



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
AUTOMOTRIZ

“Evaluación del consumo específico de combustible y emisiones de gases de escape, con el uso del combustible Eco-país en un motor de combustión interna alternativo”

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

Autores:

MAURAT ARGUDO WILLIAM FERNANDO
GALARZA VALAREZO CRISTIAN PAÚL

Director.

ING. ANDRÉS LÓPEZ, PHD

CUENCA - ECUADOR

2017

DEDICATORIA

A mi familia mi mayor bendición

William Fernando

Para mi esposa Gabriela y mi hija Qori

Para mi familia

Paul Galarza

AGRADECIMIENTO

A la universidad del Azuay, por toda la infraestructura y equipos facilitados durante el desarrollo del trabajo de titulación, al doctor Andrés López por orientarnos durante el desarrollo de la tesis.

A mis viejos queridos, a las personas que me rodean por su apoyo incondicional y aportar en mi formación personal, al Ing. Andrés López, PhD por compartir sus conocimientos en el desarrollo del trabajo de titulación.

William Fernando

Nuestro miedo más profundo no es el de ser inadecuados, nuestro miedo más profundo es el de ser poderosos más allá de toda medida, es nuestra luz, no nuestra oscuridad, lo que nos asusta.

Nos preguntamos: ¿Quién soy yo para ser brillante, magnífico, talentoso y fabuloso? más bien, la pregunta es: ¿Quién eres tú para no serlo? Eres un hijo de Dios, tu pequeñez no le sirve al mundo, no hay nada iluminador en encogerte para que otros no se sientan inseguros a tu alrededor.

Todos estamos destinados a brillar como lo hacen los niños, nacemos para manifestar la gloria de Dios que está dentro de nosotros, no solo en algunos, si no en todos y cada uno.

Y cuando dejamos que nuestra luz propia brille, inconscientemente permitimos que otros hagan lo mismo y al liberarnos de nuestros propios miedos, nuestra presencia automáticamente libera a otros (Marianne Williamson).

En vista de que no encontré las palabras adecuadas, idóneas, correctas, apropiadas que pudieran acercarse a lo que siento. . . Muchas gracias.

Paul Galarza

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE TABLAS	xii
INDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	2
GENERALIDADES	2
1.1 Introducción	2
1.2 Problemática.....	2
1.3 Objetivo General	2
1.4 Objetivos específicos	2
1.5 Metodología	3
1.6 Alcances y resultados	6
CAPITULO II	7
MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1 Introducción	7
2.2 Antecedentes	7
2.2.1 Contexto internacional	7
2.2.2 Contexto nacional.....	9
2.3 Parámetros básicos de los motores de combustión interna alternativos	9
2.3.1 Motor de combustión interna alternativo	10
2.3.2 Ciclo Otto.....	10

2.3.3	Torque	11
2.3.4	Potencia.....	11
2.3.5	Régimen de giro	11
2.3.6	Parámetros indicados y efectivos	12
2.3.6.1	Parámetros indicados	12
2.3.6.2	Parámetros efectivos	13
2.3.7	Consumo específico de combustible.....	15
2.3.7.1	Medida de gasto de combustible.....	15
2.3.8	Curvas Características	16
2.3.8.1	Objetivos de las curvas características.....	16
2.3.9	Curvas características a plena carga.....	17
2.3.10	Variables de operación que afectan a los parámetros de salida del motor 18	
2.3.11	Variación del rendimiento del MCI A según la velocidad el pistón.....	20
2.4	Tecnología Flex fuel	21
2.4.1	Vehículos Flex fuel	21
2.4.2	Sistemas Flex fuel Bosch	22
2.4.2.1	Sistema Flex fuel (Port fuel injection).....	23
2.4.2.2	Sistema Flexstar.....	23
2.4.2.3	Sistema Flex fuel de inyección directa	24
2.5	Emisiones de gases.....	24
2.6	Combustibles.....	26
2.6.1	Biocombustibles.....	26
2.6.1.1	Bioetanol.....	27
2.6.2	Combustibles fósiles	29
2.6.3	Combustibles en el Ecuador.....	29
2.6.3.1	Gasolina “extra”.....	29

2.6.3.2	Gasolina eco-país	32
2.7	Normativas	32
2.7.1	Normativas sobre biocombustibles en el Ecuador	32
2.7.2	Normativas que rigen la medición de torque, potencia y consumo específico de combustible	33
2.7.2.1	Norma SAE J 1349	34
2.7.2.2	Norma Ecuatoriana NTE INEN 960	34
2.7.2.3	Normativas para análisis de gases	35
2.7.2.4	RTE INEN 017:2008	35
2.7.2.5	NTE INEN 2 203	35
2.7.2.6	NTE INEN 2 204	35
2.8	Estado del arte	36
CAPÍTULO III		43
EVALUACIÓN EXPERIMENTAL		43
3.1	Introducción	43
3.2	Equipos.....	43
3.2.1	Banco Dinamométrico	43
3.2.2	Escáner launch X431-V	44
3.2.3	Analizador de gases Maha MGT5	44
3.2.4	Banco de inyección Tektino INJ – 6A / INJ -8A.....	45
3.3	Descripción del vehículo.....	45
3.4	Puesta a punto del vehículo.....	46
3.5	Planteamiento de los ensayos.....	46
3.5.1	Pruebas de caracterización fisicoquímica de los combustibles.....	47
3.5.1.1	Densidad relativa	47
3.5.1.2	Poder calorífico.....	47
3.5.2	Ensayo de potencia y par.....	48

3.5.2.1	Procedimiento.....	48
3.5.2.2	Desarrollo de la prueba.....	50
3.5.2.3	Equipamiento del motor.....	51
3.5.2.4	Combustible.....	52
3.5.2.5	Aceite de lubricación.....	52
3.5.2.6	Refrigerante del motor.....	52
3.5.2.7	Mediciones.....	53
3.5.2.7.1	Velocidad del motor.....	53
3.5.2.7.2	Potencia.....	55
3.5.2.7.3	Torque.....	57
3.5.2.7.4	Proporción aire / combustible.....	58
3.5.2.7.5	Avance de la chispa / tiempo de encendido.....	60
3.5.2.7.6	Temperatura y presión ambiente.....	61
3.5.2.7.7	Temperatura y presión colector de admisión de aire.....	61
3.5.2.7.8	Temperatura del refrigerante del motor.....	64
3.5.2.7.9	Temperatura del combustible en el tanque de combustible.....	65
3.5.3	Ensayo de consumo específico de combustible.....	66
3.5.3.1	Calculo del flujo másico de combustible.....	66
3.5.3.1.1	Medición del volumen de combustible suministrado por los inyectores	66
3.5.3.1.2	Estimación numérica del volumen inyectado.....	70
3.5.3.1.3	Estimación del flujo másico inyectado.....	71
3.5.3.1.4	Cálculo consumo específico de combustible.....	72
3.5.4	Ensayo de emisión de gases de escape.....	74
CAPÍTULO IV.....		76
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		76
4.1	Introducción.....	76

4.2	Análisis de potencia	76
4.3	Análisis de torque.....	78
4.4	Análisis de consumo específico	80
4.5	Análisis de emisiones de gases de escape	84
4.5.1	Análisis de monóxido de carbono (CO).....	85
4.5.2	Análisis de hidrocarburos (HC)	87
4.5.3	Análisis de dióxido de carbono (CO ₂)	89
CAPÍTULO V		91
CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES		91
5.1	Conclusiones	91
5.2	Recomendaciones.....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		93
ANEXOS		96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Fases de operación del motor Otto.....	11
Figura 2-2 Parámetros indicados.....	12
Figura 2-3 Curvas características del par motor medidas en 2 motores de aspiración natural.....	16
Figura 2-4 Variación del rendimiento indicado, efectivo y mecánico de acuerdo a la velocidad media del pistón.....	20
Figura 2-5 Mapa de emisiones de NOx.....	26
Figura 2-6 Resultados del consumo específico del estudio de Jesús Antonio Camarillo Montero.....	39
Figura 2-7 Resultados del torque indicado del estudio de Jesús Antonio Camarillo Montero.....	40
Figura 2-8 Resultados de la potencia indicada del estudio de Jesús Antonio Camarillo Montero.....	40
Figura 3-1 Velocidad del motor pruebas con combustible "extra".....	53
Figura 3-2 Velocidad del motor pruebas con combustible "eco-país".....	54
Figura 3-3 Pruebas de potencia con combustible "extra".....	55
Figura 3-4 Pruebas de potencia con combustible "eco-país".....	56
Figura 3-5 Pruebas de torque con combustible "extra".....	57
Figura 3-6 Pruebas de torque con combustible "eco-país".....	58
Figura 3-7 Relación aire combustible pruebas con combustible "extra".....	59
Figura 3-8 Relación aire combustible pruebas con combustible "eco-país".....	59
Figura 3-9 Tiempo de encendido durante las pruebas con combustible "extra".....	60
Figura 3-10 Tiempo de encendido durante las pruebas con combustible "eco-país".....	60
Figura 3-11 Temperatura del aire de admisión durante las pruebas con combustible "extra".....	62
Figura 3-12 Temperatura del aire de admisión durante las pruebas con combustible "eco-país".....	62
Figura 3-13 Presión en el conducto de admisión durante las pruebas con combustible "extra".....	63
Figura 3-14 Presión en el conducto de admisión durante las pruebas con combustible "eco-país".....	63
Figura 3-15 Medición de temperatura del refrigerante del motor durante las pruebas con combustible "extra".....	64

Figura 3-16 Medición de temperatura del refrigerante del motor durante las pruebas con combustible “eco-país”	65
Figura 3-17 Simulación de suministro de combustible (gasolina extra) a 5500 rpm con un pulso de inyección de 6 ms (milisegundos) y un tiempo de duración de la prueba de 60 segundos	67
Figura 3-18 Volumen total suministrado por los 4 inyectores durante los ensayos de simulación con combustible “extra”	68
Figura 3-19 Volumen total suministrado por los 4 inyectores durante los ensayos de simulación con combustible “eco-país”	68
Figura 3-20 Velocidad del motor y pulsos de inyección grabados durante las pruebas de torque y potencia con combustible “extra”	69
Figura 3-21 Velocidad del motor y pulsos de inyección grabados durante las pruebas de torque y potencia con combustible “eco-país”	70
Figura 3-22 Método para la determinación de ecuaciones para regímenes registrados por escáner	71
Figura 3-23 Cálculo del flujo másico con combustible "extra"	72
Figura 3-24 Cálculo del flujo másico con combustible "eco-país"	72
Figura 3-25 Resultados consumo específico con combustible "extra"	73
Figura 3-26 Resultados consumo específico con combustible "eco-país"	74
Figura 4-1 Coeficiente de variación determinado en las pruebas de potencia con combustible "extra"	77
Figura 4-2 Coeficiente de variación determinado en las pruebas de potencia con combustible "eco-país"	77
Figura 4-3 Comparación de potencia entre combustible "extra" y "eco-país"	78
Figura 4-4 Coeficiente de variación determinado en las pruebas de torque con combustible "extra"	79
Figura 4-5 Coeficiente de variación determinado en las pruebas de torque con combustible "eco-país"	79
Figura 4-6 Comparación de torque entre combustible "extra" y "eco-país"	80
Figura 4-7 Ejemplo para determinar valores que se encuentren fuera del intervalo de confianza	82
Figura 4-8 Curva promedio consumo específico con combustible "extra"	83
Figura 4-9 Curva promedio consumo específico con combustible "eco-país"	83
Figura 4-10 Comparación de torque entre combustible "extra" y "eco-país"	84

Figura 4-11 Emisión de CO a 800 rpm con combustible "extra" y "eco-país"	85
Figura 4-12 Emisión de CO a 2500 rpm con combustible "extra" y "eco-país"	86
Figura 4-13 Emisión de HC a 800 rpm con combustible "extra" y "eco-país"	87
Figura 4-14 Emisión de HC a 2500 rpm con combustible "extra" y "eco-país"	88
Figura 4-15 Emisión de CO ₂ a 800 rpm con combustible "extra" y "eco-país"	89
Figura 4-16 Emisión de CO ₂ a 2500 rpm con combustible "extra" y "eco-país".....	90

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Actividades a realizar según los objetivos específicos.....	4
Tabla 2-1 Reservas probadas, producción y consumo total de petróleo a nivel mundial	8
Tabla 2-2 Parámetros indicados	13
Tabla 2-3 Parámetros efectivos.....	14
Tabla 2-4 Formula del consumo específico de combustible.....	15
Tabla 2-5 Valores típicos de consumo específico de combustible en motores de 4 tiempos.....	15
Tabla 2-6 Tipos de curvas características	17
Tabla 2-7 Variables que afectan a los parámetros de salida del motor.....	19
Tabla 2-8 Valores máximos tradicionales de régimen y velocidad lineal media del pistón en MEP.....	20
Tabla 2-9 Comparación de las características físico-químicas del etanol con respecto a la gasolina.....	28
Tabla 2-10 Requisitos de la gasolina de 87 octanos (RON)	31
Tabla 2-11 Límites máximos permitidos para fuentes móviles con motor a gasolina	36
Tabla 2-12 Resultados del análisis del Torque, Potencia, consumo específico de combustible y dióxido de carbono en un MCI A con mezclas de gasolina-etanol en proporciones de E0, E10, E20, E30	38
Tabla 2-13 Porcentaje de variación de las emisiones del estudio de Jesús Antonio Camarillo Montero	41
Tabla 3-1 Especificaciones del banco dinamométrico Dynocom DC 5000	44
Tabla 3-2 Especificaciones técnicas del motor de Chevrolet Aveo Family.....	46
Tabla 3-3 Densidad de combustibles	47
Tabla 3-4 Poder calorífico superior de los combustibles.....	48
Tabla 3-5 Sistemas del vehículo	51
Tabla 3-6 Características del aceite de lubricación.....	52
Tabla 3-7 Características del refrigerante.	52
Tabla 3-8 Temperatura y presión atmosférica	61
Tabla 3-9 Temperatura y presión atmosférica	61
Tabla 3-10 Temperatura del combustible “extra”	65
Tabla 3-11 Resultados de la medición de gases con combustible "extra" y "eco-país"	75

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Manual de operación y procedimiento de obtención del poder calorífico ..	96
Anexo 2 Resultados potencia y torque con combustible “extra”	102
Anexo 3. Resultados potencia y torque con combustible “eco-país”	103
Anexo 4 Volumen total inyectado en el banco de inyección con combustible "extra"	104
Anexo 5 Volumen total inyectado en el banco de inyección con combustible "eco-país"	104
Anexo 6 Determinación del volumen a regímenes de giro registrados por el escáner mediante interpolación durante las pruebas con combustible “extra”	105
Anexo 7 Determinación del volumen a regímenes de giro registrados por el escáner mediante interpolación durante las pruebas con combustible “eco-país”	106
Anexo 8 Obtención del flujo másico con combustible "extra"	107
Anexo 9 Obtención del flujo másico con combustible "eco-país"	108
Anexo 10 Obtención del consumo específico con combustible "extra"	109
Anexo 11 Obtención del consumo específico con combustible "eco-país"	110
Anexo 12 Determinación intervalos de confianza para pruebas combustible "extra"	111
Anexo 13 Determinación intervalos de confianza para pruebas combustible "eco-país"	112
Anexo 14 Obtención curva promedio de consumo específico datos combustible “extra”	113
Anexo 15 Obtención curva promedio de consumo específico datos combustible "eco- país"	114

EVALUACIÓN DEL CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES DE GASES DE ESCAPE, CON EL USO DEL COMBUSTIBLE ECO-PAÍS EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se realiza una revisión del estado del arte referente a: biocombustibles en el mundo y en el Ecuador, una explicación teórica sobre conceptos y parámetros que influyen en el comportamiento de un motor de combustión interna alternativo; y el estudio de diferentes sistemas de inyección con tecnología Flex-fuel. Después se plantea una metodología para evaluar la potencia, torque, consumo específico y emisiones de gases de escape del motor utilizando los combustibles “extra” y “eco-país”, para la medida de estas variables se ha utilizado un banco dinamométrico de chasis. Al final se hace un análisis de los resultados obtenidos mediante gráficas de valores medios con sus respectivas medidas de dispersión y se presentan las conclusiones referentes a estos resultados.

PALABRAS CLAVES: Motor, potencia, torque, consumo específico, combustibles, extra, eco-país.



Ing. Miguel Andrés López Hidalgo PhD.
Director del trabajo de titulación



Ing. Mateo Fernando Coello Salcedo Mgst.
Director de escuela



William Fernando Maurat Argudo
Autor



Cristian Paúl Galarza Valarezo
Autor

EVALUATION OF SPECIFIC FUEL CONSUMPTION AND EXHAUST GAS EMISSIONS IN AN ALTERNATIVE INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH THE USE OF *ECO-PAIS* FUEL

ABSTRACT

This graduation work performed a state of the art review of biofuels in the world and in Ecuador. It also presented a theoretical explanation on concepts and parameters that influence the behavior of an alternative internal combustion engine as well as the study of different injection systems with Flex-fuel technology. Then, a methodology to evaluate power, torque, specific consumption and gas emissions of engine exhaust that uses "extra" and "eco-country" fuels, was proposed. A chassis dynamometer was used to measure these variables. Finally, an analysis of the results was presented through graphs of mean values with their respective dispersion measures. Lastly, the conclusions based on these results were submitted.

KEYWORDS: engine, power, torque, specific consumption, fuels, extra, *eco-pais*.



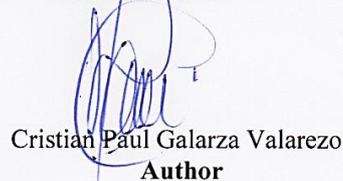
Ing. Miguel Andrés López Hidalgo PhD.
Thesis Director



Ing. Mateo Fernando Coello Salcedo Mgst.
School Director



William Fernando Maurat Argudo
Author



Cristian Paul Galarza Valarezo
Author



Translated by
Lic. Lourdes Crespo

Maurat Argudo William Fernando

Galarza Valarezo Cristian Paúl

Trabajo de Titulación

Ing. Miguel Andrés López Hidalgo. PhD

Diciembre, 2016

EVALUACIÓN DEL CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES DE GASES DE ESCAPE, CON EL USO DEL COMBUSTIBLE ECO-PAÍS EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO

INTRODUCCIÓN

Los biocombustibles son producidos a través de la biomasa, su uso empezó en la década de 1970 en países como Brasil debido a la escasez de petróleo, en Ecuador a partir del 2010 se inició un plan piloto para la introducción de un nuevo combustible llamado “eco-país”, el cual es una mezcla de 95% de gasolina regular y 5% de etanol el mismo que se extrae de la caña de azúcar, actualmente este combustible se expende en la provincia del Guayas y tiene como objetivo distribuirse en todo el territorio ecuatoriano por lo que se hace necesario un estudio del comportamiento del motor de combustión interna alternativo utilizando “eco-país” como combustible en ciudades de altura.

El presente proyecto, realiza un estudio teórico del motor de combustión interna alternativo, de los combustibles y biocombustibles y estado del arte, se indica la metodología utilizada para el desarrollo de las pruebas de torque, potencia, consumo específico de combustible y análisis de emisiones de gases de escape, así como los resultados de las mismas.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

En el 2010 el Gobierno Ecuatoriano inició un plan piloto para el expendio de un nuevo combustible denominado eco-país, el cual contiene 5% de etanol y 95% de gasolina, con la finalidad de reducir las importaciones de nafta, y para ajustarse al cambio de la nueva matriz energética (Ministerio coordinador de producción, 2014).

Según el plan del gobierno el combustible “eco-país” deberá reemplazar en su totalidad a la gasolina “extra”, actualmente este nuevo combustible está expendiéndose únicamente en el litoral ecuatoriano y no se ha utilizado en ciudades de altura como lo es Cuenca, es por ello que se propone evaluar el comportamiento del MCIA (motor de combustión interna alternativo) utilizando dicho combustible.

1.2 Problemática

No se conoce el consumo específico de combustible y emisiones de gases de escape al usar el combustible “eco-país” a pesar de que hay muchos estudios que analizan el rendimiento de un MCIA con diferentes mezclas de etanol-gasolina.

1.3 Objetivo General

- Evaluar un motor de combustión interna alternativo utilizando el combustible “eco-país” en la ciudad de Cuenca.

1.4 Objetivos específicos

- Determinar los fundamentos teóricos para el análisis de curvas características del MCIA y emisiones de gases de escape.

- Determinar la variación del consumo específico de combustible entre el combustible “extra” y el combustible “eco-país”.
- Determinar la variación de las emisiones de gases de escape entre el combustible “extra” y el combustible “eco-país”.
- Realizar el análisis comparativo del resultado de las pruebas de consumo específico de combustible y de emisiones de gases de escape.

1.5 Metodología

Se realizará la recopilación, selección y análisis del material bibliográfico que servirá como fuente teórica y conceptual para el desarrollo de la investigación que permitirá contar con los fundamentos teóricos para el estudio.

Para determinar la potencia y el torque del vehículo se usará un banco dinamométrico basándonos en la norma SAE J1349, y a su vez se determinará el consumo específico de combustible usando el combustible “extra” y el combustible “eco-país”.

En la evaluación de las emisiones de gases de escape se usará un analizador de gases siguiendo el procedimiento de las normas NTE INEN 2 203 y NTE INEN 2 204, con el objetivo de obtener la concentración de emisiones de gases de escape.

Los datos obtenidos se analizarán y tabularán para realizar la respectiva comparación entre ambos carburantes y obtener los resultados finales, en la Tabla 1-1 se muestran las actividades a realizar en función de los objetivos específicos, las metas servirán para medir el avance del estudio.

Tabla 1-1 Actividades a realizar según los objetivos específicos.

Objetivos Específicos	Actividades	Metas
<p>Determinar los fundamentos teóricos para el análisis de curvas características del motor y emisiones de gases de escape</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar principios de funcionamiento y curvas características del MCIA. • Investigar funcionamiento y operación de banco dinamométrico. • Investigar funcionamiento de y operación de analizador de gases. • Investigar normativas para medir curvas características del motor. • Investigar normativas sobre emisión de gases contaminantes NTE INEN 2 203. 	<p>Determinar claramente los fundamentos teóricos, para llevar a cabo las pruebas correspondientes.</p>
<p>Determinar la variación del consumo específico de combustible utilizando un banco dinamométrico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Puesta a punto del vehículo. • Preparación del vehículo, equipos y materiales para realizar la prueba. • Preparación del banco dinamométrico. • Realizar la prueba de torque y potencia con combustible “extra” y “eco-país”. Mediante norma SAE J1349. • Para el consumo específico de combustible se deberá registrar el pulso de inyección durante cada prueba. • Obtención de datos, curva de consumo específico de combustible. 	<p>Determinar el consumo específico de combustible (gr/HP.h)</p>

<p>Determinar la variación de las emisiones de gases de escape en el analizador de emisiones MAHA MGT 5</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Preparación del vehículo y equipos para realizar la prueba. • Preparación del analizador de gases. • Realizar prueba combustible extra y eco-país según las normas NTE INEN 2 203 y NTE INEN 2 204. • Obtención de datos emisión de gases de escape. • Realizar lectura de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar los porcentajes de CO, CO₂ y de HC.
<p>Realizar el análisis comparativo del resultado de las pruebas dinámicas y de emisiones de gases de escape</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Interpretación de Datos. • Realizar Tablas comparativas. • Realizar graficas comparativas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar cuál será la variación del consumo específico de combustible y emisiones de gases de escape del combustible eco-país con respecto a la gasolina extra

Fuente: Autores

1.6 Alcances y resultados

Este proyecto pretende comparar la variación del consumo específico de combustible y emisiones de gases de escape al usar el combustible “eco país” y “extra”.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción

En este capítulo se presentan los antecedentes internacionales y nacionales referentes al consumo de energía primaria, en donde se ubica al petróleo como su principal proveedor, en la segunda parte se estudian los parámetros básicos de los MCIA, los cuales permiten evaluar su funcionamiento.

En una tercera parte se hace una revisión de las tecnologías usadas en MCIA para el uso de biocombustibles, para continuar luego con el estudio de las emisiones de gases de escape, tipos de combustibles y biocombustibles con una especial atención en los aplicados en motores de combustión de encendido provocado.

También se realiza una investigación sobre las normativas indicadas para la medición de potencia, torque consumo específico de combustible y emisiones de gases de escape. Finalmente se muestran resultados de investigaciones de biocombustibles en MCIA.

2.2 Antecedentes

2.2.1 Contexto internacional

El petróleo es el principal proveedor de energía primaria en el mundo; junto con el gas natural y el carbón constituyen el 87% del consumo energético del planeta. Para el 2015 la producción mundial promedio del año se ubicó en 91,67 millones de barriles de petróleo por día como se indica en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1 Reservas probadas, producción y consumo total de petróleo a nivel mundial

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Reservas probadas de petróleo en miles de millones	1636,6	1675,3	1697,9	1701	1700,1	1697,6
Producción total en miles de barriles por día	83283	84097	86218	86591	88834	91670
Consumo total en miles de barriles por día	88765	89790	90663	92049	93109	95008

Fuente: (BP Statisticals, 2016)

El total Mundial de reservas probadas de petróleo llegó a 1,69 billones de barriles a finales de 2015, mientras que el consumo mundial de petróleo para el 2015 alcanzó los 92,08 millones de barriles por día aproximadamente, los cuales se convierten en una variedad de derivados como la gasolina y el gasoil utilizados en el sector transporte, industrial, residencial. etc. La diferencia entre producción y consumo se debe a factores como el uso de aditivos no derivados del petróleo, combustibles sustitutos y errores estadísticos (BP Statisticals, 2016).

La supremacía del petróleo a nivel mundial es evidente e innegable, teniendo un dominio total de los mercados e influyendo directamente sobre la economía global, por su volatilidad en los precios debido a factores políticos, cotización de las monedas con respecto al dólar, factores como la elevada o reducida demanda existente y capacidad de la oferta para satisfacerla.

También tiene especial incidencia sobre la contaminación, ya que cualquier sector que consuma energía que resulte de la combustión de derivados fósiles es una fuente significativa de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al calentamiento global.

Como alternativas para disminuir la dependencia del petróleo y el impacto ambiental que este ocasiona se han propuesto el uso de energías renovables limpias y que a su vez puedan competir con los precios de los carburantes fósiles, dentro de estas nuevas alternativas que son varias, se puede mencionar los biocombustibles como por ejemplo el biodiesel y el bioetanol, que se pueden utilizar en MCIA.

Hoy en día los biocombustibles, representan una fuente sustentable y renovable de energía, mitigan el cambio climático disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero, reducen la dependencia del petróleo y las importaciones de energía.

2.2.2 Contexto nacional

En el Ecuador el petróleo representa el 90% de la producción de energía primaria, siendo el sector transporte el que tiene el mayor consumo con un 50% de participación, de los cuales el 43% son gasolinas y el 42% diésel, para satisfacer esta demanda el Ecuador importa una cantidad considerable de GLP, diésel 2 y naftas, provocando un déficit económico al país (Iturralde Duran, 2013).

Por otro lado, tenemos también el impacto ambiental que provocan las emisiones de las fuentes fósiles de combustible, de ahí la iniciativa del gobierno para implementar el programa “eco-país”, con el cual se reducirá las importaciones de nafta de alto octanaje (NAO), introducirá mejoras en la calidad del aire y aportará a la nueva matriz energética.

El combustible “eco-país” inició expendiéndose en el 2010 en varias estaciones de servicio de la ciudad de Guayaquil, en la actualidad este combustible se vende en todas las estaciones de servicio de los cantones de: Guayaquil, Duran, Daule, Samborondón, Milagro, y Yaguachi.

Este nuevo combustible se compone actualmente de una mezcla de 5% de etanol y 95% de gasolina base, para los años 2016 a 2018 se pretende incrementar la mezcla al 10% de etanol; y a partir del 2019 llegar al 15%. Con la finalidad que “eco-país” reemplace totalmente a la gasolina “extra” en todo el Ecuador (Andes, 2013).

2.3 Parámetros básicos de los motores de combustión interna alternativos

Se presentan los parámetros básicos de los MCIA para caracterizar su operación y funcionamiento, los cuales permiten conocer el comportamiento de un motor a diferentes condiciones de funcionamiento, proporcionan información relativa de la

potencia, torque, rendimiento y emisiones que además influyen directamente sobre sus prestaciones, en resumen, permiten evaluar el funcionamiento de un motor.

2.3.1 Motor de combustión interna alternativo

El MCIA es un motor endotérmico volumétrico, que funciona a partir del volumen variable que se genera en la cámara de combustión por el movimiento lineal del pistón, guiado en el bloque motor que está unido a la biela articulada al cigüeñal, generando movimiento rotativo del mismo. (Flores Alvarez, 2005)

Dentro de los MCIA existen dos tipos: motores de encendido por compresión (MEC), o motores diésel y motores de encendido provocado (MEP) más conocidos como motores Otto o motores a gasolina.

2.3.2 Ciclo Otto

El ciclo Otto es el idóneo para un motor de encendido por chispa que se caracteriza por aspirar una mezcla aire-combustible, el ciclo de funcionamiento es el siguiente, el cual se puede observar conjuntamente a través de la Figura 2-1.

1. Fase (Admisión): Durante esta fase la válvula de admisión se abre y el pistón recorre desde el punto muerto superior (PMS) al punto muerto inferior (PMI) generando vacío mediante el cual se absorbe la mezcla aire combustible preparada en el múltiple de admisión.
2. Fase (Compresión): En esta etapa el pistón recorre del PMI al PMS con las válvulas de admisión y escape cerradas comprimiendo la mezcla.
3. Fase (Trabajo): En esta fase con las válvulas cerradas se genera la chispa en la bujía la misma que combustiona la mezcla aumentando la presión la cual genera una fuerza empujando al pistón del PMS al PMI.
4. Fase (Escape): En esta fase la válvula de escape se abre y el pistón recorre del PMI al PMS expulsando los gases quemados al exterior.

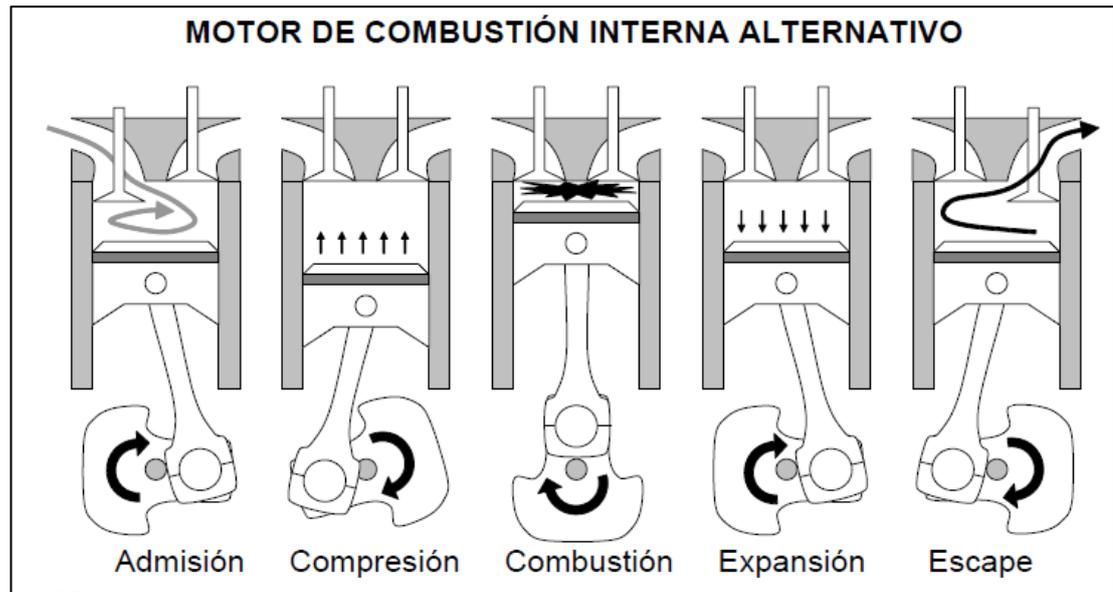


Figura 2-1 Fases de operación del motor Otto.

Fuente: (Payri & Desantes, 2011).

2.3.3 Torque

Es el producto de la fuerza por el brazo de palanca aplicado, se expresa en Kg.m (kilogramo fuerza metro), en N.m (Newton-metro) o lb.pie (Libras-pie); en el motor la fuerza es generada por la combustión de la mezcla aire gasolina, y se transmite al codo del cigüeñal generando un momento torsor el cual varía en función del desplazamiento del pistón. Es por ello que a cada velocidad de giro corresponde un valor medio de par (Payri & Desantes, 2011).

2.3.4 Potencia

Es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo se expresa en J/s (Julios/segundo), en Kgm/s (kilográmetros/segundo), CV (caballos vapor) y en W (vatios) (Payri & Desantes, 2011).

2.3.5 Régimen de giro

Representa la velocidad angular con la que gira el cigüeñal durante una unidad de tiempo se expresa en RPM (revoluciones por minuto) rad/s (radianes sobre segundo) (Payri & Desantes, 2011).

2.3.6 Parámetros indicados y efectivos

Son los que indican las prestaciones del motor, los parámetros indicados aluden a lo sucedido en el interior del cilindro, mientras que los efectivos hacen referencia a lo que ocurre en el eje del motor.

2.3.6.1 Parámetros indicados

Representan el cambio de la presión instantánea en la cámara relacionados con aspectos termodinámicos durante el ciclo de trabajo en función del volumen del cilindro, en la Figura 2-2 se observa como la presión dentro de la cámara de combustión varía a medida que se suscitan las diferentes fases del motor cuando el pistón recorre del PMS al PMI debido a la variación del volumen (Payri & Desantes, 2011).

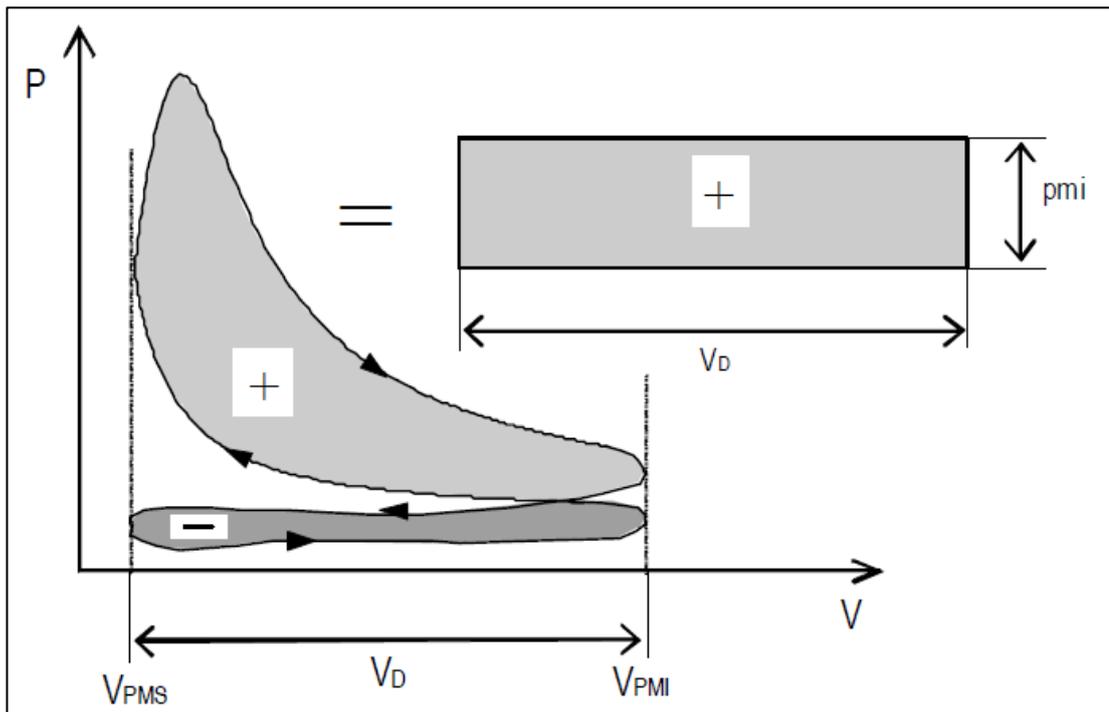


Figura 2-2 Parámetros indicados

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

En la Tabla 2-2 se indica el concepto y fórmula de los parámetros indicados que se consideran en el estudio de un motor de combustión interna alternativo.

Tabla 2-2 Parámetros indicados

PARÁMETROS INDICADOS			
PARÁMETRO	CONCEPTO	FÓRMULA	DONDE
Trabajo indicado.	Es el trabajo que se obtiene durante la fase de compresión y expansión es decir desde el PMI de la fase de admisión hasta el PMI de la fase de escape.	$W_i = \int_{PMS\ ad}^{PMI\ es} p dV$	Wi = Trabajo indicado.
			PMI = Punto muerto inferior.
			PMS = Punto muerto superior.
			p= Presión.
			dV= Derivada del volumen.
Potencia indicada.	Es producto del trabajo indicado generado en el interior del cilindro debido a la combustión de la mezcla por unidad de tiempo.	$N_i = i n W_i$	Ni = Potencia indicada
			i = Número de ciclos por revolución.
			n = Número de revoluciones por minuto.
			Wi = Trabajo indicado.
Rendimiento indicado.	Expresa la utilidad con la que se transforma la energía almacenada en el combustible en energía mecánica.	$n_i = \frac{N_i}{m_f PCI}$	ni = Rendimiento indicado
			Ni = Potencia indicada
			mf = Gasto másico de combustible
			PCI = Poder calorífico inferior
Presión media indicada.	Es la presión constante que durante la fase de expansión generaría un trabajo igual al trabajo indicado.	$pmi = \frac{W_i}{V_D}$	pmi = Presión media indicada
			Wi = Trabajo indicado.
			VD = Volumen desplazado.

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

2.3.6.2 Parámetros efectivos

Se refiere a la energía resultante en el cigüeñal incluyendo pérdidas por bombeo, perdidas por fricción, y por elementos auxiliares en la

Tabla 2-3 se indican los parámetros efectivos que se consideran en el estudio de un motor de combustión interna para determinar sus características y propiedades de funcionamiento.

Tabla 2-3 Parámetros efectivos

PARÁMETROS EFECTIVOS			
PARÁMETRO	CONCEPTO	FORMAS DE MEDICIÓN	
Par efectivo	Es posible su medida mediante ensayos dinámicos, es una magnitud que ofrece una información directa de las prestaciones del motor ya que indica la capacidad tractora que brinda el motor de ella se derivan las curvas características del motor ensayado. Existen dos formas de medir el par efectivo de un motor: directa e indirectamente.	<p>Método directo: el motor es conectado a un elemento que absorbe y disipa la energía entregada por el motor, dicho elemento es el que ofrece el par resistente y se denomina freno dinamométrico. Los tipos de freno más frecuente son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frenos de fricción. • Frenos hidráulicos. • Freno electromagnético. • Dinamofreno. • Frenos asíncronos. <p>Método indirecto: en este método el elemento de medición no absorbe ni disipa la potencia que entrega el motor, presentan la característica de que no necesitan complicadas instalaciones para realizar la medida, es por ello que se lo puede realizar con el motor en su funcionamiento normal. El resultado no es tan preciso como el método directo por lo que la medición se realiza midiendo el eje de transmisión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Método extensiométricos. • Método torsimétrico. 	
		PARÁMETRO	CONCEPTO
Potencia efectiva.	Es la cantidad de par efectivo que entrega el motor durante un régimen de giro.	$N_e = M_e \cdot \omega$ $\omega = 2\pi n$	Ne = Potencia efectiva Me = Par efectivo. w = velocidad angular n = régimen de giro.
Trabajo efectivo.	Es el trabajo que se obtiene en el eje del cigüeñal durante un ciclo completo de trabajo.	$W_e = \frac{N_e}{in}$	We = Trabajo efectivo. Ne = Potencia efectiva i = Número de ciclos por revolución. n = régimen de giro.
Rendimiento efectivo	Representa la capacidad de transformar la energía liberada por el combustible en energía mecánica en el cigüeñal.	$n_e = \frac{N_e}{m_f PCI}$	ne = Rendimiento efectivo Ne = Potencia efectiva mf = Gasto másico de combustible. PCI = poder calorífico inferior
Rendimiento mecánico	Es la relación entre la energía mecánica que se extrae del cigüeñal y la que se obtiene en el pistón.	$n_m = \frac{W_e}{W_i} = \frac{N_e}{N_i}$	nm = Rendimiento mecánico We = Trabajo efectivo. Wi = Trabajo indicado. Ne = Potencia efectiva Ni = Potencia indicada
Presión media efectiva	Se expresa como una presión constante que durante la fase de expansión producirá un trabajo igual al trabajo efectivo.	$pme = \frac{W_e}{V_T} = \frac{N_e}{inV_T}$ $V_T = zV_D$	pme = Presión media efectiva. VT = Cilindrada total. Ne = Potencia efectiva i = Número de ciclos por revolución. n = régimen de giro. z = Número de cilindros VD = Cilindrada unitaria.

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

2.3.7 Consumo específico de combustible

Parte del estudio es demostrar la variación del consumo específico de combustible en el MCIA utilizando ambos carburantes es por ello que se torna necesario conocer su concepto y métodos de medición.

Consumo específico de combustible es el consumo horario de combustible que se da en relación a la potencia producida, en la Tabla 2-4 se observa la fórmula para medir el consumo específico de combustible. En la Tabla 2-5 se muestran los valores típicos de consumo específico de combustible para motores a gasolina de 4 tiempos.

Tabla 2-4 Formula del consumo específico de combustible

$g_{ef} = \frac{\dot{m}_f}{N_e}$	g_{ef}	Consumo específico.
	\dot{m}_f	Gasto másico de combustible.
	N_e	Potencia efectiva.

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

Tabla 2-5 Valores típicos de consumo específico de combustible en motores de 4 tiempos

Motores de encendido provocado (MEP)		g_{ef} g/kWh
4 Tiempos	Motocicletas	260
	Automoviles	249

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

2.3.7.1 Medida de gasto de combustible

Es importante para conocer el consumo de combustible, determinar el dosado y el consumo específico del motor, el cual radica en medir el tiempo en el que el motor funcionando de manera estable se demora en consumir una cantidad determinada de combustible. Los métodos más utilizados para medir este parámetro son:

- Método gravimétrico: consiste en determinar el tiempo que le lleva al motor consumir cierta masa conocida de combustible, es una de las formas más simples, pero es uno de los sistemas más costosos.

- Método volumétrico: consiste en determinar el tiempo que le lleva al motor consumir cierto volumen de combustible, es un sistema más económico por su simplicidad, con el inconveniente que es sensible a las variaciones de temperatura (Payri & Desantes, 2011).

2.3.8 Curvas Características

Es una forma de indicar las prestaciones, emisiones o parámetros de interés de un motor mediante gráficos bidimensionales, con el fin de proporcionar información sobre el funcionamiento de un motor, los parámetros de interés más frecuentes son: la potencia, el par, el régimen de giro, el consumo y las emisiones. En la Figura 2-3 se observa como mediante curvas características se comparan el par motor medido en dos motores de aspiración natural en función de sus revoluciones.

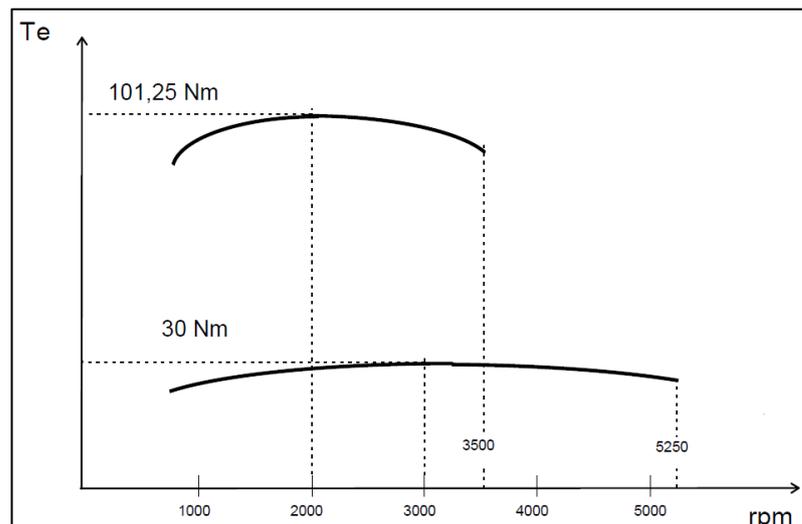


Figura 2-3 Curvas características del par motor medidas en 2 motores de aspiración natural

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

2.3.8.1 Objetivos de las curvas características

- Indicar la variación de los parámetros de los MCIA en función de las condiciones de funcionamiento.
- Representar la variación de los parámetros de los MCIA en función de los entornos de operación.
- Evaluar la capacidad de un motor para un determinado funcionamiento.
- Comparar distintos MCIA entre sí.

En la Tabla 2-6 se describe cuales son el tipo de curvas más utilizadas al momento de representar parámetros medidos de un motor.

Tabla 2-6 Tipos de curvas características

CURVAS CARACTERÍSTICAS	
Curvas características de velocidad	Indican parámetros de interés en función del régimen de giro y para un grado de carga constante, que por lo general corresponden a las máximas capacidades de un motor.
Curvas características de carga	Indican los parámetros del motor en función de la carga para un régimen de giro determinado.
Curvas Características multiparamétricas	Representan el cambio de uno o varios parámetros de interés en función de más de una variable de operación, donde se obtienen mapas bidimensionales que indican el funcionamiento del motor a carga parcial.
Curvas características de regulación	La estructura es muy dependiente de la aplicación y del parámetro de regulación empleado.

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

2.3.9 Curvas características a plena carga

Estas curvas se obtienen para la máxima densidad de admisión durante un régimen continuo en motores de combustión provocada y para una máxima tasa de inyección de combustible, las mismas que representan el par motor, la potencia efectiva y el consumo específico en función del régimen de giro. Esta información suele ser suficiente para efectos comerciales, pero para aplicaciones de regulación y acreditación se requiere también la temperatura y caudal de los gases de escape.

Las variaciones que presente el par motor con el régimen de giro corresponderán a variaciones del rendimiento volumétrico, el rendimiento indicado y el rendimiento mecánico, al igual que el límite de emisiones el cual provocaría que se disminuya el dosado de combustible a altas revoluciones.

- El rendimiento volumétrico a altas revoluciones se ve afectado, junto con la del rendimiento mecánico, los mismos que inducen la caída más significativa de la

curva de par lo cual se trata de contrarrestar a través de la configuración de la geometría de los ductos de admisión y escape o con un reglaje de la apertura y cierre de válvulas.

- El rendimiento mecánico presenta valores altos a bajas revoluciones, como respuesta a este comportamiento, el consumo específico de combustible aumenta a medida que incrementan las revoluciones.
- El rendimiento indicado suele mantenerse en un valor casi constante para un amplio intervalo de revoluciones, con la excepción de bajas revoluciones debido a la disminución de la turbulencia (Payri & Desantes, 2011).

2.3.10 Variables de operación que afectan a los parámetros de salida del motor

Durante el desarrollo de evaluaciones de un MCIA existen parámetros que afectan o modifican los resultados del mismo es por ello que durante las pruebas se debe tener el mayor cuidado con estos parámetros para que los resultados no se vean afectados en la Tabla 2-7 se indica el concepto de cada una de las variables que deben considerarse al momento de evaluar un MCIA.

Tabla 2-7 Variables que afectan a los parámetros de salida del motor

VARIABLES QUE AFECTAN PARÁMETROS DE SALIDA	
VARIABLE	CONCEPTO
Dosado.	Las variaciones en el dosado repercuten en el funcionamiento del motor, sobre todo en el desarrollo de la combustión y en el rendimiento efectivo.
Presión y temperatura de admisión.	La presión de admisión en el cilindro, se modifica a través de la válvula de mariposa y mediante el grado de sobre alimentación. Lo cual permite que el motor trabaje con presiones menores, iguales o superiores a la atmosférica. Relacionada con la presión esta la temperatura de admisión, ya que la densidad en la admisión es la que determina el grado de carga del motor, dependiendo esta tanto de la presión como de la temperatura.
Régimen de giro.	No se trata de una variable de control si no de una variable de operación dependiente. Al cambiar su valor, varia la potencia que entrega el MCI, tanto en pruebas estacionarias como dinámicas o de régimen variable.
Características del combustible.	El índice de octano determina las circunstancias en las que puede funcionar un determinado motor con relación al proceso de combustión. A esas propiedades específicas cabe añadir el uso de aditivos o propias del combustible como el uso de biocombustibles que afectan la atomización y vaporización. Los combustibles gaseosos afectan el llenado por el volumen que ocupa el mismo, pero en cambio presenta mejoras en la mezcla con el aire.
Recirculación de gases de escape.	Introducido para disminuir las emisiones de NOx, la recirculación de gases perjudica el llenado del cilindro, disminuyendo la potencia entregada y perjudicando el consumo específico.
Avance al encendido.	Una variación del avance de encendido perjudicaría la combustión, provocando un déficit en la potencia o pero aun provocar autoencendidos.
Inyección de combustible.	Una variación inoportuna de este parámetro empeora sensiblemente el comportamiento del MCI.
Relación de compresión.	Tiene una influencia muy llamativa en el rendimiento de un MEP y no solo como variable de diseño, si no como variable de operación, permitiendo modificar las curvas del motor, disminuyendo el consumo específico en regímenes altos y a carga parcial.

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

2.3.11 Variación del rendimiento del MCIA según la velocidad el pistón

Una de las variables de diseño que influyen en el rendimiento de un MCIA es la velocidad media del pistón. Su funcionamiento óptimo aparece a un régimen determinado, sin embargo, el MCIA puede trabajar en un amplio régimen de giro influyendo en su rendimiento efectivo ver Figura 2-4. En motores de encendido provocado la velocidad lineal media del pistón debe mantenerse baja en motores donde se desee obtener fiabilidad y duración sacrificando la potencia máxima mientras que las altas velocidades están vinculadas a motores de altos regímenes de giro para obtener mayor potencia, en la Tabla 2-8 se indica los valores máximos tradicionales de régimen y velocidad lineal media del pistón en MEP (Payri & Desantes, 2011).

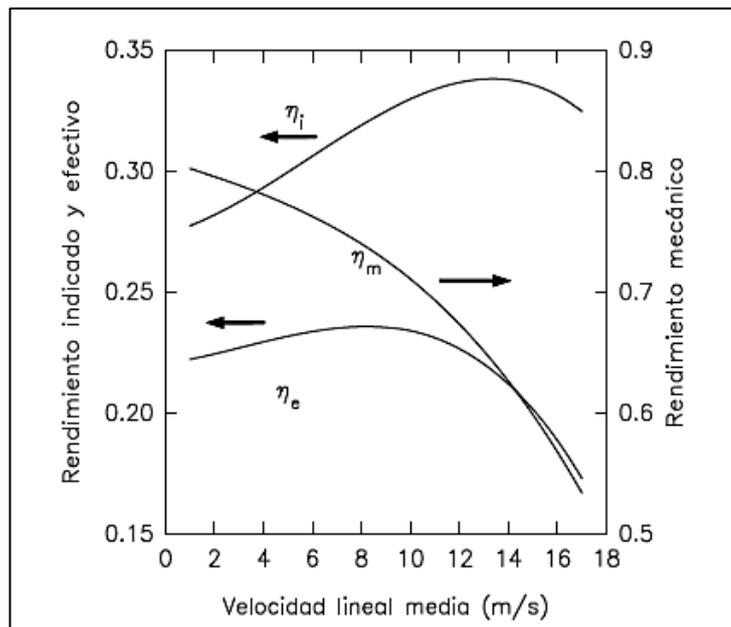


Figura 2-4 Variación del rendimiento indicado, efectivo y mecánico de acuerdo a la velocidad media del pistón

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

Tabla 2-8 Valores máximos tradicionales de régimen y velocidad lineal media del pistón en MEP.

Motor de encendido provocado (MEP)		Régimen	Velocidad media del pistón
		(rpm)	(m/s)
4 Tiempos	Competición (F1)	18000	25
	Motocicletas	13500	19
	Automovil	7500	20

Fuente: (Payri & Desantes, 2011).

2.4 Tecnología Flex fuel

La tecnología Flex fuel hace referencia a la utilización de dos combustibles en un mismo motor, la combinación más utilizada en motores a gasolina es la mezcla gasolina-etanol, la mezcla toma nombres como gasohol o alcolnafta, estos normalmente se usan cuando la concentración de etanol es baja; el nombre la proporción de la mezcla generalmente se denota con la letra E seguida de un número que indica el porcentaje de etanol contenido en dicha solución.

En el 2003, en Brasil se inició con la producción de vehículos capaces de funcionar con mezclas de etanol-gasolina desde E0 hasta E100, a esta clase de automóviles se les denominó “Flex fuel”, como ejemplo se puede citar el Volkswagen Gol 1.6 Total Flex con tecnología Bosch y el Chevrolet Corsa 1.8 Flexpower, vehículos que fueron fabricados ese mismo año.

2.4.1 Vehículos Flex fuel

Los vehículos de combustible flexible FFV (Flex Fuel Vehicle) están diseñados para funcionar con más de un tipo de carburante, vienen con un sistema de inyección de combustible que funciona con gasolina, una mezcla de gasolina y etanol en cualquier porcentaje o etanol puro, la proporción de etanol puede variar de 5% (E5) a 100% (E100).

Los FFV están equipados con un dispositivo que tiene la función de determinar la proporción de la mezcla etanol-gasolina que está alimentando al motor, para luego adaptar el sistema de inyección e ignición a las características de la mezcla detectada.

Poseen un solo tanque de combustible, sistema de alimentación y motor, necesitan por lo menos un 15% de gasolina para funcionar esto es básicamente para el arranque en climas fríos, la computadora del vehículo calibra la alimentación de combustible y el avance de encendido para controlar la combustión, permitir el arranque en frío y cumplir con los requisitos de emisiones.

Los elementos internos del motor como pistones, válvulas, etc., se fabrican con materiales compatibles con las propiedades químicas del etanol al igual que el sistema de inyección de combustible, conexiones eléctricas y cables del sistema de combustible, conjunto de bomba de combustible y tanque de combustible.

El conjunto de llenado de combustible posee un sistema anti-sifón y amortiguador de chispas diseñado para tener en cuenta la mayor conductividad del etanol, así como el depósito de combustible debe reducir al mínimo las emisiones evaporativas del etanol (U. S. Department of Energy, 2010).

Brasil es el país que más ha desarrollado y fomentado este tipo de medios de transporte. Estados Unidos, Canadá, Suecia y algunos otros países de la Unión Europea también lo utilizan, pero en menor proporción. En la actualidad, varias empresas de automóviles fabrican estos vehículos Flex fuel, como, por ejemplo: Toyota, Nissan Mercedes-Benz, Jeep, GMC, Ford, Dodge, Chevrolet, (U. S. Department of Energy, 2015), entre otras.

2.4.2 Sistemas Flex fuel Bosch

Estos sistemas reconocen y se adaptan automáticamente a la proporción de la mezcla etanol-gasolina que esté en el tanque de combustible. El sensor de oxígeno (sonda lambda) es el encargado de determinar la cantidad de etanol presente en el combustible basándose en la variación del porcentaje de oxígeno que circula a través del tubo de escape.

Este sensor de oxígeno llamado también AFR (*Air Fuel Ratio Sensor*) o sensor de banda ancha, puede determinar de manera más precisa relaciones estequiométricas en un rango más amplio que van desde 11:1 hasta 22:1 siendo ideales para motores que trabajan con otras relaciones aire combustible. Generan una señal en miliamperios negativos para mezclas ricas y positivos para mezclas pobres tomando un valor de 0 para relación estequiométrica de la gasolina.

Mediante esta lectura el sistema se ajusta a la nueva mezcla modificando la cantidad de combustible inyectado y el avance al encendido. Para junto con los requerimientos del conductor no afectar al desempeño del motor teniendo los menores índices de consumo de combustible y emisión de gases contaminantes (Bosch, 2008).

2.4.2.1 Sistema Flex fuel (Port fuel injection)

Este sistema de inyección realiza la mezcla aire combustible en el colector de admisión, el riel de inyectores distribuye el combustible hacia los inyectores los que atomizan el combustible en el colector de admisión, este sistema está diseñado para funcionar de manera confiable, incluso a bajas temperaturas.

Dado que el etanol no combustiona de manera normal a temperaturas menores a 13°C, los vehículos con este sistema están equipados con un recipiente adicional de gasolina para que el motor pueda encenderse sobre todo en situaciones cuando el tanque de combustible contenga solo etanol (E100).

Para el arranque en frío, la unidad de control del sistema puede cambiar automáticamente al modo de gasolina para asegurar el arranque del motor y luego de una breve fase de calentamiento el sistema cambia de nuevo al modo etanol (Bosch, 2013).

2.4.2.2 Sistema Flexstar

Este sistema realiza la inyección de combustible en el colector de admisión, al no utilizar un tanque adicional de gasolina, ya que tiene un sistema que consta de elementos de precalentamiento (similares a las bujías de incandescencia de los sistemas diésel) que son controlados de manera automática, para calentar el etanol a la temperatura requerida, mejorando de esta manera la vaporización del combustible y reduciendo la cantidad de etanol requerido en la inyección.

Los elementos de precalentamiento están adosados a cada inyector, en contacto con el combustible y son comandados por la unidad de control la cual es independiente al sistema de inyección, que monitorea la temperatura del combustible con el fin de

asegurar un rápido y cómodo arranque en frío, con una considerable reducción de emisiones de hidrocarburos no quemados (HC) y dióxido de carbono (CO₂) (Bosch, 2013).

2.4.2.3 Sistema Flex fuel de inyección directa

En este sistema la inyección del combustible se produce de forma directa en la cámara de combustión, aire y combustible se dosifican con mayor precisión para cada ciclo de combustión. Como resultado se tiene un menor consumo de combustible, reducción de emisiones y aumento de potencia del motor.

La unidad electrónica de control para los sistemas Flex fuel Bosch procesa los datos de entrada de los sensores del motor, detecta el tipo de combustible que está siendo utilizado y ajusta la gestión del motor, además esta unidad controla el sistema de calentamiento para el arranque en frío.

Dependiendo del contenido de etanol y la temperatura ambiente la unidad electrónica de control activa el precalentamiento en el riel de inyectores a través de la unidad de control de precalentamiento, los inyectores para estos sistemas poseen algunas características especiales como: bajo ruido de funcionamiento, pueden trabajar con gasolina, etanol hasta E100 y metanol hasta M15. El riel de inyectores es de plástico o de acero inoxidable resistentes al etanol. El material del elemento de precalentamiento es de tales características que puede funcionar con una alta temperatura en su superficie, la misma que está en contacto con el combustible (Bosch, 2013).

2.5 Emisiones de gases

A través de la historia, la evolución de los motores se ha dado de acuerdo a los requerimientos de la población es así que después de la segunda guerra mundial se enfocó en mejorar las prestaciones del MCIJA dejando de lado el consumo de gasolina, pero para la década de 1970 durante la escasez de petróleo se priorizó motores pequeños y eficientes.

Con el incremento del parque automotor en el mundo apareció el problema de la contaminación atmosférica y en la década de 1960 y 1970 el estado de California y posteriormente el resto de Estados Unidos comenzaron las primeras reglamentaciones ambientales las cuales eran: el control de los gases de escape, evaporación del combustible y el control del monóxido de carbono en ralentí.

La agencia de protección ambiental, en inglés (Environmental Protection Agency) EPA empezó a restringir las emisiones de gases de escape para motores de combustión. Es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y el medio ambiente: aire, agua y suelo. Comenzó a operar el 2 de diciembre de 1970.

Pero con el tiempo las normativas se centralizaron en la emisión de CO e hidrocarburos (HC) emitidos en condiciones de marcha, es así que aparecieron los primeros ciclos de conducción normalizados. En la década de 1970 en Estados Unidos ya existían normativas que regulaban la emisión de CO, HC y NOx en motores a gasolina, mejorando la combustión y a través del uso de catalizadores.

En la década de 1980 se forzó la utilización del catalizador de 3 vías y se eliminó el uso del carburador reemplazándolo por sistemas de inyección electrónica mejorando la mezcla estequiométrica.

En los últimos años se han mejorado los sistemas de inyección electrónica con la introducción de nuevos sensores, los mismos que optimizan la combustión disminuyendo las emisiones de gases contaminantes.

A pesar de la disminución drástica de las emisiones en los MCIAs sigue siendo un problema para la sociedad y el ambiente; en la actualidad se continúa trabajando para disminuir la contaminación mediante el uso de nuevas tecnologías. Lo cual ha llevado a la importancia de la evaluación y control de las emisiones contaminantes.

El motor de combustión interna alternativo de encendido provocado emite sobre todo hidrocarburos sin quemar, monóxido de carbono y NOx nombre con el cual se designa genéricamente a los óxidos de nitrógeno, óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno

(NO₂), Para controlar las mencionadas emisiones, resulta útil recurrir al uso de curvas de isoemisiones, las cuales indican la concentración de las mismas en función del régimen y del grado de carga. En la Figura 2-5 se indica un ejemplo de mapas de emisiones de NO_x en donde se aprecia que las menores emisiones de NO_x se encuentran en la zona de bajo régimen.

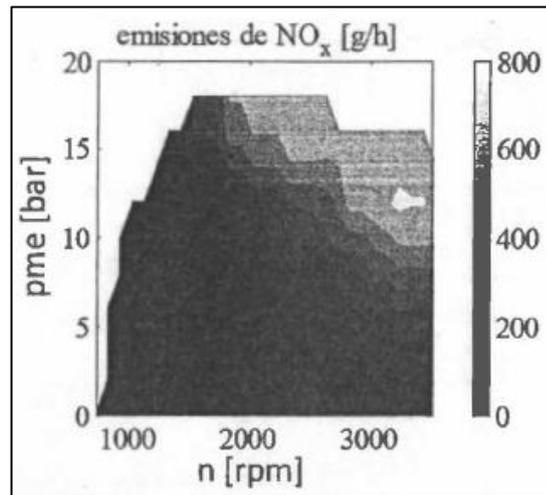


Figura 2-5 Mapa de emisiones de NO_x

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

2.6 Combustibles

Los combustibles son sustancias capaces de liberar energía térmica una vez que reaccionan con el oxígeno, pueden ser de tipo: sólido líquido y gaseoso (Payri & Desantes, 2011).

2.6.1 Biocombustibles

Biocombustible, se denomina a cualquier tipo de combustible de origen biológico obtenido de modo renovable a partir de la biomasa, siendo esta, materia orgánica de origen vegetal y animal que puede ser utilizada para obtener energía de forma directa o mediante transformación, la energía que proviene de la biomasa es resultado de acumulaciones de energía solar a través de la fotosíntesis.

Los biocombustibles pueden ser producidos a través de productos o residuos agrícolas y forestales, residuos animales, cultivos energéticos, cuya biomasa total o parcial se utiliza para la producción de energía, así como de la porción biodegradable de desperdicios industriales y municipales. Dando como resultado un agregado de considerable poder calorífico, siendo estos sólidos, líquidos o gaseosos.

Caña de azúcar, maíz, yuca, sorgo dulce, remolacha, trigo, cebada, patata, etc., son empleados para desarrollar bioetanol, sin embargo, cualquier planta fruto semilla o residuo, etc. que contenga sacarosa, almidón, celulosa o una mezcla de ambas puede usarse para este proceso.

Dentro de los biocombustibles existe un subgrupo que son considerados para su aplicación en motores de combustión interna alternativos: para motores Otto se tiene el bioetanol, biometanol, etil-terbutil-eter (ETBE), metil-ter-butyl-eter (MTBE), teramil-metil-eter (TAME), etc. Para los motores diésel están los aceites vegetales, ésteres metílicos o etílicos derivados de aceites y grasas (biodiesel), E-Diésel, etc.

Los más utilizados son el bioetanol como una alternativa a la gasolina y el biodiesel como un sustituto del gasóleo más conocido como diésel. El biodiesel puede emplearse como un combustible único o puede utilizarse en mezclas con gasóleo en distintas proporciones en MEC, las combinaciones más usadas son: B5 la cual contiene 5% de biodiesel y 95% de gasóleo y B20 que contiene 20% de biodiesel y 80% de diésel.

2.6.1.1 Bioetanol

Se puede obtener a partir de materia prima con un alto contenido de azúcar, o de ingredientes que se convierten en azúcar como el almidón o la celulosa, tiene un elevado contenido energético y un alto poder antidetonante lo que hace posible su uso en la alimentación de los MEP; por sus propiedades físico- químicas se considera un sustituto de la gasolina, pero generalmente se lo utiliza en mezclas con este hidrocarburo.

En motores convencionales a gasolina se puede utilizar hasta un 10% de etanol en la mezcla, para concentraciones superiores o para utilizarlo como único combustible se

requiere modificaciones en el motor por su incompatibilidad con materiales con los que están fabricados como: juntas mangueras retenes gomas recubrimientos, etc.

Sin embargo, hay un sinnúmero de combinaciones usadas las más comunes son E5, E10, E20, E85, aunque se puede utilizar en cualquier proporción en los FFV. Por sus propiedades fisicoquímicas Tabla 2.9 la presencia de bioetanol mejora el índice de octano en las gasolinas con lo que disminuyen los problemas de detonación y permite aumentar la relación de compresión, variar el avance al encendido y por ende lograr un mejor rendimiento térmico.

Tabla 2-9 Comparación de las características físico-químicas del etanol con respecto a la gasolina

	Gasolina	Etanol
Fórmula	C _n H _m (n=4/12)	CH ₃ -CH ₂ OH
Peso molecular	100 / 105	46
Oxígeno (% peso)	0	34,8
Densidad (Kg/m ³)	720 / 780	794
P.C.I. (kJ/kg)	42700	26800
Dosado estequiométrico	14,8	9
Solubilidad en agua (%)	0,1	100
Calor latente de vaporización	330	850
T ^a ebullición (°C)	30 / 215	78
RVP a 38°C (kPa)	48 / 78	16
Índice ROM	95 / 98	120 / 135
Índice MON	85 / 90	100 / 106
Tensión Superficial (N/m) a 20°C	0,022	0,028

Fuente: (Agencia Andaluza de la energía, 2009)

La molécula de oxígeno presente en el bioetanol permite introducir mayor cantidad de combustible por ciclo en el cilindro, el elevado calor latente de vaporización contribuye en la disminución de la temperatura de admisión y como consecuencia de esto se obtiene un mejor llenado del cilindro, en cuanto a la emisión de GEI reducen el CO₂.

2.6.2 Combustibles fósiles

La gran mayoría de combustibles de origen fósil que pueden usarse en motores de combustión interna alternativos se derivan del petróleo, el petróleo es una mezcla de hidrocarburos ya sea en forma líquida sólida o gaseosa que se encuentra en yacimientos rocosos en ciertas regiones del mundo.

La diferente volatilidad de cada uno de los componentes del petróleo permite la separación de los mismos mediante un proceso de destilación fraccionada la misma que se realiza en las refinerías para la obtención de distintos productos.

2.6.3 Combustibles en el Ecuador

En el Ecuador se expenden 3 tipos de gasolinas las denominadas “súper”, “extra” y últimamente “eco-país” cada una con sus características, por motivos de estudio se profundizará el combustible “extra” y “eco-país”.

2.6.3.1 Gasolina “extra”

El combustible “extra” es una mezcla de 200 a 300 hidrocarburos diferentes, formada por combustibles provenientes de distintos procesos de refinación del petróleo, tales como destilación atmosférica, ruptura catalítica, ruptura térmica, alquilación, reformado catalítico y polimerización, entre otros.

Las fracciones son tratadas químicamente para eliminar compuestos de azufre que tienen comportamiento corrosivo y retirar gomas que pueden generar depósitos en el múltiple de admisión. Luego se mezclan de tal forma que el producto tenga un (“índice antidetonante”) IAD ($\text{RON} + \text{MON} / 2$) de 87 octanos como mínimo.

El índice antidetonante es una medida de la capacidad antidetonante de la gasolina y la principal característica que identifica el comportamiento de la combustión dentro del motor. Mayor octanaje indica mejor capacidad antidetonante.

Antes de ser distribuida a las estaciones de servicio al público, los mayoristas de la gasolina le adicionan aditivos detergentes dispersantes con el fin de prevenir la formación de depósitos en todo el sistema de admisión de combustibles de los motores a carburador, inyectores de combustible, lumbreras o puertos de entrada y asientos de las válvulas de admisión (Yépez Lomas, 2009).

Según la norma INEN 935 enmienda 2 las características de la gasolina de 87 octanos (“extra”) se describen en la Tabla 2-10.

Tabla 2-10 Requisitos de la gasolina de 87 octanos (RON)

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo
Número de octano Research.	RON ^J	87,0	-
Destilación: 10%	°C	--	70
50%	°C	77	121
90%	°C	--	189
Punto Final	°C	--	220
Residuo de destilación φ_r	%	--	2
Relación vapor-líquido, a 60°C, V/L	--	--	20
Presión de vapor	KPa ^A	--	60 ^B
Corrosión a la lámina de cobre (3h a 50°C)	--	--	1
Contenido de gomas	mg/100cm ³	--	3,0
Contenido de azufre	ppm	--	650
Contenido de aromáticos, φ_a	%	--	30,0
Contenido de benceno, φ_b	%	--	1,0
Contenido de olefinas, φ_o	%	--	18,0
Estabilidad a la oxidación	min	240	--
Contenido de oxígeno, W_{O_2}	%	--	2,7 ^E
Contenido de plomo	mg/l	--	n. d. F,G
Contenido de manganeso	mg/l	--	n. d. F,H
Contenido de hierro	mg/l	--	n. d. F,I

^A 1Kpa \approx 0,01kgf/cm² \approx 0,10 N/cm² \approx 0,145 kgf/pul²

^B En el caso de las gasolinas que contengan etanol anhidro la presión de vapor puede llegar hasta los 62kPa.

^C Metodo de ensayo utilizado para combustible gasolina sin etanol.

^D Este método es considerado el método dirimente para los casos de arbitraje o peritación.

^E El equivalente en masa de etanol anhidro agregado a la mezcla.

^F Sin adicción intencional.

^G No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 3237.

^H No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 3831.

^I No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 5185.

^J No existe unidad del sistema internacional.

φ Porcentaje en volumen.

Fuente: (Instituto ecuatoriano de normalización INEN, 2015)

2.6.3.2 Gasolina eco-país

El combustible eco-país se define como un biocombustible el cual, según Petroecuador, contiene una mezcla de 95% de nafta premezclada y 5% de etanol, la nafta pre mezclada está compuesta por un 65% de nafta de alto octano y un 35% de nafta de bajo octano. El 5% de etanol es inyectado directamente en los tanques de los camiones transportadores en el momento del despacho. Actualmente en el país no existe una normalización que rijan al biocombustible.

2.7 Normativas

2.7.1 Normativas sobre biocombustibles en el Ecuador

La constitución política del Ecuador del 2008 promueve la producción de energías renovables, con especial atención en el cuidado del medio ambiente y garantizando la seguridad alimentaria.

El artículo 15 promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.

Además, el artículo 413 sostiene que “el Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas tecnológicas ambientalmente limpias y sanas, así como energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua” (Asamblea nacional constituyente, 2008).

De igual manera el artículo 414 dice que “el estado adoptara medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomara medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo” (Asamblea nacional constituyente, 2008).

El plan nacional del Buen Vivir 2013 – 2017 representa una postura política muy definida y constituye la guía que el país aspira tener y aplicar en los actuales cuatro años de gobierno, en donde en el objetivo 11 se indica que se incentivará el desarrollo de industrias nacientes como petroquímica, bioenergía y biocombustibles, metalmecánica, etc., con la finalidad de diversificar la matriz energética nacional promoviendo la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles.

El código orgánico de la producción comercio e inversiones, en el artículo 4 literal a, hace mención a la transformación de la matriz productiva, para que esta sea de mayor valor agregado ambientalmente sostenible y eco-eficiente, y literal c, fomentar la producción, comercio y consumo sustentable de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas.

El decreto ejecutivo número 2332 del presidente Lucio Gutiérrez Borbúa del 2 de diciembre del 2004, en el artículo uno dice “Declara de interés nacional la producción, comercialización y uso de los biocombustibles como componente en la producción de los combustibles que se consumen en el país.

El decreto ejecutivo número 1303 del presidente Rafael Correa Delgado del 17 de septiembre del 2012, señala que es necesario fomentar la producción interna de biocombustibles debido a su importancia estratégica y a sus efectos positivos para la eficiencia energética.

2.7.2 Normativas que rigen la medición de torque, potencia y consumo específico de combustible

Existen diversos organismos que dictan normas técnicas en el mundo y en cada país, para determinar el torque, potencia y el consumo específico de combustible en los motores de combustión interna alternativos. SAE de EEUU, DIN de Alemania, EEC de la Comunidad Europea, ISO (*International Standards Organisation*) organización internacional de estandarización, CUNA de Italia, JIS de Japón, ABNT de Brasil, son algunas de estas entidades.

Muchas de las normas dictadas por estos organismos tienen como base de estudio normas similares de organismos de mayor jerarquía, con ligeras modificaciones o ajustes dependiendo del país. Además, para una misma medición existen diversas normas que pueden ser aplicadas dentro del mismo sistema, SAE, DIN, etc.

En el País el organismo técnico, eje principal del Sistema Ecuatoriano de la Calidad, competente en Normalización, Reglamentación Técnica y Metrología, es el Instituto ecuatoriano de normalización INEN, del cual se toman varias normas para la realización de este estudio.

2.7.2.1 Norma SAE J 1349

Esta norma está destinada a proporcionar un método de prueba para obtener mediciones que reflejen con precisión el rendimiento del motor, en consecuencia, proporciona los fundamentos para la evaluación de la potencia neta y el par motor en MCI para que puedan obtenerse estos valores de manera precisa y confiable y acorde a los datos del fabricante.

Mediante esta norma se puede determinar la potencia neta y el torque del motor a plena carga utilizando un dinamómetro. Esta norma aplica para motores encendidos por chispa también llamados MEP, y para MEC, no aplica a motores marinos ni aeronaves. Para realizar el ensayo, el motor debe estar totalmente equipado, es decir con todos los accesorios que vienen de fábrica (Sae, 2004).

2.7.2.2 Norma Ecuatoriana NTE INEN 960

Esta norma establece el método general de ensayo para motores de vehículos automotores, permitiendo evaluar su rendimiento, con el propósito de la elaboración posterior de curvas de potencia y consumo específico de combustible a carga completa en función de la velocidad de la máquina.

Con la utilización de esta norma se obtiene la potencia neta del motor, y la medición se debe realizar con el motor equipado con todos los dispositivos auxiliares necesarios

para su correcto funcionamiento, la potencia obtenida en el eje motor o su equivalente será la potencia neta (Instituto ecuatoriano de normalización INEN, 1984).

2.7.2.3 Normativas para análisis de gases

Cada vez es mayor el número de requisitos y restricciones en cuanto a normas anticontaminantes, las cuales introducen importantes cambios con la finalidad de reducir en mayor grado las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera.

En el Ecuador el organismo encargado de la normalización metrología y reglamentación técnica es el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), el cual establece las normas para el control de las emisiones de gases contaminantes

2.7.2.4 RTE INEN 017:2008

Este reglamento tiene como objetivo establecer los procedimientos para el control de las emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres, con el fin de proteger la vida, el ambiente y sin afectar la eficiencia de los automotores, su alcance son todos los vehículos importados, así como los de producción nacional, los vehículos de transporte de usos especiales tales como: camiones grúa, camiones hormigonera, camiones, recolectores, volquetes y similares (Instituto ecuatoriano de normalización INEN, 2008).

2.7.2.5 NTE INEN 2 203

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la concentración de emisiones en vehículos a gasolina en condiciones de marcha mínima o ralentí (prueba estática) (Instituto ecuatoriano de normalización INEN, 2000).

2.7.2.6 NTE INEN 2 204

Esta norma establece los límites permitidos de emisiones contaminantes producidas por vehículos a gasolina, no aplica para fuentes móviles que utilicen un combustible diferente a la gasolina.

Los vehículos con motor de gasolina, en marcha mínima o ralentí y a temperatura normal de funcionamiento no deben emitir al aire monóxido de carbono (CO) hidrocarburos (HC) en cantidades superiores señaladas en la Tabla 2-11.

Tabla 2-11 Límites máximos permitidos para fuentes móviles con motor a gasolina

Año Modelo	% CO		ppm HC	
	0 a 1500 msnm	1500 a 3000 msnm	0 a 1500 msnm	1500 a 3000 msnm
2000 Y Posteriores	1	1	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y Anteriores	5,5	6,5	1000	1200

Fuente: (Instituto ecuatoriano de normalización INEN, 2002)

2.8 Estado del arte

El uso de biocarburantes en los MCIA cada vez tiene mayor importancia ya que son renovables y ayudan a reducir la dependencia del petróleo. Este es el caso del bioetanol el cual se utiliza en MCIA sobre todo combinado con gasolina.

Este tipo de combustibles también generan variaciones en el funcionamiento del motor debido a sus propiedades, su uso produce efectos positivos en los valores de los parámetros del motor, la presencia de bioetanol en las gasolinas mejora el índice de octano, influye en las emisiones de gases de escape y puede mejorar el rendimiento de los motores.

(Melo Espinosa, Sanchez Borroto, Ferrer frontela, & Ferrer frontela, 2012) realizan un análisis de un motor de combustión interna alternativo Lada 1300 de carburador en un banco de pruebas para motores, usando como combustible mezclas de etanol-gasolina E10, E20, E30, dicho análisis se efectúa midiendo la potencia efectiva (Ne) en kW,

torque efectivo (T_e) en N.m, consumo específico de combustible (g_e) en g/kWh, y las emisiones de monóxido de carbono (CO).

Como patrón de comparación utilizan una muestra de gasolina regular (E0) de 90 octanos, las pruebas se realizan a 1200, 2000, 3000, 4000 y 5000 rpm, haciéndose cuatro mediciones (con E0, E10, E20, E30) para cada revolución estipulada, también se indican las condiciones experimentales de referencia: temperatura entre 25°C y 26°C, presión atmosférica entre 1002 hPa y 1006 hPa, y la humedad relativa alrededor del 71%.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que el torque efectivo y la potencia efectiva de las mezclas E10 y E20 son superiores en todos los casos con respecto a E0, pero los mayores valores se obtienen con E10, para la mezcla E30 se observa una disminución con respecto a E0 en todos los puntos evaluados.

El consumo de combustible para las mezclas E10 y E20 es inferior en todos los casos al obtenido con E0, mientras que el mayor consumo de combustible es con E30 y el menor consumo se obtiene empleando E10. Las emisiones de monóxido de carbono para las mezclas E10, E20 y E30 son inferiores en todos los casos al obtenido con E0, no obstante, los menores valores se obtienen con E30, en conclusión, de este estudio se establecen dos porcentajes adecuados de la mezcla etanol-gasolina para ser utilizados en motores encendidos por chispa (Lada) en las condiciones de Cuba sin hacer modificaciones en el motor. En la Tabla 2-12 se muestran todos los resultados del análisis.

Tabla 2-12 Resultados del análisis del Torque, Potencia, consumo específico de combustible y dióxido de carbono en un MCIA con mezclas de gasolina-etanol en proporciones de E0, E10, E20, E30

rpm	Combustible	Valor medio de. Te (N.m)	Valor Medio de Ne (kW)	Valor Medio de ge (g/kW.h)	Valor Medio de CO (%)
1200	E0	62,5	7,9	468	3,5
	E10	67,5	8,5	425	2,0
	E20	65,0	8,2	456	1,8
	E30	52,4	6,6	546	1,5
2000	E0	72,5	15,2	306	2,3
	E10	78,8	16,5	382	1,5
	E20	75,0	15,7	293	1,2
	E30	62,4	13,1	348	1,0
3000	E0	80,0	25,1	263	1,4
	E10	87,5	27,5	237	1,0
	E20	82,5	25,9	255	0,9
	E30	70,0	22,0	298	0,8
4000	E0	85,0	35,6	283	2,0
	E10	95,0	39,8	252	1,8
	E20	87,5	36,7	278	1,7
	E30	72,5	30,4	336	1,5
5000	E0	80,0	41,9	336	3,0
	E10	90,0	47,1	302	2,5
	E20	82,5	43,2	327	2,3
	E30	70,0	36,7	385	2,0

Fuente: (Melo Espinosa et al., 2012)

(Camarillo Montero, 2011) realiza un estudio de la combustión de un motor monocilíndrico de ignición, alimentado con mezclas gasolina-etanol anhidro e hidratado en concentraciones de 10, 20, 30 y 40%, las pruebas se efectúan a un régimen constante de 2000 rpm midiéndose el torque, la potencia, el consumo específico de combustible y la cantidad de emisiones de gases de escape, el ensayo se lleva a cabo en un banco de pruebas de combustión el cual consta de un dinamómetro asíncrono,

un sensor de presión dentro de la cámara de combustión, equipo analizador de gases de escape y un equipo de adquisición de datos.

La potencia es determinada a través del torque indicado mediante el sensor de presión en la cámara; el método para determinar el consumo específico de combustible es a través de la estequiometria el cual, conociendo el valor de lambda y el flujo de aire, calcula la cantidad de masa de combustible; las emisiones de gases de escape se obtienen durante el ensayo mediante el equipo de medición y los resultados se muestran en partes por millón (ppm).

En la Figura 2-6 se muestran los resultados del consumo específico de combustible donde determina que este no se diferencia al utilizar alcohol anhidro o deshidratado, también se observa como tiende a disminuir conforme se empobrece la mezcla, así mismo se indica el efecto que produce el etanol en el aumento del consumo específico de combustible para realizar el mismo trabajo.

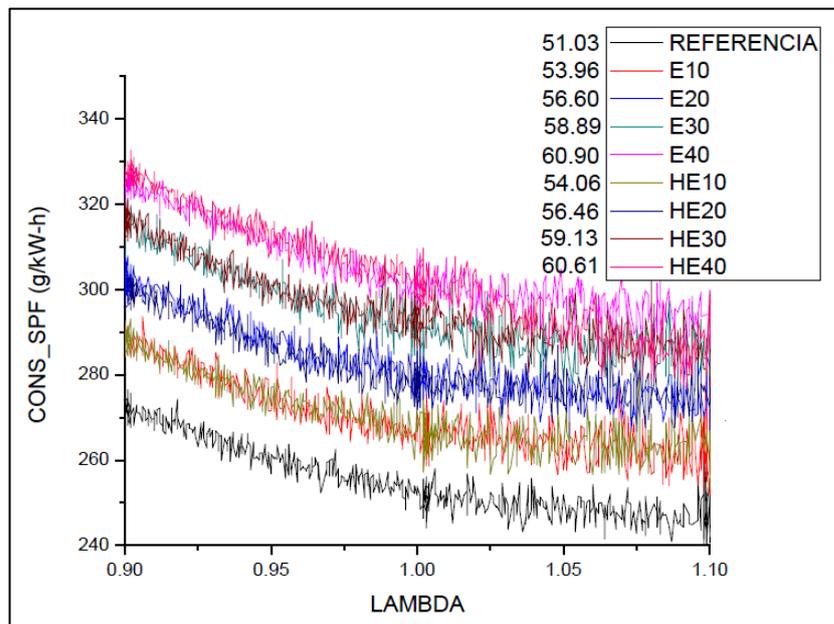


Figura 2-6 Resultados del consumo específico del estudio de Jesús Antonio Camarillo Montero

Fuente: (Camarillo Montero, 2011)

En la Figura 2-7 y Figura 2-8 se muestran los resultados de torque indicado y potencia indicada respectivamente, donde se observa que el comportamiento de ambos parámetros con los 8 combustibles es prácticamente el mismo por lo que llega a la conclusión de que la potencia y torque indicados no se ven afectados.

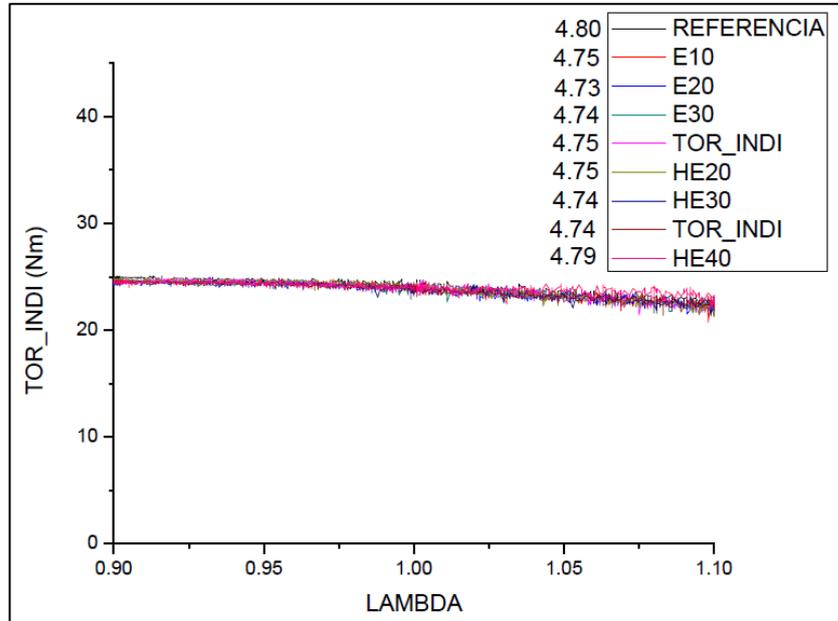


Figura 2-7 Resultados del torque indicado del estudio de Jesús Antonio Camarillo Montero
Fuente: (Camarillo Montero, 2011)

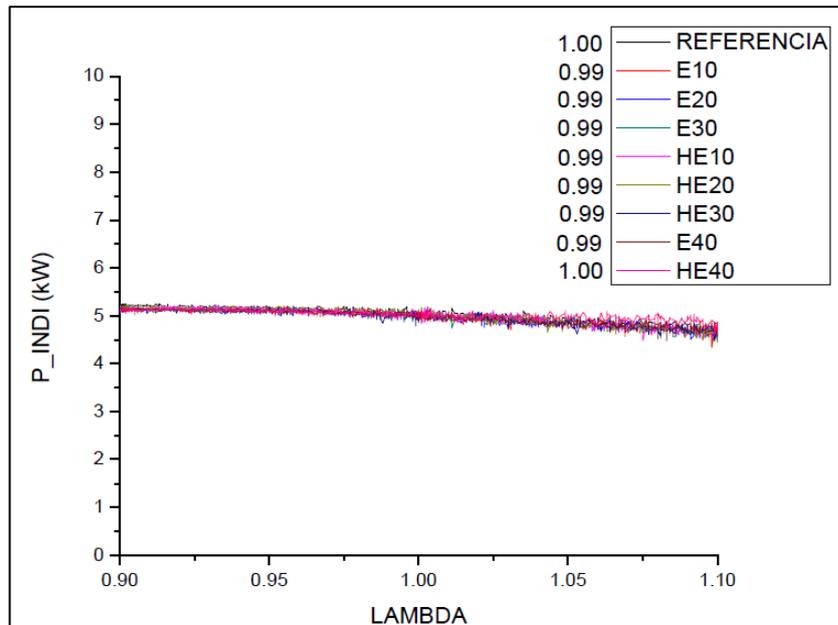


Figura 2-8 Resultados de la potencia indicada del estudio de Jesús Antonio Camarillo Montero
Fuente: (Camarillo Montero, 2011)

En la Tabla 2-13 se indican los resultados de emisiones de gases, donde el autor explica que no existe una variación representativa entre los 8 combustibles, concluyendo que la emisión de monóxido de carbono es prácticamente el mismo.

Tabla 2-13 Porcentaje de variación de las emisiones del estudio de Jesús Antonio Camarillo Montero

GASES	COMBUSTIBLES							
	E10(%)	E20(%)	E30(%)	E40(%)	HE10(%)	HE20(%)	HE30(%)	HE40(%)
CO	-2,6	-4,2	-0,3	0,05	-2,2	-7	-0,6	0,4
CO ₂	-0,1	-0,2	-0,3	0,07	-0,1	-0,3	-0,3	-0,1
HC	-7	-9,8	-8,7	-10,1	-5,3	-3,2	-8,2	-11,7

Fuente: (Camarillo Montero, 2011)

En la tabla se observa el porcentaje de variación de los 8 combustibles respecto al de referencia donde se puede observar que la mayor disminución de CO se da en el combustible HE20 con un 7% y aumenta en combinaciones con 40% de etanol.

Para el CO₂ la variación es mínima donde se observa que existe una disminución en las mezclas que contienen 10, 20 y 30% de etanol, mientras que se observa un pequeño aumento en mezclas con el combustible E40.

Para hidrocarburos se observa una disminución, donde el mayor valor se da en HE40, mientras que el valor más bajo se da en HE20.

El autor concluye que la variación de las emisiones de gases de escape respecto a otros estudios no sigue la misma tendencia puesto que en este trabajo se modificó el pulso de inyección con el objetivo de mantener el valor estequiométrico.

En otro estudio, (Ceviz & Yüksel, 2005) analizan el efecto de la mezcla de etanol-gasolina sin plomo con variabilidad cíclica y emisiones de gases de un motor de encendido por chispa marca FIAT, donde se realiza la prueba con el motor a 2000 rpm y cargado en un dinamómetro, las mezclas realizadas para las pruebas fueron de 0 a 20 por ciento de etanol con un incremento de 5%, las conclusiones del experimento fueron:

Con respecto al CO la mayor disminución se registra en la mezcla del 10% cuya disminución fue de 30%, mientras que con el 5% la disminución fue de 15% respecto al combustible de referencia.

Con respecto a los HC la mayor disminución igual se registra en la mezcla del 10% cuya disminución fue del 20%, mientras que con el 5% la disminución fue del 15% respecto al combustible de referencia.

En cambio, la emisión de CO₂ fue mayor en mezclas que contienen el 10% cuyo aumento fue del 20%, mientras que para mezclas con el 5% el aumento fue del 7%.

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL

3.1 Introducción

En este capítulo se presenta una descripción de los equipos utilizados en el desarrollo de las pruebas experimentales, las especificaciones técnicas del vehículo que va a ser puesto a prueba. En la parte experimental se indica los resultados de las pruebas de caracterización fisicoquímica de los combustibles, la metodología utilizada en el desarrollo de la evaluación la cual está basada en la norma SAE J1349 e INEN 2 203 así como los resultados obtenidos en las pruebas.

3.2 Equipos

3.2.1 Banco Dinamométrico

Permite evaluar el comportamiento de un motor de combustión interna, mediante la obtención de datos que sirven para graficar las curvas características del motor como son: potencia, torque y consumo específico de combustible en función del régimen de giro, funciona produciendo freno a los neumáticos del vehículo de forma que se pueden medir el par y en función de su magnitud se regulan las revoluciones velocidad o diferentes parámetros que se deseen obtener (Barea Vizuete, 2015)

Se utilizó el banco dinamométrico Dynocom DC 5000 propiedad de talleres SerExRacing ubicado en el cantón Gualaceo este es un dinamómetro de chasis diseñado para una variedad de vehículos de tracción y propulsión automóviles, camiones diésel, motocicletas y vehículos todo terreno, tiene una capacidad de medición de 5000 libra, pies de torque y soportar velocidades de hasta 280 km/h. (Dynocom Inc., 2016), en la Tabla 3-1 se indican las características del dinamómetro.

Tabla 3-1 Especificaciones del banco dinamométrico Dynocom DC 5000

Diámetro de Rodillos	8,5" (21,59 cm)
Máximo Torque	5000 lbs.pie
Máxima Velocidad	280 km/h
Ancho de Vía	36" - 86" (91,44cm – 218,44cm)
Peso Máximo por Eje	8,000 lbs por eje (3,629 kg)
Presión de aire	90 psi
Voltaje	220/240 voltios

Fuente: (Dynocom Inc., 2016)

3.2.2 Escáner launch X431-V

Es un dispositivo para diagnosticar problemas en una gran variedad de vehículos. A través de comunicación bluetooth entre el vehículo, conector de diagnóstico y el dispositivo.

El equipo permite leer códigos de falla, borrar los códigos de falla, leer flujo de datos, realizar prueba de actuadores, funciones especiales en sistemas de inyección, y diagnóstico de problemas en elementos de carrocería y grabar el flujo de datos de los diferentes sensores y actuadores durante el desarrollo de la prueba de diagnosis (Launch Tech USA, 2015).

3.2.3 Analizador de gases Maha MGT5

Mide determinados compuestos químicos emitidos por el escape de un MCI, es necesario analizar los gases de escape ya que por lo general la combustión en los motores no es perfecta generándose así productos sin quemar y otros compuestos que producen contaminación. Mediante el análisis de gases es posible determinar el tipo de combustible y la influencia que tiene sobre el motor.

El analizador de gases de escape MAHA MGT5 permite el análisis de HC, CO, CO₂, O₂ con cálculo del valor lambda. La manguera o sonda del analizador se introduce en el tubo de escape del vehículo, y mediante esta el analizador obtiene muestras de los gases de escape.

Diferentes partículas en el gas, evitan que ciertas porciones de la luz emitida, pueda alcanzar el receptor opuesto al emisor. Los sensores determinan la cantidad de luz remanente y producen una alimentación para el procesador; el procesador determina la cantidad de los tres gases en el escape el cuarto gas es medido por un sensor de oxígeno de forma independiente.

Los hidrocarburos se miden en partículas por millón (ppm), el monóxido de carbono, dióxido de carbono y oxígeno son medidos como un porcentaje del volumen total del gas en medición, utilizando un sensor de oxígeno similar al que se encuentra en los automóviles.

3.2.4 Banco de inyección Tektino INJ – 6A / INJ -8A

El probador y limpiador de inyectores es un producto electromecánico que está desarrollado con tecnología para realizar la limpieza de los inyectores por ultrasonido o también instalados en el vehículo, permite controlar la presión de la bomba de combustible del riel de inyección con una muy baja vacilación de presión y un amplio rango de afinación, tiene la capacidad de probar inyectores simulando condiciones de trabajo del motor, el banco permite realizar las siguientes pruebas: prueba de uniformidad, prueba de estanquidad, prueba de caudal de inyección, limpieza en el vehículo (Tektino, 2010).

3.3 Descripción del vehículo

Se utilizó un vehículo Chevrolet Aveo Family, el mismo que está equipado con un MCI de 1.5 litros, 4 cilindros que utiliza gasolina como combustible. Es un motor de 8 válvulas con un solo árbol de levas e inyección multipunto gobernada por una ECM. Es un vehículo a tracción provisto con una transmisión manual de 5 velocidades, en la Tabla 3-2 podemos observar las especificaciones técnicas del motor (Chevrolet, 2016).

Tabla 3-2 Especificaciones técnicas del motor de Chevrolet Aveo Family

Configuración.	En línea.
Desplazamiento (cc).	1498
Diámetro x Carrera (mm).	76,5 x 81,5
Inyección.	MPFI
Nº cilindros.	4
Posición.	Transversal.
Tipo.	SOHC
Torque neto (Kg-m / rpm)	13 / 3000
Torque neto (Nm/rpm)	127/3000
Potencia neta (Hp/ rpm)	83 / 5600
Potencia neta (KW/rpm)	62/5600
Relación de compresión.	9,5:1

Fuente: (Chevrolet, 2016)

3.4 Puesta a punto del vehículo

Antes de efectuar las pruebas de medición se procedió a realizar un mantenimiento preventivo del vehículo para garantizar el estado óptimo de funcionamiento del mismo durante el desarrollo de las pruebas.

El mantenimiento preventivo que se realizó se detalla a continuación.

- Cambio de filtro de combustible.
- Cambio de filtro de aire.
- Cambio y calibración de bujías de encendido.
- Cambio aceite de motor.
- Limpieza del cuerpo de aceleración.
- Limpieza de inyectores por ultra sonido.

3.5 Planteamiento de los ensayos

Se realizó pruebas fisicoquímicas en el laboratorio para determinar la diferencia de densidad relativa, viscosidad y poder calorífico entre ambos combustibles. Para la prueba de torque y potencia se seguirá los puntos descritos en la norma SAE J1349.

3.5.1 Pruebas de caracterización fisicoquímica de los combustibles

Mediante pruebas de laboratorio se determinó la densidad relativa y el poder calorífico de ambos combustibles, para la densidad relativa se utilizó el método de picnómetro y para medir el poder calorífico se utilizó una bomba calorimétrica.

3.5.1.1 Densidad relativa

Mediante el método de picnómetro se encontró el valor de la densidad de ambos combustibles, utilizando un balón aforado de 50 centímetros cúbicos y una balanza electrónica de 6 decimales; el método consistió en pesar el balón aforado sin combustible, posterior a eso se colocó 50cm³ de combustible en el balón y se procedió a tomar su masa, luego se encuentra la diferencia restando la masa del balón con combustible del balón vacío encontrándose así la masa del fluido, el valor de la densidad se encuentra dividiendo la masa del fluido para el volumen del mismo, cabe destacar que las pruebas se realizaron a 20° Celsius para evitar errores, se realizó 3 pruebas con cada combustible y se encontró el promedio de las 3 medidas, el resultado de la densidad relativa de cada combustible se muestra en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3 Densidad de combustibles

	Combustible "extra"	Combustible "eco-país"
Densidad (gr/cm ³)	0,73537933	0,73900713

Fuente: Autores

3.5.1.2 Poder calorífico

Mediante método de calorimetría y a través de una bomba calorimétrica marca Parr se determinó el poder calorífico superior de los combustibles, siguiendo el procedimiento descrito en el manual de operación del equipo el cual podemos observar en el Anexo 1, se realizó una prueba con cada combustible que es lo que recomienda el manual de operación del equipo, el resultado del poder calorífico de cada combustible se muestra en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4 Poder calorífico superior de los combustibles

	Combustible "extra"	Combustible "eco-país"
Poder calorífico (cal/gr)	8423,46	8373,48

Fuente: Autores

3.5.2 Ensayo de potencia y par

3.5.2.1 Procedimiento.

Según el manual de funcionamiento del banco dinamométrico, previo al desarrollo de las pruebas el vehículo debe cumplir ciertas condiciones de funcionamiento para que los resultados sean lo más precisos posibles, a continuación, se describe cada punto.

- El motor del vehículo debe estar a su temperatura normal de funcionamiento.
- Se realiza una conducción previa con el objetivo de calentar la transmisión del vehículo.
- Los neumáticos deben alcanzar una temperatura de 40° Celsius con el objetivo de mejorar el agarre del neumático con los rodillos.

Se empezará la conducción hasta llegar a la 4ta marcha, en donde se mantendrá el motor a un régimen de giro de 2500 rpm por unos 5 segundos, posteriormente se acelera el motor a plena carga donde empezará el registro de datos, hasta que el motor alcance los 5200 rpm aproximadamente donde terminará la prueba.

La norma SAE J1349 indica la información que se debe considerar para presentar los resultados de las pruebas, donde pide como requisitos indicar los equipos que consta el vehículo durante el desarrollo de las pruebas, las propiedades del lubricante y refrigerante del motor. Así como presentar los valores medidos durante el desarrollo de las mismas que son: revoluciones del motor, par y potencia, proporción aire/combustible, tiempo de encendido, temperatura y presión ambiente, temperatura y presión del colector de admisión de aire, temperatura del combustible y temperatura del refrigerante del motor los mismos que serán medidos y registrados con el escáner durante el desarrollo de la prueba.

Para verificar que el número de pruebas o muestras es la suficiente y garantizar el resultado de las mediciones minimizando el margen de error por recolección de datos, se consideró una función de distribución de probabilidades “normal”, la cual es compatible para un análisis de error, además se consideró un intervalo de confianza del 95%.

El procedimiento para estimar el número de muestras es el siguiente:

- Determinar el tipo de población la cual es infinita.
- De las 5 pruebas con cada combustible a cada régimen de giro se determinó la desviación estándar y el promedio de la potencia.
- Se encuentra el promedio de las desviaciones estándar calculadas.
- Se definió el nivel de confianza homologado el cual para un 95% es de 1,96.
- Se encuentra el 2% de la potencia máxima medida, este 2% es el error de estimación el cual debe ser menor al 10%.

La fórmula para estimar el número de muestras de una población infinita es la siguiente:

$$n = \frac{Z^2 \times S^2}{E^2}$$

Dónde:

n: es el número de muestras.

Z: es el nivel de confianza del estudio.

S: el promedio del total las desviaciones estándar.

E: es el porcentaje del error de estimación de la potencia máxima medida.

Para combustible “extra”:

$$n = \frac{(1,96)^2 \times (1,09)^2}{(1,08)^2}$$

$$n = 4,21$$

Para combustible “eco-país”:

$$n = \frac{(1,96)^2 x (0,95)^2}{(1,04)^2}$$
$$n = 3,20$$

Con los resultados obtenidos se garantiza que las 5 pruebas realizadas con cada combustible son suficientes para interpretar los resultados, los valores obtenidos se pueden observar en el Anexo 2 y Anexo 3.

3.5.2.2 Desarrollo de la prueba

Para la ejecución de las pruebas con combustible “extra” se utilizó como depósito el tanque de combustible propio del vehículo ya que el vehículo siempre ha trabajado con este combustible, para el cambio de combustible a “eco-país” se utilizó un depósito externo al vehículo realizando las conexiones respectivas esto para evitar un error en los resultados por mezcla de combustibles.

3.5.2.3 Equipamiento del motor

En la Tabla 3-5 se indica los sistemas los cuales el vehículo posee durante el desarrollo de las pruebas.

Tabla 3-5 Sistemas del vehículo

Sistema	Equipado
1. Sistema del aire de admisión.	SI
Ductos de aire	SI
Filtro de aire.	SI
Precautado de aire.	NO
Dispositivo de sintonización activa.	SI
2. Sistema de presión de carga.	SI
Configuración de control de impulso de presión.	NO
3. Sistema de refrigeración del aire de admisión.	NO
Turbo refrigerador.	NO
Bomba o ventilador de enfriamiento	NO
4. Sistema eléctrico.	SI
Sistema de ignición.	SI
Motor de arranque.	SI
Alternador.	SI
Control de la variación del tiempo de ignición.	SI
5. Control del sistema de emisiones.	SI
6. Alimentación de combustible.	SI
Filtros y pre filtros.	SI
Bomba de alimentación de combustible.	SI
Configuración del sistema de medición de combustible.	SI
7. Sistema de refrigeración del motor.	SI
Bomba de refrigerante.	SI
Radiador.	SI
Termostato.	SI
Ventilador.	
8. Sistema de lubricación.	SI
9. Sistema de escape.	SI
10. Equipos auxiliares accionadas por el motor.	
Bomba de dirección Hidráulica.	SI
Aire acondicionado.	NO
Bombas de vacío.	SI
11. Transmisión	SI

Fuente: Autores

3.5.2.4 Combustible

La norma SAE J1349 pide que se indique el valor de la densidad relativa, el poder calorífico y número de octano del combustible utilizado en las pruebas, la densidad relativa y el poder calorífico se indican en las Tabla 3-3 y Tabla 3-4 determinados en el laboratorio, la norma INEN 935 indica que el número de octano para el combustible “extra” debe ser de mínimo 87 octanos por lo que tomamos este valor como referencia, esta norma solo rige para el combustible “extra” en donde no existe especificación sobre la densidad relativa y el poder calorífico que debe tener el combustible ver Tabla 2-8, para el combustible “eco-país” no existe normalización vigente en el país.

3.5.2.5 Aceite de lubricación

En la Tabla 3-6 se indica el tipo y características del aceite usado en el motor de combustión interna durante las pruebas.

Tabla 3-6 Características del aceite de lubricación

Clasificación API:	SN
Grado de viscosidad SAE	20 W 50
Fabricante y marca:	Kendall

Fuente: (Phillips 66 company, 2012)

3.5.2.6 Refrigerante del motor

En la Tabla 3-7 se indica el tipo y características de refrigerante usado en el motor de combustión interna, durante las pruebas.

Tabla 3-7 Características del refrigerante.

Tipo de refrigerante:	Líquido
Mezcla agua/ refrigerante:	0
Fabricante y marca:	Freezetone

Fuente: (Freezetone products, 2010).

3.5.2.7 Mediciones

3.5.2.7.1 Velocidad del motor

En la Figura 3-1 y Figura 3-2 se observa los valores de revoluciones del motor medidos durante las pruebas con combustible extra y eco-país respectivamente los mismos que fueron obtenidos del escáner lunch mediante adquisición de datos OBD II durante el tiempo que duro cada prueba.

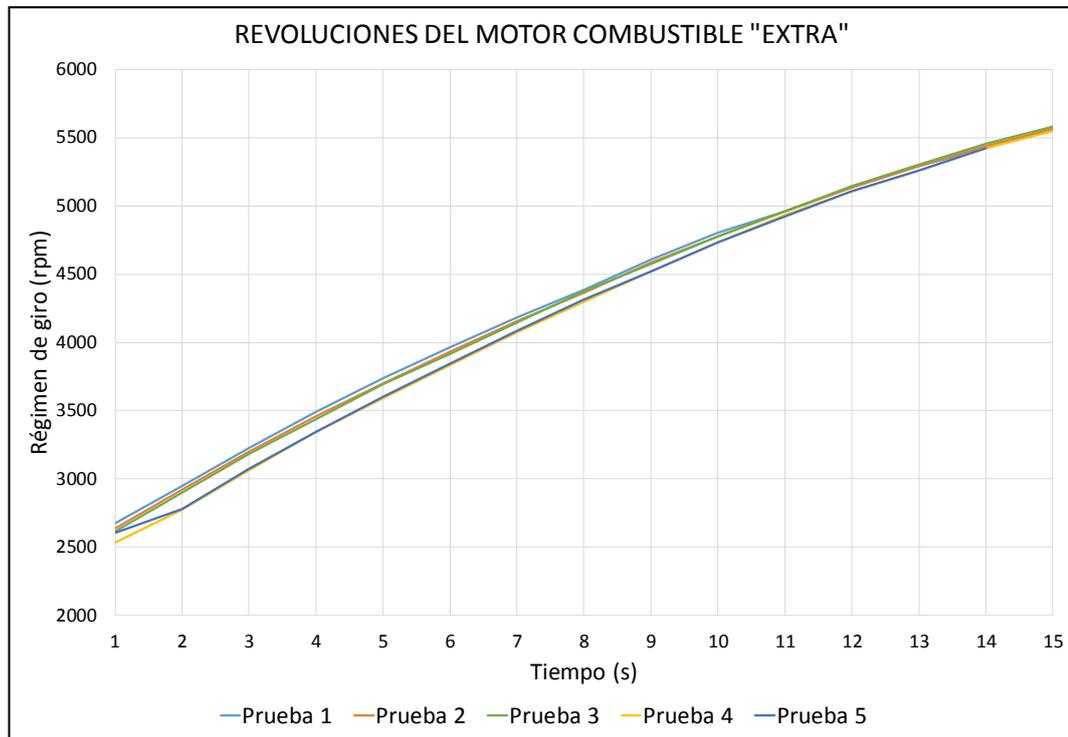


Figura 3-1 Velocidad del motor pruebas con combustible "extra"

Fuente: Autores

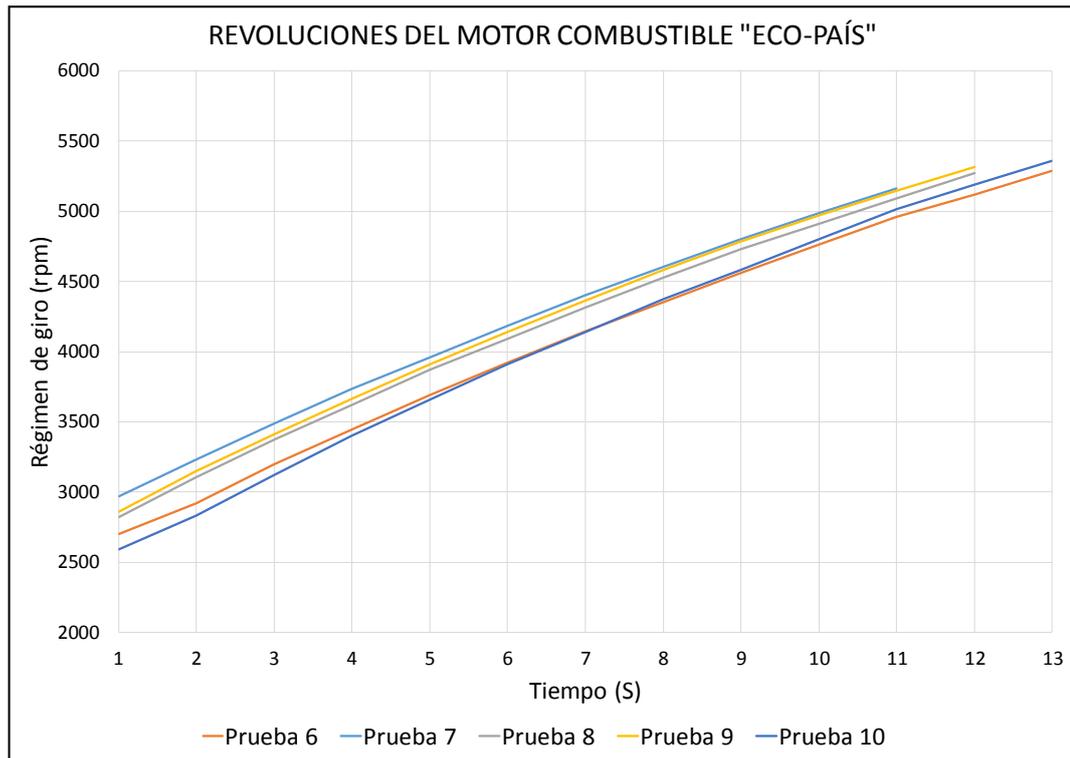


Figura 3-2 Velocidad del motor pruebas con combustible "eco-país"

Fuente: Autores

3.5.2.7.2 Potencia

En la Figura 3-3 se observa los resultados de la medición de potencia, obtenidos del software del banco dinamométrico durante las 5 pruebas realizadas con combustible “extra” donde la curva graficada de color rojo es el promedio de las 5. Esta se realiza con el objeto de un análisis posterior entre ambos combustibles.

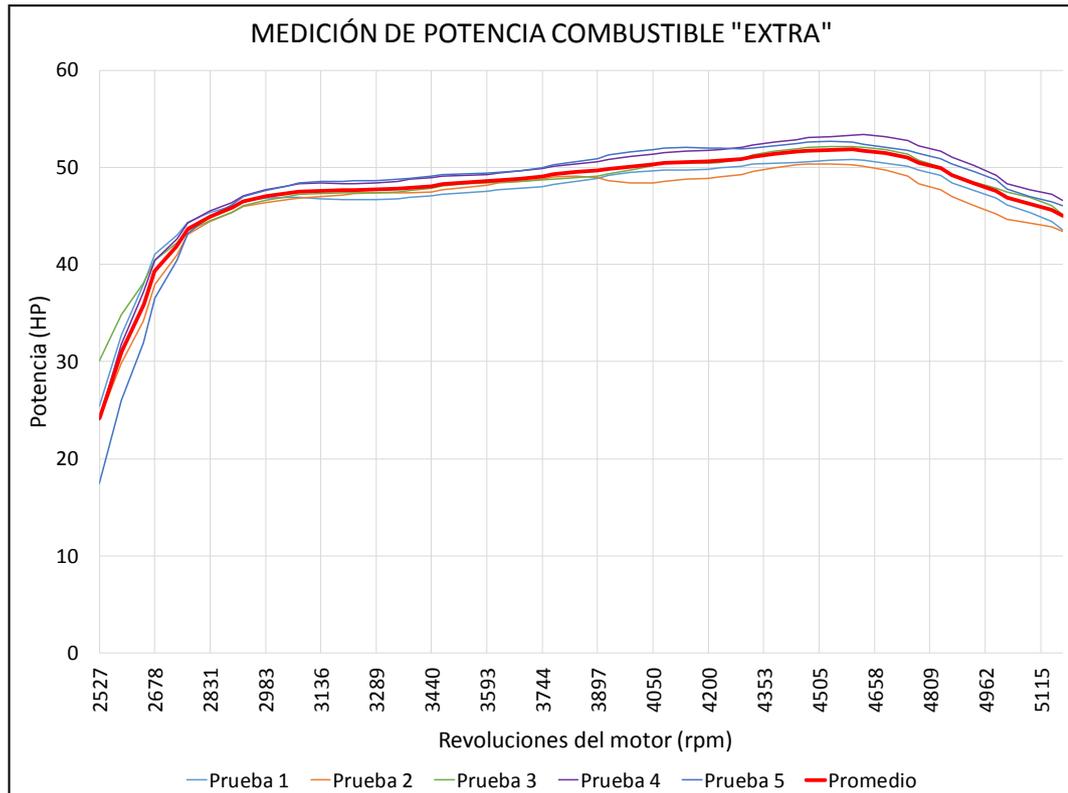


Figura 3-3 Pruebas de potencia con combustible "extra"

Fuente: Autores

En la Figura 3-4 se observa los resultados de la medición de potencia, obtenidos del software del banco dinamométrico durante las 5 pruebas realizadas con combustible “eco-país” donde la curva graficada de color rojo es el promedio de las 5. Esta se realiza con el objeto de un análisis posterior entre ambos combustibles.

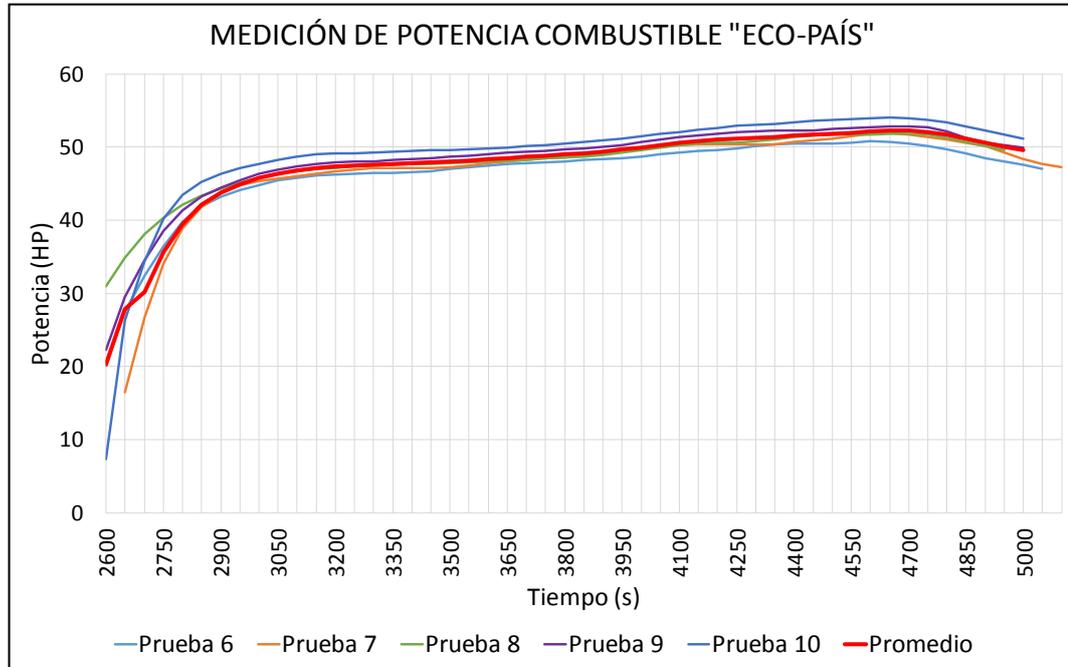


Figura 3-4 Pruebas de potencia con combustible "eco-país"

Fuente: Autores

3.5.2.7.3 Torque

En la Figura 3-5 se observa los resultados de la medición del torque, obtenidos del software del banco dinamométrico durante las 5 pruebas realizadas con combustible “extra” donde la curva graficada de color rojo es el promedio de las 5. Esta se realiza con el objeto de un análisis posterior entre ambos combustibles.

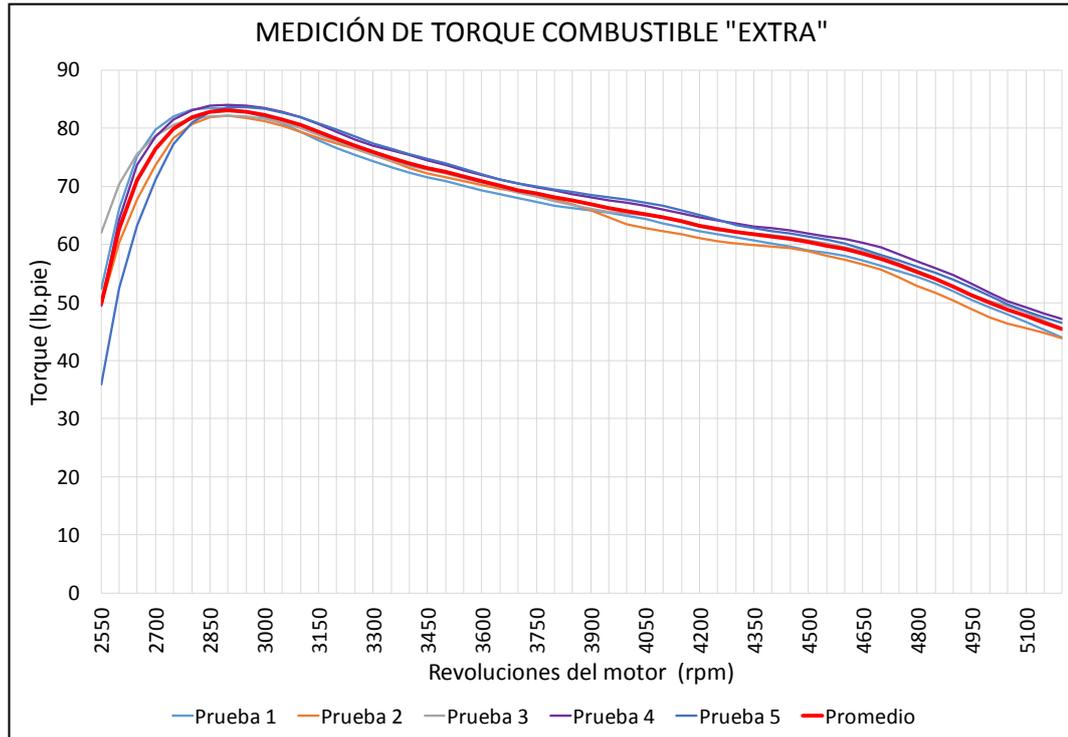


Figura 3-5 Pruebas de torque con combustible "extra"

Fuente: Autores

En la Figura 3-6 se observa los resultados de la medición del torque, obtenidos del software del banco dinamométrico durante las 5 pruebas realizadas con combustible “eco-país” donde la curva graficada de color rojo es el promedio de las 5. Esta se realiza con el objeto de un análisis posterior entre ambos combustibles.

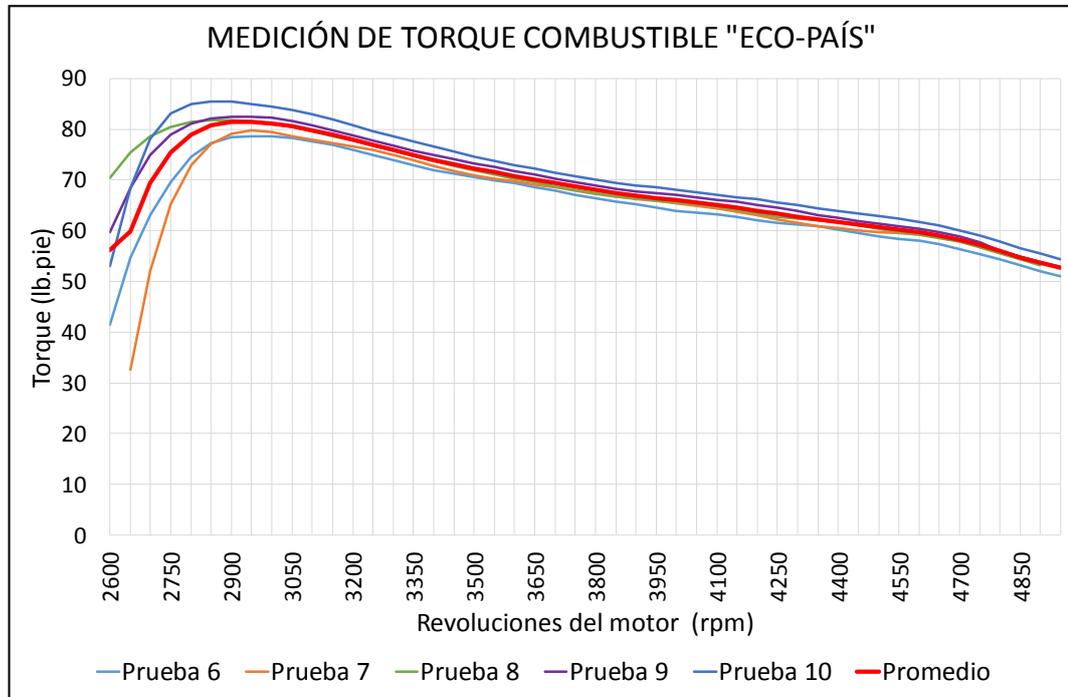


Figura 3-6 Pruebas de torque con combustible "eco-país"

Fuente: Autores

3.5.2.7.4 Proporción aire / combustible

Durante el desarrollo de las 5 pruebas con cada combustible de torque y potencia se registró el dato de la proporción aire – combustible los cuales se indican en la Figura 3-7 y Figura 3-8 respectivamente donde observamos que a plena carga la proporción de aire disminuye respecto al combustible. Con ambos combustibles se observa que la relación se mantuvo en 12,6 a plena carga mientras que a ralentí podemos observar que con el combustible “eco-país” la cantidad de aire aumenta respecto al combustible.

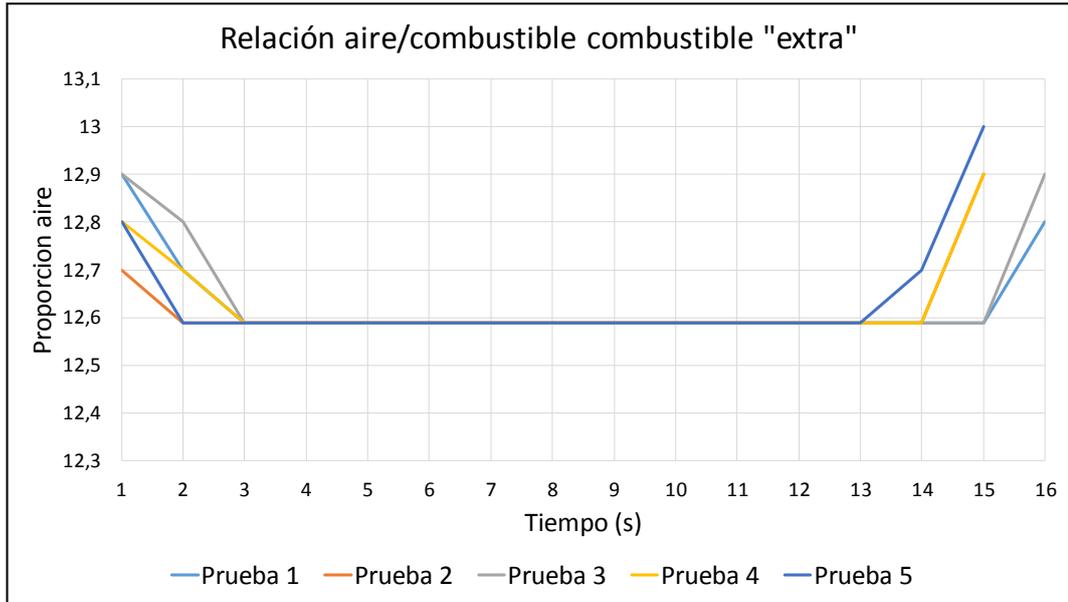


Figura 3-7 Relación aire combustible pruebas con combustible "extra"

Fuente: Autores

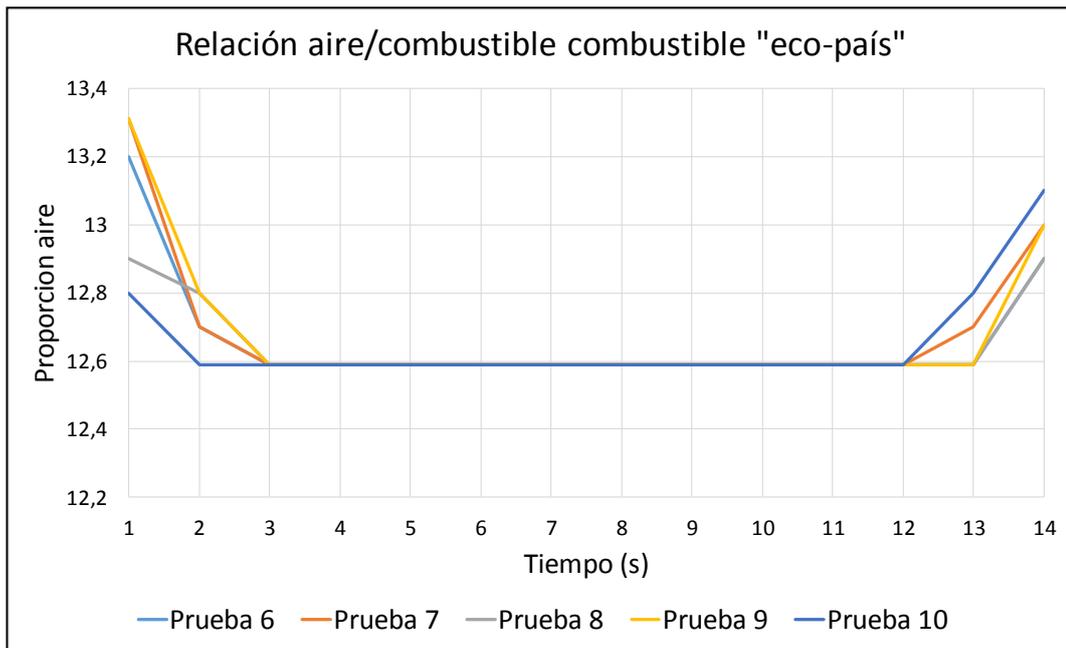


Figura 3-8 Relación aire combustible pruebas con combustible "eco-país"

Fuente: Autores

3.5.2.7.5 Avance de la chispa / tiempo de encendido

En la Figura 3-9 se indica la variación del avance al encendido durante el desarrollo de las 5 pruebas con combustible “extra” y en la Figura 3-10 la variación del avance al encendido con combustible “eco-país”.

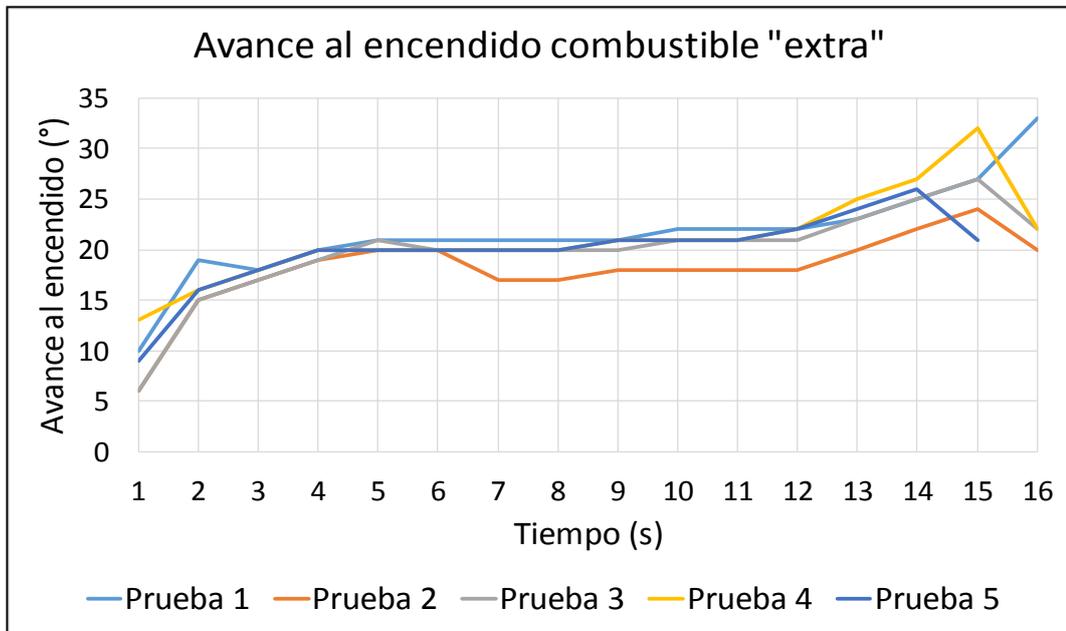


Figura 3-9 Tiempo de encendido durante las pruebas con combustible "extra"

Fuente: Autores

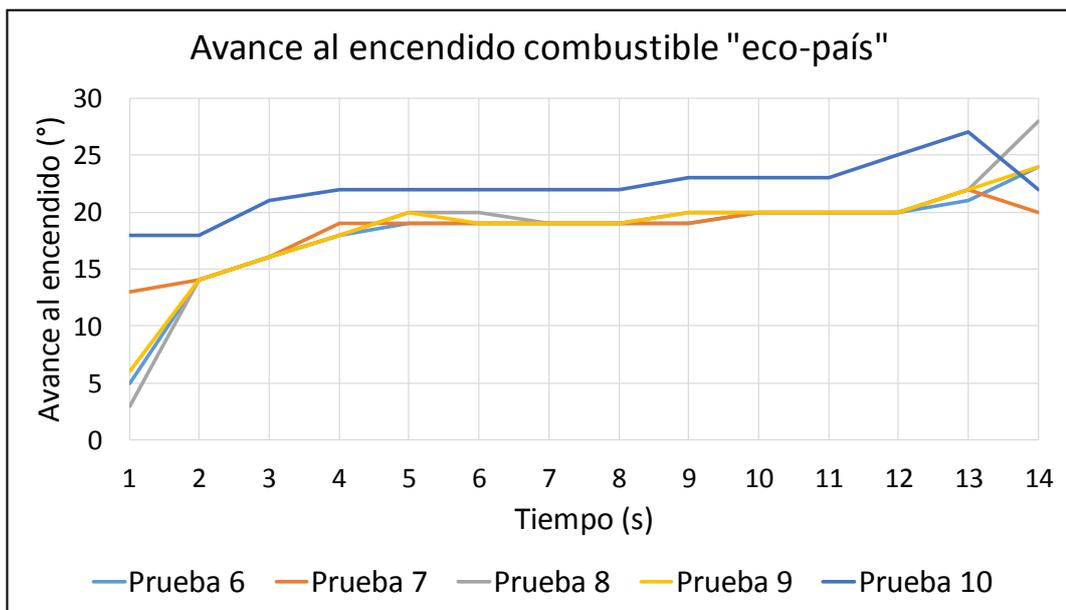


Figura 3-10 Tiempo de encendido durante las pruebas con combustible "eco-país"

Fuente: Autores

3.5.2.7.6 Temperatura y presión ambiente

En la Tabla 3-8 se indica la medición de temperatura y presión del ambiente durante el desarrollo de las pruebas con combustible “extra”.

Tabla 3-8 Temperatura y presión atmosférica

Temperatura (°Celcius)	16°
Presión (Kpa)	77

Fuente: Autores

En la Tabla 3-9 se indica la medición de temperatura y presión del ambiente durante el desarrollo de las pruebas con combustible “eco-país”.

Tabla 3-9 Temperatura y presión atmosférica

Temperatura (°Celcius)	15°
Presión (Kpa)	77

Fuente: Autores

3.5.2.7.7 Temperatura y presión colector de admisión de aire

En la Figura 3-11 y Figura 3-12 se indica la variación de temperatura del aire en el conducto de admisión durante el desarrollo de las 5 pruebas con combustible “extra” y las 5 pruebas con combustible “eco-país” respectivamente, registrando la lectura del sensor IAT a través del escáner donde podemos observar que la temperatura del aire durante las pruebas con combustible “eco-país” fueron mayores.

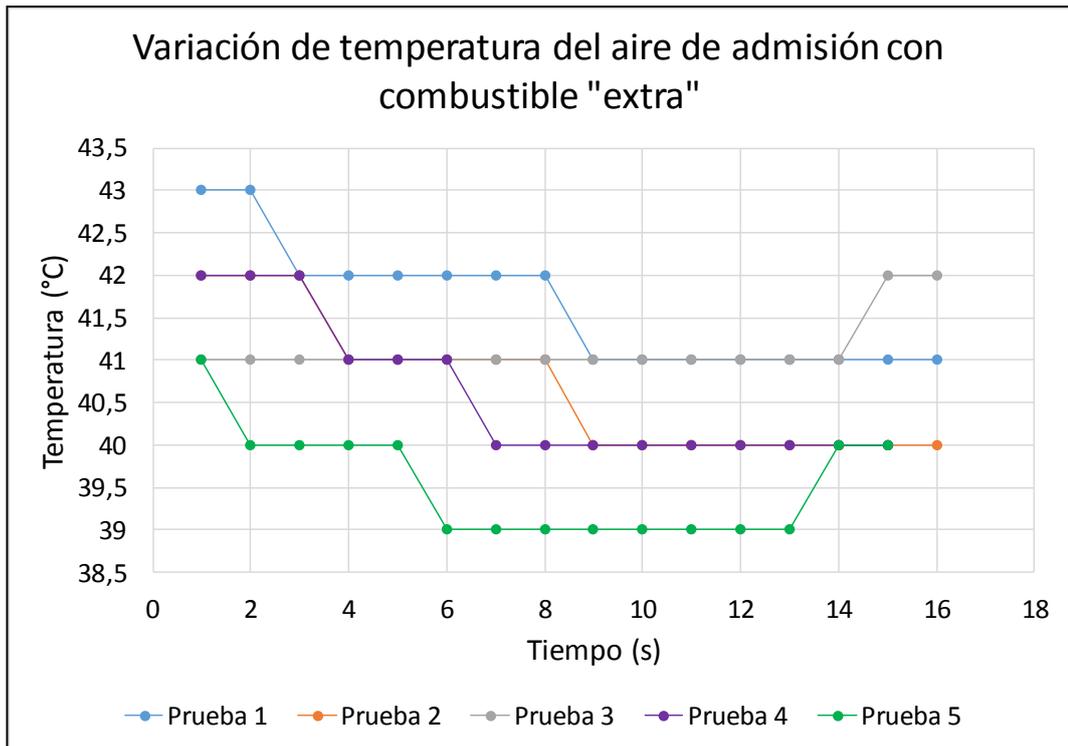


Figura 3-11 Temperatura del aire de admisión durante las pruebas con combustible "extra"

Fuente: Autores

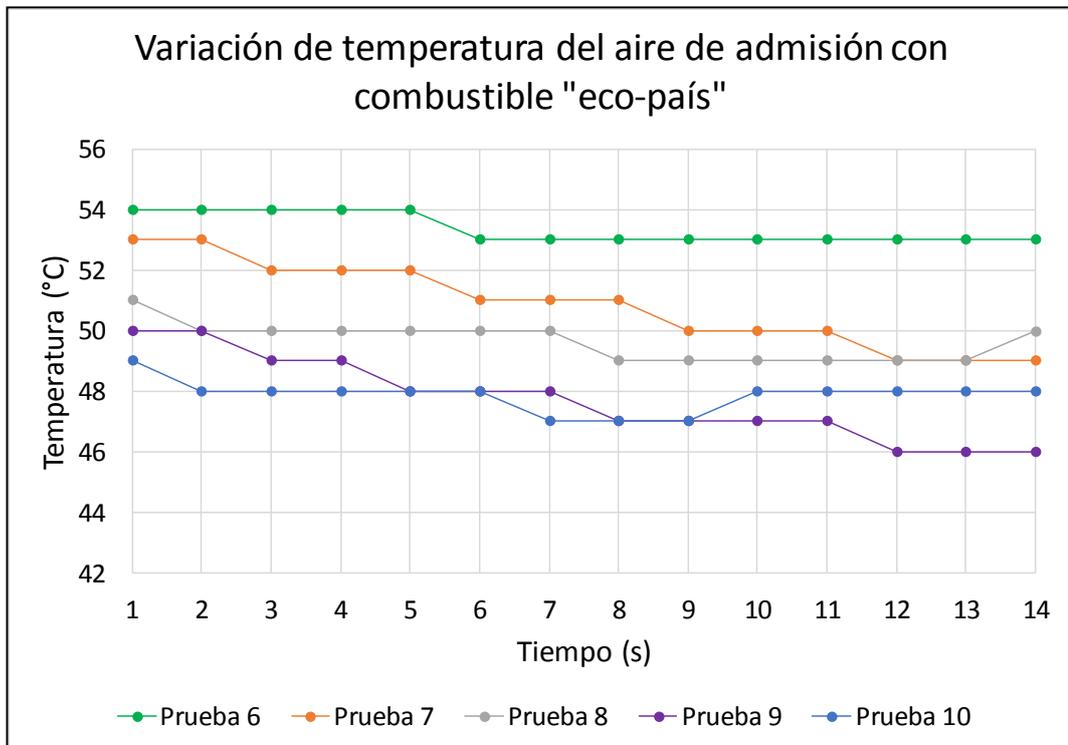


Figura 3-12 Temperatura del aire de admisión durante las pruebas con combustible "eco-país"

Fuente: Autores

En la Figura 3-13 y Figura 3-14 se indica la variación de presión en el múltiple de admisión durante el desarrollo de las 5 pruebas con combustible “extra” y las 5 pruebas con combustible “eco-país” respectivamente, registrando la lectura del sensor MAP a través del escáner, podemos observar que durante las 10 pruebas la presión se mantiene en unos 75kPa a plena carga.

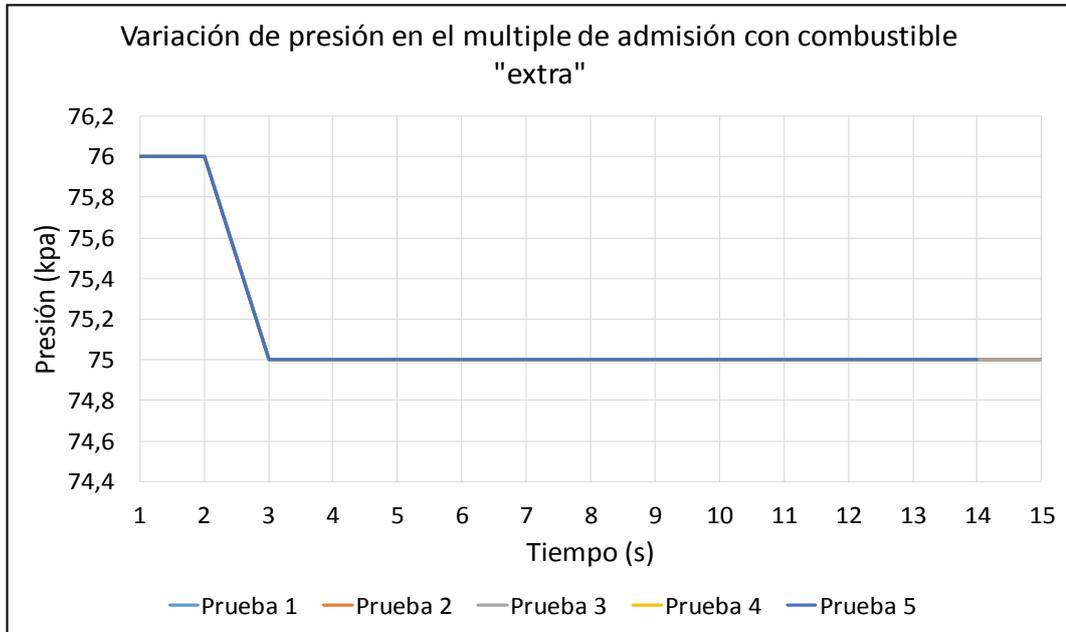


Figura 3-13 Presión en el conducto de admisión durante las pruebas con combustible "extra"

Fuente: Autores

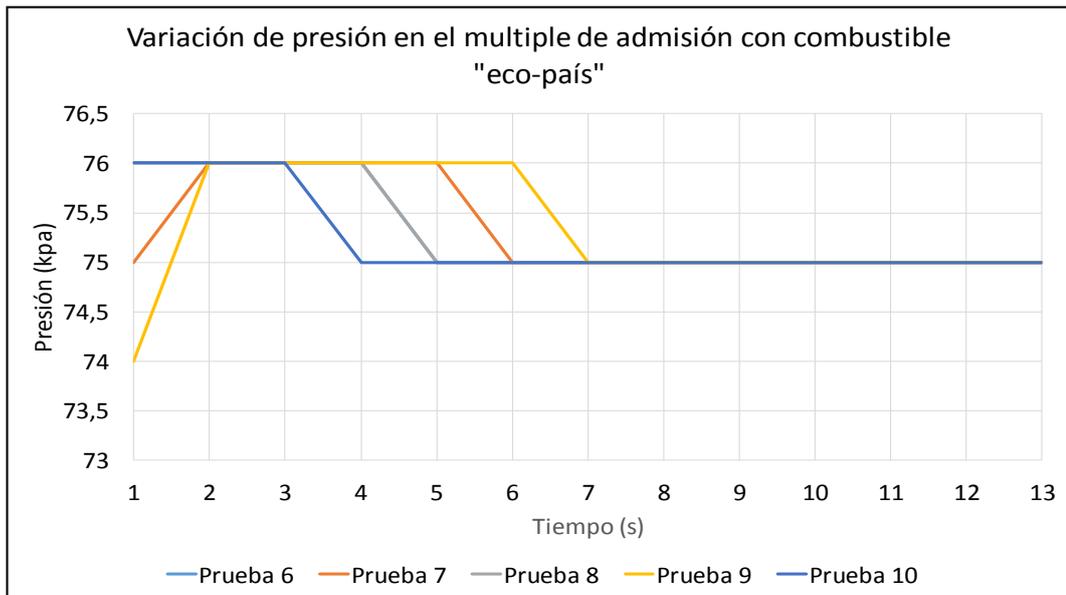


Figura 3-14 Presión en el conducto de admisión durante las pruebas con combustible "eco-país"

Fuente: Autores

3.5.2.7.8 Temperatura del refrigerante del motor

En la Figura 3-15 se indica la variación de temperatura del líquido refrigerante durante el desarrollo de las 5 pruebas realizadas con combustible “extra” registrando la lectura del sensor ECT por medio del escáner, donde se observa que la temperatura del refrigerante se mantiene en los rangos normales de funcionamiento.

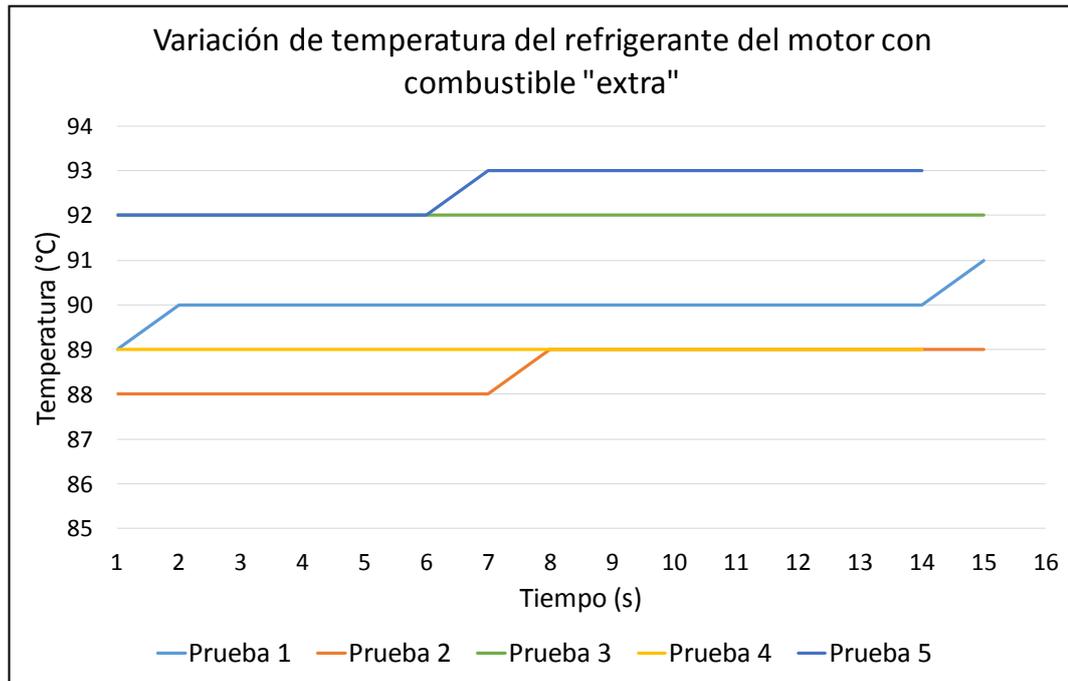


Figura 3-15 Medición de temperatura del refrigerante del motor durante las pruebas con combustible “extra”

Fuente: Autores

En la Figura 3-16 se indica la variación de temperatura del líquido refrigerante durante el desarrollo de las 5 pruebas realizadas con combustible “eco-país” registrando la lectura del sensor ECT por medio del escáner, donde se observa que la temperatura del refrigerante se mantiene en los rangos normales de funcionamiento.

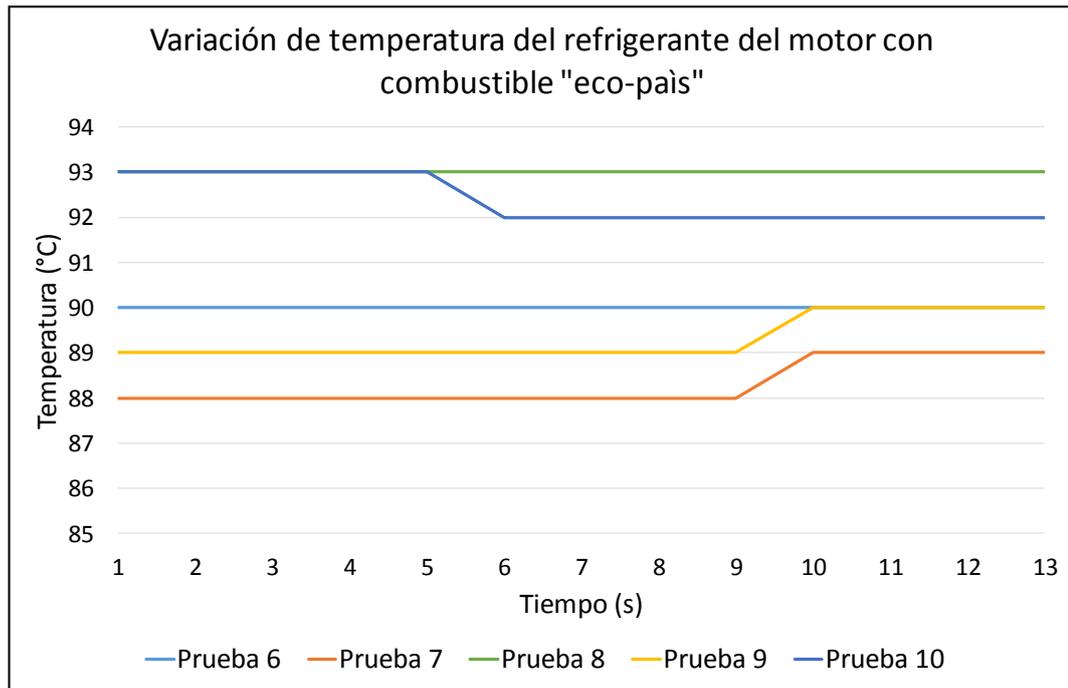


Figura 3-16 Medición de temperatura del refrigerante del motor durante las pruebas con combustible “eco-país”

Fuente: Autores

3.5.2.7.9 Temperatura del combustible en el tanque de combustible

En la Tabla 3-10 se indica la temperatura de cada uno de los combustibles medido con un termómetro laser infrarrojo tipo pistola, durante el desarrollo de las pruebas la diferencia de temperaturas entre ambos combustibles se debe sobre todo a que para el combustible “eco-país” se utilizó un tanque externo.

Tabla 3-10 Temperatura del combustible “extra”

Combustible	Temperatura (°C)
"extra"	33
"eco-país"	25

Fuente: Autores

3.5.3 Ensayo de consumo específico de combustible

Medir el consumo específico de combustible involucra datos como el flujo o gasto másico de combustible y la potencia efectiva, estos valores junto con las revoluciones del motor permiten la elaboración posterior de la curva de consumo específico de combustible.

Para llevar a cabo este ensayo se utilizaron los datos de potencia obtenidos en las pruebas realizadas en el banco dinamométrico, los pulsos de inyección PWM (*Pulse Width Modulation*) y los regímenes de giro del motor grabados por el escáner durante el ensayo.

Para conocer el volumen o caudal de combustible suministrado por los inyectores se realiza un ensayo en el banco de pruebas para inyectores simulando la misma presión de la bomba de combustible del vehículo, luego mediante interpolación de datos y curvas de calibración se encuentran los valores requeridos.

3.5.3.1 Cálculo del flujo másico de combustible

Para medir el flujo másico de combustible se necesita el volumen de combustible suministrado por los inyectores en un tiempo determinado, y la densidad del carburante la cual fue encontrada mediante pruebas de laboratorio.

3.5.3.1.1 Medición del volumen de combustible suministrado por los inyectores

Para conocer la relación entre pulsos de inyección y la cantidad de combustible que suministran los inyectores se realiza una calibración entre: tiempo del pulso de inyección y volumen inyectado a diferentes regímenes de giro del motor con el fin de determinar la tendencia del caudal inyectado de ambos combustibles.

Mediante el banco de pruebas para inyectores se realizó varios ensayos para determinar el caudal de inyección, cada ensayo se efectuó en un tiempo de 60 segundos, simulando una velocidad de giro del motor de 2500, 3000, 3500, 4000 4500, 5000, 5500, 6000 rpm en cada una de ellas se varía el pulso de inyección de 2, 4, 6 y 8 milisegundos,

este ensayo se realizó para ambos combustibles. En la Figura 3-17 se indica una prueba de simulación a una velocidad del motor de 5500 rpm con un pulso de inyección de 6 ms donde se observa el volumen de combustible inyectado por cada inyector.



Figura 3-17 Simulación de suministro de combustible (gasolina extra) a 5500 rpm con un pulso de inyección de 6 ms (milisegundos) y un tiempo de duración de la prueba de 60 segundos

Fuente: Autores

Luego se realiza la sumatoria del volumen total suministrado por los cuatro inyectores durante cada prueba, los valores se pueden observar en el Anexo 4 y Anexo 5, de esta manera se obtiene una muestra para cada régimen de giro del motor y pulsos de inyección, en la Figura 3-18 y Figura 3-19 se pueden ver las gráficas de los resultados obtenidos durante el ensayo en el banco de inyectores, donde se aprecia que la tendencia y proporción de la variación del volumen de combustible suministrado crece de forma lineal.

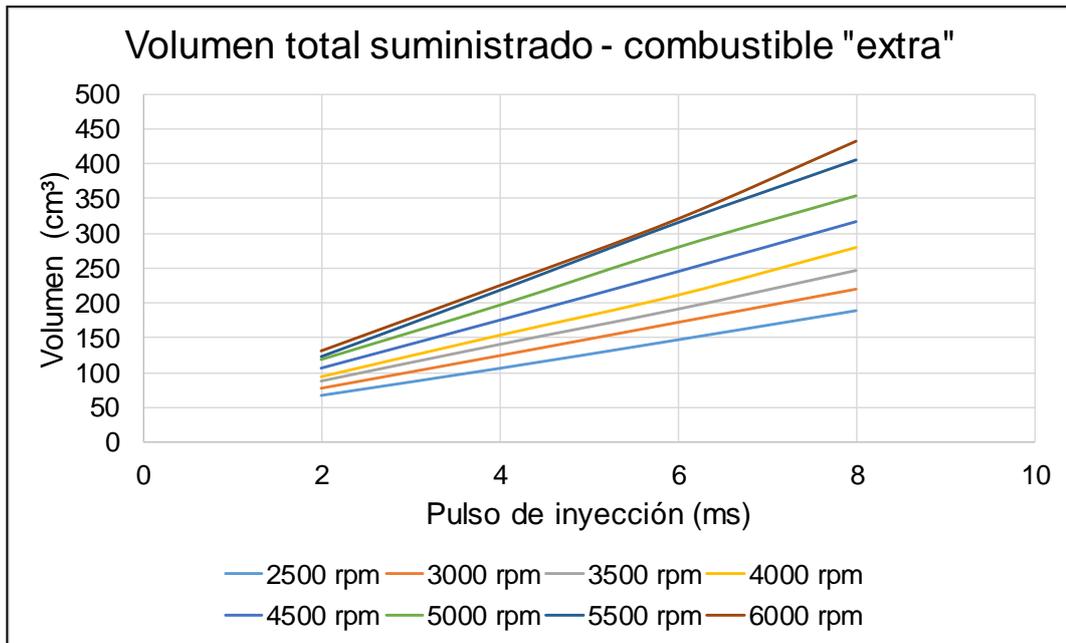


Figura 3-18 Volumen total suministrado por los 4 inyectores durante los ensayos de simulación con combustible “extra”

Fuente: Autores

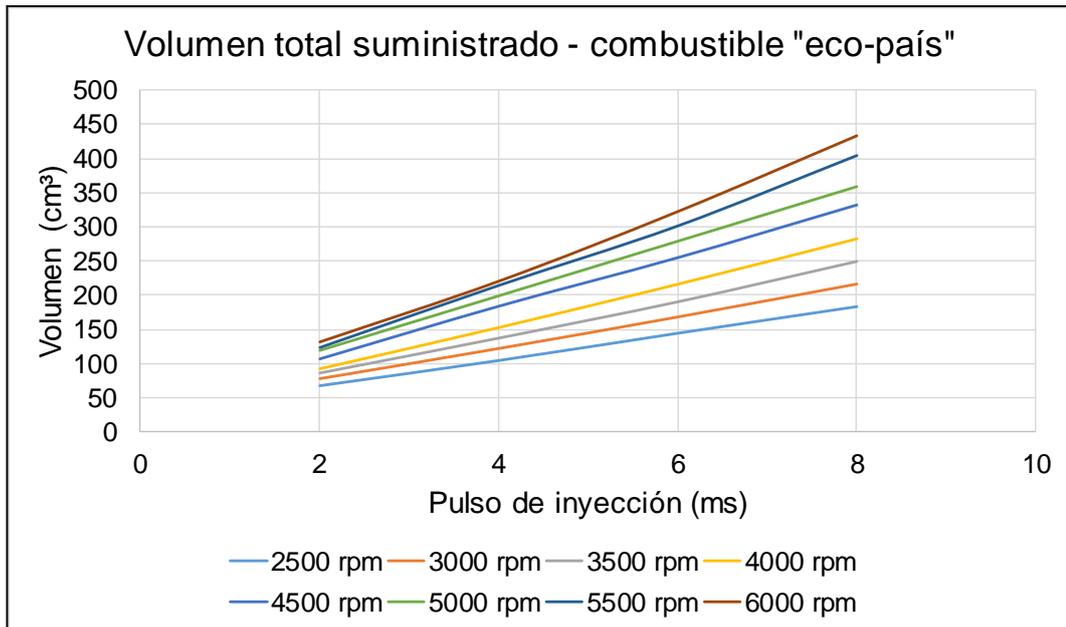


Figura 3-19 Volumen total suministrado por los 4 inyectores durante los ensayos de simulación con combustible “eco-país”

Fuente: Autores

Para obtener un conjunto de valores intermedios a partir de los volúmenes encontrados, se utiliza la interpolación de datos, de esta manera se encuentra el volumen de combustible inyectado para cada régimen de giro y pulso de inyección, registrado por el escáner los cuales están graficados en la Figura 3-20 y Figura 3-21, durante las 10 pruebas.

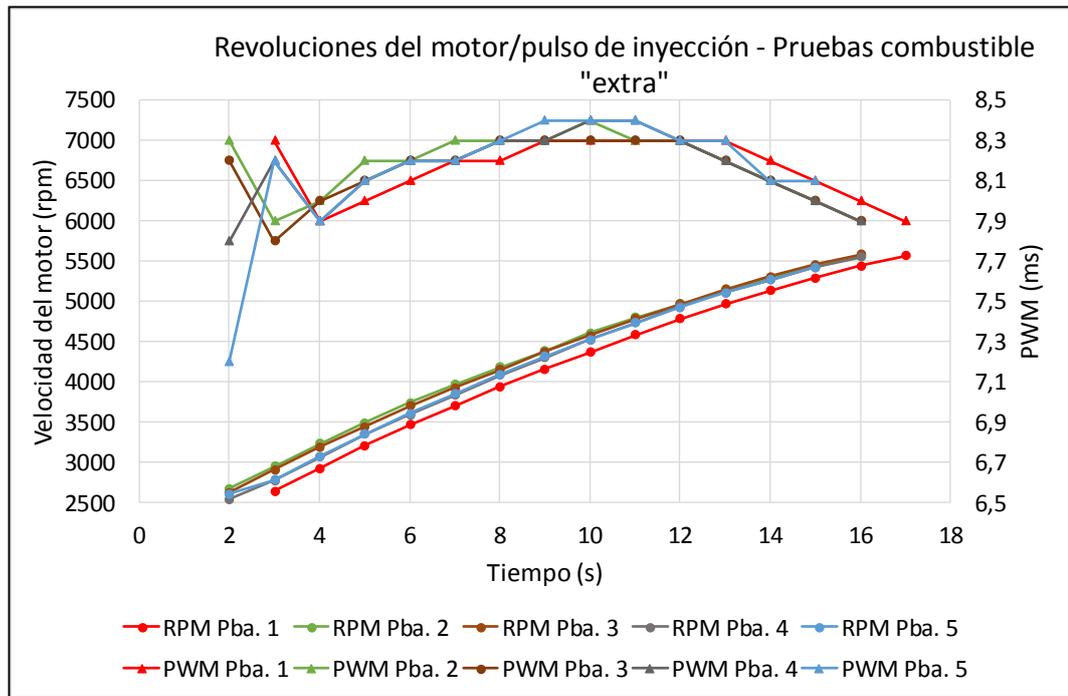


Figura 3-20 Velocidad del motor y pulsos de inyección grabados durante las pruebas de torque y potencia con combustible “extra”

Fuente: Autores

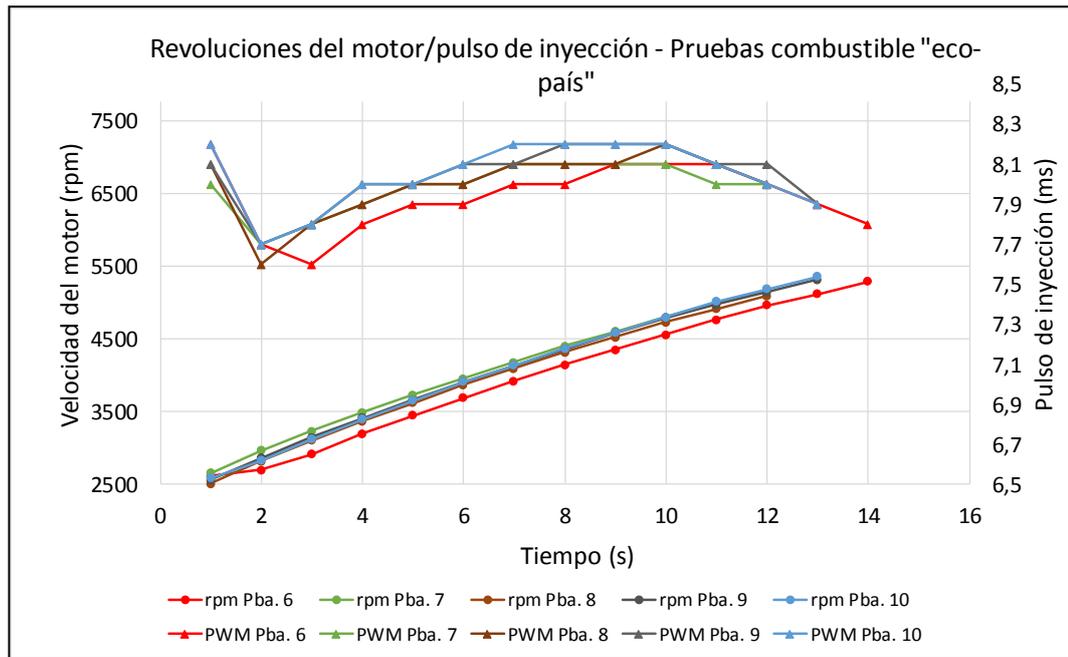


Figura 3-21 Velocidad del motor y pulsos de inyección grabados durante las pruebas de torque y potencia con combustible “eco-país”

Fuente: Autores

En el Anexo 6 y Anexo 7 se puede observar el método de interpolación de datos para obtener el volumen inyectado a cada régimen de giro registrado en el escáner.

3.5.3.1.2 Estimación numérica del volumen inyectado

Con los datos obtenidos mediante interpolación, se utiliza el método de “curvas de calibración” en donde se puede encontrar la línea de tendencia de cada matriz obteniendo como resultado las ecuaciones de las rectas y el valor de R^2 el cual es un coeficiente de determinación que indica la proporcionalidad de “x” respecto a “y” basándose en la línea de tendencia.

Mientras el valor del coeficiente se aproxime a uno demuestra que los puntos de los datos están más cerca de la línea de regresión, lo que indica que el ajuste es más exacto, finalmente con las ecuaciones encontradas se puede determinar el volumen de combustible para los pulsos de inyección respectivos (Figura 3-20 y Figura 3-21).

En la Figura 3-22 se observa una muestra de curvas de calibración donde se indica las ecuaciones de las rectas en la forma ($y = mx + b$), donde “y” es el volumen a encontrar y “x” es el pulso de inyección que se tiene como dato.

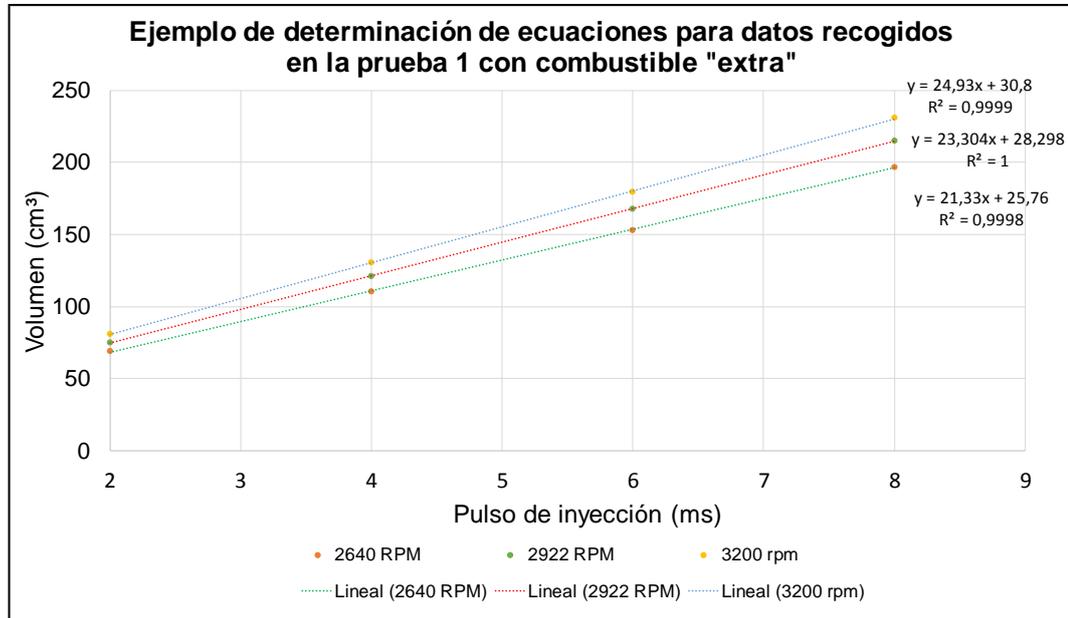


Figura 3-22 Método para la determinación de ecuaciones para regímenes registrados por escáner

Fuente: Autores

3.5.3.1.3 Estimación del flujo másico inyectado

Con la obtención del volumen inyectado en un tiempo de 60s a su respectivo régimen y pulso de inyección y determinada la densidad de cada combustible se puede establecer el flujo másico multiplicando el caudal (cm^3/min) por la densidad (gr/cm^3) y por un factor de conversión de 60 se obtiene el flujo másico en (gr/h), en la Figura 3-23 y Figura 3-24 se puede observar las curvas del flujo másico de cada combustible. Los valores en tablas se pueden observar en el Anexo 8 y Anexo 9.

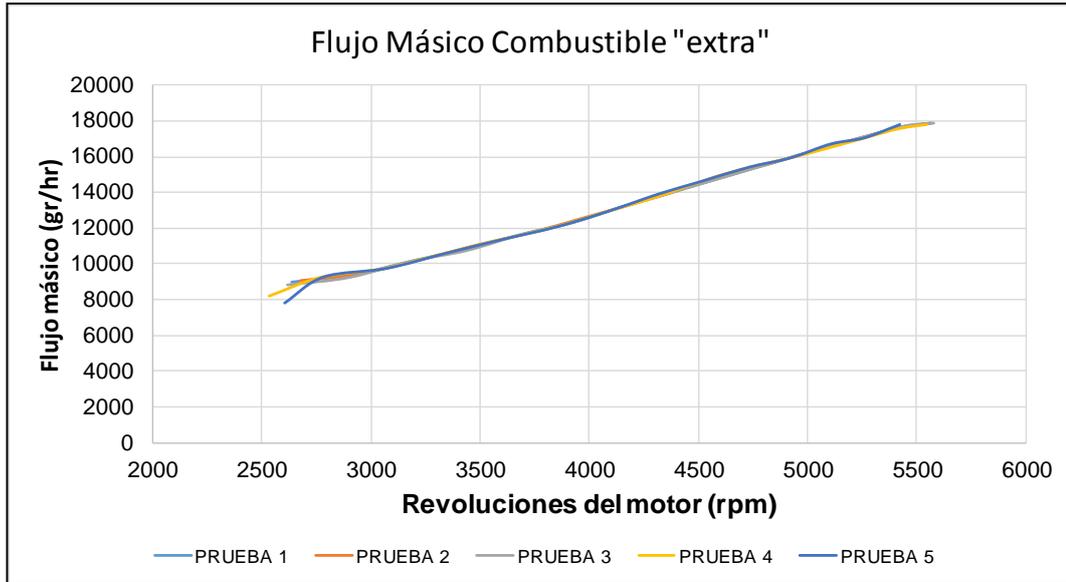


Figura 3-23 Cálculo del flujo másico con combustible "extra"

Fuente: Autores

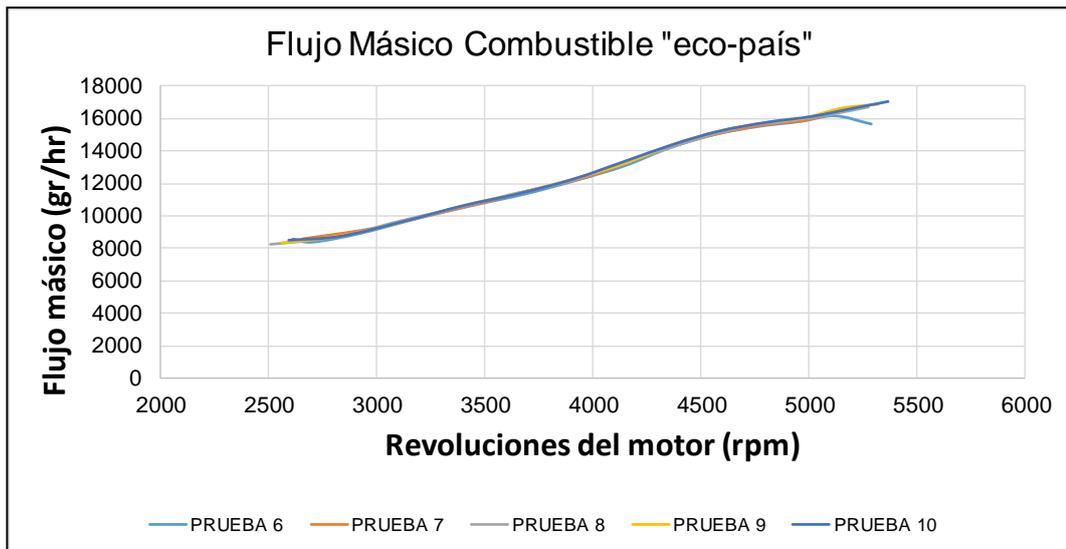


Figura 3-24 Cálculo del flujo másico con combustible "eco-país"

Fuente: Autores

3.5.3.1.4 Cálculo consumo específico de combustible

Una vez determinado el flujo másico (gr/h) se halla el consumo específico de combustible dividiendo el flujo másico (gr/h) entre la potencia respectiva (hp). Para determinar la potencia equivalente a cada revolución registrada por el escáner se utilizó la interpolación de datos, en este caso se realizó la interpolación entre los datos del banco dinamométrico y la RPM registradas por el escáner en cada prueba.

En la Figura 3-25 y Figura 3-26 se indica el consumo específico (gr/HP.h) concerniente a las pruebas con combustible “extra” y “eco-país” respectivamente, los valores en tablas se pueden observar en el Anexo 10 y Anexo 11.

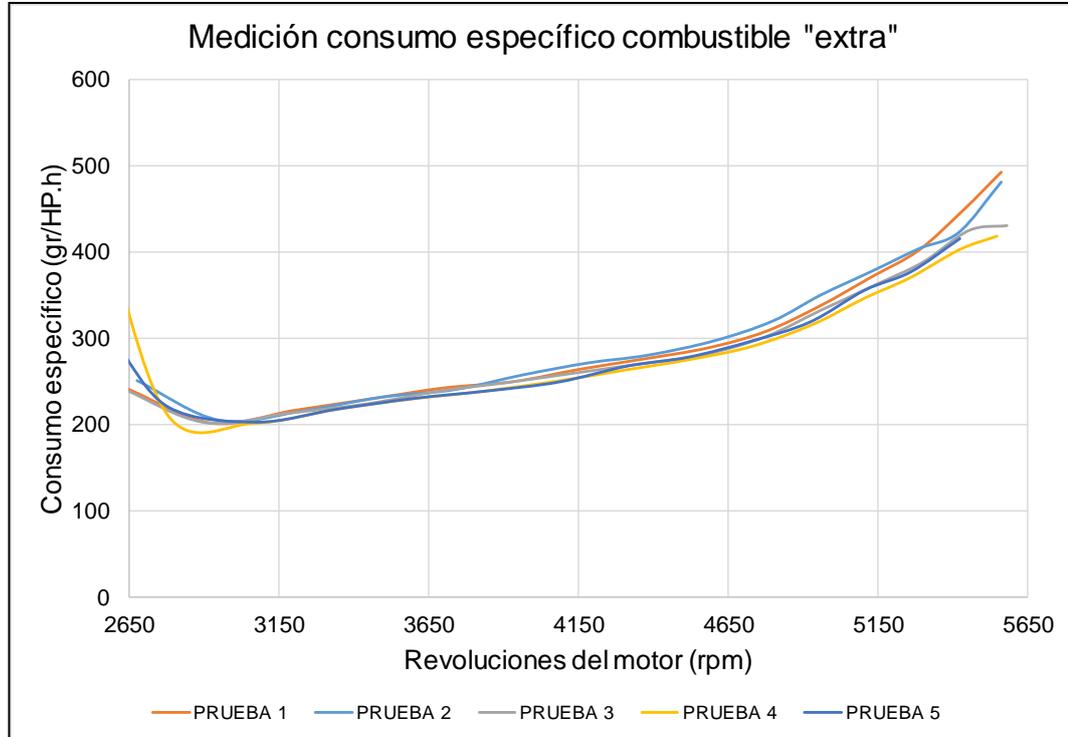


Figura 3-25 Resultados consumo específico con combustible "extra"

Fuente: Autores

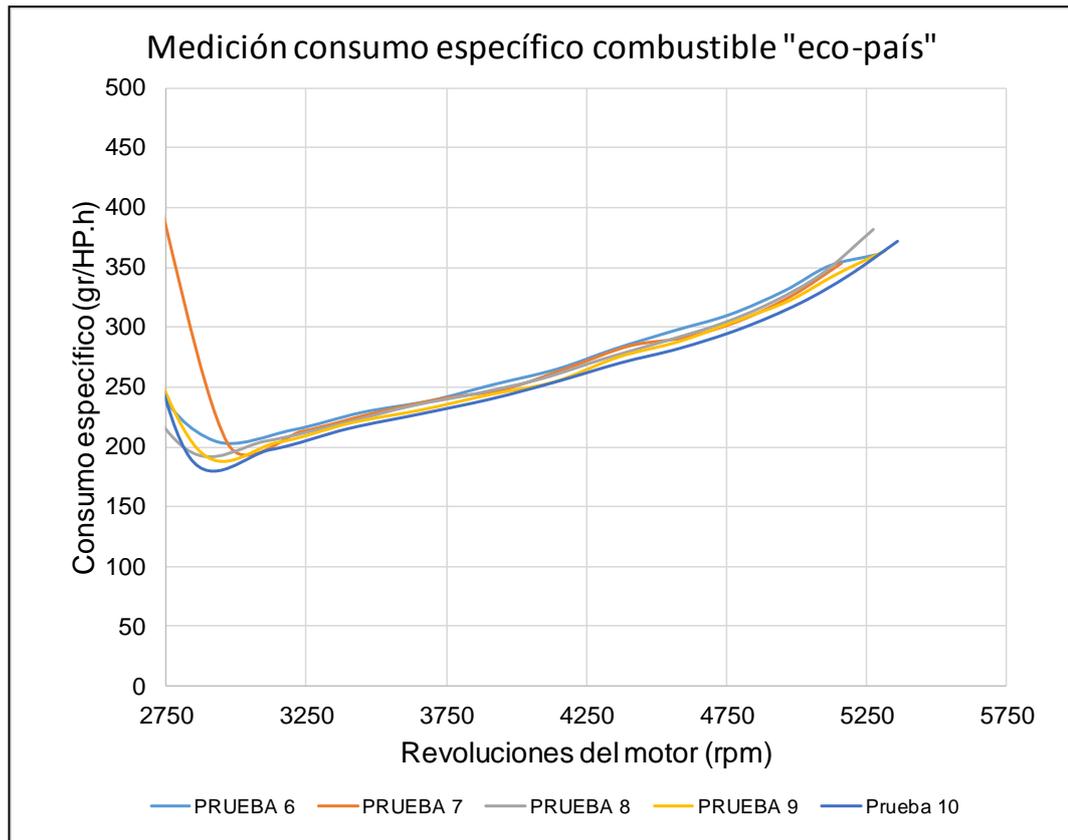


Figura 3-26 Resultados consumo específico con combustible "eco-país"

Fuente: Autores

3.5.4 Ensayo de emisión de gases de escape

Para medir la cantidad de emisiones de los gases de escape del motor de combustión interna se utilizó el equipo analizador que se indicó anteriormente, la metodología utilizada para el proceso de medición se encuentra descrito en la norma INEN 2 203 numeral 5.4, se realizó 3 mediciones con cada combustible para evitar posibles errores, se efectuó cada medición con el motor a un régimen de giro de 2500 rpm y a 800 rpm, con una duración de 30s cada una, donde se registró los valores medidos, de ellos se determinó el valor promedio y se encontró la desviación estándar con el fin de verificar que la dispersión de los datos sea mínima.

En la Tabla 3-11 se indica los resultados de la medición de concentración de monóxido de carbono, dióxido de carbono los mismos que indican el porcentaje contenido en el volumen medido e hidrocarburos en partículas contenidas por millón realizado con ambos combustibles.

Tabla 3-11 Resultados de la medición de gases con combustible "extra" y "eco-país"

Monóxido de carbono					
		Combustible "extra"	Desviación estandar	Combustible "eco-país"	Desviación estandar
Revoluciones	Unidad	%	---	%	---
850	rpm	0,05	0	0,02	0,002
2500	rpm	0,051	0,01	0,022	0,006
Dióxido de carbono					
		Combustible "extra"	Desviación estandar	Combustible "eco-país"	Desviación estandar
Revoluciones	Unidad	%	---	%	---
850	rpm	13,906	0,013	14,526	0,03
2500	rpm	13,71	0,12	14,233	0,154
Hidrocarburos					
		Combustible "extra"	Desviación estandar	Combustible "eco-país"	Desviación estandar
Revoluciones	Unidad	ppm	---	ppm	---
850	rpm	16,167	0,535	7,511	0,447
2500	rpm	16,03	0,629	8,641	0,797

Fuente: Autores.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Introducción

En este capítulo se presenta un análisis de los resultados obtenidos de la evaluación del MCI A con el objetivo de comparar las variaciones obtenidas de potencia, torque, consumo específico de combustible y emisiones de gases de escape entre ambos carburantes.

4.2 Análisis de potencia

Para comparar la potencia medida con ambos combustibles, de las 5 mediciones realizadas con cada uno de ellos ver Figura 3-3 y Figura 3-4 se encontró una curva promedio estas se indican de manera unificada en la Figura 4-1 y Figura 4-2 en las cuales para descartar datos erróneos que estuvieran fuera del rango de medición por efectos de simulación se determinó el coeficiente de variación el cual se encuentra dividiendo la desviación estándar de los datos recolectados para el promedio de los mismo el resultado se representa en porcentaje.

Por motivos de análisis se descarta datos con un coeficiente de variación mayor al 3%, debido a que hay factores que afectan la precisión en la ejecución de las pruebas como puede ser: la desincronización al realizar el inicio del registro de datos, otro factor que se puede atribuirle es la forma con la que el conductor presiona el acelerador, esto refleja una mayor dispersión de los datos en el inicio de las pruebas, es por ello que se realiza el análisis de los mismos a partir de los 2850 rpm donde se puede observar una linealidad en el coeficiente de variación. Los valores se pueden observar en el Anexo 2 y Anexo 3.

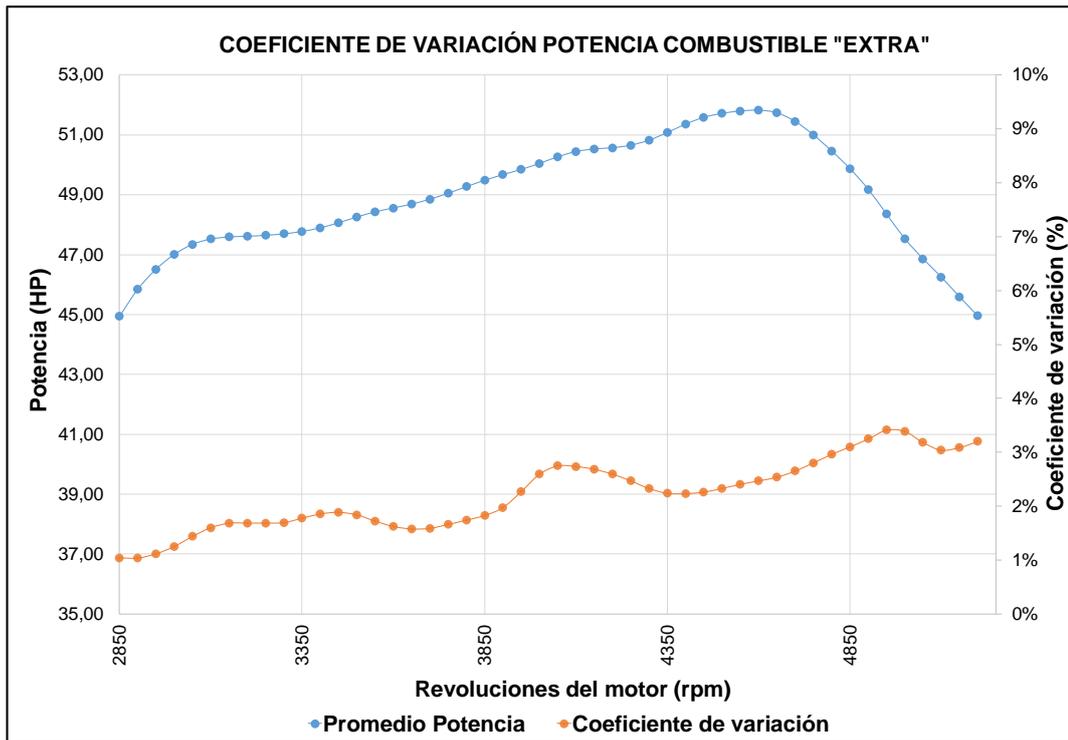


Figura 4-1 Coeficiente de variación determinado en las pruebas de potencia con combustible "extra"

Fuente: Autores

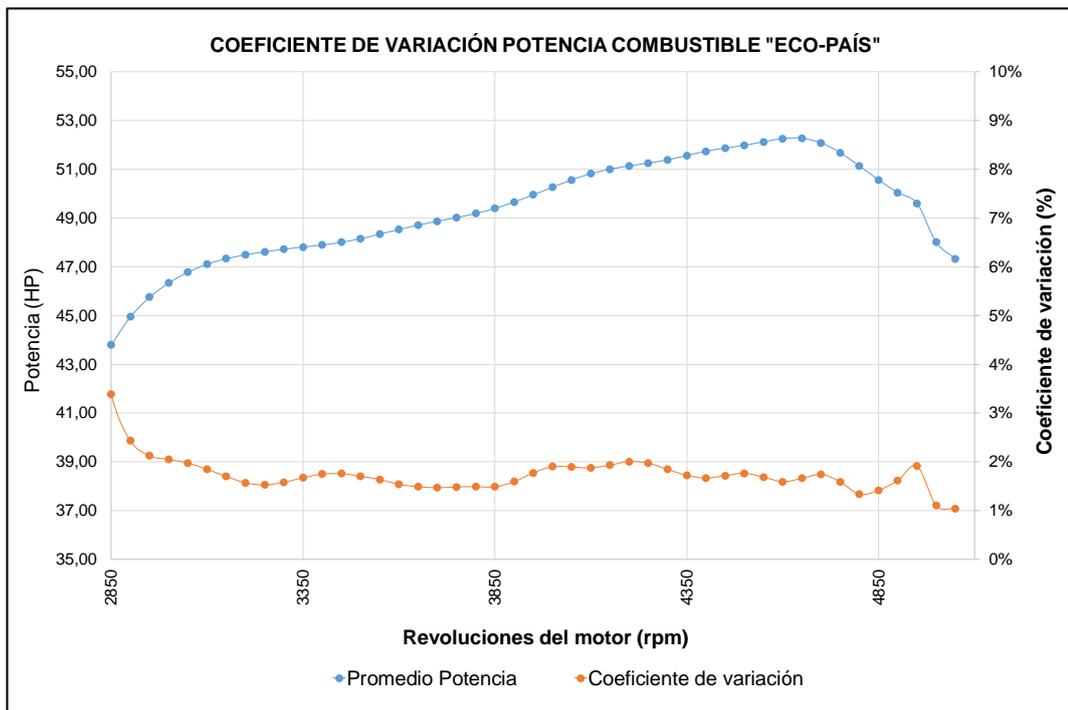


Figura 4-2 Coeficiente de variación determinado en las pruebas de potencia con combustible "eco-país"

Fuente: Autores

En la Figura 4-3 se puede observar las curvas promedio de potencia medidas con combustible “extra” y “eco-país” a más de la curva de variación porcentual del combustible “eco-país” respecto al combustible “extra” la cual expresa la variación de la potencia entre ambas curvas, se puede observar que desde los 2850 rpm hasta los 3250 rpm el combustible “eco-país” presenta una caída de hasta 2%, desde los 3250 hasta los 4000 rpm la potencia se iguala y a partir de los 4000 rpm “eco-país” presenta un ligero incremento de potencia de hasta 2%.

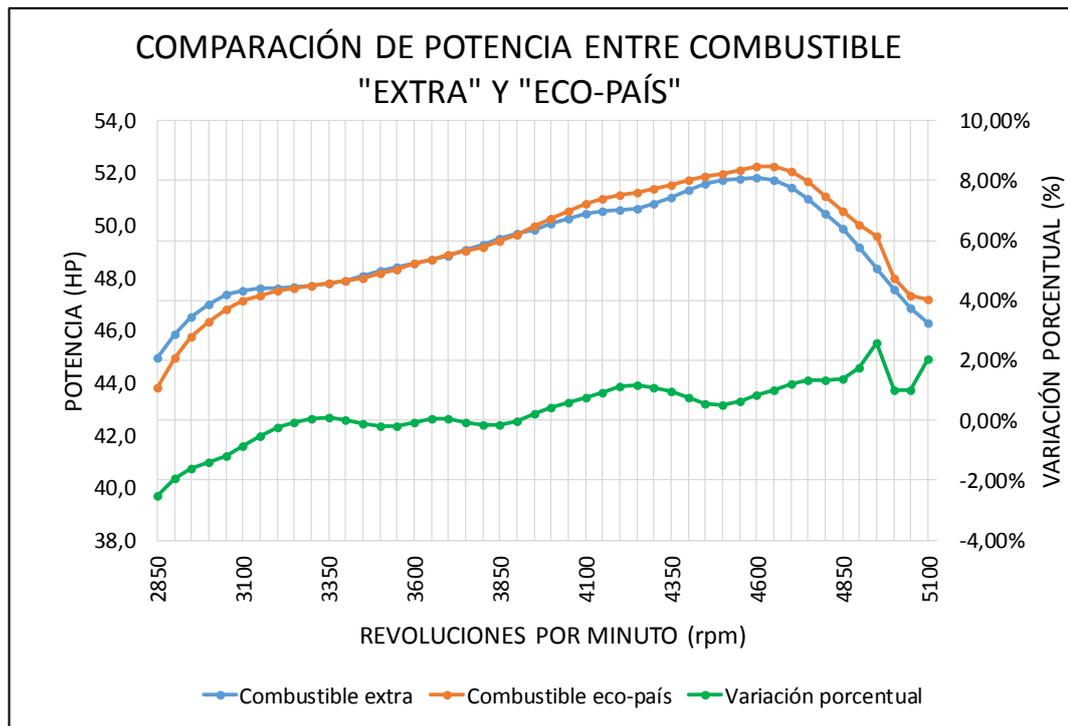


Figura 4-3 Comparación de potencia entre combustible "extra" y "eco-país"

Fuente: Autores

4.3 Análisis de torque

Para comparar el torque medido con ambos combustibles, de las 5 mediciones realizadas con cada uno de ellos ver Figura 3-5 y Figura 3-6 se encontró una curva promedio las cuales se indican de manera unificada en la Figura 4-4 y Figura 4-5, donde para descartar datos erróneos que estuvieran fuera del rango de medición por efectos de simulación se determinó el coeficiente de variación. Por motivos de análisis se descarta datos con un coeficiente de variación mayor al 3%, debido a los factores antes mencionados.

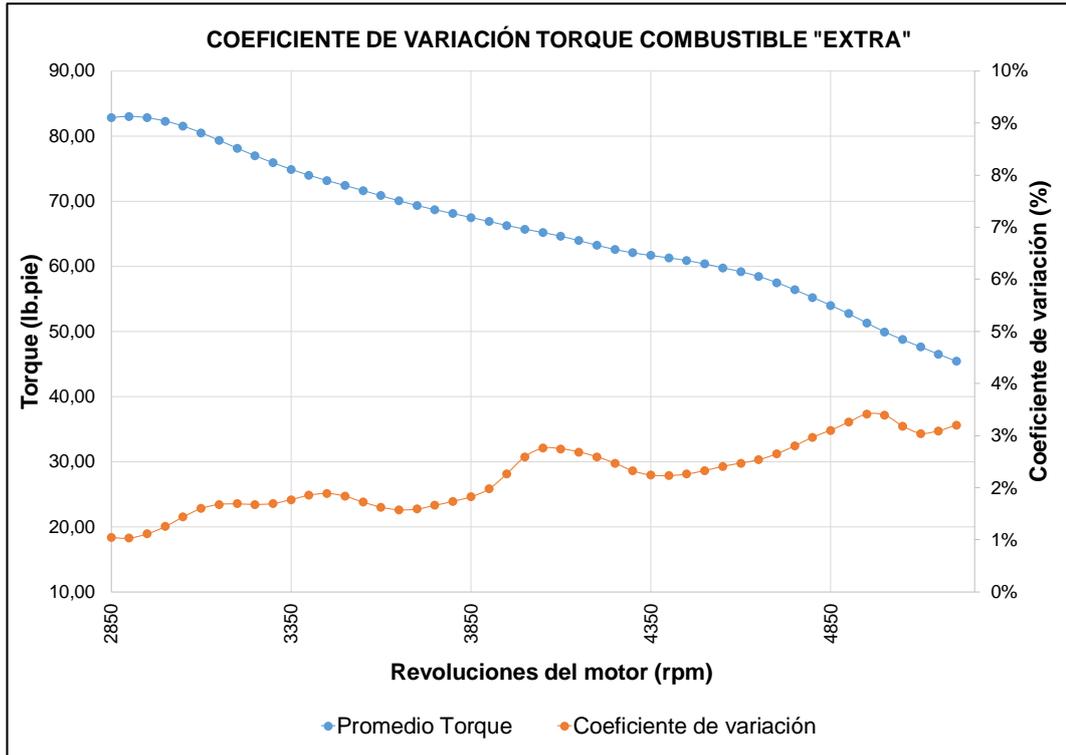


Figura 4-4 Coeficiente de variación determinado en las pruebas de torque con combustible "extra"

Fuente: Autores

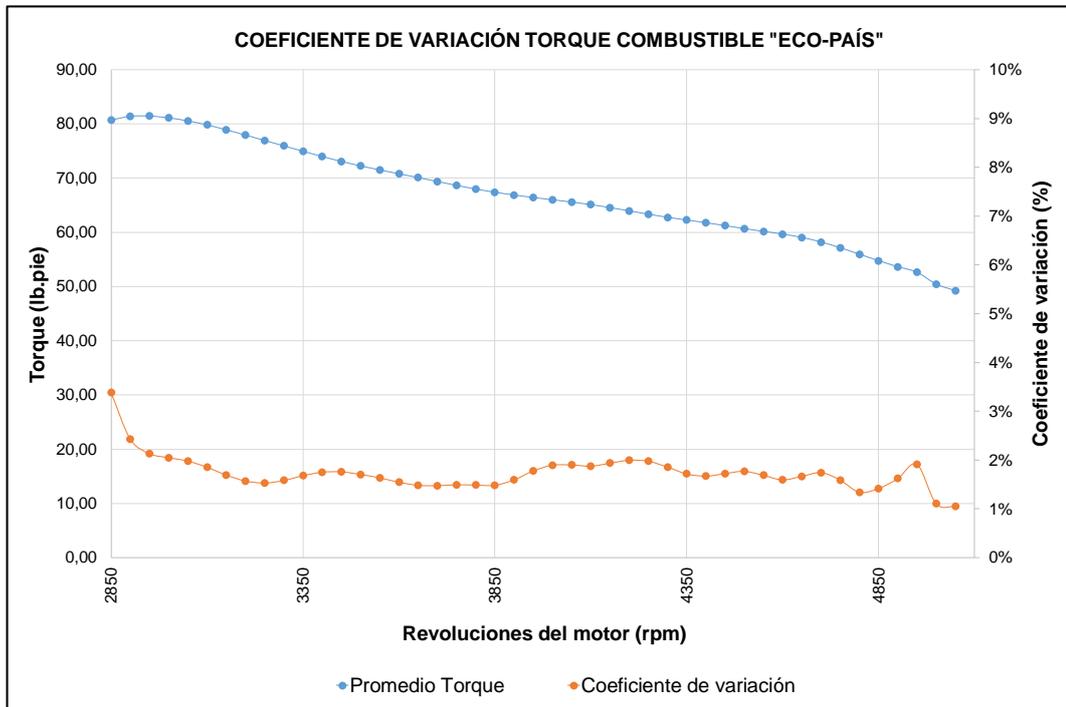


Figura 4-5 Coeficiente de variación determinado en las pruebas de torque con combustible "eco-país"

Fuente: Autores

En la Figura 4-6 se puede observar graficadas las curvas promedio de torque medidas con combustible “extra” y “eco-país” a más de la curva de variación porcentual del combustible “eco-país” respecto al combustible “extra” la cual expresa la variación del torque entre ambas curvas, se puede observar que desde los 2800 rpm hasta los 3050 rpm el combustible “eco-país” presenta una caída de hasta 3 %, desde los 3050 hasta los 4000 rpm el torque se iguala y a partir de los 4000 rpm “eco-país” presenta un ligero incremento de torque de hasta 2%.

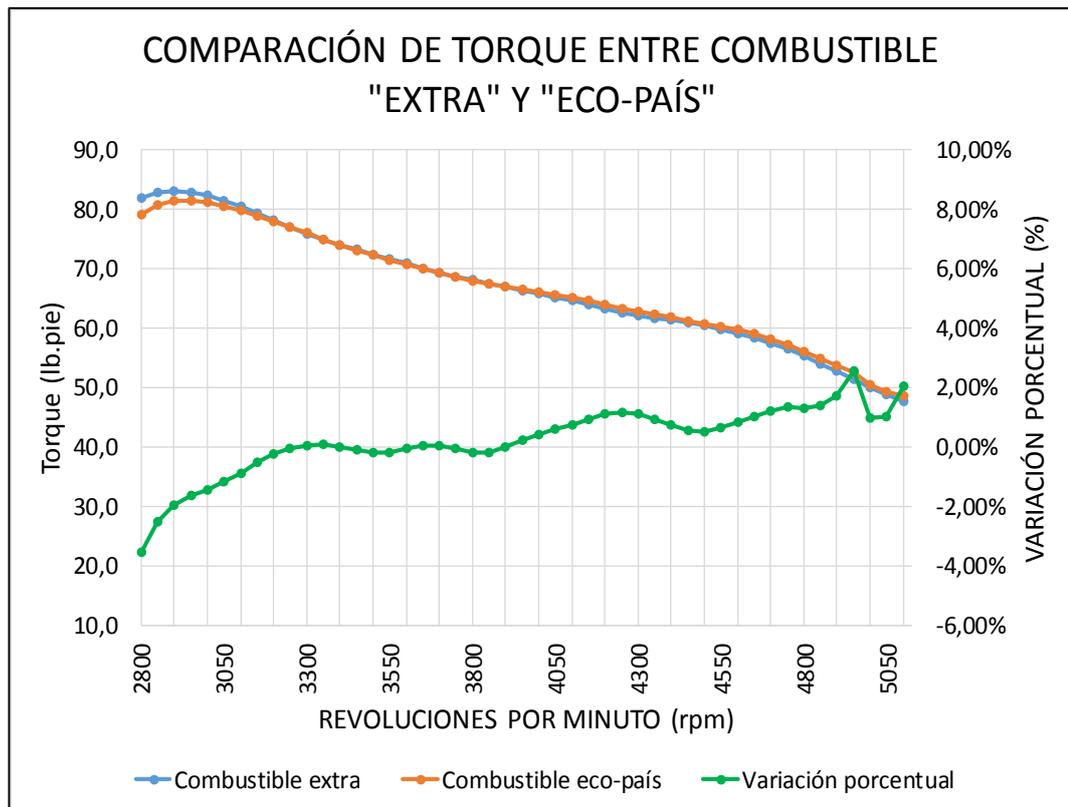


Figura 4-6 Comparación de torque entre combustible "extra" y "eco-país"

Fuente: Autores

4.4 Análisis de consumo específico

Para realizar el análisis entre ambos combustibles, es necesario determinar la curva promedio de cada combustible, es decir, una curva a partir de las 5 pruebas realizadas con el combustible “extra” y una curva a partir de las 5 pruebas realizadas con el combustible “eco-país”.

Debido a que los valores registrados por el escáner se graban a distintos regímenes de giro lo cual no permite que se realice un promedio simple, la obtención de la curva promedio se realiza mediante intervalos de confianza con el objetivo de descartar valores que estén fuera del rango de los límites de confianza y de esta manera obtener una matriz única.

El procedimiento para realizar el intervalo de confianza está determinado mediante la metodología de (Bernal Torres, 2010) el cuál es el siguiente:

- Determinar el tipo de población el cual es infinita.
- De las 5 pruebas con cada combustible se determinó la desviación estándar y el promedio del consumo específico de los datos obtenidos a cada régimen de giro.
- Se definió el nivel de confianza el cual para un 95% es de 1,96.
- La fórmula para determinar el límite de confianza superior e inferior es la siguiente:

$$\bar{X} \pm 1,96 \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Dónde:

\bar{X} es el promedio de los 5 datos registrados.

1,96 el nivel de confianza.

s la desviación estándar.

n el número de muestras.

Se utiliza el signo + para el límite superior y el signo – para el límite inferior, los valores se pueden observar en el Anexo 12 para combustible “extra” y

- Anexo 13 para el combustible “eco-país”.
- Una vez determinado los límites de confianza se grafican junto con el valor promedio y los valores medidos de cada régimen donde los que se encuentren fuera de los límites de confianza se descartan, en la Figura 4-7 se indica un ejemplo para determinar valores que estén fuera del rango de medición con valores de las pruebas de combustible “extra” del primer registro de grabación.

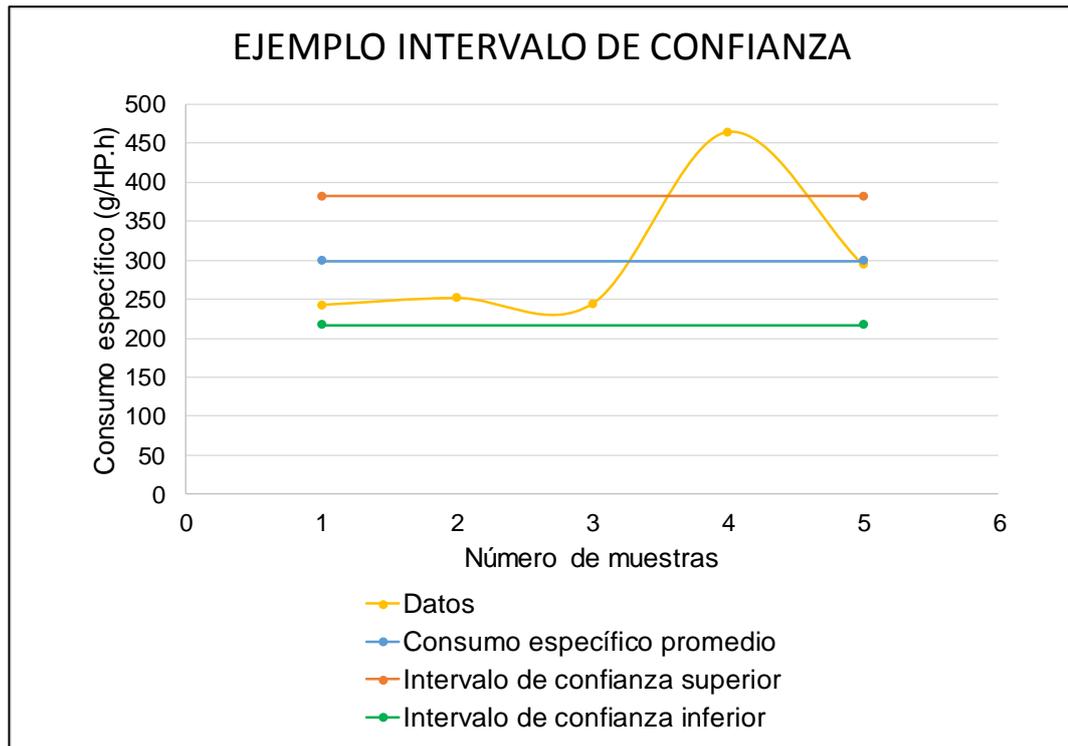


Figura 4-7 Ejemplo para determinar valores que se encuentren fuera del intervalo de confianza

Fuente: Autores

- Como se puede observar en la Figura 4-7 se descarta el dato 4 correspondiente al primer registro de la prueba 4 con combustible “extra”.
- Luego se realiza matrices con los valores de consumo específico que estuvieron dentro de los límites de confianza descartando valores que estuviesen fuera de los límites. Los valores se pueden observar en el Anexo 14 para combustible “extra” y Anexo 15 para el combustible “eco-país”.
- Se realiza un promedio de los regímenes de giro y un promedio de los valores de consumo específico de las matrices filtradas (sin valores que están fuera del intervalo de confianza), donde los valores resultantes representan las curvas promedio de cada combustible.

Las curvas promedio antes determinadas sirven para comparar el consumo específico al utilizar ambos combustibles, las cuales se indican en la Figura 4-8 y Figura 4-9, donde para descartar datos erróneos que estuvieran fuera del rango de medición por efectos de simulación se determinó el coeficiente de variación, por efectos de dispersión de datos se descartan valores con un coeficiente de variación mayores al 3% por las razones antes mencionadas.

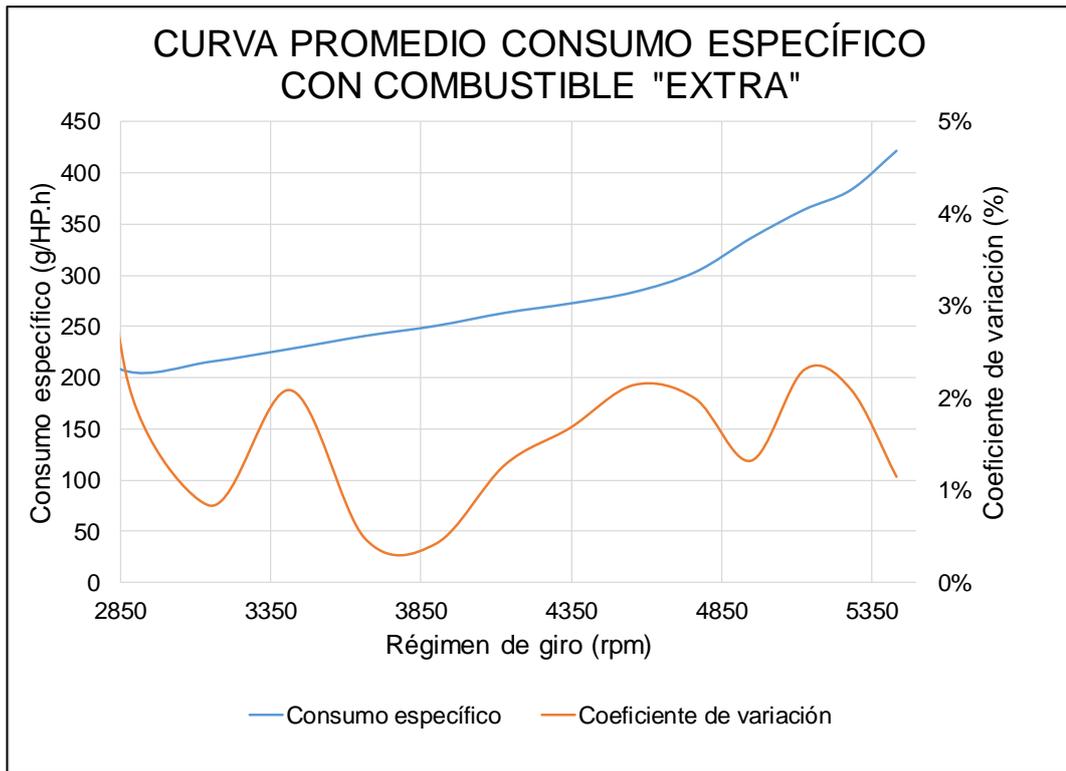


Figura 4-8 Curva promedio consumo específico con combustible "extra"

Fuente: Autores

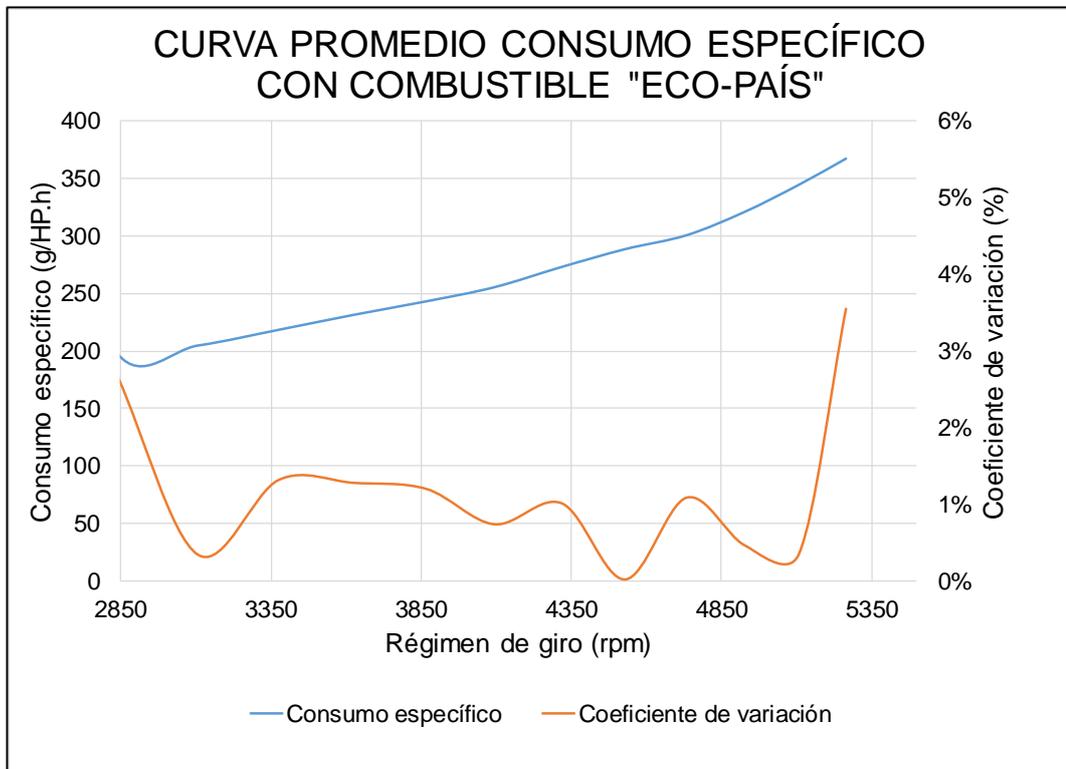


Figura 4-9 Curva promedio consumo específico con combustible "eco-país"

Fuente: Autores

En la Figura 4-10 se puede observar las curvas promedio de consumo específico determinadas con combustible “extra” y “eco-país” a más de la curva de variación porcentual del combustible “eco-país” respecto al combustible “extra” la cual expresa la variación del consumo específico de combustible entre ambas curvas, se puede observar que desde los 2865 rpm hasta los 4120 rpm el combustible “eco-país” presenta una caída de hasta 4%, desde los 4120 hasta los 4558 rpm el consumo por potencia entregada aumenta hasta un 2% y a partir de los 4558 rpm “eco-país” presenta una nueva caída de hasta un 4,5%.

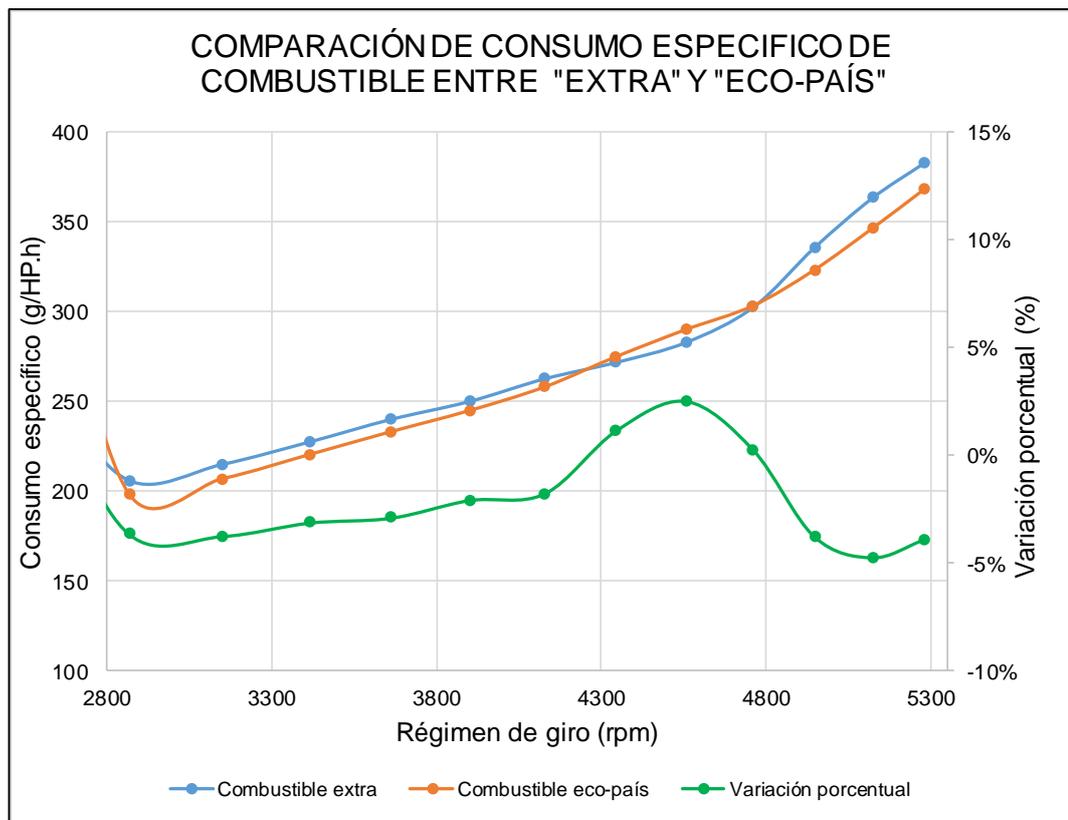


Figura 4-10 Comparación de torque entre combustible "extra" y "eco-país"

Fuente: Autores

4.5 Análisis de emisiones de gases de escape

Para el análisis de la emisión de los gases de escape se graficó los valores promedios de la medición durante las 3 pruebas con cada combustible y se determinó la variación porcentual de los valores del combustible “eco-país” respecto a los valores del combustible “extra” los resultados obtenidos fueron los siguientes.

4.5.1 Análisis de monóxido de carbono (CO)

En la Figura 4-11 se indica la emisión de monóxido de carbono a 800 rpm con ambos combustibles, se puede observar que la disminución de este gas con combustible “eco-país” va desde un 54% hasta un 60% la cual representa una disminución considerable.

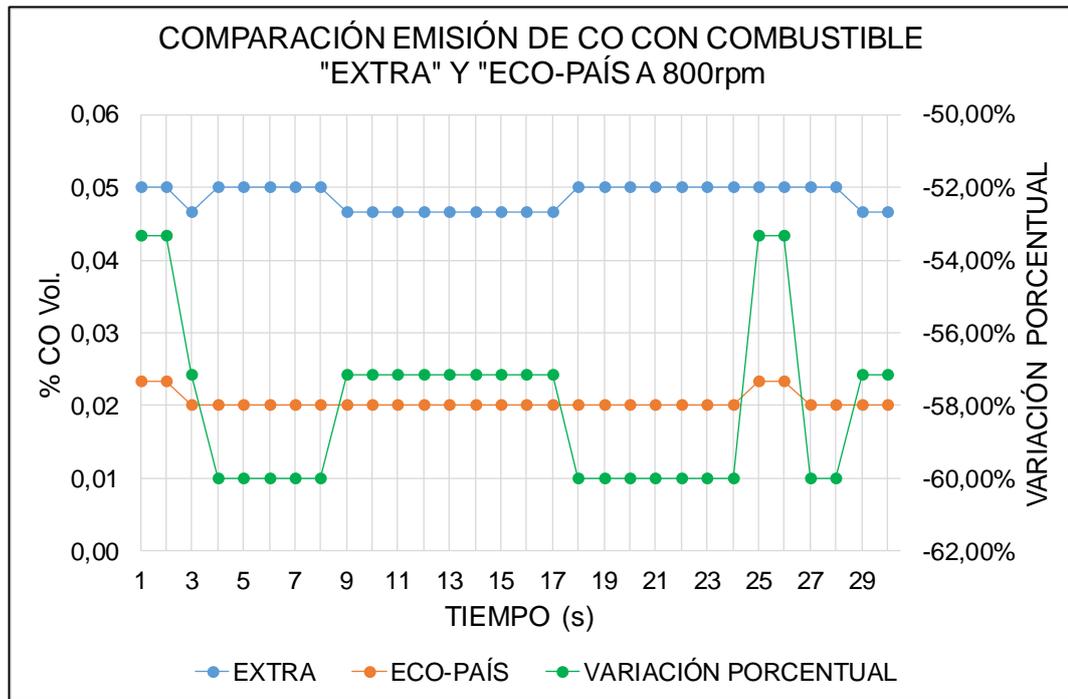


Figura 4-11 Emisión de CO a 800 rpm con combustible "extra" y "eco-país"

Fuente: Autores

En la Figura 4-12 se indica la emisión de monóxido de carbono a 2500 rpm con ambos combustibles, se puede observar que la disminución de este gas con combustible “eco-país” va desde un 45% hasta un 65% una disminución considerable, la fluctuación de valores puede deberse a los ajustes de la inyección que realiza la ECM.

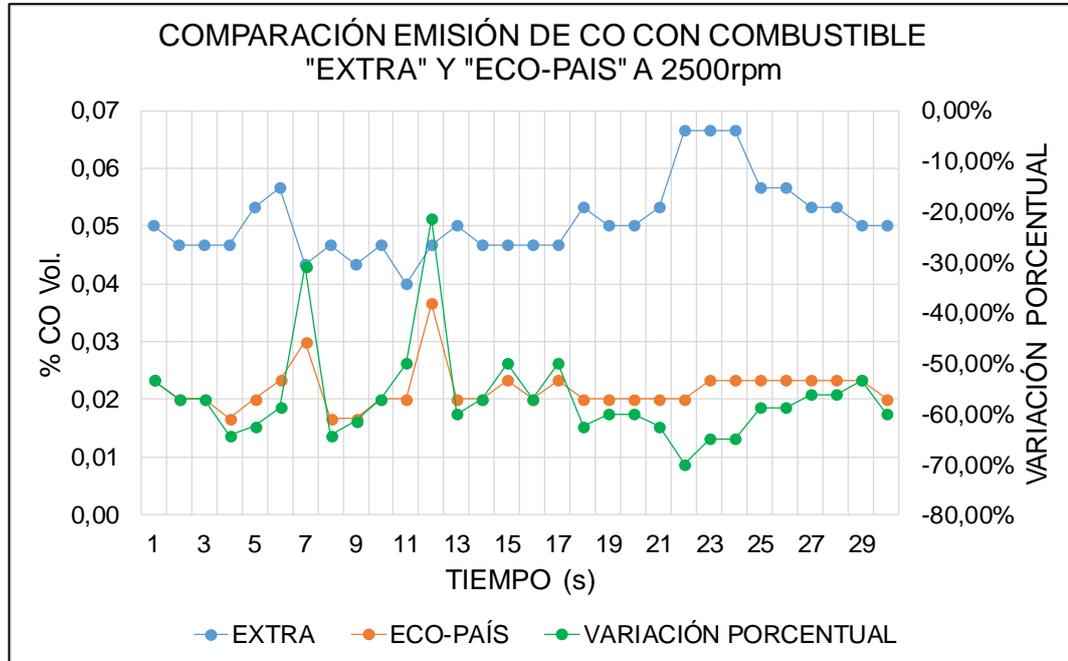


Figura 4-12 Emisión de CO a 2500 rpm con combustible "extra" y "eco-país"

Fuente: Autores

4.5.2 Análisis de hidrocarburos (HC)

En la Figura 4-13 se indica la emisión de hidrocarburos a 800 rpm con ambos combustibles, se puede observar que la disminución de este gas con combustible “eco-país” va desde un 40% hasta un 50% una disminución considerable, la fluctuación de valores puede deberse a los ajustes de la inyección que realiza la ECM.

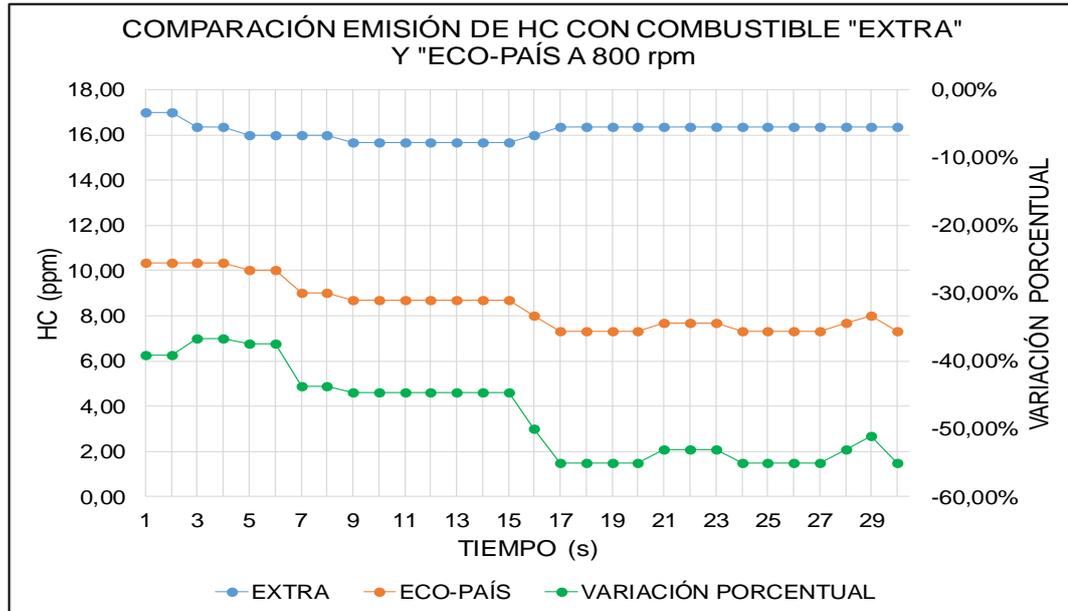


Figura 4-13 Emisión de HC a 800 rpm con combustible "extra" y "eco-país"

Fuente: Autores

En la Figura 4-14 se indica la emisión de hidrocarburos a 2500 rpm con ambos combustibles, se puede observar que la disminución de este gas con combustible “eco-país” va desde un 40% hasta un 50% una disminución considerable, la fluctuación de valores puede deberse a los ajustes de la inyección que realiza la ECM.

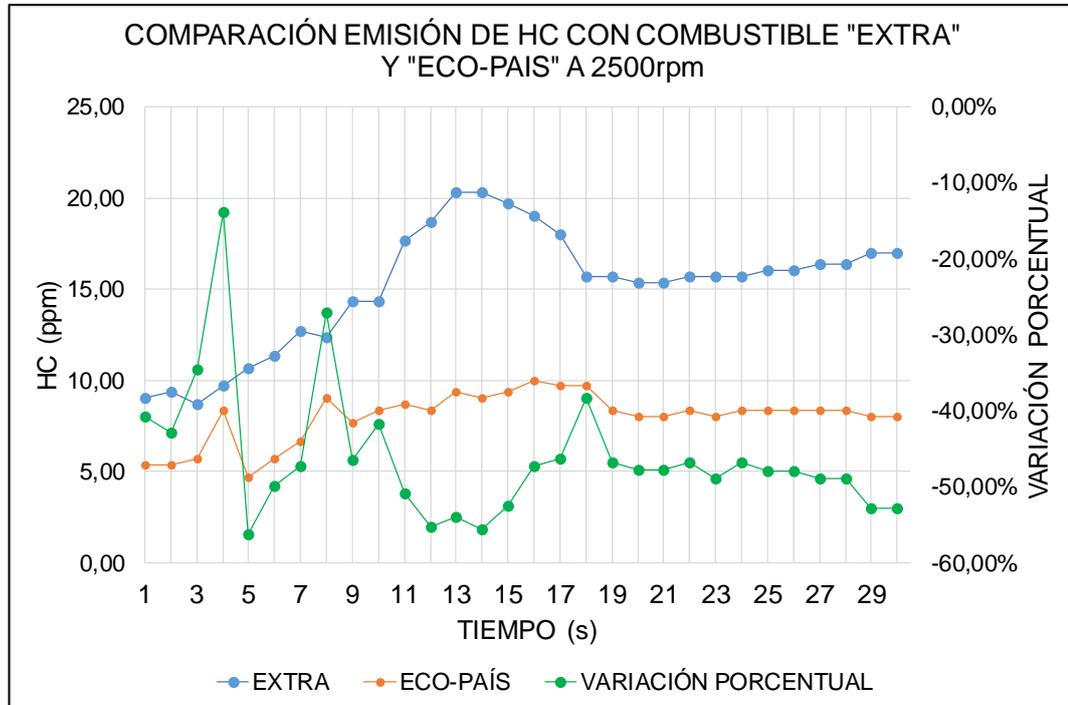


Figura 4-14 Emisión de HC a 2500 rpm con combustible "extra" y "eco-país"

Fuente: Autores

4.5.3 Análisis de dióxido de carbono (CO₂)

En la Figura 4-15 se indica la emisión de dióxido de carbono a 800 rpm con ambos combustibles con un incremento de 4,5% en la emisión con combustible “eco-país”, la fluctuación de valores puede deberse a los ajustes de la inyección que realiza la ECM.

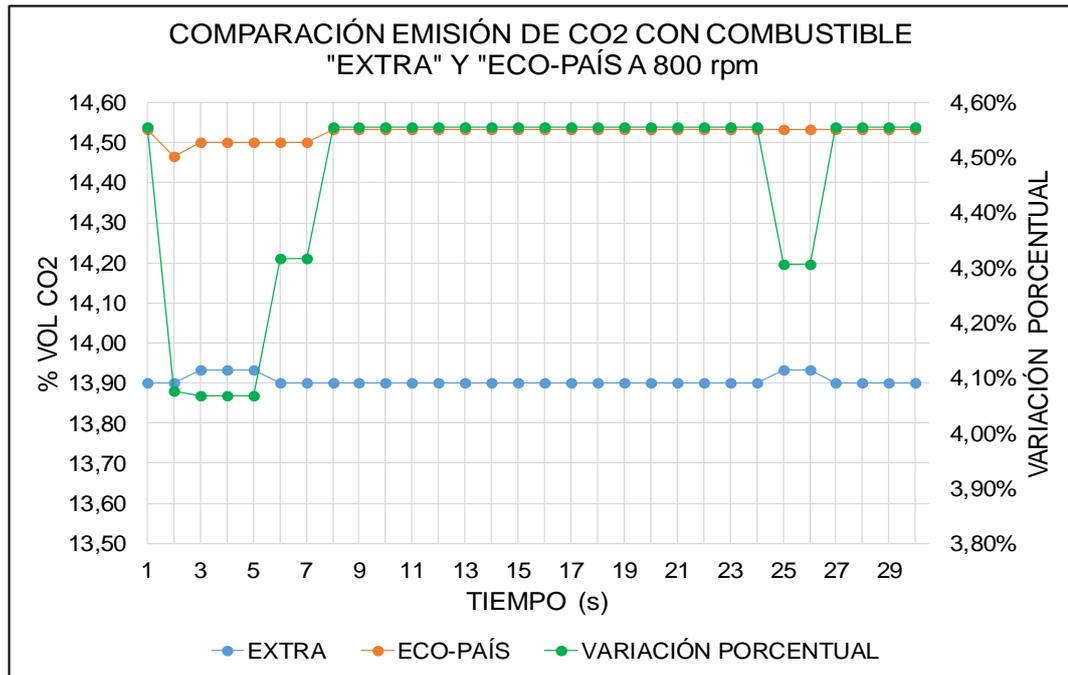


Figura 4-15 Emisión de CO₂ a 800 rpm con combustible "extra" y "eco-país"

Fuente: Autores

En la Figura 4-16 se observa la emisión de dióxido de carbono a 2500 rpm con ambos combustibles con un incremento de 4,5% en la emisión con combustible “eco-país”, la fluctuación de valores puede deberse a los ajustes de la inyección que realiza la ECM.

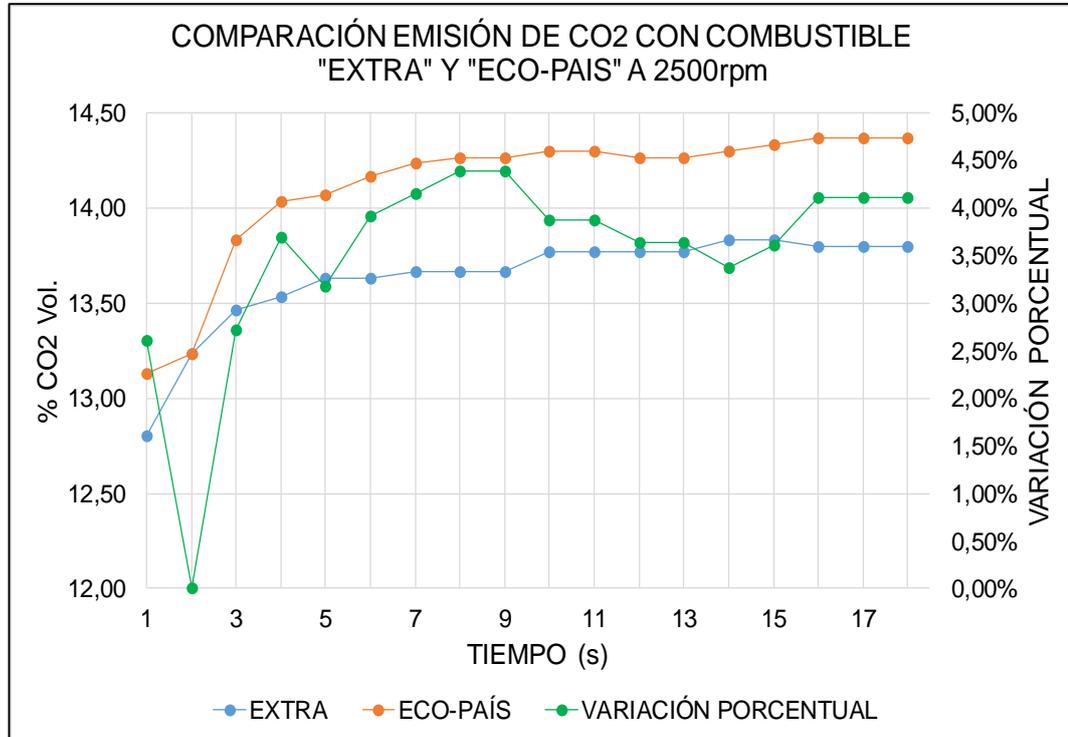


Figura 4-16 Emisión de CO2 a 2500 rpm con combustible "extra" y "eco-país"

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

De acuerdo a los objetivos específicos planteados se llegó a las siguientes conclusiones.

De acuerdo a la metodología utilizada podemos concluir que durante la obtención de datos en las cinco pruebas realizadas con cada combustible se encontró las curvas promedio, donde se obtuvo el coeficiente de variación el cual está entre un máximo de 3%, al comparar las curvas de torque, potencia y consumo específico se observa una variación porcentual de aproximadamente $\pm 3\%$, demostrando que no existe una variación significativa entre ambos combustibles.

A pesar de que “eco-país” es un combustible con menor poder calorífico se observa que tiene un comportamiento similar al combustible “extra” en los parámetros de torque, potencia y consumo específico, lo que indica que el MCI A no se verá afectado en su rendimiento en ciudades con características geográficas similares a la ciudad de Cuenca.

El 5% de etanol representa un oxigenante para la gasolina, por lo que la mezcla aire-combustible tendrá una mayor cantidad de oxígeno, esto se ve representado en la emisión de gases de escape puesto que al utilizar el combustible “eco-país” las emisiones de CO disminuyeron hasta un 60% en ralentí y a 2500 rpm, mientras que las emisiones de CO₂ con combustible “eco-país” aumenta un 4%. El aumento de CO₂ podría deberse a una mayor presencia de moléculas de oxígeno en el combustible las cuales reaccionan con las moléculas de carbono de los hidrocarburos al quemarse dando como resultado una mejor combustión.

Esta disminución de CO es favorable puesto que es el gas que más afecciones provoca a la salud de los seres vivos, mientras que el aumento de CO₂ no vendría a ser alarmante, claro está que en concentraciones altas es causante del calentamiento global.

En cuanto a la emisión de hidrocarburos no combustionados, con combustible “eco-país” también se registró una disminución considerable entre 40 y 50% respecto a la emisión con combustible “extra”, esta disminución podría atribuirse a la presencia de un mayor número de moléculas de oxígeno puede reaccionar con las moléculas de carbono de los hidrocarburos.

5.2 Recomendaciones

Realizar un estudio de cómo se ven afectadas las partes internas del MCIa al aumentar la mezcla etanol–gasolina.

Realizar un estudio del comportamiento de la inyección electrónica de un MCIa a medida que se aumenta la mezcla etanol-gasolina.

Puesto que la norma empleada para medir las concentraciones de gases solo aplica a estos 3 tipos de gases se recomienda realizar un estudio para verificar de forma más precisa la existencia y concentración de otro tipo de gases, que podrían ser perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

Así mismo será factible estudiar el comportamiento del motor de combustión interna aumentando la concentración de etanol en el combustible ya que el plan del gobierno es aumentar la mezcla hasta un 20%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Andaluza de la energía. (2009). Manual técnico de uso de biocarburantes en motores de automoción. Fundación Cidaut, 46. Recuperado a partir de http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/3_biocarburantes_25-9-2009.pdf
- Andes. (2013). Ecuador ampliará la producción de biocombustibles hasta el 2020, p. 1. Recuperado a partir de <http://www.andes.info.ec/es/economia/ecuador-ampliara-produccion-biocombustibles-hasta-2020.html>
- Asamblea nacional constituyente. (2008). Constitución de la república del Ecuador, 140. Recuperado a partir de http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf
- Barea Vizúete, F. (2015). Análisis y validación del nuevo software de control del banco de rodillos del taller de Motores Térmicos: Velocímetro, curva de potencia, 0 – 1000 m y otros. Escuela Politécnica Superior Universidad de Málaga. Recuperado a partir de http://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/10370/2014_Proyecto_Final_TFG_Analisis_y_validacion_del_nuevo_software_de_control_del_banco_de_rodillos_del_Taller_de_Motores_T~1.pdf?sequence=1
- Bernal Torres, C. A. (2010). Metodología de la investigación. Recuperado a partir de <https://docs.google.com/file/d/0B7qpQvDV3vxvUFpFdUh1eEFCSU0/edit>
- Bosch. (2008). Sistemas de inyección electrónica., 1–44. Recuperado a partir de http://www.catalogobosch.com/BibliotecaPDF_es/Inyeccion/Sistemas_de_Inyeccion.pdf
- Bosch. (2013). Flex fuel systems. Versatile. Economical. Resource-friendly., 11.
- BP Statisticals. (2016). Statistical review of world energy. Recuperado a partir de <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Camarillo Montero, J. A. (2011). Estudio de la combustión de un motor monocilíndrico de ignición alimentado con mezclas gasolina-etanol anhidro e hidratado a distintas concentraciones. Universidad Veracruzana.
- Ceviz, M. A., & Yüksel, F. (2005). Effects of ethanol–unleaded gasoline blends on cyclic variability and emissions in an SI engine, 917–925.
- Chevrolet. (2016). Características Aveo Family. Recuperado a partir de

<http://www.chevrolet.com.ec/aveo-family-auto-economico.html>

Dynocom Inc. (2016). Dynocom DC 5000. Recuperado a partir de <http://www.dynocom.net/catalog/detail.asp?iPro=120>

Flores Alvarez, J. A. (2005). Motores alternativos de combustion interna. Universitat Politecnica de Catalunya.

Freezetone products. (2010). Freezetone radiator additive. Recuperado a partir de <http://www.impquigo.com/fichastec/951-11.pdf>

Instituto ecuatoriano de normalización INEN. Vehículos automotores. Determinación de la potencia neta del motor., Pub. L. No. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 960, 16 (1984).

Instituto ecuatoriano de normalización INEN. Gestión ambiental. Aire. vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralentí”. Prueba estática., Pub. L. No. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 203:2000, 7 (2000). Recuperado a partir de [file:///C:/Users/USUARIO-PC/Downloads/Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203 - 2000 \(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO-PC/Downloads/Norma%20Tecnica%20Ecuatoriana%20NTE%20INEN%20203%20-%202000%20(1).pdf)

Instituto ecuatoriano de normalización INEN. gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina., Pub. L. No. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002, 9 (2002). Recuperado a partir de [file:///C:/Users/USUARIO-PC/Downloads/Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204 - 2002 \(8\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO-PC/Downloads/Norma%20Tecnica%20Ecuatoriana%20NTE%20INEN%20204%20-%202002%20(8).pdf)

Instituto ecuatoriano de normalización INEN. Control de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres., Pub. L. No. Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 017:2008, 13 (2008). Recuperado a partir de http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/rte_017.pdf

Instituto ecuatoriano de normalización INEN. Productos derivados del petróleo. Gasolina. Requisitos, Pub. L. No. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 935, 9 (2015).

Iturralde Duran, C. A. (2013). Matriz energética ecuatoriana diagnóstico y alternativas de diversificación.

Launch Tech USA. (2015). X-431 PRO. Recuperado a partir de <http://launchtechusa.com/x-431pro/>

Melo Espinosa, A. E., Sanchez Borroto, Y., Ferrer frontela, N., & Ferrer frontela, N.

(2012). Evaluation of the spark ignition engine fueled with ethanol gasoline blends, XXXIII(2), 94–102.

Ministerio coordinador de producción, empleo y competitividad. (2014). Ecopaís: Una muestra del cambio de la matriz productiva. Recuperado a partir de <http://www.produccion.gob.ec/ecopais-una-muestra-del-cambio-de-la-matriz-productiva/>

Payri, F., & Desantes, J. M. (2011). Motores de combustión interna alternativos.

Phillips 66 company. (2012). GT-1 High Performance Motor Oil with Liquid Titanium. Recuperado a partir de [http://www.phillips66lubricants.com/documents/conoco/industrial_oils/Ken GT-1 High Performance MO \(Ti\) TDSw 778549.pdf](http://www.phillips66lubricants.com/documents/conoco/industrial_oils/Ken GT-1 High Performance MO (Ti) TDSw 778549.pdf)

Sae. Engine power test Code spark ignition and compression ignition net power rating, Pub. L. No. SAE 1349, 2004–8 SAE International 23 (2004). Recuperado a partir de http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/SAE_ΔYNAMOMETPHΣH_MEK.pdf

Tektino. (2010). Catalogo. Recuperado a partir de <http://www.tektino.com/framework/spain/product/thread-9.aspx>

U. S. Departament of Energy. (2010). Vehículos de combustible flexible : brindando opciones en combustible renovable. Recuperado a partir de <http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/48080.pdf>

U. S. Departament of Energy. (2015). Model Year 2016: Alternative Fuel and Advanced Technology Vehicles (Vol. 1). Recuperado a partir de http://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/my2016_afv_atv.pdf

Yépez Lomas, J. A. (2009). Estudio de automotor a bioetanol con respecto a gasolina extra ventajas, desventajas, eficiencia en el motor, consumo, contaminación, rendimiento; en la ciudad de Quito. Universidad tecnologica Equinoccial.

ANEXOS

Anexo 1 Manual de operación y procedimiento de obtención del poder calorífico

CALORIMETRO

La calorimetría se encarga de medir la cantidad de calor emitida en una reacción química o en un cambio de estado mediante el uso del *Calorímetro*, por esta razón es importante conocer cuál es su principio de funcionamiento y cuál es la manera más correcta de utilizarlo para evitar daños tanto al operador o como del equipo.

Estas instrucciones indican los procedimientos que se deben llevar a cabo para usar tanto el calorímetro, el vaso de combustión de oxígeno y el termómetro digital; los cuales permiten determinar los valores caloríficos de un material combustible ya sea sólido o líquido

Muestras

Para el uso del calorímetro es muy importante tomar en cuenta el tamaño, grosor y humedad de las muestras que se van a utilizar, pues en el caso de que sean muestras con partículas muy grandes estas no permitirán una combustión completa, así mismo si son muy pequeñas en cambio serán muy fáciles de combustionar y no darán datos reales.

En el caso de la humedad, es importante que se realicen pruebas que determinen cual es la humedad más óptima de trabajo, pues a pesar que con humedades superiores al 20% funciona bien, puede ser que con humedades superiores o menores a este valor la muestra no combustione de manera favorable.

Existen algunos compuestos que ayudan a la combustión cuando las muestras tienen dificultad de encenderse o su combustión es muy lenta, en estos casos se puede usar ácido benzoico, aceite y otros materiales de combustión con una pureza conocida. En el caso de adicionar ácido benzoico como un ayudante de combustión se debe agregar 2 g en forma de gránulos nunca en polvo.

- **Muestras granuladas**

Para que existe una combustión uniforme en las muestras granuladas, es importante que antes de pesar la muestra, estas sean pulverizadas, pueden ser comprimidas con la ayuda de una tabla o el Parr Pellet press.

- **Productos alimenticios y materiales de celulosa**

Cuando se trata de materiales fibrosos como fibras vegetales deben ser introducidos en una capsula de combustión y humedecidos para que disminuya la velocidad de combustión, sin embargo en los alimentos y en muestras de celulosa generalmente combustionan con dificultades y es necesario un secado parcial si la humedad es muy alta para permitir que la muestra se encienda.

En el caso de que la muestra sea muy sensible al calor, ésta no debe ser secada, sino más bien por el contrario, se le debe adicionar un material que ayude a la combustión como puede ser el etilen glicol.

- **Muestras gruesas**

En el caso de las muestras gruesas no es necesario que estas sean sometidas a una reducción de tamaño o un secado, pues esto permitiría la entrada de materiales indeseables, por lo tanto las muestras gruesas como los granos de trigo, los trozos gruesos de carbón, etc. son

materiales que se combustonan satisfactoriamente sin necesidad de molienda, aditivos o un tratamiento especial.

- **Muestras corrosivas**

En el caso de utilizar muestras muy corrosivas, se puede reducir la corrosión de la bomba mediante el uso de muestras pequeñas o aumentando la cantidad de líquido en la botella de la bomba; sin embargo, si se forma una película corrosiva en la superficie de la bomba es importante que sea removida con un pulido adecuado antes de que ocurra una corrosión más profunda.

- **Muestras líquidas**

Cuando se trata de muestras no volátiles, los líquidos pueden ser tratados como muestras sólidas; los aceites y otros líquidos no volátiles pueden ser pesados directamente en la cápsula de combustión. Es importante tomar en cuenta que el alambre de níquel no quede sumergido en el líquido de la muestra sino siempre por encima.

Para el caso de muestras volátiles, existen las capsulas de gelatina y soportes de muestra con cinta sellada, esto permite que la muestra no se evapore antes de la combustión, es decir durante el pesado.

- **Aceites**

Los aceites en general son muestras no volátiles que pueden ser pesadas directamente en la capsula de combustión y como en todas las muestras el alambre de níquel no debe quedar sumergido en la muestra sino siempre por encima de ella.

Los aceites son muestras que desarrollan un intenso calor de combustión, por lo que es necesario tomar muchas precauciones con la capsula de combustión, pues si los aceites se calientan excesivamente y esto puede ocasionar que la capsula de combustión se quemé y produzca cantidades muy altas de calor lo que proporcionaría datos no reales.

Por esta razón, algunas personas prefieren utilizar crisoles de platino con capacidad de 10-13 ml, pues la profundidad del crisol promueve la combustión más lenta y una llama más suave.

Partes del calorímetro:

- Calorímetro
 - Tapa con agitador y termocupla
 - Cubeta
 - Liga para agitador
- Vaso de combustión de oxígeno
 - Cápsula de combustión
 - Dos electrodos
 - Bomba
 - Tapa del vaso de combustión de oxígeno
 - Alambre de Níquel
 - Unidad de encendido
- Termómetro

Operación

Vaso de combustión de oxígeno

1. Pesar la cápsula, colocar aproximadamente 1 gramo de muestra y volver a pesar la cápsula.
2. Colocar la cápsula en el circuito de los electrodos.
3. El alambre de níquel se encuentra enrollado en una carta, de ahí cortar aproximadamente 11 cm de alambre.
4. Colocar el alambre recortado entre los dos electrodos de la bomba; haciendo una conexión. A cada lado existen unos orificios por donde entra el alambre y se le da aproximadamente 3 vueltas, de tal manera que el alambre no toque la muestra; bajar la tapa de cada electrodo para que se asegure la conexión.
5. Colocar con mucho cuidado el circuito dentro del vaso de combustión de oxígeno para evitar que se riegue la muestra.
6. Cerrar lo más apretado posible el vaso de combustión de oxígeno.
7. Para llenarlo con oxígeno colocar la válvula amarilla en el cilindro del medio, pero es importante humedecerlo un poco para que se deslice libremente, la válvula de liberación de gas debe estar abierta para facilitar esta operación.
8. Una vez que está bien colocado abrir un poco la llave de oxígeno mientras se mantienen abierta la válvula de liberación de gas, esto se mantiene por aproximadamente 3 minutos.
9. Una vez transcurrido este tiempo cerrar la válvula de liberación de gas y abrir la llave de gas hasta que alcance una presión de 30 atm, cerrar inmediatamente hasta que baje más o menos a 25 atm, nunca exceder de a una presión de 40 atm.
10. Retirar suavemente la válvula amarilla.

Calorímetro

1. Llenar la cubeta del calorímetro con 2000 ml o gr de agua.
2. Insertar la cubeta dentro del calorímetro tomando en cuenta la ubicación de las 3 esferas que se encuentran dentro del calorímetro con los 3 agujeros de la cubeta.
3. Colocar el vaso de combustión de oxígeno dentro de la cubeta con la ayuda de una pinza; esta se inserta en los dos orificios de la tapa del vaso y con mucho cuidado se desliza el vaso en el agua con el fin de evitar que la muestra sea alterada en el interior; bajar totalmente el vaso hasta que calce en el círculo de la cubeta y éste quede fijo; retirar la pinza.
4. Colocar la tapa del calorímetro.
5. En la parte superior de la tapa del calorímetro, se encuentra una polea grande que se une a una polea pequeña localizada al lado del motor de encendido del agitador, deslizar la liga sobre las poleas y prender el agitador; asegurándose que no esté chocando con nada en el interior del calorímetro.

Termómetro

1. Encender el switch y el termómetro automáticamente iniciará una calibración interna
2. Dejar correr el agitador por 5 minutos para alcanzar el equilibrio antes de empezar las mediciones.
3. Una vez transcurrido los 5 minutos registrar las temperaturas cada minuto hasta que llegue a los 10 minutos.

1. A los 10 minutos presionar la unidad de encendido de la bomba hasta que el botón rojo se ilumine.
2. Desde ese momento empezar a tomar la temperatura cada minuto hasta que la temperatura se estabilice y comience a bajar.
3. Una vez que empieza a bajar la temperatura, tomar la temperatura por 10 minutos más; apagar el termómetro y el agitador, retirar la liga de las poleas

Final

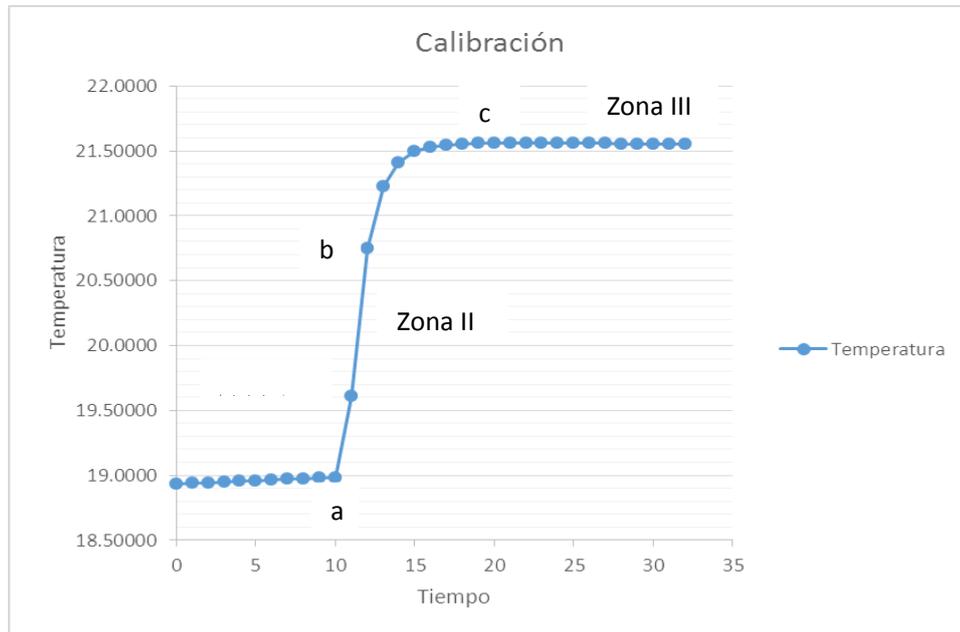
1. Para terminar todo el proceso retirar la tapa del calorímetro y colocarla en el soporte.
2. Con la ayuda de la pinza o manualmente retirar el vaso de combustión de oxígeno de la cubeta.
3. Abrir la válvula de liberación de oxígeno gradualmente hasta que deje de sonar, esto con el fin de despresurizar la bomba.
4. Colocar la válvula amarilla en el cilindro y abrir parcialmente la llave de oxígeno para que sea más fácil abrir la bomba.
5. Destapar el vaso de combustión de oxígeno y observar que la combustión se haya completado, es decir, no quede residuos de muestra. En el caso de que se observe restos de muestra la prueba es descartada.
6. Lavar las superficies del vaso con agua destilada y esto recogerlo en un vaso para posteriormente titular.
7. Retirar las tapas de los electrodos y medir en cm el resto de alambre que ha quedado, se lo resta de los 11 cm y entonces es la medida de la cantidad exacta de alambre que se ha combustionado. Para la corrección en calorías se toma el dato que viene en la carta del níquel.

¡IMPORTANTE!

- No sobrecargar con mucha muestra el equipo o utilizar muestras que puedan ser explosivas.
- No sobrecargar con mucho oxígeno, la carga de oxígeno no debe sobrepasar de 40 atm.
- Nunca sumergir el alambre de fusible en la muestra, siempre ligeramente por encima.
- Controlar que la temperatura exterior no supere la temperatura del agua en el calorímetro.

CÁLCULOS

Para saber si la prueba se realizó correctamente es importante que con los datos de tiempo y temperatura se elabore una gráfica la cual debe quedar de la siguiente manera:



En la gráfica se notan tres zonas:

- Zona I: corresponde al periodo de tiempo previo al calentamiento, la pendiente positiva de la recta T vs t indica el flujo de calor desde el ambiente al sistema calorimétrico, se puede ver que es prácticamente constante si la temperatura del ambiente es constante.
- Zona II: corresponde al periodo de calentamiento del líquido calorimétrico, la temperatura aumenta por la cesión de energía por parte de la resistencia eléctrica.
- Zona III: corresponde al periodo sucesivo a la interrupción del suministro eléctrico, la pendiente negativa de la recta T vs t indica un flujo de calor desde el calorímetro hacia el ambiente, también en este caso se puede notar que es prácticamente constante.

Una vez elaborada la gráfica e identificadas cada una de sus zonas, se procede aplicar las formulas correspondientes, para ello es importante conocer los siguientes datos:

Datos

- a = Tiempo de calentamiento.
- b = tiempo cuando la temperatura alcanza el 60% del total de incremento.
- c = tiempo al inicio del periodo en el cual el rango de temperatura se mantiene constante.
- t_a = temperatura al inicio del calentamiento.
- t_c = temperatura en el tiempo c .
- c_1 = mililitros de la solución estándar alcalina usada en la valoración del ácido.
- c_2 = porcentaje de sulfuro en la muestra.
- c_3 =centímetro de alambre consumido en la combustión.

- W= energía equivalente del calorímetro determinado después de una estandarización.
- M= masa de la muestra en gramos.

Por lo tanto para obtener el calor de combustión “H_g” en calorías por gramo se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$H_g = \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

Dónde:

- t= t_c- t_a
- W= Energía equivalente del calorímetro en calorías por °C.
- e₁= corrección en calorías para la formación de calor del ácido nítrico (HNO₃) = c₁ si la normalidad de la solución alcalina utilizada en la valoración del ácido es 0.0709N.
- e₂= corrección en calorías para la formación de calor del ácido sulfúrico (H₂SO₄) = 13.7*c₂
- e₃= corrección en calorías para la formación de calor del alambre. (Níquel) = 2.3*c₃
- m= masa de la muestra en gramos.

Para calcular W se aplica la siguiente ecuación:

$$W = \frac{Hm + e_1 + e_3}{t}$$

Dónde:

- W= Energía equivalente del calorímetro en calorías por °C.
- H= calor de combustión para la estandarización de la muestra de ácido benzoico en calorías por gramo.
- m= masa de la muestra en gramos.
- t= t_c- t_a
- e₁= corrección en calorías para la formación de calor del ácido nítrico (HNO₃) en calorías.
- e₃= corrección en calorías para la formación de calor del alambre. (Níquel) en calorías.

Anexo 2 Resultados potencia y torque con combustible "extra"

RESULTADOS COMBUSTIBLE "EXTRA"						
VELOCIDAD DE GIRO	DESVIACION ESTANDAR POTENCIA	Promedio potencia	DESVIACION ESTANDAR TORQUE	Promedio torque	Coef. Variaci. Potencia	Coef. Variaci. Torque
RPM		HP		LB-FT		
2500	11,22623861	11,77	23,58	24,73	95%	95%
2550	4,53221469	24,18	9,33	49,81	19%	19%
2600	3,338266017	31,03	6,74	62,69	11%	11%
2650	2,716407554	35,86	5,39	71,06	8%	8%
2700	1,937175779	39,27	3,77	76,39	5%	5%
2750	1,090674103	41,84	2,09	79,91	3%	3%
2800	0,614556751	43,66	1,16	81,90	1%	1%
2850	0,467407745	44,94	0,86	82,82	1%	1%
2900	0,474056959	45,84	0,86	83,03	1%	1%
2950	0,517996139	46,51	0,92	82,81	1%	1%
3000	0,587979591	47,01	1,03	82,30	1%	1%
3050	0,680646751	47,35	1,17	81,53	1%	1%
3100	0,760342028	47,52	1,29	80,51	2%	2%
3150	0,800730916	47,59	1,33	79,35	2%	2%
3200	0,803013076	47,61	1,32	78,14	2%	2%
3250	0,802639396	47,65	1,29	77,00	2%	2%
3300	0,808195521	47,70	1,29	75,91	2%	2%
3350	0,847897399	47,78	1,33	74,91	2%	2%
3400	0,888690047	47,90	1,37	73,99	2%	2%
3450	0,906051875	48,07	1,38	73,18	2%	2%
3500	0,886752502	48,26	1,33	72,41	2%	2%
3550	0,833576631	48,43	1,24	71,65	2%	2%
3600	0,787623006	48,56	1,15	70,85	2%	2%
3650	0,767561072	48,69	1,10	70,06	2%	2%
3700	0,775222549	48,85	1,10	69,35	2%	2%
3750	0,814812862	49,05	1,14	68,70	2%	2%
3800	0,857303913	49,27	1,18	68,10	2%	2%
3850	0,904394825	49,48	1,23	67,51	2%	2%
3900	0,980035714	49,67	1,32	66,89	2%	2%
3950	1,13180387	49,85	1,50	66,28	2%	2%
4000	1,298641598	50,05	1,70	65,71	3%	3%
4050	1,38132907	50,27	1,80	65,19	3%	3%
4100	1,380735311	50,44	1,77	64,62	3%	3%
4150	1,356926675	50,53	1,72	63,95	3%	3%
4200	1,312230925	50,57	1,64	63,24	3%	3%
4250	1,25065183	50,66	1,55	62,60	2%	2%
4300	1,182911662	50,83	1,44	62,08	2%	2%
4350	1,143840024	51,08	1,38	61,67	2%	2%
4400	1,14629839	51,36	1,37	61,30	2%	2%
4450	1,166889026	51,59	1,38	60,88	2%	2%
4500	1,204997925	51,72	1,41	60,36	2%	2%
4550	1,246286484	51,80	1,44	59,79	2%	2%
4600	1,28024607	51,82	1,46	59,17	2%	2%
4650	1,312756642	51,74	1,48	58,44	3%	3%
4700	1,36534611	51,45	1,52	57,49	3%	3%
4750	1,430513894	51,00	1,58	56,39	3%	3%
4800	1,495677104	50,46	1,64	55,21	3%	3%
4850	1,547003555	49,87	1,68	54,01	3%	3%
4900	1,598114514	49,18	1,72	52,72	3%	3%
4950	1,649975757	48,36	1,75	51,31	3%	3%
5000	1,611685453	47,54	1,69	49,93	3%	3%
5050	1,492136053	46,86	1,55	48,74	3%	3%
5100	1,406602289	46,25	1,45	47,63	3%	3%
5150	1,408481452	45,59	1,44	46,50	3%	3%
5200	1,43872513	44,96	1,45	45,41	3%	3%
Promedio desv. Estd.	1,094826352					
Potencia max.	51,82					
Error de estimación	2,0%					

Anexo 3. Resultados potencia y torque con combustible "eco-país"

RESULTADOS COMBUSTIBLE "ECO-PAÍS"						
VELOCIDAD DE GIRO	DESVIACION ESTANDAR POTENCIA	PROMEDIO POTENCIA	DESVIACION ESTANDAR TORQUE	PROMEDIO TORQUE	Coef. Variaci. Potencia	Coef. Variaci. Torque
RPM		HP		LB-FT		
2500	7,502402948	20,98	15,77	44,07	36%	36%
2550	6,165971132	20,22	12,70	41,64	30%	30%
2600	7,233857892	27,80	14,62	56,16	26%	26%
2650	9,530223415	30,20	18,89	59,86	32%	32%
2700	6,184717725	35,64	12,04	69,33	17%	17%
2750	3,844489563	39,50	7,34	75,44	10%	10%
2800	2,308087231	42,10	4,33	78,97	5%	5%
2850	1,482731151	43,80	2,73	80,72	3%	3%
2900	1,093903561	44,95	1,98	81,41	2%	2%
2950	0,973494564	45,76	1,74	81,46	2%	2%
3000	0,950420959	46,34	1,66	81,12	2%	2%
3050	0,925036035	46,78	1,60	80,56	2%	2%
3100	0,87067024	47,11	1,48	79,81	2%	2%
3150	0,80527428	47,33	1,34	78,92	2%	2%
3200	0,746519703	47,49	1,23	77,94	2%	2%
3250	0,727478522	47,62	1,18	76,95	2%	2%
3300	0,75555719	47,72	1,20	75,95	2%	2%
3350	0,80137382	47,81	1,26	74,96	2%	2%
3400	0,838212384	47,90	1,30	73,99	2%	2%
3450	0,844565963	48,01	1,29	73,08	2%	2%
3500	0,821193238	48,16	1,23	72,26	2%	2%
3550	0,791764906	48,34	1,17	71,51	2%	2%
3600	0,74837602	48,53	1,09	70,80	2%	2%
3650	0,725718035	48,71	1,04	70,09	1%	1%
3700	0,719368936	48,87	1,02	69,37	1%	1%
3750	0,729263327	49,02	1,03	68,66	1%	1%
3800	0,734007266	49,19	1,01	67,98	1%	1%
3850	0,735640311	49,40	1,00	67,39	1%	1%
3900	0,792001683	49,66	1,07	66,88	2%	2%
3950	0,88688124	49,95	1,18	66,42	2%	2%
4000	0,956778449	50,26	1,25	66,00	2%	2%
4050	0,959179337	50,56	1,25	65,57	2%	2%
4100	0,95418377	50,82	1,22	65,09	2%	2%
4150	0,986420296	51,00	1,25	64,55	2%	2%
4200	1,026888504	51,14	1,28	63,95	2%	2%
4250	1,011154456	51,25	1,25	63,33	2%	2%
4300	0,949420876	51,39	1,17	62,76	2%	2%
4350	0,888406814	51,56	1,07	62,25	2%	2%
4400	0,86421448	51,74	1,03	61,76	2%	2%
4450	0,891417411	51,87	1,05	61,22	2%	2%
4500	0,918889729	51,98	1,07	60,67	2%	2%
4550	0,879824793	52,12	1,02	60,17	2%	2%
4600	0,833186654	52,26	0,95	59,66	2%	2%
4650	0,869458644	52,26	0,98	59,04	2%	2%
4700	0,908198767	52,08	1,01	58,19	2%	2%
4750	0,821436749	51,67	0,91	57,14	2%	2%
4800	0,682904337	51,12	0,75	55,94	1%	1%
4850	0,717977483	50,56	0,78	54,75	1%	1%
4900	0,810781516	50,04	0,87	53,63	2%	2%
4950	0,950491101	49,60	1,01	52,62	2%	2%
5000	0,530330086	48,01	0,56	50,43	1%	1%
5050	0,494974747	47,33	0,52	49,23	1%	1%
Promedio desv. Estd.	0,948054237					
Potencia max.	52,26					
Error de estimación	2,0%					

Anexo 4 Volumen total inyectado en el banco de inyección con combustible "extra"

VOLUMEN TOTAL INYECTADO CON COMBUSTIBLE "EXTRA"								
PULSO mv	2500 PRM	3000 RPM	3500 RPM	4000 RPM	4500 RPM	5000RPM	5500 RPM	6000 RPM
2	66	77	87	93	106	119	123	131
4	105	124	140	153	175	197	218	225
6	146	172	191	211	245	280	315	321
8	188	220	247	280	317	354	405	433

Anexo 5 Volumen total inyectado en el banco de inyección con combustible "eco-país"

VOLUMEN TOTAL INYECTADO CON COMBUSTIBLE "ECO-PAÍS"								
PULSO mv	2500 PRM	3000 RPM	3500 RPM	4000 RPM	4500 RPM	5000RPM	5500 RPM	6000 RPM
2	67	79	86	93	107	119	123	131
4	104	123	137	153	184	199	214	220
6	144	169	190	216	255	279	301	322
8	183	217	249	282	332	359	404	433

Anexo 6 Determinación del volumen a regímenes de giro registrados por el escáner mediante interpolación durante las pruebas con combustible “extra”

INTERPOLACIÓN ENTRE DATOS DE ENSAYO EN BANCO DE INYECTORES Y RÉGIMEN DE GIRO DEL MOTOR REGISTRADOS EN EL ESCANER PRUEBAS COMBUSTIBLE "EXTRA"																								
PRUEBA 1																								
PULSO mv	2500 PRM	2640	2922	3000 RPM	3200	3459	3500 RPM	3699	3934	4000 RPM	4155	4363	4500 RPM	4582	4776	4961	5000RPM	5133	5289	5439	5500 RPM	5565	5614	6000 RPM
2	66	69,08	75,284	77	81	86,18	87	89,388	92,208	93	97,03	102,438	106	108,132	113,176	117,986	119	120,064	121,312	122,512	123	124,04	124,824	131
4	105	110,32	121,036	124	130,4	138,688	140	145,174	151,284	153	159,82	168,972	175	178,608	187,144	195,284	197	202,586	209,138	215,438	218	218,91	219,596	225
6	146	153,28	167,944	172	179,6	189,442	191	198,96	208,36	211	221,54	235,684	245	250,74	264,32	277,27	280	289,31	300,23	310,73	315	315,78	316,368	321
8	188	196,96	215,008	220	230,8	244,786	247	260,134	275,644	280	291,47	306,862	317	323,068	337,424	351,114	354	367,566	383,478	398,778	405	408,64	411,384	433
PRUEBA 2																								
PULSO mv	2500 PRM	2674	2949	3000 RPM	3226	3490	3500 RPM	3735	3966	4000 RPM	4183	4383	4500 RPM	4604	4800	4961	5000RPM	5133	5289	5423	5500 RPM	5565	5600 RPM	6000 RPM
2	66	69,828	75,878	77	81,52	86,8	87	89,82	92,592	93	97,758	102,958	106	108,704	113,8	117,986	119	120,064	121,312	122,384	123	124,04	131	
4	105	111,612	122,062	124	131,232	139,68	140	146,11	152,116	153	161,052	169,852	175	179,576	188,2	195,284	197	202,586	209,138	214,766	218	218,91	225	
6	146	155,048	169,348	172	180,588	190,62	191	200,4	209,64	211	223,444	237,044	245	252,28	266	277,27	280	289,31	300,23	309,61	315	315,78	321	
8	188	199,136	216,736	220	232,204	246,46	247	262,51	277,756	280	293,542	308,342	317	324,696	339,2	351,114	354	367,566	383,478	397,146	405	408,64	433	
PRUEBA 3																								
PULSO mv	2500 PRM	2619	2900	3000 RPM	3184	3440	3500 RPM	3692	3918	4000 RPM	4146	4373	4500 RPM	4571	4776	4961	5000RPM	5146	5303	5454	5500 RPM	5581	5600 RPM	6000 RPM
2	66	68,618	74,8	77	80,68	85,8	87	89,304	92,016	93	96,796	102,698	106	107,846	113,176	117,986	119	120,168	121,424	122,632	123	124,296	131	
4	105	109,522	120,2	124	129,888	138,08	140	144,992	150,868	153	159,424	169,412	175	178,124	187,144	195,284	197	203,132	209,726	216,068	218	219,134	225	
6	146	152,188	166,8	172	178,992	188,72	191	198,68	207,72	211	220,928	236,364	245	249,97	264,32	277,27	280	290,22	301,21	311,78	315	315,972	321	
8	188	195,616	213,6	220	229,936		247	259,672	274,588	280	290,804	307,602	317	322,254	337,424	351,114	354	368,892	384,906	400,308	405	409,536	433	
PRUEBA 4																								
PULSO mv	2500 PRM	2536	2774	3000 RPM	3062	3344	3500 RPM	3588	3832	4000 RPM	4076	4295	4500 RPM	4517	4729	4935	5000RPM	5106	5260	5423	5500 RPM	5549	5600 RPM	6000 RPM
2	66	66,792	72,028	77	78,24	83,88	87	88,056	90,984	93	94,976	100,67	106	106,442	111,954	117,31	119	119,848	121,08	122,384	123	123,784	131	
4	105	106,368	115,412	124	125,984	135,008	140	142,288	148,632	153	156,344	165,98	175	175,748	185,076	194,14	197	201,452	207,92	214,766	218	218,686	225	
6	146	147,872	160,248	172	174,356	185,072	191	194,52	204,28	211	216,168	231,06	245	246,19	261,03	275,45	280	287,42	298,2	309,61	315	315,588	321	
8	188	190,304	205,536	220	223,348	238,576	247	252,808	268,912	280	285,624	301,83	317	318,258	333,946	349,19	354	364,812	380,52	397,146	405	407,744	433	
PRUEBA 5																								
PULSO mv	2500 PRM	2605	2782	3000 RPM	3072	3344	3500 RPM	3602	3847	4000 RPM	4085	4314	4500 RPM	4517	4729	4923	5000RPM	5106	5260	5423	5500 RPM	5565	5600 RPM	6000 RPM
2	66	68,31	72,204	77	78,44	83,88	87	88,224	91,164	93	95,21	101,164	106	106,442	111,954	116,998	119	119,848	121,08	122,384	123	124,04	131	
4	105	108,99	115,716	124	126,304	135,008	140	142,652	149,022	153	156,74	166,816	175	175,748	185,076	193,612	197	201,452	207,92	214,766	218	218,91	225	
6	146	151,46	160,664	172	174,736	185,072	191	195,08	204,88	211	216,78	232,352	245	246,19	261,03	274,61	280	287,42	298,2	309,61	315	315,78	321	
8	188	194,72	206,048	220	223,888	238,576	247	253,732	269,902	280	286,29	303,236	317	318,258	333,946	348,302	354	364,812	380,52	397,146	405	408,64	433	

Anexo 7 Determinación del volumen a regímenes de giro registrados por el escáner mediante interpolación durante las pruebas con combustible “eco-país”

INTERPOLACIÓN ENTRE DATOS DE ENSAYO EN BANCO DE INYECTORES Y RÉGIMEN DE GIRO DEL MOTOR REGISTRADOS EN EL ESCANER PRUEBAS COMBUSTIBLE "ECO-PAÍS"																					
PRUEBA 6																					
PULSO mv	2500 PRM	2612	2700	2917	3000 RPM	3200	3447	3500 RPM	3692	3918	4000 RPM	4146	4353	4500 RPM	4560	4764	4961	5000RPM	5120	5289	5500 RPM
2	67	69,688	71,8	77,008	79	81,8	85,258	86	88,688	91,852	93	97,088	102,884	107	108,44	113,336	118,064	119	119,96	119,2312	123
4	104	108,256	111,6	119,846	123	128,6	135,516	137	143,144	150,376	153	162,052	174,886	184	185,8	191,92	197,83	199	202,6	199,867	214
6	144	149,6	154	164,85	169	177,4	187,774	190	199,984	211,736	216	227,388	243,534	255	257,88	267,672	277,128	279	284,28	280,2716	301
8	183	190,616	196,6	211,356	217	229,8	245,608	249	261,672	276,588	282	296,6	317,3	332	335,24	346,256	356,894	359	369,8	361,601	404
PRUEBA 7																					
PULSO mv	2500 PRM	2659	2967	3000 RPM	3232	3490	3500 RPM	3735	3958	4000 RPM	4183	4403	4500 RPM	4604	4800	4987	5000RPM	5161	5500 RPM		
2	67	70,816	78,208	79	82,248	85,86	86	89,29	92,412	93	98,124	104,284	107	109,496	114,2	118,688	119	120,288	123		
4	104	110,042	121,746	123	129,496	136,72	137	144,52	151,656	153	164,346	177,986	184	187,12	193	198,61	199	203,83	214		
6	144	151,95	167,35	169	178,744	189,58	190	202,22	213,816	216	230,274	247,434	255	259,992	269,4	278,376	279	286,084	301		
8	183	193,812	214,756	217	231,848	248,36	249	264,51	279,228	282	300,3	322,3	332	337,616	348,2	358,298	359	373,49	404		
PRUEBA 8																					
PULSO mv	2500 PRM	2510	2823	3000 RPM	3106	3374	3500 RPM	3622	3870	4000 RPM	4093	4314	4500 RPM	4528	4729	4910	5000RPM	5092	5274	5500 RPM	
2	67	67,24	74,752	79	80,484	84,236	86	87,708	91,18	93	95,604	101,792	107	107,672	112,496	116,84	119	119,736	121,192	123	
4	104	104,38	116,274	123	125,968	133,472	137	140,904	148,84	153	158,766	172,468	184	184,84	190,87	196,3	199	201,76	207,22	214	
6	144	144,5	160,15	169	173,452	184,708	190	196,344	209,24	216	223,254	240,492	255	256,344	265,992	274,68	279	283,048	291,056	301	
8	183	183,68	204,964	217	223,784	240,936	249	257,052	273,42	282	291,3	313,4	332	333,512	344,366	354,14	359	367,28	383,66	404	
PRUEBA 9																					
PULSO mv	2500 PRM	2560	2861	3000 RPM	3147	3410	3500 RPM	3664	3910	4000 RPM	4137	4363	4500 RPM	4582	4788	4974	5000RPM	5147	5318	5500 RPM	
2	67	68,44	75,664	79	81,058	84,74	86	88,296	91,74	93	96,836	103,164	107	108,968	113,912	118,376	119	120,176	121,544	123	
4	104	106,28	117,718	123	127,116	134,48	137	142,248	150,12	153	161,494	175,506	184	186,46	192,64	198,22	199	203,41	208,54	214	
6	144	147	162,05	169	175,174	186,22	190	198,528	211,32	216	226,686	244,314	255	258,936	268,824	277,752	279	285,468	292,992	301	
8	183	187,08	207,548	217	226,408	243,24	249	259,824	276,06	282	295,7	318,3	332	336,428	347,552	357,596	359	372,23	387,62	404	
PRUEBA 10																					
PULSO mv	2500 PRM	2591	2831	3000 RPM	3121	3398	3500 RPM	3657	3910	4000 RPM	4137	4373	4500 RPM	4582	4800	5000RPM	5013	5189	5363	5500 RPM	
2	67	69,184	74,944	79	80,694	84,572	86	88,198	91,74	93	96,836	103,444	107	108,985056	114,2	119	119,104	120,512	121,932496	123	
4	104	107,458	116,578	123	126,388	134,144	137	142,024	150,12	153	161,494	176,126	184	186,52396	193	199	199,39	204,67	209,99686	214	
6	144	148,55	160,55	169	174,082	185,716	190	198,164	211,32	216	226,686	245,094	255	259,029808	269,4	279	279,572	287,316	295,128728	301	
8	183	189,188	205,508	217	224,744	242,472	249	259,362	276,06	282	295,7	319,3	332	336,61988	348,2	359	360,17	376,01	391,99058	404	

Anexo 8 Obtención del flujo másico con combustible "extra"

PRUEBA 1						
RPM	PWM	ECUACIÓN DE LA RECTA		VOLUMEN cm ³	DENSIDAD	FLUJO MÁSIICO
		PENDIENTE	INTERSECCIÓN		COMBUSTIBLE	gr/h
2640 RPM	8,3	21,33	25,76	202,799	0,735379333	8948,051605
2922 RPM	7,9	23,304	28,298	212,3996		9371,656575
3200 RPM	8	24,93	30,8	230,24		10158,82426
3459 RPM	8,1	26,3286	33,131	246,39266		10871,5242
3699 RPM	8,2	28,3012	31,908	263,97784		11647,43088
3934 RPM	8,2	30,3692	30,028	279,05544		12312,69621
4155 RPM	8,3	32,252	31,205	298,8966		13188,14295
4363 RPM	8,3	33,9992	33,493	315,68636		13928,9535
4582 RPM	8,3	35,847	35,902	333,4321		14711,94452
4776 RPM	8,3	37,496	38,036	349,2528		15409,99747
4961 RPM	8,3	39,0685	40,071	364,33955		16075,66652
5133 RPM	8,2	41,4615	37,574	377,5583		16658,91426
5289 RPM	8,1	43,8795	34,142	389,56595		17188,72492
5439 RPM	8	46,2045	30,842	400,478		17670,19468
5565 RPM	7,9	47,5335	29,175	404,68965		17856,0243
5614 RPM	1	47,8226	28,93	76,7526		3386,536549
PRUEBA 2						
RPM	PWM	ECUACIÓN DE LA RECTA		VOLUMEN cm ³	DENSIDAD	FLUJO MÁSIICO
		PENDIENTE	INTERSECCIÓN		COMBUSTIBLE	gr/h
2674 RPM	8,3	21,568	26,066	205,0804	0,735379333	9048,71327
2949 RPM	7,9	23,493	28,541	214,1357		9448,258099
3226 RPM	8	25,0704	31,034	231,5972		10218,70767
3490 RPM	8,2	26,496	33,41	250,6772		11060,56993
3735 RPM	8,2	28,618	31,62	266,2876		11749,34387
3966 RPM	8,3	30,6508	29,772	284,17364		12538,52532
4183 RPM	8,3	32,4872	31,513	301,15676		13287,86744
4383 RPM	8,3	34,1672	33,713	317,30076		14000,18528
4604 RPM	8,4	36,034	36,144	338,8296		14950,09712
4800 RPM	8,3	37,7	38,3	351,21		15496,35454
4961 RPM	8,3	39,0685	40,071	364,33955		16075,66652
5133 RPM	8,2	41,4615	37,574	377,5583		16658,91426
5289 RPM	8,1	43,8795	34,142	389,56595		17188,72492
5423 RPM	8	45,9565	31,194	398,846		17598,18633
5565 RPM	7,9	47,5335	29,175	404,68965		17856,0243
PRUEBA 3						
RPM	PWM	ECUACIÓN DE LA RECTA		VOLUMEN cm ³	DENSIDAD	FLUJO MÁSIICO
		PENDIENTE	INTERSECCIÓN		COMBUSTIBLE	gr/h
2619 RPM	8,2	21,183	25,571	199,2716	0,735379333	8792,412982
2900 RPM	7,8	23,15	28,1	208,67		9207,096329
3184 RPM	8	24,8436	30,656	229,4048		10121,97293
3440 RPM	8,1	25,73	34,61333333	243,0263333		10722,99258
3692 RPM	8,2	28,2396	31,964	263,52872		11627,61447
3918 RPM	8,2	30,2284	30,156	278,02888		12267,40155
4146 RPM	8,3	32,1764	31,106	298,17012		13156,08864
4373 RPM	8,3	34,0832	33,603	316,49356		13964,56939
4571 RPM	8,3	35,7535	35,781	332,53505		14672,3642
4776 RPM	8,3	37,496	38,036	349,2528		15409,99747
4961 RPM	8,3	39,0685	40,071	364,33955		16075,66652
5146 RPM	8,2	41,663	37,288	378,9246		16719,19918
5303 RPM	8,1	44,0965	33,834	391,01565		17252,68968
5454 RPM	8	46,437	30,512	402,008		17737,7025
5581 RPM	7,9	47,6279	29,095	405,35541		17885,39947
PRUEBA 4						
RPM	PWM	ECUACIÓN DE LA RECTA		VOLUMEN cm ³	DENSIDAD	FLUJO MÁSIICO
		PENDIENTE	INTERSECCIÓN		COMBUSTIBLE	gr/h
2536 RPM	7,8	20,602	24,824	185,5196	0,735379333	8185,636786
2774 RPM	8,2	22,268	26,966	209,5636		9246,524428
3062 RPM	7,9	24,1848	29,558	220,61792		9734,271536
3344 RPM	8,1	25,7076	32,096	240,32756		10603,91525
3588 RPM	8,2	27,3244	32,796	256,85608		11333,19917
3832 RPM	8,2	29,4716	30,844	272,51112		12023,94275
4076 RPM	8,3	31,5884	30,336	292,51972		12906,7774
4295 RPM	8,3	33,428	32,745	310,1974		13686,76543
4517 RPM	8,4	35,2945	35,187	331,6608		14633,78988
4729 RPM	8,4	37,0965	37,519	349,1296		15404,56155
4935 RPM	8,3	38,8475	39,785	362,21925		15982,11304
5106 RPM	8,2	41,043	38,168	374,7206		16533,7071
5260 RPM	8,1	43,43	34,78	386,563		17056,22647
5423 RPM	8	45,9565	31,194	398,846		17598,18633
5549 RPM	7,9	47,4391	29,255	404,02389		17826,64913
PRUEBA 5						
RPM	PWM	ECUACIÓN DE LA RECTA		VOLUMEN cm ³	DENSIDAD	FLUJO MÁSIICO
		PENDIENTE	INTERSECCIÓN		COMBUSTIBLE	gr/h
2605 RPM	7,2	21,085	25,445	177,257	0,735379333	7821,068069
2782 RPM	8,2	22,324	27,038	210,0948		9269,962438
3072 RPM	7,9	24,2388	29,648	221,13452		9757,065354
3344 RPM	8,1	25,7076	32,096	240,32756		10603,91525
3602 RPM	8,2	27,4476	32,684	257,75432		11372,832
3847 RPM	8,2	29,6036	30,724	273,47352		12066,40649
4085 RPM	8,3	31,664	30,435	293,2462		12938,8317
4314 RPM	8,4	33,5876	32,954	315,08984		13902,63339
4517 RPM	8,4	35,2945	35,187	331,6608		14633,78988
4729 RPM	8,4	37,0965	37,519	349,1296		15404,56155
4923 RPM	8,3	38,7455	39,653	361,24065		15938,9345
5106 RPM	8,3	41,043	38,168	378,8249		16714,80014
5260 RPM	8,1	43,43	34,78	386,563		17056,22647
5423 RPM	8,1	45,9565	31,194	403,44165		17800,9591
5565 RPM	0,9	47,5335	29,175	71,95515		3174,859814

Anexo 9 Obtención del flujo másico con combustible "eco-país"

PRUEBA 6						
RPM	PWM	ECUACIÓN DE LA RECTA		VOLUMEN cm ³	DENSIDAD	FLUJO MÁSIICO
		PENDIENTE	INTERSECCIÓN		COMBUSTIBLE	gr/hr
2612 RPM	8,2	20,2064	28,508	194,20048	0,739007133	8610,932401
2700 RPM	7,7	20,84	29,3	189,768		8414,394341
2917 RPM	7,6	22,4024	31,253	201,51124		8935,094628
3200 RPM	7,8	24,64	31,2	223,392		9905,296892
3447 RPM	7,9	26,6654	30,212	240,86866		10680,21948
3692 RPM	7,9	28,7896	29,424	256,86184		11389,36392
3918 RPM	8	30,7784	28,746	274,9732		12192,42938
4146 RPM	8	33,1936	29,814	295,3628		13096,51297
4353 RPM	8,1	35,5948	31,677	319,99488		14188,70994
4560 RPM	8,1	37,624	33,72	338,4744		15008,09976
4764 RPM	8,1	38,7256	36,168	349,84536		15512,293
4961 RPM	8	39,7894	38,532	356,8472		15822,75758
5120 RPM	7,9	41,56	36,36	364,684		16170,24464
5289 RPM	7,8	40,3757	38,3642	353,29466		15665,23643
PRUEBA 7						
RPM	PWM	ECUACIÓN DE LA RECTA		VOLUMEN cm ³	DENSIDAD	FLUJO MÁSIICO
		PENDIENTE	INTERSECCIÓN		COMBUSTIBLE	gr/hr
2659 RPM	8	20,5448	28,931	193,2894	0,739007133	8570,534724
2967 RPM	7,7	22,7624	31,703	206,97348		9177,292688
3232 RPM	7,8	24,9024	31,072	225,31072		9990,373758
3490 RPM	7,9	27,018	30,04	243,4822		10796,10496
3735 RPM	8	29,168	29,295	262,639		11645,52567
3958 RPM	8	31,1304	28,626	277,6692		12311,97117
4183 RPM	8,1	33,6228	30,147	302,49168		13412,61056
4403 RPM	8,1	36,1748	32,127	325,14288		14416,97446
4604 RPM	8,1	37,8616	34,248	340,92696		15116,84732
4800 RPM	8,1	38,92	36,6	351,852		15601,26827
4987 RPM	8	39,9298	38,844	358,2824		15886,39496
5161 RPM	8	42,093	35,458	372,202		16503,59598
PRUEBA 8						
RPM	PWM	ECUACIÓN DE LA RECTA		VOLUMEN cm ³	DENSIDAD	FLUJO MÁSIICO
		PENDIENTE	INTERSECCIÓN		COMBUSTIBLE	gr/hr
2510 RPM	8,1	19,472	27,59	185,3132	0,739007133	8216,866602
2823 RPM	7,6	21,7256	30,407	195,52156		8669,509654
3106 RPM	7,8	23,8692	31,576	217,75576		9655,383598
3374 RPM	7,9	26,0668	30,504	236,43172		10483,48366
3622 RPM	8	28,1736	29,634	255,0228		11307,8201
3870 RPM	8	30,356	28,89	271,738		12048,97922
4093 RPM	8,1	32,5788	29,337	293,22528		13001,73442
4314 RPM	8,1	35,1424	31,326	315,97944		14010,66361
4528 RPM	8,1	37,4512	33,336	336,69072		14929,01063
4729 RPM	8,2	38,5366	35,748	351,74812		15596,66219
4910 RPM	8,1	39,514	37,92	357,9834		15873,13717
5092 RPM	8	41,196	36,976	366,544		16252,71784
5274 RPM	7,9	43,562	32,972	377,1118		16721,29862
PRUEBA 9						
RPM	PWM	ECUACIÓN DE LA RECTA		VOLUMEN cm ³	DENSIDAD	FLUJO MÁSIICO
		PENDIENTE	INTERSECCIÓN		COMBUSTIBLE	gr/hr
2560 RPM	8,1	19,832	28,04	188,6792	0,739007133	8366,116483
2861 RPM	7,7	21,9992	30,749	200,14284		8874,419187
3147 RPM	7,8	24,2054	31,412	220,21412		9764,388332
3410 RPM	8	26,362	30,36	241,256		10697,3943
3664 RPM	8	28,5432	29,508	257,8536		11433,33899
3910 RPM	8,1	30,708	28,77	277,5048		12304,6816
4137 RPM	8,1	33,0892	29,733	297,75552		13202,6072
4363 RPM	8,2	35,7108	31,767	324,59556		14392,70606
4582 RPM	8,2	37,7428	33,984	343,47496		15229,82673
4788 RPM	8,2	38,8552	36,456	355,06864		15743,89547
4974 RPM	8,1	39,8596	38,688	361,55076		16031,31544
5147 RPM	8,1	41,911	35,766	375,2451		16638,52834
5318 RPM	7,9	44,134	32,004	380,6626		16878,74261
PRUEBA 10						
RPM	PWM	ECUACIÓN DE LA RECTA		VOLUMEN cm ³	DENSIDAD	FLUJO MÁSIICO
		PENDIENTE	INTERSECCIÓN		COMBUSTIBLE	gr/hr
2591 RPM	8,2	20,0552	28,319	192,77164	0,739007133	8547,577024
2831 RPM	7,7	21,7832	30,479	198,20964		8788,700271
3121 RPM	7,8	23,9922	31,516	218,65516		9695,263379
3398 RPM	8	26,2636	30,408	240,5168		10664,61785
3657 RPM	8	28,4816	29,529	257,3818		11412,41917
3910 RPM	8,1	30,708	28,77	277,5048		12304,6816
4137 RPM	8,2	33,0892	29,733	301,06444		13349,32613
4373 RPM	8,2	35,8268	31,857	325,63676		14438,87331
4582 RPM	8,2	37,770516	33,937096	343,6553272		15237,82429
4800 RPM	8,2	38,92	36,6	355,744		15773,84122
5013 RPM	8,1	40,169	38,714	364,0829		16143,59161
5189 RPM	8	42,457	34,842	374,498		16605,40161
5363 RPM	7,9	44,765306	30,935636	384,5815534		17052,51068

Anexo 10 Obtención del consumo específico con combustible "extra"

PRUEBA 1			
RPM	FLUJO MÁSSICO	POTENCIA	CONSUMO ESPECÍFICO
	gr/hr	HP	gr/HPH
2640	8948,051605	36,866	242,7182663
2922	9371,656575	46,22	202,7619337
3200	10158,82426	46,7	217,5337101
3459	10871,5242	47,0606	231,0111686
3699	11647,43088	47,8368	243,482651
3934	12312,69621	49,0776	250,8821989
4155	13188,14295	49,728	265,2055773
4363	13928,9535	50,326	276,7745002
4582	14711,94452	50,7612	289,8265708
4776	15409,99747	49,8872	308,8968207
4961	16075,66652	47,4106	339,0732563
5133	16658,91426	44,7096	372,6026235
5289	17188,72492	42,6422	403,0918882
5439	17670,19468	39,2696	449,9713437
5565	17856,0243	36,166	493,7240585
5614	3386,536549		
PRUEBA 2			
RPM	FLUJO MÁSSICO	POTENCIA	CONSUMO ESPECÍFICO
	gr/hr	HP	gr/HPH
2674	9048,71327	35,9604	251,6299393
2949	9448,258099	45,938	205,6741281
3226	10218,70767	47,238	216,3238848
3490	11060,56993	47,616	232,286835
3735	11749,34387	48,741	241,0566846
3966	12538,52532	48,54	258,3132533
4183	13287,86744	48,8324	272,1117013
4383	14000,18528	49,8074	281,0864506
4604	14950,09712	50,2304	297,6304613
4800	15496,35454	48,34	320,5700153
4961	16075,66652	45,8286	350,7780409
5133	16658,91426	44,0094	378,5308197
5289	17188,72492	42,5022	404,4196516
5423	17598,18633	41,5702	423,3365809
5565	17856,0243	37,0629	481,7762318
PRUEBA 3			
RPM	FLUJO MÁSSICO	POTENCIA	CONSUMO ESPECÍFICO
	gr/hr	HP	gr/HPH
2619	8792,412982	36,0716	243,7489044
2900	9207,096329	45,34	203,0678502
3184	10121,97293	47,3404	213,8125773
3440	10722,99258	47,804	224,3116178
3692	11627,61447	48,5572	239,4622109
3918	12267,40155	49,1836	249,42057
4146	13156,08864	50,506	260,485658
4373	13964,56939	51,4548	271,3948823
4571	14672,3642	52,1268	281,4744853
4776	15409,99747	51,002	302,1449644
4961	16075,66652	48,3002	332,8281565
5146	16719,19918	46,1112	362,5843436
5303	17252,68968	44,392	388,6441179
5454	17737,7025	41,7596	424,757481
5581	17885,39947	41,5507964	430,4466104
PRUEBA 4			
RPM	FLUJO MÁSSICO	POTENCIA	CONSUMO ESPECÍFICO
	gr/hr	HP	gr/HPH
2536	8185,636786	17,6576	463,5758419
2774	9246,524428	43,4268	212,9220764
3062	9734,271536	48,1628	202,1118277
3344	10603,91525	48,5396	218,4590572
3588	11333,19917	49,2536	230,0988998
3832	12023,94275	50,25	239,2824427
4076	12906,7774	51,4584	250,8196407
4295	13686,76543	52,003	263,1918434
4517	14633,78988	53,0876	275,6536344
4729	15404,56155	52,9148	291,120094
4935	15982,11304	50,429	316,9230608
5106	16533,7071	47,6476	346,999788
5260	17056,22647	45,98	370,9488141
5423	17598,18633	43,6468	403,1953393
5549	17826,64913	42,5524	418,9340468
PRUEBA 5			
RPM	FLUJO MÁSSICO	POTENCIA	CONSUMO ESPECÍFICO
	gr/hr	HP	gr/HPH
2605	7821,068069	26,591	294,1246312
2782	9269,962438	42,1644	219,8528246
3072	9757,065354	48,182	202,5043658
3344	10603,91525	48,728	217,6144158
3602	11372,832	49,4132	230,1577716
3847	12066,40649	50,5302	238,7959377
4085	12938,8317	51,925	249,1830853
4314	13902,63339	51,9252	267,7434731
4517	14633,78988	52,6272	278,0651427
4729	15404,56155	51,8886	296,8775714
4923	15938,9345	49,9796	318,9088048
5106	16714,80014	46,954	355,982454
5260	17056,22647	45,204	377,3167524
5423	17800,9591	42,8098	415,8150493
		42,95168182	0

Anexo 11 Obtención del consumo específico con combustible "eco-país"

PRUEBA 6			
RPM	FLUJO MÁSIKO	POTENCIA	CONSUMO ESPECÍFICO
	gr/h	HP	gr/HPH
2612	8610,932	22,2224	387,489
2700	8414,394	32,37	259,944
2917	8935,095	43,576	205,046
3200	9905,297	46,28	214,030
3447	10680,219	46,7286	228,559
3692	11389,364	47,7908	238,317
3918	12192,429	48,4168	251,822
4146	13096,513	49,4756	264,707
4353	14188,710	50,3866	281,597
4560	15008,100	50,634	296,404
4764	15512,293	50,0124	310,169
4961	15822,758	47,9342	330,093
5120	16170,245	46,1	350,765
5289	15665,236	43,5	360,120
PRUEBA 7			
RPM	FLUJO MÁSIKO	POTENCIA	CONSUMO ESPECÍFICO
	gr/h	HP	gr/HPH
2659	8570,535	18,293	468,514
2967	9177,293	44,9538	204,149
3232	9990,374	46,8528	213,229
3490	10796,105	47,246	228,508
3735	11645,526	48,403	240,595
3958	12311,971	49,5496	248,478
4183	13412,611	50,3998	266,124
4403	14416,974	50,6762	284,492
4604	15116,847	51,8296	291,664
4800	15601,268	51,02	305,787
4987	15886,395	48,6166	326,769
5161	16503,596	46,7	353,396
PRUEBA 8			
RPM	FLUJO MÁSIKO	POTENCIA	CONSUMO ESPECÍFICO
	gr/h	HP	gr/HPH
2510	8216,867	27,814	295,422
2823	8669,510	43,8262	197,816
3106	9655,384	47,0228	205,334
3374	10483,484	47,7032	219,765
3622	11307,820	48,2316	234,448
3870	12048,979	49,072	245,537
4093	13001,734	50,4864	257,529
4314	14010,664	51,128	274,031
4528	14929,011	51,7512	288,477
4729	15596,662	51,4838	302,943
4910	15873,137	49,5	320,669
5092	16252,718	47,1	345,068
5274	16721,299	43,8	381,765
PRUEBA 9			
RPM	FLUJO MÁSIKO	POTENCIA	CONSUMO ESPECÍFICO
	gr/h	HP	gr/HPH
2560	8366,116	23,74	352,406
2861	8874,419	44,7378	198,365
3147	9764,388	47,8598	204,021
3410	10697,394	48,534	220,410
3664	11433,339	49,4092	231,401
3910	12304,682	50,374	244,267
4137	13202,607	51,815	254,803
4363	14392,706	52,2708	275,349
4582	15229,827	52,7848	288,527
4788	15743,895	51,464	305,921
4974	16031,315	49,7	322,562
5147	16638,528	48,2	345,198
5318	16878,743	46,3	364,552
PRUEBA 10			
RPM	FLUJO MÁSIKO	POTENCIA	CONSUMO ESPECÍFICO
	gr/h	HP	gr/HPH
2591	8547,577	22,8662	373,808
2831	8788,700	45,9582	191,232
3121	9695,263	49,053	197,649
3398	10664,618	49,5656	215,162
3657	11412,419	50,1738	227,458
3910	12304,682	51,27	239,998
4137	13349,326	52,5672	253,948
4373	14438,873	53,462	270,077
4582	15237,824	54,0256	282,048
4800	15773,841	52,87	298,351
5013	16143,592	50,5	319,675
5189	16605,402	48,4	343,087
5363	17052,511	45,9	371,514

Anexo 12 Determinación intervalos de confianza para pruebas combustible "extra"

PRUEBA 1		PRUEBA 2	PRUEBA 3			PRUEBA 5	INTERVALO DE CONFIANZA PARA CONSUMO ESPECÍFICO			
RÉGIMEN DE GIRO	CONSUMO ESPECÍFICO	RÉGIMEN DE GIRO	RÉGIMEN DE GIRO	CONSUMO ESPECÍFICO	CONSUMO ESPECÍFICO	RÉGIMEN DE GIRO		DESVIACION ESTANDAR CONSUMO ESPECÍFICO	INTERVALO DE CONFIANZA SUPERIOR	INTERVALO DE CONFIANZA INFERIOR
rpm	gr/HPh	rpm	rpm	gr/HPh	gr/HPh	rpm				
2640	242,7182663	2674	2619	243,7489044	463,5758419	2605	1	94,30414823	381,8207472	216,4982861
2922	202,7619337	2949	2900	203,0678502	212,9220764	2782	2	7,386266969	215,3301111	202,3814142
3200	217,5337101	3226	3184	213,8125773	202,1118277	3072	3	7,560528309	217,0843684	203,8301779
3459	231,0111686	3490	3440	224,3116178	218,4590572	3344	4	6,83172602	230,7248908	218,748347
3699	243,482651	3735	3692	239,4622109	230,0988998	3602	5	6,302284535	242,3758396	231,3274476
3934	250,8821989	3966	3918	249,42057	239,2824427	3847	6	8,294779349	254,6095752	240,0681858
4155	265,2055773	4183	4146	260,485658	250,8196407	4085	7	9,674048071	268,0408095	251,0814555
4363	276,7745002	4383	4373	271,3948823	263,1918434	4314	8	7,096124665	278,2582574	265,8182024
4582	289,8265708	4604	4571	281,4744853	275,6536344	4517	9	9,077391745	292,4867436	276,5733742
4776	308,8968207	4800	4776	302,1449644	291,120094	4729	10	11,38613062	313,9022767	293,9415096
4961	339,0732563	4961	4961	332,8281565	316,9230608	4923	11	14,15611058	344,1106419	319,2938858
5133	372,6026235	5133	5146	362,5843436	346,999788	5106	12	12,63194586	374,4123945	352,267617
5289	403,0918882	5289	5303	388,6441179	370,9488141	5260	13	14,98958148	402,0231923	375,7452974
5439	449,9713437	5423	5454	424,757481	403,1953393	5423	14	17,12922741	438,4295886	408,400729
5565	493,7240585	5565	5581	430,4466104	418,9340468		15	37,0323521	488,6805247	423,7599491

Anexo 14 Obtención curva promedio de consumo específico datos combustible “extra”

	PRUEBA 1		PRUEBA 2		PRUEBA 3		PRUEBA 4		PRUEBA 5		CURVA PROMEDIO EXTRA		DESVIACIÓN ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
	RÉGIMEN DE GIRO	CONSUMO ESPECÍFICO	RÉGIMEN DE GIRO	CONSUMO ESPECÍFICO										
	rpm	gr/HPh	rpm	gr/HPh										
1	2640	242,7182663	2674	251,6299393	2619	243,7489044	2536		2605	294,1246312	2614,8	258,0554353	24,37334249	9,45%
2	2922	202,7619337	2949	205,6741281	2900	203,0678502	2774	212,9220764	2782		2865,4	206,1064971	4,727879843	2,29%
3	3200		3226	216,3238848	3184	213,8125773	3062		3072		3148,8	215,0682311	1,775762612	0,83%
4	3459	231,0111686	3490		3440	224,3116178	3344		3344		3415,4	227,6613932	4,7372978	2,08%
5	3699		3735	241,0566846	3692	239,4622109	3588		3602		3663,2	240,2594478	1,127463211	0,47%
6	3934	250,8821989	3966		3918	249,42057	3832		3847		3899,4	250,1513844	1,033527742	0,41%
7	4155	265,2055773	4183		4146	260,485658	4076		4085		4129	262,8456176	3,337486911	1,27%
8	4363	276,7745002	4383		4373	271,3948823	4295		4314	267,7434731	4345,6	271,9709519	4,542989636	1,67%
9	4582	289,8265708	4604		4571	281,4744853	4517		4517	278,0651427	4558,2	283,1220663	6,051337837	2,14%
10	4776	308,8968207	4800		4776	302,1449644	4729		4729	296,8775714	4762	302,6397855	6,024883781	1,99%
11	4961	339,0732563	4961		4961	332,8281565	4935		4923		4948,2	335,9507064	4,415952409	1,31%
12	5133	372,6026235	5133		5146	362,5843436	5106		5106	355,982454	5124,8	363,7231404	8,368402025	2,30%
13	5289		5289		5303	388,6441179	5260		5260	377,3167524	5280,2	382,9804351	8,009656973	2,09%
14	5439		5423	423,3365809	5454	424,757481	5423		5423	415,8150493	5432,4	421,303037	4,80554331	1,14%
15	5565		5565	481,7762318	5581	430,4466104	5549							

Anexo 15 Obtención curva promedio de consumo específico datos combustible "eco-país"

	PRUEBA 6		PRUEBA 7		PRUEBA 8		PRUEBA 9		PRUEBA 10		CURVA PROMEDIO ECO-PAÍS		DESVIACIÓN ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
	RÉGIMEN DE GIRO	CONSUMO ESPECÍFICO	RÉGIMEN DE GIRO	CONSUMO ESPECÍFICO										
	rpm	gr/HPh	rpm	gr/HPh										
1	2612	387,4888581	2659		2510		2560	352,4059176	2591	373,8083732	2586,4	371,234383	17,68254081	4,76%
2	2700		2967	204,1494309	2823	197,8156823	2861	198,3651227	2831	191,2324737	2836,4	197,8906774	5,283130235	2,67%
3	2917	205,0462325	3232		3106	205,3340847	3147	204,0206673	3121		3104,6	204,8003282	0,690375284	0,34%
4	3200		3490		3374	219,7647885	3410	220,4103164	3398	215,1616818	3374,4	218,4455956	2,862209629	1,31%
5	3447	228,5585161	3735		3622	234,4483721	3664	231,4010141	3657		3625	231,4693008	2,945521695	1,27%
6	3692		3958		3870	245,5367465	3910	244,2665185	3910	239,9976907	3868	243,2669853	2,90165207	1,19%
7	3918		4183		4093	257,5294419	4137	254,8028022	4137	253,9478254	4093,6	255,4266898	1,870540319	0,73%
8	4146		4403		4314	274,0311299	4363	275,3488766	4373	270,0773131	4319,8	273,1524398	2,743431719	1,00%
9	4353		4604		4528	288,4766079	4582	288,5267489	4582		4529,8	288,5016784	0,035455051	0,01%
10	4560		4800		4729	302,9431042	4788		4800	298,3514511	4735,4	300,6472776	3,246789074	1,08%
11	4764		4987		4910	320,6694378	4974	322,5616789	5013	319,6750815	4929,6	320,9687327	1,466388183	0,46%
12	4961		5161		5092	345,0683193	5147	345,1976834	5189	343,08681	5110	344,4509376	1,18313852	0,34%
13	5120	350,7645259				381,7648086	5318	364,5516762	5363	371,5143939	5267	367,1488511	13,01122088	3,54%
14	5289	360,1203778									5289	360,1203778		