



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL
METANOL Y ETANOL COMO ADITIVO ORGÁNICO DE LA
GASOLINA EXTRA, PARA SU UTILIZACIÓN EN EL MOTOR
DE COMBUSTIÓN CICLO OTTO EN PROPORCIONES DEL 5%,
10% Y 15%**

**AUTORES: JOSÉ LUIS CHILQUINGA BUSTOS
CARLOS MAURICIO RUIZ RUIZ**

DIRECTOR: ING. LEONIDAS QUIROZ.

LATACUNGA

2016



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL METANOL Y ETANOL COMO ADITIVO ORGÁNICO DE LA GASOLINA EXTRA, PARA SU UTILIZACIÓN EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN CICLO OTTO EN PROPORCIONES DEL 5%, 10% Y 15%”** realizado por los señores **JOSÉ LUIS CHILQUINGA BUSTOS Y CARLOS MAURICIO RUIZ RUIZ**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **JOSÉ LUIS CHILQUINGA BUSTOS Y CARLOS MAURICIO RUIZ RUIZ** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, Agosto del 2016

Ing. LEONIDAS QUIROZ

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **JOSÉ LUIS CHILQUINGA BUSTOS**, con cédula de identidad N° 0503735896, Y **CARLOS MAURICIO RUIZ RUIZ**, con cédula de identidad N° 1003520762, declaramos que este trabajo de titulación “**ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL METANOL Y ETANOL COMO ADITIVO ORGÁNICO DE LA GASOLINA EXTRA, PARA SU UTILIZACIÓN EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN CICLO OTTO EN PROPORCIONES DEL 5%, 10% Y 15%**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, Agosto del 2016

JOSÉ LUIS CHILQUINGA BUSTOS

C.C.: 0503735896

CARLOS MAURICIO RUIZ RUIZ

C.C.: 1003520762



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **JOSÉ LUIS CHILQUINGA BUSTOS Y CARLOS MAURICIO RUIZ RUIZ**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL METANOL Y ETANOL COMO ADITIVO ORGÁNICO DE LA GASOLINA EXTRA, PARA SU UTILIZACIÓN EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN CICLO OTTO EN PROPORCIONES DEL 5%, 10% Y 15%**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, Agosto del 2016

JOSÉ LUIS CHILQUINGA BUSTOS

C.C.: 0503735896

CARLOS MAURICIO RUIZ RUIZ

C.C.: 1003520762

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi mami Elvia que siempre confió en mí y con tanto amor y sacrificio me ayudó a terminar esta importante etapa de mi vida, pese a todos los problemas que se presentaron.

A mis hermanos Myriam y Cristian que nunca me abandonaron y estuvieron siempre junto a mí apoyándome y guiándome cuando más lo necesitaba.

José Luis

DEDICATORIA

A Dios por guiarme en el transcurso de todo este recorrido de estudio y haberme dado las fuerzas para sobresalir de las adversidades.

A mi madre, padre y hermano va dedicado todo el esfuerzo entregado durante toda esta etapa de mi vida, porque ellos son mi fortaleza e impulso para cada decisión tomada.

Carlos M. Ruiz Ruiz

AGRADECIMIENTO

A mi mami por su gran esfuerzo y lucha, lo que permitió alcanzar este logro profesional.

A mis hermanos por siempre apoyarme desinteresadamente y estar pendientes de mí cuando lo necesitaba.

A mi cuñada por sus palabras de aliento y su gran ayuda que permitieron que pueda seguir adelante con mis estudios.

A mis tíos y primos que estuvieron dándome fuerzas para poder continuar.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L por acogerme todo este tiempo y ser mi segundo hogar, permitiéndome estudiar para lograr ser un profesional.

A los maestros que a lo largo de la carrera me brindaron todos sus conocimientos, amistad y confianza.

A mis amigos por ayudarme en los momentos difíciles, por su compañía, paciencia, tiempo y conocimiento que compartieron conmigo.

A mi amigo y compañero de tesis que con su apoyo, camaradería y conocimiento permitió que pudiésemos enfrentar los problemas que se nos presentaron y llegar al buen término de nuestro proyecto.

José Luis

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen Santísima que me han llenado de bendiciones y han sido mi refugio en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi madre Gladys Ruiz que ha sido mi fortaleza en todos los ámbitos de mi vida, la mujer que más amo.

A mi padre Carlos Ruiz que me ha enseñado el significado de perseverancia y el valor del trabajo.

A mi hermano Steven Ruiz por la amistad incondicional y la compañía fiel.

A toda mi familia, que han sido participes de una manera u otra de todas mis alegrías y tristezas.

A todos mis amigos que he encontrado en esta ciudad, que me han brindado su cariño, conocimiento, respeto y amistad, especialmente a mi amigo y compañero de tesis con el que hemos sabido llevar a cabo este estudio sobreponiéndonos a toda dificultad.

A todos mis maestros de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L que han sabido compartir sus conocimientos, gracias por la paciencia y ayuda para conseguir mis objetivos.

Carlos M. Ruiz Ruiz

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxi
RESUMEN	xxii
ABSTRACT	xxiii
PRESENTACIÓN	xxiv
CAPÍTULO I	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Descripción resumida del proyecto	3
1.4. Justificación e importancia	3
1.4.1. Interés de la investigación	4
1.4.2. Utilidad teórica	5
1.4.3. Utilidad práctica	5
1.4.4. Utilidad metodológica	5
1.4.5. Factibilidad	6
1.5. Objetivos del proyecto	6
1.5.1. Objetivo general	6
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.5.3. Campo de acción	7
1.6. Metas	7
1.7. Hipótesis	7

1.8. Variables de la investigación	8
--	---

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Combustibles: Propiedades, obtención y consideraciones.....	9
2.1.1. Gasolina	9
2.1.2. Etanol	13
2.1.3. Metanol.....	20
2.2. Combustibles Alternativos	25
2.2.1. Biocombustibles a base de alcohol a nivel mundial	25
2.2.2. Biocombustibles a base de alcohol en el Ecuador	27
2.3. Poder Calorífico	30
2.3.1. Poder Calorífico Inferior (PCI)	30
2.3.2. Poder Calorífico Superior (PCS)	31
2.3.3. Determinación Del Poder Calorífico	31
2.4. Índice de Octano (IO)	37
2.4.1. Determinación del Índice de Octano	37
2.5. Gráficas de desempeño del motor.....	38
2.5.1. Torque	40
2.5.2. Potencia	40
2.5.3. Consumo de combustible	41
2.6. Emisiones del motor de combustión interna	42
2.6.1. Gases no tóxicos.....	43
2.6.2. Gases dañinos para la atmósfera.....	44
2.6.3. Gases tóxicos.....	44
2.6.4. Analizador de gases de escape	46
2.6.5. Normativas internacionales sobre emisiones contaminantes	48
2.6.6. Normas en el Ecuador sobre emisiones contaminantes	49

CAPÍTULO III

3. PRUEBAS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL METANOL Y ETANOL COMO ADITIVO ORGÁNICO	51
---	-----------

3.1. Metodología de desarrollo de la investigación.....	51
3.1.1. Métodos y técnicas empleados para la investigación.....	51
3.1.2. Metodología de investigación empleado	53
3.2. Chevrolet Aveo Activo 1.4lt.....	55
3.2.1. Ficha técnica	55
3.2.2. Mantenimiento del vehículo.....	56
3.3. Volumen de muestras requeridas por prueba.....	57
3.3.1. Poder calorífico	57
3.3.2. Densidad	58
3.3.3. Índice de octano	58
3.3.4. Torque y potencia.....	59
3.3.5. Consumo de combustible	60
3.3.6. Análisis de gases	61
3.4. Pruebas en la bomba calorimétrica	61
3.4.1. Equipo de obtención del poder calorífico.....	61
3.4.2. Obtención del poder calorífico	62
3.4.3. Proceso de Estandarización del equipo	69
3.5. Ensayos en el octanómetro	70
3.5.1. Equipo de obtención del índice de octano.....	70
3.5.2. Obtención del índice de octano	71
3.6. Pruebas de Torque y Potencia	72
3.6.1. Dinamómetro	72
3.6.2. Consideraciones para las pruebas de Torque y Potencia:	73
3.7. Consumo de combustible	77
3.7.1. Medición del consumo de combustible.....	77
3.7.2. Densidad de las mezclas.....	84
3.8. Análisis de emisiones	86
3.8.1. Equipo analizador de gases de escape.....	86
3.8.2. Calibración del analizador de gases.....	89
3.7.3. Pruebas en el analizador de gases.....	93

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL METANOL Y ETANOL COMO ADITIVO ORGÁNICO	99
4.1. Poder Calorífico.....	99
4.1.1. Tabulación y cálculo de datos	99
4.1.2. Análisis de resultados	110
4.2. Índice de Octano	113
4.2.1. Tabulación de datos	114
4.2.2. Análisis de resultados	114
4.3. Curvas de rendimiento del motor.....	116
4.3.1. Tabulación de datos de Torque y Potencia	118
4.3.2. Consumo específico de combustible	126
4.3.3. Gráficas comparativas y análisis de resultados de las curvas de rendimiento del motor	132
4.4. Emisiones contaminantes.....	142
4.4.1. Tabulación de datos de emisiones contaminantes.....	142
4.4.2. Gráficas comparativas de emisiones contaminantes respecto a la norma NTE INEN 2204:2002	145

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO	151
5.1. Recursos	151
5.1.1. Recursos humanos	151
5.1.2. Recursos tecnológicos	152
5.1.3. Recursos materiales.....	153
5.1.4. Gastos del proyecto	154
5.2. Plan de negocio (impulso matriz productiva).....	155
5.2.1. Estrategias	155
5.2.2. Macro entorno – Análisis PEST.....	155
5.2.3. Meso entorno – Análisis PORTER	157
5.2.4. FODA	158
5.2.5. FODA cruzado.....	159
5.2.6. Matriz EFE.....	159

5.3. Cronograma de actividades.....	161
-------------------------------------	-----

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	162
--	------------

6.1. CONCLUSIONES.....	162
------------------------	-----

6.2. RECOMENDACIONES	165
----------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA	167
---------------------------	------------

NETGRAFÍA.....	170
-----------------------	------------

NORMAS.....	174
--------------------	------------

ANEXOS.....	175
--------------------	------------

ANEXO A Hoja de seguridad de materiales peligrosos – gasolina extra

ANEXO B Propiedades de los alcoholes (Etanol y Metanol)

ANEXO C Manual de Operación Bomba Calorimétrica Parr 1341

ANEXO D Ficha técnica del analizador de gases Cartek

ANEXO E Cálculos del poder calorífico

ANEXO F Informes de ensayos del Índice de Octano

ANEXO G Pruebas de torque y potencia

ANEXO H Cálculos del consumo específico de combustible

ANEXO I Pruebas de emisiones de gases

ANEXO J Glosario

ANEXO K Artículo Técnico

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de la variable independiente	8
Tabla 2	Operacionalización de la variable independiente	8
Tabla 3	Propiedades físico-químicas de la gasolina extra.....	10
Tabla 4	Propiedades físico-químicas del etanol	15
Tabla 5	Propiedades físico-químicas del metanol	21
Tabla 6	Nomenclatura de las ecuaciones del poder calorífico	34
Tabla 7	Composición del gas de calibración	48
Tabla 8	Limitaciones de emisiones para vehículos nuevos con motor a gasolina	49
Tabla 9	Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática)	49
Tabla 10	Metodología de la investigación	53
Tabla 11	Ficha técnica del vehículo	55
Tabla 12	Denominación de mezclas	57
Tabla 13	Cantidad de mezcla para la prueba de poder calorífico	57
Tabla 14	Cantidad de mezcla para prueba de densidad.....	58
Tabla 15	Cantidad de mezcla en ensayo de índice de octano	59
Tabla 16	Cantidad de mezcla en pruebas de torque y potencia	60
Tabla 17	Cantidad de mezcla en prueba de consumo de combustible ...	60
Tabla 18	Cantidad de mezcla en prueba de análisis de gases	61
Tabla 19	Condiciones del octanómetro para la prueba.....	71
Tabla 20	Ficha técnica del analizador CARTEK	88
Tabla 21	Energía total del calorímetro	101
Tabla 22	Datos para el cálculo del poder calorífico de la gasolina extra	102
Tabla 23	Poder calorífico de la gasolina extra	105
Tabla 24	Poder calorífico de E5	106
Tabla 25	Poder calorífico de E10	106
Tabla 26	Poder calorífico de E15	107
Tabla 27	Poder calorífico de M5	107
Tabla 28	Poder calorífico de M10	108
Tabla 29	Poder calorífico de M15	109

Tabla 30	Poder calorífico de E10M5	109
Tabla 31	Poder calorífico de E5M10	110
Tabla 32	Poder calorífico de las mezclas.....	111
Tabla 33	Índice de octano de las muestras.....	114
Tabla 34	Datos de la primera prueba de potencia para cada mezcla ...	118
Tabla 35	Datos de la segunda prueba de potencia para cada mezcla..	119
Tabla 36	Datos de la tercera prueba de potencia para cada mezcla	121
Tabla 37	Datos de la primera prueba de torque para cada mezcla.....	122
Tabla 38	Datos de la segunda prueba de torque para cada mezcla	123
Tabla 39	Datos de la tercera prueba de torque para cada mezcla.....	125
Tabla 40	Datos del consumo de combustible al utilizar gasolina extra .	126
Tabla 41	Datos del consumo de combustible al utilizar E5	127
Tabla 42	Datos del consumo de combustible al utilizar E10	127
Tabla 43	Datos del consumo de combustible al utilizar E15	127
Tabla 44	Datos de consumo de combustible al utilizar M5	127
Tabla 45	Datos de consumo de combustible al utilizar M10	128
Tabla 46	Datos de consumo de combustible al utilizar M15	128
Tabla 47	Datos de consumo de combustible al utilizar E10M5.....	128
Tabla 48	Datos de consumo de combustible al utilizar E5M10	128
Tabla 49	Densidades de las mezclas obtenidas con el picnómetro	129
Tabla 50	Cálculo del consumo específico de combustible	130
Tabla 51	Valores de consumo específico de combustible para cada mezcla	131
Tabla 52	Emisiones al utilizar gasolina extra	142
Tabla 53	Emisiones al utilizar E5	143
Tabla 54	Emisiones al utilizar E10	143
Tabla 55	Emisiones al utilizar E15	143
Tabla 56	Emisiones al utilizar M5.....	144
Tabla 57	Emisiones al utilizar M10.....	144
Tabla 58	Emisiones al utilizar M15.....	144
Tabla 59	Emisiones al utilizar E10M5	145
Tabla 60	Emisiones al utilizar E5M10	145
Tabla 61	Costo recurso tecnológico.....	153

Tabla 62	Costo recurso material	154
Tabla 63	Costo Total.....	154
Tabla 64	FODA Cruzado.....	159
Tabla 65	Matriz EFE	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Árbol de problemas.....	2
Figura 2 Unidad de destilación atmosférica	11
Figura 3 Fuentes orgánicas del etanol.....	16
Figura 4. Distintos procesos de obtención de etanol	17
Figura 5 Proceso de obtención de etanol a partir de caña de azúcar	18
Figura 6 Proceso de obtención Lurgi	22
Figura 7 Producción global de Etanol	26
Figura 8 Oferta y demanda del metanol en el mundo	27
Figura 9 Aplicación de Ecopaís a nivel nacional	29
Figura 10 Mezcla para producción de gasolina con 87 octanos	30
Figura 11 Elementos de una bomba calorimétrica.....	32
Figura 12 Elementos de la bomba calorimétrica	33
Figura 13 Curva de cambio de temperatura	35
Figura 14 Graficas de desempeño del motor	39
Figura 15 Dinamómetro de rodillos	39
Figura 16 Gases procedentes de la combustión en un motor Otto	42
Figura 17 Emisión gases en función del factor Lambda	43
Figura 18 Analizador de gases CARTEK.....	46
Figura 19 Recorrido de los gases de escape en el equipo de medición	47
Figura 20 Gas de calibración	47
Figura 21 Diagrama de flujo del mantenimiento del vehículo	56
Figura 22 Muestras refrigeradas	59
Figura 23 Bomba calorimétrica Parr modelo 1341.....	62
Figura 24 Diagrama de flujo para obtención del poder calorífico	64
Figura 25 Cubeta llena con agua	65
Figura 26 Alambre fusible	65
Figura 27 Masa de muestra	66
Figura 28 Cápsula de combustión	66
Figura 29 Carga de oxígeno	67
Figura 30 Bomba de oxígeno sumergida	67
Figura 31 Termómetro digital	68

Figura 32 Unidad de ignición	68
Figura 33 Alambre fusible sobrante	69
Figura 34 Pastilla de ácido benzoico	69
Figura 35 Octanómetro	70
Figura 36 Dinamómetro de chasis	73
Figura 37 Diagrama de flujo - prueba de Torque y Potencia	74
Figura 38 Anclaje del vehículo	75
Figura 39 Calibración del dinamómetro	76
Figura 40 Gráficas de torque y potencia	76
Figura 41 Interfaz ElmScan 5.....	77
Figura 42 Diagrama de flujo para el consumo de combustible	79
Figura 43 Vehículo en elevador	80
Figura 44 Conexión OBDII	81
Figura 45 Opción para conectar la interfaz al vehículo	81
Figura 46 Configuración de combustible.....	82
Figura 47 Tablero a bordo	82
Figura 48 Consumo de combustible	83
Figura 49 Opción para desconectar la interfaz del vehículo	83
Figura 50 Diagrama de flujo medición de densidad con picnómetro.....	84
Figura 51 Masa del picnómetro vacío	85
Figura 52 Masa del picnómetro con la mezcla.....	85
Figura 53 Prueba estática de emisión de gases	86
Figura 54 Analizador de gases CARTEK.....	87
Figura 55 Sensor de oxígeno, filtros, módulo de rpm y puertos de calibración.....	87
Figura 56 Sonda de gases y PC	88
Figura 57 Gas de calibración	90
Figura 58 Conexión al puerto de calibración.....	90
Figura 59 Opción de calibración del analizador	91
Figura 60 Inicio de la calibración.....	91
Figura 61 Opción de prueba de fugas.....	92
Figura 62 Certificados de calibración y fugas aprobados	92
Figura 63 Diagrama de flujo para la medición del análisis de gases	94

Figura 64 Conexión del módulo de rpm	96
Figura 65 Datos del vehículo y usuario	96
Figura 66 Verificación y estado del vehículo	97
Figura 67 Prueba a ralentí	97
Figura 68 Prueba a velocidad crucero	98
Figura 69 Informe del análisis de gases	98
Figura 70 Gráfica de incremento de temperatura de la gasolina extra	103
Figura 71 Calor total de combustión de las mezclas	111
Figura 72 Porcentaje de variación del poder calorífico	112
Figura 73 Reporte del ensayo de índice de octano	113
Figura 74 Índice de octano de cada mezcla	114
Figura 75 Variación del índice de octano de cada mezcla	115
Figura 76 Datos de torque y potencia	116
Figura 77 Gráfica de torque y potencia	117
Figura 78. Gráfica de consumo específico de combustible	130
Figura 79 Curvas características del motor al utilizar gasolina extra	132
Figura 80 Curvas características del motor al utilizar E5	133
Figura 81 Curvas características del motor al utilizar E10	133
Figura 82 Curvas características del motor al utilizar E15	134
Figura 83 Curvas características del motor al utilizar M5	135
Figura 84 Curvas características del motor al utilizar M10	135
Figura 85 Curvas características del motor al utilizar M15	136
Figura 86 Curvas características del motor al utilizar E10M5	137
Figura 87 Curvas características del motor al utilizar E5M10	137
Figura 88 Potencias máximas con cada mezcla	138
Figura 89 Variación de potencia en función de la gasolina extra	139
Figura 90 Torques máximos con cada mezcla	139
Figura 91 Variación de torque en función de la gasolina extra	140
Figura 92 Consumo mínimo de combustible con cada mezcla	141
Figura 93 Variación de consumo específico en función de la gasolina extra	141
Figura 94 Resultados de HC con las mezclas a ralentí	146
Figura 95 Resultados de CO con las mezclas a ralentí	146

Figura 96 Resultados de CO ₂ con las mezclas a ralenti	147
Figura 97 Resultados de O ₂ con las mezclas a ralenti.....	148
Figura 98 Resultados de HC con las mezclas a velocidad crucero	148
Figura 99 Resultados de CO con las mezclas a velocidad crucero	149
Figura 100 Resultados de CO ₂ con las mezclas a velocidad crucero	150
Figura 101 Resultados de O ₂ con las mezclas a velocidad crucero.....	150

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Proceso de fermentación de la sacarosa	18
Ecuación 2 Reacción química.....	22
Ecuación 3 Gas de síntesis-primera etapa	23
Ecuación 4 Gas de síntesis-segunda etapa.....	23
Ecuación 5 Poder calorífico inferior	31
Ecuación 6 Poder calorífico superior	31
Ecuación 7 Factor de corrección r1	36
Ecuación 8 Factor de corrección r2	36
Ecuación 9 Temperatura en el punto b	36
Ecuación 10 Incremento de temperatura	36
Ecuación 11 Energía equivalente del calorímetro.....	36
Ecuación 12 Calor total de combustión.....	36
Ecuación 13 Cálculo de torque	40
Ecuación 14 Cálculo de potencia con velocidad angular	40
Ecuación 15 Cálculo de potencia con rpm.....	40
Ecuación 16 Consumo específico de combustible.....	42

RESUMEN

La necesidad de disminuir el impacto ambiental generado por las emisiones de gases contaminantes provocadas por el sector automotriz especialmente de vehículos con motor ciclo Otto, ha originado la búsqueda de alternativas energéticas limpias que puedan sustituir parcialmente o mejorar las características de los combustibles, así, el cambio de la matriz productiva y energética por el que atraviesa el país busca constituir el nexo entre la economía, sociedad y medio ambiente como aspectos básicos de la sostenibilidad, motivando al desarrollo de biocombustibles a base de alcohol para su uso en motores de combustión interna ciclo Otto. Los alcoholes utilizados como aditivos orgánicos son el etanol y metanol y resulta fundamental determinar su influencia en los parámetros característicos de los motores de combustión interna, de esta manera alcanzar una visión técnica-científica de su aplicabilidad en la industria automotriz especialmente del transporte de vehículos livianos. Se analizan diferentes mezclas tanto de etanol y metanol con la gasolina extra en concentraciones de 5%, 10% y 15%, mediante ensayos de índice de octano, pruebas de poder calorífico superior, torque, potencia, consumo de combustible y emisiones de gases en el motor del vehículo Chevrolet Aveo Activo 1.4lt, para evaluar y validar su uso mediante gráficas de desempeño del motor.

PALABRAS CLAVE:

- **ETANOL**
- **METANOL**
- **CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**
- **COMBUSTIBLE - ADITIVO ORGÁNICO**
- **BIOCOMBUSTIBLES**

ABSTRACT

The need to reduce the environmental impact generated by emissions of pollutant gases caused by the automotive sector especially motor vehicles Otto cycle, has led to the search of clean energy alternatives that can partially replace or improve the characteristics of fuel, so the changing of productive and energetic matrix which crosses the country seeks to establish the link between the economy, society and environment as basic aspects of sustainability, encouraging the development of biofuels based alcohol for use in internal combustion engines Otto cycle. The alcohols used as organic additives are ethanol and methanol and is essential to determine their influence on the characteristic parameters of the internal combustion engine, thus reaching a technical-scientific view of their applicability in the automotive industry especially the transportation of light vehicles. Different mixtures of both ethanol and methanol with extra gasoline at concentrations of 5%, 10% and 15%, by proving of octane number, tests of calorific value, torque, power, fuel consumption and emission gas are analyzed in Chevrolet Aveo Active 1.4lt vehicle's engine, to assess and validate their use by graphics of engine performance.

KEYWORDS:

- **ETHANOL**
- **METHANOL**
- **ENVIRONMENT POLLUTION**
- **FUEL - ORGANIC ADDITIVES**
- **BIOFUELS**

PRESENTACIÓN

La búsqueda de alternativas energéticas limpias que puedan sustituir total o parcialmente a los combustibles de origen fósil, y a la vez permitan reducir las emisiones de gases contaminantes provocadas por el sector automotriz, ha motivado al estudio del potencial energético que presentan el etanol y metanol como aditivos orgánicos. El uso de estos alcoholes anhidros grado carburante como complemento de la gasolina, se ha desarrollado ampliamente debido a características propias que permiten disminuir los niveles de contaminación de los gases de escape gracias a la adición de oxígeno en la mezcla aire-combustible, además de elevar el índice de octano, lo que proporciona una combustión más suave, sin alterar de mayor manera los parámetros característicos del motor (torque, potencia y consumo de combustible).

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Los aditivos son sustancias que se añaden al combustible en pequeñas cantidades para mejorar sus características. El número de octanaje se ha ido incrementando con la utilización de aditivos como el “tetra-etilo de plomo” que en la actualidad se ha suprimido por sus efectos contaminantes.

Debido a las necesidades de reducir las emisiones contaminantes generadas por los vehículos, se comenzó a implementar en el país alternativas como la utilización de biocombustibles, permitiendo aminorar dichas emisiones y el uso de derivados de petróleo.

Desde 2010 el gobierno implementó un plan piloto en la provincia de Guayas y otros sectores de la costa para comercializar Ecopaís con el fin de ser más amigables con el medio ambiente.

Según el Decreto Ejecutivo 675 del 13 de Mayo de 2015, la distribución y comercialización de la gasolina Ecopaís se aplicará progresivamente en todo el territorio ecuatoriano en función de la oferta de etanol de producción nacional, ya que la proyección hasta el 2017 será de sustituir la gasolina extra y se tendrá sólo gasolina Ecopaís, ambientalmente amigable.

En la actualidad Ecuador distribuye éste biocombustible que es una mezcla del 95% de gasolina extra con 5% de etanol. La comercialización de este derivado se realiza en pocas estaciones de combustible, por lo que el objetivo es colocar la gasolina ecológica a nivel nacional para el año 2017 con una concentración que sea 15% de etanol y 85% de gasolina extra. (Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica, 2013)

Como parte del cambio de la Matriz Energética, el gobierno busca aumentar el uso de biocombustibles, provenientes de la caña de azúcar y el aceite de palma. Pero dado que la oferta de estos combustibles aún está por

debajo de la demanda, la importación de metanol para la activación de gasolina podría ser uno de los caminos para reducir la salida de recursos.

La empresa estadounidense SOUTHERN CHEMICAL CORPORATION propone sustituir totalmente, y a nivel nacional, la gasolina Extra por la EcoPaís lo cual consistiría en añadir a la gasolina EcoPaís 10% de metanol, adicional al 5% de etanol que hoy contiene. La gasolina EcoPaís puede perfectamente mezclarse con etanol y metanol, ya que ambos son alcoholes co-solventes y por ello no se requieren aditivos.

Una correcta mezcla de etanol y metanol con la gasolina propone una alternativa a la utilización de aditivos químicos que, aunque mejoran ciertas propiedades del combustible, no priorizan el cuidado del ambiente.

1.2. Planteamiento del problema

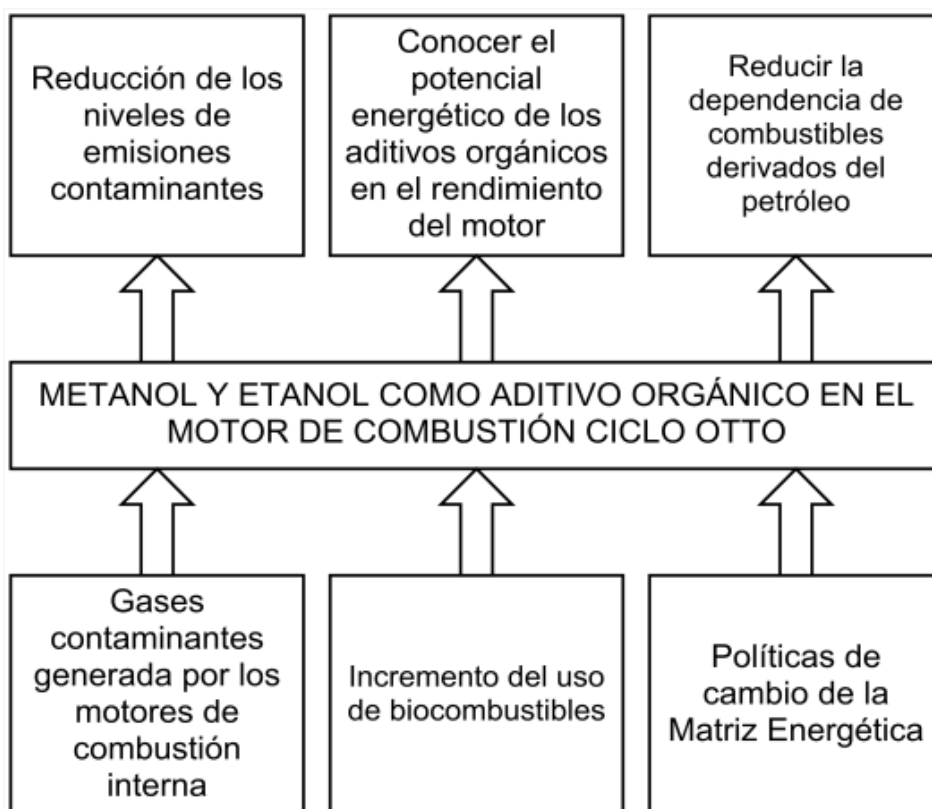


Figura 1 Árbol de problemas

1.3. Descripción resumida del proyecto

La presente investigación se orientó al análisis del potencial energético del metanol y etanol como aditivo orgánico en la gasolina extra mediante pruebas en el motor del vehículo Chevrolet Aveo Activo 1.4lt.

Se realizaron diferentes mezclas de la gasolina extra con etanol y metanol al 5%,10% y 15%, además de 5% de etanol más 10% de metanol y viceversa; se determinó el poder calorífico con la ayuda de la bomba calorimétrica Parr modelo 1341; se realizó la medición del consumo de combustible volumétrico, se obtuvo las densidades de las mezclas, todas estas pruebas se llevaron a cabo en los Laboratorios de Mecánica de Patio y Química de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

Se estableció el índice de octano con la ayuda del octanómetro, dicho ensayo se ejecutó en el Laboratorio de Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional.

Se efectuaron pruebas del rendimiento del motor del vehículo Chevrolet Aveo Activo 1.4lt en el Centro de Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) de la Escuela Politécnica Nacional, con diferentes mezclas en el dinamómetro de chasis (MAHA LPS 3000), obteniendo gráficas de rendimiento (torque y potencia) del motor del vehículo de prueba.

Finalmente se realizó la prueba de emisiones de gases con las diferentes mezclas de los aditivos orgánicos en la gasolina extra mediante el Analizador de gases CARTEK, del Laboratorio de Mecánica de Patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

1.4. Justificación e importancia

Una de las mayores problemáticas que enfrenta el planeta en la actualidad es la contaminación del medio ambiente resultado de varias fuentes emisoras de gases contaminantes, siendo el sector automotriz uno

de los mayores responsables de este fenómeno debido a su alta dependencia de combustibles derivados del petróleo; debido a este fenómeno se están buscando alternativas energéticas potenciales que permitan dar solución a esta problemática, por lo que se está dando cabida a la utilización de alcoholes como fuente de energía.

Se tiene evidencia que los alcoholes generan menos emisiones contaminantes, pero su uso no ha sido tan difundido, por lo que es una alternativa de un valor incalculable a considerar. Es por eso que esta investigación propone analizar el etanol y metanol como aditivos de la gasolina extra a diferentes concentraciones, pudiendo así corroborar la aplicabilidad de estos en los motores de combustión interna sin la necesidad de realizar modificaciones o ajustes en el motor, siendo esto último la mayor preocupación que tienen los usuarios con respecto a esta clase de bioenergía, además de estar acorde con los proyectos de desarrollo energético sustentable.

El Ecuador se encuentra en el proceso del cambio de la Matriz Energética bajo criterios de transformación de la Matriz Productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable, para aprovechar el potencial energético de las fuentes renovables fortaleciendo así la utilización del biocombustible. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013)

1.4.1. Interés de la investigación

La investigación está orientada a los vehículos livianos en general que utilizan gasolina extra como combustible, específicamente a los automotores de transporte público tipo taxi, con la intención de reducir las emisiones de gases contaminantes producidas por este sector.

1.4.2. Utilidad teórica

Con la aplicación de cálculos y mediciones del poder calorífico superior, torque, potencia y consumo de combustible se evidencia que al mezclar la gasolina extra con aditivos orgánicos a base de alcohol como el etanol y metanol, se consigue elevar el índice de octano y reducir las emisiones contaminantes, además de que el desempeño del motor no se ve mayormente afectado.

1.4.3. Utilidad práctica

El uso del etanol y metanol como aditivos de la gasolina extra permitió una combustión más suave debido al incremento del índice de octano, además de una reducción de las emisiones contaminantes como consecuencia de las moléculas de oxígeno presentes tanto en el metanol como en el etanol.

1.4.4. Utilidad metodológica

Se llevaron a cabo protocolos de medición bajo estándares de normas técnicas y procedimientos de los laboratorios, para las pruebas de poder calorífico, índice de octano, torque, potencia, consumo de combustible y emisiones de gases con el objeto de establecer los parámetros de funcionamiento del motor del vehículo Chevrolet Aveo Activo 1.4lt, al utilizar las distintas mezclas en los diferentes regímenes, bajo condiciones de trabajo en la ciudad de Latacunga (2750 msnm).

El etanol se puede usar como combustible al 100% en vehículos con pequeñas modificaciones en su sistema de alimentación, mientras que el metanol puede aprovecharse para la producción de biodiesel, por las características que presentan estos alcoholes se pueden desarrollar diversas investigaciones para su aplicación.

1.4.5. Factibilidad

Es viable el desarrollo de la investigación ya que existen los equipos tecnológicos necesarios como: dinamómetro, octanómetro, bomba calorimétrica, analizador de gases, interfaz de lectura de PIDs, disponibles en universidades y centros de investigación.

El Ecuador atraviesa un cambio de su Matriz Productiva y Energética, lo que impulsa la producción de biocombustibles de bajo impacto ambiental; es así que el proyecto ECOPAÍS promueve la distribución de gasolina mezclada con etanol anhidro grado carburante, debido a esta demanda se debe aprovechar la creciente producción de etanol a base de caña de azúcar.

1.5. Objetivos del proyecto

1.5.1. Objetivo general

Analizar el potencial energético del metanol y etanol como aditivo orgánico en el motor de combustión ciclo Otto, variando las concentraciones de los alcoholes en la gasolina extra para validar su uso como una alternativa de energía más limpia.

1.5.2. Objetivos específicos

- Levantar la información teórica para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Realizar las distintas mezclas en concentraciones del 5%,10% y 15%.
- Realizar las mezclas de 5% de etanol más 10% de metanol con gasolina y viceversa.
- Realizar pruebas del índice de octano de las diferentes mezclas realizadas, utilizando el octanómetro.
- Determinar el rendimiento de las mezclas en el motor del vehículo Chevrolet Aveo Activo 1.4lt. mediante gráficas de torque, potencia y consumo de

combustible siguiendo los protocolos de pruebas establecidos en las Normas.

- Medir las emisiones contaminantes que genera el motor del vehículo Chevrolet Aveo Activo 1.4lt.
- Obtener el poder calorífico de las distintas mezclas mediante el uso de la bomba calorimétrica Parr modelo 1341.
- Tabular los valores obtenidos para mostrar el potencial energético del metanol y etanol de manera ordenada, permitiendo el fácil entendimiento de la misma.
- Validar el uso de etanol y metanol como aditivo orgánico en la gasolina extra en el motor del vehículo Chevrolet Aveo Activo 1.4lt, mediante el análisis de las distintas gráficas de rendimiento y emisión de gases.

1.5.3. Campo de acción

Potencial energético del etanol y metanol como aditivos orgánicos de la gasolina extra para su uso en el motor del vehículo Chevrolet Aveo Activo 1.4lt, que representa a los automotores de transporte público tipo taxi en la ciudad de Latacunga.

1.6. Metas

Desarrollar una investigación que valide el potencial energético del etanol y metanol para su uso como aditivos orgánicos de la gasolina extra en concentraciones del 5%, 10% y 15%, con el fin de elevar el índice de octano, reduciendo la contaminación producida por los gases de escape, sin alterar significativamente los parámetros característicos del motor.

1.7. Hipótesis

El potencial energético del metanol y etanol como aditivos orgánicos en la gasolina extra permitió la reducción de las emisiones contaminantes provocadas por los motores de combustión interna sin alterar sus parámetros de funcionamiento estándar.

1.8. Variables de la investigación

- **Variables Independientes:**

Potencial energético del Metanol y Etanol como aditivo orgánico en la gasolina extra.

- **Variables Dependientes:**

Parámetros de funcionamiento del motor.

- **Operacionalización de las variables independientes**

Tabla 1
Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Propiedades físico químicas que presentan el etanol y metanol aditivados a la gasolina extra para generar energía y trabajo	Potencial para producir trabajo y energía	Poder calorífico	KJ/Kg	Medición Cálculos	Bomba calorimétrica Parr 1341 Ecuaciones
	Combustión	Índice de octano	Octanos	Medición	Octanómetro

- **Operacionalización de las variables dependientes**

Tabla 2
Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Muestran el rendimiento del motor de combustión interna	Gráficas de desempeño del motor	Torque	Lbf.ft	Medición	Dinamómetro de rodillos MAHA LPS 3000
		Potencia	HP	Medición	Dinamómetro de rodillos MAHA LPS 3000
		Consumo de combustible	Kg/KW.h	Medición y cálculos	Interfaz ElmScan 5 Ecuaciones
		Emissiones contaminantes	HC,CO,CO2,O2	ppm,%	Medición

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Combustibles: Propiedades, obtención y consideraciones

Los combustibles fósiles líquidos son los que mayor uso han tenido a lo largo del tiempo, ya que presentan una gran densidad energética y son de fácil almacenamiento; por otra parte éstos producen grandes cantidades de contaminantes lo que ha obligado a los fabricantes de vehículos a buscar alternativas para reducir estas emisiones, debido a esto, los biocombustibles van tomando protagonismo, llegando a sustituir parcialmente a los combustibles de origen fósil. (EP PETROECUADOR, 2014)

2.1.1. Gasolina

Mezcla de hidrocarburos aromáticos y olefínicos, obtenidos en el proceso de destilación atmosférica. Compuesta en su mayor parte por fracciones de hidrocarburos que van de C5 a C10 átomos por molécula. Es un combustible destinado para motores de combustión interna por ignición, diseñados para carburantes sin plomo. (EP PETROECUADOR, 2014)

a. Tipos de gasolinas

El parámetro principal de diferenciación de las gasolinas se basa en su número de octano, propiedad que depende de la composición química de la gasolina; este parámetro describe la resistencia a la detonación del combustible dentro de la cámara de combustión.

En Ecuador se produce principalmente dos tipos de gasolinas, extra y súper; aunque desde pocos años se está implementando la utilización de gasolina Ecopaís, que se diferencia de las anteriores por tener en su composición volumétrica cierta cantidad de etanol.

– Gasolina Extra

Para motores con relación de compresión moderada, en Ecuador actualmente tiene 87 octanos, de coloración verde brillante.

– Gasolina Súper

Para motores con relación de compresión alta, en Ecuador actualmente tiene 92 octanos, de coloración azul.

b. Propiedades

Las propiedades que debe poseer la gasolina está regularizada minuciosamente por la Norma Técnica específica para este fin, dicha norma avala la calidad de este combustible, en la tabla 3 se muestran dichas especificaciones técnicas.

Tabla 3
Propiedades físico-químicas de la gasolina extra

Fórmula química	C ₅ H ₁₀ a C ₉ H ₁₈	
Composición	Carbono	85-88%
	Hidrógeno	12-15%
Apariencia	Verde azulado	
Densidad relativa a 15°C	0,7643	
Punto de ebullición	Inicial: 35°C Final: 210°C, aprox.	
Punto de inflamación	-42°C	
Temperatura de autoignición	>250°C	
Número de octano Research-RON	>87,00	
Poder calorífico	Inferior	42499.99 KJ/Kg
	Superior	44799.97 KJ/Kg
Solubilidad en agua	Prácticamente insoluble en agua (0,1-1%). Completamente soluble en éter, cloroformo, etanol y otros solventes del petróleo.	

Fuente: (EP PETROECUADOR, 2014)

c. Obtención

Las gasolinas son los primeros combustibles líquidos que se obtienen del fraccionamiento del petróleo dentro de instalaciones denominadas refinerías.

En estas unidades, el petróleo es sometido previamente al proceso de desalinización, para evitar la corrosión de los equipos de la refinería. El crudo se calienta a 350 °C e ingresa a las torres de destilación atmosférica (figura 2), en donde se produce la separación de los distintos productos según los diferentes puntos de ebullición. (EP PETROECUADOR, 2013)

Luego varios procesos a los que se somete el petróleo, aparecen varios derivados, los cuales aún deben seguir el proceso de refinado hasta lograr obtener el producto final deseado, el cual se somete a nuevos procesos químicos para determinar sus características así como para añadirle aditivos que permitan diferenciarlos del resto de productos. (EP PETROECUADOR, 2013)

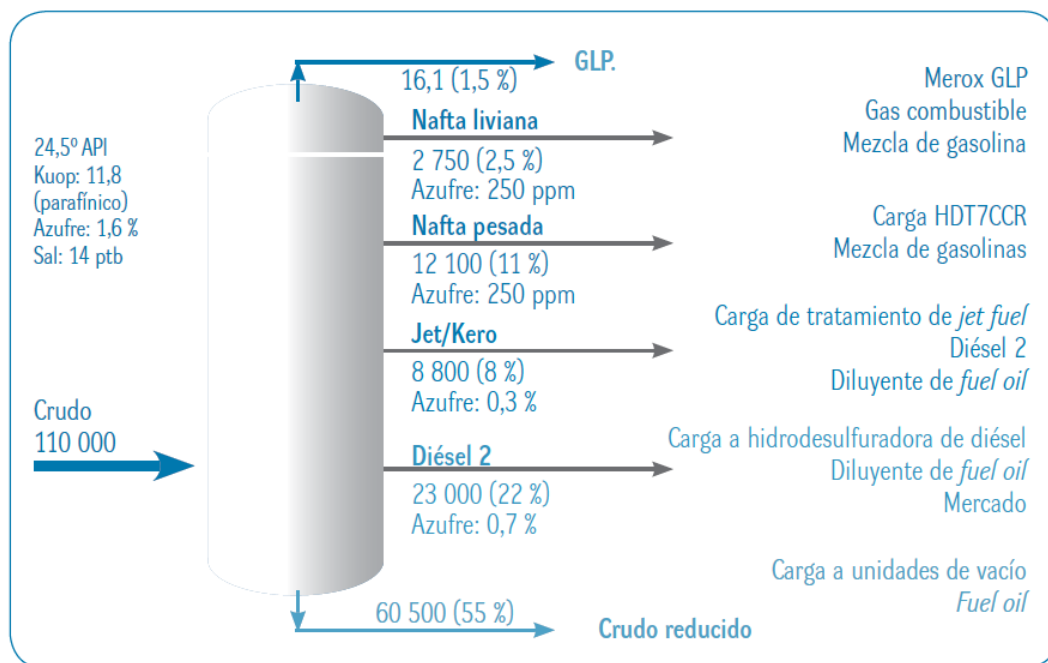


Figura 2 Unidad de destilación atmosférica
Fuente: (EP PETROECUADOR, 2013)

d. Consideraciones de la gasolina

- Mantener en recipientes herméticos, ya que los líquidos y vapores son extremadamente inflamables.
- Mantener lejos de cualquier fuente de ignición o calor debido a que la gasolina posee un punto de inflamación muy bajo (-42°C).
- Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias, puede causar irritación en la piel y ojos.

e. Aditivos

Existe una gran variedad de aditivos que por razones de mejor comprensión, se podrían agrupar en dos grupos:

- Optimizadores de características de la gasolina: Son aquellos que modifican sus particularidades físico-químicas, sin influir directamente en el proceso de combustión.
- Colorantes.- Permiten dar una coloración específica a la gasolina para diferenciarlas de otras de distintas propiedades y calidad.
- Detergentes.- Permite prevenir que se formen depósitos en los inyectores, así como también ayuda a mejorar la pulverización de la gasolina.
- Inhibidores de la corrosión.- Evita que la gasolina, en contacto con tuberías, provoque corrosión en éstas, lo que provocaría desprendimiento de material y posterior obturación de las líneas de suministro de combustible.
- Anticongelantes.- Evita la congelación de ciertas partes del motor, especialmente en el sistema de alimentación.
- Demulsificantes.- Para minimizar la formación de la emulsión mediante la mejora de la separación del agua.

(Angulo, Marquez, Rivas, & Sanchez, 2012)

- Optimizadores de propiedades de la gasolina: Son aquellos que intervienen directamente en el proceso de combustión. Dentro de este grupo se encuentran los aditivos que mejoran tanto a la oxigenación como la elevación del número de octano de la gasolina.

- Tetraetilo de plomo

Aumento del poder antidetonante, permite aminorar el efecto corrosivo sobre los metales calientes y evitar la formación de costras dañinas, pero el uso de este aditivo ha sido fuertemente cuestionado debido a que los gases de escape resultaron más venenosos. Debido a este grave efecto contaminante en la actualidad se ha suprimido su uso. (Ariaz-Paz, 2004)

- Etil TerButil Éter ETBE.- Mezcla de bioetanol (45% Volumen) e isobutileno, aumenta el índice de octano. (Bueno Oliveros, 2007)

- Éter Metil Tert-Butílico MTBE.- Es una mezcla de biometanol (36% volumen) e isobutanol Reemplaza al plomo. (Bueno Oliveros, 2007)

- Metil TeraMil Éter TAME.- Compuesto por la reacción entre metanol e isopenteno. Eleva el número de octano y reduce las emisiones. (Martín & Sala, 2004)

- Etanol.- En pequeñas proporciones, permite el aumento del número de octano y la disminución de las emisiones producidas en el proceso de combustión, está siendo muy difundido el uso de este aditivo de origen orgánico. Para su uso debe ser etanol anhidro. (Melo, Sánchez, Ferrer, & Ferrer, 2012)

- Metanol.- Al igual que el etanol sirve de oxigenante y como elevador del índice de octano, menos difundido que el etanol. Para su uso debe ser metanol anhidro. (Liang & et_al, 2013)

2.1.2. Etanol

Es un compuesto químico del grupo de los alcoholes, llamado también alcohol etílico, cuya fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$; a temperatura

ambiente se encuentra en estado líquido, es incoloro, volátil, inflamable, completamente soluble en agua. (Cadena Agroindustrial, 2004)

Una importante aplicación se basa en el uso del etanol como combustible en los motores de combustión interna, que utilizan gasolina. La ventaja más importante de la utilización del etanol como biocombustible radica en el uso de recursos renovables para la producción de combustibles, ya que este alcohol se puede obtener de cualquier biomasa que contenga contenido de sacarosa, almidón o celulosa, siendo las principales fuentes la caña de azúcar, remolacha, pulpa de cítricos, frutas, maíz, papa, yuca, madera, entre otros. (Observatorio de Políticas Públicas, 2007)

El uso del etanol como combustible provoca una reducción considerable de emisiones contaminantes de HC, además como se obtiene de fuentes orgánicas, no contiene azufre, y por lo tanto no se genera SO₂ en la combustión, producto que es uno de los principales agentes causantes de la lluvia ácida. (Celi & Macías, 2006)

Para la utilización del etanol como combustible es necesario que éste sea lo más puro posible (>99.5%), ya que el agua puede ocasionar la separación de las fases gasolina - alcohol, que originaría problemas de fallas mecánicas de vehículos por gasificación en la bomba de gasolina entre otros daños. (Comisión Nacional para el ahorro de Energía, 2008)

a. Propiedades

El etanol tiene menor inflamabilidad que la gasolina, es menos tóxico que el metanol, tiene un alto índice de octano que al mezclarse con la gasolina reduce el golpeteo durante el proceso de combustión, produce menos dióxido de carbono y genera menos emisiones de monóxido de carbono. En la tabla 4 se muestran las propiedades físico-químicas del etanol.

Tabla 4
Propiedades físico-químicas del etanol

Fórmula química	CH ₃ CH ₂ OH	
Composición	Carbono	52,2%
	Hidrógeno	13,1%
	Oxígeno	34,7%
Apariencia	Incoloro	
Densidad	0,789 g/cm ³	
Peso molecular	46,07 g/mol	
Punto de fusión	-114°C	
Punto de ebullición	77,77°C	
Punto de inflamación	12,77°C	
Temperatura de autoignición	422,77°C	
Solubilidad en agua	Miscible con agua en todas proporciones, éter, metanol, cloroformo y acetona.	
Research Octane Number (RON)	108	
Poder calorífico	Superior	29692.78 KJ/Kg
	Inferior	26795.52 KJ/Kg

Fuente: (Walsh, 2008)

b. Obtención

Existen dos medios para la obtención del etanol: la obtención por síntesis química y la obtención por fuentes orgánicas.

- Obtención del etanol por síntesis química

Mediante la hidratación de etileno, hidrocarburo derivado del petróleo, y utilizando ácido sulfúrico como acelerador químico del proceso y sometiéndolo a una posterior hidrólisis. En esta síntesis se produce una mezcla de etanol y agua que luego se destila para poder convertir el etanol en combustible alternativo. (Hart, Craine, Hart, & Hadad, 2007)

- Obtención del etanol por fuentes orgánicas

Utiliza gran variedad de fuentes orgánicas renovables ricas en azúcares que, mediante determinados procesos, permite obtener el alcohol. El etanol así producido se conoce como bioetanol. (Abril & Navarro, 2012)

El etanol a partir de azúcares, es conocido desde por los seres humanos desde hace varios años, especialmente en la producción de bebidas fermentadas y en la actualidad se produce en grandes volúmenes, en especial desde el empleo del etanol anhidro como aditivo o combustible para los vehículos. (Abril & Navarro, 2012)

En la figura 3 se presentan las principales materias primas orgánicas para la producción del etanol considerando las sacarosas, almidones y celulosas.



Figura 3 Fuentes orgánicas del etanol
 Fuente: (Barroso Casillas, 2010)

La biomasa azucarada, especialmente la caña de azúcar, es la que mayor atención ha tenido, debido a su estructura simple de carbohidratos fermentables, que disminuye el proceso de producción del etanol, en cambio las amiláceas necesitan una etapa adicional en el proceso de obtención, debido a que contienen carbohidratos de estructuras moleculares más complejas que deben ser transformados en azúcares más simples y finalmente las celulósicas, aunque más abundantes, tienen estructuras mucho más complejas que necesitan mayor procesamiento. (Celi & Macías, 2006)

Los procesos de obtención del etanol a partir de los tres tipos de materias primas se muestran en la figura 4:

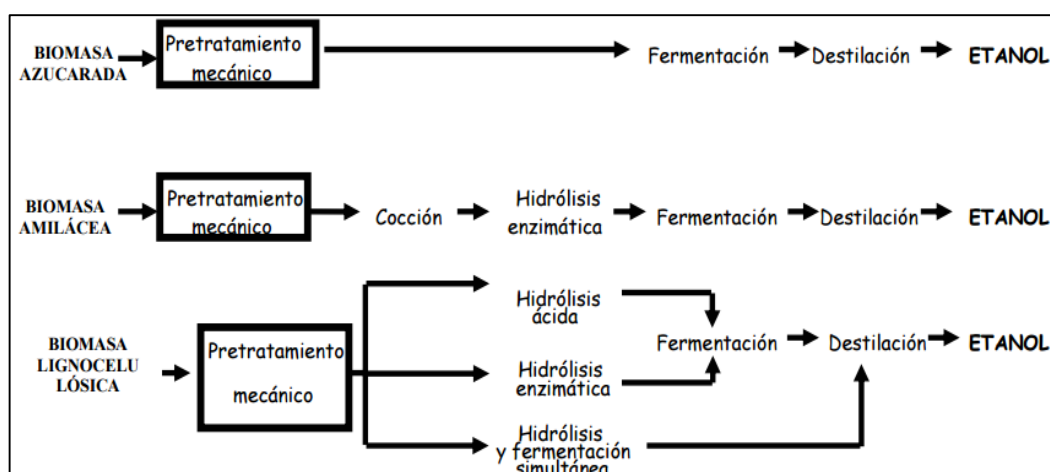
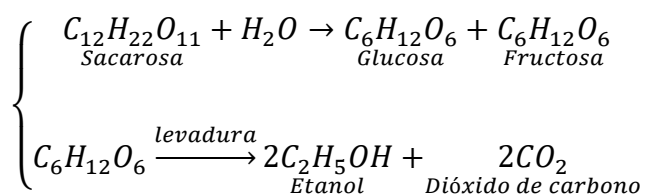


Figura 4. Distintos procesos de obtención de etanol
Fuente: (Abril & Navarro, 2012)

Dentro de los tres procesos el componente principal es la levadura de cerveza, que permite la hidrólisis de la sacarosa en glucosa y fructosa. (Barroso Casillas, 2010)

La reacción general de fermentación se muestra en la ecuación 1, el resultado general es la obtención de etanol y dióxido de carbono.



Ecuación 1 Proceso de fermentación de la sacarosa
Fuente: (Barroso Casillas, 2010)

- Proceso de obtención del alcohol a partir de la caña de azúcar.

Entre los cultivos bioenergéticos más usados para la producción de etanol la caña de azúcar es la materia prima más utilizada. En la figura 5 se indican las etapas del proceso de obtención del alcohol a partir de la caña.

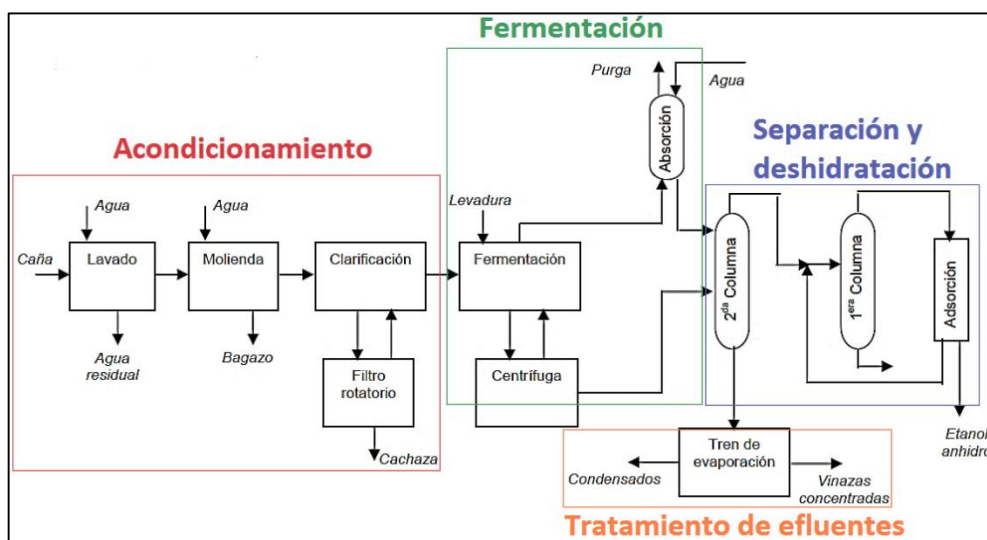


Figura 5 Proceso de obtención de etanol a partir de caña de azúcar
Fuente: (Cardona, Sánchez, Montoya, & Quintero, 2005)

– Acondicionamiento

Comprende el lavado de la caña y su molienda para obtener el jugo azucarado, de esto se obtiene el bagazo como subproducto. Seguido se reduce el pH del jugo mediante el proceso de clarificación añadiendo óxido de calcio y una pequeña porción de ácido sulfúrico. (Cardona, Sánchez, Montoya, & Quintero, 2005)

– Fermentación

Se fermenta la glucosa y fructosa en etanol y dióxido de carbono mediante la añadidura de la levadura que es recirculada mediante una centrífuga; los gases de fermentación se envían a una torre de absorción donde se recupera la masa del etanol en un 98%. (Cardona, Sánchez, Montoya, & Quintero, 2005)

– Separación y deshidratación

La destilación se hace para separar el etanol de los demás componentes de la mezcla, que es agua en su mayoría ya que se pretende obtener un producto de elevada concentración de etanol (> 99.5 % v/v), para lo cual se utilizan dos columnas de destilación, en la primera se obtiene etanol al 50% de concentración, luego en la segunda columna se concentra hasta una composición cercana a la azeotrópica (96% en peso de etanol) y finalmente pasa a la torre de adsorción donde se obtiene el etanol anhidro. (Cardona, Sánchez, Montoya, & Quintero, 2005)

– Tratamiento de efluentes

Consiste en la evaporación del agua y la posterior incineración de los residuos (bagazo) en recipientes destinados para este fin, el vapor de agua luego de ser condensado, puede utilizarse nuevamente en el proceso de obtención del etanol. (Cardona, Sánchez, Montoya, & Quintero, 2005)

c. Consideraciones

- El etanol anhidro requiere tener por lo menos 99.5 grados de pureza, ya que el agua puede ocasionar la separación de las fases gasolina – alcohol, que origina problemas de fallas mecánicas en los vehículos. (Comisión Nacional para el ahorro de Energía, 2008)
- Altos niveles de acetaldehído producto de la combustión del etanol pueden llegar a ser perjudiciales para la salud. (Wheals, Basso, Alves, & Henrique, 2000)

- Concentraciones mayores al 20% de etanol con gasolina afectan los elementos del sistema de alimentación, si se trabaja con mezclas superiores a esta proporción se necesitan hacer modificaciones.

2.1.3. Metanol

Es el alcohol más sencillo cuya fórmula química es CH_3OH , por lo que su contenido de hidrógeno es el más alto y su contenido de carbono es el más bajo de los alcoholes convirtiéndolo en un aditivo que mejora la combustión de la gasolina disminuyendo así las emisiones contaminantes propias de la combustión; este alcohol a temperatura ambiente se encuentra como un líquido incoloro e inflamable. También es utilizado en el tratamiento de aguas residuales, como disolvente, para producir biodiesel y también como combustible para las celdas de combustible (dispositivo electroquímico que produce electricidad mediante el uso de químicos, usualmente el hidrogeno y el oxígeno). (Perilla, 2015)

El metanol como fuente alternativa de energía surge a principios de 1980 como consecuencia de la crisis del petróleo de la década de 1970. Se produce metanol a partir de fuentes de energía alternas al petróleo, como la biomasa, el carbón y el gas natural, se lo utiliza en mezclas con la gasolina para generar una combustión más limpia y de un octanaje más alto.

La molécula de metanol es de origen natural que se biodegrada con mucha rapidez por lo que tiene un impacto muy bajo cuando se libera en el medio ambiente, además encaja perfectamente en el diseño actual de los vehículos a gasolina ya que el metanol a temperatura ambiente es un líquido que a diferencia del biogás no requiere de un sistema de entrega adicional para que se pueda mezclar con la gasolina. (Methanol Institute, 2011)

a. Propiedades

Físicamente el metanol es un líquido incoloro de baja viscosidad y con un olor ligeramente dulce, mientras que químicamente es un alcohol en cuyo

peso contiene 50% de oxígeno, totalmente soluble en agua, además de ser miscible con hidrocarburos como la gasolina, al mezclarse con la gasolina genera una combustión más limpia que reduce las emisiones de CO, HC, PM (material particulado) y otros contaminantes propios de la combustión en el motor. (Methanol Institute, 2011)

Las principales propiedades físicas y químicas del metanol se detallan en la tabla 5.

Tabla 5
Propiedades físico-químicas del metanol

Fórmula Química		CH ₃ OH
Composición	Carbono	37.5%
	Hidrógeno	12.6%
	Oxígeno	49.9%
Apariencia		Incoloro
Densidad		0.7918 g/cm ³
Peso molecular		32,04 g/mol
Punto de fusión		-97.6 °C
Punto de ebullición		64.6 °C
Punto de inflamación		12 °C
Temperatura de auto ignición		470 °C
Solubilidad		Soluble en agua, acetona, etanol, benceno, cloroformo y éter
Research Octane Number (RON)		107
Poder calorífico	Superior	22738.51 KJ/Kg
	Inferior	19983.6 KJ/Kg

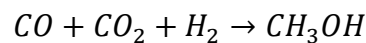
Fuente: (Walsh, 2008)

b. Obtención

En la actualidad la mayor fuente de obtención del metanol es a partir del gas natural, aunque una gran parte proviene del carbón, el metanol también se puede obtener a partir de recursos renovables como la madera, residuos forestales, aguas residuales e incluso CO₂ de la atmósfera. La diversidad de materias primas de donde se puede obtener el metanol para la producción y la infinidad de aplicaciones en donde se lo puede utilizar, ha hecho del metanol uno de los productos químicos industriales más utilizados del mundo desde el siglo XIX. (Methanol Institute, 2011)

En un principio el metanol se obtenía de la destilación destructiva de las astillas de madera en ausencia de aire a unos 400°C aproximadamente, generando gases de combustible como el CO, C₂H₄ y H₂, un destilado acuoso llamado ácido piroleñoso (7-9% ácido acético, 2-3% metanol y un 0.5% acetona, etc), un alquitrán de madera. (Rodríguez & Uribe, 2007)

El metanol producido hoy en día es sintetizado con un proceso catalítico que requiere de altas temperaturas y presiones a partir de hidrógeno y monóxido de carbono para lo cual se emplea reactores industriales. La reacción descrita en la ecuación 2 se produce a una temperatura de 300-400 °C y a una presión de 200-300 atm. Los catalizadores usados son ZnO o Cr₂O₃. (Rodríguez & Uribe, 2007)



Ecuación 2 Reacción química

Fuente: (Rodríguez & Uribe, 2007)

Los procesos para obtener el metanol son similares, en lo único en que se diferencian es en el reactor de metanol, debido a que tanto el proceso de gas de síntesis y de purificación de metanol son idénticos.

- **Proceso Lurgi**

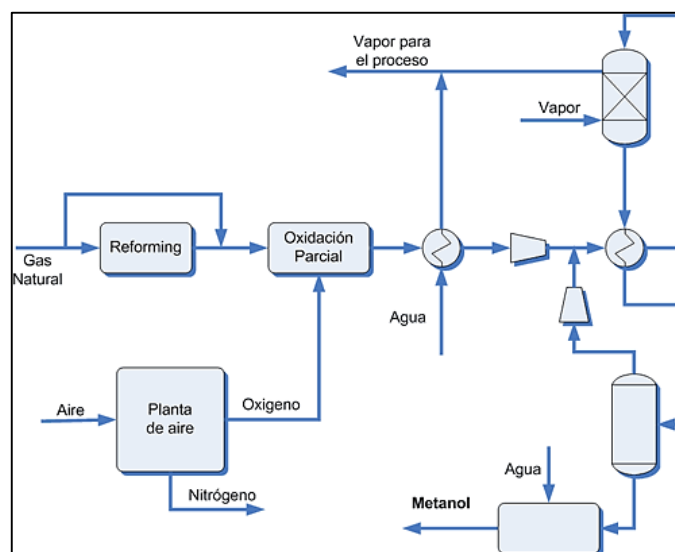


Figura 6 Proceso de obtención Lurgi

Fuente: (Rodríguez & Uribe, 2007)

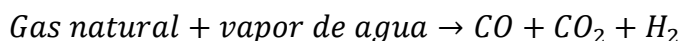
Consta de tres etapas:

- Reforming

Depende el tipo de alimentación puede ser gas natural, líquida o carbón

Según (Rodríguez & Uribe, 2007), con gas natural se tiene que:

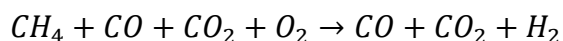
En el caso de que la alimentación sea de gas natural, este se desulfuriza antes de alimentar el reactor. Aproximadamente la mitad de la alimentación entra al primer reactor, el cual está alimentado con vapor de agua a media presión. Dentro del reactor se produce la oxidación parcial del gas natural. De esta manera se obtiene H₂, CO, CO₂ y un 20% de CH₄ residual. (p. 4)



Ecuación 3 Gas de síntesis-primera etapa

Fuente: (Rodríguez & Uribe, 2007)

El 20% de metano más el gas de síntesis se mezcla con la otra mitad de la alimentación, esta mezcla entra en el segundo reactor, el mismo que está alimentado por oxígeno O₂.



Ecuación 4 Gas de síntesis-segunda etapa

Fuente: (Rodríguez & Uribe, 2007)

Alimentación líquida o carbón: Se oxida parcialmente con el oxígeno O₂ y vapor de agua con unas elevadas temperaturas (1400 a 1500°C) y con presiones que van de 55 a 60 atm, obteniendo H₂, con impurezas, esta mezcla pasa a otro reactor donde se elimina el carbón, el H₂S y parte del CO₂, obteniendo el gas para producir metanol. (Rodríguez & Uribe, 2007)

- Síntesis

(Rodríguez & Uribe, 2007), indican:

El gas de síntesis se comprime a 70-100 atm., y se precalienta. Luego alimenta al reactor de síntesis de metanol junto con el gas de

recirculación. El reactor Lurgi es un reactor tubular, cuyos tubos están llenos de catalizador y enfriados exteriormente por agua de ebullición. La temperatura de reacción se mantiene así entre 240-270 °C. (p. 5)

– Destilación

En esta etapa el metanol en estado gaseoso pasa a través de un intercambiador de calor donde se condensa, para luego ser separado en un separador, del cual salen gases que se condicionan para luego recircular. El metanol condensado alimenta una columna de destilación también alimentada con vapor de agua a baja presión. Al final de la torre de destilación sale el metanol deshidratado. (Rodriguez & Uribe, 2007)

- **Proceso ICI**

(Rodriguez & Uribe, 2007), explican:

En este caso la síntesis catalítica se produce en un reactor de lecho fluidizado, en el cual al gas de síntesis ingresa por la base y el metanol sale por el tope. El catalizador se mantiene así fluidizado dentro del reactor, el cual es enfriado por agua en estado de ebullición, obteniéndose vapor que se utiliza en otros sectores del proceso. La destilación se realiza en dos etapas. (p. 5)

c. Consideraciones

- El informe de (Methanol Institute, 2011) dice que:

El metanol es uno de los componentes más ensayados y estudiados llegando a la conclusión de que no puede considerarse como un factor de riesgo de cáncer para los seres humanos. Además, los estudios han demostrado que la exposición a bajos niveles de metanol no causa riesgos de defectos congénitos, disfunciones reproductivas ni daños genéticos para los seres humanos, pero, la exposición a muy altas concentraciones puede ser mortal, o puede dañar el nervio óptico y causar ceguera en los seres humanos. (p. 16)

- Para que el metanol sea considerado grado carburante, su concentración debe ser superior a los 99.5 grados de pureza, ya que el agua ocasiona daños en el sistema de alimentación los vehículos.

2.2. Combustibles Alternativos

2.2.1. Biocombustibles a base de alcohol a nivel mundial

Desde hace mucho tiempo en todo el mundo se han utilizado los alcoholes (metanol, etanol, propanol y butanol) como combustible, siendo el etanol y metanol los más utilizados debido a características tales como: su alto índice de octano, su potencial para reducir CO, NOx, HC, material particulado y la facilidad para poderlos obtener ya que el metanol es la molécula más simple y puede ser producido a partir de casi cualquier tipo de biomasa y el etanol se lo puede obtener a partir del metanol y diferentes fuentes de biomasa; mientras que el butanol y propanol no son tan utilizados en comparación al etanol y metanol, a pesar de ser menos tóxicos y menos volátiles, esto se debe a que son más difíciles de producir. (Ganduglia, 2009)

a. Etanol a nivel mundial

La publicación de (Sutton, 2015) en Biofuels Association of Australia, expone:

El etanol es el biocombustible más ampliamente usado en el mundo, más de 64 países tienen programas activos que promueven el uso de etanol como combustible principal; las mezclas de etanol varían desde tan poco como 5% (E5) a 100% de etanol puro. A partir del año 2014, el consumo mundial de etanol fue de unos 100 millones de litros, alrededor del 87% de los cuales se utiliza para combustible, un fuerte aumento de casi 74 mil millones de litros en comparación al 2009. La Agencia Internacional de la Energía prevé que, en conjunto, los biocombustibles convencionales y avanzados representarán el 8% o 400 millones de litros de consumo de energía para el transporte en 2025. (parr. 1)

Además (Sutton, 2015), explica:

Los Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea están liderando el cambio en el uso de este combustible, produciendo y consumiendo aproximadamente el 80% del total del mundo. EE.UU. ha ordenado 164 millones de litros anuales de etanol en las mezclas de gasolina para el año 2022. En los principales mercados de Brasil y Estados Unidos donde el etanol es una parte importante de la mezcla de combustible, el

consumo está creciendo alrededor de un 10% por año. La Unión Europea tiene como objetivo reemplazar el 10% de los combustibles para el transporte de cada estado miembro de la UE con combustibles renovables como el etanol para el año 2020. Los países nórdicos están a la vanguardia de este cambio, con Suecia, por ejemplo, con el objetivo de reemplazar completamente los combustibles fósiles por los renovables para el 2030. (parr. 2)

Varios países asiáticos también están poniendo en práctica los objetivos de biocombustibles; China, por ejemplo, tiene un mandato de etanol al 10% para el año 2020, y Tailandia tiene una política nacional de biocombustibles del 20% de sus combustibles para el año 2017. (parr. 4)

En la figura 7 se evidencia la producción global de etanol en diferentes países productores.

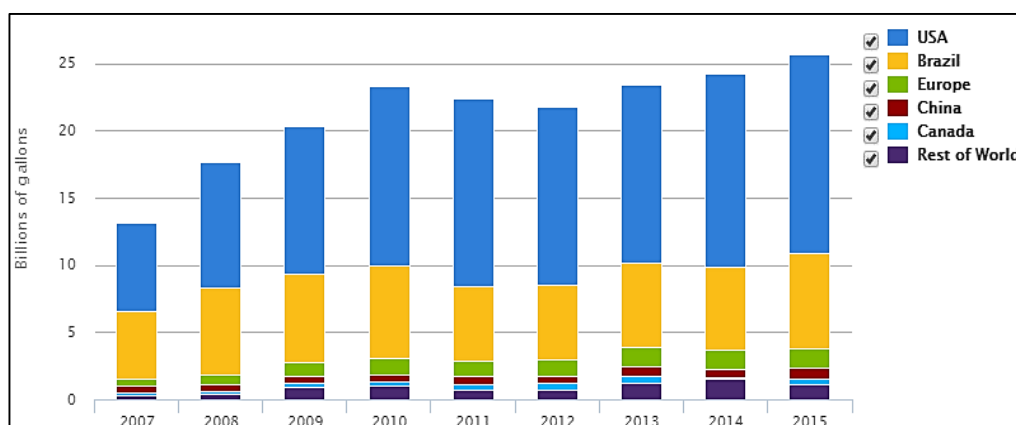


Figura 7 Producción global de Etanol
Fuente: (U.S. Department of Energy, 2016)

b. Metanol a nivel mundial

Después de una gran recesión del uso del metanol, hoy en día, la industria mundial de metanol está creciendo a un ritmo rápido. Asia y el Pacífico dominan la demanda mundial de metanol, con China que representa casi el 75% de la demanda de metanol de la región. (Business Wire, 2013)

Otros países como Irán por ejemplo que está cerca de completar la mayor planta de metanol del mundo “Kaveh”, la misma que produciría dos millones de toneladas de metanol al año o 7000 toneladas por día, aumentando su producción de 60 millones de toneladas a 180 millones de

toneladas para el año 2016; a esto se suman varios países productores de metanol como Nueva Zelanda, Trinidad, Egipto, Canadá y Chile, que buscan aumentar su producción. (SHALE GAS INTERNATIONAL, 2015)

La producción de metanol se extiende por todo el mundo, con más de 90 plantas que combinadas producen aproximadamente 33 mil millones de galones, y por día más de 60 millones de galones utilizados como materia prima química o como combustible de transporte, la figura 8 muestra el incremento de la oferta y la demanda mundial a través de los años. (Methanol Institute, 2011)

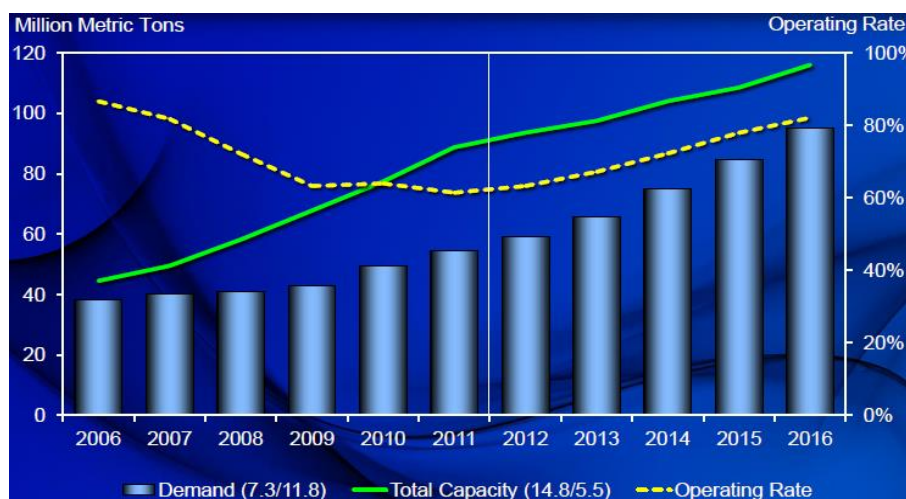


Figura 8 Oferta y demanda del metanol en el mundo

Fuente: (Johnson, 2012)

2.2.2. Biocombustibles a base de alcohol en el Ecuador

El desarrollo de biocombustibles en Ecuador es limitado, aunque existen proyectos de interés con el etanol a base de caña de azúcar y biodiesel a base de aceite vegetal y palma africana.

Actualmente en el Ecuador sólo existe la producción de etanol en el proyecto piloto Ecopaís, mientras que con relación al metanol se ha planteado una propuesta de la empresa estadounidense Southern Chemical Corporation, una de las mayores productoras de metanol del mundo, que propone comercializar el metanol, y complementar con etanol la gasolina Ecopaís. (El telégrafo, 2015)

a. Biocombustible Metanol-Gasolina

El Ecuador es un país productor de petróleo y gas natural, pero no cuenta con la infraestructura y tecnología para la producción de sus derivados, en este caso la producción interna del metanol, por lo que la demanda de este producto es cubierta por la importación desde países productores de metanol como Estados Unidos, Colombia o Chile; por este motivo la empresa estadounidense Southern Chemical Corporation tiene el interés en desarrollar la infraestructura necesaria en el muelle de Monteverde, que forma parte del sistema de Recepción, Almacenamiento, Transporte y Distribución de Gas Licuado, para poder importar metanol que pueda sustituir los hidrocarburos.

La propuesta consiste en añadir a la gasolina Ecopaís 10% de metanol, adicional al 5% de etanol que hoy en día contiene. La gasolina Ecopaís puede perfectamente mezclarse con etanol y metanol, debido a que ambos son alcoholes co-solventes y por ello no se requieren aditivos para que se mezclen. Según Southern Chemical Corporation, la operación generará al Estado Ecuatoriano un ahorro de \$380 millones en 2016 y \$904 millones en 5 años, esta proyección se realizó en base al consumo estimado de Ecopaís para los próximos años. (Pérez, 2015)

b. Biocombustible Etanol-Gasolina

Con relación al Cambio de la Matriz Productiva, el Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC) en concordancia con el Decreto Ejecutivo 675 y el Plan Nacional del Buen Vivir; fomentan la producción de la gasolina ECOPAÍS, un biocombustible compuesto de 5% de bioetanol (proveniente de la caña de azúcar) y un 95% de gasolina base, que posee el mismo octanaje (87 octanos) y precio de la gasolina Extra. (Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad, 2014)

Este proyecto empezó, como fase piloto, el 12 de enero de 2010 en Guayaquil, extendiéndose luego a los cantones de Durán, Daule y

Samborondón, de ahí que, para el 2014 de todas las gasolinas despachadas por Petroecuador, la oferta de Ecopaís representó el 6% a través de 137 estaciones de servicio en la provincia del Guayas, con lo que se espera que para el 2017 la Ecopaís acapare al menos el 45% del consumo a nivel nacional (figura 9), ya que para esta fecha la Ecopaís tendría que estar presente en todo el territorio ecuatoriano, reemplazando por completo a la gasolina extra. (Revista Líderes, 2015)

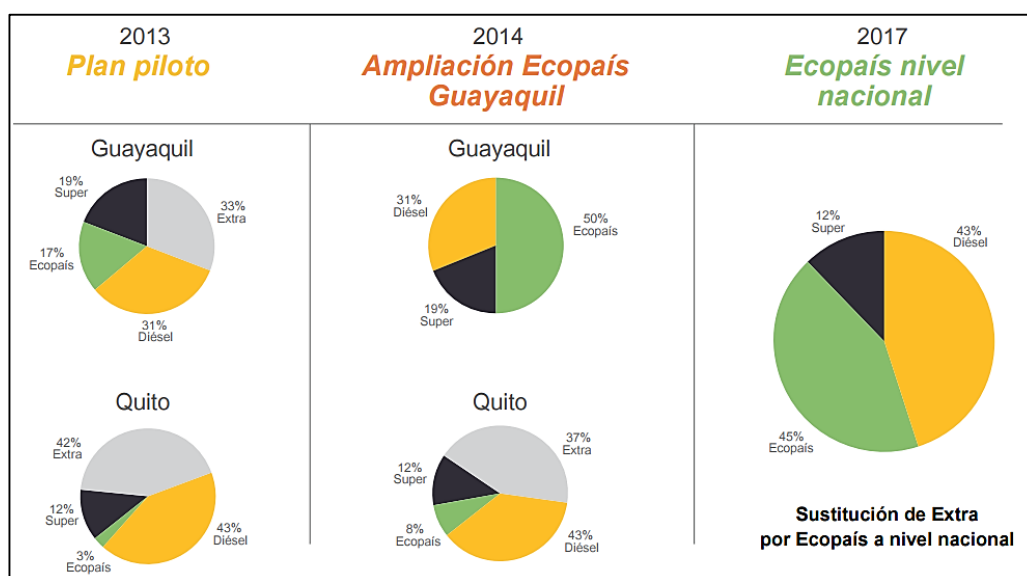


Figura 9 Aplicación de Ecopaís a nivel nacional
Fuente: (Noboa, 2015)

La gasolina Extra que actualmente se comercializa en el país de 87 octanos es una mezcla de un 76% de nafta de alto octano (NAO), las cuales se importan, con 24% de naftas de bajo octano (NBO); mientras que para la producción de ECOPAÍS, con la misma cantidad de octanos, se requiere 62% de NAO, 33% de NBO y un 5% de bioetanol. Debido al alto octanaje de bioetanol, al incorporarlo en la producción de ECOPAÍS, genera una reducción de la producción de NAO en un 14%, lo que implica menos importaciones de este derivado y un efecto positivo en la balanza comercial nacional. La reducción de NAO e incremento de NBO con la Ecopaís se enseña en la figura 10. (Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad, 2014)

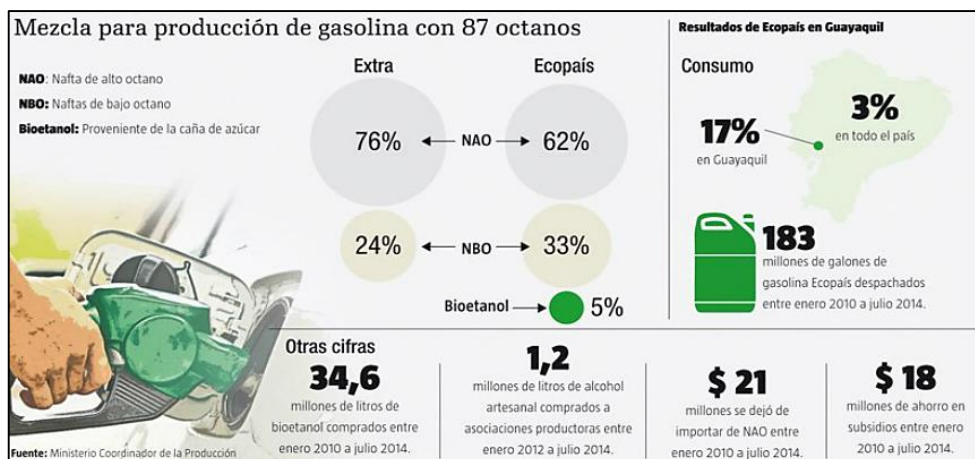


Figura 10 Mezcla para producción de gasolina con 87 octanos
Fuente: (Journal Oil & Power, 2015)

2.3. Poder Calorífico

El poder calorífico se puede definir como la cantidad de energía que libera una determinada masa de combustible cuando se somete a un proceso de combustión rápida. (Desantes & Molina, 2011, citado en Payri, 2011)

Las formas más comunes de representar el poder calorífico son:

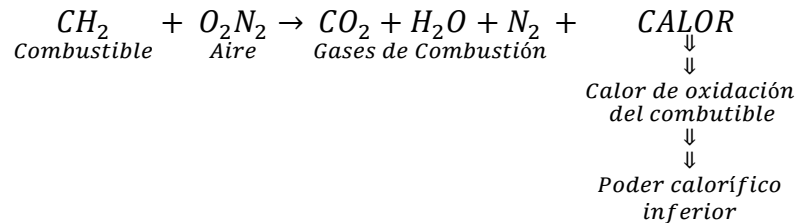
- Energía/masa de combustible (kJ/kg)
- Energía/volumen de combustible (kJ/m³)
- Energía/mol de combustible (kJ/mol)

Entre los productos del proceso de combustión se tiene vapor de agua, esto debido a la oxidación del hidrógeno presente en el aire o porque los combustibles pueden tener cierto grado de humedad, y dependiendo de la temperatura al final de la combustión, éste puede permanecer como vapor, condensarse parcial o totalmente. (Garcés & Martínez, 2007)

2.3.1. Poder Calorífico Inferior (PCI)

El poder calorífico inferior determina la cantidad de calor liberado de una determinada cantidad de combustible en el proceso de combustión, cuando no existe condensación del vapor de agua, por lo que no existe aporte de

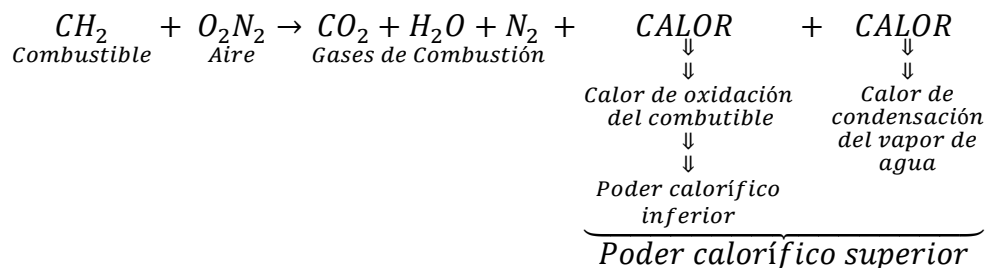
calor por el cambio de fase, en este caso solo se dispondrá del calor de oxidación del combustible, al cual por definición se denomina poder calorífico inferior del combustible. (Desantes & Molina, 2011, citado en Payri, 2011)



Ecuación 5 Poder calorífico inferior
Fuente: (Fernández, 2009)

2.3.2. Poder Calorífico Superior (PCS)

El poder calorífico superior determina la cantidad de calor liberado de una determinada cantidad de combustible en el proceso de combustión, tomando en cuenta el calor de cambio de fase cuando el vapor se ha condensado completamente. Por tanto en el poder calorífico superior existe una cantidad de calor que no puede ser aprovechada como energía útil. (Desantes & Molina, 2011, citado en Payri, 2011)



Ecuación 6 Poder calorífico superior
Fuente: (Fernández, 2009)

2.3.3. Determinación Del Poder Calorífico

a. Método Analítico

Este método citado en (Fernández, 2009), se basa en el Principio de Conservación de Energía que dice:

El poder calorífico de un cuerpo compuesto es igual a la suma de los poderes caloríficos de los elementos simples que lo forman, multiplicados por la cantidad centesimal en que intervienen, descontando de la cantidad de hidrógeno total del combustible la que se encuentra ya combinada con el oxígeno del mismo. (p. 9)

b. Método Experimental

Para este método se utiliza una bomba calorimétrica, dentro de la cual se inflama una cantidad determinada de combustible, permitiendo calcular el poder calorífico superior del mismo, puesto que se toma en cuenta el calor producto de la condensación del agua.

En este método, la quema de la cantidad determinada de combustible se realiza dentro de un recipiente resistente cerrado herméticamente lleno con oxígeno a alta presión. La ignición se produce mediante el paso de corriente por un alambre fusible de resistencia conocida, conectado a dos terminales, el alambre se encuentra en contacto con el combustible. La figura 11 describe los elementos de una bomba calorimétrica. (Eberly, 1982, citado en Considine, 1982)

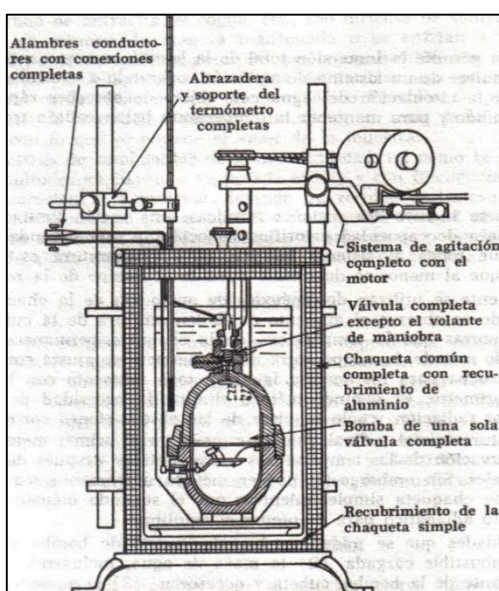


Figura 11 Elementos de una bomba calorimétrica
Fuente: (Eberly, 1982, citado en Considine, 1982)

La violenta combustión dura unos pocos segundos dentro de la bomba; en el exterior simplemente se tiene una variación de temperatura en el agua utilizada.

- **Elementos de la bomba calorimétrica.**

La bomba calorimétrica de la figura 12 consta de tres elementos básicos:

- Bomba.

Recipiente metálico de pared gruesa cerrado herméticamente, dentro del cual se quema el combustible, soporta la muestra de combustible, el oxígeno a alta presión, los terminales para la ignición y válvulas de llenado y alivio.

- Cubeta.

Contiene una cierta cantidad de agua, en ésta se sumerge la bomba, el termómetro que mide la variación de temperatura durante la combustión y el agitador.

- Chaqueta.

Contiene todos los elementos anteriores, aísla la bomba y la cubeta del exterior.

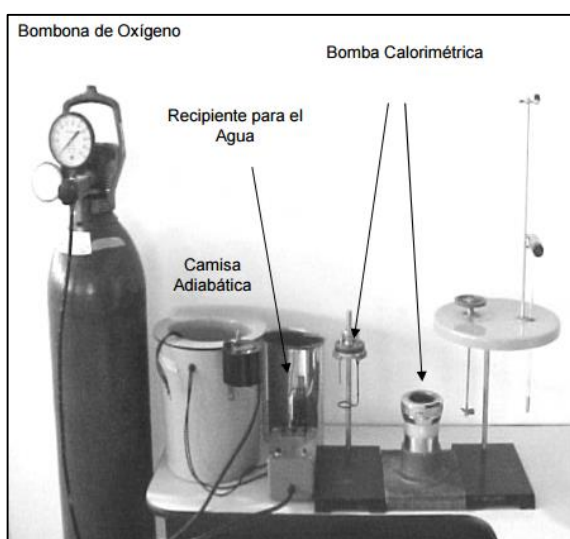


Figura 12 Elementos de la bomba calorimétrica
Fuente: (Gómez, 2007)

- **Cálculos del poder calorífico**

Para determinar el poder calorífico del combustible es necesario registrar con precisión el incremento de temperatura del agua y el tiempo que dura este proceso, los valores mencionados junto con el valor de energía equivalente del calorímetro son necesarios en el cálculo del calor total de combustión.

En la tabla 6 se detallan las variables que deben estar disponibles para la realización de la prueba en la bomba calorimétrica Parr 1341.

Tabla 6
Nomenclatura de las ecuaciones del poder calorífico

a	Tiempo de fuego
b	Tiempo (más cercano a 0,1 min) cuando la temperatura alcanza 60 por ciento del aumento total de temperatura.
c	Tiempo al inicio del período (después de que el aumento de la temperatura) en el que la tasa de la temperatura cambio se ha convertido en constante.
t_a	Temperatura en el momento de disparar.
t_c	Temperatura en el tiempo c.
t_b	Temperatura en el punto b.
t_o	Temperatura al inicio de la prueba
t_d	Temperatura al final de la prueba
r₁	Tasa (unidades de temperatura por minuto) a la que la temperatura se aumenta durante los 5 min antes de disparar.
r₂	Tasa (unidades de temperatura por minuto) a la que la temperatura se aumenta durante los 5 min después del incremento de temperatura.
c₂	Porcentaje de azufre en la muestra.
c₃	Centímetros de alambre fusible consumido en fuego.
W	Energía equivalente del calorímetro, se determina en la normalización.
m	Masa de la muestra en gramos
t	Aumento de temperaturas
H	Calor de combustión de la muestra de ácido benzoico estándar en calorías por gramo
H_g	Calor total de combustión
e₂	Corrección en calorías para el calor de la formación de ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄). = $(13.7)(c_2)(m)$
e₃	Corrección en calorías para el calor de combustión del alambre fusible = $(2.3)(c_3)$ al utilizar Parr 45C10 níquel cromo alambre fusible o = $(2.7)(c_3)$ al utilizar N°34B.&S. Calibre del alambre fusible hierro.
%g	Porcentaje de gasolina en la mezcla
%e	Porcentaje de etanol en la mezcla
%m	Porcentaje de metanol en la mezcla
Sg	Porcentaje de azufre en la gasolina
Se	Porcentaje de azufre en el etanol
Sm	Porcentaje de azufre en el metanol

Fuente: (Parr Instrument Company, 2008)

El tiempo que dura cada etapa es de suma importancia en el proceso de cálculo posterior que se realiza con los datos obtenidos, llegando a obtener una gráfica, que permite observar todo el proceso de medición del poder calorífico, similar al de la figura 13, pudiéndose diferenciar tres etapas principales:

- El pre-periodo que contempla el tiempo desde el inicio de la prueba hasta alcanzar una temperatura de equilibrio antes de la combustión (punto a), es en este punto donde se produce la ignición del alambre fusible.
- El periodo (a-c) corresponde al tiempo donde la temperatura empieza a aumentar rápidamente hasta alcanzar la temperatura máxima en el punto “c”; en este tramo se observa además el punto “b” que indica el instante en que se alcanza el 60% del incremento total de temperatura.
- El pos-periodo (c-d) representa el tiempo en que la temperatura empieza a estabilizarse luego de que se ha alcanzado la temperatura máxima durante la prueba.

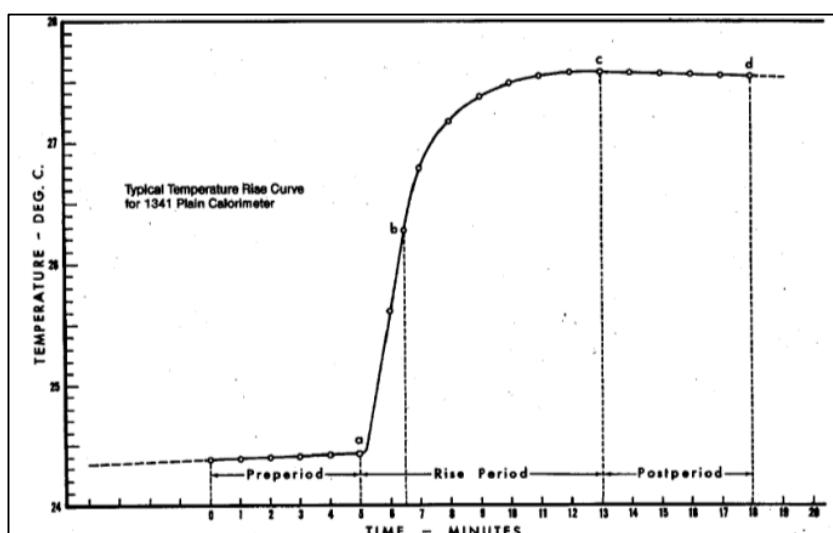


Figura 13 Curva de cambio de temperatura
Fuente: (Parr Instrument Company, 2008)

Con la ayuda de los valores de la gráfica de la figura 13 y utilizando las siguientes fórmulas se puede obtener el poder calorífico del combustible:

$$r1 = \left| \frac{t_a - t_o}{5 \text{ min}} \right|$$

Ecuación 7 Factor de corrección r1
Fuente: (Parr Instrument Company, 2008)

$$r2 = \left| \frac{t_d - t_c}{5 \text{ min}} \right|$$

Ecuación 8 Factor de corrección r2
Fuente: (Parr Instrument Company, 2008)

$$t_b = (t_c - t_a) * 0.6 + t_a$$

Ecuación 9 Temperatura en el punto b
Fuente: (Parr Instrument Company, 2008)

$$t = t_c - t_a - r_1 * (b - a) - r_2 * (c - b)$$

Ecuación 10 Incremento de temperatura
Fuente: (Parr Instrument Company, 2008)

$$W = \frac{H * m + e_1 + e_3}{t}$$

Ecuación 11 Energía equivalente del calorímetro
Fuente: (Parr Instrument Company, 2008)

$$H_g = \frac{t * W - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

Ecuación 12 Calor total de combustión
Fuente: (Parr Instrument Company, 2008)

- **Proceso de Estandarización del calorímetro**

El procedimiento para una prueba de estandarización es el mismo que para el análisis de una muestra de combustible. Se usa una pastilla de ácido benzoico, de un peso aproximado de 1 gramo, para calcular la energía equivalente mediante la ecuación 12.

2.4. Índice de Octano (IO)

También conocido como número de octano u octanaje, es la resistencia de un combustible a autoinflamarse, es de suma importancia en los motores de encendido por chispa, debido a que la autoinflamación del combustible sin haber sido alcanzado por el frente de llama, dará lugar a aumentos bruscos de presión (picado) perjudiciales para el motor, por lo que, cuanto mayor sea el número de octano menor es la posibilidad que ocurra esto. (Lapuerta & Hernández, 2011, citado en Payri, 2011)

Un combustible con un IO alto es muy resistente a la detonación, mientras que, un combustible con un IO bajo detonará con facilidad, por esta razón se utilizan dos combustibles de referencia para poder evaluar el IO de otros combustibles desconocidos; el iso-octano, que es un hidrocarburo muy resistente a la detonación, al que se le asigna un índice de octano de 100, y el heptano, un hidrocarburo que detona con mucha facilidad, al que se le asigna el valor de 0, de tal modo que, al combustible desconocido se lo pone a prueba registrando sus características de detonación, a continuación se emplea una mezcla de los combustibles de referencia bajo las mismas condiciones de trabajo hasta encontrar la mezcla que tenga las mismas características de detonación, llegando a concluir el índice de octano gracias a la concentración de heptano e iso-octano que tiene la mezcla. (Lapuerta & Hernández, 2011, citado en Payri, 2011)

2.4.1. Determinación del Índice de Octano

Existen dos métodos para su determinación, en ambos casos se utiliza un motor monocilíndrico estándar, de relación de compresión ajustable, donde se varía la compresión hasta alcanzar una intensidad de picado estándar (50 unidades en la escala de Knockmeter), y encontrar la composición de la mezcla que provocó dicha intensidad, los dos métodos que se utilizan son:

a. Research Octane Number (RON)

En este método se establece la resistencia a la autoinflamación de un combustible en condiciones poco severas (600 rpm), con un avance al encendido fijo de 13°. (Lapuerta & Hernández, 2011, citado en Payri, 2011)

b. Motor Octane Number (MON)

Es la resistencia a la autoinflamación de un combustible en condiciones más severas, elevando las revoluciones a 900 rpm, precalentando la mezcla e incrementando el avance al encendido a medida que aumenta la relación de compresión. (Lapuerta & Hernández, 2011, citado en Payri, 2011)

2.5. Gráficas de desempeño del motor

El propósito de los fabricantes de motores siempre ha sido aprovechar al máximo la energía producida en la combustión, utilizando la menor cantidad de combustible posible y evitando la generación de emisiones contaminantes. A todo esto hace referencia el rendimiento del motor. Entre los principales aspectos a tomar en cuenta en el desempeño del motor se tiene el par motor, potencia y consumo específico de combustible.

Las gráficas de desempeño permiten conocer las características técnicas del motor de una manera rápida y entendible como el ejemplo de la figura 14, se obtienen de bancos de pruebas denominados dinamómetros.

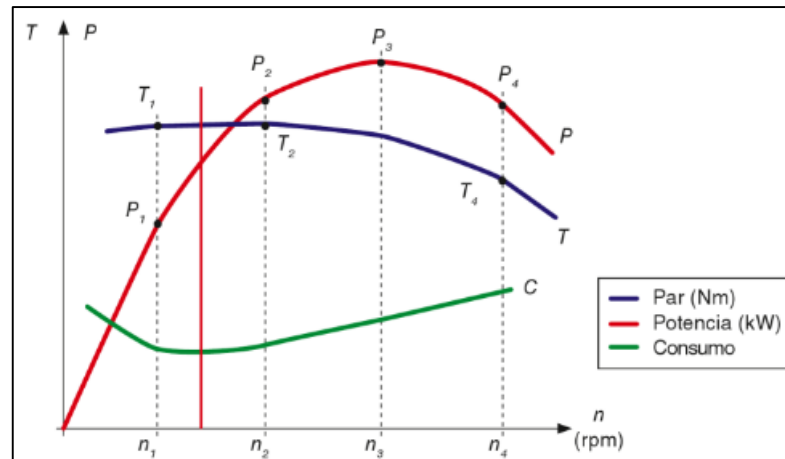


Figura 14 Graficas de desempeño del motor
Fuente: (López & Benito, 2012)

El dinamómetro absorbe o disipa la potencia generada de un vehículo con motor de combustión interna, donde el equipo mediante la utilización de un software realiza el cálculo estimado de la potencia mecánica generada.

Las pruebas experimentales que se realizan están enfocadas a determinar parámetros característicos del motor (torque, potencia, consumo específico de combustible), así también emisiones de gases de escape, un ejemplo de esta clase de dinamómetro se observa en la figura 15.

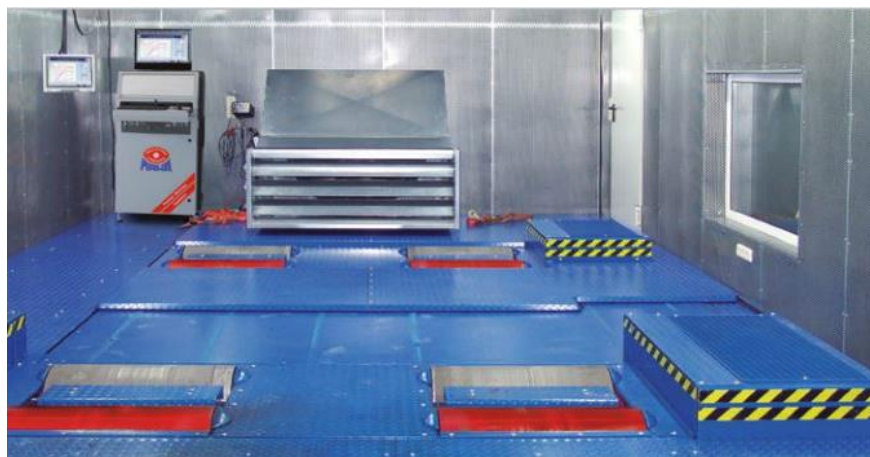


Figura 15 Dinamómetro de rodillos
Fuente: (MAHA GmbH&Co.KG., 2003)

2.5.1. Torque

Es el esfuerzo de torsión que produce el giro del cigüeñal, que llega a las ruedas a través del sistema de transmisión haciendo que éstas giren. El par solamente produce trabajo cuando existe rotación es decir que si existiese un par de torsión sin que se produzca giro, este produciría trabajo. (Ocaña, 2000)

El par depende de dos factores y se calcula con la ecuación 13:

- Fuerza de la explosión sobre el pistón.
- Longitud del codo del cigüeñal, sobre quién actúa la fuerza.

$$T = F * d$$

Ecuación 13 Cálculo de torque
Fuente: (López & Benito, 2012)

Donde:

T: Torque.

F: Fuerza ejercida.

d: Distancia al centro de giro del cigüeñal.

2.5.2. Potencia

Es la rapidez con la que se realiza un trabajo y puede definirse como indican las ecuaciones 14 y 15:

$$P = T * \omega$$

Ecuación 14 Cálculo de potencia con velocidad angular
(López & Benito, 2012)

$$P = \frac{T * n * \pi}{30}$$

Ecuación 15 Cálculo de potencia con rpm
(López & Benito, 2012)

Donde:

P: Potencia

T: Torque.

ω : Velocidad angular.

n: revoluciones por minuto del motor.

a. Potencia Indicada

Es la que realmente se desarrollada en el interior del cilindro del motor por el proceso de combustión. (Crouse, 1996)

b. Potencia efectiva (al freno)

Es la máxima potencia que se obtiene, esto se logra probando al motor en el banco de pruebas.” (Ocaña, 2000)

2.5.3. Consumo de combustible

Es un indicador de rendimiento representado por una curva que revela la relación entre la cantidad de combustible necesario y la potencia producida en un motor de combustión interna. El consumo específico mínimo suele coincidir con las revoluciones de par máximo. (Lecuona & Rodríguez, 2011, citado en Payri, 2011)

a. Consumo de combustible volumétrico

Es la relación del gasto de combustible (unidades de volumen) en un determinado tiempo, puede presentarse como: (l/h) o (cm^3/s).

b. Consumo específico de combustible

El consumo específico de combustible se lo calcula con la ecuación 16:

$$b_e = \frac{B * 3600}{N_e}$$

Ecuación 16 Consumo específico de combustible

Fuente: (Mena, 2011)

Donde:

b_e = gasto específico efectivo de combustible ($\frac{Kg}{KW * h}$)

B = Consumo de combustible ($\frac{Kg}{s}$)

N_e = Potencia efectiva del motor (KW)

3600 = Factor de conversión de segundos a hora

2.6. Emisiones del motor de combustión interna

Los contaminantes más importantes producidos por la combustión en motores de encendido provocado son los hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados (HC), óxidos de nitrógeno (NOx), monóxidos de carbono (CO), y el dióxido de carbono (CO₂), aunque producto de la combustión también se generan gases que no son tóxicos como el vapor de agua, el oxígeno y el nitrógeno. En la figura 16 se indican los porcentajes aproximados de los gases productos de la combustión en un motor ciclo Otto. (Lapuerta & Ballesteros, 2011, citado en Payri, 2011)

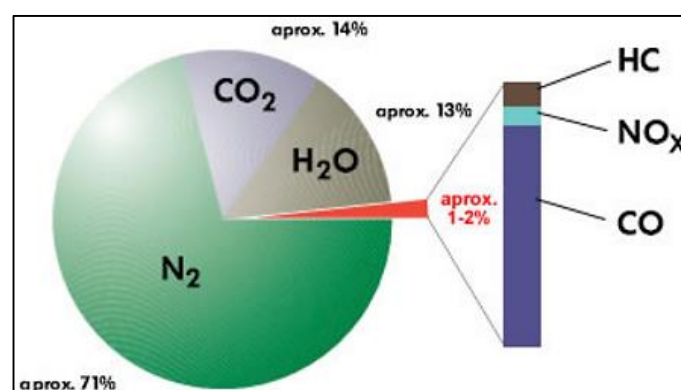


Figura 16 Gases procedentes de la combustión en un motor Otto
Fuente: (Pérez Belló, 2011)

Los vehículos actuales con motores de encendido provocado vienen equipados con un catalizador que demanda trabajar con una mezcla estequiométrica, el efecto de este dosado con respecto a las emisiones contaminantes se ilustran en la figura 17.

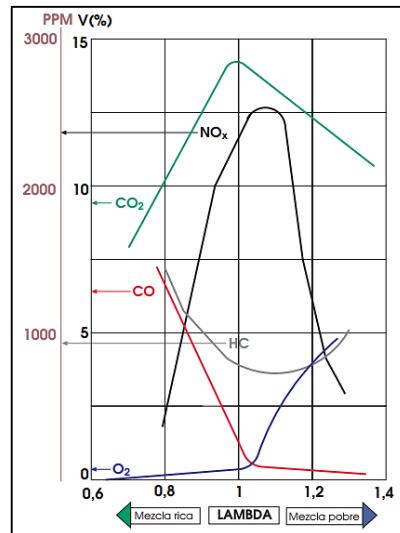


Figura 17 Emisión gases en función del factor Lambda
Fuente: (Guixot Sanz, 2011)

2.6.1. Gases no tóxicos

Son aquellos gases producto del proceso de combustión que no resultan nocivos para los humanos y no presentan un daño potencial para el ambiente, además de que estos se presentan en grandes cantidades en la atmósfera.

a. Oxígeno

Es un gas fundamental en el proceso de combustión, que sale por el escape en porcentajes que se encuentran entre el 0,5% y el 3%, consecuencia de una combustión imperfecta, ya que no todo el oxígeno que entra a la cámara se combustiona. (Pérez Belló, 2011)

b. Vapor de agua

Es el resultado de la condensación de los gases residuales cuando entran en contacto con las paredes frías de la línea de escape, así como por la humedad ambiental.

c. Nitrógeno

Su composición en el aire es del 78%, la mayor parte que ingresa sale por el escape, excepto una pequeña cantidad que reacciona con el oxígeno, produciendo los NOx. (Pérez Belló, 2011)

2.6.2. Gases dañinos para la atmósfera

Estos gases no suponen algún tipo de daño o molestia directa para la salud del ser humano, no obstante presenta un riesgo potencial para la atmósfera, lo que también termina siendo perjudicial para los seres vivos.

a. Dióxido de carbono

No es perjudicial directamente para el ser humano, pero si indirectamente cuando sus emisiones son excesivas y no son neutralizadas por la vegetación mediante la fotosíntesis, atacando a la capa de ozono. El porcentaje que debería generarse en una óptima combustión, se encuentra alrededor del 15%. (Pérez Belló, 2011)

2.6.3. Gases tóxicos

Presentan un alto riesgo para la salud de las personas y seres vivos en general, aun en mínimas concentraciones resultan ser muy nocivos pudiendo incluso a causar la muerte.

a. Monóxido de carbono

Es uno de los gases más importantes en el proceso de combustión, se origina cuando la mezcla es rica, ya que bajo esta condición existe poco oxígeno en la combustión, lo que impide que se genere una combustión completa, formándose CO en lugar de CO₂.

El CO generado es incoloro e inodoro, letal en bajas dosis ya que se mezcla con la hemoglobina de la sangre mucho más rápido que el oxígeno reduciendo el transporte de oxígeno a las células, normalmente concentraciones superiores al 1% en volumen resultarían mortales. (Lapuerta & Ballesteros, 2011, citado en Payri, 2011)

b. Óxidos de Nitrógeno

Cuya abreviatura es NO_x, son los gases más difíciles de neutralizar, ya que, dependen de las altas temperaturas que se generen en la combustión y la cantidad de oxígeno que entre en la cámara, es decir que, cuanto mayor sea el rendimiento térmico y volumétrico, mayor serán los NO_x producidos en la combustión. (Guixot Sanz, 2011)

Los NO_x no solo son perjudiciales para el ser humano, sino que en combinación con los hidrocarburos contenidos en el smog y con la humedad del aire producen la llamada "lluvia ácida". (Pérez Belló, 2011)

c. Hidrocarburos no combustionados

Su abreviatura es HC, se generan principalmente por una combustión incompleta. Su presencia se mide en partes por millón (ppm), el control de estas concentraciones depende de la normativa que tenga cada país, respecto al tema.

La mayor parte de los hidrocarburos que se encuentran en el ambiente no son directamente perjudiciales para la salud, pero debido a las reacciones

químicas que se producen en la tropósfera, desempeñan una importante función en la formación de NO₂ y O₃ que sí son un peligro para la salud y el medio ambiente. (Pérez Belló, 2011)

2.6.4. Analizador de gases de escape

Es un equipo de medición (figura 18) que debe estar correctamente calificado y calibrado de acuerdo a la normativa vigente, permite la medición de las concentraciones de los gases contenidos en el escape, producto de la combustión. (Bosch, 2005)



Figura 18 Analizador de gases CARTEK

Los parámetros de medición de los analizadores varía de acuerdo a su aplicación o consideraciones del fabricante, pero en general entre los gases que el equipo debe medir se encuentran: CO₂, CO, HC, NO_x y O₂.

Entre los distintos métodos que se pueden utilizar, uno de los más comunes es el procedimiento de infrarrojos, que se basa en la absorción de una luz infrarroja por los componentes de los gases de escape, con una determinada longitud de onda para cada uno de esos componentes. Luego de un determinado proceso de conversión se puede obtener los distintos valores de concentración de los gases, que pueden ser mostrados en pantalla o impresos, de acuerdo al tipo de equipo analizador. (Ortmann & otros, 2003)

La figura 19 esquematiza el recorrido de los gases de escape y componentes internos del equipo de medición de varios gases.

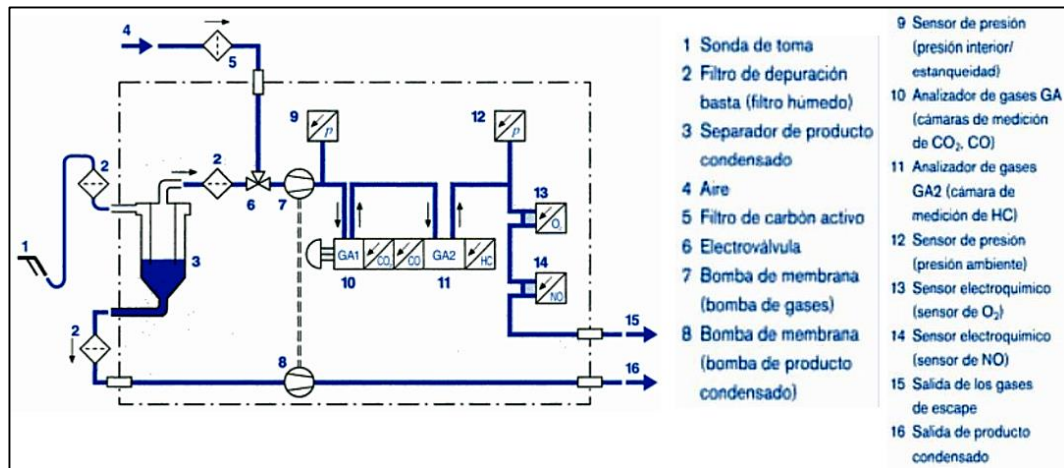


Figura 19 Recorrido de los gases de escape en el equipo de medición
Fuente: (Ortmann & otros, 2003)

a. Gas de calibración del analizador de gases

El gas de calibración de patente U.S. Patent No. 3,858,033 presentado en la figura 20 o también llamado gas patrón es una mezcla de precisión, compuesta por varios gases de concentración conocida. Ésta mezcla es analizada siguiendo procedimientos de comparación con instrumentos normalizados bajo los estándares de Equipment and Tool Institute (ETI).

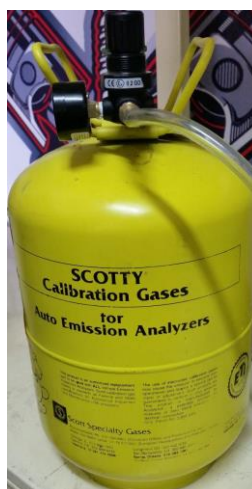


Figura 20 Gas de calibración
Fuente: (Scott Specialty Gases, 2015)

El balance del gas que se utiliza para calibrar debe ser recomendado por el proveedor del equipo, siendo en la mayoría de los casos balanceados con nitrógeno (N₂). La composición del gas de calibración se detalla en la tabla 7.

Tabla 7
Composición del gas de calibración

Nombre del ingrediente	Fórmula	Concentración	Exposure Limits (PPM)			
			ACGIH	OSHA	Other	
			TLV	PEL	MAC	STEL
Monóxido de carbono	CO	0.0026-10 PCT	25	50	25	NE
Dióxido de carbono	CO ₂	0.5001-16 PCT	5000	5000	5000	30000
Propano	C ₃ H ₈	11-1.5 PCT	S/A	1000	NE	NE
Nitrógeno	N ₂	Balance	S/A	S/A	S/A	S/A
NE: No Establecido		S/A: Asfixiante Simple				

Fuente: (Scott Specialty Gases, 2015)

2.6.5. Normativas internacionales sobre emisiones contaminantes

El pionero en el empeño de limitar por la ley las emisiones de sustancias nocivas producidas por los automóviles fue el estado de California de los EE.UU, que a partir de los años 70, en ese estado, entró en vigencia la primera normativa sobre gases de escape para motores Otto. Los distintos países han ido adoptando diferentes procedimientos y estableciendo los máximos admisibles para cada categoría de vehículos. (Bosch, 2005):

- CARB (California Air Resources Board).
- EPA (Environment Protection Agency).
- Normativa UE Unión Europea.
- Normativa Japonesa

Aunque la mayoría de países han adoptado las reglamentaciones establecidas en la norma europea sobre emisiones de gases de combustión, estas normas se definen en una serie de orientaciones de la Unión Europea, siendo estas cada vez más rigurosas.

La Norma Euro regula las emisiones de Hidrocarburos (HC), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Monóxido de Carbono (CO) y partículas de la mayor parte de los tipos de vehículos (automóviles, camiones, trenes, tractores,

barcazas), donde no se incluyen los barcos marítimos y los aviones, estos valores se indican en la tabla 8. (NGK Spark Plug Europe, 2013)

Tabla 8

Limitaciones de emisiones para vehículos nuevos con motor a gasolina

	Valido a partir de	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
Euro I	12/92	2,72	-		0,97	-
Euro II	01/97	2,20	-		0,5	-
Euro III	01/00	2,30	0,20	0,15	-	-
Euro IV	01/05	1,00	0,10	0,08	-	-
Euro V	09/09	1,00	0,10	0,06	-	0,005*
Euro VI	08/14	1,00	0,10	0,06	-	0,005*

* con inyección directa

Fuente: (NGK Spark Plug Europe, 2013)

2.6.6. Normas en el Ecuador sobre emisiones contaminantes

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), mediante normas ambientales y técnicas, establece límites permitidos de emisiones contaminantes y los métodos de ensayo que todo vehículo que sirva de transporte de bienes y/o personas dentro del país tiene que cumplir.

a. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204:2002

En esta Norma se especifican los valores máximos permisibles de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y emisiones evaporativas en el aire, producidas por automotores a gasolina, los mismos que están señalados en la tabla 9 para ralentí.

Tabla 9

Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática)

Año modelo		% CO*		ppm HC*	
		0-1500 **	1500-3000**	0-1500 **	1500-3000**
2000 y posteriores	y	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999		3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores		5,5	6,5	1000	1200

* Volumen

** Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm)

Fuente: (INEN, 2002)

b. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2203:2000

Describe el procedimiento para determinar los niveles de emisiones de escape en vehículos a gasolina bajo la condición de ralentí, para lo cual el equipo de medición debe poseer una certificación de su funcionamiento y rangos de medición apropiados de acuerdo a las normativas vigentes en el país.

CAPÍTULO III

3. PRUEBAS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL METANOL Y ETANOL COMO ADITIVO ORGÁNICO

3.1. Metodología de desarrollo de la investigación

La metodología y tipo de investigación aplicadas en el desarrollo de la misma, mediante procesos de medición y levantamiento de información a través de equipos de medición especializados para establecer los parámetros de funcionamiento del motor al utilizar las mezclas de etanol y metanol con gasolina extra en diferentes concentraciones, permitieron generar datos que sirvieron para el análisis y validación de resultados.

3.1.1. Métodos y técnicas empleados para la investigación

Para el desarrollo de la investigación se utilizó las siguientes técnicas: observación directa, experimentación y medición.

a. Método Deductivo

De acuerdo a la importancia que cumple el alcohol como fuente de energía alternativa se propuso integrar al etanol y metanol como aditivo orgánico en la gasolina, realizando pruebas para analizar el potencial energético de los mismos en el automóvil Chevrolet Aveo Activo 1.4lt que representa al mayor número de vehículos de este tipo en el país.

b. Método Inductivo

Este método se empleó ya que para el desarrollo de la investigación se utilizó un vehículo Chevrolet Aveo Activo 1.4lt que representa al mayor número de automóvil en el país, pudiendo extender los resultados de la investigación a los vehículos que utilicen este tipo de combustible.

c. Método de Medición

Este método se utilizó para verificar que los valores obtenidos en el Método Experimental sobre emisiones contaminantes se encuentren dentro de los valores permisibles contemplados en la Norma NTE INEN 2204:2002, según el procedimiento definido para esta prueba en la Norma NTE INEN 2203:2000; sobre las pruebas de torque y potencia llevadas a cabo en el dinamómetro según las normas SAE J-1349, DIN 70020, CEE 80/1269, ISO 1585 y JIS D-1001, y sobre la Norma NTE INEN 2102:1998 que indica el procedimiento que se debe llevar a cabo en la obtención del índice de octano.

d. Método Experimental

Se trabajó mediante el desarrollo de pruebas y mediciones bajo estándares de operación en distintos laboratorios para el análisis del potencial energético del etanol y metanol como aditivo orgánico en la gasolina extra en proporciones del 5%, 10% y 15%; obteniendo el índice de octano y poder calorífico de las diferentes mezclas; realizando pruebas de torque, potencia, consumo de combustible y también la medición estática de gases contaminantes.

e. Método Analítico

Se usó para relacionar los resultados de las diferentes pruebas, tanto estáticas como dinámicas, que permitan analizar el rendimiento del motor en las diferentes condiciones que se generarán en la parte experimental, debido al propósito de variar las concentraciones del aditivo orgánico en la gasolina extra.

f. Método de Síntesis

Mediante la recopilación de los resultados generados por las pruebas realizadas en el método experimental, se tuvo la capacidad de mostrar la información del potencial energético de las mezclas de manera concreta y entendible.

g. Método Comparativo

Permitió establecer, comparando los valores plasmados en el Método de Síntesis, qué tipo de alcohol funciona mejor como aditivo en la gasolina extra, al analizar las distintas mezclas, para así determinar una probable mezcla óptima.

3.1.2. Metodología de investigación empleado

La metodología que se empleó fue experimental gracias al desarrollo de ensayos y pruebas de laboratorio, los mismos que permitieron obtener valores de poder calorífico, índice de octano, torque, potencia, consumo de combustible y emisiones de gases al utilizar las distintas mezclas.

Tabla 10
Metodología de la investigación

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Deductivo	De acuerdo a la importancia que cumple el alcohol como fuente de energía alternativa se propuso integrar al etanol y metanol como aditivo orgánico en la gasolina, realizando pruebas para analizar el potencial energético de los mismos en el automóvil Chevrolet Aveo Activo 1.4lt que representa al mayor número de vehículos de este tipo en el país, según el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos)	<ul style="list-style-type: none"> Automóvil Chevrolet Aveo Activo 1.4lt 	
Inductivo	Este método se empleó ya que para el desarrollo de la investigación se utilizó un vehículo Chevrolet Aveo Activo 1.4lt que representa al mayor número de automóviles en el país, pudiendo extender los resultados de la investigación a los vehículos que utilicen este tipo de combustible.	<ul style="list-style-type: none"> Octanómetro Dinamómetro de chasis (MAHA LPS 3000) Bomba calorimétrica Parr modelo 1341 Analizador de gases CARTEK 	<ul style="list-style-type: none"> Laboratorio de Petróleos de la EPN Centro de Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) de la EPN Laboratorio de Química de ESPE-L Mecánica de Patio de la ESPE-L

Continúa



De Medición	Este método se empleó para verificar que los valores obtenidos en el Método Experimental sobre emisiones contaminantes se encuentren dentro de los valores permisibles contemplados en la Norma NTE INEN 2204:2002, según el procedimiento definido para esta prueba en la Norma NTE INEN 2203:2000; sobre las pruebas de torque y potencia llevadas a cabo en el dinamómetro según las normas SAE J-1349, DIN 70020, CEE 80/1269, ISO 1585 y JIS D-1001, y sobre la Norma NTE INEN 2102: 1998 que indica el procedimiento que se debe llevar a cabo en la obtención del índice de octano.	<ul style="list-style-type: none"> • Octanómetro • Dinamómetro de chasis (MAHA LPS 3000) • Bomba calorimétrica Parr modelo 1341 • Analizador de gases CARTEK 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Petróleos de la EPN • Centro de Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) • Laboratorio de Química de la ESPE-L • Laboratorio de Mecánica de Patio de la ESPE-L
Experimental	Se trabajó mediante el desarrollo de pruebas y mediciones bajo estándares de operación en distintos laboratorios para el análisis del potencial energético del etanol y metanol como aditivo orgánico en la gasolina extra en proporciones del 5%, 10% y 15%; obteniendo el índice de octano y poder calorífico de las diferentes mezclas; realizando pruebas de torque, potencia, consumo de combustible y también la medición estática de gases contaminantes.	<ul style="list-style-type: none"> • Octanómetro • Dinamómetro de chasis (MAHA LPS 3000) • Analizador de gases CARTEK • Bomba calorimétrica Parr modelo 1341 • Vasos de precipitación, pipeta, agitador, embudo, balanza electrónica 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Petróleos de la EPN • Centro de Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) de la EPN • Laboratorio de Mecánica de Patio de la ESPE-L • Laboratorio de Química de la ESPE-L
Analítico	Se utilizó este método para relacionar los resultados de las diferentes pruebas, tanto estáticas como dinámicas, que permitan analizar el rendimiento del motor en las diferentes condiciones que se generarán en la parte experimental, debido al propósito de variar las concentraciones del aditivo orgánico en la gasolina extra.	<ul style="list-style-type: none"> • Computadora • Octanómetro • Dinamómetro de chasis (MAHA LPS 3000) • Bomba calorimétrica Parr modelo 1341 • Analizador de gases CARTEK 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Petróleos de la EPN • Centro de Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) de la EPN • Laboratorio de Química de la ESPE • Laboratorio de Mecánica de Patio de la ESPE-L

Continúa



De Síntesis	Mediante la recopilación de los resultados generados por las pruebas realizadas en el método experimental, se tuvo la capacidad de mostrar la información del potencial energético de las mezclas de manera concreta y entendible.	• Computadora
Comparativo	Permitió establecer, comparando los valores plasmados en el Método de Síntesis, qué tipo de alcohol funciona mejor como aditivo en la gasolina extra, al analizar las distintas mezclas, para así determinar una probable mezcla óptima.	• Computadora

3.2. Chevrolet Aveo Activo 1.4lt

Para el desarrollo de la investigación, se utilizó un motor de encendido provocado que pertenece al vehículo Chevrolet Aveo Activo 1.4lt con inyección electrónica MPFI.

3.2.1. Ficha técnica

Todas las características del vehículo útiles para la investigación se detallan en el resumen de la tabla 11.

Tabla 11
Ficha técnica del vehículo

Modelo	Aveo Activo
Número del motor	F14D3560312K
Número del chasis	8LATD687780001863
Placa	XBZ-341
MOTOR	
Posición	Transversal
Cilindrada	1399 cc
Potencia máxima	92.5 HP @ 6200 rpm
Torque máximo	96 lb-ft @ 3400 rpm
Tipo	4 cilindros DOHC 16V
Relación de compresión	9.5:1
Neumáticos	185/60 R14
Tracción	Delantera

Continúa 

Tipo	Manual 5 velocidades	
Relaciones	1°	3.818
	2°	2.158
	3°	1.478
	4°	1.129
	5°	0.886

Fuente: (Chevrolet, 2008)

3.2.2. Mantenimiento del vehículo

El vehículo debe estar en óptimas condiciones de funcionamiento, con el fin de que los resultados generados tengan validez para la investigación; se procede según lo detallado en la figura 21.

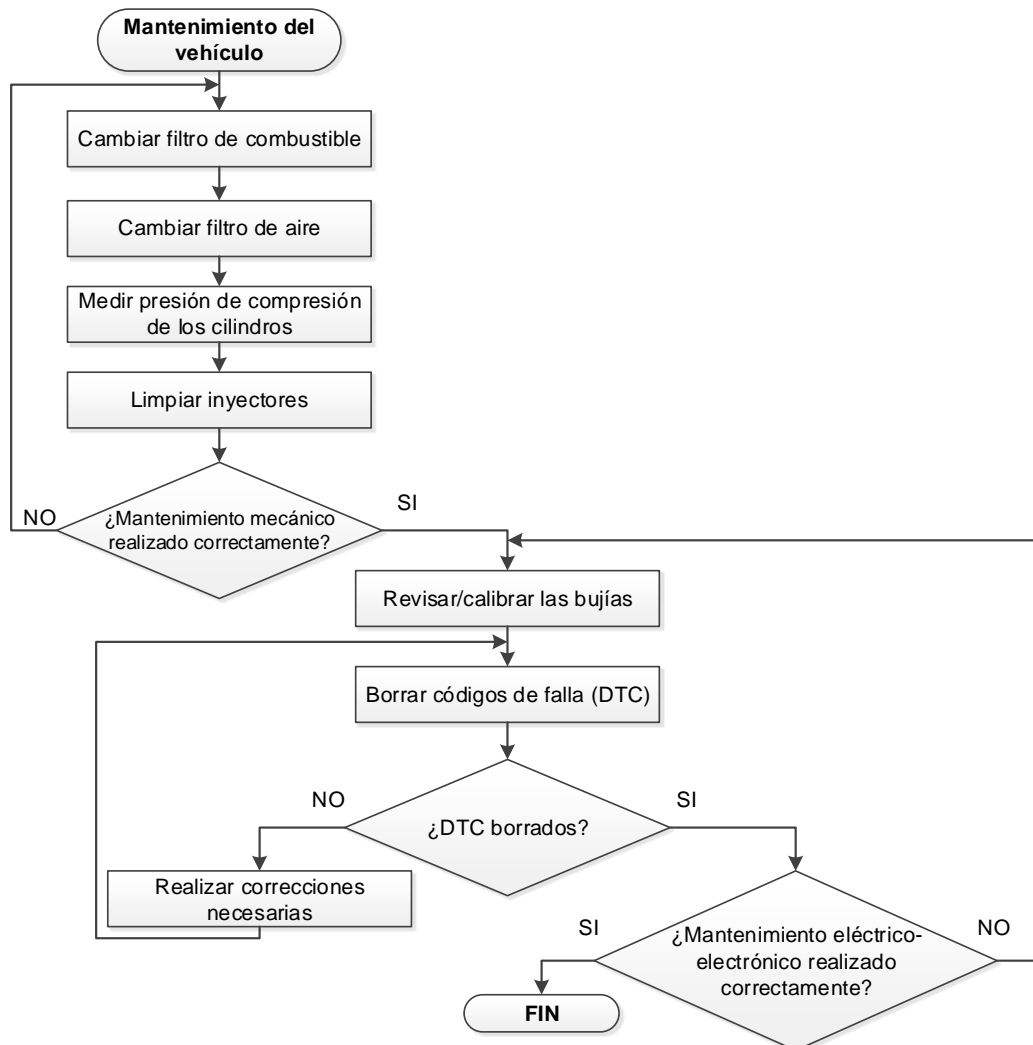


Figura 21 Diagrama de flujo del mantenimiento del vehículo

3.3. Volumen de muestras requeridas por prueba

Cada prueba demanda diferente cantidad de gasolina y alcohol para su desarrollo, debido a esto se han realizado diferentes volúmenes de muestra. La denominación de las mezclas se describe en la tabla 12.

Tabla 12

Denominación de mezclas

Denominación	Concentración (v/v)
E5	5% de etanol y 95% de gasolina extra
E10	10% de etanol y 90% de gasolina extra
E15	15% de etanol y 85% de gasolina extra
M5	5% de metanol y 95% de gasolina extra
M10	10% de metanol y 90% de gasolina extra
M15	15% de metanol y 85% de gasolina extra
E10M5	10% de etanol, 5% de metanol y 85% de gasolina extra
E5M10	5% de etanol, 10% de metanol y 85% de gasolina extra

3.3.1. Poder calorífico

El volumen de cada mezcla para esta prueba no supera los 20 ml, ya que sólo se necesita 1g de muestra por cada medición, la tabla 13 indica la cantidad total utilizada de gasolina extra y de alcoholes.

Tabla 13

Cantidad de mezcla para la prueba de poder calorífico

Muestra	Gasolina Extra (ml)	Alcohol (ml)		Total (ml)
		Etanol	Metanol	
Gasolina	20	*	*	20
E5	19	1	*	20
E10	18	2	*	20
E15	17	3	*	20
M5	19	*	1	20
M10	18	*	2	20
M15	17	*	3	20
E5M10	17	1	2	20
E10M5	17	2	1	20
TOTAL	162	9	9	180
* No presente en la muestra.				

3.3.2. Densidad

La densidad es una propiedad elemental de cualquier líquido, la misma que está definida como la masa por unidad de volumen, generalmente se expresa en g/ml o kg/m³, es de suma importancia para el cálculo del consumo específico de combustible. Para esta prueba, la cantidad requerida es de 25ml de muestra debido a la capacidad volumétrica del picnómetro; la cantidad total utilizada de gasolina y alcoholes se detallan en la tabla 14.

Tabla 14
Cantidad de mezcla para prueba de densidad

Muestra	Gasolina Extra (ml)	Alcohol (ml)		Total (ml)
		Etanol	Metanol	
Gasolina	40	*	*	40
Etanol	*	40	*	40
Metanol	*	*	40	40
E5	38	2	*	40
E10	36	4	*	40
E15	34	6	*	40
M5	38	*	2	40
M10	36	*	4	40
M15	34	*	6	40
E5M10	34	2	4	40
E10M5	34	4	2	40
TOTAL	324	58	58	440

* No presente en la muestra.

3.3.3. Índice de octano

Hay que considerar que para el ensayo del índice de octano se deben mantener las mezclas en refrigeración (2°C a 10°C) como se muestra en la figura 22, para evitar pérdidas por evaporación, además se las debe proteger del contacto directo con la luz del sol, con el objeto de prevenir posibles interacciones de las mezclas con la radiación solar, por tal motivo los envases utilizados son oscuros.



Figura 22 Muestras refrigeradas

En la tabla 15 se especifica la cantidad total de gasolina extra, etanol y metanol empleada para los ensayos del índice de octano.

Tabla 15

Cantidad de mezcla en ensayo de índice de octano

Muestra	Gasolina Extra (ml)	Alcohol (ml)		Total (ml)
		Etanol	Metanol	
E5	950	50	*	1000
E10	900	100	*	1000
E15	850	150	*	1000
M5	950	*	50	1000
M10	900	*	100	1000
M15	850	*	150	1000
E5M10	850	50	100	1000
E10M5	850	100	50	1000
TOTAL	7100	450	450	8000
* No presente en la muestra.				

3.3.4. Torque y potencia

Se considera una muestra mínima de 5 litros por cada mezcla detalladas en la tabla 16, con el propósito de cubrir la demanda de consumo de combustible por situaciones que se pueden presentar en el desarrollo de la prueba, como el tiempo que dura la misma, el tiempo que tarda el vehículo en alcanzar la temperatura normal de trabajo o la realización de varias pruebas hasta tener un rango mínimo de variación entre mediciones.

Tabla 16
Cantidad de mezcla en pruebas de torque y potencia

Muestra	Gasolina Extra (ml)	Alcohol (ml)		Total (ml)
		Etanol	Metanol	
Gasolina	5000	*	*	5000
E5	4750	250	*	5000
E10	4500	500	*	5000
E15	4250	750	*	5000
M5	4750	*	250	5000
M10	4500	*	500	5000
M15	4250	*	750	5000
E5M10	4250	250	500	5000
E10M5	4250	500	250	5000
TOTAL	40500	2250	2250	45000

* No presente en la muestra.

3.3.5. Consumo de combustible

El requerimiento volumétrico mostrado en la tabla 17, para satisfacer la demanda de esta prueba fue cubierta por una cantidad de mezcla de 4lt., cuidando así que la bomba de alimentación se encuentre sumergida en la mezcla por motivos de refrigeración, además de que esta cantidad es suficiente para realizar todas las mediciones necesarias.

Tabla 17
Cantidad de mezcla en prueba de consumo de combustible

Muestra	Gasolina Extra (ml)	Alcohol (ml)		Total (ml)
		Etanol	Metanol	
Gasolina	4000	*	*	4000
E5	3800	200	*	4000
E10	3600	400	*	4000
E15	3400	600	*	4000
M5	3800	*	200	4000
M10	3600	*	400	4000
M15	3400	*	600	4000
E5M10	3400	200	400	4000
E10M5	3400	400	200	4000
TOTAL	32400	1800	1800	36000

* No presente en la muestra.

3.3.6. Análisis de gases

Para realizar esta prueba se utilizaron muestras de 4lt (tabla 18), las mismas que son suficientes para cubrir las necesidades de las distintas mediciones a realizarse.

Tabla 18
Cantidad de mezcla en prueba de análisis de gases

Muestra	Gasolina Extra (ml)	Alcohol (ml)		Total (ml)
		Etanol	Metanol	
Gasolina	4000	*	*	4000
E5	3800	200	*	4000
E10	3600	400	*	4000
E15	3400	600	*	4000
M5	3800	*	200	4000
M10	3600	*	400	4000
M15	3400	*	600	4000
E5M10	3400	200	400	4000
E10M5	3400	400	200	4000
TOTAL	32400	1800	1800	36000
* No presente en la muestra.				

3.4. Pruebas en la bomba calorimétrica

Estas pruebas han sido realizadas con el objeto de determinar la cantidad de energía de las diferentes mezclas utilizadas en la investigación, para lo cual se utilizó una bomba calorimétrica isotérmica marca Parr, modelo 1341.

3.4.1. Equipo de obtención del poder calorífico

Bomba Calorimétrica Parr 1341

La bomba calorimétrica permite determinar el poder calorífico superior de cada mezcla, mediante la combustión de una determinada cantidad de la misma (1g aprox.), con la utilización de un termómetro digital se mide la variación de temperatura en lapsos de 0.5 minutos; posteriormente usando algoritmos definidos por el fabricante del equipo se utilizan los datos de tiempo y temperatura para obtener dicho poder calorífico.

Las pruebas de poder calorífico se desarrollaron con el equipo que se exhibe en la figura 23, donde se detallan los elementos que la conforman.

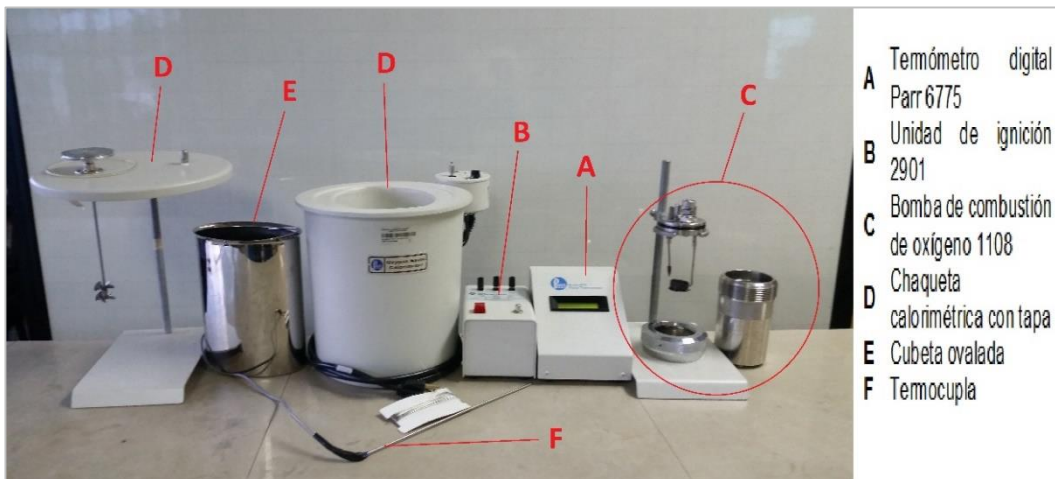
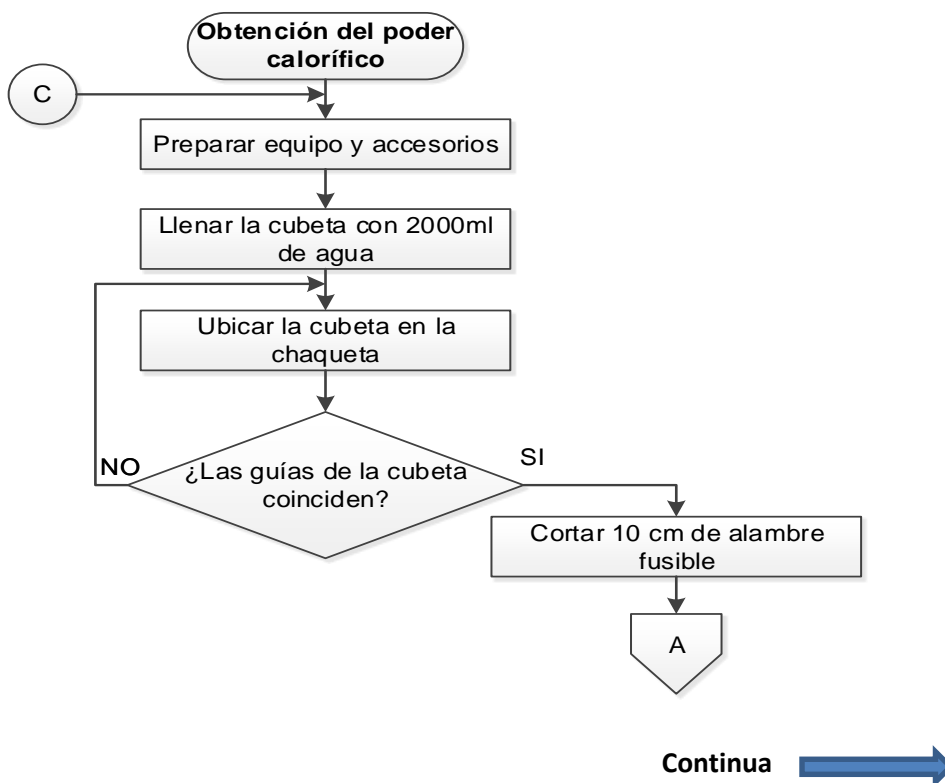
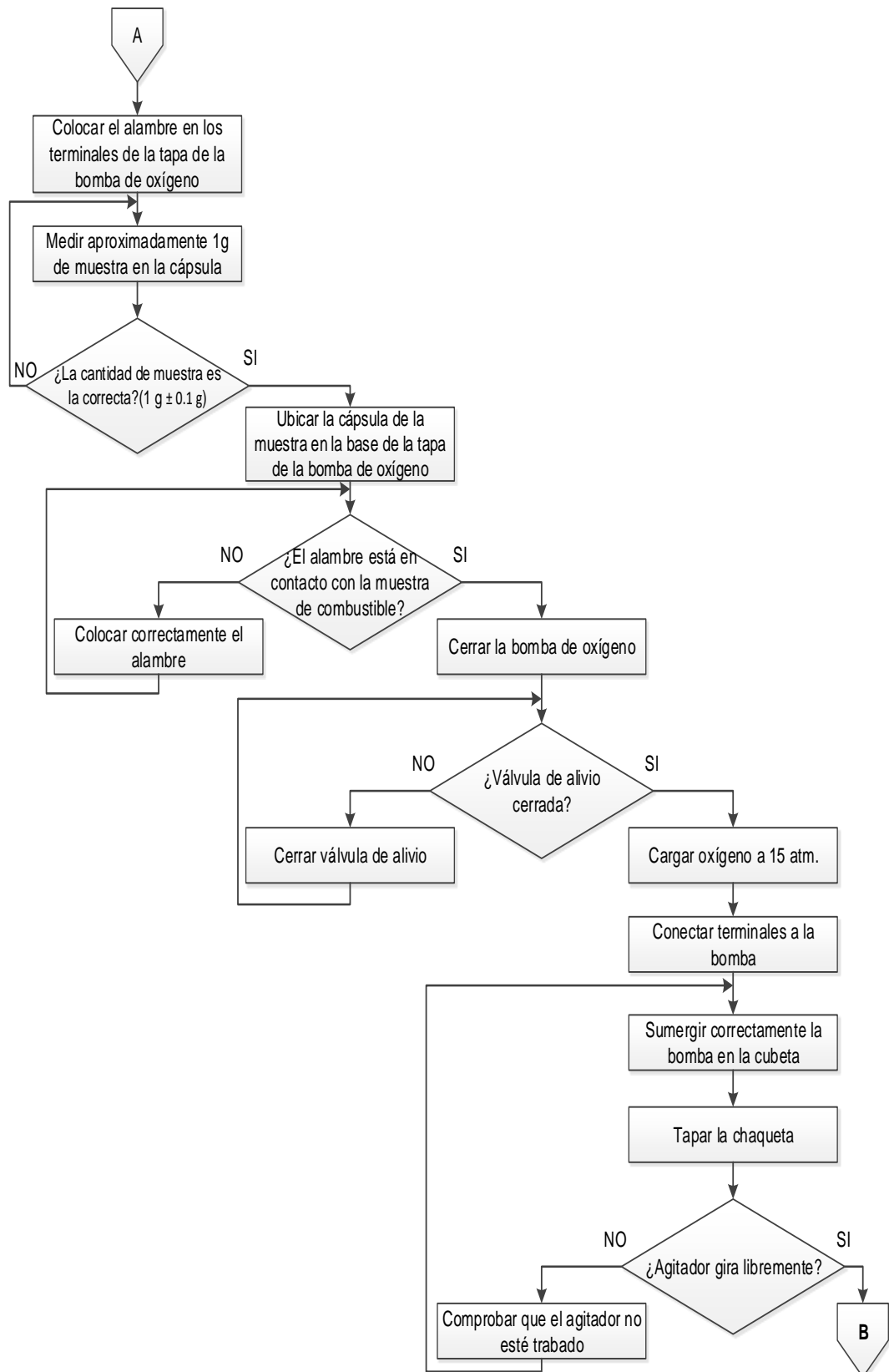


Figura 23 Bomba calorimétrica Parr modelo 1341

3.4.2. Obtención del poder calorífico

La obtención del poder calorífico superior se la realiza de acuerdo a la secuencia del diagrama de flujo de la figura 24.





Continua 

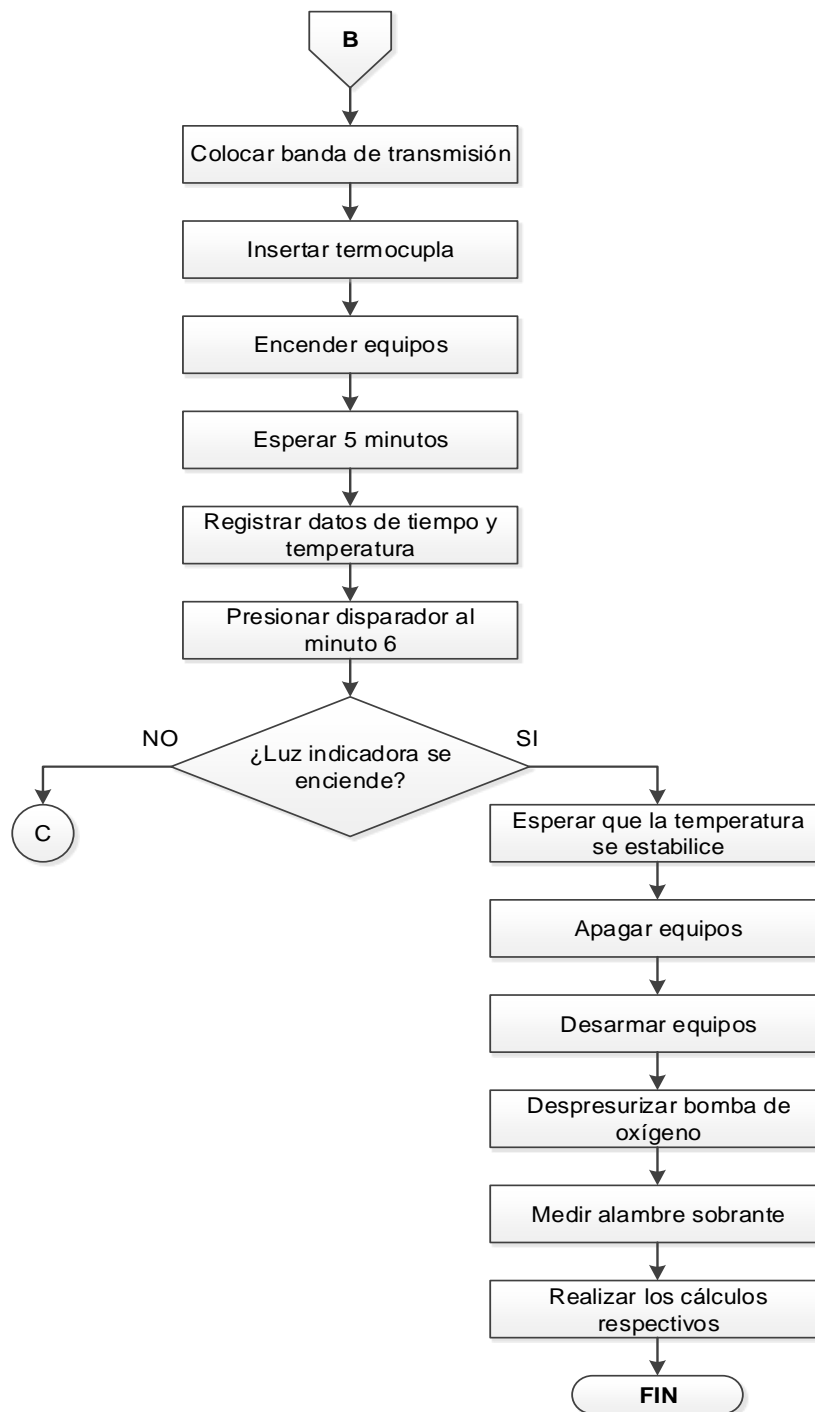


Figura 24 Diagrama de flujo para obtención del poder calorífico

Para la determinación del poder calorífico de las mezclas se procede con el siguiente protocolo de pruebas:

- Preparar el equipo y accesorios necesarios para la prueba:

- Termómetro digital: conectar la termocupla e insertar un par de pilas AA de 3,6 voltios cada una.
- Unidad de ignición: Conectar los dos cables que salen de la camisa a los terminales “10cm” y “COMMON”.
- Energizar los equipos.
- Llenar la cubeta ovalada con 2000 ml (2000 g) de agua destilada a temperatura ambiente, como se indica en la figura 25.



Figura 25 Cubeta llena con agua

- Colocar la cubeta en el interior de la chaqueta, tomando en cuenta que las guías que tiene la chaqueta en la parte inferior coincidan con los agujeros de la cubeta.
- Cortar 10 cm del alambre fusible (figura 26) y colocarlo entre los terminales de la tapa de la bomba de oxígeno.

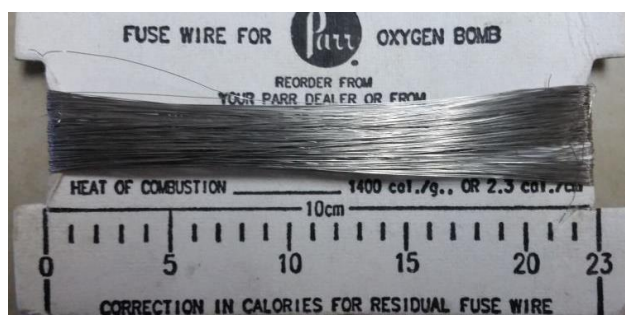


Figura 26 Alambre fusible

- Ubicar la muestra de combustible de 1 gramo aproximadamente (figura 27) en la cápsula de combustión, con una tolerancia de ± 0.1 g.

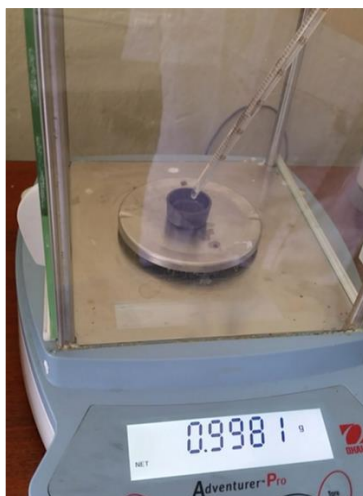


Figura 27 Masa de muestra

- Situar la cápsula de combustión en su respectiva base, en la tapa de la bomba de oxígeno, teniendo en cuenta que el alambre fusible se encuentre en contacto con el combustible, según la figura 28.



Figura 28 Cápsula de combustión

- Colocar la tapa de la bomba oxígeno en el cilindro y sellar herméticamente con la tapa roscada, verificando que la válvula de alivio se encuentre totalmente cerrada, conectar la bomba al tanque de oxígeno como se presenta en la figura 29 y cargar a 15 atmósferas de presión.



Figura 29 Carga de oxígeno

- Conectar los dos cables de encendido en los terminales de la tapa de la bomba de oxígeno (no tienen polaridad), y sumergir completamente la bomba en el agua, tal como se señala en la figura 30.



Figura 30 Bomba de oxígeno sumergida

- Fijar la tapa de la chaqueta, girar manualmente el agitador verificando que gire libremente sin chocar con la bomba de oxígeno y ubicar la banda de transmisión entre la polea del agitador y del motor.
- Insertar la termocupla por el orificio de la tapa de la chaqueta, verificando que ingrese por completo ya que de ésta depende la medición de temperatura del agua.
- Encender el motor del agitador y el termómetro digital, una vez que la prueba inicie, leer y registrar las temperaturas que se muestran en el termómetro (figura 31) en intervalos de 0.5 minutos durante el tiempo que dure la prueba (16 min aprox).



Figura 31 Termómetro digital

- Esperar 5 minutos hasta que el agua alcance una temperatura constante antes de iniciar la prueba. Al minuto 6 presionar el botón de la unidad de ignición por 5 segundos fijándose que la luz del disparo se encienda como se enseña en la figura 32, cabe mencionar que el led se apagará inmediatamente una vez presionado el botón.



Figura 32 Unidad de ignición

- Una vez presionado el botón de ignición la temperatura registrada en el termómetro se incrementará rápidamente, esto debido a la liberación de calor por el proceso de combustión de la muestra de combustible que se lleva a cabo en el interior de la bomba de oxígeno, esperar mientras se alcanza el equilibrio térmico entre el agua, la bomba de oxígeno y la cubeta. La prueba finaliza cuando el termómetro no registre variación de temperatura.

- Apagar y desarmar los equipos una vez finalizada la prueba; despresurizar la bomba de oxígeno mediante la válvula de alivio, desenroscar y quitar la tapa de la bomba, retirar y medir el alambre fusible sobrante, como se expone en la figura 33, con el propósito de conocer el total de alambre consumido en fuego para el cálculo del factor de corrección del mismo.



Figura 33 Alambre fusible sobrante

3.4.3. Proceso de Estandarización del equipo

El procedimiento para una prueba de estandarización es el mismo que para el análisis de una muestra de combustible. Se usa una pastilla de ácido benzoico (figura 34) de un peso aproximado de 1 gramo (entre 0.9 a 1.25 g). (Ver Anexo C)



Figura 34 Pastilla de ácido benzoico

3.5. Ensayos en el octanómetro

Para estos ensayos se requiere un motor monocilíndrico de relación de compresión variable que determine el índice de octano de las distintas mezclas.

3.5.1. Equipo de obtención del índice de octano

El Octanómetro permite ajustar la relación aire-combustible y la relación de compresión, así como el régimen de operación; consta de las siguientes partes señaladas en la figura 35.



Figura 35 Octanómetro

3.5.2. Obtención del índice de octano

El ensayo para la obtención del índice de octano se ejecuta según el procedimiento establecido en las normas ASTM D-2699 e INEN 2102:1998, las cuales permiten determinar la propiedad antidetonante de los combustibles utilizados en motores de encendido provocado (MEP).

El método RON, es utilizado por los fabricantes de motores, las refinerías de petróleo y en la actividad comercial, para medir la calidad de la gasolina, garantizando su capacidad antidetonante. Se determina comparando la capacidad antidetonante del combustible, con las mezclas de referencia cuyo RON es conocido, operando bajo condiciones normalizadas (tabla 19). Dicha comparación se realiza variando la relación de compresión del motor, al trabajar con la muestra de RON desconocido (mezclas de etanol, metanol y gasolina extra), de tal manera que se pueda obtener una intensidad de detonación patrón, medida por el indicador de detonación.

Tabla 19
Condiciones del octanómetro para la prueba

Condición	Método Research (RON)
Velocidad del motor (rpm)	600 ± 6
Aceite del cárter, grado SAE	30
Presión de aceite a la temperatura de operación, kPa (psi)	172,3 a 206,7 (25 a 30)
Temp. del aceite del cárter °C (°F)	57 ± 8,5°C (135 ± 15°F)
Temp. del refrigerante:	
Límite °C (°F)	100 ± 1,5°C (212 ± 3°F)
Humedad del aire admitido (kg de vapor de agua / kg de aire seco)	0,003 56 a 0,007 12
Avance de la chispa (grados antes del punto muerto superior)	13
Espaciamento de los electrodos de la bujía, pulg, (mm)	0,020 ± 0,005(0,508±0,127)
Espaciamento del platino, pulg (mm)	0,020 (0,508 mm)
Espaciamento de las válvulas pulg (mm)	
Admisión	0,008 (0,203 mm)
Escape	0,008 (0,203 mm)

Fuente: (INEN, 1998)

3.6. Pruebas de Torque y Potencia

Se las lleva a cabo en bancos de prueba llamados dinamómetros con el objetivo de obtener medidas que reflejen el verdadero desempeño del motor y de esta manera generar las curvas en función de las rpm.

3.6.1. Dinamómetro

Las pruebas se las llevaron a cabo en el CCICEV, con el propósito de obtener las curvas características de torque y potencia al utilizar las diferentes mezclas de prueba, para lo cual se utilizó un dinamómetro de chasis MAHA LPS 3000, bajo la Norma Ecuatoriana INEN 960, la misma que está basada en las normas internacionales SAE J-1349 e ISO 1585 donde se especifica el factor de corrección a tomar en cuenta debido a la presión y altura del lugar donde se realiza la prueba (Quito) y el método general de ensayo para determinar el rendimiento real del motor del vehículo. El dinamómetro de chasis (figura 36) está compuesto de las siguientes partes:

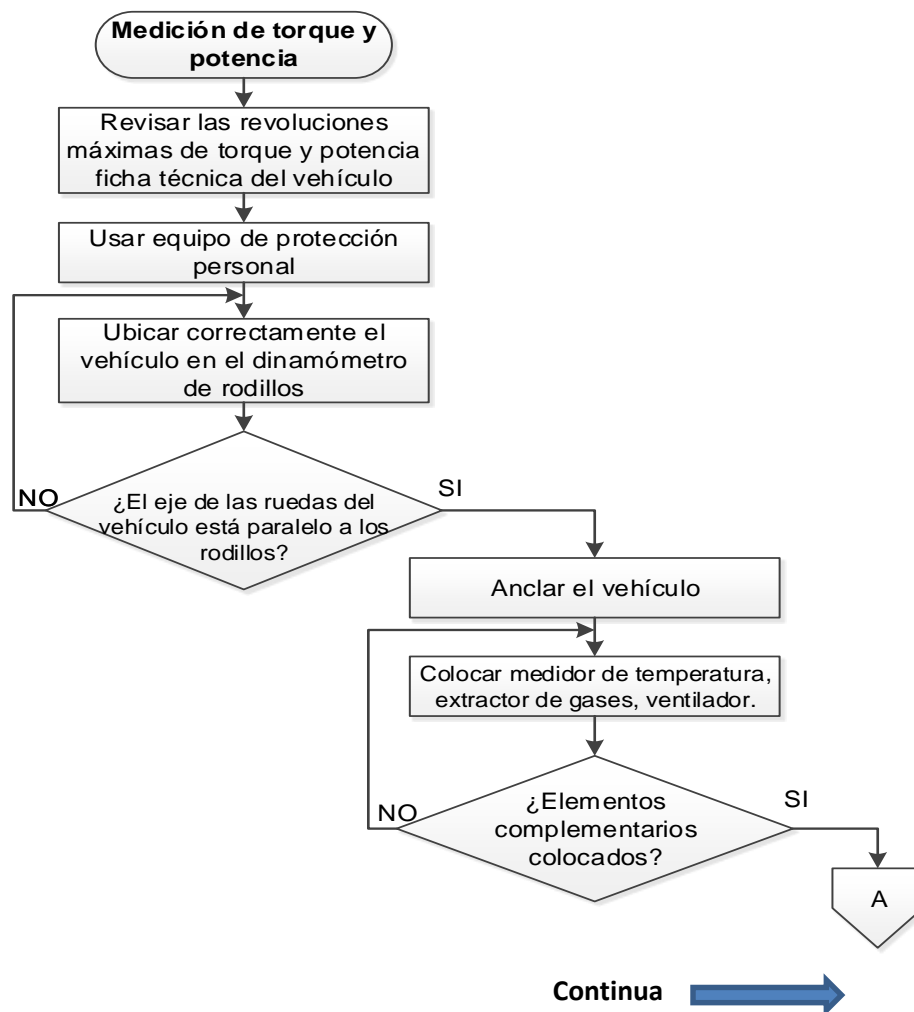
- Juego de rodillos
- Freno de corrientes parasitas
- Chasis del dinamómetro
- Cardán
- Bomba hidráulica
- Cilindros hidráulicos
- Ventiladores
- Sistema de adquisición de datos



Figura 36 Dinamómetro de chasis

3.6.2. Consideraciones para las pruebas de Torque y Potencia:

En la figura 37 se detalla el procedimiento para medición del torque y potencia, mediante un diagrama de flujo.



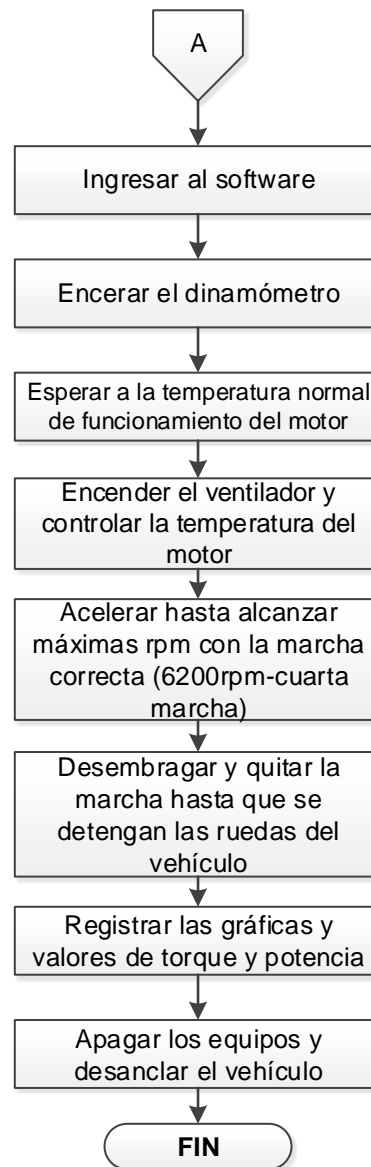


Figura 37 Diagrama de flujo - prueba de Torque y Potencia

Los datos de las pruebas deben obtenerse bajo ciertas condiciones de seguridad y funcionamiento:

a. Seguridad

- Utilizar el equipo de protección personal (casco, orejeras, mascarilla).
- Revisar la ficha técnica del vehículo previo a la prueba, con el objeto de conocer la tracción, relación de transmisión, el rin del neumático, las revoluciones a las cuales se llega a la potencia y torque máximos.

- Ubicar al vehículo sobre los rodillos del dinamómetro, tomando en cuenta que el eje de las ruedas se encuentre paralelo a los rodillos.
- Anclar al vehículo con las fajas de seguridad como se manifiesta en la figura 38, ya que si los rodillos se traban el vehículo podría salir violentamente.



Figura 38 Anclaje del vehículo

b. Prueba

- Colocar los elementos complementarios del dinamómetro: medidor de temperatura con el objeto de conocer el valor exacto de la misma durante el desarrollo de la prueba; extractor de gases que permita evacuar los gases de escape sin poner en riesgo la salud de los técnicos y personas presentes en el lugar y el ventilador cuya finalidad es mantener la temperatura normal de trabajo (90-95°C) ya que el esfuerzo del motor durante la prueba ocasiona un incremento de su temperatura.
- Encerar el dinamómetro a 2000 rpm, según las condiciones de carga de la prueba como se indica en la figura 39.

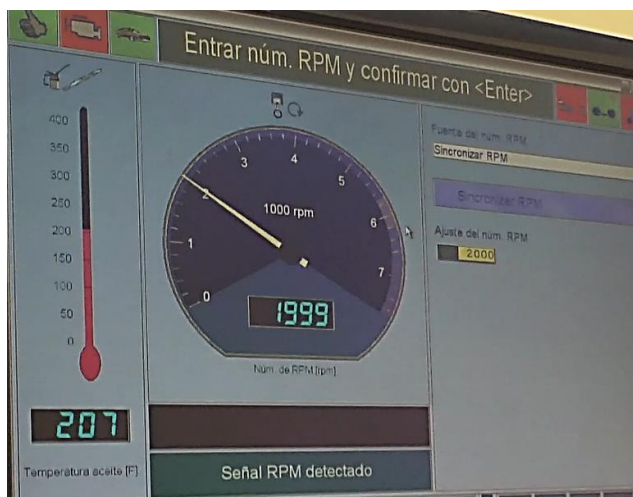


Figura 39 Calibración del dinamómetro

- Esperar que el motor alcance la temperatura normal de funcionamiento; encender el ventilador y acelerar hasta alcanzar las revoluciones máximas de torque y potencia especificadas en la ficha técnica del vehículo, utilizando la relación de transmisión que más se acerque a 1:1 (4ta marcha).
- Una vez alcanzadas las revoluciones máximas, desembragar y quitar la marcha, dejando que los rodillos frenen progresivamente el giro de las ruedas hasta que el software genere las gráficas tal como se muestran en la figura 40, por ningún motivo se debe pisar el pedal de freno ya que esto ocasionaría un error en la medición.

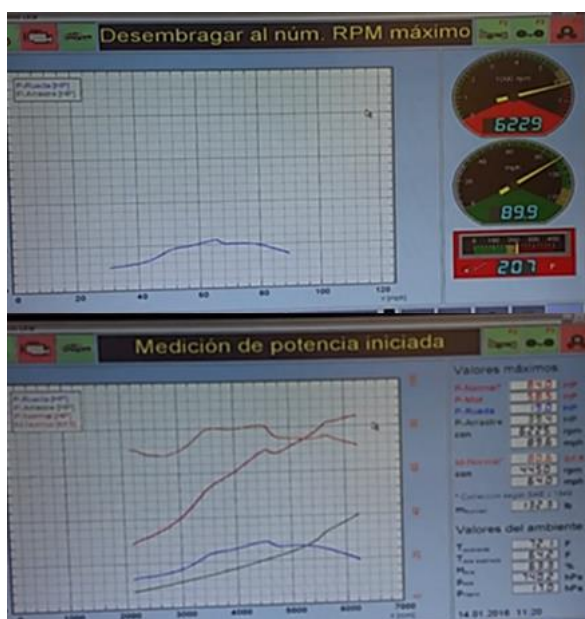


Figura 40 Gráficas de torque y potencia

3.7. Consumo de combustible

Las pruebas de consumo de combustible se realizaron a diferentes regímenes del motor, desde ralentí hasta las máximas revoluciones (6000 rpm), utilizando un elevador de columnas para levantar las ruedas motrices y poder utilizar la relación de transmisión que más se acerque a 1:1 (cuarta marcha), además de un interfaz de diagnóstico ElmScan 5 que permite la comunicación del vehículo con un PC.

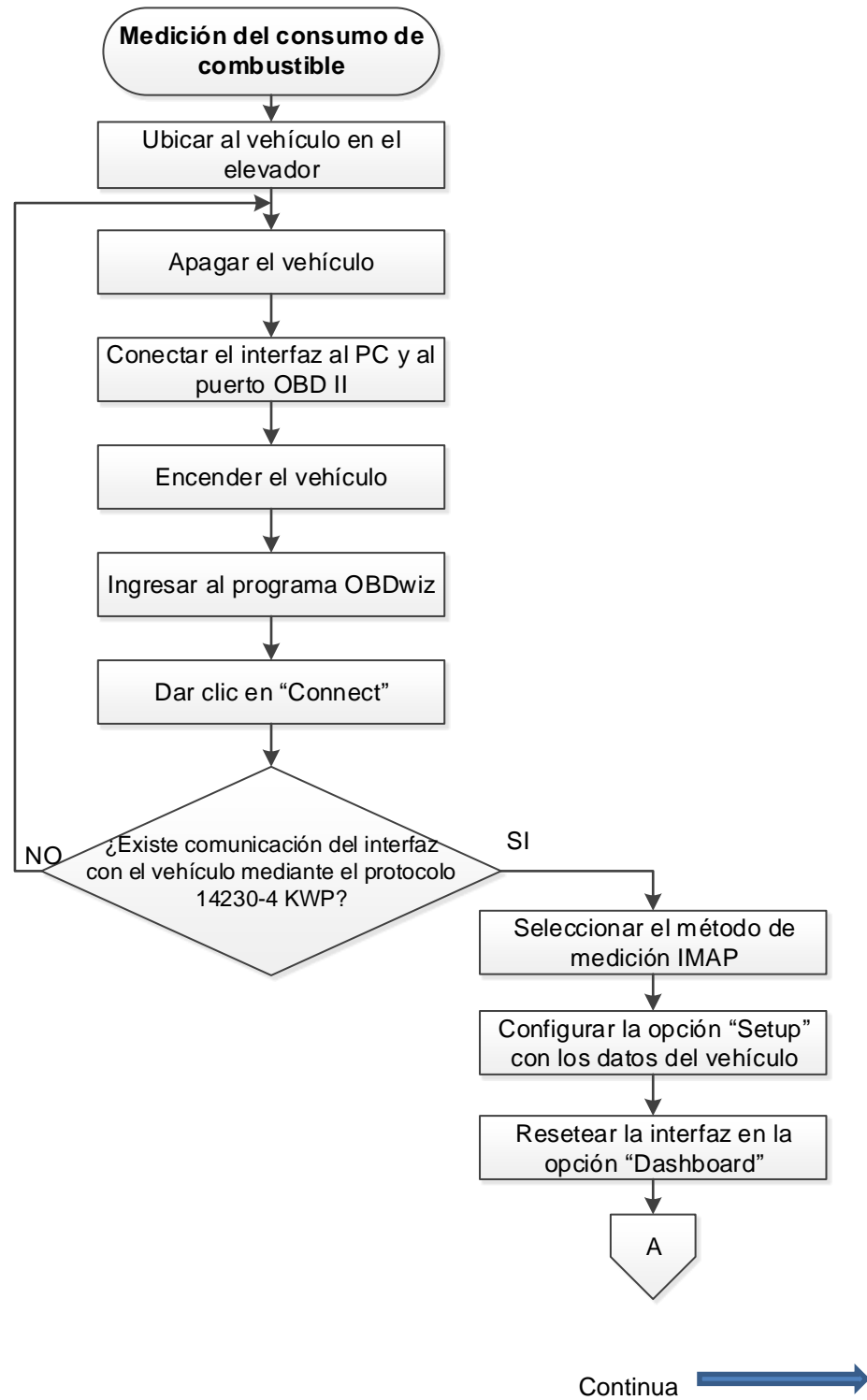
3.7.1. Medición del consumo de combustible

El equipo de medición ElmScan 5, permite medir y visualizar el consumo de combustible en tiempo real a través del PC, donde toda prueba podrá ser grabada para un posterior análisis de los valores obtenidos, además es compatible con todo vehículo que cuente con OBD-II (figura 41), bajo los protocolos de comunicación: SAE J1850 PWM, SAE J1850 VPW, ISO 14230-4 KWP e ISO 9141-2 y métodos de medición: flujo másico de aire, IMAP y la tasa directa de gasolina, cada método depende de un conjunto de PIDs que son compatibles con el vehículo.



Figura 41 Interfaz ElmScan 5

En la figura 42 se presenta el diagrama de flujo en la medición del consumo de combustible, utilizando el interfaz de diagnóstico ElmScan 5.



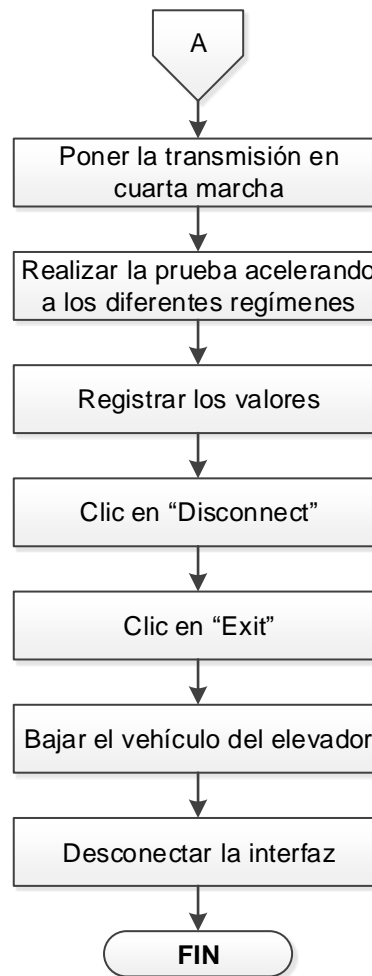


Figura 42 Diagrama de flujo para el consumo de combustible

Para la realización de la prueba de consumo de combustible se tiene el siguiente protocolo:

a. Instalación del software OBDwiz

- Ejecutar como administrador el software instalador OBDwiz.
- Dar clic en la pestaña "Next" de la ventana de autorización de la instalación, seguido dar clic en "Next" en la ventana del destino de instalación y finalmente clic en "Next" de la ventana de confirmación de la instalación.
- Aceptar todos los términos del programa y esperar mientras se instala, una vez finalizada la instalación clic en "Close".

- Conectar el ElmScan 5 a la PC y al puerto OBD-II del vehículo, si la conexión es correcta se encenderá el led "Power" de color rojo.
- Colocar la llave de encendido del vehículo en la posición "ON", el led "Power" incrementará su brillo, mientras los leds sobrantes se encenderán y apagarán para confirmar la conexión.
- Ejecutar el programa OBDwiz e introducir la clave de licencia cuando se lo solicite.

b. Seguridad

- Utilizar equipo de protección personal (casco, zapatos de seguridad, mandil, orejeras).
- Colocar correctamente el vehículo en el elevador y subirlo hasta que el primer seguro se ancle, como se enseña en la figura 43.



Figura 43 Vehículo en elevador

- Verificar que el vehículo esté apagado.

c. Prueba

- Conectar el interfaz al PC y al automóvil por el puerto OBD-II, como se indica en la figura 44.



Figura 44 Conexión OBDII

- Encender el vehículo y esperar que alcance la temperatura normal de funcionamiento (90°C -95°C).
- Ejecutar el programa OBDwiz y dar clic en la pestaña “Connect”, como se ilustra en la figura 45, para que el interfaz se conecte con el vehículo.

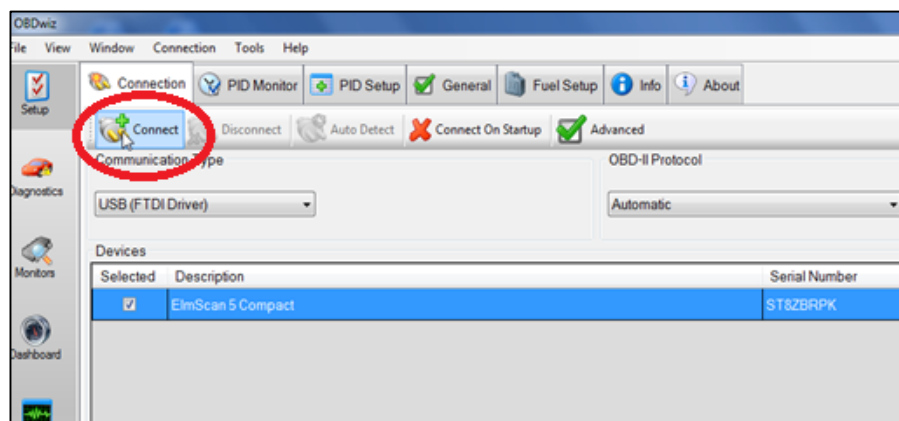


Figura 45 Opción para conectar la interfaz al vehículo

- Seleccionar “Fuel Setup” (figura 46) y configurar el método de medición; en este caso el método empleado fue “IMAP” ya que utiliza el sensor MAP, el cual mide la presión del múltiple de admisión de acuerdo a la carga del motor, dicho método permite configurar además la cilindrada del vehículo (1.4lt), el tipo de combustible y la eficiencia volumétrica, en este caso se seleccionó el 65% que por defecto presenta el software bajo los siguientes criterios: se toma en cuenta que el rango de la eficiencia volumétrica para los motores a gasolina de cuatro tiempos es del 70% al 90%, de este 70% que es el mínimo se disminuye un 5%

adicional por el desgaste normal del motor y por los altos regímenes a los que se alcanza la potencia máxima donde la duración del tiempo de admisión disminuye. (Jaramillo, 1996)

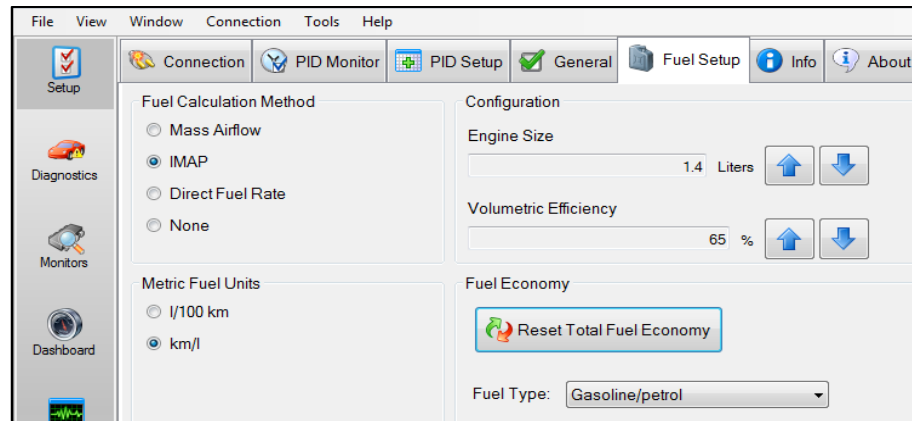


Figura 46 Configuración de combustible

- Ir a la opción “Dashboard” y luego dar clic en resetear, como se aprecia en la figura 47, esta ventana permitirá observar las revoluciones del motor, la velocidad a la cual circula el vehículo, la distancia recorrida, la temperatura y carga del motor, y el consumo de combustible, todo esto en tiempo real.



Figura 47 Tablero a bordo

- Realizar la prueba a los diferentes regímenes, con la relación de transmisión que más se acerque a 1:1 (4ta marcha) ya que los valores de torque y potencia fueron obtenidos con esta relación. Los parámetros de medición (figura 48) que ofrece el interfaz son: el consumo total

(Km/l) que indica el gasto promedio de combustible en un largo período de tiempo, el consumo instantáneo (Km/l), el consumo de combustible (l/h) que indica el gasto instantáneo y varía de acuerdo a las revoluciones del motor, el Trip (Km/l) que indica el consumo para el viaje activo, la distancia (Km), Combustible (l) que muestra el volumen estimado de combustible total consumido. Se utilizaron los valores de combustible (l/h).

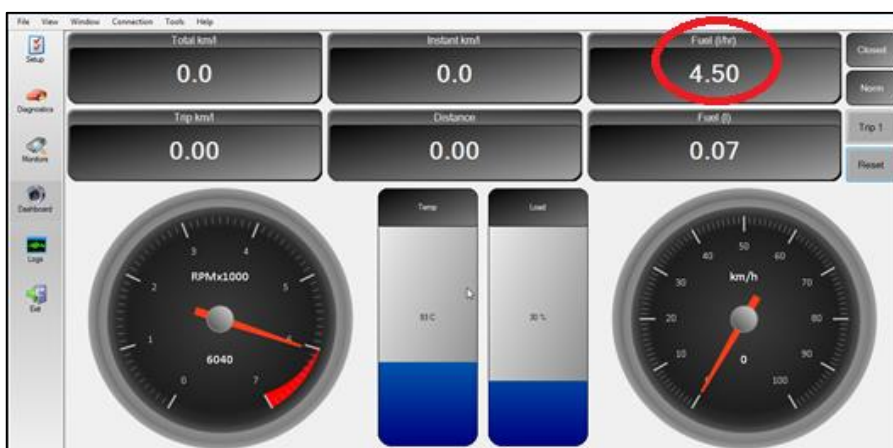


Figura 48 Consumo de combustible

- Una vez terminada la prueba ir a la opción “Disconnect” y luego “Exit”, como se presenta en la figura 49.

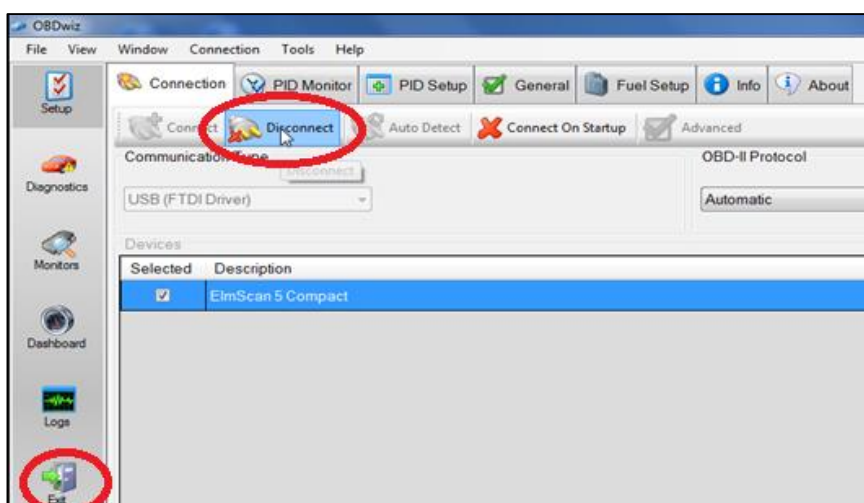


Figura 49 Opción para desconectar la interfaz del vehículo

- Desconectar el interfaz y apagar el vehículo.

3.7.2. Densidad de las mezclas

Para determinar la densidad de las mezclas se utilizó el método del picnómetro, por la simpleza de su procedimiento y el sencillo instrumento que se utiliza para la obtención de la densidad.

Los pasos a seguir para la obtención de la densidad con el método del picnómetro se especifican en la figura 50.

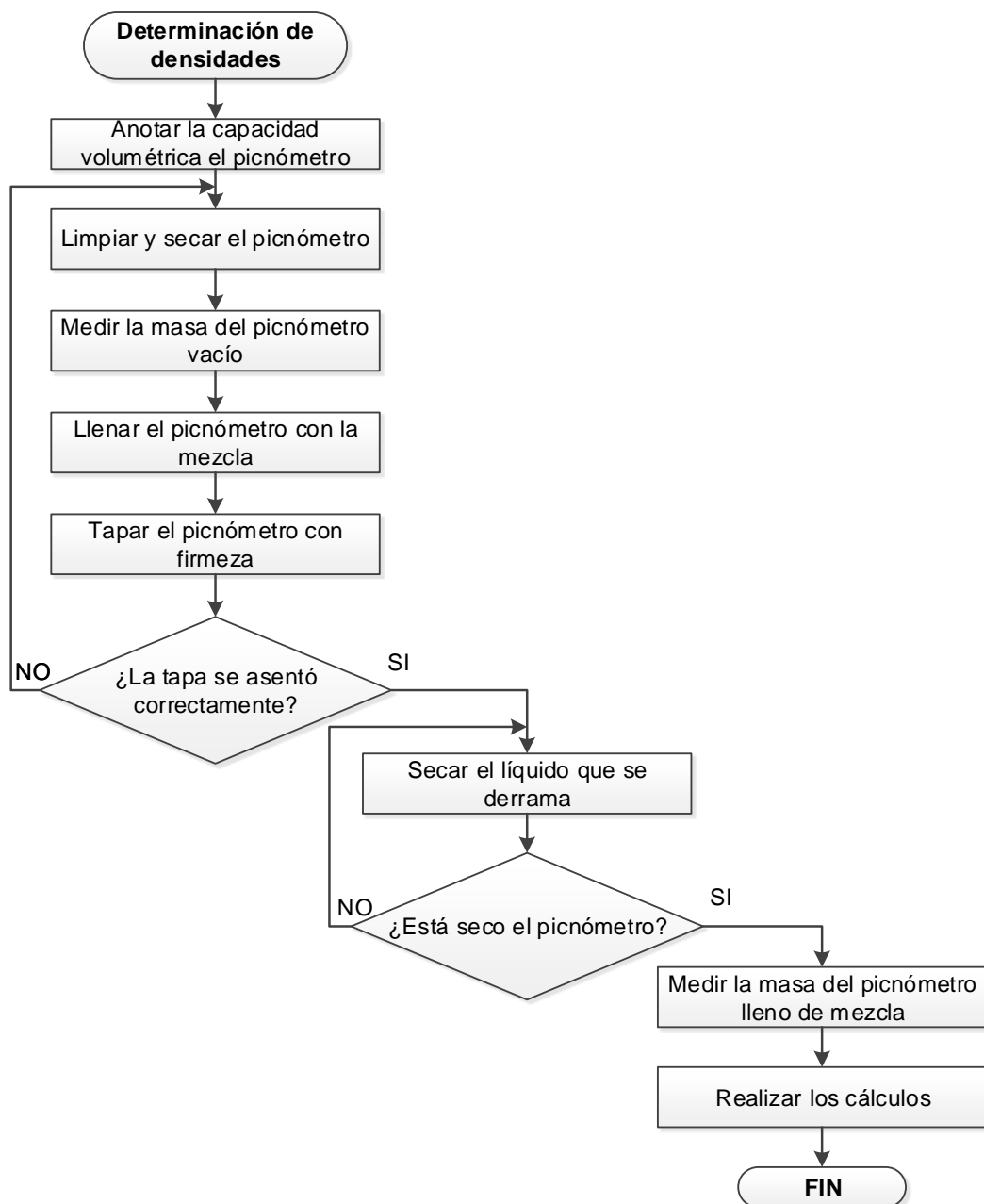


Figura 50 Diagrama de flujo medición de densidad con picnómetro

Se sigue el siguiente procedimiento para obtener la densidad de las mezclas:

- Asegurarse que el picnómetro este completamente seco y libre de cualquier impureza y anotar la capacidad volumétrica del mismo.
- Medir la masa del picnómetro cuando esté vacío, tal como se exhibe en la figura 51.



Figura 51 Masa del picnómetro vacío

- Llenar los 25ml de la mezcla en el picnómetro, se puede ayudar de una pipeta, colocar el tapón de una manera firme asegurándose de secar el líquido que se derrama.
- Registrar la masa del picnómetro lleno con la mezcla, tal como se muestra en la figura 52.



Figura 52 Masa del picnómetro con la mezcla

- Calcular la densidad de las mezclas restando la masa del picnómetro lleno menos la masa del picnómetro vacío y el resultado dividiéndolo para la capacidad volumétrica del picnómetro.

3.8. Análisis de emisiones

Se realizó las pruebas de acuerdo a los estándares de las normas ecuatorianas que establecen los máximos valores de emisiones de gases contaminantes generados por los motores a gasolina y el procedimiento establecido para pruebas de emisiones en condiciones estáticas, con el objeto de analizar las concentraciones de los diferentes productos de la combustión, cuando el motor es alimentado con las distintas mezclas. En la figura 53 se presenta el vehículo previo a la prueba de emisiones.

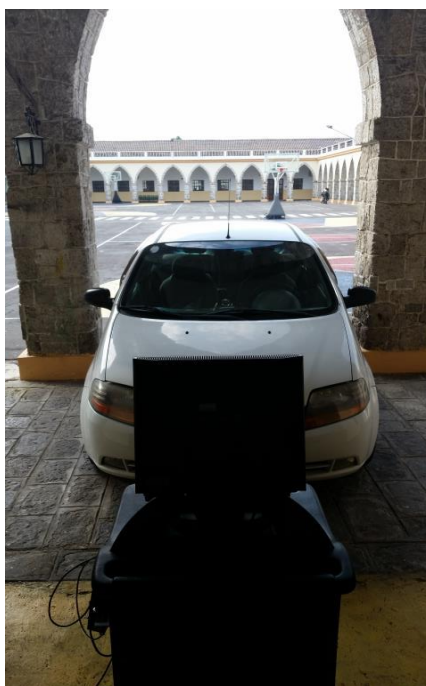


Figura 53 Prueba estática de emisión de gases

3.8.1. Equipo analizador de gases de escape

El equipo de medición (figura 54), es un analizador de gases CARTEK modelo 50-100, dicho equipamiento puede medir simultáneamente las concentraciones de HC en ppm, CO, CO₂ y O₂ en porcentaje (%), a valores

de régimen calibrado del equipo de medición Cartek para condiciones de ralentí (500-1100 rpm) y velocidad crucero (2000-2750 rpm), permitiendo realizar un diagnóstico del grado de emisiones en procura de vigilar la calidad del aire.



Figura 54 Analizador de gases CARTEK

Los elementos que conforman el analizador de gases:

- Filtro de partículas (A) de carbón activo, trampa de agua (B), el sensor de oxígeno (C), puertos para calibración (E) de alta (codo inferior) y baja (codo superior) en la parte delantera y el módulo de revoluciones (D) tipo captador magnético por tensión de batería de 12 V con pinzas que van conectadas a los bornes negativo y positivo (figura 55).



Figura 55 Sensor de oxígeno, filtros, módulo de rpm y puertos de calibración

- En la figura 56 se exhiben la sonda de gases (F) que se acopla en el tubo de escape permitiendo determinar la cantidad de los gases emitidos en la combustión y el PC (G) que sirve de interfaz con el analizador de gases, es aquí donde se ingresan los datos del vehículo.



Figura 56 Sonda de gases y PC

La tabla 20 detalla la ficha técnica del analizador de gases y sus especificaciones como: parámetros generales, información de los certificados, calibración y fugas que especifican los periodos y la concentración de gases empleados en la puesta a punto del equipo, de los dispositivos de medición y de la prueba de gases donde se definen los parámetros y condiciones para el desarrollo de la misma, además el registro de normas gasolina que permite establecer los valores permisibles de emisiones conforme a la normativa vigente; en el Anexo D se detalla más ampliamente la información del equipo de medición.

Tabla 20
Ficha técnica del analizador CARTEK

PARÁMETROS GENERALES			
Ignorar el valor de las RPM en las pruebas			
Mostrar medidores antes de realizar la inspección			•
Validar sólo información básica del vehículo			•
Validar sólo información básica del propietario			•
Activar prueba de humos en gasolina			
Grabar impresiones en PDF			•
INFORMACIÓN DE LOS CERTIFICADOS			
APROBADOS		RECHAZADOS	
Certificado mínimo	1	Certificado mínimo	1

Continua



Certificado máximo	10000	Certificado máximo	5000	
Certificado actual	96	Certificado actual	71	
Certificado alarma	100	Certificado alarma	10	
REGISTRO DE NORMAS GASOLINA				
Año	Inicial		2011	
	Final		2017	
Límite	HC ppm		200	
	CO (%)		1	
Tipo de combustible			Gasolina	
INFORMACIÓN DE CALIBRACIÓN Y FUGAS				
Calibración para gases	Intervalo entre calibraciones en días		-----	
	Intervalo entre fugas en días		-----	
	Span de O2		-----	
	CALIBRACIÓN	BAJA	HC	300
			CO	1
		ALTA	CO2	6
			HC	-
			CO	-
		CO2	-	
INFORMACIÓN DE DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN				
Banco de gases	Marca del banco		HORIBA BE140	
	Serial del equipo		COD001	
	Marca del equipo		BEAR	
	Serial interno		556749	
	PEF		0.494	
	Puerto		3	
	Apreciación		0.01	
Módulo RPM y Temperatura	Marca del Módulo		BEAR 57-550	
	Puerto		4	
	Marca del Módulo		BEAR 57-220	
	Puerto		0	
	Serial Interno		-	
	Serial del Equipo		-	
INFORMACIÓN DE LA PRUEBA DE GASES				
Condiciones Generales	Cero automático		X	
	Sobre 1800 mts		X	
	Realizar Prueba de crucero		X	
	Prueba de crucero primero que prueba ralentí			
Ralentí	Tiempo de la prueba		20	
	RPM mínimas		500	
	RPM máximas		1100	
Crucero	Tiempo de la prueba		20	
	RPM mínimas		2000	
	RPM máximas		2750	

Fuente: Universidad de las Fuerzas Armadas-Laboratorio de Mecánica de Patio, 2016

3.8.2. Calibración del analizador de gases

El equipo de medición necesita de una calibración periódica cada 90 días, después de este tiempo los certificados de prueba de fugas y calibración expiran, impidiendo que se efectúen las pruebas. Este procedimiento se realiza utilizando un gas patrón de baja (figura 57) compuesto por Monóxido

de Carbono CO, Dióxido de Carbono CO₂, Propano C₃H₈ y Nitrógeno N₂ en concentraciones certificadas por el grupo ETI (Equipment and Tools Institute).

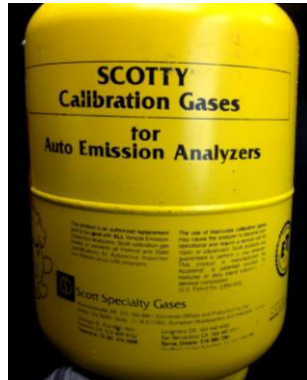


Figura 57 Gas de calibración

a. Calibración con gas de BAJA

- Para la calibración con gas de baja es necesario ajustar la presión de salida del gas a 20 psi y conectar la manguera de salida del gas de baja a su respectivo puerto de calibración del analizador (codo superior) como se enseña en la figura 58.



Figura 58 Conexión al puerto de calibración

- Ejecutar el software InspectorGas y abrir la válvula de suministro del tanque de gas y dar clic en la opción calibraciones del banco de gases

según indica la figura 59, donde aparecerá una ventana de verificación de presión mínima del tanque y la conexión con el puerto de calibración.



Figura 59 Opción de calibración del analizador

- Seleccionar “Iniciar calibración de BAJA” de acuerdo a la figura 60, una vez comprobado que la presión mínima del tanque es de 50 psi y que la manguera del mismo esté conectada al puerto de calibración del analizador.

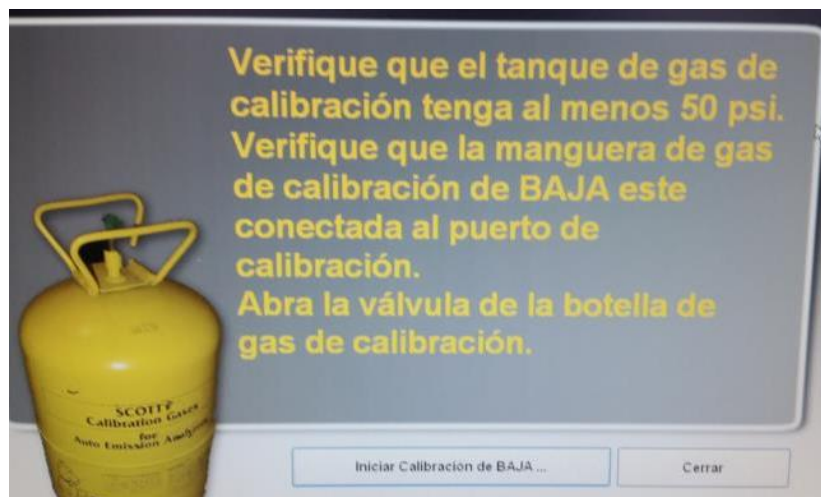


Figura 60 Inicio de la calibración

- Esperar hasta que el banco cumpla con el proceso de verificación y autocero, todo esto se realiza de manera automática, cerrar la válvula del tanque y desconectar la manguera del puerto de calibración una vez que la calibración con el gas de baja ha terminado.

b. Prueba de Fugas

- Colocar un tapón en la punta de la sonda, con el objeto de comprobar que no exista ninguna fuga en todo el circuito del analizador, dirigirse a la opción “Fugas” mostrada en la figura 61.

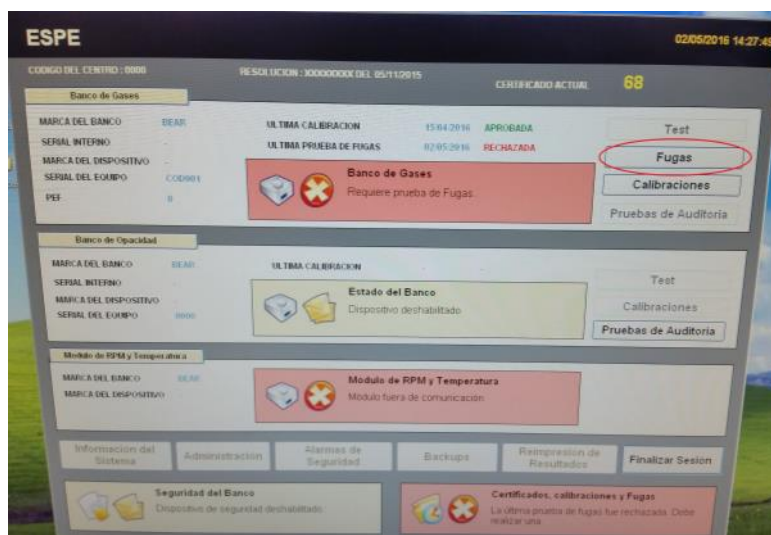


Figura 61 Opción de prueba de fugas

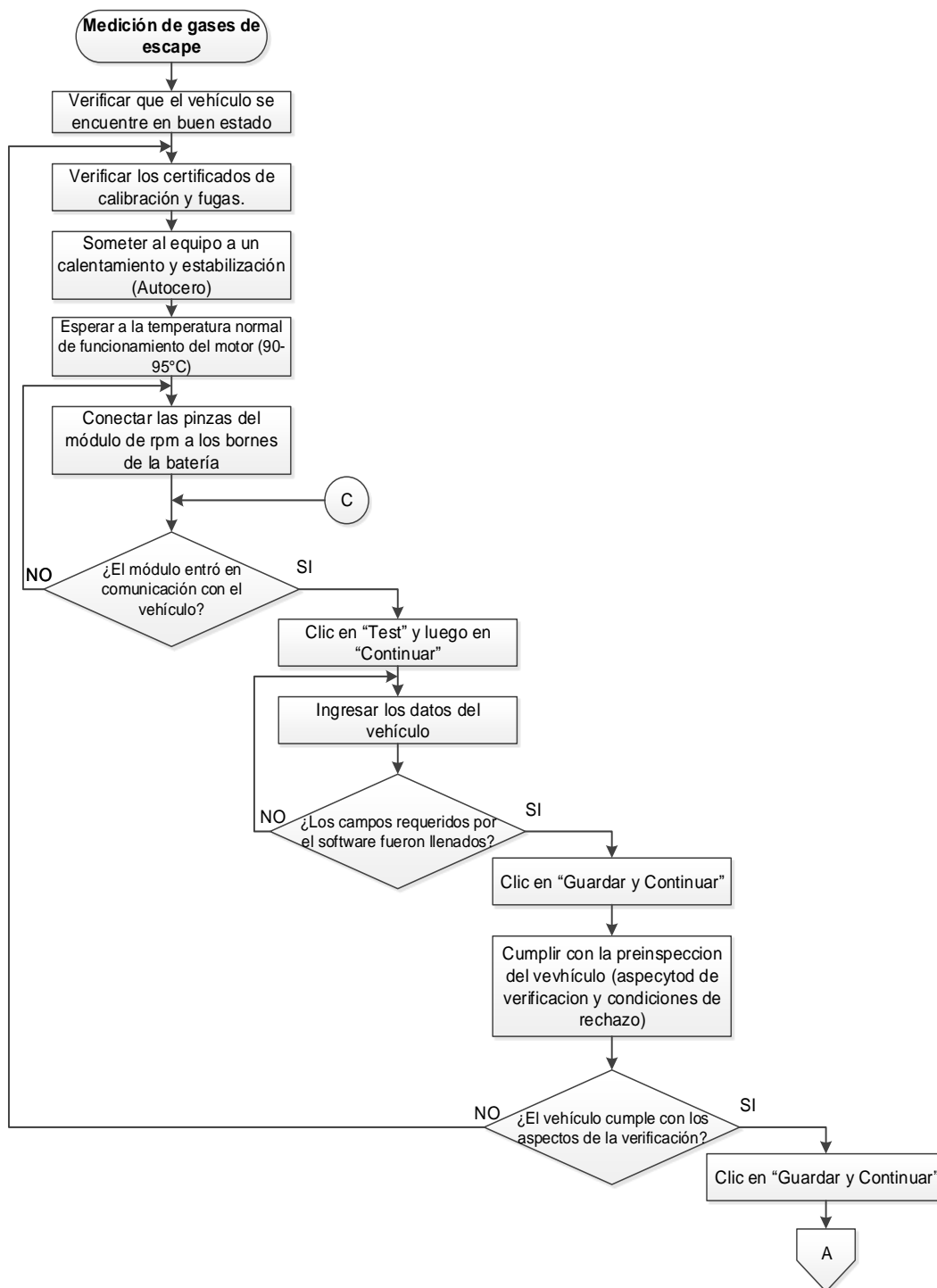
- Dirigirse a “Iniciar Prueba de Fugas” y esperar a que la prueba se realice automáticamente, quitar el tapón una vez finalizado el proceso exitosamente, con los certificados de calibración y fugas habilitados (figura 62) el equipo está listo para realizar las pruebas de gases.



Figura 62 Certificados de calibración y fugas aprobados

3.7.3. Pruebas en el analizador de gases

El diagrama de flujo para el análisis de gases utilizando el analizador de gases CARTEK 50-100, se especifica en la figura 63.



Continua

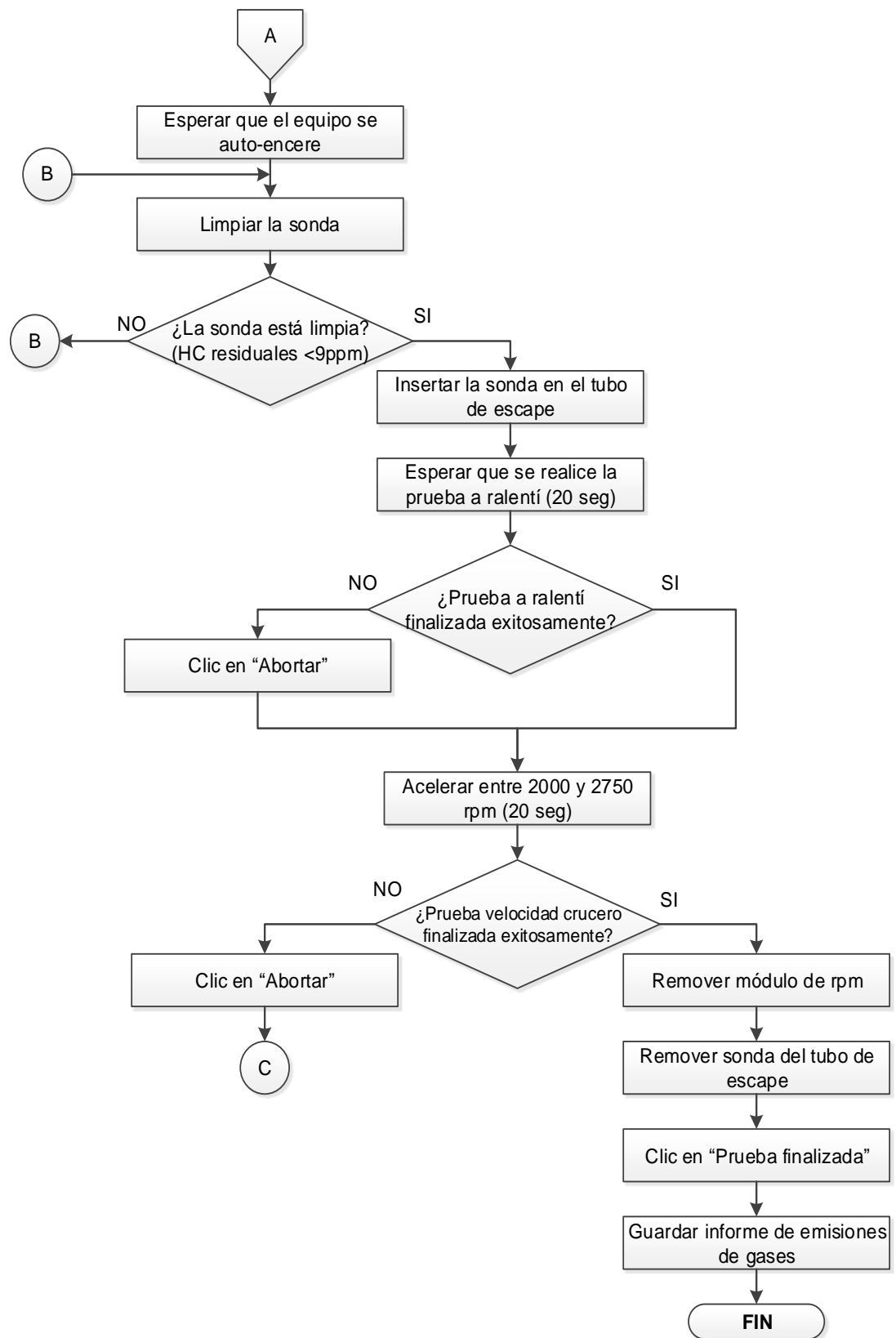


Figura 63 Diagrama de flujo para la medición del análisis de gases

Antes de efectuar la prueba con el analizador de gases se debe realizar una inspección previa que permita obtener datos útiles en la investigación:

a. Verificaciones previas a la prueba

- Verificar que el sistema de escape no presente ningún tipo de fisuras o golpes, ya que esto puede provocar dilución en los gases o fuga de los mismos, lo que provocaría una medición errónea.
- Revisar las bujías de encendido, los filtros de aire y combustible, de ser necesario hay que sustituirlos.
- Realizar una limpieza general de los inyectores de combustible y del sistema de admisión.
- Verificar el estado de la batería y cuidar que los bornes de la batería no se encuentren sulfatados.
- Comprobar que el nivel del aceite del motor sea el correcto.

b. Protocolo de Pruebas

- Esperar a que el analizador de gases se caliente y se estabilice (Autocero del equipo), mientras se limpia la sonda de muestreo ya que los residuos presentes de mediciones anteriores ocasionarían una medición errónea.
- Encender el vehículo y aguardar mientras se alcanza la temperatura normal de funcionamiento guiándose en el indicador del panel de instrumentos.
- Conectar las pinzas del módulo de rpm a los bornes de la batería como se indica en la figura 64, teniendo en cuenta la polaridad (pinza roja- borne positivo, pinza negra- borne negativo).



Figura 64 Conexión del módulo de rpm

- Aguardar por la estabilización de rpm, luego seleccionar “Test”, se redirigirá a otra ventana, donde se verifica que la velocidad del motor a ralentí sea la correcta.
- Elegir “Continuar”, e ingresar los datos solicitados en la ventana que aparece como se muestra en la figura 65, tales como información del vehículo y del propietario, seguido elegir “Guardar y Continuar”.

Información del Vehículo			
Placa	XBZ341	Número de motor	LTDK033C84567987
Marca	CHEVROLET	Número de Chasis	8LATD68778000186
Línea	AVEO	Combustible	Gasolina
Modelo	2008	Cilindraje	1400
Servicio	OTROS	Kilometraje	78567
Clase	AUTOMOVIL	Número Cilindros	4
Información del Propietario			
Identificación	0503735896	Ciudad	LATACUNGA
Tipo de identificación	CC	Teléfono	0984107458
Nombre	JOSE LUIS		
Apellidos	CHILQUINGA		
Dirección	LATACUNGA		
Contacto	CARLOS RUIZ		
Correo Electrónico	pepe91@hotmail.es		

Figura 65 Datos del vehículo y usuario

- Dar clic en la opción “Verificado” si se cumplieron con todos los ítems de inspección, caso contrario la prueba no podrá ejecutarse. Además si el vehículo presenta alguna de las características de la figura 66 la prueba será rechazada.

Revise los siguientes aspectos del vehículo antes de continuar con la inspección :

- Verificar el filtro de retención de Humedad
- Verificar la sonda de muestreo
- Verificar caja de cambios en neutro o parqueo
- Verificar choque del vehículo fuera de operación Verificado
- Verificar accesorios del vehículo estan apagados
- Verificar el sistema de encendido
- Verificar el sistema de admisión y filtro de aire
- Verificar el filtro de gasolina

Si se cumple alguna de las siguientes características, marque la casilla correspondiente. La prueba sera rechazada.

- Fugas en el tubo de escape
- Fuga en el silenciador
- Ausencia o mal estado del tapon de combustible
- Ausencia o mal estado del tapon de aceite
- Salidas adicionales a las del diseño

Figura 66 Verificación y estado del vehículo

- Seleccionar “Guardar y Continuar”, si se cumple con todas las consideraciones previas a la prueba y esperar a que el equipo se auto-encere.
- Esperar a que se realice la verificación de rpm por parte del equipo e insertar la sonda en el tubo de escape cuando el analizador lo indique.
- Aguardar por 20 segundos mientras se realiza la prueba de emisiones a marcha mínima o ralenti como indica la figura 67.



Figura 67 Prueba a ralenti

- Acelerar al rango de revoluciones que establece el equipo para la prueba a crucero (2000-2750 rpm), manteniendo a un régimen constante durante 20 segundos como se observa en la figura 68, mientras se realiza la prueba de emisiones.



Figura 68 Prueba a velocidad crucero

- Desconectar el módulo de rpm, retirar la sonda del tubo de escape una vez terminada la prueba y dar clic en “Prueba finalizada”, se genera así un informe como el mostrado en la figura 69 donde se detallan los datos del cliente, los datos del vehículo, el técnico encargado, las revoluciones a las que se llevaron a cabo las pruebas con sus respectivos resultados a ralentí y velocidad crucero (aprobada o rechazada), pudiendo compararlos con la normativa que regula los límites de emisiones.

		ESPE			
		LATACUNGA Tel: 0000000		Email:	
DATOS DEL CLIENTE			DATOS DEL VEHICULO		
NOMBRE: JOSE			PLACA: XBZ341		
APELLIDO: CHILIQUEINGA			MODELO: 2008		
IDENTIFICACION: 0503735896			MARCA: CHEVROLET		
DISPOSITIVO: COD001			LINEA: AVEO		
			MOTOR: COMBUSTIBLE: GASOLINA		
			VIN: 8LATD687780001863		
DATOS DE LA PRUEBA					
RALENTI			CRUCERO		
RESULTADOS		NORMA		RESULTADOS	
HC:	5.00	HC LIMITE:	200.00 ppm	HC:	9.00
CO:	0.00	CO LIMITE:	3.00 %	CO:	0.00
CO2:	14.31	CO2 MINIMO:	7.00 %	CO2:	14.30
O2:	0.20	O2 MAXIMO:	5.00 %	O2:	0.09
RPM:	834	RPM MIN:	500 rpm	RPM:	2,544
TEMP:	0	TEMP MIN:	0.00 °	TEMP:	0
RESULTADO APROBADA			RESULTADO APROBADA		
FECHA DE LA PRUEBA: 3/23/2016 12:54:42PM			RESULTADO GENERAL: APROBADA		
OPERARIO RESPONSABLE: _____					
LEONIDAS QUIROZ					

Figura 69 Informe del análisis de gases

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL METANOL Y ETANOL COMO ADITIVO ORGÁNICO

De acuerdo a los datos obtenidos de las diferentes pruebas experimentales desarrolladas en la investigación, se determinó el potencial energético de las mezclas de gasolina extra con etanol y metanol como fuente de energía alternativa para su uso en motores Otto y así validar su incidencia en los parámetros de rendimiento del vehículo Chevrolet Aveo Activo 1.4lt y el impacto ambiental de este tipo de aditivos orgánicos.

4.1. Poder Calorífico

El poder calorífico superior de cada mezcla permite evaluar su aplicabilidad como combustibles alternativos en el motor del vehículo de prueba, permitiendo conocer la cantidad de energía contenida en éstas y comparándolas con la energía del combustible de referencia (gasolina extra).

4.1.1. Tabulación y cálculo de datos

Las medidas de tiempo y temperatura obtenidos en la bomba calorimétrica permiten adquirir datos necesarios para el cálculo del poder calorífico superior de las distintas mezclas mediante gráficas Temperatura-Tiempo, con una variación de 0.5 minutos.

a. Cálculo del factor equivalente de energía del calorímetro

Previo a las pruebas con las mezclas, es necesario obtener el factor equivalente de la bomba con el objeto de conocer la energía requerida para incrementar la temperatura de esta bomba adiabática 1°C, para lo cual se

tienen presentes las variables respectivas para la calibración detalladas en la tabla 6. Se utilizan las ecuaciones 7 a 11.

El incremento de temperatura en los 5 minutos previos al disparo se muestra:

$$r1 = \left| \frac{t_a - t_o}{5 \text{ min}} \right|$$

$$r1 = 0.036 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}}$$

La tasa a la que la temperatura aumenta durante los 5 minutos después de la combustión de la mezcla hasta alcanzar el equilibrio térmico se presenta a continuación:

$$r2 = \left| \frac{t_d - t_c}{5 \text{ min}} \right|$$

$$r2 = 0.0114 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}}$$

Se calcula el 60% del incremento total de temperatura:

$$t_b = (t_c - t_a) * 0.6 + t_a$$

$$t_b = 18.5144^{\circ}\text{C}$$

Con el grado térmico al 60% del aumento total alcanzado (tb) se interpolan los valores en la tabla de incremento de temperatura para obtener el tiempo en el que se alcanzó la misma (b):

$$b = 7.5683 \text{ min}$$

Se determina el valor de incremento de temperaturas:

$$t = t_c - t_a - r_1 * (b - a) - r_2 * (c - b)$$

$$t = 2.4853^{\circ}\text{C}$$

Se debe tomar en cuenta el factor de corrección del alambre fusible níquel-cromo, con la cantidad de alambre consumido en la combustión:

$$e_3 = 2.7 * c_3$$

$$e_3 = 16.1 \text{ cal}$$

Se establece la energía total del calorímetro (W); los resultados de las pruebas realizadas se observan en la tabla 21.

$$W = \frac{H * m + e_1 + e_3}{t}$$

$$W = 2553.6912 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$$

Tabla 21
Energía total del calorímetro

Variable	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Unidad
A	6	6	6	Min
C	11	12,5	12,5	Min
Ta	16,97	17,528	18,11	°C
Tc	19,544	20,193	20,769	°C
To	16,812	17,209	17,746	°C
Td	19,601	20,212	20,793	°C
c3	7	7	7	Cm
m	1,002	0,9997	0,9999	G
H	6318	6318	6318	Cal
r1	0,0316	0,0638	0,0728	°C/min
r2	0,0114	0,0038	0,0048	°C/min
tb	18,5144	19,127	19,7054	°C
B	7,56839506	7,61904762	7,57892157	Min
T	2,48531842	2,54315714	2,52043333	Min
e3	16,1	16,1	16,1	Cal
W	Valor	2553,69129	2489,89907	2512,84893
	Promedio de pruebas	2518,813095		

* Unidades no mostradas en el SI debido a requerimiento de cálculos

b. Cálculo del poder calorífico

Se desarrolla el cálculo para la gasolina extra, donde se toman en cuenta las variables y correcciones necesarias de la bomba calorimétrica definidas en la tabla 6, y aplicarlas en las ecuaciones 7, 8, 9, 10 y 12.

Los valores de tiempo, temperatura y variables necesarias para el cálculo se enseñan en la tabla 22, mientras que la gráfica de incremento de temperatura se exhibe en la figura 70, en la cual se observa el tiempo de fuego (a), el tiempo después del incremento cuando la temperatura se convierte en constante(c), temperatura al inicio de la prueba (to), temperatura al final de la prueba (td), etc.

Tabla 22
Datos para el cálculo del poder calorífico de la gasolina extra

Tiempo (min)	Temperatura (°C)
0	20,131
0,5	20,543
1	20,682
1,5	20,726
2	20,753
2,5	20,772
3	20,785
3,5	20,796
4	20,804
4,5	20,811
5	20,818
5,5	20,823
6	20,828
6,5	21,112
7	22,356
7,5	23,494
8	24,181
8,5	24,619
9	24,882
9,5	25,043
10	25,158
10,5	25,234
11	25,287
11,5	25,327
12	25,351
12,5	25,369
13	25,38
13,5	25,388
14	25,395
14,5	25,399
15	25,402
15,5	25,404
16	25,405

Variable	Valor	Unidad
%g	100	%
%e	0	%
%m	0	%
Sg	0,065	%
Se	0	%
Sm	0	%
M	0,9769	G
W	2518,813095	cal/°C
A	6	Min
C	13	Min
Ta	20,828	°C
Tc	25,38	°C
To	20,131	°C
Td	25,405	°C
c2	0,065	%
c3	7	Cm
r1	0,1394	°C/min
r2	0,005	°C/min
Tb	23,5592	°C
B	7,547452693	Min
T	4,309022358	°C
e2	0,86992945	Cal
e3	16,1	Cal
Hg	11092,89796	cal/g
Hg	46443,74516	KJ/Kg

Límites de interpolación

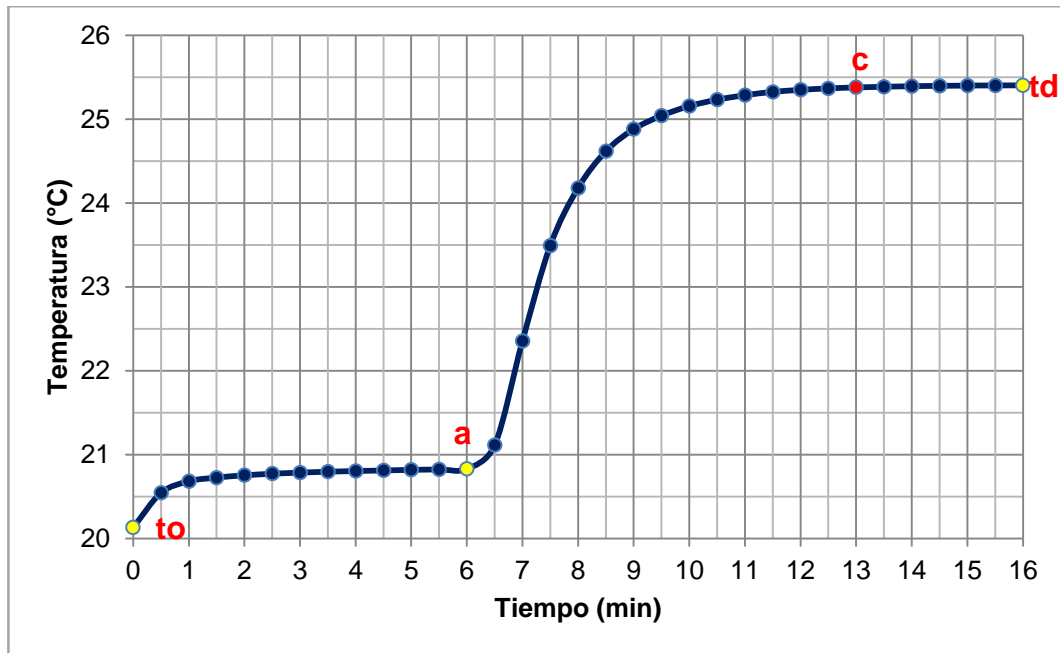


Figura 70 Gráfica de incremento de temperatura de la gasolina extra

Se evalúa la tasa a la que la temperatura aumenta durante los 5 minutos antes de disparar:

$$r1 = \left| \frac{t_a - t_o}{5 \text{ min}} \right|$$

$$r1 = 0.1394 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}}$$

El incremento de temperatura durante los 5 minutos después de la combustión hasta alcanzar el equilibrio térmico se observa:

$$r2 = \left| \frac{t_d - t_c}{5 \text{ min}} \right|$$

$$r2 = 0.005 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}}$$

Se determina el 60% del incremento total de temperatura:

$$t_b = (t_c - t_a) * 0.6 + t_a$$

$$t_b = 23.5592^{\circ}\text{C}$$

Una vez alcanzado el 60% del aumento térmico total (tb) se interpolan los datos de la tabla de incremento de temperatura para obtener el tiempo en el que se alcanzó la misma (b):

$$b = 7.5474 \text{ min}$$

Se obtiene el valor de incremento de temperaturas:

$$t = t_c - t_a - r_1 * (b - a) - r_2 * (c - b)$$

$$t = 4.3090^\circ\text{C}$$

Además se calculan las correcciones respectivas para el calor de combustión:

Factor de corrección de formación de ácido sulfúrico, para lo cual se requiere de la concentración de Azufre en cada mezcla, determinándose con la cantidad de éste en la gasolina, el etanol y el metanol:

$$e_2 = 13.7 * c_2 * m$$

$$e_2 = 0.8699 \text{ cal}$$

Factor de corrección de formación del alambre fusible níquel-cromo, con la cantidad de alambre consumido en la combustión:

$$e_3 = 2.7 * c_3$$

$$e_2 = 16.1 \text{ cal}$$

Se determina la cantidad de energía de las diferentes mezclas:

$$H_g = \frac{t * W - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

$$H_g = 11092.897 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

$$H_g = 46443.745 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

c. Resultados obtenidos

Los valores de las distintas variables: concentración de azufre, tiempo, temperatura, factores de corrección, masa de la muestra, el factor de energía equivalente del calorímetro, así como los resultados de cada una de las pruebas realizadas con gasolina extra, E5, E10, E15, M5, M10, M15, E10M5 Y E5M10, se presentan en las tablas 23 a la 31 respectivamente.

Tabla 23
Poder calorífico de la gasolina extra

Variable	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Unidad
%g	100	100	100	%
%e	0	0	0	%
%m	0	0	0	%
Sg	0,065	0,065	0,065	%
Se	0	0	0	%
Sm	0	0	0	%
M	0,9769	0,9794	0,9899	G
W	2518,813095	2518,813095	2518,813095	cal/°C
A	6	6	6	Min
C	13	13	12,5	Min
Ta	20,828	21,379	21,547	°C
Tc	25,38	25,832	26,027	°C
To	20,131	20,548	21	°C
Td	25,405	25,854	26,05	°C
c2	0,065	0,065	0,065	%
c3	7	7	7	Cm
r1	0,1394	0,1662	0,1094	°C/min
r2	0,005	0,0044	0,0046	°C/min
Tb	23,5592	24,0508	24,235	°C
B	7,547452693	7,568560106	7,576358297	Min
T	4,309022358	4,168406975	4,284897651	°C
e2	0,86992945	0,8721557	0,88150595	Cal
e3	16,1	16,1	16,1	Cal
Hg	11092,89796	10702,94662	10885,82161	cal/g
Hg	46443,74516	44811,09691	45576,7579	KJ/Kg

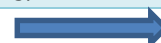
Tabla 24
Poder calorífico de E5

Variable	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Unidad
%g	95	95	95	%
%e	5	5	5	%
%m	0	0	0	%
Sg	0,065	0,065	0,065	%
Se	0	0	0	%
Sm	0	0	0	%
M	1,0506	1,0121	1,0038	g
W	2518,8131	2518,8131	2518,8131	cal/°C
A	6	6	6	Min
C	12	12	12,5	Min
Ta	16,732	16,942	17,402	°C
Tc	21,283	21,489	21,759	°C
To	16,61	16,795	17,183	°C
Td	21,302	21,516	21,778	°C
c2	0,06175	0,06175	0,06175	%
c3	7	7	7	Cm
r1	0,0244	0,0294	0,0438	°C/min
r2	0,0038	0,0054	0,0038	°C/min
Tb	19,4626	19,6702	20,0162	°C
B	7,44262036	7,41609499	7,44603502	Min
T	4,49848202	4,48061372	4,2744586	°C
e2	0,88878134	0,8562113	0,84918971	Cal
e3	16,1	16,1	16,1	Cal
Hg	10768,9384	11134,1491	10708,9192	cal/g
Hg	45087,3911	46616,4554	44836,103	KJ/Kg

Tabla 25
Poder calorífico de E10

Variable	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Unidad
%g	90	90	90	%
%e	10	10	10	%
%m	0	0	0	%
Sg	0,065	0,065	0,065	%
Se	0	0	0	%
Sm	0	0	0	%
M	0,9721	1,0279	1,0397	g
W	2518,8131	2518,8131	2518,8131	cal/°C
A	6	6	6	Min
C	13	12,5	13	Min
Ta	18,592	19,679	19,999	°C
Tc	23,097	24,284	24,462	°C
To	18,157	19,203	19,629	°C
Td	23,116	24,313	24,481	°C
c2	0,0585	0,0585	0,0585	%
c3	7	7	7	Cm
r1	0,087	0,0952	0,074	°C/min

Continua



r2	0,0038	0,0058	0,0038	°C/min
Tb	21,295	22,442	22,6768	°C
B	7,42797784	7,36190965	7,34852071	Min
T	4,35959224	4,44554528	4,34173385	°C
e2	0,77908955	0,82381046	0,83326757	Cal
e3	16,1	16,1	16,1	Cal
Hg	11278,7974	10877,1027	10502,1475	cal/g
Hg	47222,0689	45540,2535	43970,3913	KJ/Kg

Tabla 26
Poder calorífico de E15

Variable	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Unidad
%g	85	85	85	%
%e	15	15	15	%
%m	0	0	0	%
Sg	0,065	0,065	0,065	%
Se	0	0	0	%
Sm	0	0	0	%
M	1,0021	0,9876	1,0208	G
W	2518,8131	2518,8131	2518,8131	cal/°C
A	6	6	6	Min
C	12,5	13,5	13	Min
Ta	16,459	16,244	16,579	°C
Tc	20,832	20,59	20,958	°C
To	16,399	16,138	16,422	°C
Td	20,826	20,587	20,961	°C
c2	0,05525	0,05525	0,05525	%
c3	7	7	7	Cm
r1	0,012	0,0212	0,0314	°C/min
r2	0,0012	0,0006	0,0006	°C/min
Tb	19,0828	18,8516	19,2064	°C
B	7,30383817	7,42478219	7,31522222	Min
T	4,35111855	4,31214949	4,33429116	°C
e2	0,75851454	0,74753913	0,77266904	Cal
e3	16,1	16,1	16,1	Cal
Hg	10919,8641	10980,8131	10678,2883	cal/g
Hg	45719,2872	45974,4685	44707,8573	KJ/Kg

Tabla 27
Poder calorífico de M5

Variable	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Unidad
%g	95	95	95	%
%e	0	0	0	%
%m	5	5	5	%
Sg	0,065	0,065	0,065	%
Se	0	0	0	%
Sm	0,00002	0,00002	0,00002	%

Continua



M	1,0475	1,0577	1,0481	G
W	2518,8131	2518,8131	2518,8131	cal/°C
A	6	6	6	Min
C	12	12	12	Min
Ta	17,908	18,231	18,726	°C
Tc	22,743	22,861	23,238	°C
To	17,696	17,883	18,406	°C
Td	22,781	22,889	23,283	°C
c2	0,061751	0,061751	0,061751	%
c3	7	7	7	Cm
r1	0,0424	0,0696	0,064	°C/min
r2	0,0076	0,0056	0,009	°C/min
Tb	20,809	21,009	21,4332	°C
B	7,45232172	7,45721477	7,37539616	Min
T	4,7388592	4,50313826	4,38235321	°C
e2	0,88617316	0,89480225	0,88668076	Cal
e3	16,1	16,1	16,1	Cal
Hg	11378,8205	10707,7326	10515,5443	cal/g
Hg	47640,8456	44831,135	44026,4809	KJ/Kg

Tabla 28
Poder calorífico de M10

Variable	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Unidad
%g	90	90	90	%
%e	0	0	0	%
%m	10	10	10	%
Sg	0,065	0,065	0,065	%
Se	0	0	0	%
Sm	0,00002	0,00002	0,00002	%
M	1,0012	0,9375	0,9937	g
W	2518,8131	2518,8131	2518,8131	cal/°C
A	6	6	6	Min
C	13,5	13,5	13,5	Min
ta	19,707	19,54	19,037	°C
tc	23,99	23,911	23,425	°C
to	19,26	19,18	18,689	°C
td	24	23,922	23,436	°C
c2	0,058502	0,058502	0,058502	%
c3	7	7	7	Cm
r1	0,0894	0,072	0,0696	°C/min
r2	0,002	0,0022	0,0022	°C/min
tb	22,2768	22,1626	21,6698	°C
B	7,4954	7,4769084	7,43957952	Min
T	4,13730204	4,25141179	4,27447234	°C
e2	0,80243917	0,75138506	0,79642809	Cal
e3	16,1	16,1	16,1	Cal
Hg	10391,7181	11404,4377	10817,853	cal/g
Hg	43508,0452	47748,0996	45292,1867	KJ/Kg

Tabla 29
Poder calorífico de M15

Variable	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Unidad
%g	85	85	85	%
%e	0	0	0	%
%m	15	15	15	%
Sg	0,065	0,065	0,065	%
Se	0	0	0	%
Sm	0,00002	0,00002	0,00002	%
M	0,9593	1,0021	0,9991	g
W	2518,8131	2518,8131	2518,8131	cal/°C
A	6	6	6	Min
C	13	13	12,5	Min
Ta	16,53	16,435	16,552	°C
Tc	20,894	20,764	20,77	°C
To	16,361	16,274	16,393	°C
Td	20,89	20,763	20,772	°C
c2	0,055253	0,055253	0,05528	%
c3	7	7	7	Cm
r1	0,0338	0,0322	0,0318	°C/min
r2	0,0008	0,0002	0,0004	°C/min
Tb	19,1484	19,0324	19,0828	°C
B	7,4104902	7,43523093	7,35906114	Min
T	4,31185382	4,28167261	4,17272548	°C
e2	0,72615758	0,75855573	0,7566544	Cal
e3	16,1	16,1	16,1	Cal
Hg	11304,0005	10745,3093	10502,9115	cal/g
Hg	47327,5895	44988,4611	43973,5901	KJ/Kg

Tabla 30
Poder calorífico de E10M5

Variable	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Unidad
%g	85	85	85	%
%e	10	10	10	%
%m	5	5	5	%
Sg	0,065	0,065	0,065	%
Se	0	0	0	%
Sm	0,00002	0,00002	0,00002	%
M	1,02568	0,9385	0,9184	G
W	2518,8131	2518,8131	2518,8131	cal/°C
A	6	6	6	Min
C	13,5	13,5	13,5	Min
Ta	17,056	17,657	17,872	°C
Tc	21,182	21,879	22,161	°C
To	16,811	17,449	17,6	°C
Td	21,189	21,888	22,171	°C
c2	0,055251	0,055251	0,055251	%
c3	7	7	7	Cm
r1	0,049	0,0416	0,0544	°C/min

Continua



r2	0,0014	0,0018	0,002	°C/min
Tb	19,5316	20,1902	20,4454	°C
B	7,38535097	7,32492339	7,33079667	Min
T	4,04955729	4,15576805	4,20426625	°C
e2	0,77637689	0,71038697	0,6951725	Cal
e3	16,1	16,1	16,1	Cal
Hg	9928,24425	11135,6341	11512,3756	cal/g
Hg	41567,573	46622,6728	48200,014	KJ/Kg

Tabla 31
Poder calorífico de E5M10

Variable	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Unidad
%g	85	85	85	%
%e	5	5	5	%
%m	10	10	10	%
Sg	0,065	0,065	0,065	%
Se	0	0	0	%
Sm	0,00002	0,00002	0,00002	%
M	0,8753	0,9973	1,0021	g
W	2518,8131	2518,8131	2518,8131	cal/°C
A	6	6	6	Min
C	13	13,5	13	Min
Ta	18,939	18,517	18,93	°C
Tc	23,101	22,681	23,199	°C
To	18,63	18,29	18,65	°C
Td	23,108	22,691	23,216	°C
c2	0,055252	0,055252	0,055252	%
c3	7	7	7	Cm
r1	0,0618	0,0454	0,056	°C/min
r2	0,0014	0,002	0,0034	°C/min
Tb	21,4362	21,0154	21,4914	°C
B	7,2862183	7,3339207	7,42828571	Min
T	4,07451241	4,09110784	4,17007217	°C
e2	0,66256044	0,75490863	0,758542	Cal
e3	16,1	16,1	16,1	Cal
Hg	11705,8982	10315,7336	10464,7978	cal/g
Hg	49010,2544	43189,9133	43814,0153	KJ/Kg

4.1.2. Análisis de resultados

En la tabla 32 se presentan los valores de las pruebas y el promedio calculado del poder calorífico superior de cada mezcla, mientras que en la figura 71 se exhibe una gráfica de barras con el promedio calculado para cada mezcla.

Tabla 32
Poder calorífico de las mezclas

Mezclas	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
	KJ/Kg			
G. extra	46443,745	44811,096	45576,757	45610,534
E5	45087,391	46616,455	44836,102	45513,317
E10	47222,068	45540,253	43970,391	45577,572
E15	45719,287	45974,468	44707,857	45467,204
M5	47640,845	44831,134	44026,480	45499,488
M10	43508,045	47748,099	45292,186	45516,110
M15	47327,589	44988,461	43973,590	45429,878
E10M5	41567,573	46622,672	48200,014	45463,419
E5M10	49010,254	43189,913	43814,015	45338,062

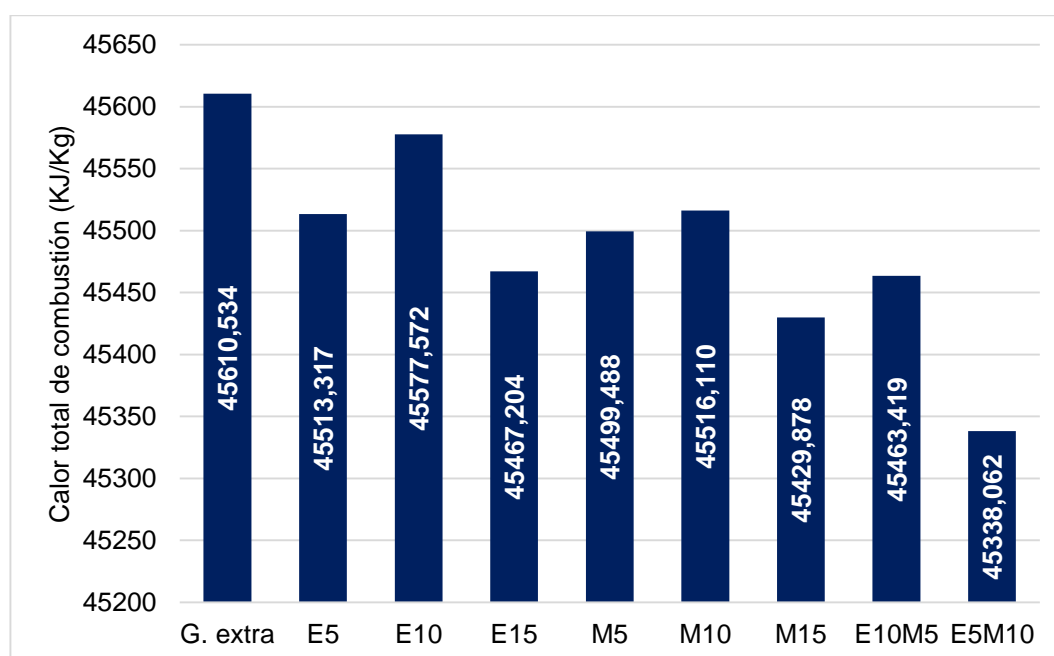


Figura 71 Calor total de combustión de las mezclas

El poder calorífico superior (PCS) de la gasolina extra obtenido experimentalmente con la bomba calorimétrica es de 45610.534 KJ/Kg, éste valor es aproximado al teórico de 44799.97 KJ/Kg presentado en la tabla de propiedades físico-químicas de la gasolina extra (tabla 3).

El mayor valor obtenido se alcanza al utilizar E10 con 45577.572 KJ/Kg teniendo una disminución de 43.962 KJ/Kg respecto a la gasolina extra; mientras que E5M10 de 45338.062 KJ/Kg es la mezcla que menor poder calorífico ofrece, presentando una reducción de 272.472 KJ/Kg.

Se evidencia una tendencia de incremento del poder calorífico al utilizar mezclas de concentración del 10% tanto de etanol como de metanol, siendo mayor la energía suministrada con la mezcla de etanol, dicha tendencia también se observa en las mezclas E10M5 de 45463.419 KJ/Kg y E5M10 de 45338.062 KJ/Kg, siendo mayor la primera debido a que contiene mayor volumen de etanol.

El porcentaje de variación del poder calorífico superior de las muestras respecto al valor de la gasolina extra, se presenta en la figura 72.

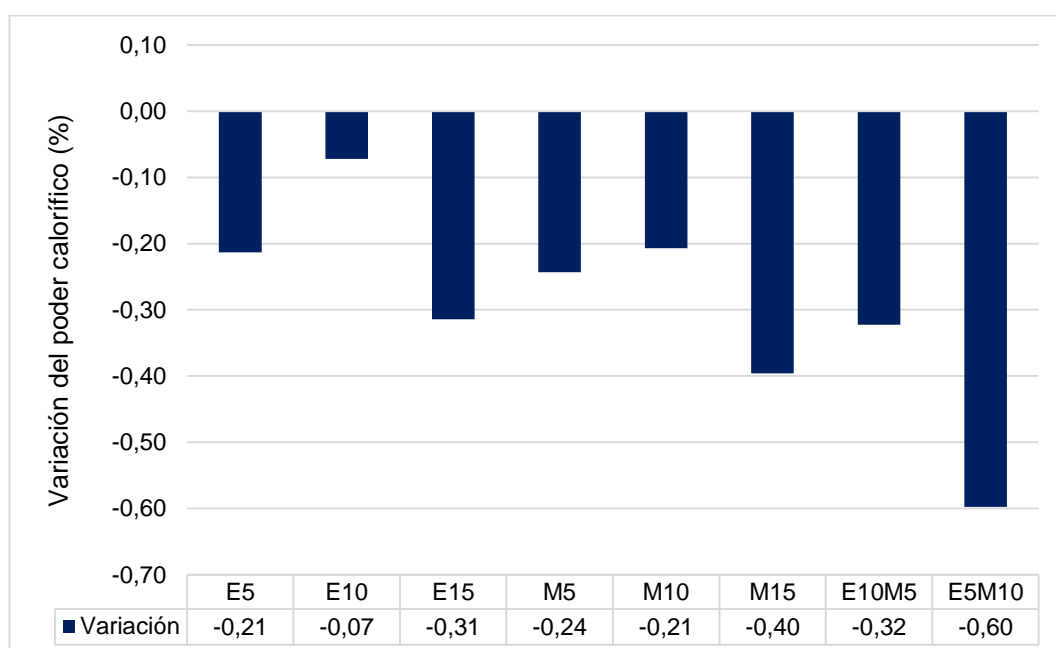


Figura 72 Porcentaje de variación del poder calorífico

Como se observa, el poder calorífico superior de todas las mezclas realizadas respecto al de la gasolina extra disminuye, debido a que tanto el etanol como el metanol poseen un poder calorífico menor. La mezclas que más disminución de poder calorífico presentan son E5M10 y M15 con 0.6% y 0.4% respectivamente; por lo contrario E10 es la mezcla que menor disminución presenta (0.07%). También se observa que E15 y E10M5 presentan una disminución similar con 0.31% y 0.32% respectivamente.

4.2. Índice de Octano

Los resultados de los ensayos de índice de octano se muestran en el informe de laboratorio (figura 73), dicho informe presenta la información general y datos del solicitante, el tipo de envase utilizado y el volumen de muestra, la identificación de la mezcla tanto la empleada por parte del usuario como la codificada en el laboratorio, el nombre del ensayo realizado, la norma utilizada y el valor obtenido, así como el firma de responsabilidad que avala la veracidad del informe.

		ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA LABORATORIO DE PETRÓLEOS		Página 1 de 4 H101	
REPORTE DE ANÁLISIS N°. ALPEP 009-016 ORDEN DE TRABAJO 4409					
INFORMACIÓN GENERAL:					
CLIENTE	CARLOS RUIZ				
MUESTRA	GASOLINA EXTRA	NÚMERO DE MUESTRAS	8		
FECHA RECEPCIÓN	27-01-2016	FECHA DE ENTREGA INFORME	28-01-2016		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:					
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CAPACIDAD	
M10	LPM023-ENE	Gasolina	Plástico	0.91 L.	
RESULTADOS OBTENIDOS:					
MUESTRA	ENSAYO	NORMA	UNIDADES	VALOR OBTENIDO*	
LPM023-ENE	Número de octano (RON)	ASTM D-2699	---	88.4	
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:					
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CAPACIDAD	
ES	LPM024-ENE	Gasolina	Plástico	0.9 L.	
RESULTADOS OBTENIDOS:					
MUESTRA	ENSAYO	NORMA	UNIDADES	VALOR OBTENIDO*	
LPM024-ENE	Número de octano (RON)	ASTM D-2699	---	87.9	
 Ing. Lilliana Guzmán Jefe de Laboratorio de Petróleos					
<small>* Los resultados indicados en este informe sólo afectan a las muestras sometidas a ensayo.</small>					
<small>Ladrón de Guevara E11-020-E.H. Eléctrica Química - 5to piso 012976-200 Est. 4326/4300/4317 lab.petroleos_ing@quimica@epn.edu.ec</small>					

Figura 73 Reporte del ensayo de índice de octano

4.2.1. Tabulación de datos

La tabla 33 presenta los resultados de los ensayos del índice de octano de las distintas mezclas, obtenidos bajo el método Research Octane Number (RON) establecido en la norma ASTM D-2699 para combustibles líquidos de motores ciclo Otto.

Tabla 33
Índice de octano de las muestras

Mezcla	Índice de Octano
E5	87.9
E10	90.2
E15	93.4
M5	87.3
M10	88.4
M15	89.1
E10M5	92.7
E5M10	92.2

4.2.2. Análisis de resultados

Se observan los valores del índice de octano (figura 74) obtenidos para cada una de las mezclas; pudiéndose evidenciar que todos estos superan los 87 octanos, cumpliendo con el mínimo valor que establece la norma ecuatoriana NTE INEN 935:2012 para la gasolina extra.

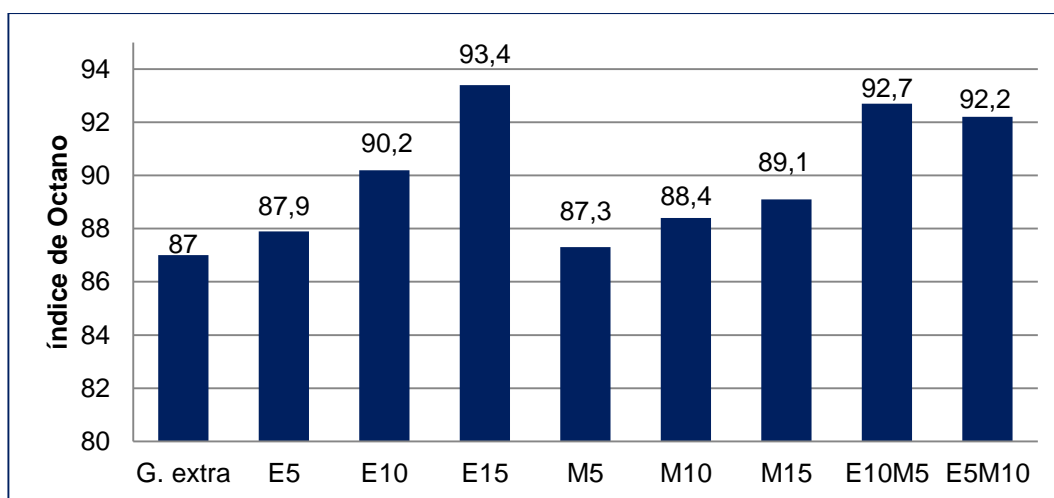


Figura 74 Índice de octano de cada mezcla

El índice de octano se incrementa debido al uso del etanol y metanol como aditivos orgánicos en la gasolina extra, dependiendo de la concentración del alcohol en la mezcla.

La mezcla E15 presenta el mayor índice de octano (93.4) de todas las ensayadas, seguido de E10M5 con un valor de 92.7 y E5M10 de 92.2 octanos; y son estas concentraciones en particular, las que mejor calidad de combustión tienen.

Las mezclas de etanol ofrecen mayor número de octano que las mezclas con metanol, se puede evidenciar claramente al comparar el mismo porcentaje de concentración de los dos alcoholes, es decir, E5 de 87.9 comparado con el 87.3 de M5; E10 tiene un valor de 90.2 superior al 88.4 que presenta M10, E15 (93.4) es mayor al 89.1 de M15 y para finalizar se exhibe además que E10M5 presenta un mayor índice de octano (92.7) frente a un 92.2 de E5M10.

La figura 75 presenta el porcentaje de variación del índice de octano de todas las muestras sometidas a ensayo.

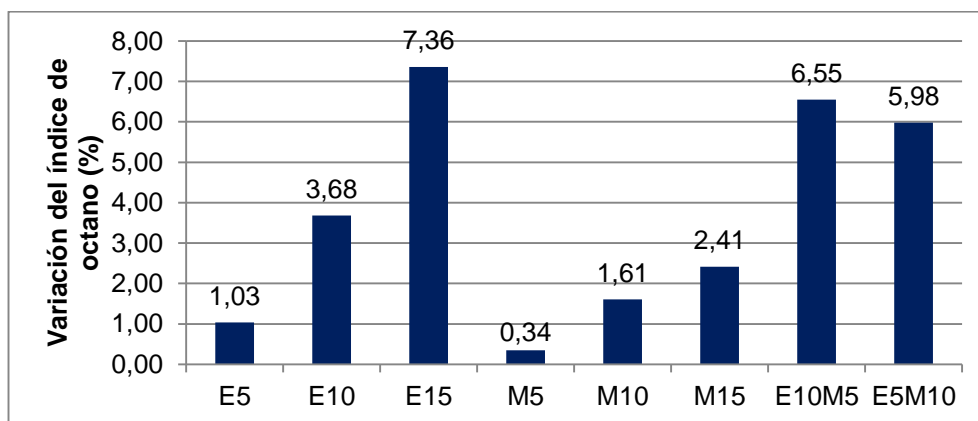


Figura 75 Variación del índice de octano de cada mezcla

Los máximos incrementos del índice de octano son del 7,36%, 6,55% y 5,98% que presentan las mezclas E5, E10M5 y E5M10 respectivamente, mientras que las mezclas M5 (0,34%) y E5 (1,03%) tienen una mínima variación.

4.3. Curvas de rendimiento del motor

Las pruebas de torque y potencia se ilustran de acuerdo a las gráficas y tablas de las figuras 76 y 77 respectivamente, donde se presentan los valores de potencia normal, de motor, de ruedas, de arrastre tanto en HP como en KW y el par normal en lbf.ft, con todos los regimenes en intervalos de 100 rpm donde se resaltan las revoluciones a las que se alcanzaron los puntos máximos torque y potencia.

Se detallan los valores del ambiente como temperatura (°F), humedad (%) y presión (hPa), así como la temperatura del aire aspirado y la del aceite del motor; dichos datos son utilizados por el software para determinar el factor de corrección del torque y la potencia según la norma SAE J1349.

CCICEV		AV. TOLEDO S/N Y MADRID TELEF: 2902831 QUITO - ECUADOR		 LPS 3000 LKW	
Vehículo:	CHEVROLET AVEO XBZ0341	Motor Otto / Sin turbo		Caja Manual	
Matricula:	8LATD687780001863				
Probador:	M. SANTAMARIA				
P.C. SAE 1 4TA MARCHA GASOLINA EXTRA					
Fecha de la medición: 13.01.2016 (9:56)				Página 2	
Tabla de datos					
n [rpm]	v [mph]	P _{Rueda} [HP]	P _{Mot} [HP]	P _{Normal} [HP]	M _{Normal} [lbf.ft]
2100	30.6	10.5	18.4	26.2	65.4
2200	32.1	10.8	19.0	27.0	64.6
2300	33.5	10.9	19.6	27.9	63.6
2400	35.0	11.1	20.4	29.0	63.4
2500	36.4	11.5	21.2	30.2	63.4
2600	37.9	11.8	22.1	31.4	63.3
2700	39.4	12.3	23.1	32.8	63.8
2800	40.8	12.9	24.2	34.4	64.5
2900	42.3	13.5	25.4	36.1	65.3
3000	43.7	14.3	26.7	37.9	66.4
3100	45.2	15.4	28.3	40.3	68.2
3200	46.6	16.7	30.3	43.1	70.7
3300	48.1	18.2	32.3	46.0	73.2
3400	49.6	19.5	34.2	48.6	75.1
3500	51.0	20.2	35.5	50.5	75.8
3600	52.5	20.5	36.4	51.8	75.6
3700	53.9	20.7	37.3	53.0	75.2
3800	55.4	21.1	38.3	54.4	75.2
3900	56.9	21.5	39.4	56.1	75.5
4000	58.3	22.1	40.7	57.9	76.0
4100	59.8	22.6	41.9	59.5	76.2
4200	61.2	23.0	43.1	61.2	76.5
4300	62.7	23.5	44.3	63.0	76.9
4400	64.1	23.9	45.4	64.6	77.1
4500	65.6	23.8	46.2	65.6	76.6
4600	67.1	22.2	45.4	64.6	73.7
4700	68.5	21.5	45.6	64.8	72.4
4800	70.0	21.5	46.3	65.9	72.1
4900	71.4	21.5	47.2	67.1	71.9
5000	72.9	21.6	48.2	68.5	71.9
5100	74.3	21.5	49.1	69.8	71.9
5200	75.8	21.3	50.0	71.1	71.8
5300	77.3	21.0	51.0	72.5	71.8
5400	78.7	20.6	52.0	73.9	71.9
5500	80.2	20.0	52.6	74.8	71.5
5600	81.6	19.3	53.0	75.3	70.6
5700	83.1	18.4	53.2	75.7	69.7
5800	84.5	17.7	53.7	76.3	69.1
5900	86.0	16.8	54.0	76.8	68.4
6000	87.5	15.8	54.3	77.2	67.6
6100	88.9	14.6	54.5	77.4	66.7
6200	90.4	13.3	54.5	77.5	65.6
Valor mínimo		Valor máximo			

Figura 76 Datos de torque y potencia

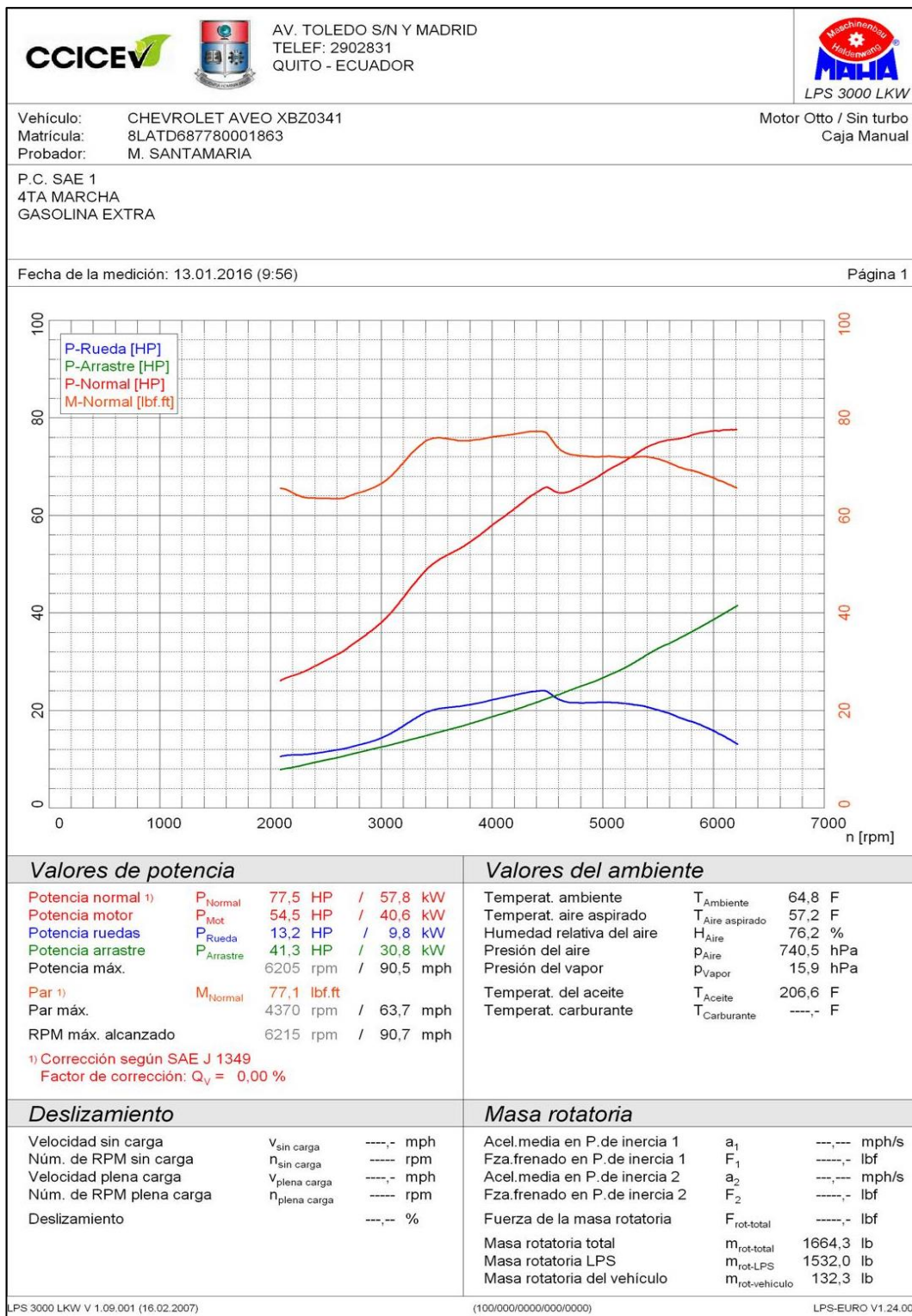


Figura 77 Gráfica de torque y potencia

4.3.1. Tabulación de datos de Torque y Potencia

Se presentan las tablas de potencia y torque que genera el motor del vehículo Aveo Activo 1.4lt con las diferentes mezclas. Las pruebas se ordenaron de acuerdo al máximo valor de potencia alcanzada en cada medición.

a. Potencia

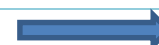
En las tablas 34, 35 y 36 se exhiben los valores de potencia en HP obtenidos en intervalos de 100 rpm al utilizar las distintas mezclas en el vehículo de prueba, los resultados presentados corresponden a la primera, segunda y tercera prueba respectivamente, además se especifican los valores máximos alcanzados.

Tabla 34

Datos de la primera prueba de potencia para cada mezcla

Rpm	Gasolina	E5	E10	E15	M5	M10	M15	E10M5	E5M10
	HP								
2100	27,2	28,2	28,4	*	26,9	*	*	*	*
2200	28,7	29,2	29,5	29,4	27,9	29,7	25,8	24,2	26
2300	29,7	30,2	30,4	30,6	28,9	30,9	27	26	27,1
2400	30,9	31,3	31,4	31,6	30	31,8	28,4	27,8	28,3
2500	32,2	32,5	32,7	32,8	31,1	33	29,6	29,6	29,4
2600	33,5	33,7	33,9	34	32,4	34,4	30,5	31	30,3
2700	34,8	35	35,4	35,1	33,8	35,8	31,6	32,4	31,3
2800	36,5	36,5	37	36,5	35,4	37,1	32,9	33,6	32,5
2900	38,4	38,1	38,9	38,1	37,2	38,7	34	35	33,8
3000	40,5	39,9	40,9	40	39,1	40,5	35,2	36,4	35,2
3100	43	42	43,4	42	41,7	42,5	36,8	38	36,9
3200	45,9	44,4	46,2	44,4	44,5	44,9	38,7	39,9	38,5
3300	48,9	47,2	49,3	47,3	47,5	47,6	40,3	41,6	40,2
3400	51,3	50,1	51,8	50,2	50	50,3	42	43,2	41,8
3500	53	52,5	53,7	52,8	52	52,9	43,3	44,8	43,2
3600	54,4	54,3	55,2	54,8	53,3	54,9	44,6	46,4	44,7
3700	55,8	55,7	56,5	56,4	54,5	56,4	46,1	48,1	46,2
3800	57,3	57	58	57,7	55,9	57,6	47,5	49,7	47,7
3900	58,9	58,4	59,7	58,9	57,5	58,9	48,9	51	49,1

Continua



4000	60,7	60	61,5	60,4	59,3	60,3	50,3	52,3	50,3
4100	62,4	61,8	63,3	62,2	61	61,8	51,6	53,4	51,4
4200	63,9	63,5	64,9	64	62,4	63,5	52,6	54,5	52,1
4300	65,3	64,9	66,6	65,8	64,2	65	53,4	55,2	52,8
4400	66,9	66,4	68,3	67,6	66	66,7	53,8	55,8	53,3
4500	67,6	68	68,9	69,2	66,5	68,4	53,8	56,1	53,3
4600	66,9	68,9	67,8	70,6	64,4	69,5	54,3	56,2	53,6
4700	67,6	68,1	68,4	69,8	64,4	68,2	54,9	56,6	54,2
4800	68,6	68,6	69,7	69,6	65,6	68,1	55,8	57,4	55,2
4900	70	69,8	71,1	70,6	67,3	69,1	56,9	58,5	56,2
5000	71,5	71,1	72,6	71,8	69,1	70,3	58	59,8	57,1
5100	72,9	72,5	74,1	73,2	70,7	71,8	59,3	61,1	58,4
5200	73,9	74	74,9	74,4	72	73,1	60,7	62,3	59,3
5300	75	75	75,7	75,4	73,4	74,2	62,2	63,9	60,8
5400	76,3	76,2	75,9	76,2	74,7	75,3	63,5	65,4	62,1
5500	77,3	76,9	75,8	76,6	75,9	76,2	64,4	66,6	63,1
5600	77,5	77,6	76,1	76,5	76,3	76,9	66,2	67,7	64,4
5700	77,9	78,1	76,3	76,9	76,7	77,3	68,5	68,6	65,7
5800	78	78,4	76,9	77	77,1	77,7	70,6	69,9	66,8
5900	78,4	78,7	77,2	77,2	77,8	78,1	72,3	71,4	67,8
6000	78,6	79,4	77,4	77,5	78,2	78,4	73,9	72,8	69,2
6100	78,6	78,3	77,3	77,6	78,4	78,5	74,9	73,1	69,5
6200	78,7	78	77,2	77,8	78,9	78,7	75,5	74,2	70
6300	*	*	*	*	*	*	76,4	75	71,5
*	Valores no generados por el software								
	Valor máximo de potencia								

Tabla 35
Datos de la segunda prueba de potencia para cada mezcla

Rpm	Gasolina	E5	E10	E15	M5	M10	M15	E10M5	E5M10
	HP								
2100	26,2	29	28	*	28	*	*	*	*
2200	27	30	28	29	29	27,1	26,5	26,8	25,2
2300	27,9	31	30	30	30	29	27,8	28	26,4
2400	29	33	30	31	31	30,8	29,1	29,2	27,8
2500	30,2	34	31	32	32	32,2	30,2	30,4	28,9
2600	31,4	35	33	34	33	33,6	31,2	31,5	29,9
2700	32,8	36	34	35	35	34,8	32,3	32,7	31,1
2800	34,4	38	35	36	36	36,1	33,6	33,9	32,4
2900	36,1	40	36	38	38	37,5	35,2	35,3	33,6

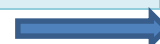
Continua 

3000	37,9	42	38	40	39	39,3	36,6	36,8	34,8
3100	40,3	45	40	42	42	41,1	38,2	38,4	36,3
3200	43,1	47	42	44	44	43,1	39,8	40,1	38,1
3300	46	51	45	47	47	45,4	41,4	41,9	39,6
3400	48,6	53	47	50	50	48,2	43	43,4	40,9
3500	50,5	55	50	53	52	50,9	44,7	45,1	42,2
3600	51,8	56	52	55	54	53,4	46,4	46,9	43,6
3700	53	58	54	56	55	55,3	48,1	48,5	45,3
3800	54,4	59	55	57	57	56,6	49,4	50	46,7
3900	56,1	61	57	58	58	57,8	50,6	51,4	47,8
4000	57,9	63	58	60	60	59,2	51,8	52,7	49
4100	59,5	64	60	62	61	60,8	53	53,9	50,3
4200	61,2	66	61	63	63	62,3	54	54,9	51,1
4300	63	68	63	65	65	63,7	54,9	55,7	51,6
4400	64,6	69	64	67	66	65,3	55,6	56,5	51,9
4500	65,6	69	66	68	68	66,7	55,4	56,2	51,3
4600	64,6	68	67	69	69	68,2	55,5	56,1	51,3
4700	64,8	69	68	68	68	69,5	55,9	56,6	51,8
4800	65,9	70	67	68	68	68,6	56,5	57,5	52,9
4900	67,1	72	68	69	69	68,6	57,9	58,6	54,1
5000	68,5	73	69	70	70	69,5	59	59,7	55,5
5100	69,8	75	70	72	72	70,9	60,3	61	56,9
5200	71,1	76	71	73	73	72,5	61,8	62,2	58,2
5300	72,5	76	73	75	74	73,9	63,2	63,6	60
5400	73,9	77	74	76	75	75	64,5	65	61
5500	74,8	77	75	76	76	76	65,6	66	61,7
5600	75,3	77	75	76	77	76,8	66,8	67,1	62,8
5700	75,7	77	75	76	77	77,2	68,7	68,2	64,2
5800	76,3	78	76	76	77	77,2	70,3	69,2	64,9
5900	76,8	78	76	76	77	77,4	71,4	70,6	66,4
6000	77,2	78	76	77	78	77,5	72	71,6	68
6100	77,4	*	76	77	78	77,8	73,2	73	69,3
6200	77,5	*	77	77	79	78,1	74,7	73,8	70,2
6300	*	*	*	*	*	*	75,6	74,6	71
*	Valores no generados por el software								
	Valor máximo de potencia								

Tabla 36
Datos de la tercera prueba de potencia para cada mezcla

rpm	Gasolina	E5	E10	E15	M5	M10	M15	E10M5	E5M10
	HP								
2100	28,3	28,9	28,2	*	29,1	*	*	*	*
2200	29,4	29,9	29,2	28,2	30,2	29,7	27,1	26,4	24,9
2300	30,3	30,9	30,2	29,2	31,2	30,9	28,2	27,7	26,1
2400	31,3	32	31	30,1	32,2	31,9	29,4	28,9	27,4
2500	32,4	33,3	32,1	31	33,4	33	30,6	30,1	28,6
2600	33,6	34,6	33,2	32,2	34,7	34,3	31,9	31	29,4
2700	34,8	35,9	34,4	33,3	36,1	35,5	33,2	32,2	30,3
2800	36,4	37,4	35,9	34,6	37,8	36,9	34,5	33,4	31,5
2900	38,2	39,2	37,3	36,3	39,6	38,6	35,9	34,8	32,7
3000	40,2	41,3	39	38	41,5	40,4	37,5	36,1	33,9
3100	42,8	43,6	41,2	39,8	44	42,5	39,2	37,6	35,3
3200	45,6	46,4	43,8	42,1	46,9	45	41,2	39,2	37,1
3300	48,4	49,4	46,7	44,8	49,7	47,9	43,5	40,9	38,7
3400	51	52	49,7	47,7	52,4	50,7	46	42,4	40,1
3500	53,1	54	52,4	50,4	54,4	53,1	48,6	44,1	41,4
3600	54,5	55,6	54,2	52,5	55,8	55,1	51,1	45,8	43
3700	55,8	56,9	55,6	54,1	57	56,4	53	47,4	44,5
3800	57,1	58,2	56,8	55,4	58,6	57,7	54,4	48,8	45,7
3900	58,8	59,8	58,1	56,7	60,4	59,2	55,6	50,2	46,8
4000	60,7	61,6	59,7	58,2	62,2	60,7	56,8	51,3	48
4100	62,4	63,4	61,3	59,7	63,9	62,5	58,2	52,4	48,9
4200	64,1	65,1	63,1	61,4	65,6	64,2	59,7	53,3	49,5
4300	66	66,8	65,2	63,2	67,2	65,7	61,1	54	49,9
4400	67,7	68,5	66,9	65	68,5	67,4	62,7	54,7	50,2
4500	68,2	69,9	68,6	66,8	68,8	68,8	63,9	54,7	50,6
4600	67	69	70,1	68,4	68,1	68,8	65	54,9	50,5
4700	67,2	68,6	70,3	67,9	68,5	67,6	66,1	55,6	51
4800	68,4	69,6	69,6	66,9	69,8	67,8	65,8	56,4	52,3
4900	69,7	71,1	69,9	67,8	71,4	69,2	65,1	57,6	53,5
5000	70,9	72,5	71	69,2	72,7	70,9	65,6	58,8	54,5
5100	72,4	74,1	72,2	70,5	73,9	72,5	67	60	55,8
5200	73,5	75,6	73,4	72	74,7	73,5	68,6	61,3	57,2
5300	74,8	76,2	74,5	73,3	75,5	74,5	70,4	62,9	58,7
5400	75,4	76,1	75,5	73,6	76,4	75,4	71,7	64	59,5
5500	75,5	76,1	75,9	73,8	77	76,3	72,5	65,1	60,5
5600	75,4	76,6	75,7	74,5	77,1	76,8	72,8	66,4	61,5
5700	75,5	76,9	75,5	75	77,3	76,7	72,6	67,8	62,7
5800	76	77	75,9	75,4	77,4	76,9	72,9	68,7	63,6

Continua



5900	76,2	77,1	75,8	75,7	77,9	77,2	73,8	69,4	64,5
6000	76,7	77,2	75,9	76,3	78,2	77,6	74,4	70,4	66
6100	76,7	*	76,5	76,7	78	77,7	74,9	71,8	67,1
6200	76,5	*	76,7	76,8	77,6	77,7	75,1	73,3	67,5
6300	*	*	*	*	*	*	75,3	73,9	68,2
*	Valores no generados por el software								
	Valor máximo de potencia								

b. Torque

Se presentan los valores correspondientes de torque en lbf.ft (tablas 37, 38 y 39) para cada potencia generada por el vehículo tanto en la primera, segunda y tercera prueba respectivamente al utilizar las distintas mezclas, se muestran además los valores máximos.

Tabla 37

Datos de la primera prueba de torque para cada mezcla

Rpm	Gasolina	E5	E10	E15	M5	M10	M15	E10M5	E5M10
	lbf.ft								
2100	68,1	69,3	71	*	67,2	*	*	*	*
2200	68,4	69,7	70,4	70,2	66,6	72,9	61,1	57,4	61,7
2300	67,9	68,9	69,5	70	66	72,2	61,1	59	61,5
2400	67,7	68,4	68,7	69,3	65,5	71,2	61,6	60,3	61,5
2500	67,7	68,2	68,6	68,8	65,4	70,4	61,8	61,7	61,3
2600	67,6	68,1	68,6	68,6	65,4	70,2	61,3	62,2	60,8
2700	67,8	68	68,8	68,3	65,7	70,1	61,2	62,6	60,4
2800	68,5	68,4	69,4	68,4	66,3	70,2	61,4	62,8	60,7
2900	69,6	69	70,4	69	67,3	70,8	61,2	63	60,9
3000	71	69,8	71,7	70	68,5	71,7	61,4	63,3	61,5
3100	72,9	71,2	73,5	71,2	70,6	72,7	62,1	64	62,2
3200	75,3	72,9	75,8	72,9	73,1	74,6	63,1	65,2	62,9
3300	77,8	75,1	78,4	75,2	75,5	77	64	66	63,7
3400	79,2	77,4	80,1	77,6	77,2	79,1	64,6	66,5	64,3
3500	79,6	78,8	80,6	79,2	78	80,9	64,8	67	64,7
3600	79,4	79,2	80,5	80	77,8	81,6	64,9	67,5	65,1
3700	79,2	79	80,2	80	77,4	81,4	65,3	68,1	65,5
3800	79,2	78,7	80,1	79,7	77,3	80,9	65,5	68,5	65,9
3900	79,4	78,6	80,3	79,4	77,5	80,9	65,7	68,6	66,1

Continua



4000	79,7	78,8	80,8	79,3	77,9	81,3	66	68,6	65,9
4100	80	79,1	81,1	79,6	78,1	81,6	66	68,4	65,9
4200	79,9	79,4	81,2	80,1	78	81,8	65,8	68,2	65,2
4300	79,7	79,3	81,4	80,3	78,4	82,1	65,2	67,4	64,7
4400	79,9	79,2	81,5	80,7	78,8	82,1	64,3	66,7	63,7
4500	78,9	79,3	80,4	80,8	77,7	81,8	62,9	65,6	62,4
4600	76,4	78,7	77,4	80,6	73,5	80,4	62,1	64,3	61,4
4700	75,5	76	76,4	77,9	72	77,8	61,6	63,4	60,8
4800	75	75	76,3	76,2	71,8	76,6	61,2	63	60,6
4900	75	74,8	76,3	75,7	72,1	76,4	61,1	62,8	60,5
5000	75,1	74,7	76,2	75,4	72,6	76,5	61,1	63,1	60,2
5100	75,1	74,6	76,3	75,4	72,8	76,4	61,3	63,1	60,4
5200	74,6	74,7	75,7	75,1	72,8	76,1	61,6	63,2	60,3
5300	74,3	74,3	75	74,7	72,8	75,5	61,9	63,7	60,6
5400	74,2	74,1	73,8	74,1	72,7	74,8	62,1	64	60,8
5500	73,8	73,4	72,4	73,1	72,5	74,3	62	64	60,7
5600	72,7	72,8	71,3	71,7	71,5	73,6	62,6	64	60,9
5700	71,8	72	70,3	70,9	70,7	72,3	63,7	63,8	61
5800	70,7	71	69,6	69,8	69,9	71,2	64,5	63,8	61
5900	69,8	70,1	68,7	68,7	69,2	70,1	64,9	64,1	61
6000	68,8	69,4	67,8	67,8	68,5	69,4	65,3	64,3	61,2
6100	67,7	*	66,6	66,8	67,5	68,4	65,2	63,7	60,5
6200	67,2	*	65,4	65,9	66,8	67,1	64,6	63,5	60
6300	*	*	*	*	*	*	64,4	63,3	60,1
*	Valores no generados por el software								
	Valor máximo de torque								

Tabla 38
Datos de la segunda prueba de torque para cada mezcla

Rpm	Gasolina	E5	E10	E15	M5	M10	M15	E10M5	E5M10
	lbf.ft								
2100	65,4	73,1	67,4	*	69	*	*	*	*
2200	64,6	72,5	67,8	70,2	69,5	64,6	62,9	63,5	60,1
2300	63,6	71,6	67,5	69,5	68,7	66,1	63	63,4	60,2
2400	63,4	71	66,6	68,5	67,8	67,4	63,3	63,5	60,7
2500	63,4	70,7	66	68,1	67,6	67,7	63,1	63,5	60,7
2600	63,3	70,6	65,8	67,9	67,4	67,8	62,7	63,2	60,4
2700	63,8	70,7	65,7	67,6	67,5	67,7	62,5	63,1	60,4
2800	64,5	71,4	65,6	67,6	67,8	67,7	62,7	63,3	60,7
2900	65,3	72,3	66	68,2	68,3	68	63,4	63,6	60,9

Continua 

3000	66,4	73,7	66,6	69,2	69	68,7	63,9	64,1	60,9
3100	68,2	75,6	67,3	70,4	70,2	69,6	64,4	64,8	61,5
3200	70,7	77,9	68,9	72,2	72,1	70,8	65,1	65,6	62,5
3300	73,2	80,3	70,9	74,6	74,2	72,3	65,7	66,4	63
3400	75,1	81,9	73,1	77,1	76,4	74,4	66,2	66,8	63,2
3500	75,8	82,4	75,1	78,8	78,1	76,4	66,8	67,5	63,3
3600	75,6	82,1	76,2	79,4	78,8	77,9	67,6	68,2	63,7
3700	75,2	81,7	76,6	79,4	78,6	78,5	68,1	68,6	64,2
3800	75,2	81,6	76,6	79	78,1	78,3	68,2	68,9	64,5
3900	75,5	81,9	76,3	78,6	77,9	77,8	68	69	64,4
4000	76	82,1	76,3	78,5	78,1	77,7	67,9	69,2	64,4
4100	76,2	82,5	76,5	78,8	78,4	77,8	67,8	68,9	64,4
4200	76,5	82,6	76,6	79,2	78,6	77,9	67,5	68,6	63,9
4300	76,9	82,7	76,7	79,5	78,8	77,8	67,1	68,1	63,1
4400	77,1	81,9	76,8	79,6	79,1	77,9	66,5	67,5	61,9
4500	76,6	80,3	76,8	79,7	79,4	77,8	64,8	65,7	59,9
4600	73,7	77,7	77	78,8	78,9	77,9	63,5	64,2	58,6
4700	72,4	76,7	76,2	75,4	76,2	77,7	62,5	63,4	57,9
4800	72,1	76,6	73,7	74	74,6	75,1	62	63	57,9
4900	71,9	76,7	72,5	73,8	74	73,5	62,2	63,1	58
5000	71,9	77,1	72,1	74	74	73	62,2	62,9	58,2
5100	71,9	76,9	72,1	74,2	74	73	62,4	63,1	58,6
5200	71,8	76,3	71,9	74,1	73,9	73,2	62,7	63,1	58,8
5300	71,8	75,6	71,8	74	73,6	73,3	63	63,4	59,5
5400	71,9	74,6	71,6	73,6	73,3	72,9	63,1	63,6	59,3
5500	71,5	73,1	71,3	72,8	72,9	72,5	63	63,4	58,9
5600	70,6	72	70,5	71,6	72,2	72,1	63,1	63,4	58,9
5700	69,7	71,3	69,3	70,1	70,9	71,1	63,8	63,3	59,2
5800	69,1	70,4	68,5	69,1	69,7	69,9	64,3	63,1	58,7
5900	68,4	69,7	67,6	68	68,7	68,9	64,1	63,4	59,1
6000	67,6	68,6	66,7	67	68,2	67,9	63,6	63,3	59,5
6100	66,7	*	65,8	66,3	67,4	67	63,7	63,5	59,7
6200	65,6	*	65	65,2	66,5	66,1	64	63,2	59,5
6300	*	*	*	*	*	*	63,8	62,8	59,2
*	Valores no generados por el software								
	Valor máximo de torque								

Tabla 39
Datos de la tercera prueba de torque para cada mezcla

Rpm	Gasolina	E5	E10	E15	M5	M10	M15	E10M5	E5M10
	lbf.ft								
2100	70,7	71,5	69,5	*	72,9	*	*	*	*
2200	70,2	71,5	69,7	67,3	72,2	71	64,6	62,5	59,5
2300	69,3	70,6	68,9	66,7	71,2	70,5	64,5	62,8	59,6
2400	68,5	70	67,9	65,8	70,4	69,8	64,4	62,8	59,9
2500	68	70	67,4	65,2	70,2	69,3	64,3	62,9	60
2600	67,8	69,9	67,1	65,1	70,1	69,3	64,5	62,3	59,4
2700	67,7	69,8	66,9	64,9	70,2	69	64,6	62,4	59
2800	68,3	70,1	67,3	65	70,8	69,2	64,7	62,3	59,1
2900	69,1	71	67,6	65,8	71,7	69,8	65	62,6	59,2
3000	70,3	72,3	68,4	66,4	72,7	70,8	65,6	62,9	59,3
3100	72,5	73,9	69,8	67,5	74,6	72,1	66,4	63,4	59,8
3200	74,8	76,2	71,9	69,2	77	73,9	67,6	64,2	61
3300	77,1	78,6	74,3	71,3	79,1	76,2	69,2	64,7	61,7
3400	78,8	80,4	76,8	73,6	80,9	78,3	71	65,3	61,9
3500	79,6	81	78,6	75,7	81,6	79,7	72,9	66	62,1
3600	79,5	81,1	79	76,7	81,4	80,4	74,5	66,7	62,7
3700	79,2	80,7	78,9	76,8	80,9	80,1	75,2	67,3	63,1
3800	78,9	80,5	78,5	76,6	80,9	79,8	75,2	67,3	63,1
3900	79,1	80,5	78,2	76,4	81,3	79,7	74,9	67,5	63,1
4000	79,7	80,9	78,4	76,4	81,6	79,7	74,6	67,2	63
4100	79,9	81,2	78,5	76,5	81,8	80,1	74,6	67,1	62,6
4200	80,1	81,5	79	76,8	82,1	80,3	74,7	66,6	61,9
4300	80,6	81,6	79,6	77,2	82,1	80,2	74,6	66	61
4400	80,9	81,8	79,9	77,6	81,8	80,5	74,8	65,4	60
4500	79,6	81,6	80,1	78	80,4	80,3	74,6	63,9	59
4600	76,5	78,8	80	78,1	77,8	78,5	74,2	62,9	57,7
4700	75,1	76,7	78,6	75,8	76,6	75,5	73,8	62,3	57
4800	74,8	76,1	76,1	73,3	76,4	74,2	72	62	57,2
4900	74,7	76,2	74,9	72,7	76,5	74,1	69,7	61,9	57,3
5000	74,5	76,2	74,6	72,7	76,4	74,5	68,9	62	57,3
5100	74,5	76,3	74,4	72,7	76,1	74,7	69	62	57,5
5200	74,2	76,3	74,2	72,8	75,5	74,3	69,3	62,2	57,8
5300	74,1	75,5	73,8	72,7	74,8	73,8	69,7	62,6	58,2
5400	73,3	74	73,4	71,6	74,3	73,3	69,7	62,6	57,9
5500	72,1	72,6	72,5	70,5	73,6	72,8	69,2	62,5	57,8
5600	70,7	71,9	71	69,8	72,3	72	68,3	62,7	57,7
5700	69,6	70,9	69,6	69,1	71,2	70,6	66,9	63	57,8
5800	68,8	69,7	68,7	68,3	70,1	69,7	66	62,7	57,5

Continua



5900	67,9	68,7	67,4	67,4	69,4	68,7	65,7	62,4	57,4
6000	67,1	67,6	66,4	66,8	68,4	67,9	65,1	62,2	57,8
6100	66	*	65,8	66	67,1	66,9	64,5	62,5	57,8
6200	64,8	*	65	65,1	65,8	65,8	63,6	62,7	57,2
6300	*	*	*	*	*	*	62,7	62,3	56,8
*	Valores no generados por el software								
	Valor máximo de torque								

4.3.2. Consumo específico de combustible

Los valores de consumo de combustible (l/h) y los valores de densidad (g/ml) conjuntamente con los valores de potencia se utilizan para el cálculo del consumo específico de combustible.

a. Consumo de combustible

En este apartado se exponen los datos de las pruebas de consumo de combustible (tablas 40-48) obtenidos al utilizarlas diferentes mezclas, mediante el uso del interfaz con OBDII ElmScan 5, en rangos de 1000 rpm desde ralentí hasta las 6000 rpm.

Tabla 40
Datos del consumo de combustible al utilizar gasolina extra

Rpm	Consumo (l/h)			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
810	0,64	0,61	0,61	0,620
2000	1,26	1,21	1,24	1,237
3000	1,76	1,66	1,7	1,707
4000	2,41	2,36	2,26	2,343
5000	3,11	3,13	3,15	3,130
6000	4,43	4,48	4,38	4,430

Tabla 41
Datos del consumo de combustible al utilizar E5

rpm	Consumo (l/h)			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
810	0,8	0,78	0,8	0,793
2000	1,34	1,32	1,36	1,340
3000	1,96	1,88	1,83	1,890
4000	2,47	2,48	2,56	2,503
5000	3,38	3,43	3,34	3,383
6000	4,67	4,53	4,48	4,560

Tabla 42
Datos del consumo de combustible al utilizar E10

rpm	Consumo (l/h)			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
810	0,73	0,7	0,7	0,710
2000	1,32	1,27	1,3	1,297
3000	1,85	1,84	1,79	1,827
4000	2,45	2,41	2,5	2,453
5000	3,24	3,31	3,28	3,277
6000	4,51	4,5	4,45	4,487

Tabla 43
Datos del consumo de combustible al utilizar E15

rpm	Consumo (l/h)			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
810	0,63	0,62	0,63	0,627
2000	1,28	1,25	1,26	1,263
3000	1,83	1,8	1,82	1,817
4000	2,44	2,4	2,36	2,400
5000	3,35	3,33	3,27	3,317
6000	4,55	4,54	4,63	4,573

Tabla 44
Datos de consumo de combustible al utilizar M5

rpm	Consumo (l/h)			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
810	0,6	0,61	0,6	0,603
2000	1,21	1,27	1,25	1,243
3000	1,76	1,79	1,75	1,767
4000	2,35	2,4	2,41	2,387
5000	3,22	3,27	3,31	3,267
6000	4,57	4,41	4,34	4,440

Tabla 45
Datos de consumo de combustible al utilizar M10

rpm	Consumo (l/h)			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
810	0,63	0,63	0,62	0,627
2000	1,35	1,35	1,31	1,337
3000	1,96	1,84	1,91	1,903
4000	2,55	2,56	2,42	2,510
5000	3,6	3,34	3,29	3,410
6000	4,49	4,47	4,49	4,483

Tabla 46
Datos de consumo de combustible al utilizar M15

rpm	Consumo (l/h)			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
810	0,62	0,62	0,62	0,620
2000	1,26	1,23	1,23	1,240
3000	1,82	1,81	1,79	1,807
4000	2,34	2,32	2,33	2,330
5000	3,19	3,19	3,21	3,197
6000	4,35	4,34	4,34	4,343

Tabla 47
Datos de consumo de combustible al utilizar E10M5

rpm	Consumo (l/h)			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
810	0,65	0,7	0,61	0,653
2000	1,32	1,36	1,25	1,310
3000	1,86	1,87	1,79	1,840
4000	2,51	2,5	2,44	2,483
5000	3,33	3,39	3,28	3,333
6000	5	4,64	4,49	4,710

Tabla 48
Datos de consumo de combustible al utilizar E5M10

rpm	Consumo (l/h)			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
810	0,59	0,59	0,59	0,590
2000	1,23	1,23	1,23	1,230
3000	1,75	1,76	1,66	1,723
4000	2,33	2,32	2,3	2,317
5000	3,18	3,23	3,16	3,190
6000	4,3	4,39	4,45	4,380

b. Densidad de mezclas

Los valores obtenidos de la densidad de cada mezcla mediante el método del picnómetro se enseñan en la tabla 49.

Tabla 49
Densidades de las mezclas obtenidas con el picnómetro

Combustible	Masa picnómetro vacío (g)	Masa picnómetro lleno(g)	Masa de la mezcla (g)	Volumen de picnómetro (ml)	Densidad (g/ml)
Gasolina extra	16,7273	35,4254	18,6981	25	0,747924
M5	16,6805	35,3532	18,6727		0,746908
M10	17,1704	35,5842	18,4138		0,736552
M15	15,7046	35,0916	19,387		0,77548
E5	16,2470	35,9150	19,668		0,78672
E10	16,7408	35,6137	18,8729		0,754916
E15	17,1505	35,7789	18,6884		0,745136
E10M5	17,0360	36,4684	19,4324		0,777296
E5M10	16,7568	35,6897	18,9329		0,757316

La gasolina extra presenta una densidad de 0.747924 g/ml; la mezcla de mayor densidad es E5 con 0.78672 g/ml, mientras que la menor es M10 (0.736552 g/ml), registrando una variación de 6.37% entre la máxima y la mínima; respecto a las mezclas de etanol, metanol y gasolina extra, E10M5 con 0.777296 g/ml es mayor a E5M10 que tiene un valor de 0.757316 g/ml.

c. Consumo específico de combustible

Los datos de esta sección (tabla 50) permiten analizar el consumo específico de combustible. Éste parámetro de rendimiento se calcula utilizando los valores de potencia y gasto volumétrico a diferentes revoluciones, aplicados a la ecuación 16.

Tabla 50
Cálculo del consumo específico de combustible

Densidad gasolina 0,747924 g/ml

rpm	Consumo		Potencia		Consumo específico de combustible	
	(l/h)	ml/s	B	Ne	be Kg/KW.h	
			Kg/s	HP		KW
2000	1,237	0,344	2,569E-04	26,0	19,388	0,047705964
3000	1,707	0,474	3,546E-04	40,5	30,201	0,042265602
4000	2,343	0,651	4,868E-04	60,7	45,264	0,038720303
5000	3,130	0,869	6,503E-04	71,5	53,318	0,043906788
6000	4,430	1,231	9,204E-04	78,6	58,612	0,056529423

Los resultados obtenidos a los diferentes regímenes del motor, se ilustran en la figura 78 donde se observan las revoluciones a los que se producen el mínimo y máximo consumo, así también el rango de régimen óptimo en el cual el consumo mínimo se extiende.

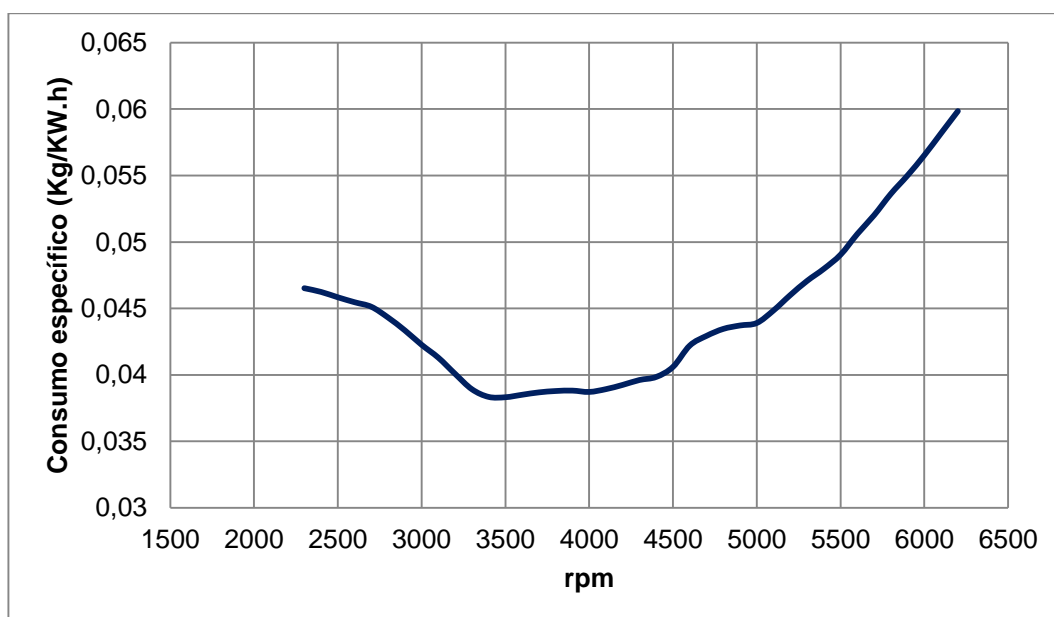


Figura 78. Gráfica de consumo específico de combustible

En la tabla 51 se muestran los valores de consumo específico de combustible para cada régimen del motor en rangos de 100 rpm, donde se resalta el mínimo consumo que presenta cada una de las mezclas.

Tabla 51
Valores de consumo específico de combustible para cada mezcla

rpm	Gasolina extra	E5	E10	E15	M5	M10	M15	E10M5	E5M10
2200	0,0465	0,0524	0,0481	0,0467	0,0484	0,0482	0,0545	0,0610	0,0519
2300	0,0465	0,0526	0,0485	0,0467	0,0485	0,0482	0,0543	0,0589	0,0516
2400	0,0462	0,0526	0,0486	0,0469	0,0485	0,0486	0,0537	0,0571	0,0512
2500	0,0458	0,0524	0,0483	0,0469	0,0485	0,0485	0,0535	0,0555	0,0510
2600	0,0455	0,0523	0,0482	0,0469	0,0481	0,0481	0,0539	0,0547	0,0511
2700	0,0451	0,0520	0,0477	0,0470	0,0477	0,0478	0,0539	0,0541	0,0511
2800	0,0443	0,0514	0,0471	0,0467	0,0470	0,0477	0,0535	0,0538	0,0508
2900	0,0433	0,0508	0,0462	0,0462	0,0462	0,0471	0,0535	0,0532	0,0503
3000	0,0423	0,0500	0,0452	0,0454	0,0453	0,0464	0,0534	0,0527	0,0497
3100	0,0413	0,0490	0,0441	0,0446	0,0439	0,0456	0,0525	0,0522	0,0491
3200	0,0401	0,0478	0,0428	0,0435	0,0426	0,0445	0,0514	0,0514	0,0486
3300	0,0389	0,0464	0,0414	0,0421	0,0412	0,0433	0,0507	0,0509	0,0480
3400	0,0383	0,0450	0,0406	0,0408	0,0404	0,0421	0,0499	0,0506	0,0476
3500	0,0383	0,0441	0,0403	0,0399	0,0400	0,0412	0,0497	0,0503	0,0475
3600	0,0385	0,0439	0,0404	0,0395	0,0402	0,0408	0,0494	0,0500	0,0472
3700	0,0387	0,0439	0,0406	0,0394	0,0404	0,0408	0,0490	0,0496	0,0470
3800	0,0388	0,0441	0,0406	0,0395	0,0405	0,0410	0,0487	0,0494	0,0468
3900	0,0388	0,0441	0,0405	0,0397	0,0405	0,0411	0,0484	0,0494	0,0467
4000	0,0387	0,0440	0,0404	0,0397	0,0403	0,0411	0,0482	0,0495	0,0468
4100	0,0389	0,0442	0,0406	0,0400	0,0406	0,0416	0,0487	0,0501	0,0475
4200	0,0393	0,0445	0,0408	0,0403	0,0411	0,0418	0,0495	0,0507	0,0486
4300	0,0396	0,0450	0,0410	0,0406	0,0414	0,0422	0,0504	0,0517	0,0496
4400	0,0398	0,0454	0,0412	0,0409	0,0416	0,0425	0,0517	0,0527	0,0508
4500	0,0406	0,0457	0,0421	0,0413	0,0426	0,0427	0,0534	0,0540	0,0525
4600	0,0422	0,0464	0,0440	0,0418	0,0453	0,0433	0,0546	0,0555	0,0538
4700	0,0429	0,0483	0,0448	0,0435	0,0467	0,0455	0,0556	0,0567	0,0549
4800	0,0435	0,0493	0,0452	0,0450	0,0472	0,0468	0,0563	0,0574	0,0555
4900	0,0437	0,0498	0,0455	0,0456	0,0473	0,0475	0,0568	0,0579	0,0561
5000	0,0439	0,0502	0,0457	0,0462	0,0474	0,0479	0,0573	0,0581	0,0567
5100	0,0449	0,0509	0,0464	0,0470	0,0479	0,0484	0,0581	0,0592	0,0575
5200	0,0460	0,0516	0,0476	0,0479	0,0487	0,0490	0,0587	0,0604	0,0587
5300	0,0471	0,0526	0,0487	0,0490	0,0494	0,0497	0,0592	0,0611	0,0592
5400	0,0480	0,0534	0,0502	0,0501	0,0501	0,0504	0,0599	0,0619	0,0600
5500	0,0490	0,0545	0,0518	0,0515	0,0509	0,0512	0,0609	0,0629	0,0609
5600	0,0506	0,0556	0,0532	0,0532	0,0521	0,0521	0,0610	0,0640	0,0616
5700	0,0520	0,0568	0,0547	0,0545	0,0534	0,0532	0,0607	0,0653	0,0622
5800	0,0536	0,0582	0,0559	0,0561	0,0546	0,0543	0,0606	0,0661	0,0630
5900	0,0550	0,0596	0,0572	0,0576	0,0557	0,0553	0,0608	0,0668	0,0638
6000	0,0565	0,0607	0,0587	0,0590	0,0569	0,0565	0,0611	0,0674	0,0643
6100	0,0582	0,0627	0,0603	0,0605	0,0583	0,0578	0,0609	0,0691	0,0657
6200	0,0598	0,0643	0,0620	0,0620	0,0596	0,0590	0,0610	0,0700	0,0670
	Consumo mínimo de combustible								

4.3.3. Gráficas comparativas y análisis de resultados de las curvas de rendimiento del motor

De la figura 79 a la 87, se exponen las curvas características del motor (torque, potencia y consumo específico de combustible) cuando éste es alimentado con gasolina extra, E5, E10, E15, M5, M10, M15, E10M5 y E5M10 respectivamente, además del análisis combinado de éstos parámetros a los diferentes regímenes, lo que permite comprender el comportamiento de cada mezcla en el rendimiento del motor.

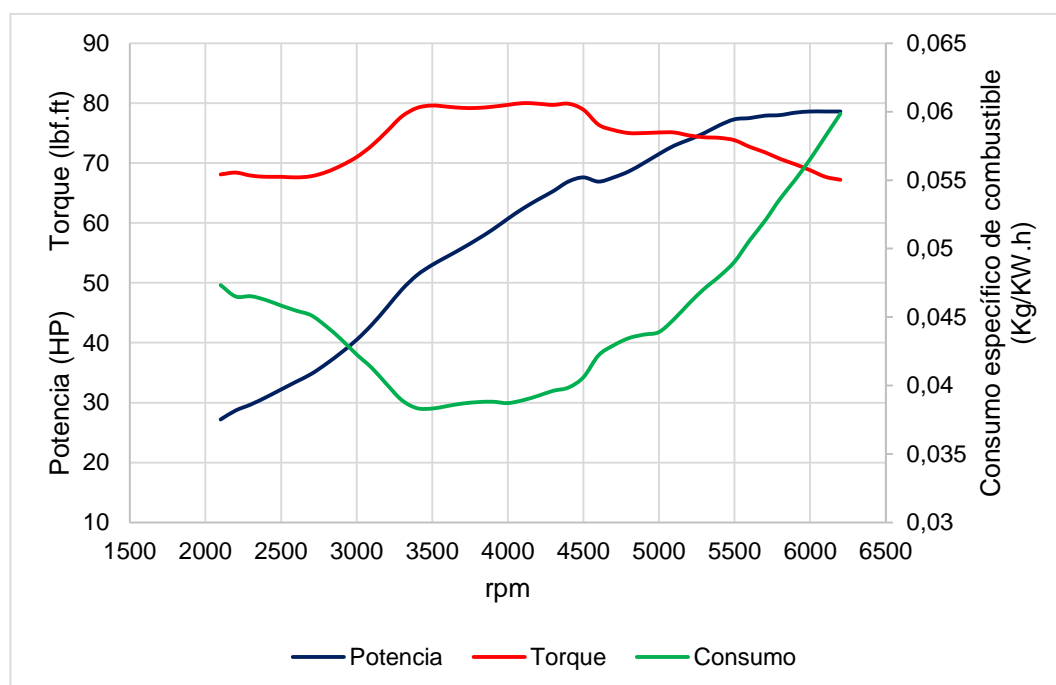


Figura 79 Curvas características del motor al utilizar gasolina extra

El torque máximo que genera el motor al utilizar gasolina extra es de 80 lbf.ft obtenido a 4125 rpm, con una potencia máxima de 78.6 HP a 6180 rpm; de la gráfica se obtiene el mínimo consumo de combustible de 0.0383 Kg/KW.h a 3500 rpm con una potencia de 53 HP y un rango de régimen óptimo que va de 3500 a 4000 rpm donde se tiene un mínimo consumo, un torque constante alto y una potencia en aumento.

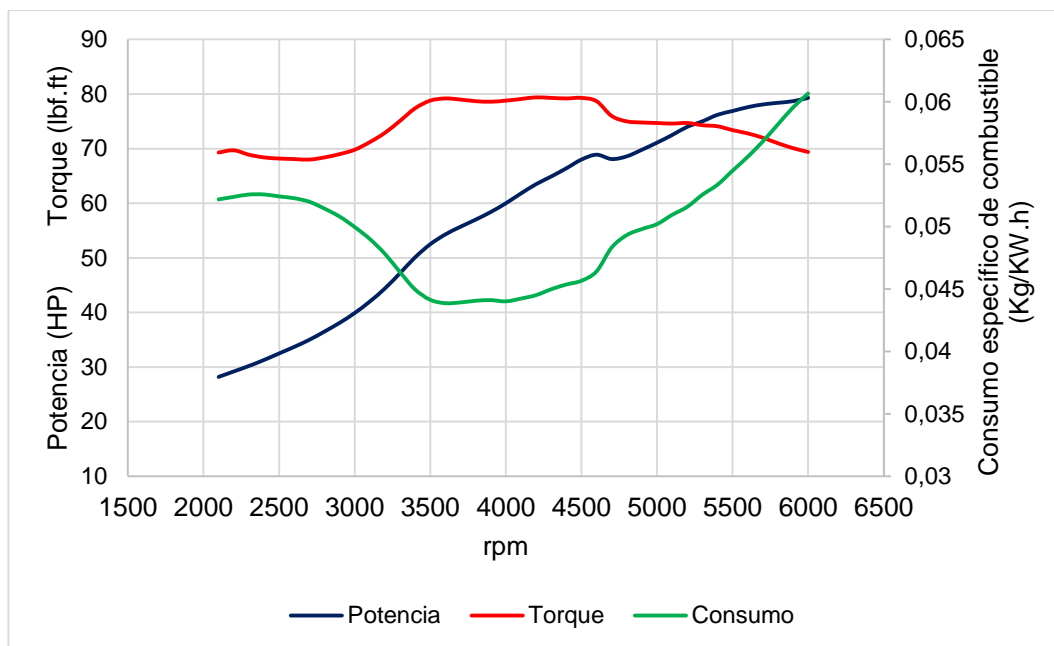


Figura 80 Curvas características del motor al utilizar E5

Al usar E5 en el motor, éste genera 79.4 lbf.ft como torque máximo a 4255 rpm, una potencia máxima de 79.4 HP en un régimen de 6040 rpm, un consumo mínimo (0.0439 Kg/KW.h) con una potencia de 54.3 HP a 3600 rpm, además se evidencia el rango óptimo de trabajo que va de 3600 a 4100 rpm.

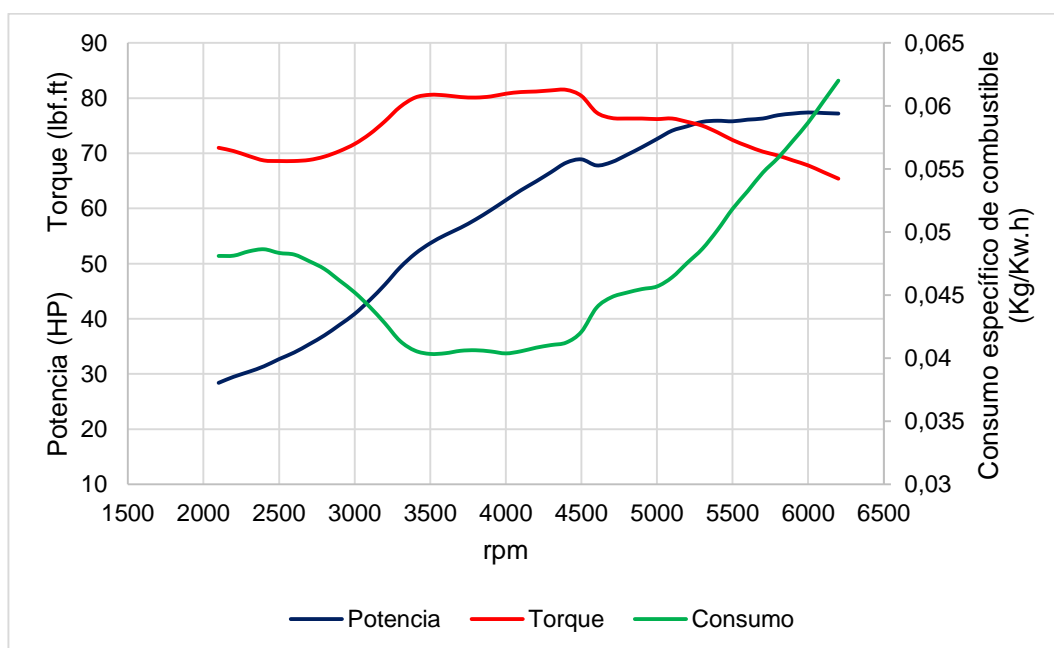


Figura 81 Curvas características del motor al utilizar E10

Con E10, a 4385 rpm se obtiene el torque máximo con un valor de 81.5 lbf.ft, mientras que a 5990 rpm se alcanza la potencia máxima (77.4 HP); el régimen de mínimo consumo es 3500 rpm con una potencia generada y un consumo de 53.7 HP y 0.0403 Kg/KW.h respectivamente, finalmente el rango óptimo de trabajo está entre 3400 y 4100 rpm.

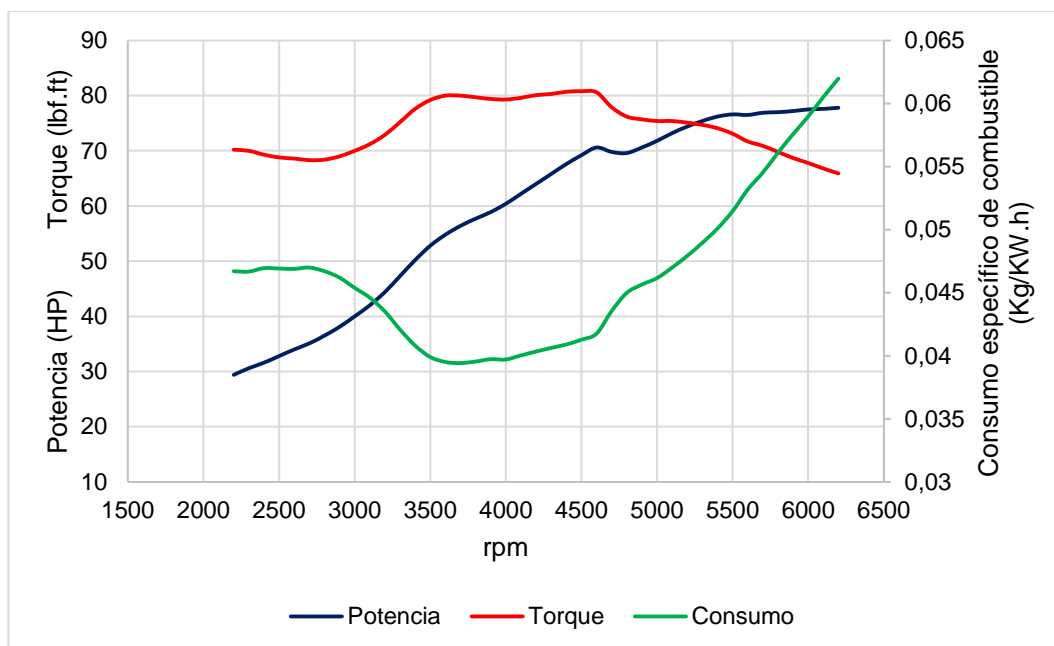


Figura 82 Curvas características del motor al utilizar E15

El motor al utilizar E15 genera un torque máximo de 80.8 lbf.ft a 4515 rpm, una potencia máxima (77.8 HP) con un régimen de 6200 rpm, mientras que el consumo mínimo es 0.0394 Kg/KW.h a 3700 rpm donde se genera una potencia de 56.4 HP, además en la gráfica se observa un rango óptimo que se encuentra entre 3600 y 4000 rpm, donde el motor presenta el mejor rendimiento.

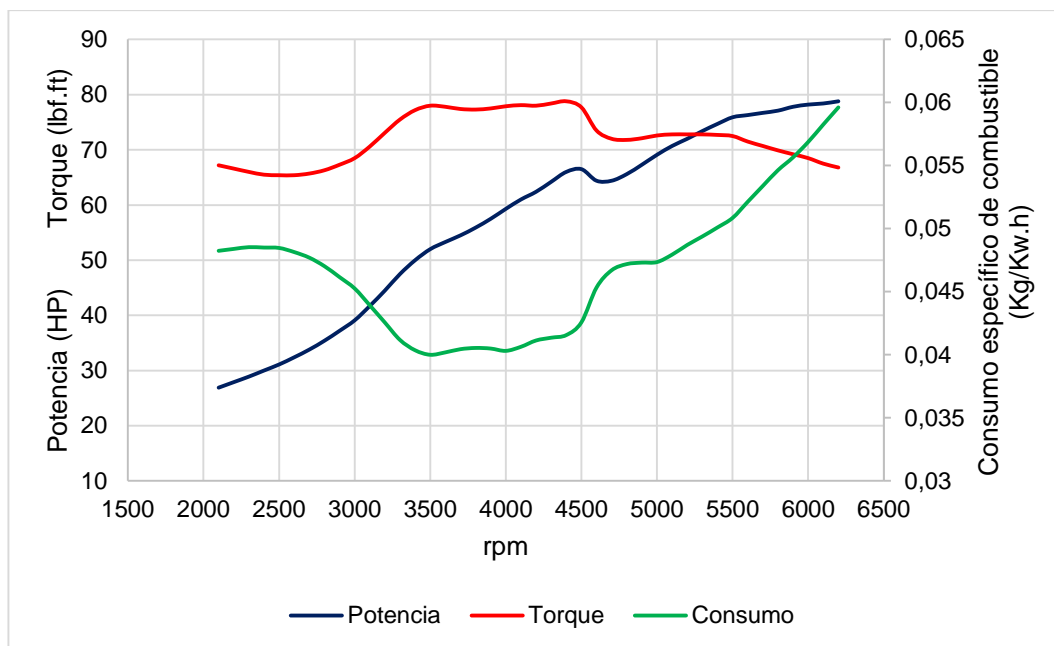


Figura 83 Curvas características del motor al utilizar M5

El torque máximo que genera el motor al utilizar M5 es 78.8 lbf.ft obtenido a 4420 rpm, mientras que la potencia máxima es 78.9 HP a un régimen de 6220 rpm; de la gráfica se obtiene además la potencia de mínimo consumo (52 HP) y el mínimo gasto de combustible (0.0400 Kg/KW.h) a 3500 rpm, con un rango de régimen óptimo que va de 3500 a 4000 rpm.

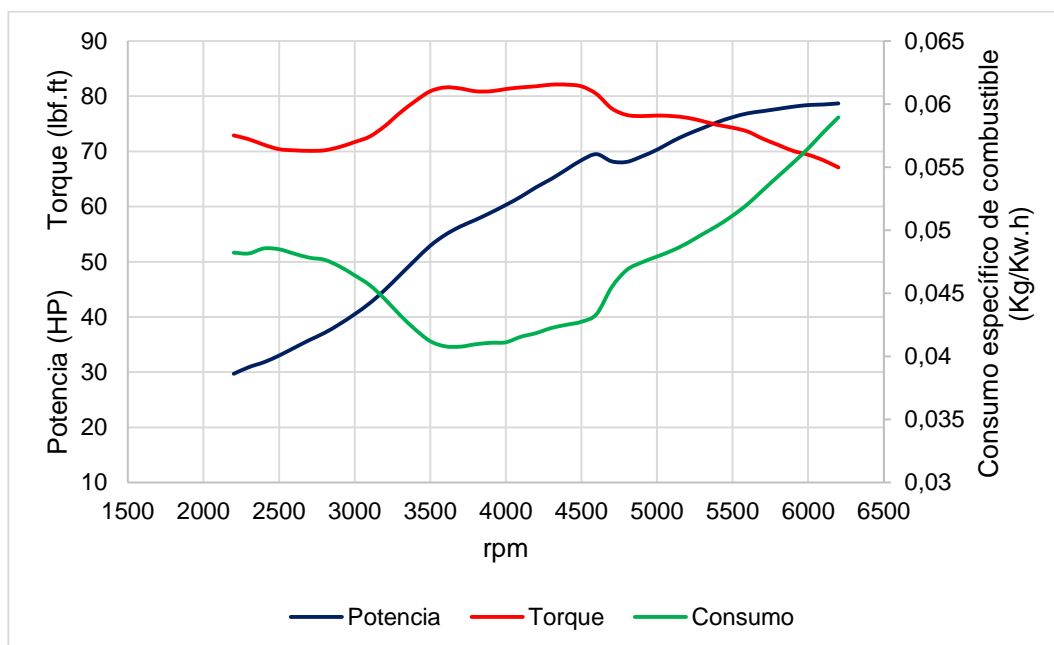


Figura 84 Curvas características del motor al utilizar M10

El motor al utilizar M10 genera un torque máximo de 80.1 lbf.ft a 4260 rpm, su potencia máxima es 78.7 HP a 6230 rpm, mientras que el consumo mínimo es 0.0408 Kg/KW.h a 3700 rpm donde se genera una potencia de 56.4 HP, además en la gráfica se aprecia el rango óptimo de 3600 a 4000 rpm, donde el motor ofrece sus mejores prestaciones.

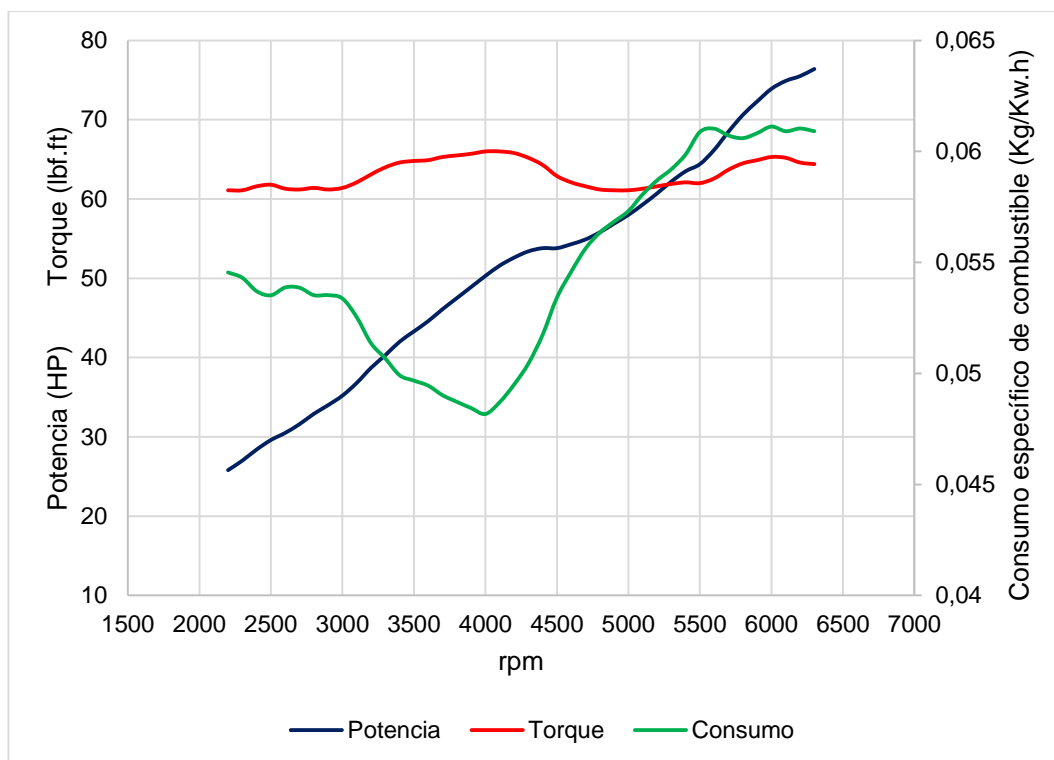


Figura 85 Curvas características del motor al utilizar M15

Al usar M15 en el motor, éste genera un torque máximo de 66.1 lbf.ft a 4070 rpm, su potencia máxima es 76.4 HP en un régimen de 6310 rpm, un consumo mínimo de 0.0482 Kg/KW.h con una potencia de 50.3 HP a 4000 rpm, y su rango óptimo de trabajo que va de 3700 a 4100 rpm.

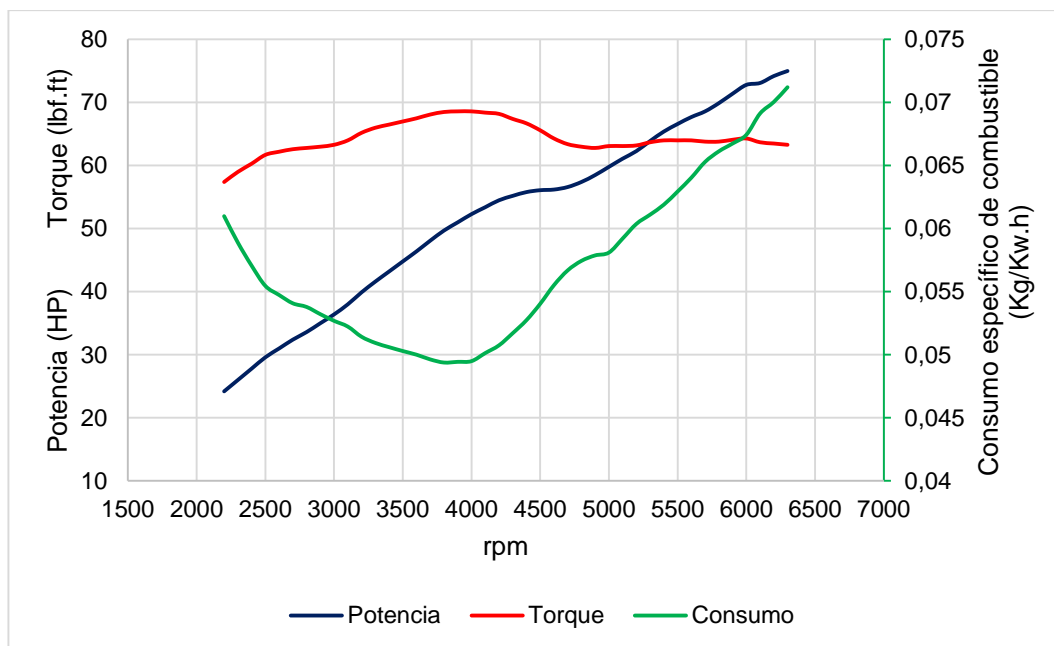


Figura 86 Curvas características del motor al utilizar E10M5

Cuando el motor es alimentado con E10M5, se tiene que a 3765 rpm el torque máximo es 75.3 lbf.ft, mientras que a 6325 rpm se alcanza la potencia máxima (75.1 HP); el régimen de mínimo consumo es de 3800 rpm con 0.0494 Kg/KW.h y una potencia generada de 49.7 HP, finalmente el rango óptimo de trabajo está entre 3600 y 4000 rpm.

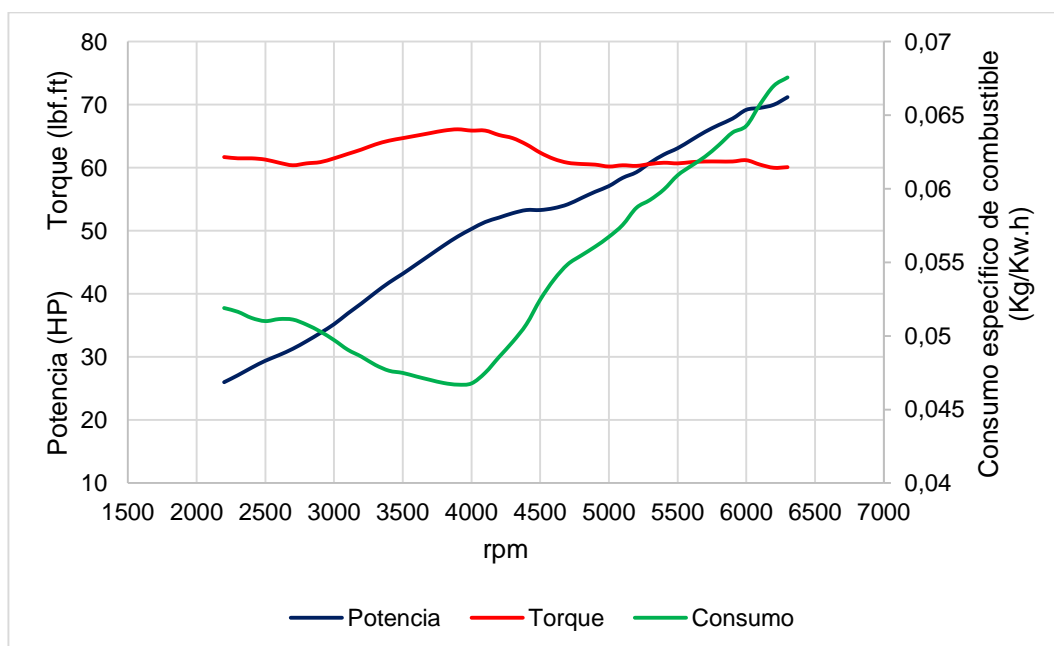


Figura 87 Curvas características del motor al utilizar E5M10

El torque máximo que genera el motor al ser alimentado con E5M10 es 66.1 lbf.ft obtenido a 3895 rpm, mientras que la potencia máxima es 71.5 HP a un régimen de 6320 rpm; de la gráfica se obtiene además que el mínimo consumo de 0.0467 Kg/KW.h a 3900 rpm genera una potencia de 49.1 HP y finalmente el rango de régimen óptimo va de 3500 a 4000 rpm.

La figura 88 muestra una gráfica comparativa con los máximos valores de potencia obtenidos en las pruebas con cada una de las mezclas.

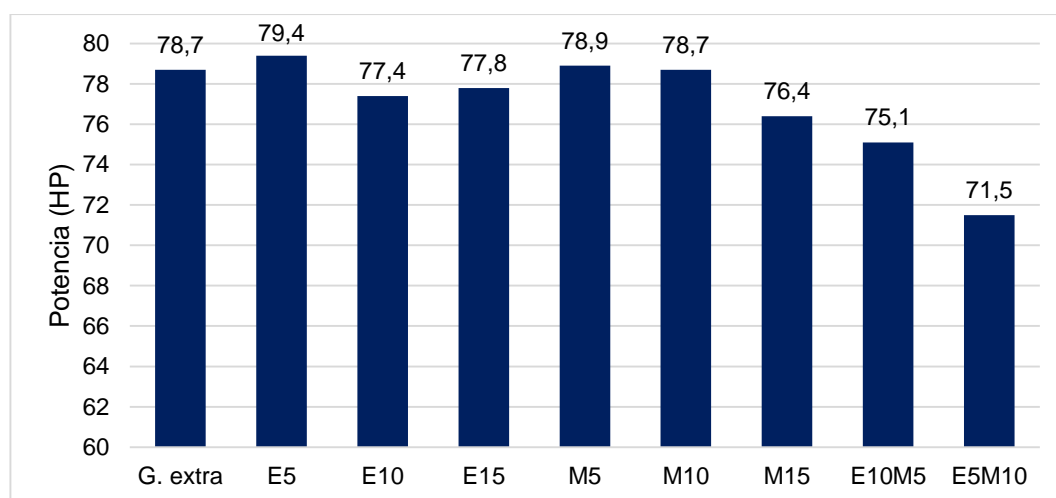


Figura 88 Potencias máximas con cada mezcla

Las mezclas de E5 (79.4 HP) y M5 (78.9 HP), presentan un incremento de potencia respecto a la gasolina extra de 78.7 HP; para las demás mezclas el valor disminuye al ir aumentando la concentración de alcoholes, igualmente se refleja que las menores potencias que genera el motor ocurren cuando éste es alimentado con las mezclas E10M5 y E5M10 obteniendo 75.1 HP y 71.5 HP respectivamente.

Los valores de variación de potencia que el motor genera al utilizar las distintas mezclas se aprecian en la figura 89.

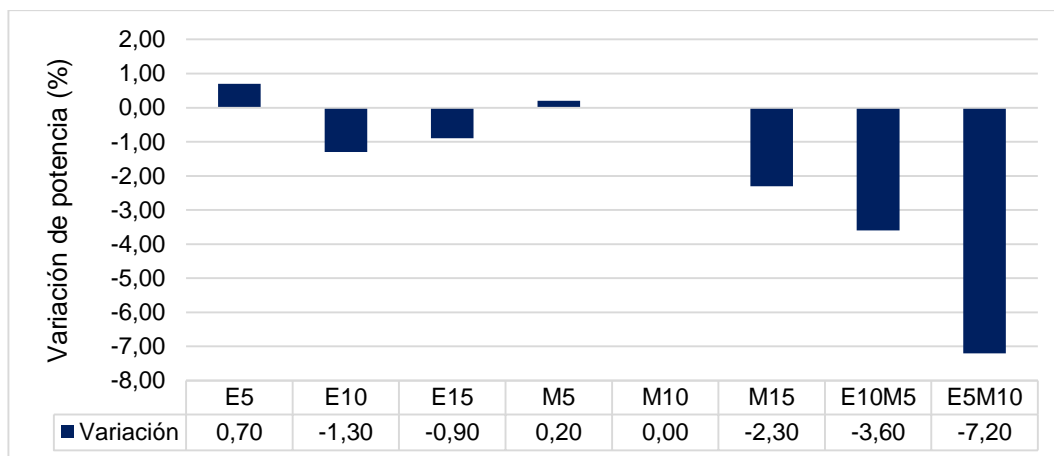


Figura 89 Variación de potencia en función de la gasolina extra

Se observa que existe un aumento de potencia del 0.7% y 0.2% con las mezclas E5 y M5 respectivamente, mientras que las demás presentan una disminución de potencia a comparación de la gasolina extra. Además se evidencia que M10 ofrece una potencia igual que al utilizar gasolina.

Las disminuciones más notorias en la potencia se producen con E5M10 (7.2%), seguida de la mezcla E10M5 con un 3.6%, ya que para las demás mezclas no se evidencia una variación considerable.

Se aprecian los valores máximos de torque que produce el motor al utilizar las distintas mezclas (figura 90).

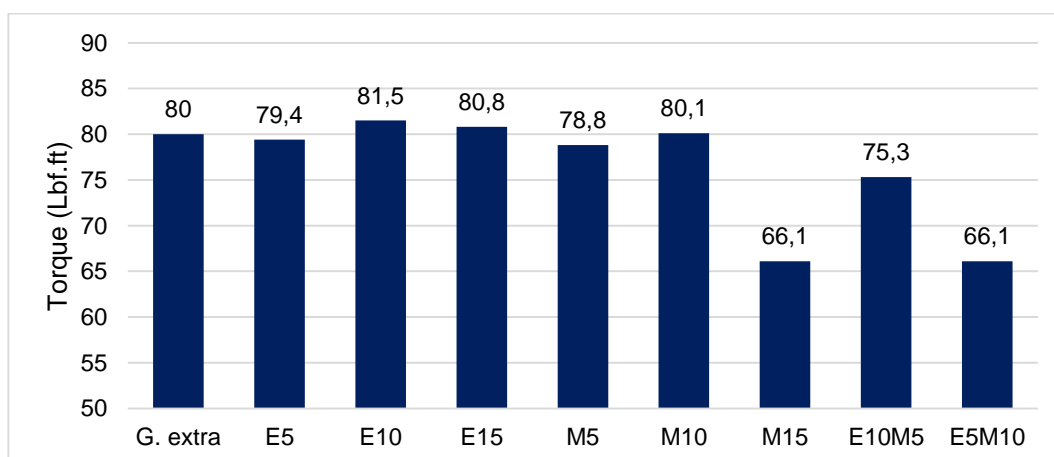


Figura 90 Torques máximos con cada mezcla

Al utilizar gasolina extra como combustible base se logra obtener un valor de 80 lbf.ft; el torque máximo de las mezclas es 81.5 lbf.ft y se obtiene cuando el motor trabaja con E10, por otro lado, el torque mínimo es 66.1 lbf.ft cuando se utiliza M15 y E5M10. La mezcla M10 ofrece un valor similar al de la gasolina con un incremento de apenas 0.1 lbf.ft.

En la figura 91 se presenta la variación (%) entre los valores de torque máximo de las distintas pruebas realizadas.

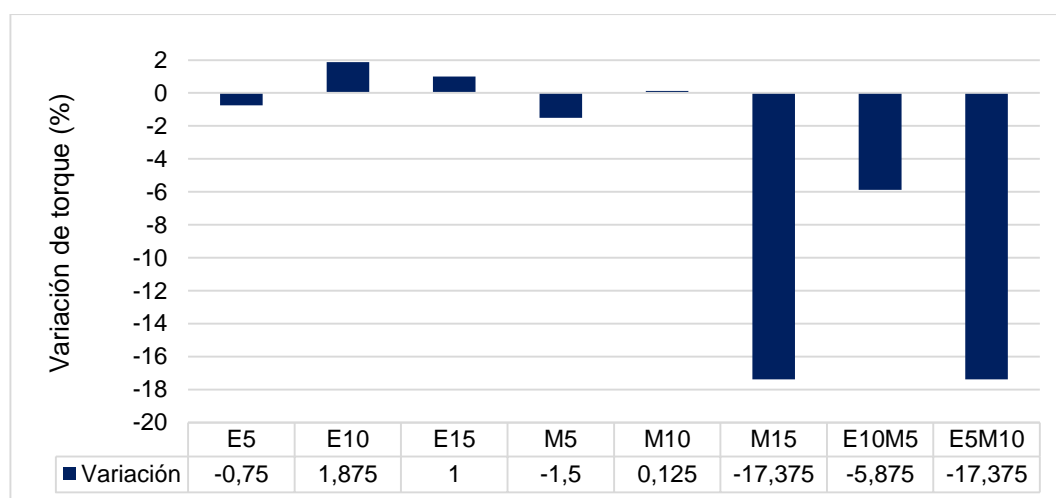


Figura 91 Variación de torque en función de la gasolina extra

Tomando como base a la gasolina extra, se nota que sólo con E10, E15 y M10 se incrementa el torque a razón de 1,875%, 1% y 0,125% respectivamente, mientras que con el resto de mezclas el torque disminuye, además M10 posee un valor similar al obtenido con gasolina extra ya que su incremento es de apenas un 0,125%; las mezclas que menor torque presentan son M15 y E5M10 teniendo una disminución del 17,375% cada una.

El consumo de combustible que presenta el motor en Kg/KW.h, al utilizar las diferentes mezclas se observa en la figura 92.

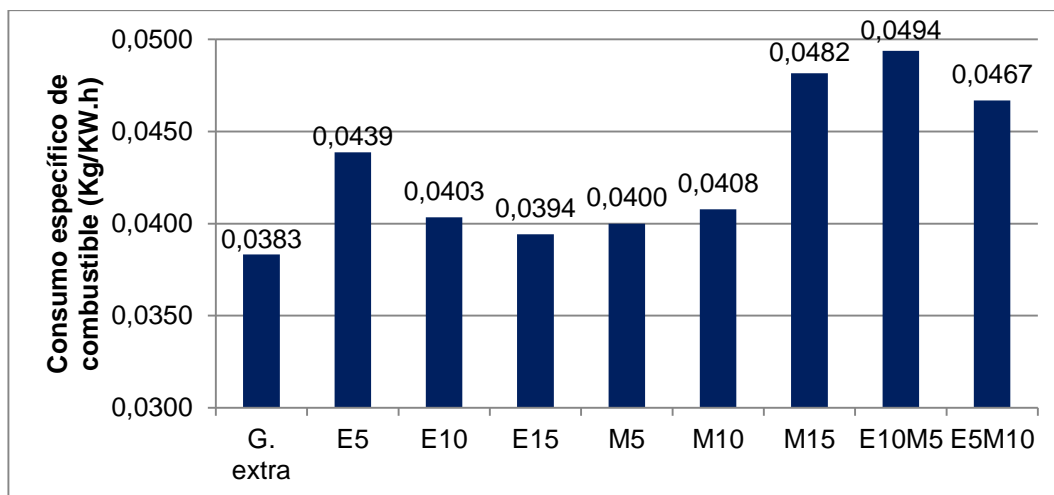


Figura 92 Consumo mínimo de combustible con cada mezcla

La figura 93 ilustra la variación del consumo específico de combustible en porcentaje (%).

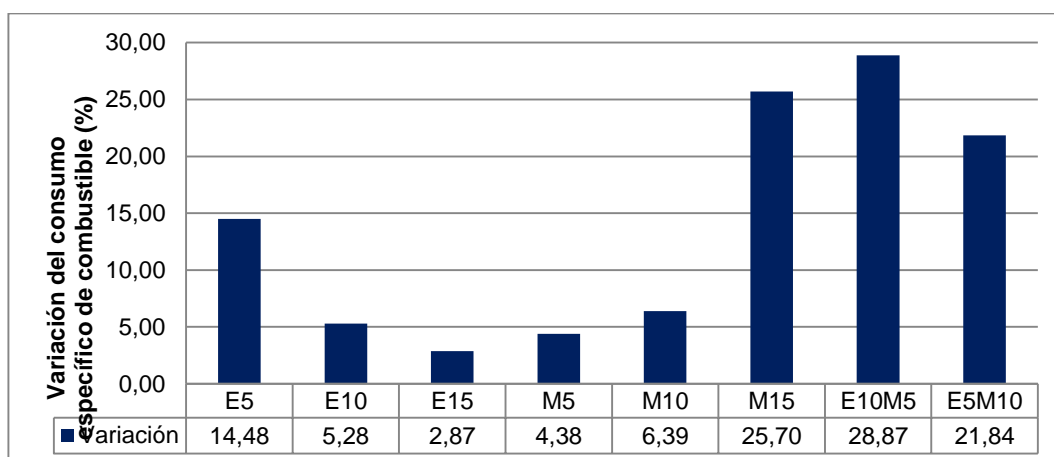


Figura 93 Variación de consumo específico en función de la gasolina extra

De acuerdo a las figuras 92 y 93, se puede apreciar un incremento del consumo de combustible de todas las mezclas con respecto a la gasolina extra, por lo que se necesita mayor cantidad de combustible para alcanzar prestaciones similares a las que ofrece el motor cuando éste es alimentado con gasolina.

El consumo específico de la gasolina extra es 0.0383 Kg/KW.h, el máximo valor de consumo de combustible es 0.0494 Kg/KW.h y se produce al utilizar E10M5, teniendo un aumento del 28,87% seguido de las mezclas

M15 y E5M10 con 0.0482 Kg/KW.h (25.7%) y 0.0467 Kg/KW.h (21.84%) respectivamente, mientras que E15 con 0.0394 Kg/KW.h es la mezcla que menor consumo de combustible presenta al tener un incremento de apenas 2,87%.

4.4. Emisiones contaminantes

Para determinar el nivel de emisiones contaminantes que genera el motor del vehículo con las distintas mezclas se realizaron pruebas estáticas, en las cuales se pueden analizar variables como: contenido de hidrocarburos, monóxido de carbono, dióxido de carbono y oxígeno.

4.4.1. Tabulación de datos de emisiones contaminantes

Las emisiones promedio de HC (ppm), CO (%), CO₂ (%) y O₂ (%) producidas por el motor a ralentí (810 rpm) y a velocidad crucero (2000 – 2750 rpm) al utilizar las distintas mezclas realizadas se muestran en las tablas 52 hasta la 60; las mediciones se llevan a cabo con el analizador que contempla los valores permisibles que establece la norma ecuatoriana sobre emisiones contaminantes. El equipo debe ser calibrado con gas de baja cada 90 días.

Tabla 52
Emisiones al utilizar gasolina extra

Ralentí (810 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	14,00	14,15	14,00	14,05
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂ (%)	14,21	14,27	14,25	14,24
O₂ (%)	0,21	0,18	0,20	0,20
Crucero (2000 - 2750 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	14,80	15,00	14,95	14,92
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂ (%)	14,30	14,35	14,32	14,32
O₂ (%)	0,12	0,14	0,16	0,14

Tabla 53
Emisiones al utilizar E5

Ralentí (810 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	6,00	6,00	5,00	5,67
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,23	14,23	14,23	14,23
O2 (%)	0,27	0,27	0,23	0,26
Crucero (2000 - 2750 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	9,00	11,00	10,00	10,00
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,31	14,27	14,27	14,28
O2 (%)	0,19	0,16	0,14	0,16

Tabla 54
Emisiones al utilizar E10

Ralentí (810 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	4,00	3,00	1,00	2,67
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,19	14,24	14,25	14,23
O2 (%)	0,22	0,18	0,16	0,19
Crucero (2000 - 2750 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	11,00	12,00	10,00	11,00
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,21	14,25	14,23	14,23
O2 (%)	0,14	0,15	0,12	0,14

Tabla 55
Emisiones al utilizar E15

Ralentí (810 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	4,00	3,00	2,00	3,00
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,27	14,23	14,19	14,23
O2 (%)	0,18	0,23	0,17	0,19
Crucero (2000 - 2750 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	10,00	8,00	11,00	9,67
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,26	14,28	14,25	14,26
O2 (%)	0,16	0,13	0,15	0,15

Tabla 56
Emisiones al utilizar M5

Ralentí (810 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	4,00	5,00	3,00	4,00
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,22	14,27	14,20	14,23
O2 (%)	0,16	0,20	0,17	0,18
Crucero (2000 - 2750 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	12,00	13,00	13,00	12,67
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,24	14,21	14,24	14,23
O2 (%)	0,10	0,17	0,16	0,14

Tabla 57
Emisiones al utilizar M10

Ralentí (810 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	3,00	3,00	3,00	3,00
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,36	14,33	14,39	14,36
O2 (%)	0,16	0,21	0,17	0,18
Crucero (2000 - 2750 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	9,00	7,00	8,00	8,00
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,38	14,36	14,37	14,37
O2 (%)	0,15	0,15	0,14	0,15

Tabla 58
Emisiones al utilizar M15

Ralentí (810 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	6,00	6,00	5,00	5,67
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,35	14,31	14,31	14,32
O2 (%)	0,17	0,17	0,20	0,18
Crucero (2000 - 2750 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	10,00	9,00	9,00	9,33
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,36	14,38	14,30	14,35
O2 (%)	0,09	0,07	0,09	0,08

Tabla 59
Emisiones al utilizar E10M5

Ralentí (810 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	13,00	7,00	7,00	9,00
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,18	14,17	14,18	14,18
O2 (%)	0,25	0,22	0,25	0,24
Crucero (2000 - 2750 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	17,00	12,00	9,00	12,67
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,25	14,22	14,23	14,23
O2 (%)	0,16	0,15	0,16	0,16

Tabla 60
Emisiones al utilizar E5M10

Ralentí (810 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	4,00	2,00	2,00	2,67
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,22	14,26	14,16	14,21
O2 (%)	0,20	0,20	0,20	0,20
Crucero (2000 - 2750 rpm)				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
HC (ppm)	14,00	13,00	9,00	12,00
CO (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2 (%)	14,23	14,23	14,15	14,20
O2 (%)	0,17	0,17	0,18	0,17

4.4.2. Gráficas comparativas de emisiones contaminantes respecto a la norma NTE INEN 2204:2002

a. Pruebas a marcha mínima o ralentí

En la figura 94 se presentan los valores de hidrocarburos no combustionados producidos por el motor en condiciones de prueba estática al utilizar las diferentes mezclas de combustible, comparados con el valor máximo permitido por la norma NTE INEN 2 204:2002, a ralentí.

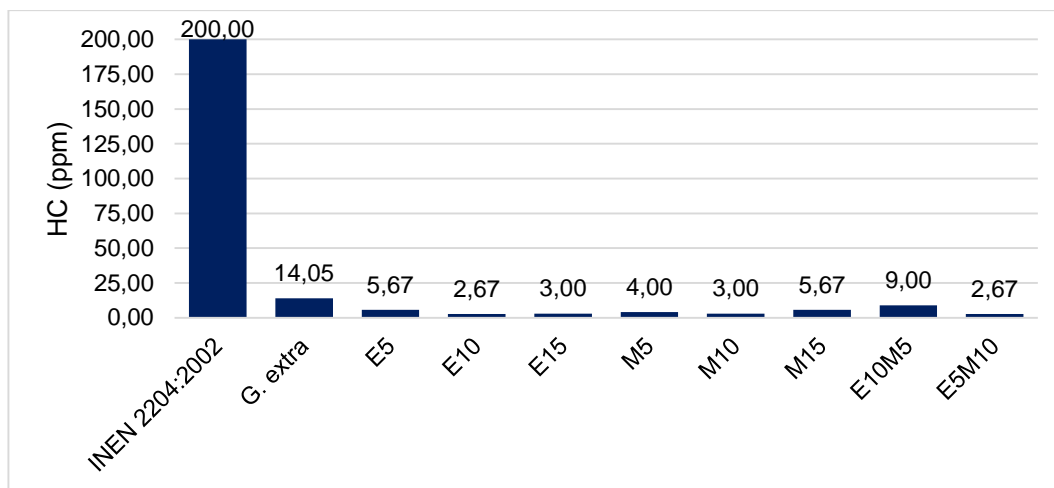


Figura 94 Resultados de HC con las mezclas a ralenti

Se evidencia que los valores de HC que produce el motor al ser alimentado con todas las mezclas están muy por debajo del valor máximo de 200 ppm que especifica la norma ecuatoriana, además se observa que todas las mezclas tienden a disminuir la concentración de HC en los gases de escape con respecto a las emisiones cuando se utiliza gasolina extra.

Las mezclas que menos emisiones de HC generan son E10 y E5M10 cada una con 2.67 ppm, seguidas de E15 con 3 ppm al igual que M10, mientras que E10M5 es la mezcla que mayor emisiones de HC produce (9 ppm).

Se muestran los resultados obtenidos de las emisiones de monóxido de carbono (CO) en la figura 95 para cada una de las mezclas de prueba.

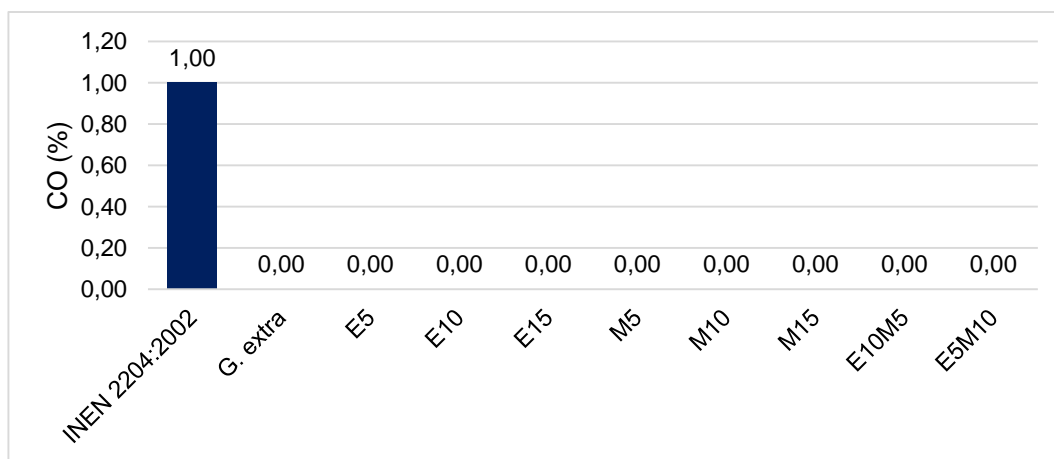


Figura 95 Resultados de CO con las mezclas a ralenti

Los resultados de la medición de CO muestran que ninguna mezcla produce emisiones que superen al valor máximo de 1% que especifica la norma ecuatoriana para la condición de ralentí; considerando que la apreciación del analizador de gases es centesimal (0.01 mínimo) por lo que no permite la medición de concentraciones en valores de milésimas o menores.

Los resultados obtenidos de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) al ambiente bajo la condición de ralentí se detallan en la figura 96.

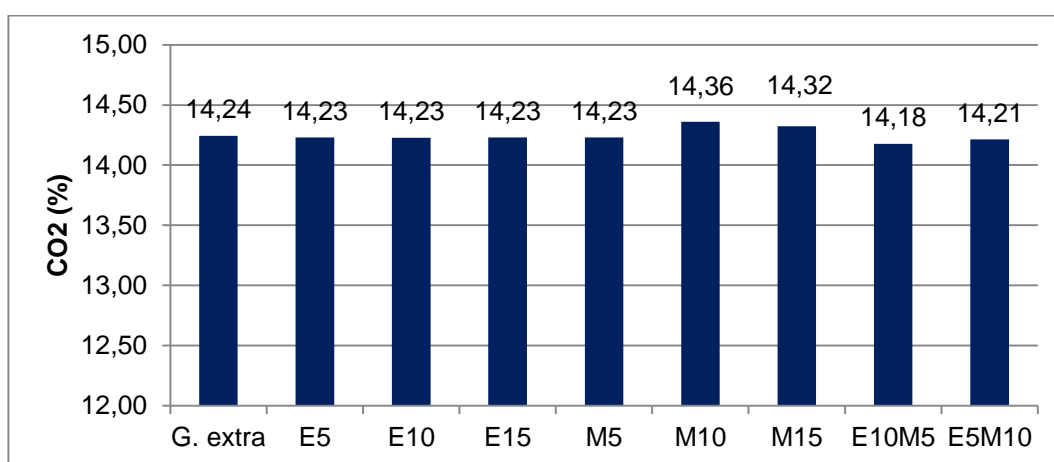


Figura 96 Resultados de CO₂ con las mezclas a ralentí

El motor funciona correctamente cuando el valor porcentual de dióxido de carbono se ubica entre el 12 y 15%; para los datos obtenidos el valor de CO₂ se encuentra dentro de este rango, lo que supone una buena eficiencia en la combustión al utilizar las distintas mezclas. De la figura además se evidencia que no existe una mayor variación de CO₂ entre las mezclas, teniendo como valores máximos M10 y M15 con 14.36% y 14.32% respectivamente, mientras que la mezcla que genera menos CO₂ es E10M5 con 14.18%.

En la figura 97 se muestran los valores porcentuales de oxígeno (O₂) que se emiten a la atmósfera producto de la combustión.

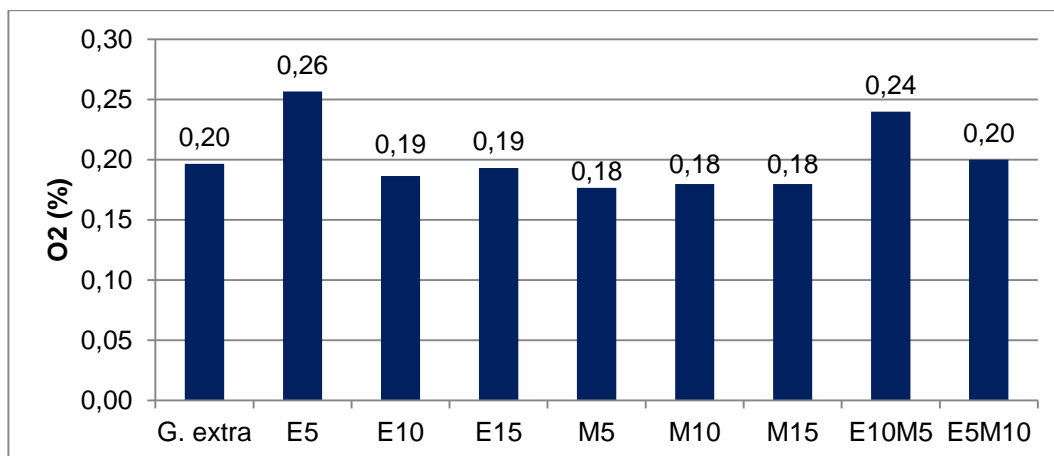


Figura 97 Resultados de O₂ con las mezclas a ralentí

La mayoría de los valores porcentuales de O₂ no superan el 0.2%, teniendo como excepción el 0.26% de E5 y el 0.24% de E10M5; las demás mezclas no presentan una variación considerable entre sí ($\pm 0.02\%$), los valores mínimos de emisiones de O₂ se producen al usar M5, M10 y M15 con 0.18% cada uno.

b. Pruebas a velocidad crucero

Los valores de hidrocarburos no combustionados generados por el motor al utilizar las diferentes mezclas a la condición de velocidad crucero (2000-2750 rpm) son expuestos en la figura 98.

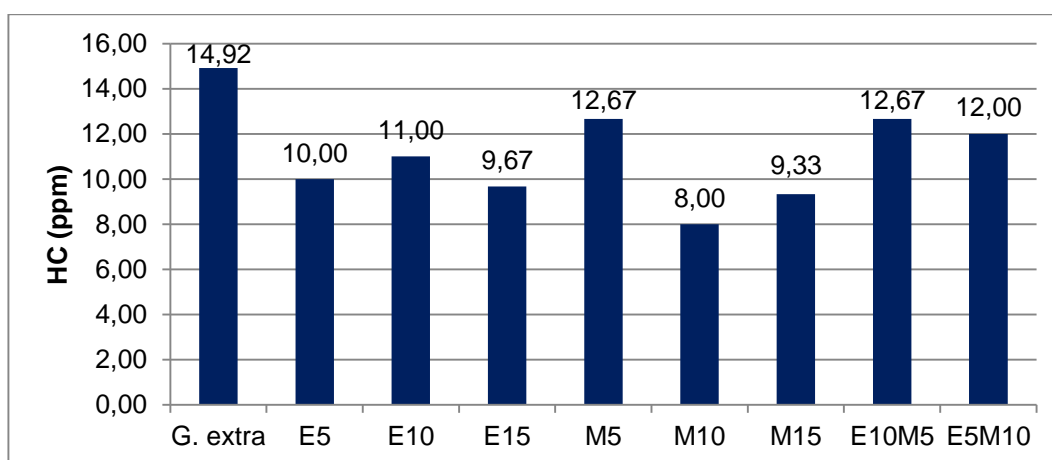


Figura 98 Resultados de HC con las mezclas a velocidad crucero

A velocidad crucero, cuando se utiliza gasolina extra la concentración de HC es de 14.92 ppm, mientras que usando las mezclas de prueba éste valor disminuye notablemente. Las máximas concentraciones de HC emitidas por el motor se producen al usar M5 y E10M5 con 12.67 ppm cada una y E5M10 con 12 ppm, por lo contrario la mezcla que menor emisión produce es M10 (8 ppm).

En la figura 99 se evidencian las concentraciones de CO en los gases de escape para cada una de las mezclas de prueba.

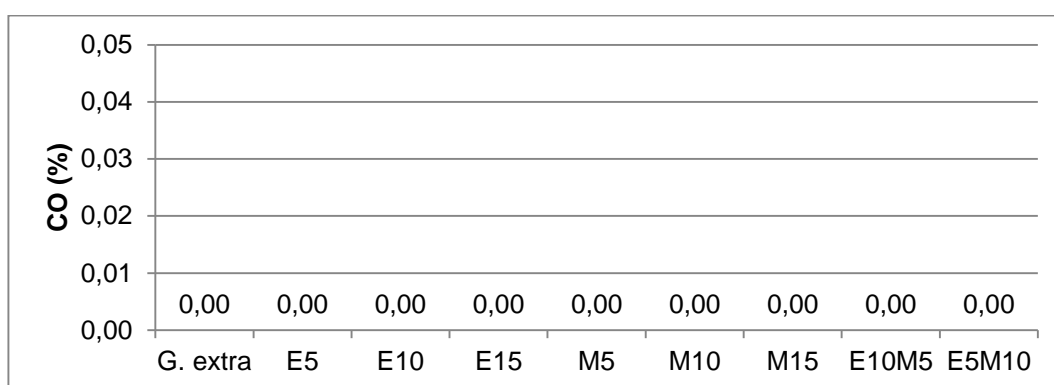


Figura 99 Resultados de CO con las mezclas a velocidad crucero

Al igual que la prueba a ralentí, a velocidad crucero no existen emisiones de CO con ninguna de las mezclas analizadas, considerando que por la apreciación del equipo no se logra medir concentraciones muy bajas.

Los valores de CO₂ emitidos por el motor cuando es alimentado con las mezclas se muestran en la figura 100.

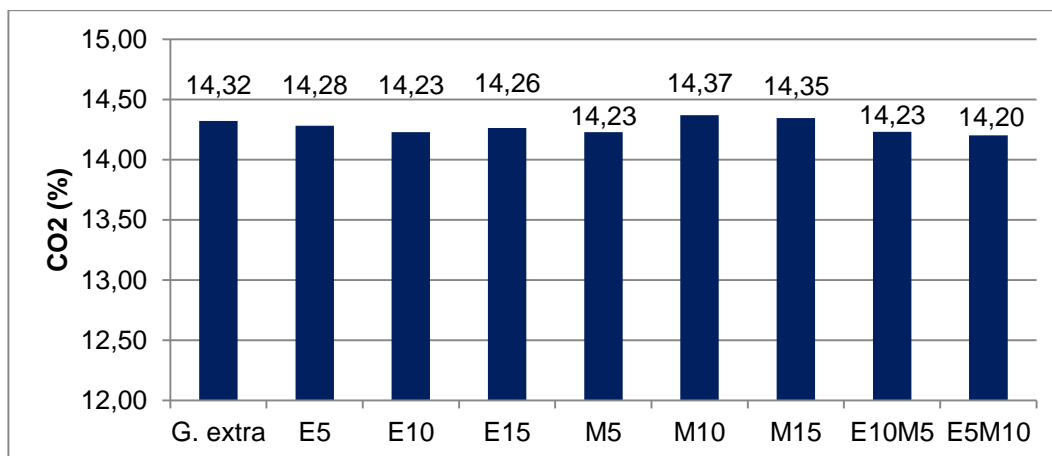


Figura 100 Resultados de CO2 con las mezclas a velocidad crucero

Los valores de CO2 no sobrepasan el 15% de concentración en los gases de escape; M10 con 14.37% y M15 con 14.35% son las mezclas que mayor cantidad de CO2 producen siendo estas concentraciones mayores que las emisiones al usar gasolina extra (14.32%), mientras que E5M10 produce la mínima cantidad de CO2 (14.20%); además se puede evidenciar que las mezclas de E10, M5 y E10M5 tienen concentraciones del 14.23% cada una.

La figura 101 ilustra el contenido de oxígeno en las emisiones de gases.

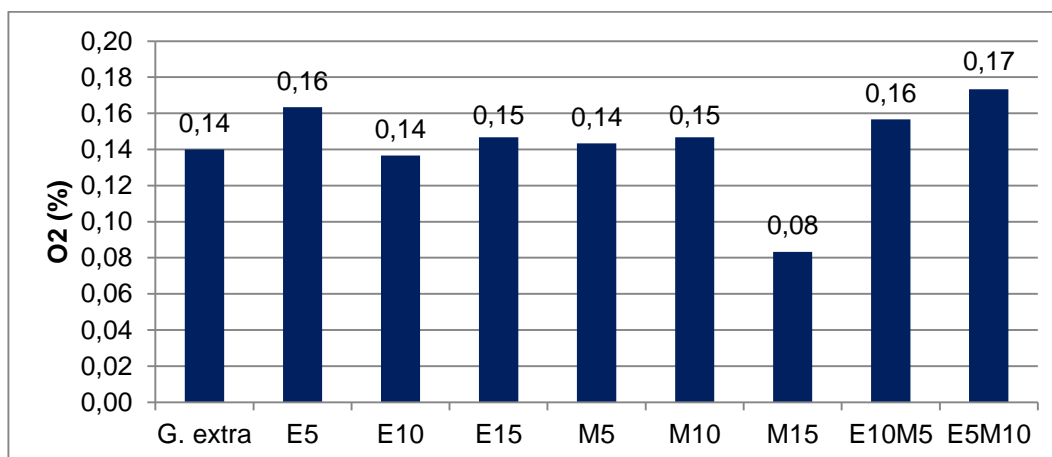


Figura 101 Resultados de O2 con las mezclas a velocidad crucero

Los valores de O2 para todas las mezclas no presentan una variación considerable ($\pm 0.02\%$). Los máximos valores de O2 se presentan al utilizar E5M10 con 0.17%, E5 y E10M5 con 0.16% cada una, asimismo el mínimo valor de concentración de oxígeno es de 0.08% que se produce al realizar la prueba con M15.

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Recursos

Es muy importante realizar un análisis de todos los medios necesarios para la ejecución de la investigación, teniendo en cuenta los recursos humanos, materiales, técnicos, tecnológicos y financieros, fundamentales para la puesta en marcha de todas las actividades planificadas.

5.1.1. Recursos humanos

En esta sección se presentan a todas las personas que han aportado en el desarrollo del proyecto de investigación titulado “ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL METANOL Y ETANOL COMO ADITIVO ORGÁNICO DE LA GASOLINA EXTRA PARA SU UTILIZACIÓN EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN CICLO OTTO EN PROPORCIONES DEL 5%, 10% y 15%”, contribuyendo en las distintas etapas, de acuerdo al área de conocimiento que a continuación se describe:

José Luis Chiliquinga Bustos	Investigación y elaboración del proyecto
Carlos Mauricio Ruiz Ruiz	Investigación y elaboración del proyecto
Ing. Leonidas Quiroz	Tutoría y asesoría general
Ing. Mauricio Santamaría	Asesoría en pruebas de torque y potencia
Ing. Klever Vega	Asesoría en pruebas de torque y potencia
Ing. Tania Parra	Asesoría en pruebas de índice de octano

Quim. Carlos Orbea	Asesoría en pruebas de poder calorífico
Sr. Anderson Portilla	Asesoría en mecánica automotriz
Sra. Gladys Ruiz	Financista del proyecto
Sra. Elvia Bustos	Financista del proyecto

5.1.2. Recursos tecnológicos

El uso de herramientas tecnológicas permite aminorar el tiempo de realización del proyecto, cumpliendo los objetivos establecidos, facilitando la elaboración del escrito del proyecto y mostrando con mayor veracidad los resultados obtenidos durante la realización de todas las pruebas proyectadas.

Las herramientas tecnológicas computarizadas utilizadas en el desarrollo del proyecto se detallan a continuación:

Software MAHA LPS-3000 LKW	Control en la prueba de torque y potencia
Software CARTEK	Control en la prueba de análisis de gases
Software OBDWiz ElmScan 5	Control en la prueba de consumo de combustible
Microsoft Office (Word-Excel-Visio-Project-One Note)	Elaboración del escrito y tabulación
Software Camtasia Studio 8	Registro de las pruebas de consumo de combustible y del poder calorífico

En la tabla 61 se detallan los costos de los recursos tecnológicos utilizados en la presente investigación.

Tabla 61
Costo recurso tecnológico

Cantidad	Unidad	Descripción	Costo unitario	Costo total
1	Unidad	Aplicación de escritorio, servicios operativos Office	100	100
1	Unidad	Medidor de consumo de combustible OBDWiz ElmScan5	70	70
1	Unidad	Software del equipo de medición de gases Cartek	100	100
1	Unidad	Software de edición de video Camtasia Studio 8	30	30
TOTAL (USD)				\$ 300

5.1.3. Recursos materiales

Comprendido por todos los elementos físicos adquiridos para el desarrollo de toda la investigación, pudiendo ser material de oficina, insumos o elementos varios.

Los siguientes elementos fueron utilizados en el desarrollo de la investigación:

- Vehículo de prueba (Aveo Activo 1.4 lt)
- Combustibles (metanol, etanol, gasolina)
- Analizador de gases
- Dinamómetro de rodillos
- Bomba calorimétrica
- Recipientes varios
- Sistema de mezcla
- Multímetro Automotriz

- Herramientas
- Accesorios para instalación (mangueras, abrazaderas, interruptor, cables, taípe, amarras plásticas)
- Elementos químicos varios (pipetas, probetas, vasos de precipitación, etc.)
- Pilas AA 3.6V
- Material fungible (toallas absorbentes, hojas, esferos, cuadernos, etc.)

Tabla 62
Costo recurso material

Cantidad	Unidad	Descripción	Costo unitario	Costo total
6,37	Litros	Etanol	8,40	53,48
6,37	Litros	Metanol	8,40	53,48
69,69	Galones	Gasolina	1,48	103,14
27	Unidades	Pruebas de torque y potencia	30,00	810,00
8	Unidades	Ensayos de índice de octano	50,40	403,20
1	Unidad	Multímetro Automotriz	250,00	250,00
1	Unidad	Sistema de mezcla	109,00	109,00
1	Unidad	Accesorios para instalación	16,00	16,00
2	Unidades	Pilas AA 3.6V	10,00	20,00
1	*	Materiales fungibles	52,82	52,82
1	*	Alquiler de vehículo	240,00	240,00
1	*	Mantenimiento de vehículo	70,80	70,80
TOTAL (USD)				2181,92
* No especificado				

5.1.4. Gastos del proyecto

Hace referencia al presupuesto necesario para la ejecución del proyecto. Los recursos financieros contemplan la adquisición y uso de recursos materiales, tecnológicos y laboratorios. Cabe resaltar que los costos cada actividad son asumidos por los investigadores. La tabla 63 muestra un detalle de los egresos del proyecto.

Tabla 63
Costo Total

DESCRIPCIÓN	COSTO
Recurso Tecnológico	300
Recurso Material	2181,92
TOTAL (USD)	2481,92

En conclusión el costo total para la ejecución del proyecto de investigación titulado “ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL METANOL Y ETANOL COMO ADITIVO ORGÁNICO DE LA GASOLINA EXTRA PARA SU UTILIZACIÓN EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN CICLO OTTO EN PROPORCIONES DEL 5%, 10% y 15%”, es de \$2481.92.

5.2. Plan de negocio (impulso matriz productiva)

5.2.1. Estrategias

Estrategias financieras

Realizar un estudio de la demanda potencial del alcohol anhidro con respecto al plan piloto ECOPAIS, con el fin de tener una estimación de la necesidad del producto para alcanzar la inserción masiva del proyecto a nivel nacional.

Estrategias de mercado

Analizar la producción del alcohol artesanal en la provincia de Cotopaxi y el proceso de deshidratación del mismo necesario para lograr obtener etanol anhidro grado carburante.

5.2.2. Macro entorno – Análisis PEST

Políticos

Las políticas de cambio de matriz productiva del Ecuador impulsan el desarrollo y producción de biocombustibles de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, por esta razón el estudio de este proyecto está respaldado por las siguientes disposiciones gubernamentales:

De acuerdo al Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones artículo 4, literales a y c que impulsan el cambio ambientalmente sostenible de la matriz productiva enfocándose en la producción de energías alternativas con responsabilidad ambiental y social.

De acuerdo al Decreto Ejecutivo No. 1303 del 17 de Septiembre de 2012 que en su artículo 1 declara de interés nacional la producción de biocombustibles como medio de impulso del fomento agrícola.

De acuerdo al Decreto Ejecutivo No. 675 del 13 de Mayo de 2015, artículos 1 y 2 donde se estimula la producción de ECOPAIS con alcohol anhidro grado carburante y su distribución progresiva en todo el país.

De acuerdo a los artículos 15 y 335 de la Constitución de la República del Ecuador que disponen promover energías alternativas y tecnologías ambientalmente limpias.

Económicos

La crisis económica por la que atraviesa el Ecuador debido a la caída del precio del petróleo ha obligado al Estado a establecer una serie de medidas en el sector productivo, por tal motivo el gobierno ha comenzado a apoyar considerablemente la iniciativa de producción de biocombustibles, disminuyendo la importación de derivados del petróleo de alto costo.

Social

El proyecto se analiza para ser utilizado en el sector automotriz, cuyo fin es el de sustituir a la gasolina extra (que actualmente es el combustible más utilizado por la población ecuatoriana) por la ECOPAIS.

El desconocimiento con respecto al uso del etanol como aditivo de la gasolina hace que el proyecto genere desconfianza en la población, temiendo que los vehículos sufran algún daño o desperfecto a consecuencia del alcohol.

Tecnológicos

El proceso de obtención del alcohol es completamente artesanal, teniendo una clara limitación tecnológica para su producción.

La tecnología para el proceso de deshidratación del alcohol artesanal es de difícil acceso para los pequeños productores, por tal motivo es necesario el desarrollo de convenios con instituciones de educación superior que

cuenten con la infraestructura, tecnología y equipos necesarios en la elaboración del alcohol anhidro.

5.2.3. Meso entorno – Análisis PORTER

Rivales

Existen Asociaciones Artesanales de las provincias de Pichincha, Bolívar, Cotopaxi y Cañar, además de productores industriales que elaboran alcohol para la producción de biocombustible.

Sustitutos

Con respecto a aditivos orgánicos de la gasolina el metanol es otro alcohol muy utilizado mundialmente, aunque su producción en el país no es muy difundida.

Proveedores

Los proveedores del alcohol serán las Asociaciones Artesanales de Cotopaxi.

Compradores

Los principales compradores del alcohol anhidro son: PETROECUADOR que es la empresa que tiene a cargo el plan de producción de la gasolina ECOPAIS, y todas las demás empresas o personas que necesiten ya sea por investigación o uso industrial.

Nuevas empresas

Como es un producto que actualmente es requerido para solventar la demanda del proyecto ECOPAIS, la producción se verá limitada por la tecnología e infraestructura para deshidratar el alcohol artesanal y poder conseguir un alcohol grado carburante; por ello las asociaciones artesanales deberán realizar convenios con instituciones que cuenten con laboratorios donde su producto pueda ser procesado.

5.2.4. FODA

Fortalezas:

- Producto ecológico amigable con el ambiente.
- Laboratorios adecuados para deshidratar el alcohol artesanal.
- Laboratorios que permiten validar el uso del alcohol grado carburante en vehículos por medio de pruebas (torque, potencia, consumo de combustible y análisis de gases).

Oportunidades:

- Políticas del cambio de matriz productiva.
- Apoyo social, político y económico por parte del gobierno para productores artesanales.
- Demanda en crecimiento del producto.

Debilidades:

- Fuentes de financiamiento.
- Falta de personal capacitado.
- Restricción del tiempo de uso de los laboratorios.

Amenazas:

- Destrucción de los cultivos de caña por plagas o desastres naturales.
- Aumento de la competencia.
- Falta de conocimiento del uso del alcohol como aditivo de la gasolina.
- La falta de apoyo a la iniciativa de biocombustibles debido al cambio de gobierno.

5.2.5. FODA cruzado

Tabla 64
FODA Cruzado

FORTALEZA	OPORTUNIDAD
Producto ecológico amigable con el ambiente	Políticas del cambio de matriz productiva
Estrategia: El impulso que el gobierno pretende con respecto a la matriz productiva hace que la producción se enfoque en generar energías alternativas, por lo que el alcohol anhidro viene a ser una alternativa de cambio con responsabilidad ambiental.	
FORTALEZA	AMENAZAS
Laboratorios adecuados para deshidratar el alcohol artesanal	Aumento de la competencia
Estrategia: Invertir en infraestructura y tecnología para disminuir el costo de producción, cubrir la demanda de alcohol anhidro y así poder competir en el mercado.	
OPORTUNIDAD	DEBILIDADES
Demanda en crecimiento del producto	Falta de personal capacitado
Estrategia: Realizar capacitaciones e innovar constantemente el conocimiento del personal.	
AMENAZAS	DEBILIDADES
La falta de apoyo a la iniciativa de biocombustibles debido al cambio de gobierno	Fuentes de financiamiento
Estrategia: Conseguir fuentes de financiamiento privadas que apoyen esta clase de proyectos bioenergéticos.	

5.2.6. Matriz EFE

Tabla 65
Matriz EFE

OPORTUNIDADES	Peso	Calificación	Peso ponderado
Políticas del cambio de matriz productiva.	0.20	4	0.8
Apoyo social, político y económico por parte del gobierno para productores artesanales.	0.15	3	0.45
Demanda en crecimiento del producto.	0.15	3	0.45
Subtotal			1.7

Continua 

AMENAZAS	Peso	Calificación	Peso ponderado
Destrucción de los cultivos de caña por plagas o desastres naturales.	0.15	2	0.30
Aumento de la competencia.	0.15	3	0.45
Falta de conocimiento del uso del alcohol como aditivo de la gasolina.	0.10	2	0.20
La falta de apoyo a la iniciativa de biocombustibles debido al cambio de gobierno.	0.10	4	0.4
Subtotal			1.35
Total	1		3.05

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez finalizado el presente proyecto de investigación se exponen las siguientes conclusiones y recomendaciones, a fin de que aporten como base científica y fuente de consulta para interesados de cualquier nivel académico. Todos los valores de variación de las diferentes mezclas se han establecido en comparación con los datos obtenidos al utilizar gasolina extra.

6.1. CONCLUSIONES

- Se realizaron mezclas de gasolina extra con etanol y metanol en concentraciones de E5, E10, E15, M5, M10, M15, E10M5 y E5M10.
- Con el ensayo de índice de octano y las pruebas de densidad y poder calorífico, se validó el potencial energético del metanol y etanol como aditivo orgánico de la gasolina extra.
- Todas las mezclas presentan una disminución de su potencial energético de hasta 0.597%, debido a que tanto el etanol (29258.828 KJ/Kg), como el metanol (22692.305 KJ/Kg) poseen un poder calorífico superior mucho menor al de la gasolina extra (45610.533 KJ/Kg).
- Se incrementa el índice de octano mientras mayor es la concentración de alcohol en la gasolina extra, siendo las mezclas de etanol las que mejor octanaje presentan en comparación con las de metanol, teniendo así que E15 alcanzó el valor más alto con 93.4 octanos.
- Las mezclas E5 y M5 presentan un ligero aumento de potencia de 0.7% y 0.2% respectivamente en comparación al valor obtenido de 78.7 HP al utilizar gasolina extra; teniendo además que M10 entrega una potencia máxima igual de 78.7 HP.
- Todas la mezclas, a excepción de E5 y M5, tienden a disminuir la potencia máxima generada por el motor del vehículo con una reducción máxima de 7.2% con la mezcla de E5M10.

- Las mezclas E10, E15 y M10 aumentan el valor de torque normal obtenido con la gasolina extra (80 lbf.ft), en un 1.875%, 1% y 0.125% respectivamente.
- M15 y E5M10 presentan una disminución significativa en el valor de torque de 17.375% cada una, seguido de las mezclas E10M5 con 5.875%, E5 y M5 con 0.75% y 1.5% respectivamente.
- El consumo de combustible aumenta debido a que el potencial energético de todas las mezclas es menor que el de la gasolina extra, necesitando consumir una mayor cantidad de combustible para que el motor logre generar una potencia considerable, teniendo incrementos de 28.87% al trabajar con E10M5, 25.7% con M15 y 21.84% cuando se utiliza E5M10.
- La concentración de hidrocarburos no combustionados (HC) obtenidos con las mezclas a ralentí están por debajo de las 14.05 ppm que se generan al utilizar gasolina extra, por lo tanto ningún valor excede el límite de 200 ppm establecido en la norma NTE INEN 2204:2002; de igual manera, a velocidad crucero no se supera las 14.92 ppm de HC que produce la gasolina.
- El equipo analizador de gases, con una apreciación centesimal, no registró valores de emisiones de monóxido de carbono CO en ninguna de las dos condiciones de prueba (ralentí-crucero), por lo que obviamente no se supera el valor máximo de 1% establecido en la norma sobre límites de emisiones.
- Existe una ligera variación en las emisiones de CO₂ con las distintas mezclas, teniendo un valor mínimo y máximo de 14.18% (E10M5) y 14.36% (M10) respectivamente en condición de ralentí; de igual manera a velocidad crucero se tiene 14.20% (E5M10) como mínimo y 14.37% (M10) el máximo; todos estos valores se encuentran entre el 12% y 15%, rango donde el motor funciona correctamente, lo que indica una buena eficiencia de la combustión; además, los valores de potencia no tienen una gran variación al igual que estas emisiones, ya que la cantidad de CO₂ emitida depende de la potencia generada.

- Las emisiones de O₂ tanto para la prueba a ralentí como para la prueba a velocidad crucero tienden a permanecer constantes, teniendo como excepción un aumento de emisión de este gas del 0.06% al utilizar E5 y del 0.04% con E10M5 cuando el motor trabaja a marcha mínima y una disminución de 0.06% en M15 a velocidad crucero.
- Al utilizar gasolina extra se tiene una potencia máxima de 78.7 HP con un torque máximo de 80 lb.ft, el consumo específico de 0.0383 Kg/Kw.h, poder calorífico de 45610.533 KJ/Kg, índice de octano de 87 y los valores de HC de 14.05 ppm a ralentí y 14.92 ppm a velocidad crucero.
- Con E5 se consigue un aumento de potencia máxima del 0.7 %, disminución del torque de 0.75%, incremento del consumo específico de 14.48%, reducción del poder calorífico de 0.213%, elevación del índice de octano de 1.03% y finalmente una disminución de HC de 8.38 ppm a ralentí y de 4.92 ppm a velocidad crucero.
- Usando E10 se obtiene una disminución de potencia máxima del 1.3%, aumento del torque de 1.875%, incremento del consumo específico de 5.28%, reducción del poder calorífico de 0.072%, elevación del índice de octano de 3.68% y finalmente una disminución de HC de 11.38 ppm a ralentí y de 3.92 ppm a velocidad crucero.
- La mezcla E15 presenta una disminución de la potencia máxima del 0.9%, aumento del torque de 1%, incremento del consumo específico de 2.87%, reducción del poder calorífico de 0.314%, elevación del índice de octano de 7.36% y una disminución de HC de 11.05 ppm a ralentí y de 5.25 ppm a velocidad crucero.
- Al utilizar M5 se consigue un aumento de potencia máxima de 0.2%, disminución del torque de 1.5%, incremento del consumo específico de 4.38%, reducción en el poder calorífico de 0.243%, elevación del índice de octano de 0.34% y una disminución de HC de 10.05 ppm a ralentí y de 2.25 ppm a velocidad crucero.
- Con M10 se tiene que el valor de potencia máxima fue el mismo que el alcanzado al utilizar gasolina extra, además de un incremento del torque de 0.125%, aumento del consumo específico de 6.39%, disminución del poder calorífico de 0.207%, elevación del índice de octano de 1.61% y

una disminución de HC de 11.05 ppm en ralentí y de 6.92 ppm a velocidad crucero.

- Usando M15 se obtiene una disminución de 2.3% en potencia máxima y de 17.375% en torque, aumento de consumo específico de 25.7%, reducción del poder calorífico de 0.396%, elevación del índice de octano de 2.41% y una disminución de HC de 8.38 ppm en ralentí y de 5.59 ppm a velocidad crucero.
- La mezcla E10M5 presenta una disminución de 3.6% en potencia máxima y de 5.875% en torque, aumento de consumo específico de 28.87%, reducción del poder calorífico de 0.323%, elevación del índice de octano de 6.55% y una disminución de HC de 5.05 ppm en ralentí y de 2.25 ppm a velocidad crucero.
- Al utilizar E5M10 se tiene una disminución de 7.2% en potencia máxima y de 17.375% en torque, aumento de consumo específico de 21.84%, reducción del poder calorífico de 0.597%, elevación del índice de octano de 5.98% y una disminución de HC de 11.38 ppm en ralentí y de 2.92 ppm a velocidad crucero.

6.2. RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas dinámicas de análisis de gases, eligiendo una ruta en donde el vehículo se encuentre sometido a diferentes condiciones ambientales, de carga y conducción, con el equipo apropiado para este tipo de prueba.
- Realizar un estudio del impacto de las mezclas en el desgaste de los componentes del motor cuando éste trabaja durante un período de tiempo prolongado, además de determinar la incidencia del etanol y metanol en los sistemas de alimentación, admisión y escape.
- En esta investigación las pruebas se realizaron en un solo vehículo, por tanto se recomienda que para futuros trabajos se considere el estudio con una muestra amplia de vehículos de diferente cilindraje y marca.
- Ampliar el estudio a todas emisiones no reguladas producidas por la combustión del etanol y metanol, como los compuestos orgánicos

volátiles (VOC) y emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), buscando los equipos de medición adecuados.

- Realizar un estudio incrementando la concentración de etanol y metanol en la gasolina al modificar el sistema alimentación, con énfasis en la compatibilidad de los alcoholes con los materiales del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A., & Navarro, E. (2012). *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*. España: Aleta Ediciones.
- Angulo, L., Marquez, G., Rivas, M., & Sanchez, N. (Marzo de 2012). Obtención de gasolina comercial, kerosene y gasóleo. 14-15. Merida, Venezuela.
- Ariaz-Paz, M. (2004). *Manual de Automóviles* (55 ed.). Madrid: Dossat 2000 S.L.
- Barroso Casillas, M. (2010). *Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería*. Tesis, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Bosch, R. (2005). *Manual de la técnica del automóvil* (Cuarta ed.). Alemania: Bauer & Partner.
- Bueno Oliveros, J. A. (2007). Las alternativas al petróleo como combustible para vehículos automóviles. 4,27,28,31. Barcelona, España: Fundación Alternativas.
- Cardona, C., Sánchez, Ó., Montoya, M., & Quintero, J. (28 de Octubre de 2005). Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. *Scientia et Technica*, 187-192.
- Celi, S., & Macías, E. (2006). *Obtención, preparación y aplicación del alcohol como combustible alternativo en un motor de combustión interna*. Tesis, Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga.
- Chevrolet. (2008). Manual del Propietario. 214-216. GM .
- Crouse, W. (1996). *Motores de automóvil*. México D.F: Alfaomega.
- Desantes, J. M., & Molina, S. (2011). Introducción a la combustión. En F. Payri, & J. Desantes, *Motores de combustión interna alternativos* (cuarta ed., págs. 361,362). Barcelona: Reverté S.A.
- Eberly, G. L. (1982). Potencia calorífica. En D. M. Considine, & S. D. Ross, *Manual de instrumentación aplicada* (Quinta ed., Vol. 1, págs. 103-107). México D.F: Continental.
- El telégrafo. (26 de Abril de 2015). El uso de metanol en la gasolina ahorraría \$ 380 millones en 2016. *El telégrafo*, pág. 12.
- EP PETROECUADOR. (2013). *El petróleo en el Ecuador, la nueva era petrolera*. Quito: Manthra Comunicación integral y Producción.

- EP PETROECUADOR. (2014). *Hoja de seguridad de materiales peligrosos. Producto: Gasolina extra*. Técnico, Esmeraldas.
- Garcés, V., & Martínez, S. (2007). *Estudio del poder calorífico del bagazo de caña de azúcar en la industria azucarera de la zona de Risaralda*. Tesis, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Gerschler, H. (1985). *Tecnología del automóvil* (Vigésima ed., Vol. 2). Barcelona: Reverté S.A.
- Hart, H., Craine, L., Hart, D., & Hadad, C. (2007). *Química Orgánica* (Décimo Segunda ed.). Madrid: McGraw-Hill.
- Kálmán, G., & Réczey, K. (2007). Possible ways of bio-refining and utilizing the residual lignocelluloses of corn growing and processing. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 29-36.
- Lapuerta, M., & Ballesteros, R. (2011). Emisiones contaminantes. En F. Payri, & J. Desantes, *Motores de combustión interna alternativos* (Segunda ed., págs. 419-430). Barcelona: Reverté S.A.
- Lapuerta, M., & Hernández, J. (2011). Combustibles. En F. Payri, & J. Desantes, *Motores de combustión interna alternativos* (Segunda ed., págs. 403-404). Barcelona: Reverté S.A.
- Lecuona, A., & Rodríguez, P. (2011). Parámetros básicos. En F. Payri, & J. Desantes, *Motores de combustión interna alternativos* (Segunda ed., págs. 63-64). Barcelona: Reverté S.A.
- Liang, B., & et_al. (2013). Comparison of P emissions from a gasoline direct injected (GDI) vehicle and a port fuel injected (PFI) vehicle measured by electrical low pressure impactor (ELPI) with two fuels: Gasoline and M15 methanol gasoline. *Journal of Aerosol Science*, 57, 22-31.
- López, E., & Benito, V. (2012). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares* (Primera ed.). Editex.
- Martín, F., & Sala, V. (2004). Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y las nuevas tecnologías para la propulsión de vehículos destinados al transporte. 45-50. Cataluña.
- Melo, E., Sánchez, Y., Ferrer, N., & Ferrer, N. (2012). Evaluación de un motor de encendido por chispa trabajando con mezclas etanol-gasolina. *Ingeniería Energética*, 33(2), 94-102.
- Mena, L. (2011). *Compilador de ejercicios de motores de combustión interna diesel-gasolina* (Primera ed.). Quito: Imprenta Nueva Aurora.
- Ocaña, A. (2000). *Tratado del automóvil*. Madrid: CIE Inversiones Editoriales.

- Ortmann, R., & otros. (2003). *Técnica de gases de escape para motores de gasolina* (Segunda ed.). Postfach: Robert Bosch GmbH.
- Parr Instrument Company. (09 de Marzo de 2008). Operating Instruction Manual No. 204M Oxygen Bomb Calorimeter 1341. Moline, Illinois, Estados Unidos.
- Pérez Belló, M. Á. (2011). *Sistemas Auxiliares del Motor* (Primera ed.). Madrid: Paraninfo.
- Pérez, C. (2015). Southern Chemical Corporation, reconocida empresa mundial productora de metanol, interesada en invertir en Ecuador. *El Litoral*(340), 7. Obtenido de https://issuu.com/periodicoelitoral/docs/el_litoral_340
- Scott Specialty Gases. (2015). Scotty Calibration Gases for Auto emission analyzers. Plumsteadville, Pensilvania, Estados Unidos.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017. Quito, Ecuador: Senplades.
- Wheals, A., Basso, L., Alves, D., & Henrique, A. (Enero de 2000). Fuel ethanol after 25 years. *Trends in Biotechnology*, 17, 482-487.
- Zhao, H., & et_al. (26 de Mayo de 2010). Carbonyl compound emissions from passenger cars fueled with methanol/gasoline blends. *Science of the Total Environment*, 408, 3607-3613.
- Zhao, H., & et_al. (2011). Effects of different mixing ratios on emissions from passenger cars fueled with methanol/gasoline blends. *Journal of Environmental Sciences*, 23(11), 1931-1938.

NETGRAFÍA

- Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica. (7 de Octubre de 2013). *www.andes.info.ec*. Recuperado el 15 de Abril de 2016, de <http://www.andes.info.ec/en/node/23442>
- Biofuels Association of Australia. (2015). *www.biofuelsassociation.com.au*. Recuperado el 7 de Marzo de 2016, de <http://biofuelsassociation.com.au/biofuels/ethanol/ethanol-use-around-the-world/>
- Bromberg, L., & Cheng, W. (28 de Noviembre de 2010). Methanol as an alternative transportation fuel in the US: Options for sustainable and/or energy-secure transportation. Massachusetts, Estados Unidos. Recuperado el 1 de Marzo de 2016, de http://www.afdc.energy.gov/pdfs/mit_methanol_white_paper.pdf
- Business Wire. (14 de febrero de 2013). *Business Wire a Berkshire Hathaway Company*. Recuperado el 14 de Abril de 2016, de <http://www.businesswire.com/news/home/20130214005537/en/Research-Markets-2013-Report-Analyzing-Global-Methanol>
- Cadena Agroindustrial. (2004). *repiica*. Recuperado el 23 de Marzo de 2016, de <http://repiica.iica.int/docs/B0014e/B0014e.pdf>
- CENICAÑA. (2008). *Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia*. Recuperado el 13 de Abril de 2016, de http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_etanol.php
- Comisión Nacional para el ahorro de Energía. (2008). Ficha Técnica: vehículos con etanol. México, México. Recuperado el 12 de Abril de 2016, de www.conae.gob.mx
- Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. *Energía*, 2, 1.19-1.20. Japón: IGES. Recuperado el 15 de Mayo de 2016, de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf
- Facultad de Química UNAM. (2008). *Hoja de seguridad IX Metanol*. Técnico, Universidad Nacional Autónoma de México, Química, México. Recuperado el 20 de Febrero de 2016, de <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/9metanol.pdf>

- Fernández, J. (2009). *www.edutecne.utn.edu.ar*. Recuperado el 12 de Abril de 2016, de http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_termicas/01-poder_calorifico.pdf
- Gómez, V. (2007). *www.frt.utn.edu.ar*. Recuperado el 14 de Abril de 2016, de http://www.frt.utn.edu.ar/tecnoweb/imagenes/file/mecanica/Materiales%20Auxiliares_Alumnos.pdf
- Guixot Sanz, L. (1 de Diciembre de 2011). *mecanicageneral*. Recuperado el 18 de Marzo de 2016, de http://mecanicageneral.webcindario.com/info_catalizador.pdf
- Guixot Sanz, L. (1 de Diciembre de 2011). *www.mecanicageneral.com*. Recuperado el 17 de Abril de 2016, de http://www.as-sl.com/pdf/tipos_gases.pdf
- Jaramillo, H. (Octubre de 1996). Procesos reales en los motores de combustión interna (M.C.I). *El Hombre y la Máquina*, 30-45. Obtenido de <http://ingenieria.uao.edu.co/hombreymaquina/revistas/12%201996-1/Articulo%203%20H&M%2012.pdf>
- Johnson, D. (2012). *Global Methanol Market Review*. Recuperado el 10 de Abril de 2016, de http://www.ptq.pemex.com/productosyservicios/eventosdescargas/Documents/Foro%20PEMEX%20Petroqu%C3%ADmica/2012/PEMEX_DJohnson.pdf
- Journal Oil & Power. (14 de Mayo de 2015). El uso de metanol en la gasolina ahorraría \$380 millones en 2016. *Journal Oil & Power*, 10. Recuperado el 10 de Febrero de 2016, de <https://issuu.com/artesjournal/docs/journaloil-mineral319>
- MAHA GmbH&Co.KG. (2003). *www.maha.de*. Recuperado el 3 de Abril de 2016, de <http://www.maha.de/banco-de-ensayo-de-potencia-fps-5500.htm>
- Mathewson, S. (2000). *Journey to Forever*. Recuperado el 13 de Abril de 2016, de <http://es.journeytoforever.org/biocombustibles/produccion-casera-etanol/produccion-etanol.cgi>
- METHANEX. (2014). *Methanex The power og agility*. Recuperado el 25 de Mayo de 2016, de <https://www.methanex.com/sites/default/files/investor/annual-reports/Methanex-Annual-Report-2014.pdf>
- Methanol Institute. (12 de Agosto de 2011). *Methanol institute*. Recuperado el 21 de Febrero de 2016, de <http://www.methanol.org/Health-And->

Safety/Safety-Resources/Health---Safety/Methanol-Safe-Handling-Manual-Spanish.aspx

Methanol Institute. (2011). *Methanol Institute*. Recuperado el 21 de Febrero de 2016, de [http://methanol.org/getdoc/0ae2dc90-c11f-43ea-8d2e-6998c857e35e/Blenders-Product-Bulletin-\(SP\).aspx](http://methanol.org/getdoc/0ae2dc90-c11f-43ea-8d2e-6998c857e35e/Blenders-Product-Bulletin-(SP).aspx)

Methanol Institute. (2011). *Methanol Institute*. Recuperado el 24 de Febrero de 2016, de <http://www.methanol.org/Methanol-Basics.aspx>

Methanol Institute. (2011). *www.methanol.org*. Recuperado el 7 de Abril de 2016, de <http://www.methanol.org/Methanol-Basics/The-Methanol-Industry.aspx>

Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad. (22 de Agosto de 2014). *www.produccion.gob.ec*. Recuperado el 6 de Enero de 2016, de <http://www.produccion.gob.ec/ecopais-una-muestra-del-cambio-de-la-matriz-productiva/>

Ministerio de Energía y Minería. (2010). *www.energia.gov.ar*. Recuperado el 24 de Mayo de 2016, de <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3622>

NGK Spark Plug Europe. (2013). *www.ngk.de*. Recuperado el 23 de Marzo de 2016, de <https://www.ngk.de/es/tecnologia-en-detalle/sondas-lambda/aspectos-basicos-de-los-gases-de-escape/normas-euro/>

Noboa, E. (Junio de 2015). *www.olade.org*. Recuperado el 18 de Enero de 2016, de http://www.olade.org/wp-content/uploads/2015/06/Presentacion-final_Eduardo-Noboa1.pdf

Observatorio de Políticas Públicas. (Noviembre de 2007). <http://www.sgp.gov.ar/>. Recuperado el 23 de Marzo de 2016, de http://www.sgp.gov.ar/contenidos/ag/paginas/opp/docs/2007/14_OPP_2007_BIOCOMBUSTIBLES.pdf

Pérez, C. (2015). Southern Chemical Corporation, reconocida empresa mundial productora de metanol, interesada en invertir en Ecuador. *El Litoral*(340), 7. Obtenido de https://issuu.com/periodicoelitoral/docs/el_litoral_340

Perilla, J. (Octubre de 2015). *Congreso Colombiano de Ingeniería Química*. Recuperado el 5 de Junio de 2016, de <http://congreso-iq.com/resources/uploaded/files/xxviii-congreso-ingenieria-quimica-2015-memorias.pdf>

Revista Líderes. (1 de Junio de 2015). El mercado se adecúa a la gasolina Ecopais. *Revista Líderes*(916), 12. Recuperado el 10 de Enero de

2016, de
http://edicionimpresa.elcomercio.com/es/30100000bd120099-6e92-4102-806c-8064d9984252_01062015_/12

Rodriguez, R., & Uribe, M. (2007). *Obtención del metanol Propiedades-Usos*. Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires: Edutecne. Recuperado el 25 de Febrero de 2016, de http://www.edutecne.utn.edu.ar/procesos_fisicoquimicos/Obtencion_de_Metanol.pdf

Safety, International Programme on Chemical. (2000). Fichas Internacionales de Seguridad Química. *Fichas Internacionales de Seguridad Química*. España. Recuperado el 30 de Marzo de 2015

ScanTool. (20 de Junio de 2008). *www.scantool.net*. Recuperado el 2 de Febrero de 2016, de <https://www.scantool.net/elmscan-5-usb/>

SHALE GAS INTERNATIONAL. (2 de Marzo de 2015). <http://www.shalegas.international/>. Recuperado el 4 de Abril de 2016, de <http://www.shalegas.international/2015/03/02/iran-on-course-to-complete-worlds-largest-methanol-plant/>

Sutton, M. (2015). *Biofuels Association of Australia*. Recuperado el 7 de Marzo de 2016, de <http://biofuelsassociation.com.au/biofuels/ethanol/ethanol-use-around-the-world/>

U.S. Department of Energy. (Marzo de 2016). *Energy Efficiency & Renewable Energy*. Recuperado el 25 de Abril de 2016, de <http://www.afdc.energy.gov/data/10331>

Walsh, M. (2008). *CARLINES*. Recuperado el 13 de Abril de 2016, de <http://walshcarlines.com/pdf/fueltable.pdf>

NORMAS

- ASTM. (2004). ASTM D 2699. *Standard Test Method for Research Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel*. Estados Unidos.
- INEN. (07 de Marzo de 1984). NTE INEN 0960-1984. *Vehículos Automotores. Determinación de la potencia neta del motor*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEN. (5 de Agosto de 1998). NTE INEN 2102:1998. *Derivados del petróleo. Gasolina. Determinación de las características antidetonantes. Método Research (RON)*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEN. (5 de Agosto de 1998). NTE INEN 2103:98. *Derivados del petróleo. Determinación de las características antidetonantes. Método motor (MON) para gasolinas de motor y aviación*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEN. (7 de Julio de 2000). NTE INEN 2203:2000. *Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "Ralentí". Prueba estática*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEN. (30 de Septiembre de 2002). NTE INEN 2204:2002. *Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones permitidas por fuentes móviles terrestres de gasolina*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEN. (18 de Mayo de 2012). NTE INEN 935:2012. *Gasolina. Requisitos*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- ISO. (1 de Noviembre de 1992). ISO 1585:1992. *Road vehicles - Engine test code - Net power*.
- SAE. (Agosto de 2004). SAE J1349. *Engine Power Test Code-Spark Ignition and Compression Ignition-Net Power Rating*. Estados Unidos.

ANEXO



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **JOSÉ LUIS CHILQUINGA BUSTOS Y CARLOS MAURICIO RUIZ RUIZ.**

En la ciudad de Latacunga, a los **XX días del mes de agosto del 2016.**

Ing. Leonidas Quiroz
DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Víctor Danilo Zambrano
DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Juan Carlos Díaz Álvarez
SECRETARIO ACADÉMICO