gasolina en las proporciones ya descritas de la tesis de la cual se tomó como referencia los resultados arrojados en la misma.

1.2.1 *Justificación técnica-económica.* El desarrollo tecnológico asegura la competitividad del Ingeniero Automotriz de la ESPOCH garantizando fiabilidad de sus conocimientos, así como destreza en las funciones encomendadas satisfaciendo requisitos del sistema de calidad hacia el receptor del servicio.

La investigación que se realizó de este combustible permitió conocer el rendimiento del combustible alternativo características en base al porcentaje de etanol, desempeño del vehículo mediante las gráficas de torque-potencia y porcentaje de emisiones contaminantes.

Este proyecto cumple con todas las expectativas, requerimientos y tecnología para que sea considerado como un proyecto de titulación.

1.3 **Objetivos**

1.3.1 *Objetivo general.* Analizar el torque, potencia, consumo de combustible y

emisiones contaminantes a diferentes concentraciones de gasolina/etanol en el banco de pruebas motor corsa 1,6 l de la carrera de Ingeniería Automotriz.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

- Diagnosticar el estado actual del banco de pruebas motor corsa 1,6 l de la C.I.A.
- Detallar las características del combustible alternativo (etanol).
- Realizar pruebas de funcionamiento del motor en diferentes concentraciones de gasolina con etanol.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de inyección electrónica a gasolina

Con la utilización de carburadores, en los colectores de admisión se producen mezclas desiguales de aire/gasolina para cada cilindro. La necesidad de formar una mezcla que alimente suficientemente bien incluso al cilindro más desfavorecido obliga, en general, a dosificar una cantidad de combustible demasiado elevada. La consecuencia de esto es un excesivo consumo de combustible y una carga desigual de los cilindros. (GERSCHLER Y OTROS)

Al asignar un inyector o electroválvula a cada cilindro en el momento oportuno y en cualquier estado de carga se asegura la cantidad exactamente dosificada esta es una de las ventajas de la inyección electrónica de gasolina.

Hace varios años atrás aumento la tendencia de preparar la mezcla por medio de la inyección de combustible en el colector de admisión ya que permite una dosificación muy precisa del combustible en función de los estados de marcha y de carga del motor.

Esta tendencia se explica por las ventajas que supone la inyección de combustible en relación con las exigencias de potencia, consumo, comportamiento de marcha, así como de limitación de elementos contaminantes en los gases de escape. Las razones de estas ventajas residen en el hecho que con la inyección puede conseguirse un mejor llenado del cilindro disponiendo más favorablemente los caminos de la aspiración. En todo el intervalo de número de revoluciones tiene una composición de mezcla más uniforme y mejor adaptada, porque se distribuye a cada cilindro la misma cantidad de combustible, de lo que resulta mayor potencia por cilindrada, un par motor mayor, sobre todo a bajo número de revoluciones y menor consumo específico de combustible. (GERSCHLER Y OTROS pp. 281-282)

Clasificación de los sistemas de inyección:

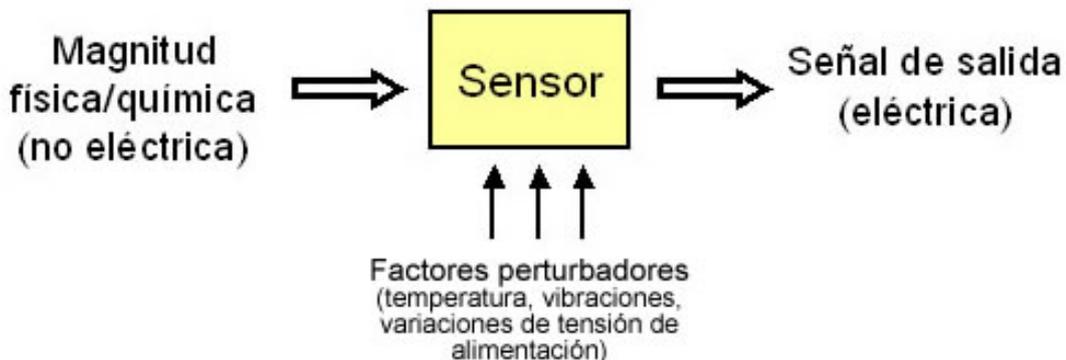
- Según el lugar donde inyectan

- Según el número de inyectores
- Según el tipo de inyección
- Según las características de funcionamiento

2.2 Partes del sistema de inyección electrónica a gasolina

2.2.1 Sensores. El sensor (también llamado sonda o transmisor) convierte una magnitud física (temperatura, revoluciones del motor, etc.) o química (gases de escape, calidad de aire, etc.) que generalmente no son señales eléctricas, en una magnitud eléctrica que pueda ser entendida por la unidad de control. La señal eléctrica de salida del sensor no es considerada solo como una corriente o una tensión, sino también se consideran las amplitudes de corriente y tensión, la frecuencia, el periodo, la fase o así mismo la duración de impulso de una oscilación eléctrica, así como los parámetros eléctricos "resistencia", "capacidad" e "inductancia".

Figura 1. Funcionamiento básico de un sensor



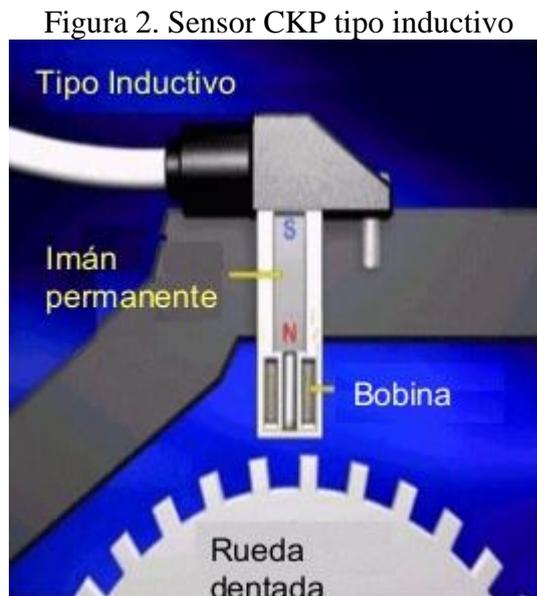
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores.htm>

2.2.1.1 Sensor de posición del cigüeñal (CKP). La función que cumple este tipo de sensor es la de ubicar la posición del cigüeñal (Pistón número 1) y el cambio de velocidad del giro del cigüeñal o revoluciones por minuto del motor, con el objetivo de que el PCM controle la activación del relé de la bomba de combustible, la dosificación de combustible y el punto de encendido. Este sensor puede ser de tipo inductivo, efecto hall u óptico.

El sensor CKP tiene solo dos pines de conexión correspondientes a los extremos de la bobina del sensor, en algunos casos posee tres cables, siendo el tercero una mallada o blindaje a masa para evitar corrientes parásitas del encendido. (CISE. Electronics, 2011)

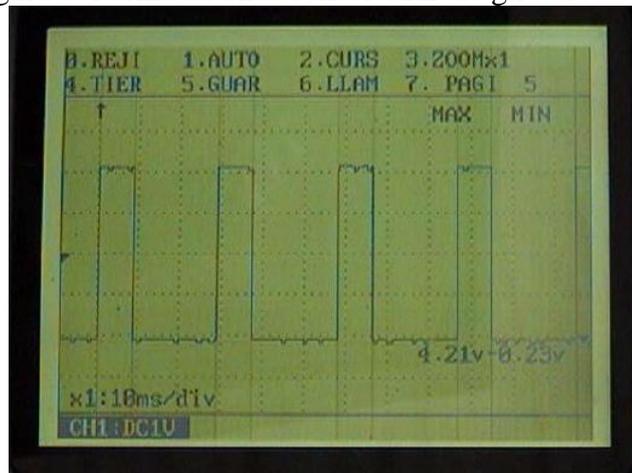
El sensor de efecto hall se conecta mediante tres cables eléctricos:

- Alimentación que suele ser de 5 o 12 voltios
- Masa del vehículo
- Señal de salida que varía según la posición de la corona metálica



Fuente: <http://es.slideshare.net/MatiasCisterna/sensores>

Figura 3. Forma de onda sensor CKP de giro efecto hall



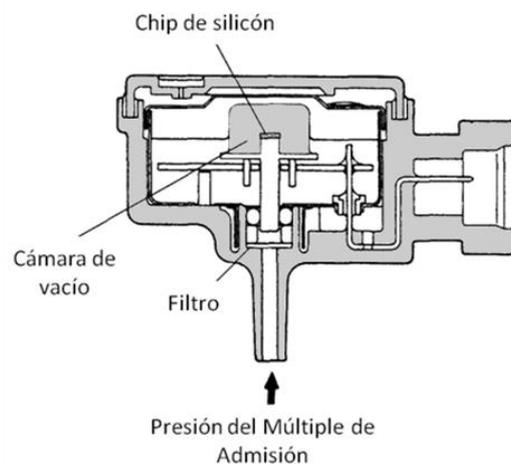
Fuente. Programa técnico master 2011, módulo 2 Inyección Electrónica

2.2.1.2 *Sensor de presión absoluta (MAP).* El sensor MAP envía una señal que puede ser analógica o digital, de acuerdo a la información que obtiene sobre los cambios de presión atmosférica, en el vacío del motor y en el múltiple de admisión para informar sobre la carga del motor a la ECU, esta señal corresponde a la presión absoluta que hay

en el múltiple de admisión, con el propósito de establecer la dosificación del combustible en las diferentes condiciones de carga del motor y altitud sobre el nivel del mar. (CISE. Electronics, 2011)

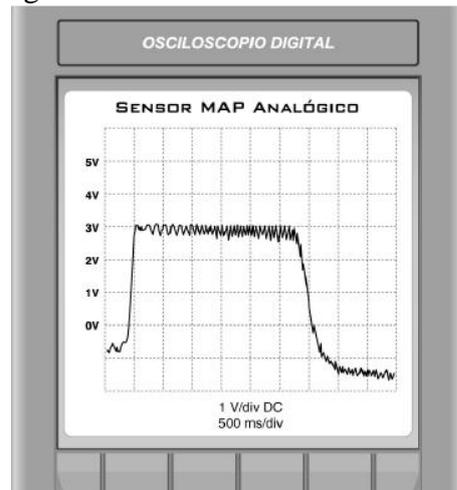
Si la presión es baja la carga del motor es pequeña y el PCM inyectará poco combustible. Si en cambio la presión en el múltiple es alta (presión atmosférica o próxima a ella) el PCM interpretará que la carga al motor es grande e inyectará más combustible (ALONSO, 2004).

Figura 4. Sensor de presión absoluta o MAP



Fuente: Programa técnico master 2011, módulo 2 Inyección Electrónica

Figura 5. Forma de onda sensor MAP



Fuente: Programa técnico master 2011, módulo 2 Inyección Electrónica

2.2.1.3 *Sensor de posición de la mariposa (TPS).* El sensor TPS informa al PCM de la posición de la mariposa de aceleración. Está compuesto por un potenciómetro de tres

cables aunque en algunos sistemas se le agrega un cuarto cable correspondiente a un "CUT OFF" o Idle Switch. (CISE. Electronics, 2011 pp. 8-9)

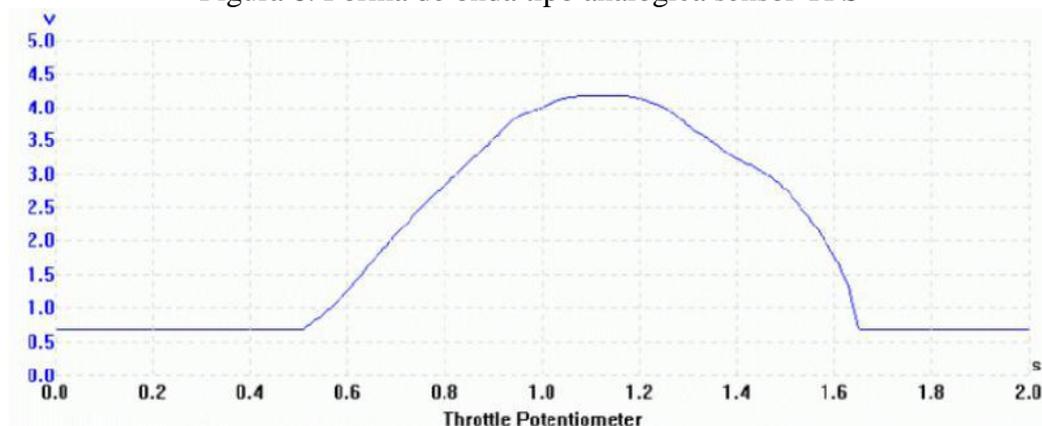
La condición de mariposa cerrada se suele representar por un voltaje bajo menor a 1 voltio, mientras que la mariposa totalmente abierta se representa con un voltaje alto normalmente 4,5 voltios, detecta la posición y la velocidad de apertura de la mariposa de aceleración para enviarla a la ECU con el propósito de:

- Corregir la dosificación de combustible.
- Corregir el avance de encendido.
- Controlar la marcha de ralentí.
- Controlar la activación de la EGR.
- Desconectar el A/C en aceleración súbita.

El sensor TPS es un potenciómetro o divisor de tensión que utiliza una pista resistiva y un cursor o escobilla móvil, la señal de salida del sensor TPS inicia con una tensión mínima, y a medida que se abre la mariposa la tensión debe ir ascendiendo hasta llegar al valor máximo. (CISE. Electronics, 2011)

La señal del TPS es una señal de tipo analógica y que observándola en el osciloscopio presenta la siguiente forma:

Figura 6. Forma de onda tipo analógica sensor TPS



Fuente: Programa técnico master 2011, módulo 2 Inyección Electrónica

2.2.1.4 *Sensor de detonación o pistoneo (KS).* El sensor de detonación se sitúa en el bloque del motor y se trata de un generador de voltaje. Tiene como objetivo recibir y

controlar las vibraciones anormales producidas por el pistoneo, transformando estas oscilaciones en una tensión de corriente que aumentará si la detonación aumenta.

Es un sensor de tipo piezoeléctrico, la detonación o cascabeleo del motor provoca que el sensor genere una señal de bajo voltaje y esta es analizada por el PCM (computadora del carro). (CISE. Electronics, 2011)

Esta información es usada por el PCM para controlar la regulación del tiempo, traza el tiempo hasta un límite que varía según el fabricante puede ser de 17 a 22 grados, esto lo hace a través de un módulo externo llamado control electrónico de la chispa. El uso de este sensor es frecuente en los vehículos deportivos o equipados con turbo. (CISE. Electronics, 2011)

La computadora utiliza esta señal para ajustar el tiempo de encendido, y evitar el desbalance de la mezcla aire-gasolina. Frecuentemente se encuentra ubicado en la parte baja del monoblock al lado derecho. (Algunos motores en "V" traen este sensor en el centro del block). (CISE. Electronics, 2011)

Figura 7. Forma de onda del sensor KS



Fuente: <http://mecatronicaautomotriz2009201.blogspot.com/2011/07/knock-sensor.html>

2.2.1.5 *Sensor de temperatura del refrigerante (WTS o CTS).* La función principal de este elemento es evaluar la temperatura del líquido refrigerante del motor y enviar una señal analógica a la ECU para que realice las siguientes operaciones:

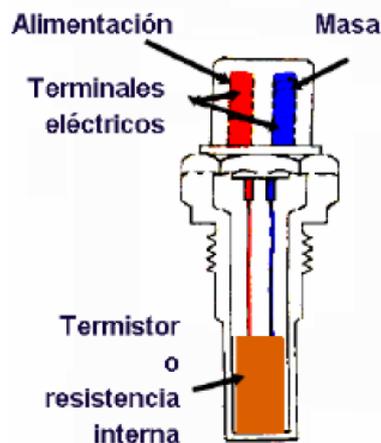
- Corregir la dosificación de combustible.
- Corregir el avance de encendido.
- Controlar la marcha de ralentí.
- Controlar la activación de la EGR.
- Controlar el accionamiento del electro ventilador del motor.

Este sensor se compone de dos terminales de alimentación uno positivo y otro negativo e internamente posee un sensor de temperatura tipo termistor con coeficiente negativo tipo NTC o coeficiente de temperatura negativo, la forma de onda de este sensor es del tipo exponencial pero invertida que se interpreta con un aumento de la temperatura hay menor resistencia. (SANTANDER, 2005)

- La alimentación es suministrada por la ECU (Voltaje de referencia)
- La masa es suministrada por la ECU (Masa electrónica)
- El valor de la resistencia del termistor es afectado por el valor de la temperatura del líquido refrigerante.

Con el motor frío, la temperatura del refrigerante será baja y la resistencia del termistor será alta, pero la tensión de la señal será alta. A medida que el refrigerante del motor aumenta su temperatura, el valor de la resistencia del termistor y la tensión de la señal disminuyen.

Figura 8. Sensor de temperatura del refrigerante WTS



Fuente: Programa técnico master 2011, módulo 2 Inyección Electrónica

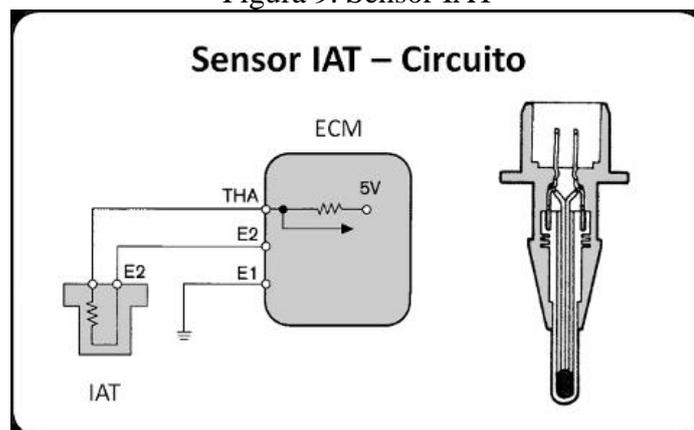
2.2.1.6 *Sensor de temperatura de aire de admisión (IAT).* La función que cumple este sensor consiste en medir la temperatura del aire que ingresa al motor y enviar una señal analógica a la ECU para que realice las siguientes operaciones:

- Corregir la dosificación de combustible.
- Controlar la activación de la EGR.

La señal del sensor IAT sirve para que la ECU compense la densidad del aire que ingresa al motor, la densidad del aire varía con la temperatura de esta forma si el aire caliente contiene menos oxígeno, por lo tanto la ECU tiene que realizar ajustes en la dosificación de combustible, la ubicación de este sensor está en el múltiple de admisión y en algunos casos forman solo conjunto con el MAF o sensor de flujo de aire. (CISE. Electronics, 2011)

El circuito de funcionamiento del sensor es muy sencillo en donde este forma un partidor de tensión con el termistor y con una resistencia que está presente en el interior del PCM de esta forma conforme cambie la resistencia en el elemento sensor el voltaje del partidor cambiará, esta señal es captada por el PCM para realizar las funciones anteriormente nombradas. (CISE. Electronics, 2011)

Figura 9. Sensor IAT



Fuente: <http://e-auto.com.mx>

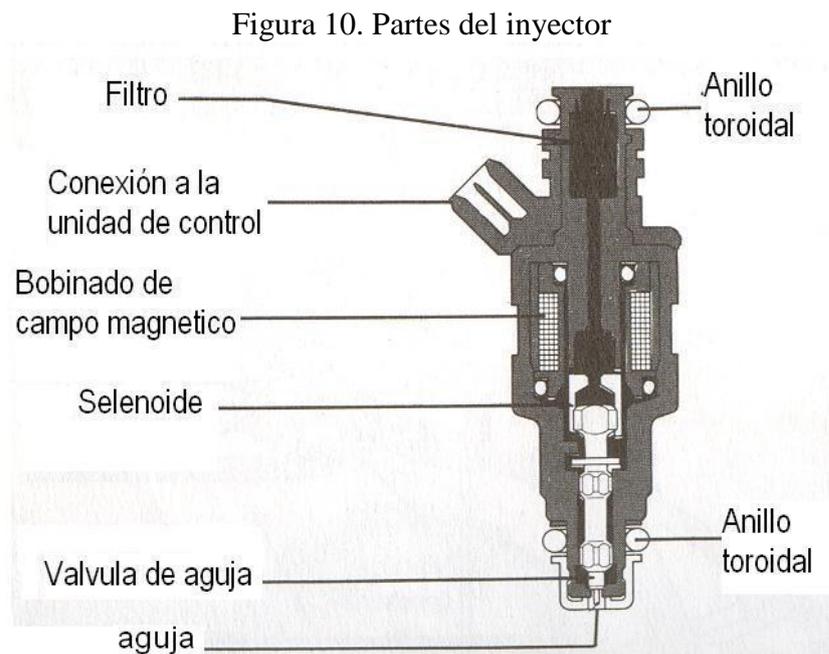
2.2.2 *Actuadores.* Son todos aquellos dispositivos que al contrario de los sensores, tienen la capacidad de transformar una magnitud eléctrica en una magnitud física (posición, rotación, activación de solenoides, etc.) por medio de ellos la unidad de control puede manipular el comportamiento del motor para que se ajuste a las condiciones

óptimas de funcionamiento. Ejemplo de ellos, son los inyectores, bobinas de encendido, válvula EGR, sistema EVAP, etc. (CISE. Electronics, 2011)

2.2.2.1 Inyector de gasolina. El inyector es el encargado de pulverizar el combustible para que así se mezcle con el aire y se produzca la combustión por lo que está ubicado en el múltiple de admisión. (CR, 2015)

El tiempo de apertura del inyector así como la presión a la que se encuentra la gasolina determinan la cantidad inyectada. Estos dos factores, presión y tiempo de apertura, así como el momento en que se realiza, son los que hay que controlar con precisión para obtener una mezcla óptima, aunque parezca simple el trabajo del inyector, en realidad puede considerarse una maravilla de la tecnología teniendo en cuenta que: (SANTANDER, 2005)

- Cuando un pequeño motor funciona en ralentí el volumen de gasolina inyectada equivale al de una cabeza de alfiler y lo hace con mucha precisión.
- El tiempo que tiene para inyectar la gasolina cuando el motor gira a unas 4000 rpm es de solo 0,00375 segundos es decir algo más de 3 milésimas de segundo, en ese tiempo debe abrirse y cerrarse con gran exactitud.



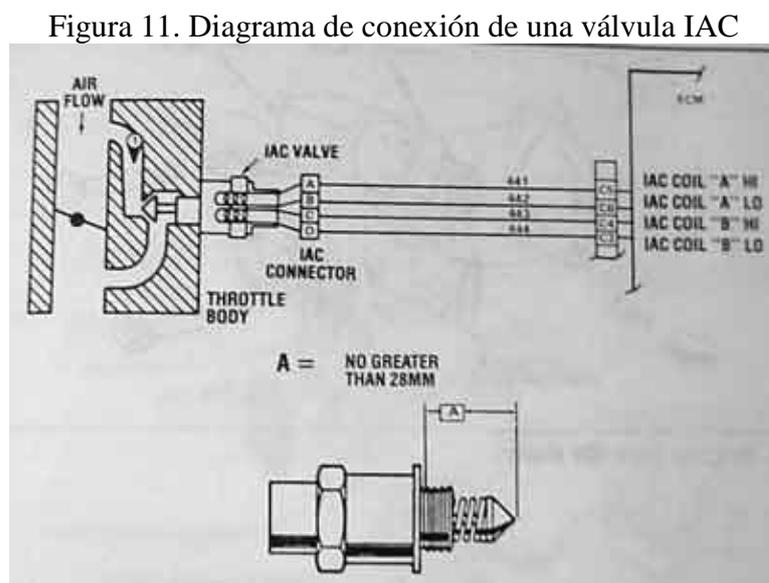
Fuente: <http://www.fullmecanica.com/definiciones/i/1596-inyectores-de-gasolina>

2.2.2.2 *Válvula de control de velocidad de ralentí (IAC).* La función del sistema de control de velocidad de ralentí es mantener constante las revoluciones del motor en marcha mínima con y sin cargas de accesorios.

La válvula de control de velocidad de ralentí controla las revoluciones por minuto del motor abriendo o cerrando un ducto de paso de aire paralelo a la mariposa de aceleración, el IAC es controlado por la ECU en función de las señales del CKP, TPS, ECT, IAT, Interruptores (Frenos, Luces, Alternador, Dirección hidráulica, Compresor A/C, Park/Neutral T/A.) (CISE. Electronics, 2011)

- La señal de la TPS es imprescindible para el funcionamiento del IAC
- La velocidad de ralentí es controlada por la ECU a través del actuador IAC.

Para el actuador paso a paso, el ECM envía pulsos de corriente, el cual es un tipo especial de motor que no gira continuamente sino en pequeños y precisos incrementos llamados “pasos” y puede operar en las dos direcciones permitiendo que la punta pueda salir o ingresar un “paso” con una distancia especificada por cada pulso de corriente controlando así el flujo de aire hacia el motor. (Puede operar desde CERO a 120 pasos). (CISE. Electronics, 2011 p. 50)



Fuente: Programa técnico master 2011, módulo 2 Inyección Electrónica

2.2.3 *Compatibilidad del sistema de inyección electrónica con combustibles alternativos (mezcla etanol-gasolina).* Uno de los retos de la automoción actual es

optimizar los motores de combustión interna para conseguir que los vehículos, tanto los que usan diésel como los de gasolina, aumenten su rendimiento a la vez que minimicen las emisiones contaminantes. Para ello, los científicos estudian distintas técnicas de combustión, pero hacerlo con experimentos reales resulta muy costoso y no siempre permite obtener información detallada. (MEDINA A., 2014)

Una alternativa es realizar los experimentos mediante simulaciones por ordenador. En este ámbito trabaja el Grupo de Investigación en Termodinámica y Física Estadística de la Universidad de Salamanca, que ahora ha publicado en la revista *Meccanicae* un estudio donde se indica que un automóvil de gasolina funciona mejor con una mezcla de hasta un 20% de etanol sin tener que modificar el diseño del motor. Por encima de este porcentaje ya sería necesario realizar cambios en el motor para que pudiera adaptarse al biocombustible. (MEDINA A., 2014)

Los experimentos en los laboratorios son caros y es difícil obtener ciertos datos. Sin embargo, con las simulaciones, a partir de leyes físicas y químicas básicas, se resuelven ecuaciones diferenciales complicadas y se puede medir todas las variables de una forma más rápida y económica, explica Alejandro Medina, investigador del Departamento de Física Aplicada. Los resultados se validan comparándolos con los que se obtienen en los motores experimentales y, a partir de ahí, es como tener el motor en un ordenador. (MEDINA A., 2014)

Las conclusiones de este estudio ya se habían demostrado experimentalmente, pero de esta forma quedan ratificadas con nuevos detalles técnicos. Con esa quinta parte de etanol en la mezcla, aumenta la potencia del motor, disminuyen las emisiones de monóxido de carbono y disminuye el consumo. Además, la mezcla tiene un octanaje mayor. (MEDINA A., 2014)

Como conclusión una de las maneras más sencillas, frecuentes e inmediatas para utilizar el etanol como combustible es a través de las mezclas con gasolina en los vehículos ya existentes en el país, sin necesidad de efectuar modificaciones en los motores. En este sentido, es necesario verificar las implicaciones para adoptar las mezclas de etanol y gasolina sobre el desempeño de los motores, la maniobrabilidad y la durabilidad de los vehículos y el impacto ambiental asociado. (CGEE, 2008 p. 39)

Cabe mencionar que la utilización de un mayor porcentaje de etanol en el combustible implicará (U.S. DEPARTAMENT OF ENERGY., 2014) realizar modificaciones significativas, estos cambios deben ser efectuados en el sistema de alimentación de combustible y en la ignición, para compensar las diferencias en la relación aire-combustible y otras propiedades. Además, debe haber algunos cambios de materiales en contacto con el combustible, como tratamiento anticorrosivo de las superficies metálicas de los tanques, filtros y bombas de combustible y sustitución de tuberías o adopción de materiales más compatibles con el etanol o vehículos adaptados para tal uso, que pueden usar motores propios para este combustible o motores *flex-fuel*, capaces de usar cualquier mezcla de etanol hidratado y gasolina (con 20 a 25% de etanol). (CGEE, 2008 p. 42)

Con el desarrollo de sistemas de inyección más avanzados en el caso de motores flexibles en un futuro ya no habrá necesidad de utilizar sistemas auxiliares como arranque en frío, permitiendo la utilización incluso de etanol puro.

En países como Estados Unidos y Brasil ya es habitual la venta de gasolina mezclada con etanol, un biocombustible menos contaminante porque genera menos monóxido de carbono, y que además es renovable porque procede de la destilación de cereales ricos en azúcar. Por eso, la investigación en torno a las propiedades del etanol cobra una especial importancia de cara a problemas como la lucha contra el cambio climático. (CGEE, 2008 pp. 43-44)

2.3 Tipos de combustibles

Como combustible se define como toda sustancia o materia orgánica que al combinarse con el oxígeno es capaz de reaccionar produciendo una reacción de oxidación con desprendimiento de calor.

2.3.1 Combustibles fósiles. Son aquellos combustibles que se han formado hace millones de años en el planeta a partir de los restos orgánicos de plantas y animales muertos. Los mencionados restos orgánicos de plantas y animales se depositaron en las aguas, que luego fueron cubiertas por sedimentos y tras miles de años se produjeron las famosas reacciones químicas que transformaron tales restos en carbón, gas y petróleo. (F. PAYRI, 2011 pp. 393-396)

El carbón, el lignito y la turba, por ejemplo, tienen su origen en los restos oceánicos de árboles y plantas de bosques que se hundieron en el agua de pantanos, se pudrieron como consecuencia de la acción del agua y las bacterias, se fueron cubriendo poco a poco de capas sucesivas de fangos que solidificaron y se convirtieron en rocas. (Textos Científicos, 2006)

2.3.2 *Combustibles alternativos.* Los combustibles alternativos están derivados de otras fuentes además del petróleo. Unos son producidos en el país, reduciendo nuestra dependencia en el petróleo importado, y otros son sacados de fuentes renovables. A menudo, producen menos contaminación que la gasolina o el diésel. (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY., 2014)

Los combustibles alternativos deben ser más económicos y ecológicos que los tradicionales, se encuentran como una tecnología en desarrollo que aunque todavía no alcanzan la potencia de los combustibles tradicionales en un futuro cercano podrían superar a los derivados del petróleo. (F. PAYRI, 2011 pp. 396-400)

2.3.2.1 *Biocarburantes.* Un biocarburante es una mezcla de sustancias orgánicas utilizado como combustible en los motores de combustión interna. Deriva de la biomasa, materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. (MARTIN, 2004 p. 37)

Para la obtención de los biocarburantes se pueden utilizar especies de uso agrícola tales como el maíz o la mandioca, ricas en carbohidratos, o plantas oleaginosas como la soja, girasol y palmas. También se pueden emplear especies forestales como el eucalipto y los pinos. (MARTIN, 2004 p. 37)

Al utilizar estos materiales se reduce considerablemente el dióxido de carbono que es enviado a la atmósfera terrestre ya que estos materiales lo van absorbiendo a medida que se van desarrollando, mientras que emiten una cantidad similar que los carburantes convencionales en el momento de la combustión.

Generalmente los biocombustibles se mezclan con otros combustibles en cantidades que varían del 5 al 10%. (MARTIN, 2004 p. 38)

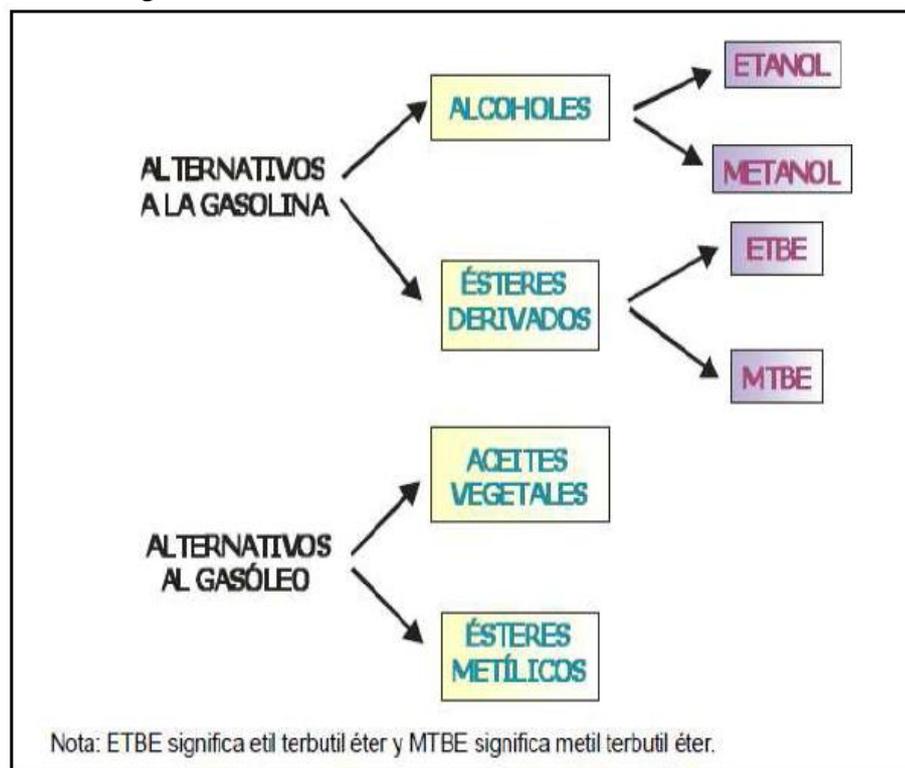
Se pueden clasificar en tres tipos dependiendo del destino final de la biomasa:

Oleaginosos. Se emplea en la producción de aceite para ser quemado directamente o para ser transformado en biodiesel, el cual será quemado para sustituir parcial o totalmente a la gasolina. (MARTIN, 2004 p. 38)

Alcoholígenos. Se suelen utilizar para la producción de alcoholes con el fin de sustituir parcialmente a la gasolina o totalmente, así como para producir componentes antidetonantes sustitutivos del plomo como el ETBE. (MARTIN, 2004 p. 38)

Lignocelulósicos. Se utilizan con fines térmicos para la producción de biocombustibles sólidos. Los biocarburantes se pueden distinguir según sean alternativos a la gasolina o al gasóleo. (MARTIN, 2004 pág. 38)

Figura 12. Clasificación de los biocarburantes alternos



Fuente: MARTIN, Francisca

2.3.3 *Alcoholes.* En química se denomina alcohol a aquellos compuestos químicos orgánicos que contienen un grupo hidroxilo (-OH) en sustitución de un átomo de hidrógeno, enlazado de forma covalente a un átomo de carbono. (QUÍMICA ORGÁNICA.org, 2013)

Los alcoholes suelen ser líquidos incoloros de olor característico, solubles en el agua en proporciones variables y menos densos que ella. Al aumentar la masa molecular, aumentan sus puntos de fusión y ebullición, pudiendo ser sólidos a temperatura ambiente (Ejemplo: el pentaeritritol funde a 260 °C). (QUÍMICA ORGÁNICA.org, 2013)

El metanol y el etanol son los principales alcoholes aplicables a motores de combustión interna. En algunos países se han experimentado y planteado otro tipo de alcoholes, como el isobutanol, el glicol, el n-butanol y el alcohol terbutílico, que su incidencia real ha sido poco significativa, además de ser de origen petroquímico. (QUÍMICA ORGÁNICA.org, 2013)

Parece ser que el dimetil éter, que es gaseoso, está siendo estudiado como posible carburante por algunos países.

Hay tres razones fundamentales para explicar el predominio de los alcoholes con uno o dos átomos de carbono:

- La fabricación y la inflamabilidad son conocidas desde la antigüedad.
- Son líquidos a la temperatura ambiente, su volatilidad es razonable y sus cualidades como combustibles son buenas.
- Se pueden obtener fácilmente de la fermentación y/o destilación de productos orgánicos.

2.3.3.1 *Etanol.* El etanol es un compuesto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que puede utilizarse como combustible, solo, o bien mezclado en cantidades variadas con gasolina, y su uso se ha extendido principalmente para reemplazar el consumo de derivados del petróleo. (F. PAYRI, 2011 p. 398)

Su fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$), principal producto de las bebidas alcohólicas como el vino (alrededor de 13%), la cerveza (5%) o licores (hasta un 50%).

2.3.3.2 *Producción y uso del etanol como combustible.* Los dos principales productores mundiales de etanol son Estados Unidos y Brasil, que juntos producen el 70%

del total, seguidos por China, India y Francia, incentivos del mercado han provocado el desarrollo de crecientes industrias en países como Tailandia, Filipinas, Guatemala, Colombia y República Dominicana.

En 2006 la producción mundial total de etanol en todos sus grados fue de 51,06 mil millones de litros (13,49 mil millones de galones internacionales), en la actualidad diversos países, como China, Tailandia, Australia y Colombia, adoptaron el E10 como punto de partida para la utilización de etanol en los mercados.

La experiencia de diversos países con la mezcla E10 permite asegurar que se puede introducir el uso de esta mezcla para abastecer el parque automotriz sin mayores modificaciones de los vehículos. (CGEE, 2008 p. 38)

En Brasil desde la década de 1980, la concentración de etanol anhidro en la totalidad de la gasolina comercializada en las gasolineras se mantuvo por encima del 20%. En esta misma década Estados Unidos también inicio con el uso de mezclas etanol-gasolina, esta concentración estuvo limitada al 10%, conocida esta mezcla como E10, y fue considerado por la industria como el porcentaje máximo de mezcla a adoptar sin necesidad de modificaciones de materiales, componentes o re calibración del motor. (CGEE, 2008)

No obstante la larga experiencia con el etanol como combustible en algunos países, en particular Brasil es notable, en diversos países donde el etanol todavía no se utiliza regularmente, subsisten prejuicios y desinformaciones sobre las reales condiciones de uso y las ventajas que se deben asociar a este combustible y aditivo. (CGEE, 2008 pág. 43)

2.3.3.3 *Dimensiones técnicas y ambientales del uso del etanol.* El etanol puede ser utilizado como combustible en motores de combustión interna con ignición a chispa (Ciclo Otto) de dos maneras, básicamente:

- En mezclas de gasolina y etanol anhidro
- Como etanol puro, generalmente hidratado

Según esta legislación brasileña, considerando concentraciones en masa, el etanol anhidro debe contener menos del 0,6% de agua, mientras que para el etanol hidratado esta

concentración debe estar entre el 6,2% y 7,4%. Expresados como proporción en volumen a 20° C, estos valores corresponden, respectivamente, a una concentración máxima del 0,48% para el etanol anhidro y una franja del 4,02% a 4,87% para el etanol hidratado. (CGEE, 2008 p. 41)

2.3.3.4 Propiedades de los alcoholes. El metanol es una molécula de pequeño tamaño, constituido por el 50% de su peso molecular de oxígeno y forma un grupo hidroxilo que, en comparación con los demás hidrocarburos, hace que sea una molécula fuertemente polar. Estos factores causan las importantes diferencias entre las propiedades del metanol comparándolo con los carburantes convencionales. El etanol es más parecido a un hidrocarburo, ya que tiene un enlace carbono-carbono. (MARTIN, 2004)

La descripción de cada una de las propiedades nos ayuda a conocer su fórmula química, que ayuda a diferenciar a que tipo pertenece, su densidad para posteriores cálculos su temperatura de ebullición, la presión de vapor Reid para determinar de mejor manera su almacenamiento y transporte. (MARTIN, 2004)

Tabla 1. Características físicas y químicas más significativas del etanol y el metanol

Propiedad	Unidad	Metanol	Etanol (Anhidro)
Fórmula química		CH ₄ OH	C ₂ H ₆ O
Densidad (Líquido a 15°C)	Kg/dm ³	0,769	0,794
Temperatura de ebullición	°C	64,7	78,3
Presión de vapor Reid (37,8°C)	KPa	32	16
Calor latente de vaporización	KJ/Kg	1,100	845
Poder calorífico inferior másico	KJ/Kg	19,937	26,805
Poder calorífico inferior volumétrico	KJ/dm ³	15,870	21,285
Número de octanos Research	RON	120	120
Número de octanos motor	MON	87	87
Número de cetano	NC	0-(-3)	5
Número de metano	NM	70	70

Fuente: Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales.

Características que nos permiten conocer detalladamente su comportamiento en ciertas condiciones que son indispensables para el manejo adecuado de estos alcoholes, además nos permiten comparar a cada uno de ellos. (MARTIN, 2004)

2.3.3.5 Principales propiedades de los combustibles líquidos. Como derivados que son del petróleo crudo, los combustibles líquidos están formados básicamente por compuestos hidrocarbonados. Pueden contener, además, O₂, S, N.

Las principales propiedades de los combustibles líquidos y principalmente de la gasolina se describen a continuación:

- *Número de octanos.* Es la principal propiedad al estar relacionada directamente con el rendimiento del motor del vehículo. Es la medida o habilidad para quemarse sin causar detonación. La gasolina tiene un número de octano entre 90 y 100 dependiendo del tipo de gasolina. (QUÍMICA ORGÁNICA.org, 2013)
- *Curva de destilación.* Esta propiedad se relaciona con la composición de la gasolina, su volatilidad y su presión de vapor. Por lo tanto se considera que a un 10% de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 70°C, se asegura la presencia de componentes volátiles para un fácil arranque en frío. A un 50% de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 140°C, se asegura una volatilidad correcta y una máxima potencia durante la aceleración del motor. A un 90% y al punto final de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 190°C y 225°C respectivamente, se evitan tanto depósitos en el motor como dilución del aceite y se proporciona un buen rendimiento del combustible. (QUÍMICA ORGÁNICA.org, 2013)
- *Volatilidad.* Esta propiedad representa de forma indirecta el contenido de los componentes volátiles que brindan la seguridad de la gasolina en su transporte y almacenamiento. Esta propiedad de la gasolina se mide como la presión de vapor la cual tiene un valor de 0,7-0,85 mmHg. (QUÍMICA ORGÁNICA.org, 2013)
- *Contenido de azufre.* Se relaciona con la cantidad de azufre presente en el producto, si la cantidad de azufre sobrepasa la norma establecida la gasolina puede tener efectos corrosivos sobre las superficies metálicas del motor y los tubos de escape. También se relaciona directamente con efectos nocivos para el medio ambiente como factor importante en la producción de lluvia acida. (QUÍMICA ORGÁNICA.org, 2013)

2.3.4 Mezclas etanol-gasolina. Debido al incremento de los precios de los combustibles fósiles en el mercado internacional y en general a los problemas medio ambientales, proponen la búsqueda de combustibles alternativos para buscar iniciativas a este problema a nivel mundial.

Muchos gobiernos destinan importantes recursos y flexibilizan sus decisiones políticas en torno a estos temas. Estudios relacionados con la disponibilidad actual de los combustibles fósiles demuestran la capacidad limitada de estos recursos y por tanto la vulnerabilidad a la que están sometidos todos los países dependientes energéticamente de este.

Existen numerosos investigadores que alertan los daños negativos que producen los combustibles de los hidrocarburos fósiles en el medio ambiente, mayor mente responsable de los aumentos de la temperatura en el planeta.

Los alcoholes, aceites vegetales, hidrógeno, gas natural comprimido, etc., son usados como una buena alternativa de combustibles para motores de combustión interna, de dichas fuentes alternativas los biocarburantes hasta este instante son los que llevan la vanguardia. En la actualidad se conoce fundamentalmente, como biocarburantes: los alcoholes, los aceites vegetales, y sus derivados. (CGEE, 2008)

Dentro de los alcoholes se encuentra el metanol y el etanol, los que a su vez se clasifican en hidratado (puro) y anhidro (es decir sin agua). El etanol anhidro es el requerido para mezclar con la gasolina. El etanol es biodegradable y se evaporara rápidamente si es derramado. (CGEE, 2008)

Al mezclar etanol y gasolina obtenemos un nuevo combustible con características distintas al valor determinado por la ponderación directa de las propiedades de cada componente a causa del comportamiento no lineal de ciertas propiedades, cabe mencionar que el etanol es una sustancia química simple mientras que la gasolina es una mezcla con más de 200 diferentes hidrocarburos derivados del petróleo. (CGEE, 2008)

El bioetanol o mezcla etanol-gasolina puede ser usado como combustible para motores encendidos por chispa en proporciones de mezclas de etanol con gasolina en un 10%, y

20% sin necesidad de realizar ninguna modificación del motor. (CGEE, 2008) (Ministerio Coordinador de Producción)

Actualmente, diferentes instituciones continúan investigando en este sentido con el objetivo de determinar las proporciones óptimas en la mezcla etanol-gasolina y la viabilidad de su empleo en el transporte automotor. Utilizando para las mezclas, distintos tipos de alcoholes y gasolinas, en especial la gasolina del tipo regular y el etanol anhidro, ya que con la gasolina regular se obtiene un mejor efecto antidetonante. (CGEE, 2008)

2.3.4.1 *Marco regulador para la mezcla de etanol y gasolina.* El Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC), en el marco del cambio de la matriz productiva, fomenta la producción de la gasolina ECOPAÍS, un biocombustible compuesto de 5% de bioetanol y un 95% de gasolina base.

Dentro del plan de trabajo del Comité Técnico del Consejo Consultivo de Biocombustibles se ha establecido, como actividad, la realización de un estudio que ayude a establecer una normativa para el uso y manejo de biocombustibles, actualmente se dispone de algunas recomendaciones técnicas emitidas por el Ministerio de Energía y Minas que han servido de base para establecer la propuesta para la ejecución del “Plan piloto de formulación y uso de gasolina con etanol anhidro en la ciudad de Guayaquil”, que está diseñado para facilitar la preparación de 5000 galones diarios de “gasolina extra” con etanol (mezcla 95% gasolinas + 5% etanol anhidro) y su comercialización en el área urbana de la ciudad de Guayaquil. (Ministerio Coordinador de Producción).

2.4 Estequiometría de combustibles

La estequiometría es el cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactantes (oxígeno y combustible) y los productos de la combustión. El balance de estas reacciones depende únicamente de la conservación de la masa de cada una de las especies químicas que intervienen en la reacción. (F. PAYRI, 2011 p. 356)

Es un proceso de combustión ideal de un hidrocarburo, si hay suficiente oxígeno disponible, el carbono y el hidrógeno que componen el combustible pueden ser completamente oxidados en dióxido de carbono y agua. (F. PAYRI, 2011 págs. 356-357)

2.5 Torque

Es la fuerza que producen los cuerpos en rotación, en un motor de combustión interna, la fuerza se produce por la explosión de la mezcla (aire/gasolina) dentro del cilindro, esta explosión que se aplica sobre la cabeza del pistón, se transmite a través de la biela hacia el cigüeñal que transforma el movimiento vertical en rotatorio.

El torque se mide en un banco o freno dinamométrico, que no es más que una instalación en la que el motor puede girar a toda su capacidad conectando, mediante un eje, a un freno o balanza que lo frena en forma gradual y mide la fuerza con que se está frenando.

El torque se calcula simplemente multiplicando la fuerza por la distancia, lo cual también aplica para un automóvil, ya que el efecto es el mismo. Existe una fuerza aplicada a una distancia determinada que produce el conocido “torque de los autos”.

2.6 Potencia

La potencia indica la rapidez con que puede trabajar el motor. La potencia máxima es el mayor número obtenido de multiplicar el torque del motor por la velocidad de giro en que lo genera.

$$\text{Potencia} = \text{Torque} \times \text{velocidad angular}$$

2.7 Emisiones Contaminantes

El aire está compuesto básicamente por dos gases: nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2). En un volumen determinado de aire se encuentra una proporción de nitrógeno (N_2) del 79 % mientras que el contenido de oxígeno es aproximadamente de un 21 %. El nitrógeno durante la combustión, en principio, no se combina con nada y tal como entra en el cilindro es expulsado al exterior sin modificación alguna, excepto en pequeñas cantidades, para formar óxidos de nitrógeno (NO_x). El oxígeno es el elemento indispensable para producir la combustión de la mezcla.

El control de las emisiones contaminantes es el factor que gobierna el diseño de los modernos sistemas de combustión. Los contaminantes más importantes derivados del proceso de combustión son los hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados

(aldehídos, alcanos, alquenos, etc.) y los óxidos de nitrógeno (NO_x), anteriormente comentados, además de las partículas, monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x) y gases que contribuyen al efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), estas sustancias representan una fracción muy pequeña del total de los gases de escape. (F. PAYRI, 2011 pág. 416)

2.7.1 *Sustancias que integran los gases de escape:*

- *Óxidos de nitrógeno (NO_x).* Los óxidos de nitrógeno se producen al existir una alta presión, alta temperatura y exceso de oxígeno durante la combustión en el motor. El monóxido de nitrógeno (NO), es un gas incoloro, inodoro e insípido. Al combinarse con el oxígeno del aire, es transformado en dióxido de nitrógeno (NO_2), de color pardo rojizo y de olor muy penetrante, provoca una fuerte irritación de los órganos respiratorios. Estas altas temperaturas generan a su vez una mayor emisión de óxidos nítricos. (F. PAYRI, 2011)
- *Monóxido de carbono (CO).* Se produce con motivo de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Es un gas incoloro, inodoro, explosivo y altamente tóxico. Bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. Es mortal, incluso en una baja concentración en el aire que respiramos. En una concentración normal en el aire ambiental se oxida al corto tiempo, formando dióxido de carbono CO_2 . (F. PAYRI, 2011)
- *Dióxido de azufre (SO_2).* El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso propicia las enfermedades de las vías respiratorias, pero interviene sólo en una medida muy reducida en los gases de escape. Es un gas incoloro, de olor penetrante, no combustible. (F. PAYRI, 2011)
- *Dióxido de carbono (CO_2).* Se produce al ser quemados los combustibles que contienen carbono. El carbono se combina durante esa operación con el oxígeno aspirado. Es un gas incoloro, no combustible. (F. PAYRI, 2011)
- *Plomo.* El plomo en el combustible impedía la combustión detonante debida a la auto ignición y actuaba como una sustancia amortiguadora en los asientos de las

válvulas. Con el empleo de aditivos ecológicos en el combustible sin plomo se han podido mantener casi idénticas las características antidetonantes. (F. PAYRI, 2011)

- *Hidrocarburos (HC)*. Son restos no quemados del combustible, que surgen en los gases de escape después de una combustión incompleta. La mala combustión puede ser debido a la falta de oxígeno durante la combustión (mezcla rica) o también por una baja velocidad de inflamación (mezcla pobre), por lo que es conveniente ajustar la riqueza de la mezcla. (F. PAYRI, 2011)
- *Las partículas de hollín (MP)*. Son generadas en su mayor parte por los motores diésel, se presentan en forma de hollín o cenizas. Los efectos que ejercen sobre el organismo humano todavía no están aclarados por completo. (F. PAYRI, 2011)
- *Medidas típicas de emisiones*. Los niveles de emisión pueden expresarse de distintas formas que a veces pueden dar lugar a comparaciones dificultosas y ambiguas. Las unidades más comúnmente utilizadas son el tanto por uno o tanto por ciento, las partes por millón y si las cantidades emitidas son muy pequeñas, en partes por billón. (F. PAYRI, 2011 págs. 419-441)

CAPITULO III

3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

3.1 Inspección del estado actual del motor

El estado actual del banco de pruebas para las investigaciones pertinentes que se realizaron posee las siguientes características:

- Serie del motor: C14SE
- Cilindrada total: 1589 cm³
- Potencia: 60 kW – 5800 min⁻¹
- Torque máximo: 114 Nm – 3400 min⁻¹
- Presión de compresión: 9,5 – 10 Bar
- Relación de compresión: 9,8:1
- Volumen del colector de admisión: 1540 cm³

El banco de pruebas motor corsa 1,6 l, se encuentra con todos sus sistemas auxiliares con un aparente estado de funcionamiento óptimo, procedemos a encender el motor con normalidad para verificar que tipo de inconvenientes se suscitan a lo largo de esta prueba de encendido y funcionamiento.

Durante la prueba de funcionamiento se observaron los siguientes problemas:

- Sistema eléctrico en mal estado, sensores y actuadores desconectados
- Luz indicadora de mal funcionamiento encendida
- Fuga de aceite en el retenedor del cigüeñal
- Fuga de agua en el radiador
- Termoswitch en mal estado

Una vez finalizada la prueba de funcionamiento se procedió a verificar y analizar las posibles causas de estas anomalías encontrándose las siguientes situaciones:

- Combustible sucio

- Aceite degradado
- Inyectores sucios
- Bujías con residuos de impurezas
- Mala manipulación y falta de mantenimiento del banco de pruebas e incorrecto almacenamiento del mismo.

Figura 13. Estado actual del banco de pruebas



Fuente: Autores

Figura 14. Estado actual del banco de pruebas



Fuente: Autores

3.2 Inspección del sistema de alimentación de combustible

Se inició la inspección del sistema de alimentación realizando una revisión por las diversas partes que conforman este sistema, se realizó la inspección del depósito de combustible donde se apreció que el combustible estaba sucio y con impurezas para lo cual se procedió a realizar una limpieza del mismo.

Se procedió a revisar el filtro de combustible para descartar cualquier tipo de obstrucción de combustible por posibles impurezas y suciedad.

Se comprobó el estado de las válvulas de caída de presión, válvula dosificadora de combustible y la bomba de combustible, sensor de presión en la rampa y regulador de presión, verificando que se encontraban en óptimas condiciones de funcionamiento.

Figura 15. Filtro de combustible



Fuente: Autores

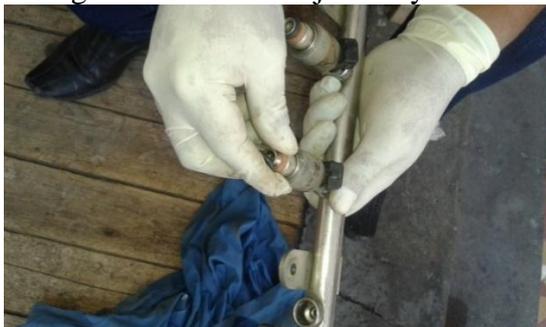
Se realizó el desmontaje del riel de inyectores para comprobar el estado de los inyectores y luego realizar la limpieza de los mismos si es necesario.

Figura 16. Riel de inyectores



Fuente: Autores

Figura 17. Desmontaje de inyectores



Fuente: Autores

Para finalizar la inspección del sistema de alimentación se procedió a realizar una prueba de hermeticidad para comprobar que no existan fugas de combustible, en los conductos, mangueras y cañerías.

Figura 18. Revisión de conductos, mangueras y cañerías de combustible



Fuente: Autores

3.3 Inspección del sistema de inyección electrónica

Para realizar la inspección del sistema de inyección electrónica se procedió a efectuar un testeo de los principales sensores del banco de pruebas Motor Corsa 1,6 l.

Los instrumentos que se utilizaron fueron:

- Multímetro digital automotriz
- Herramientas básicas
- Cepillo de alambre pequeño

Mediante el testeo se realizó la comprobación del estado de las conexiones y cableado de los sensores y actuadores del PCM, donde se procedió a medir continuidad de cables, voltaje, resistencias y amperaje donde se obtuvo los valores del testeo con dos parámetros de funcionamiento del motor:

KOEO (Key on engine off) Switch abierto motor apagado

KOER (Key on engine run) Switch abierto motor en marcha

3.3.1 *Sensor de presión absoluta (MAP).* Debemos tener en cuenta que para la medición de la señal de un sensor MAP presenta tres pines de conexión que son de

alimentación o voltaje de referencia, tierra y señal de salida que es la que envía el valor a la unidad de mando y cuyo voltaje oscila entre 0,7 y 2,7 V.

3.3.1.1 Procedimiento. Se procedió a realizar las pruebas para la comprobación de los voltajes de este sensor y se obtuvieron los siguientes voltajes:

Tabla 2. Valores de voltajes de testeo sensor MAP

Descripción	Referencia	Koeo
Alimentación o voltaje de referencia	+5V	+4.8
Masa	Menor de 60mV	25mV
Señal de salida	3,8V- 4,8V	3,336V

Fuente: Autores

Figura 19. Sensor MAP



Fuente: Autores

Figura 20. Oscilograma sensor MAP



Fuente: Autores

3.3.2 Sensor de posición del cigüeñal (CKP). Es uno de los sensores más importantes en el funcionamiento del motor al indicar la posición del cigüeñal. Sin los datos provistos por este sensor la computadora no sabría que el motor está en movimiento para el control de la ignición y la inyección de combustible.

3.3.2.1 Procedimiento. Para el chequeo de este sensor se procedió a realizar el testeo con la llave del vehículo en la posición de encendido y comprobándose el voltaje entre el terminal de tierra y el terminal de potencia, teniendo que existir en el cable de señal del sensor CKP una tensión entre 0 y 5 V.

Tabla 3. Valores de voltajes de testeo sensor CKP

Descripción	Referencia	Koeo
Alimentación del sensor	5V	0-12V
Señal del sensor	5V	0-5V

Fuente: Autores

Figura 21. Sensor CKP



Fuente: Autores

Figura 22. Medición de voltajes sensor CKP



Fuente: Autores

En esta figura podemos observar la forma de onda de este sensor:

Figura 23. Oscilograma sensor CKP



Fuente: Autores

3.3.3 *Sensor de temperatura del aire aspirado (IAT).* Al igual que el sensor de temperatura del refrigerante, el sensor de temperatura del aire que aspira del motor es un parámetro muy importante de información que debe recibir el computador, información que generalmente se la toma conjuntamente con el caudal de aire ingresado.

Es un termistor NTC que se encuentra debidamente protegido, sobre el cual incide todo el aire que penetra en el colector de admisión, el circuito de entrada a la ECU, reparte la tensión de referencia que es de 5 voltios, entre la resistencia del sensor y un valor fijo de referencia, obteniendo una tensión proporcional a la resistencia y por lo tanto a la temperatura.

Figura 24. Sensor de temperatura del aire aspirado IAT

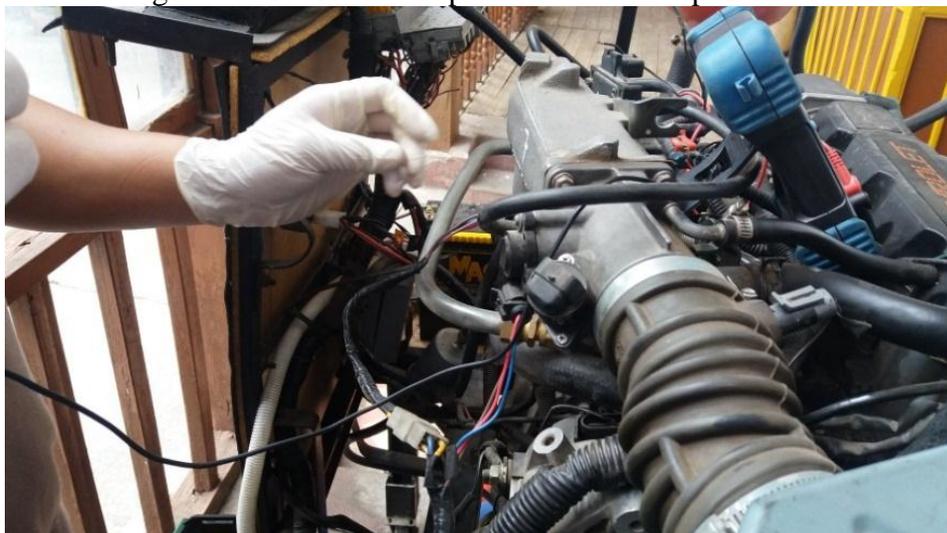


Figura. Autores

Figura 25. Medición de voltajes sensor de temperatura del aire aspirado IAT



Fuente: Autores

3.3.4 *Sensor de flujo de masa de aire (MAF).* Para el chequeo del sensor MAF se tuvo en cuenta que este sensor posee 3 cables, un terminal o cable negativo, un cable de señal que envía la información a la computadora, y un terminal de tierra, la manera de saber cuál terminal es la señal, fue conectar el terminal negativo del multímetro a tierra en el vehículo, se verifico que no existan cables que puedan enredarse en el ventilador o la banda del coche al arrancar el motor.

3.3.4.1 *Procedimiento.* Se probó los cables del sensor MAF, la terminal de tierra no mostrara nada, uno de los dos restantes tendrán corriente constante de 5 voltios, y el cable de señal puede variar su corriente dependiendo de la velocidad del motor, entre el 0,6 voltios al ralentí a alrededor de 4,5 voltios con la mariposa del acelerador totalmente abierta.

Figura 26. Sensor MAF



Fuente: Autores

Figura 27. Medición de voltaje del sensor MAF



Fuente: Autores

3.3.5 *Sensor de la mariposa de aceleración (TPS).* Para realizar el testeo del sensor TPS se tuvo en consideración que este sensor posee tres cables de conexión y en algunos casos puede tener cuatro cables, en este último caso incluye un switch, utilizado como contacto de marcha lenta.

3.3.5.1 *Procedimiento.* Para la medición de los voltajes de este sensor se necesitó el tester digital, colocando el negativo del tester a masa de carrocería, y el positivo al cable de señal, con el sistema en contacto.

Con la llave de encendido en la posición abierta se registró un voltaje de 9 a 1 voltios, como conclusión el multímetro registró una señal TPS sin apagones, este resultado indicó que el sensor TPS está en buen funcionamiento.

Figura 28. Oscilograma del sensor TPS



Fuente: Autores

3.3.6 *Inyector* de combustible. Para el chequeo de los inyectores se utilizó el osciloscopio y el multímetro automotriz.

3.3.6.1 *Procedimiento*. Para verificar el funcionamiento de los inyectores se comparó los voltajes referenciales con la gráfica y datos del osciloscopio.

Alimentación: 5,0 V o 12V +/- 0,2 V.

Masa: 60 mV.

Figura 29. Oscilograma del inyector



Fuente: Autores

Se puede observar en la figura el tipo de onda que posee el inyector de combustible, fijándose que es igual al que nos muestra el manual del fabricante.

3.4 **Mantenimiento del motor**

Luego de las pruebas de funcionamiento respectivas se procedió a solucionar los inconvenientes o problemas que se suscitaron en las mismas para disponer del óptimo funcionamiento del banco de pruebas, para los estudios respectivos de combustibles alternativos que se realizaron posteriormente.

3.4.1 *Sustitución del aceite del motor*. Se realizó el cambio del aceite del motor a fin de obtener un correcto funcionamiento del mismo con todas las propiedades de este lubricante ya que no se pudo visualizar el kilometraje o tiempo del uso del motor anteriormente.

Figura 30. Cambio de aceite del motor



Fuente: Autores

3.4.2 *Limpieza de inyectores.* Se procedió a desmontar los inyectores del banco de pruebas para realizar una limpieza de inyectores por ultrasonido y un cambio de micro filtros para evitar que los mismos estén obstruidos y contengan impurezas.

Figura 31. Banco de limpieza de inyectores



Fuente. Autores

3.4.3 *Cambio de bujías.* Se procedió a desmontar las bujías para reemplazarlas, se utilizará la bujía NGK BPR 5EY ya que se necesitará una combustión óptima al trabajar el motor con variaciones de combustibles.

Figura 32. Desmontaje y revisión de bujías



Fuente: Autores

3.4.4 *Cambio de filtro de aire.* Por el tiempo que estuvo almacenado el banco de pruebas se pudo constatar que el filtro de aire se encontraba en mal estado lleno de suciedad e impurezas ocasionando una mala combustión de la gasolina, por consiguiente se necesitó un cambio de este elemento.

Figura 33. Filtro de aire



Fuente: Autores

3.4.5 *Limpieza del tanque de combustible.* Apreciamos claramente impurezas y suciedad en el banco de pruebas debido el tiempo de almacenamiento que tuvo el mismo, realizando una limpieza del depósito de combustible.

Figura 34. Tanque de combustible



Fuente. Autores

3.4.6 *Limpieza de filtro de combustible.* Por seguridad y al constatar suciedad en el tanque de combustible se procedió a realizar una limpieza del filtro de combustible.

Figura 35. Filtro de combustible



Fuente: Autores

3.5 *Prueba de compresión.* Para descartar posibles fallos en elementos internos del motor se procedió a realizar una prueba de compresión.

3.5.1.1 *Procedimiento:*

- Se procedió a retirar las bujías del motor

Figura 36. Desmontaje de bujías



Fuente: Autores

- Se instaló el manómetro para medir la compresión en cada cilindro.

Figura 37. Acople de manómetro para medición de compresión



Fuente: Autores

- Desconectamos la bobina

Figura 38. Desconexión de bobina



Fuente: Autores

- Seguidamente se dio arranque al motor y se observó cuanto marca el manómetro, este procedimiento se lo realizó para cada cilindro y a continuación se detalla los datos obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 4. Valores en pruebas de compresión

Número de pistón	Pistón 1	Pistón 2	Pistón 3	Pistón 4
Valor de compresión	120 psi	125 psi	120 psi	125 psi

Fuente: Autores

3.6 *Prueba de presión de la bomba de combustible.* La necesidad de realizar las pruebas de presión es que la bomba de combustible tenga una suficiente fuerza para las necesidades del motor y que tenga un buen funcionamiento ya que de no ser así el vehículo no trabajaría de forma correcta y en ocasiones el vehículo no encendería. Para comprobar la presión en la bomba de combustible y sub sistemas de la línea de alimentación de combustible se decidió realizar una medición de la presión de combustible.

Figura 39. Equipos



Fuente. Autores

3.6.1 *Procedimiento.* Ubicar la línea de alimentación de combustible (generalmente la manguera más gruesa y que proviene del filtro de combustible). Desconectar el conducto de gasolina hacia el riel de inyectores.

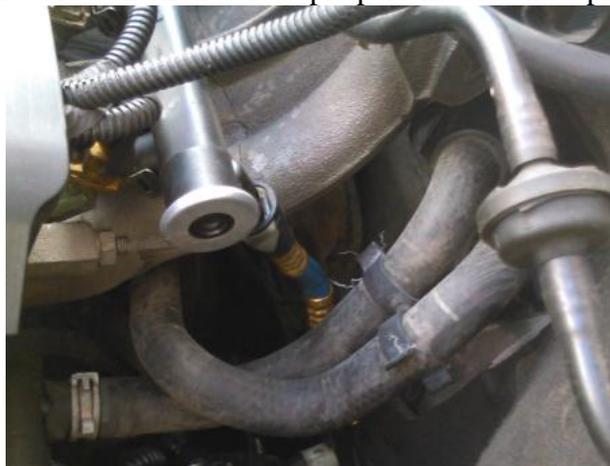
Figura 40. Riel de inyectores



Fuente: Autores

Se identificó el acople que se necesitó para conectar el manómetro al conducto de gasolina.

Figura 41. Conexión del acople para medición de presión



Fuente. Autores

Una vez conectado el manómetro dar marcha y encender el motor para verificar la presión del combustible, anotar la lectura de la medida de la presión de la bomba de combustible, que en este caso fue de 3,8 bares.

Figura 42. Manómetro



Fuente: Autores

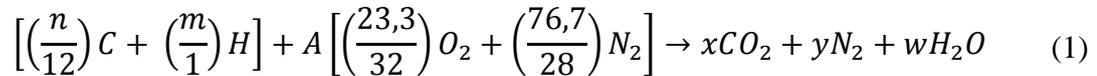
La lectura de presión es estable, está dentro de los parámetros de funcionamiento del fabricante por lo cual se comprobó su perfecto funcionamiento.

3.7 Balance químico y estequiométrico mezclas etanol-gasolina

Para determinar el objetivo dos acerca de las características del combustible etanol-gasolina, se procede a realizar los cálculos estequiométricos de la gasolina al 5%, 10%, 20%.

3.7.1 Mezcla E5 (95% gasolina + 5% Etanol)

Relación aire/combustible se parte de C_nH_m en masa



Donde:

A = Relación aire/combustible

n = Porcentaje de C en el combustible

m = Porcentaje de H en el combustible

x, y, z, w = Número de moles de los productos

Sacando los porcentajes en masa de gasolina y etanol

Gasolina C_8H_{18} = 114g

$$114g \rightarrow 100\%$$

$$96gC \rightarrow x = 82,2C\%$$

$$114g \rightarrow 100\%$$

$$18gH \rightarrow x = 15,7H\%$$

Etanol C_2H_5OH = 46g

$$46g \rightarrow 100\%$$

$$24g \rightarrow x = 52,2\%C$$

$$46g \rightarrow 100\%$$

$$6g \rightarrow x = 13\%H$$

$$46g \rightarrow 100\%$$

$$16g \rightarrow x = 34,8\%O$$

Gasolina al 95%

Densidad Gasolina = 0,736 g/ml

$$\delta = \frac{m (g)}{v (ml)} \rightarrow \text{masa} = \delta \cdot v \quad (2)$$

$22,41 \times n \rightarrow \text{Masa}$

$$\text{masa}_{C_8H_{18}} = (0,736g/ml) \times 0,95 \times 24ml = 16,7808g$$

Etanol al 5%

Densidad Etanol=0,79g/ml

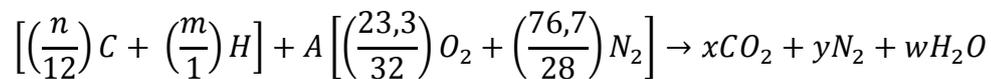
$$\text{masa}_{Etanol} = (0,79g/ml) \times 0,05 \times 24ml = 0,948g$$

Masa total (Gasolina 95% + 0,05% Etanol)

$$n_t = m_{C_8H_{18}} + m_{C_2H_5OH} \quad (3)$$

$$n_t = 16,781 + 0,948 = 17,7288g \text{ [Total]}$$

3.7.1.1 *Relación Estequiométrica.* Usando las ecuaciones completas de combustión al 100 por ciento y fracciones másicas para la gasolina común.



3.7.1.2 *Fracciones Másicas*

Gasolina (95% Volumen)

$$n_{C_8H_{18}} = \frac{m_{C_8H_{18}}}{n_t} \quad (4)$$

$$n_{C_8H_{18}} = \frac{16,7808}{17,7288} = 0,946$$

Etanol (5% Volumen)

$$n_{C_2H_5OH} = \frac{m_{C_2H_5OH}}{n_t} \quad (5)$$

$$n_{C_2H_5OH} = \frac{0,948}{17,7288} = 0,053$$

Para las incógnitas se aplica conversación de masas:

$$C = 7 \rightarrow X = 7$$

$$H = 15,7 = 2w = w = \frac{15,7}{2} = 7,85$$

$$w = 7,85$$

$$O = 2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 2x + w = A$$

$$2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 2(7) + 7,85$$

$$2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 21,85$$

$$A \left(\frac{46,6}{32} \right) = 21,85$$

$$A = \left[\frac{(21,85)(32)}{46,6} \right]$$

$$A = 15,06$$

$$N = A \left(\frac{76,7}{28} \right) = y$$

$$y = 41,1$$

Sustituyendo las incógnitas

$$7C + 15,7H + 15,06 \left[\left(\frac{23,3}{32} \right) O_2 + \left(\frac{76,7}{28} \right) N_2 \right] \rightarrow 7CO_2 + 41,1N_2 + 7,85H_2O$$

Para Bioetanol E5; mezcla 95%-5%

$$0,946 \left[\left(\frac{84,2}{12} \right) C + \left(\frac{15,7}{1} \right) H \right] + 0,053 \left[\left(\frac{52,2}{12} \right) C + \left(\frac{13}{1} \right) H + \left(\frac{34,8}{16} \right) O \right] \\ + A \left[\left(\frac{23,3}{32} \right) O_2 + \left(\frac{76,7}{28} \right) N_2 \right] \rightarrow xCO_2 + yN_2 + wH_2O$$

$$= [6,63C + 14,852H] + [0,229C + 0,689H + 0,115O_x] + A \left[\left(\frac{23,3}{32} \right) O_2 + \left(\frac{76,7}{28} \right) N_2 \right] \rightarrow \\ xCO_2 + yN_2 + wH_2O$$

$$= [6,866C + 15,54H + 0,115O_x] + A \left[\left(\frac{23,3}{32} \right) O_2 + \left(\frac{76,7}{28} \right) N_2 \right] \\ \rightarrow xCO_2 + yN_2 + wH_2O$$

$$C = 6,866 = x$$

$$x = 6,866$$

$$H = 15,541 = 2w$$

$$w = \frac{15,541}{2}$$

$$w = 7,770$$

$$O = 2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 2x + w - 0,115$$

$$2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 2(6,866) + 7,770 - 0,115$$

$$2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 21,387$$

$$A \left(\frac{46,6}{32} \right) = 21,387$$

$$A = 14,686$$

$$N = A \left(\frac{76,7}{28} \right) = y$$

$$14,686 \left(\frac{76,7}{28} \right) = y$$

$$y = 40,229$$

Sustituyendo:

$$6,866C + 15,541H + 0,115O_x + A \left[\left(\frac{23,3}{32} \right) O_2 + \left(\frac{76,7}{28} \right) N_2 \right]$$

$$\rightarrow 6,866CO_2 + 40,229N_2 + 7,770H_2O$$

3.7.2 Mezcla E10 (90% gasolina + 10% Etanol)

Relación aire/combustible se parte de C_nH_m en masa

$$\left[\left(\frac{n}{12} \right) C + \left(\frac{m}{1} \right) H \right] + A \left[\left(\frac{23,3}{32} \right) O_2 + \left(\frac{76,7}{28} \right) N_2 \right] \rightarrow xCO_2 + yN_2 + wH_2O$$

Donde:

A = Relación aire/combustible

n = Porcentaje de C en el combustible

m = Porcentaje de H en el combustible

x, y, z, w = Número de moles de los productos

Sacando los porcentajes en masa de gasolina y etanol

Gasolina C_8H_{18} = 114g

$$114g \rightarrow 100\%$$

$$96gC \rightarrow x = 82,2C\%$$

$$114g \rightarrow 100\%$$

$$18gH \rightarrow x = 15,7H\%$$

Etanol C_2H_5OH = 46g

$$46g \rightarrow 100\%$$

$$24g \rightarrow x = 52,2\%C$$

$$46g \rightarrow 100\%$$

$$6g \rightarrow x = 13\%H$$

$$46g \rightarrow 100\%$$

$$16g \rightarrow x = 34,8\%O$$

Partiendo de las densidades se obtiene las Fracciones Másicas:

Gasolina al 90%

Densidad Gasolina = 0,736g/ml

$$\delta = \frac{m(g)}{v(ml)} \rightarrow masa = \delta \cdot v$$

$$22,41 \times n \rightarrow Masa$$

$$masa_{C_8H_{18}} = (0,736g/ml) \times 0,9 \times 24ml = 15,876g$$

Etanol al 10%

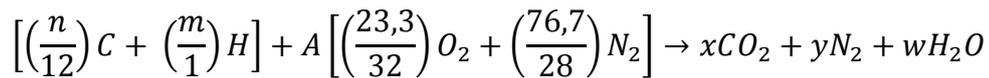
Etanol densidad=0,79g/ml

$$masa_{Etanol} = (0,79g/ml) \times 0,1 \times 24ml = 1,896g$$

Masa total (Gasolina 90% + 10% Etanol)

$$n_t = m_{C_8H_{18}} + m_{C_2H_5OH} = 15,8976 + 1,896 = 17,794g [Total]$$

3.7.2.1 *Relación Estequiométrica.* Usando las ecuaciones completas de combustión al 100 por ciento y fracciones másicas para la gasolina común.



3.7.2.2 *Fracciones Másicas*

Gasolina (90% Volumen)

$$n_{C_8H_{18}} = \frac{m_{C_8H_{18}}}{n_t} = \frac{15,8976}{17,794} = 0,89$$

Etanol (10% Volumen)

$$n_{C_2H_5OH} = \frac{m_{C_2H_5OH}}{n_t} = \frac{1,876}{17,794} = 0,107$$

Para las incógnitas se aplica conversación de masas

$$C = 7 \rightarrow X$$

$$H = 15,7 = 2w$$

$$w = \frac{15,7}{2} = 7,85$$

$$O = 2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 2x + w = A = 1,37(7) + 5,4 = 15$$

$$N = A \left(\frac{76,7}{28} \right) = y$$

$$y = 41,1$$

Sustituyendo las incógnitas

$$7C + 15,7H + 15 \left[\left(\frac{23,3}{32} \right) O_3 + \left(\frac{76,7}{28} \right) N_2 \right] \rightarrow 7CO_2 + 41,1N_2 + 7,89H_2O$$

Para Bioetanol E10; mezcla 90%-10%

$$0,893 \left[\left(\frac{84,2}{12} \right) C + \left(\frac{15,7}{1} \right) H \right] + 0,107 \left[\left(\frac{52,2}{12} \right) C + \left(\frac{13}{1} \right) H + \left(\frac{34,8}{16} \right) O \right] \\ + A \left[\left(\frac{23,3}{32} \right) O_2 + \left(\frac{76,7}{28} \right) N_2 \right] \rightarrow xCO_2 + yN_2 + wH_2O$$

$$= [6,26C + 14,02H] + [0,465C + 1,391H + 0,233O_x]$$

$$= [6,75C + 15,41H + 0,233O_x] + A \left[\left(\frac{23,3}{32} \right) O_2 + \left(\frac{76,6}{28} \right) N_2 \right] \\ \rightarrow xCO_2 + yN_2 + wH_2O$$

$$C = 6,75 = x$$

$$H = 15,41 = 2w = w = 7,70$$

$$O = 2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 2x + w - 0,233$$

$$O = 2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 26,75 + 7,70 - 0,233$$

$$= 2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 20,96$$

$$= A \left(\frac{46,6}{32} \right) = 20,96$$

$$A(46,6) = 670,944$$

$$A = 14,39$$

$$N = A \left(\frac{76,7}{28} \right) = y$$

$$y = 39,91$$

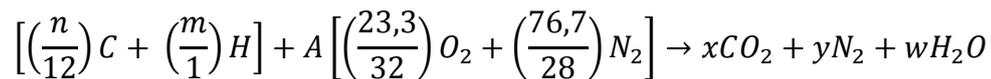
Sustituyendo:

$$6,75C + 15,41H + 0,233O + A \left[\left(\frac{2,3}{32} \right) O_2 + \left(\frac{76,7}{28} \right) N_2 \right]$$

$$\rightarrow 6,75CO_2 + 39,41N_2 + 7,8H_2O$$

3.7.3 Mezcla E20 (80% gasolina + 20% Etanol)

Relación aire/combustible se parte de C_nH_m en masa



Donde:

A = Relación aire/combustible

n = Porcentaje de C en el combustible

m = Porcentaje de H en el combustible

x, y, z, w = Número de moles de los productos

Gasolina C_8H_{18} = 114g

$$114g \rightarrow 100\%$$

$$96gC \rightarrow x = 84,2\%C$$

$$114g \rightarrow 100\%$$

$$18gH \rightarrow x = 15,7\%H$$

Etanol $C_2H_5OH = 46g$

$$46g \rightarrow 100\%$$

$$24gC \rightarrow x = 52,2\%C$$

$$46g \rightarrow 100\%$$

$$6gH \rightarrow x = 13\%H$$

$$46g \rightarrow 100\%$$

$$16gO \rightarrow x = 34,8\%O$$

Partiendo de las densidades se obtiene las fracciones másicas:

Gasolina al 80%

Densidad Gasolina = 0,736 [g/ml]

$$\delta = \frac{m (g)}{v (ml)} \rightarrow masa = \delta \cdot v$$

Volumen [ml]

22,44 x n \rightarrow masa

$$Masa_{C_8H_{18}} = (0,736g/ml) \times 0,8 \times 24ml = 14,1312g$$

Etanol al 20%

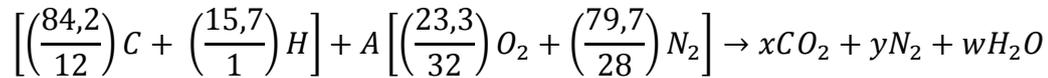
Etanol densidad=0,79g/ml

$$Masa_{Etanol} = (0,79g/ml) \times 0,2 \times 24ml = 3,792g$$

Masa total (Gasolina 80% + 20% Etanol)

$$n_t = m_{C_8H_{18}} + m_{C_2H_5OH} = 14,132 + 3,792 = 17,923 \text{ [Total]}$$

3.7.3.1 Relación Estequiométrica. Usamos la ecuación completa de combustión al 100% y las fracciones másicas para gasolina común:



3.7.3.2 Fracciones Másicas

Gasolina (80% Volumen)

$$n_{C_8H_{18}} = \frac{m_{C_8H_{18}}}{n_t} = \frac{14,131}{17,923} = 0,788$$

Etanol (20% Volumen)

$$n_{C_2H_5OH} = \frac{m_{C_2H_5OH}}{n_t} = \frac{3,792}{17,923} = 0,211$$

Para las incógnitas se aplica conversación de masas:

$$C = 7 \rightarrow X$$

$$H = 15,7 = 2w = w = \frac{15,7}{2}$$

$$w = 7,85$$

$$O = 2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 2x + w = A = 1,37(7) + 5,4 = 15$$

$$O = 2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 2x + w - 0,233$$

$$O = 2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 26,75 + 7,70 - 0,233$$

$$= 2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 21,85$$

$$= A \left(\frac{46,6}{32} \right) = 21,85$$

$$A = \frac{(21,85)(32)}{(46,6)}$$

$$A = 15,06$$

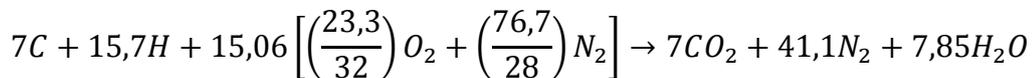
$$N = A \left(\frac{76,7}{28} \right) = y$$

$$y = 41,1$$

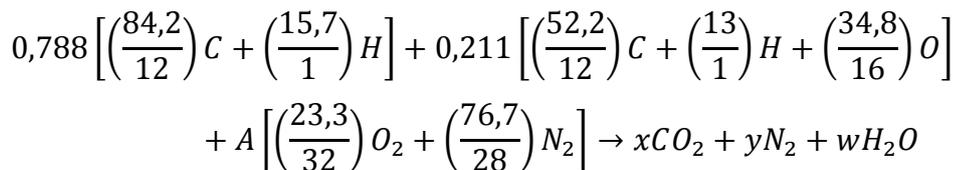
$$N = A \left(\frac{76,7}{28} \right) = y$$

$$y = 41,1$$

Sustituyendo las incógnitas



Para Bioetanol E20; mezcla 80%-20%



$$= [5,53C + 12,37H] + [0,917C + 2,745H + 0,458O_x]$$

$$= [6,446C + 15,113H + 0,458O_x] + A \left[\left(\frac{23,3}{32} \right) O_2 + \left(\frac{76,7}{28} \right) N_2 \right] \\ \rightarrow xCO_2 + yN_2 + wH_2O$$

$$C = 6,446 = x$$

$$x = 6,446$$

$$H = 15,113 = 2w$$

$$w = \frac{15,113}{2}$$

$$w = 7,556$$

$$O = 2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 2x + w - 0,458$$

$$O = 2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 26,75 + 7,70 - 0,233$$

$$= 2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 19,99$$

$$= A \left(\frac{46,6}{32} \right) = 19,99$$

$$A(46,6) = 670,944$$

$$A = 13,727$$

$$N = A \left(\frac{76,7}{28} \right) = y$$

$$13,727 \left(\frac{76,7}{28} \right) = y$$

$$y = 37,60$$

Sustituyendo:

$$6,446C + 15,113H + 0,458O + A \left[\left(\frac{2,3}{32} \right) O_2 + \left(\frac{76,7}{28} \right) N_2 \right]$$

$$\rightarrow 6,446CO_2 + 37,60N_2 + 7,556H_2O$$

3.8 Elaboración y preparación de las mezclas de etanol-gasolina a diferentes concentraciones

Para la elaboración de las diferentes mezclas de etanol-gasolina de acuerdo a los porcentajes ya descritos y para los estudios pertinentes que se realizaron, fueron efectuadas en el laboratorio de Química de la Facultad de Recursos Naturales bajo la asesoría técnica del Ingeniero Rigoberto Mancheno docente de esta facultad quien posee amplios conocimientos sobre el tema.

3.8.1 *Preparación mezcla 5% etanol-anhidro con gasolina tipo extra.* Para la preparación de la mezcla de etanol-gasolina al 5% se utilizó los siguientes equipos y materiales:

- Alcohol comercial potable con un 97% de volumen de alcohol como medida inicial
- Gasolina comercial tipo extra
- Matraz 2000ml.
- Probeta de 500ml.
- Alcoholímetro

Figura 43. Equipos



Fuente. Autores

3.8.1.1 *Procedimiento.* Previamente se realizó el proceso de deshidratación química de etanol para la obtención de etanol anhidro 99,8% de volumen de alcohol para ser mezclado con gasolina extra.

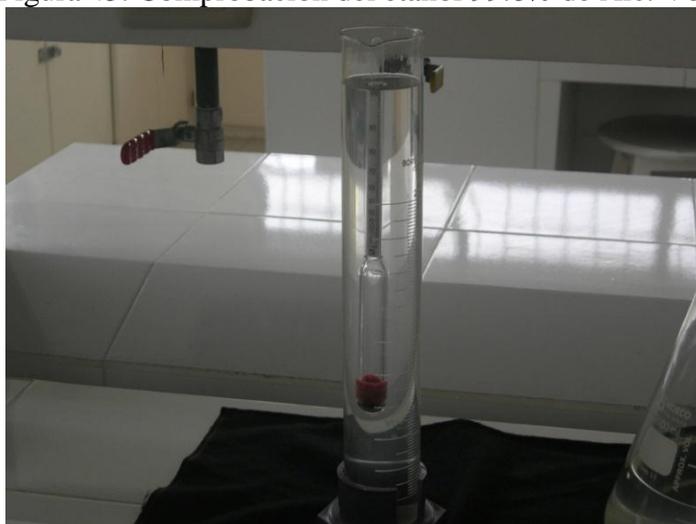
Figura 44. Deshidratación química del etanol



Fuente: Autores

Realizada la deshidratación química comprobamos el porcentaje de volumen de alcohol dando como resultado 99,8% de volumen de alcohol.

Figura 45. Comprobación del etanol 99.8% de Alc. Vol.



Fuente: Autores

La cantidad requerida para la elaboración de la mezcla al 5% de etanol se basa en volumen total del combustible es 4000cm^3 es decir 200cm^3 que corresponde al 5% del volumen total.

Una vez mezclado 3800cm^3 de gasolina tipo extra con 200cm^3 de etanol anhidro, la mezcla es colocada en un envase hermético para las posteriores pruebas y ensayos a realizarse.

Figura 46. Mezcla etanol-gasolina



Fuente: Autores

3.8.2 *Preparación mezcla 10% etanol-anhidro con gasolina tipo extra.* Para la preparación de la mezcla de etanol-gasolina al 10% se utilizó los siguientes equipos y materiales:

- Alcohol comercial potable con un 97% de volumen de alcohol como medida inicial
- Gasolina comercial tipo extra
- Matraz 2000ml.
- Probeta de 500ml.
- Alcoholímetro

3.8.2.1 *Procedimiento.* Previamente se realizó el proceso de deshidratación química de etanol para la obtención de etanol anhidro 99,8% de volumen de alcohol para ser mezclado con gasolina extra.

La cantidad requerida para la elaboración de la mezcla al 10% de etanol se basa en volumen total del combustible es 4000cm^3 es decir 400cm^3 que corresponde al 10% del volumen total.

Una vez mezclado 3600cm^3 de gasolina tipo extra con 400cm^3 de etanol anhidro, la mezcla es colocada en un envase hermético para las posteriores pruebas y ensayos a realizarse.

3.8.3 *Preparación mezcla 20% etanol-anhidro con gasolina tipo extra.* Para la preparación de la mezcla de etanol-gasolina al 20% se utilizó los siguientes equipos y materiales:

- Alcohol comercial potable con un 97% de volumen de alcohol como medida inicial
- Gasolina comercial tipo extra
- Matraz 2000ml.
- Probeta de 500ml.
- Alcoholímetro

3.8.3.1 *Procedimiento.* Previamente se realizó el proceso de deshidratación química de etanol para la obtención de etanol anhidro 99,8% de volumen de alcohol para ser mezclado con gasolina extra.

La cantidad requerida para la elaboración de la mezcla al 20% de etanol se basa en volumen total del combustible es 4000cm^3 es decir 800cm^3 que corresponde al 20% del volumen total.

Una vez mezclado 3200cm^3 de gasolina tipo extra con 800cm^3 de etanol anhidro, la mezcla es colocada en un envase hermético para las posteriores pruebas y ensayos a realizarse.

3.9 Toma de densidades mezclas etanol gasolina al 5%, 10%, 20%

Luego de la preparación de las mezclas, se realiza la medición de las densidades de las mezclas etanol-gasolina al 5%, 10%, 20%, datos necesarios para cálculos posteriores.

Para la toma de densidades de las mezclas etanol-gasolina se utilizó los siguientes equipos y materiales:

- Alcohol comercial potable deshidratado con un 99,8% de volumen de alcohol
- Gasolina comercial tipo extra
- Probeta de 100ml.
- Probeta de 500ml.

- Probeta de 200ml.
- Termómetro
- Densímetro
- Embudo pequeño

Figura 47. Equipos



Fuente: Autores

3.9.1 *Procedimiento.* Para encontrar la densidad de las diferentes mezclas etanol-gasolina se utilizó las mezclas previamente preparadas en el laboratorio de Química de la Facultad de Recursos Naturales, utilizando un volumen de 700ml de cada mezcla para encontrar su respectiva densidad.

Figura 48. Preparación de mezclas etanol-gasolina para medición de densidades



Fuente: Autores

Se tomó la temperatura de cada una de las mezclas para tener un dato referencial a que temperatura se está trabajando, la temperatura a la cual se realizó la toma de datos de las mezclas de 5%, 10% y 20% es de 17,5 °C en general.

Figura 49. Toma de temperatura mezclas etanol-gasolina



Fuente: Autores

Para medir la densidad de las mezclas etanol-gasolina al 5%, 10% y 20%, ubicamos el densímetro en cada una de las mezclas y verificamos su densidad.

Figura 50. Medición de densidades



Fuente: Autores

Se detalla los datos obtenidos de las densidades en la siguiente tabla:

Tabla 5. Densidades mezclas etanol-gasolina

Mezcla etanol-gasolina [%]	Densidad [g/ml]
5%	0,732
10%	0,735
20%	0,740

Fuente: Autores

3.10 Adaptación de probetas de medición de combustible

Para realizar los estudios de combustible alternativo etanol-gasolina se procedió a la elaboración de una probeta plástica con una medida de 4000cm³ de volumen referencial para todas las pruebas y ensayos detallados en este estudio.

Se verificó el correcto funcionamiento de la bomba de gasolina ya adaptada a la probeta de medición, mangueras y filtro de combustible para obtener datos precisos y correctos de las pruebas que posteriormente se realizaron.

Figura 51. Probeta de medición de combustible



Fuente. Autores

Una vez acoplada la probeta de medición a la bomba de combustible se realizó una prueba de funcionamiento para observar el correcto desempeño de los sistemas auxiliares de alimentación de combustible, la prueba fue realizada con un volumen de 1000cm³ de gasolina tipo extra y en un tiempo de 15 minutos.

Al final de la prueba se logró observar un perfecto funcionamiento de la probeta de medición y de los subsistemas de alimentación de combustible, bomba de combustible y sistemas auxiliares como son filtro de combustible.

Se pudo evidenciar que los sensores y actuadores del sistema de alimentación funcionaron en óptimas condiciones, comprobando la correcta adaptación de la probeta de medición al banco de pruebas.

Figura 52. Adaptación de mangueras y bomba de combustible al motor



Fuente. Autores

3.11 Pruebas de funcionamiento del motor en función a diferentes concentraciones de etanol

Para la realización de las pruebas de funcionamiento del motor con diferentes mezclas de etanol-gasolina se procedió hacer un análisis en base a resultados arrojados en investigaciones anteriores de los porcentajes óptimos de las mezclas etanol-gasolina donde se determinó que las mezclas que mejores características presentan son las de 10% etanol-gasolina y para este estudio a realizar se decidió utilizar también las mezclas al 5% y 20% para corroborar la hipótesis de la investigación del Ing. Manuel Masson donde se podrá determinar el comportamiento de cada combustible en el banco de pruebas motor corsa 1,6 l.

3.12 Porcentajes óptimos mezclas etanol-gasolina

Tomando referencia en el trabajo de titulación “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 encendido por chispa” se pudo determinar que la mezcla de etanol anhidro al 10% con gasolina extra es la mezcla que mejores características presenta para ser utilizadas en los motores de combustión interna, este estudio se centrará en este porcentaje de mezcla y se lo comparará con los porcentajes de 5% y 20% para determinar su desempeño en el banco de pruebas motor corsa 1,6 l de la C.I.A.

3.13 Pruebas de consumo de combustible alternativo (etanol-gasolina)

Para las diferentes pruebas que se realizaron se necesitó cuantificar los datos teniendo en cuenta las características técnicas del motor, tomando como referencia inicial el consumo propio del motor con sus parámetros que posee de fábrica.

El consumo de combustible se definirá en centímetros cúbicos por minuto, y conociendo que la relación estequiometría para un motor en condiciones ideales de trabajo es 14,7 gramos de aire por un gramo de gasolina, tomando en cuenta que los motores no son capaces de crear las condiciones de homogeneidad entre aire y gasolina para quemarla completamente es por ello que varía esta mezcla aire gasolina dependiendo las circunstancias atmosféricas y el estado de los componentes de motor.

3.13.1 *Cálculo del consumo de combustible.* Para realizar el cálculo del consumo de combustible procedemos a utilizar la siguiente relación matemática.

$$Ct = 3600 \frac{Vf}{t} \left[\frac{cm^3}{s} \right] \quad (6)$$

$$Ct = 3,6 \frac{Vf \cdot pb}{t} \left[\frac{Kg}{s} \right] \quad (7)$$

Dónde:

Vf = volumen de combustible, en cm^3

t = tiempo para consumir Vf , en segundos.

pb = Peso específico del combustible, densidad en g/cm^3 .

3.13.2 *Procedimiento.* Para la prueba de consumo de combustible se necesitó los siguientes equipos y materiales:

- Etanol anhidro 99,8% de volumen de alcohol
- Gasolina comercial tipo extra
- Probeta 100ml.
- Probeta 2000ml.

Figura 53. Equipos y materiales



Fuente. Autores

Para las pruebas a realizar se procedió a utilizar la mezcla de etanol- gasolina en diferentes concentraciones al 5%, 10% y 20% para los respectivos ensayos pertinentes en el banco de pruebas motor corsa 1,6 l.

Figura 54. Banco de pruebas motor Corsa



Fuente. Autores

Se decidió realizar dos tipos de pruebas con gasolina extra al 100% para verificar el correcto funcionamiento del motor y la segunda con las diferentes concentraciones de etanol-gasolina al 5%, 10% y 20%. Las pruebas fueron realizadas en diferentes regímenes de funcionamiento del motor a ralentí 950 rpm y a 2500 rpm en un tiempo de 45 min, se detalla las mismas y todos los datos obtenidos en las siguientes tablas:

Tabla 6. Resultados del consumo de combustible gasolina 100% 950 rpm

Gasolina 100% [950 rpm]	Tiempo [s]	Consumo real [g/cm³]
Prueba 1	2700	1500
Prueba 2	2700	1550
Prueba 3	2700	1600
Prueba 4	2700	1450
Prueba 5	2700	1550
\bar{x}		1530

Fuente: Autores

Tabla 7. Resultados del consumo de combustible gasolina 100% 2500 rpm

Gasolina 100% [2500 rpm]	Tiempo [s]	Consumo real [g/cm³]
Prueba 1	2700	3875
Prueba 2	2700	3750
Prueba 3	2700	3900
Prueba 4	2700	3800
Prueba 5	2700	3625
\bar{x}		3790

Fuente. Autores

Tabla 8. Resultados del consumo de combustible mezcla etanol-gasolina 5% 950 rpm

Gasolina 5% [950 rpm]	Tiempo [s]	Consumo real [g/cm³]
Prueba 1	2700	1550
Prueba 2	2700	1600
Prueba 3	2700	1450
Prueba 4	2700	1450
Prueba 5	2700	1500
\bar{x}		1510

Fuente: Autores

Tabla 9. Resultados del consumo de combustible mezcla etanol-gasolina 5% 2500 rpm

Gasolina 5% [2500 rpm]	Tiempo [s]	Consumo real [g/cm³]
Prueba 1	2700	3750
Prueba 2	2700	3600
Prueba 3	2700	3850
Prueba 4	2700	3650
Prueba 5	2700	3700
\bar{x}		3710

Fuente: Autores

Tabla 10. Resultados del consumo de combustible mezcla etanol-gasolina 10% 950 rpm

Gasolina 10% [950 rpm]	Tiempo [s]	Consumo real [g/cm³]
Prueba 1	2700	1300
Prueba 2	2700	1480
Prueba 3	2700	1550
Prueba 4	2700	1400
Prueba 5	2700	1380
\bar{x}		1422

Fuente: Autores

Tabla 11. Resultados del consumo de combustible mezcla etanol-gasolina 10% 2500 rpm

Gasolina 10% [2500 rpm]	Tiempo [s]	Consumo real [g/cm³]
Prueba 1	2700	3250
Prueba 2	2700	3750
Prueba 3	2700	3850
Prueba 4	2700	3500
Prueba 5	2700	3450
\bar{x}		3560

Fuente: Autores

Tabla 12. Resultados del consumo de combustible mezcla etanol-gasolina 20% 950 rpm

Gasolina 20% [950 rpm]	Tiempo [s]	Consumo real [g/cm³]
Prueba 1	2700	1290
Prueba 2	2700	1240
Prueba 3	2700	1260
Prueba 4	2700	1300
Prueba 5	2700	1350
\bar{x}		1280

Fuente: Autores

Tabla 13. Resultados del consumo de combustible mezcla etanol-gasolina 20% 2500 rpm

Gasolina 100% [950 rpm]	Tiempo [s]	Consumo real [g/cm³]
Prueba 1	2700	3230
Prueba 2	2700	3150
Prueba 3	2700	3160
Prueba 4	2700	3375
Prueba 5	2700	3250
\bar{x}		3233

Fuente: Autores

3.14 Pruebas de torque y potencia con y sin etanol

Debido a que en la actualidad el dinámometro de banco de la facultad de mecánica que se utiliza para las pruebas de torque y potencia se encuentra fuera de servicio por encontrarse en proceso de repotenciación se decidió acoplar el motor del banco de pruebas motor corsa 1,6 l en un vehículo de iguales características para realizar los estudios y ensayos pertinentes de esta investigación.

Para la ejecución de las pruebas de torque y potencia fue necesario trasladarse a la ciudad de Gualaceo al taller automotriz SerEx Racing donde existe un dinamómetro de rodillos para obtener las curvas de potencia, par tursor, así como para monitorear el comportamiento de los parámetros que describen su funcionamiento y cuyo propietario el Tlgo. César Galarza G. brindó la asesoría técnica y profesional gracias a su amplio conocimiento en la utilización de biocombustibles en motores de ignición.

Dinamómetro de rodillos. Nos permite rodar cualquier vehículo dentro del taller automotriz a velocidades deseadas con mayor o menor pendiente de frenado pudiendo registrar los resultados en forma gráfica.

Con un banco de rodillos, se puede determinar si el motor de un vehículo cumple con las especificaciones señaladas por el fabricante, así como también, evaluar la influencia de modificaciones mecánicas o electrónicas, sobre el rendimiento del motor.

Figura 55. Dinamómetro de rodillos



Fuente: Autores

Figura 56. Hardware de dinamómetro de rodillos



Fuente: Autores

3.14.1 Procedimiento. Para la realización del ensayo de torque y potencia se inició colocando las ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos del dinamómetro.

Figura 57. Ruedas motrices del vehículo sobre rodillos del dinamómetro



Fuente: Autores

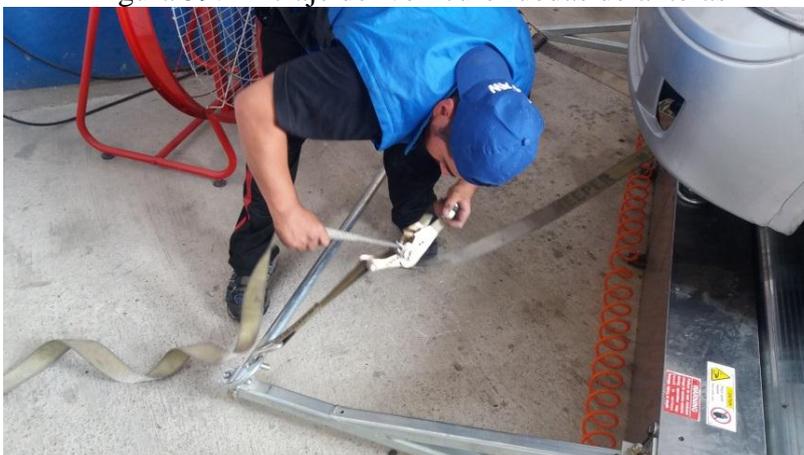
Se fijan los sistemas de seguridad que garantizaran que el vehículo permanezca inmóvil durante las pruebas respectivas.

Figura 58. Anclaje del vehículo parte delantera



Fuente: Autores

Figura 59. Anclaje del vehículo ruedas delanteras



Fuente: Autores

Figura 60. Anclaje del vehículo ruedas traseras



Fuente: Autores

Se midió la presión de los neumáticos en cada llanta, comprobando que sea de 30 PSI.

Figura 61. Medición de presión de neumáticos



Fuente: Autores.

Se instaló al vehículo la conexión de tierra del dinamómetro de rodillos para evitar corrientes parasitas en la ejecución de la pruebas.

Figura 62. Conexión a tierra en el vehículo



Fuente: Autores

Se procedió acoplar en el sistema de escape el dispositivo donde se recolectan los gases de la combustión del vehículo, en el cual se encuentra un sensor de oxígeno que analiza los gases de la combustión, el mismo que detecta la presencia de mayor o menor cantidad de oxígeno en el escape, cualquier variación será un indicador de falta o exceso de combustible en la mezcla.

Figura 63. Dispositivo de recolección de gases de escape



Fuente: Autores

Figura 64. Dispositivo de recolección de gases de escape



Fuente: Autores

Para obtener datos similares en cada una de las pruebas que se realizaron fue necesario calentar los neumáticos del vehículo a una temperatura de 65° a 70°C, temperatura ideal para las pruebas respectivas, de igual manera se calentó la transmisión del vehículo como también su motor.

Figura 65. Calentamientos de neumáticos



Fuente: Autores

Figura 66. Medición de temperatura de los neumáticos del vehículo.



Fuente. Autores

Para la realización de las pruebas de torque y potencia se procedió a realizar dos tomas de datos a un número de revoluciones determinado, la primera prueba se desarrolló con un porcentaje de 100% de gasolina extra, la segunda prueba se desarrolló con la utilización de las mezclas etanol-gasolina en un porcentaje de 5%, 10% y una tercera prueba con un porcentaje de mezcla etanol-gasolina de 20%, estas mezclas fueron las más adecuadas luego de los estudios y pruebas realizadas en el banco de pruebas motor corsa 1,6 l de la C.I.A.

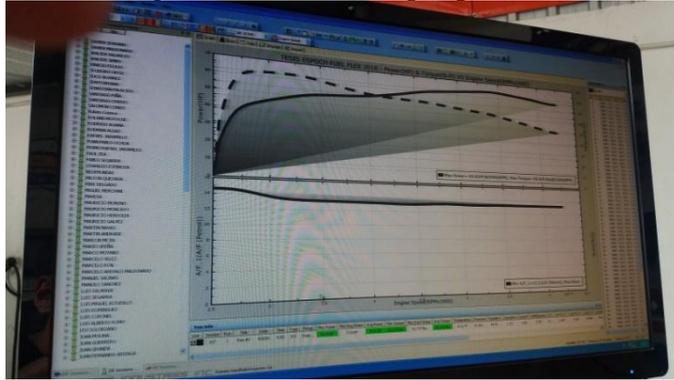
Se arrancó el motor y comienzo la prueba, la cual se desarrolla en una marcha determinada, por lo general 3ra. o 4ta marcha. Se parte desde un número bajo de rpm y se acelera a fondo hasta el número de máximo de rpm deseado que para este análisis fue de 5500 rpm, allí se libera el acelerador y el motor retorna paulatinamente al régimen de inicio. El rodillo, de alta inercia y volumen, recibe la potencia de las ruedas motrices, y un sistema de captura de datos y un software especializado muestran en la pantalla de una computadora los resultados obtenidos en forma de gráficos y tablas.

Figura 67. Software del dinamómetro de rodillos



Fuente: Autores

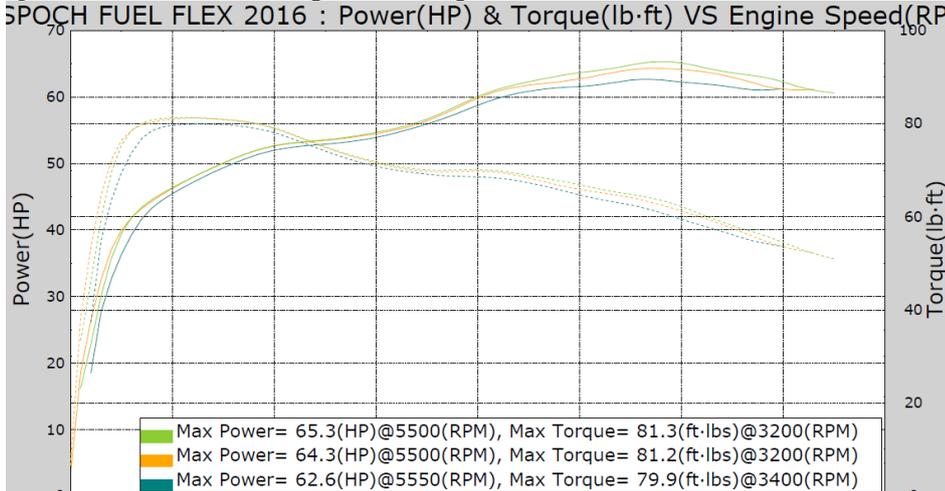
Figura 68. Curvas torque-potencia



Fuente: Autores.

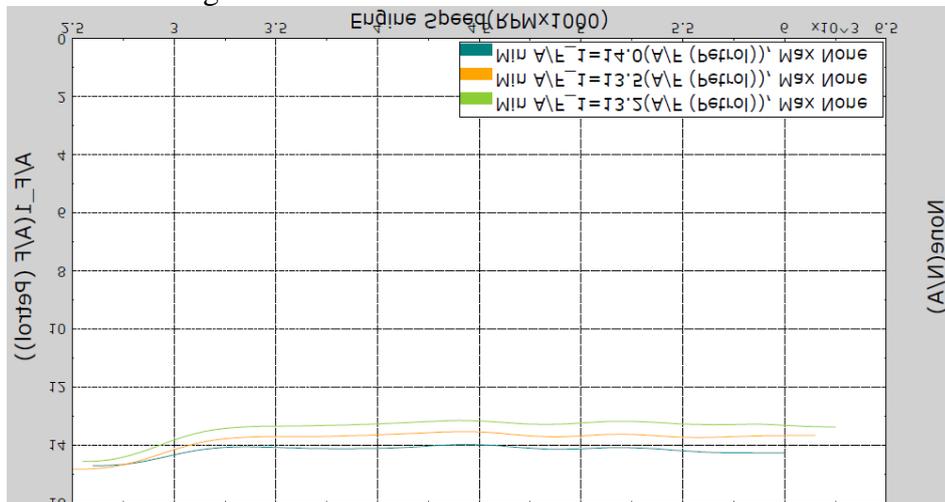
Una vez concluidas las diversas pruebas con las diferentes mezclas analizadas, se procedió a imprimir los datos arrojados para el posterior análisis de los mismos.

Figura 69. Resultados impresos Torque-Potencia (Dinamómetro de rodillos)



Fuente: SerEx Racing

Figura 70. Resultados mezcla aire-combustible



Fuente: SerEx Racing

3.15 Pruebas de emisiones de gases contaminantes

Para la realización de la prueba de emisiones de gases contaminantes hubo la necesidad de trasladar el banco de pruebas motor corsa 1,6 l a la Unidad Educativa “Carlos Cisneros” donde poseen un analizador de gases automotriz debido a que el analizador de gases de la carrera de ingeniería automotriz se encuentra fuera de uso al estar desactualizado su software.

Antes de proceder a realizar las pruebas de emisiones de gases contaminantes se necesitará conocer a profundidad el manejo y uso del equipo analizador de gases automotriz NGA 6000 para lo cual se recomienda tener a mano la guía de usuario para solucionar posibles problemas que se presenten a lo largo de la misma. Se deberá tener en cuenta que este equipo posee elementos sensibles para lo cual se necesitara tener mucha concentración y cuidado en su manipulación.

Figura 71. Equipo analizador de gases automotriz NGA 6000



Fuente. Autores

- Se recomienda colocar el equipo en una superficie firme a prudente distancia del banco de pruebas o motor para evitar tropiezos o accidentes.
- Someter al equipo a un período de calentamiento y estabilización, según las especificaciones del fabricante.
- Retirar todo material en forma de partículas y eliminar toda substancia extraña o agua, que se hayan acumulado en la sonda de prueba y que puedan alterar las lecturas de la muestra.

- Revisar que los accesorios del vehículo (luces, aire acondicionado, etc.), estén apagados.
- Revisar en el vehículo que el sistema de escape se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y sin ninguna salida adicional a las del diseño que provoque dilución de los gases de escape o fugas de los mismos. Las salidas adicionales a las contempladas en el diseño original no deben ser aceptadas, aunque éstas se encuentren bloqueadas al momento de la prueba.
- Revisar que el nivel de aceite en el cárter esté entre el mínimo y máximo recomendado por el fabricante, con el motor apagado y el vehículo en posición horizontal.
- Encender el motor del vehículo y verificar que se encuentre a la temperatura normal de operación.

3.15.1 Procedimiento. Se iniciará la prueba de emisiones contaminantes verificando que el tacómetro del equipo de medición se encuentre en las condiciones de marcha mínima o ralentí 950 rpm, y posteriormente se variaran las revoluciones según las pruebas siguientes a realizar 2500 rpm y 3500 rpm.

Figura 72. Tacómetro



Fuente: Autores

Con el motor a temperatura normal de operación introducir la sonda de prueba en el punto de salida del sistema de escape del vehículo con la seguridad de que la sonda permanezca fija dentro del sistema de escape mientras dure la prueba, luego se esperara el tiempo de respuesta del equipo de medición emitido por cada fabricante.

Figura 73. Sonda de prueba



Fuente: Autores

Procedemos a imprimir las lecturas estabilizadas de las emisiones medidas.

Figura 74. Impresión de prueba de emisiones contaminantes



Fuente: Autores

Valores de emisiones contaminantes impresos:

Tabla 14. Valores de emisiones contaminantes 100% gasolina

100% gasolina			
Emisiones	Régimen de giro [rpm]		
	950 rpm	2500 rpm	3500 rpm
% V CO_{korr}	0,82	0,74	0,73
% V CO_2	13,00	13,40	13,50
ppm NOx	2800	3210	3150
ppm HC	370,00	115,00	80,00
% VO_2	1,30	1,40	0,98
Lambda	1,01	1,03	1,01

Fuente: Autores

Tabla 15. Valores de emisiones contaminantes mezcla 5% etanol-gasolina

5% Etanol-Gasolina			
Emisiones	Régimen de giro [rpm]		
	950 rpm	2500 rpm	3500 rpm
% $V CO_{korr}$	0,85	0,75	0,74
% $V CO_2$	13,00	13,60	13,70
ppm NOx	3000	3200	3100
ppm HC	372,00	120,00	75,00
% VO_2	1,40	1,50	0,95
Lambda	1,00	1,05	1,00

Fuente: Autores

Tabla 16. Valores de emisiones contaminantes mezcla 10% etanol-gasolina

10% Etanol-Gasolina			
Emisiones	Régimen de giro [rpm]		
	950 rpm	2500 rpm	3500 rpm
% $V CO_{korr}$	0,95	0,80	0,79
% $V CO_2$	13,50	14,00	14,20
ppm NOx	3100	3225	3050
ppm HC	375,00	130,00	100,00
% VO_2	1,45	1,60	1,20
Lambda	1,08	1,10	1,08

Fuente: Autores

Tabla 17. Valores de emisiones contaminantes mezcla 20% etanol-gasolina

20% Etanol-Gasolina			
Emisiones	Régimen de giro [rpm]		
	950 rpm	2500 rpm	3500 rpm
% $V CO_{korr}$	1,20	0,90	0,88
% $V CO_2$	14,15	14,60	14,30
ppm NOx	3300	3450	3100
ppm HC	385,00	150,00	120,00
% VO_2	1,50	1,65	1,30
Lambda	1,15	1,18	1,22

Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de consumo de combustible

4.1.1 *Análisis de consumo de combustible gasolina 100%*. Según los datos obtenidos en las pruebas realizadas de consumo de combustible se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran a continuación:

Tabla 18. Resultados de consumo real de combustible gasolina 100%

Gasolina 100%		
rpm	Tiempo [s]	Consumo real [cm ³ /s]
950	2700	1530
2500	2700	3790

Fuente: Autores

Para el cálculo del consumo de combustible teórico:

Datos:

$$C_t = ?$$

$$\delta(\text{Gasolina extra})_{C_8H_{18}} = 0.736 \text{ g/cm}^3$$

$$T = 45 \text{ min} = 2700 \text{ s}$$

Resolución:

$$C_t = 3600 \frac{Vf \cdot pb}{t}$$

$$C_t = 3600 \left[\frac{(1530 \text{ cm}^3) \left(0,736 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)}{2700 \text{ s}} \right]$$

$$C_t = 1501,44 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

Tabla 19. Resultados teóricos de consumo de combustible gasolina 100%

Gasolina 100%			
rpm	Tiempo [s]	δ [g/cm³]	Consumo teórico [cm³/s]
950	2700	0,736	1501,44
2500	2700	0,736	3719,25

Fuente: Autores

4.1.2 *Análisis de consumo de combustible etanol-gasolina 5%.* Según los datos obtenidos en las pruebas realizadas de consumo de combustible se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran a continuación:

Tabla 20. Resultados de consumo real de combustible etanol-gasolina 5%

E5 (Etanol-Gasolina 5%)		
rpm	Tiempo [s]	Consumo real [cm³/s]
950	2700	1510
2500	2700	3770

Fuente: Autores

Tabla 21. Resultados teóricos de consumo de combustible etanol-gasolina 5%

E5 (Etanol-Gasolina 5%)			
rpm	Tiempo [s]	δ [g/cm³]	Consumo teórico [cm³/s]
950	2700	0,732	1473,76
2500	2700	0,732	3620,96

Fuente: Autores

4.1.3 *Análisis de consumo de combustible etanol-gasolina 10%.* Según los datos obtenidos en las pruebas realizadas de consumo de combustible se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran a continuación:

Tabla 22. Resultados de consumo real de combustible etanol-gasolina 10%

E10 (Etanol-Gasolina 10%)		
rpm	Tiempo [s]	Consumo real [cm³/s]
950	2700	1422
2500	2700	3560

Fuente: Autores

Tabla 23. Resultados teóricos de consumo de combustible etanol-gasolina 10%

E10 (Etanol-Gasolina 10%)			
rpm	Tiempo [s]	δ [g/cm³]	Consumo teórico [cm³/s]
950	2700	0,735	1393,56
2500	2700	0,735	3488,80

Fuente: Autores

4.1.4 *Análisis de consumo de combustible etanol-gasolina 20%.* Según los datos obtenidos en las pruebas realizadas de consumo de combustible se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran a continuación:

Tabla 24. Resultados de consumo real de combustible etanol-gasolina 20%

E20 (Etanol-Gasolina) 20%		
rpm	Tiempo [s]	Consumo real [cm³/s]
950	2700	1280
2500	2700	3233

Fuente: Autores

Tabla 25. Resultados teóricos de consumo de combustible etanol-gasolina 20%

E20 (Etanol-Gasolina) 20%			
rpm	Tiempo [s]	δ [g/cm³]	Consumo teórico [cm³/s]
950	2700	0,735	1262,93
2500	2700	0,735	3189,89

Fuente: Autores

Tabla 26. Resultados comparativos gasolina-etanol a diferentes concentraciones 950 rpm

950 rpm	Tiempo [s]	Consumo real [ml/s]	Consumo teórico [ml/s]
100% Gasolina	2700	1530	1501,44
5% Etanol-Gasolina	2700	1510	1473,76
10% Etanol-Gasolina	2700	1422	1393,56
20% Etanol-Gasolina	2700	1280	1262,93

Fuente: Autores

Tabla 27. Resultados comparativos etanol-gasolina a diferentes concentraciones 2500 rpm en un tiempo de 45 min

2500 rpm	Tiempo [s]	Consumo real [ml/s]	Consumo teórico [ml/s]
100% Gasolina	2700	3790	3719,25
5% Etanol-Gasolina	2700	3710	3620,96
10% Etanol-Gasolina	2700	3560	3488,80
20% Etanol-Gasolina	2700	3233	3189,89

Fuente: Autores

4.2 Análisis de torque y potencia

Los datos obtenidos en la prueba de torque y potencia fueron los siguientes, con los cuales se procedió a su análisis:

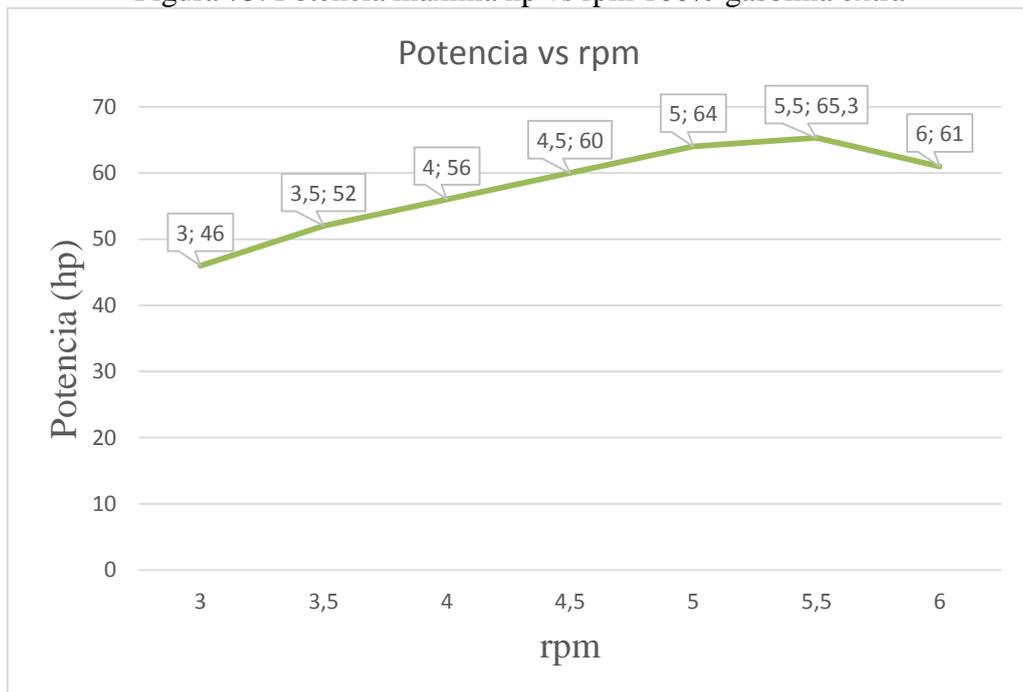
4.2.1 Análisis torque-potencia gasolina 100%. Según los datos obtenidos podemos observar el torque y la potencia máxima que desarrolla el vehículo en rangos normales de un motor estándar sin modificaciones.

Tabla 28. Resultados prueba de potencia 100% gasolina extra

Descripción	Potencia máxima [hp]	rpm
Prueba 1	64,0	5400
Prueba 2	66,6	5600
\bar{x}	65,3	5500

Fuente. Autores

Figura 75. Potencia máxima hp vs rpm 100% gasolina extra



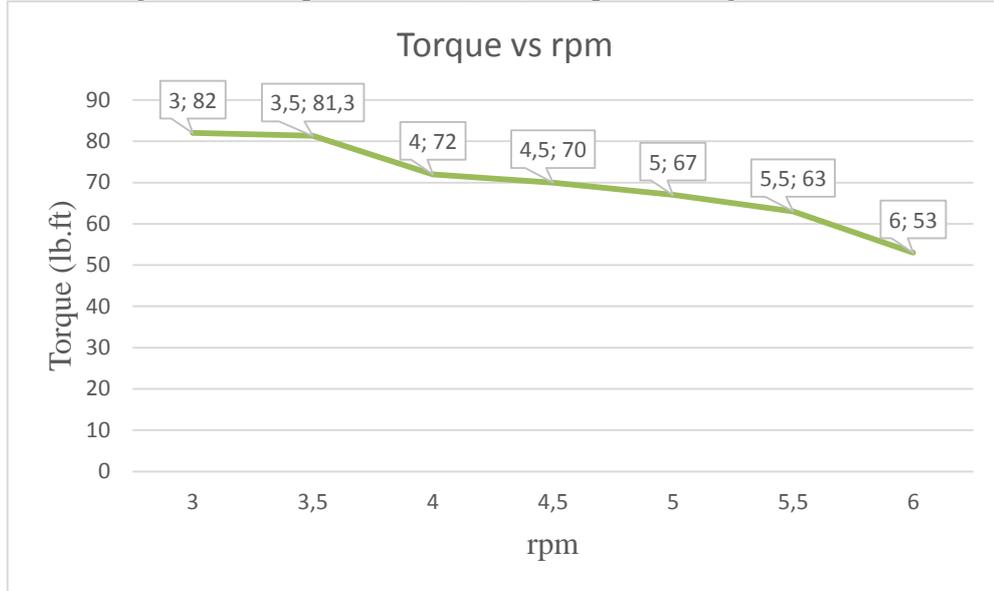
Fuente: Autores

Tabla 29. Resultados prueba de torque 100% gasolina extra

Descripción	Torque máximo [lb.ft]	rpm
Prueba 1	80,6	3300
Prueba 2	82,0	3100
\bar{x}	81,3	3200

Fuente: Autores

Figura 76. Torque máximo (lb.ft) vs rpm 100% gasolina extra



Fuente: Autores

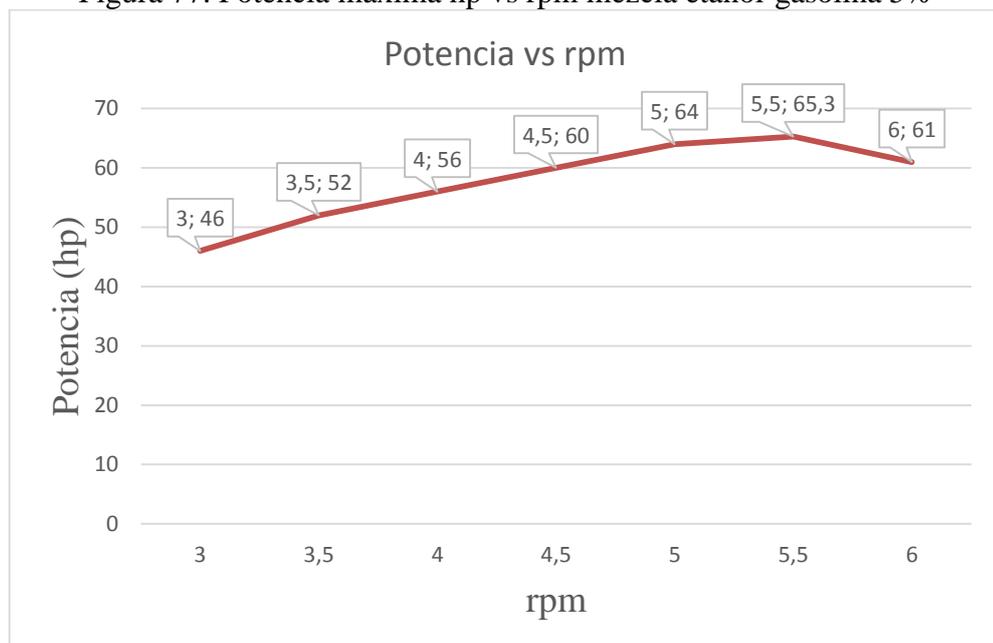
4.2.2 *Análisis torque-potencia etanol-gasolina al 5%.* Se observó que con la mezcla etanol-gasolina al 5% no hubo variaciones en el torque y potencia por lo que se realizó una solo prueba para comprobar que sus valores no cambian significativamente.

Tabla 30. Resultados prueba de potencia mezcla etanol-gasolina 5%

Descripción	Potencia máxima [hp]	rpm
Prueba 1	65,3	5500

Fuente: Autores

Figura 77. Potencia máxima hp vs rpm mezcla etanol-gasolina 5%



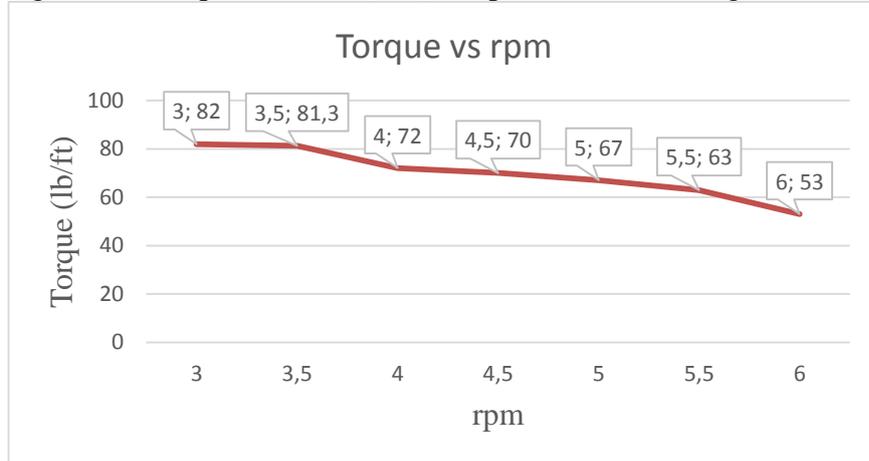
Fuente: Autores

Tabla 31. Resultados prueba de torque mezcla etanol-gasolina 5%

Descripción	Torque máximo [lb.ft]	rpm
Prueba 1	81,3	3200

Fuente: Autores

Figura 78. Torque máximo (lb.ft) vs rpm mezcla etanol-gasolina 5%



Fuente: Autores

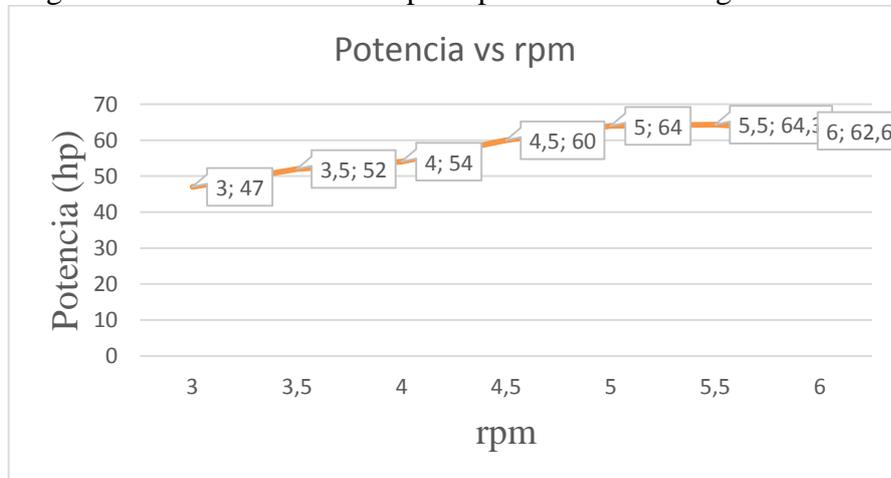
4.2.3 *Análisis torque-potencia etanol-gasolina al 10%.* Se observa que la potencia disminuye en 1 hp siendo con respecto a la mezcla etanol-gasolina al 5%, un valor mínimo de disminución y el torque permanece en el mismo valor.

Tabla 32. Resultados pruebas de potencia mezcla etanol-gasolina 10%

Descripción	Potencia máxima [hp]	rpm
Prueba 1	63,3	5600
Prueba 2	65,4	5500
	64,3	5550

Fuente: Autores

Figura 79. Potencia máxima hp vs rpm mezcla etanol-gasolina 10%



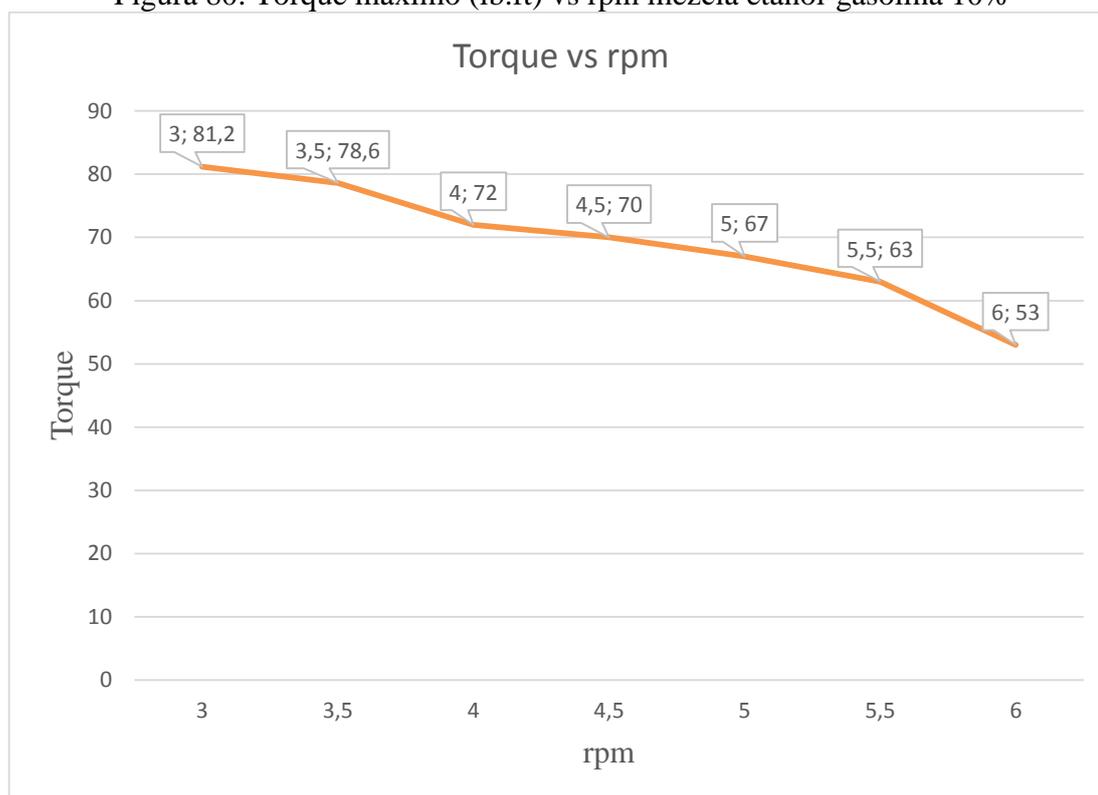
Fuente: Autores

Tabla 33. Resultados pruebas de torque mezcla etanol-gasolina 10%

Descripción	Torque máximo [lb.ft]	rpm
Prueba 1	78,6	3350
Prueba 2	81,2	3200
	79,9	3275

Fuente: Autores

Figura 80. Torque máximo (lb.ft) vs rpm mezcla etanol-gasolina 10%



Fuente: Autores

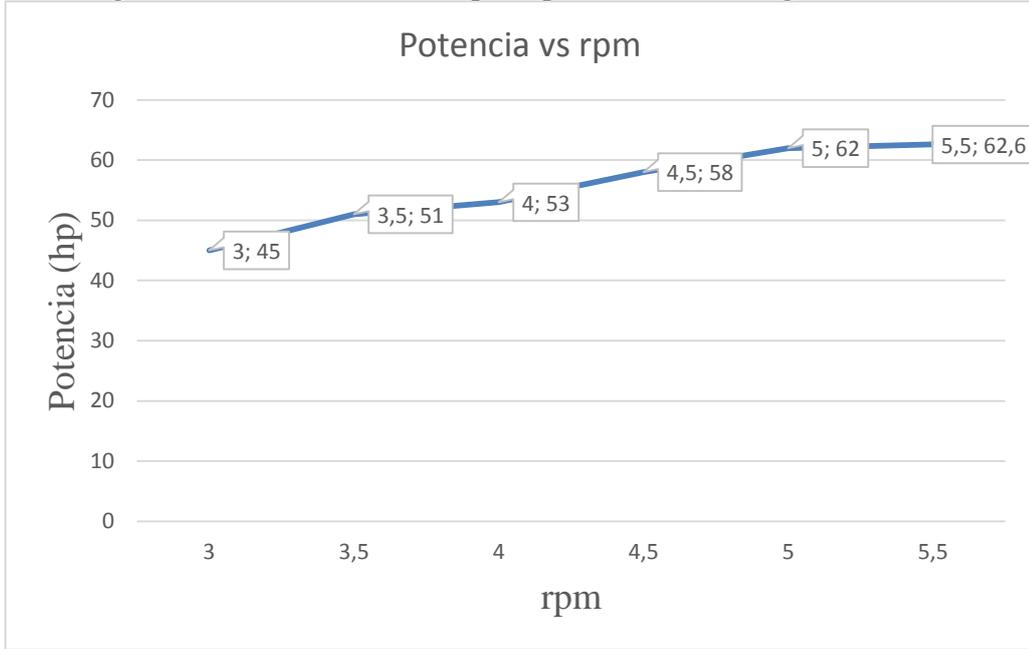
4.2.4 *Análisis torque-potencia etanol-gasolina al 20%.* Se puede apreciar en los resultados que la potencia disminuye en 1,7 hp en relación a la mezcla etanol-gasolina al 10%, y su torque permanece con una variación muy pequeña que no muestra consideración.

Tabla 34. Resultados pruebas de potencia mezcla etanol-gasolina 20%

Descripción	Potencia máxima [hp]	rpm
Prueba 1	62,5	5550
Prueba 2	62,6	5550
	62,55	5550

Fuente: Autores

Figura 81. Potencia máxima hp vs rpm mezcla etanol-gasolina 20%



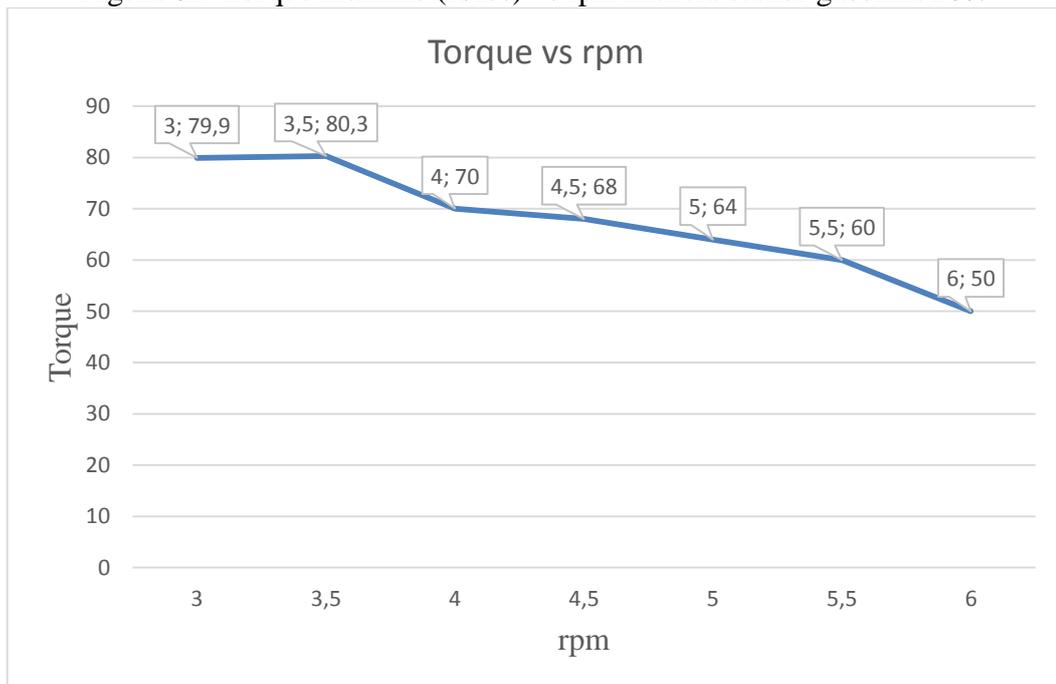
Fuente: Autores

Tabla 35. Resultados pruebas de torque mezcla etanol-gasolina 20%

Descripción	Torque máximo [lb.ft]	rpm
Prueba 1	80,3	3250
Prueba 2	79,9	3400
	80,1	3325

Fuente: Autores

Figura 82. Torque máximo (ft/lbs) vs rpm mezcla etanol-gasolina 20%



Fuente: Autores

4.3 Análisis de emisiones contaminantes

Una vez que se concluyó el análisis de emisiones contaminantes en el motor corsa 1,6 l se obtuvieron los valores de las diferentes pruebas realizadas, gasolina extra al 100% y posteriormente con las mezclas etanol-gasolina al 5%, 10% y 20%, se obtuvo los valores impresos por el analizador de gases automotriz NGA 6000, con los cuales se procedió a realizar el análisis y comparación con la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2204:2002 Gestión ambiental, aire, vehículos automotores, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.

Tabla 36. Valores comparativos de emisiones contaminantes a 950 RPM

950 RPM	Monóxido de carbono [Porcentaje en vol. de CO]	Hidrocarburos [ppm]	Dióxido de carbono [Porcentaje en vol. CO₂]
NTE INEN 2204:2002	1,0	750	7 min-18 máx
100% gasolina	0,82	370	13
5%	0,85	372	13
10%	0,95	375	13,50
20%	1,20	385	14,50

Fuente: Autores

Se puede apreciar que los valores arrojados por el analizador de gases en las pruebas de 5% y 10% a 950 rpm se encuentran dentro de los rangos tolerables permitidos por la norma NTE INEN 2204:2002 en marcha mínima o ralentí (prueba estática), en la prueba realizada al 20% se aprecia que sobrepasa los rangos tolerables por consiguiente esta mezcla no cumple con los límites de emisiones contaminantes.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Con el combustible gasolina extra se obtiene una potencia máxima promedio de 65,3 hp a 5500 rpm y un torque máximo promedio de 81,3 lb.ft a 3200 rpm. Con etanol-gasolina al 5% se obtiene una potencia máxima promedio de 65,3 hp a 5500 rpm y un torque máximo promedio de 81,3 lb.ft a 3200 rpm. Con etanol-gasolina al 10% se obtiene una potencia máxima promedio de 63,45 hp a 5550 rpm y un torque máximo promedio de 79,9 lb.ft a 3275 rpm. Con etanol-gasolina al 20% se obtiene una potencia máxima promedio de 62,55 hp a 5550 rpm y un torque máximo promedio 80,1 lb.ft a 3325 rpm.

Con gasolina extra se obtiene un consumo promedio de 1530 ml/s a 950 rpm y de 3790 ml/s a 2500 rpm. Con combustible etanol-gasolina al 5% se obtiene un consumo de 1510 ml/s a 950 rpm. Con etanol-gasolina al 5% se obtiene un consumo de 3710 ml/s a 2500 rpm. Con etanol-gasolina al 10% se obtiene un consumo de 1422 ml/s a 950 rpm. Con etanol-gasolina al 10% se obtiene un consumo de 3560 ml/s a 2500 rpm. Con etanol-gasolina al 20% se obtiene un consumo de 1280 ml/s a 950 rpm. Con etanol-gasolina al 20% se obtiene un consumo de 3233 ml/s a 2500 rpm.

Para aprovechar mejor las propiedades caloríficas del etanol es necesario reemplazar la ECU estándar por una ECU programable donde se pueda modificar el tiempo de ignición y la relación aire/combustible.

Los valores obtenidos en las pruebas de emisiones contaminantes están dentro de los parámetros establecidos según la norma NTE INEN 2204:2002, ya que los vehículos que funcionen con combustibles alternos estarán sujetos a los mismos límites máximos de emisiones de gases para vehículos a gasolina.

El etanol se comporta de manera estable al ser mezclado con gasolina, la mezcla aumenta su poder calorífico.

5.2 Recomendaciones

Para la preparación de mezclas etanol-gasolina se necesitará la utilización de etanol anhidro al 100%.

Manejar las mezclas adecuadamente al momento de su preparación como al momento de su almacenamiento para obtener resultados precisos y confiables.

Utilizar la mezcla de etanol-gasolina al 5% como combustible para motores de combustión interna.

Para la utilización de mezclas etanol-gasolina en motores de combustión encendidos por chispa y con ECU estándar se recomienda no utilizar concentraciones mayores de etanol al 5%.

Para concentraciones mayores de etanol al 5% se necesitará modificaciones del motor, como reprogramar la computadora del vehículo para poder utilizar combustibles alternativos.

Para concentraciones mayores al 20% se necesitará realizar modificaciones en el sistema de inyección electrónica incorporando sensores para combustibles alternativos.

Repotenciar el equipo analizador de gases de la escuela de ingeniería automotriz para la utilización y ayuda a los estudiantes en su formación profesional.

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, José. 2004. *Técnicas del automovil, Equipo Eléctrico.* España : Thonson, 2004.

CGEE, BNDES e. 2008. *Bioetanol de Caña de Azúcar.* Rio de Janeiro : s.n., 2008.

CISE. Electronics. 2011. *Programa Técnico Master Módulo II Inyección Electrónica.* Buenos Aires : s.n., 2011.

CR, Mecánica Basica. 2015. *Mecánica Basica cr.* [En línea] 2015. [Citado el: 10 de 08 de 2015.] www.mecanicabasicacr.com/inyeccion/la-limpieza-de-inyectores.html.

F. PAYRI, J.M. DESANTES. 2011. *Motores de combustión interna alternativos.* Barcelona : Reverté, 2011.

GERSCHLER Y OTROS. *Tecnología del automóvil.* Barcelona : Reverté.

MARTIN, F. 2004. *Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y las nuevastecnologías energéticas para la propulsión de vehículos destinados al transporte.* España : s.n., 2004.

MEDINA A. 2014. *Sinc:Effect of ethanol addition on cyclic variability in a simulated spark ignition gasoline engine.* [En línea] 09 de Octubre de 2014. [Citado el: 23 de 07 de 2015.] <http://www.agenciasinc.es/Noticias/El-rendimiento-de-un-motor-de-gasolina-aumenta-al-anadir-etanol>.

Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad. Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad. [En línea] [Citado el: 14 de 01 de 2016.] <http://www.produccion.gob.ec/ecopais-una-muestra-del-cambio-de-la-matriz-productiva/>.

QUÍMICA ORGÁNICA.org. 2013. *Química Orgánica.org.* [En línea] 13 de Abril de 2013. [Citado el: 21 de Octubre de 2015.] <http://www.quimicaorganica.org/alcoholes.html>.

SANTANDER, Jesús. 2005. *Mecánica y Electrónica Automotriz.* Colombia : Diseli, 2005.

Textos. Científicos. 2006. *Textos Científicos.* [En línea] 14 de Abril de 2006. [Citado el: 11 de Septiembre de 2015.] <http://www.textoscientificos.com/energia/combustibles/liquididos>.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. 2014. *Ahorremos Gasolina.org.* [En línea] 17 de Marzo de 2014. [Citado el: 20 de 10 de 2015.] <https://www.fueleconomy.gov/feg/escurrent.shtml>.