

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR CICLO OTTO
DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA RESPECTO AL GRADO DE
CONCENTRACIÓN DEL ETANOL EN LA GASOLINA EXTRA PARA
LA CIUDAD DE CUENCA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MÁSTER (MSc) EN
SISTEMAS AUTOMOTRICES**

FABRICIO ESTEBAN ESPINOZA MOLINA

fespinoza@ups.edu.ec

FREDY GONZALO TACURI MOSCOSO

ftacuri@ups.edu.ec

DIRECTOR: MSc. ING. IVÁN ZAMBRANO

ivan.zambrano@epn.edu.ec

Quito, JUNIO 2016

DECLARACIÓN

Nosotros, FABRICIO ESTEBAN ESPINOZA MOLINA y FREDY GONZALO TACURI MOSCOSO, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente do para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Fabricio Esteban Espinoza Molina

Fredy Gonzalo Tacuri Moscoso

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por FABRICIO ESTEBAN ESPINOZA MOLINA y FREDY GONZALO TACURI MOSCOSO, bajo mi supervisión.

MSc. Ing. Iván Zambrano
DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecemos a Dios, en segundo lugar al Ing. Iván Zambrano, coordinador de la maestría, ya que gracias a su gestión se aprobó el proyecto académico para el desarrollo de este programa de maestría, también por haber colaborado como tutor de este proyecto de tesis.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia ya que gracias a su apoyo y comprensión pude desarrollar y culminar exitosamente este programa de estudios. También dedico este trabajo a mis compañeros de promoción, con quienes compartí largas jornadas de estudios y sacrificio, lo que nos permitió afianzar nuestros lazos de amistad y compañerismo

Fabricio Espinoza

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia ya que gracias a su apoyo y comprensión pude desarrollar y culminar exitosamente este programa de estudios. También dedico este trabajo a mis compañeros de promoción, con quienes compartí largas jornadas de estudios y sacrificio, lo que nos permitió afianzar nuestros lazos de amistad y compañerismo. Además dedico este trabajo a mis padres ya que ellos han sido un pilar fundamental en mi vida y siempre he contado con su desinteresado apoyo.

Fredy Tacuri.

RESUMEN

Esta investigación evalúa el comportamiento de un motor de combustión interna a gasolina, al someterlo a pruebas de funcionamiento con combustibles constituidos por etanol anhidro y gasolina de 86,5 octanos, las variables que se evalúan son: potencia, torque, consumo de combustible, emisiones de gases contaminantes, y presión de combustión del motor de un vehículo Hyundai Getz 1,4 litros, con inyección electrónica indirecta de gasolina.

En el capítulo 1 se presenta el estado del arte con respecto al uso de etanol como combustible, investigaciones realizadas, demuestran que el octanaje del combustible se incrementa entre 1% y 1,5% por cada 10% v/v, el poder calorífico, disminuye para las mezclas gasolina - etanol entre 2% y 4%. Con respecto a los parámetros de funcionamiento del motor, sea a demostrado que el consumo de combustible se incrementa con la adición de etanol en porcentajes del 15 % v/v, sobre las emisiones de monóxido de carbono, se determina que a medida que aumenta la concentración de etanol en la gasolina la emisión de CO en g/km se incrementa, este mismo comportamiento presentan los HC y los NO_x. También se presentan las características fisicoquímicas y termoquímicas, así como los requisitos especificados en las normas NTE INEN 2 478:2009 y NTE INEN 935:2010 para el etanol y la gasolina respectivamente.

Este estudio se desarrolla en la ciudad de Cuenca, donde el tráfico vehicular es el causante del 91,9% de las emisiones de monóxido de carbono, el 76,4% de emisiones de óxidos de nitrógeno, el 34,4% de compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano y el 30,4% de dióxido de azufre. Para comparar los valores obtenidos de esta investigación se presentan los límites establecidos en la norma nacional NTE INEN 2 204:2002-1R, así como en normativas internacionales como el DECRETO N° 2673 normativa venezolana, la normativa chilena y las normas EURO. También se presenta el fundamento científico sobre las variables de estudio.

En el capítulo 2 se presenta el desarrollo de la investigación para la cual se aplica la técnica de mejoramiento continuo basado en las 5M con el objetivo de garantizar la calidad de los resultados obtenidos, así como la reproducibilidad de la investigación. Como primer punto de esta metodología se presentan las características técnicas de los equipos o maquinarias utilizadas (maquinaria), en segunda instancia se describen los métodos aplicados para la obtención de los datos de estudio (metodología), como tercer punto se detallan las competencias del personal involucrado en el desarrollo de este estudio (mano de obra), en el cuarto punto se indican los materiales (materiales) y como quinto punto se presentan las características ambientales del lugar donde se desarrolla esta investigación (medio). En la parte final de este capítulo se registran los resultados de las variables de estudio en matrices.

En el capítulo 3 se presenta el análisis de las variables de estudio obtenidas al desarrollar las pruebas sobre el motor funcionando con los combustibles E0, E25, E50, E75 y E100. En primera instancia se desarrolla un análisis comparativo entre los resultados obtenidos para los combustibles E25, E50, E75 y E100, con respecto al combustible de referencia E0, en pruebas de potencia, torque, consumo de combustible y emisiones de gases de escape a ralenti y 2500 rpm; esto acompañado del análisis estadístico basado en el diseño experimental por mezclas reticular simplex, con el que se obtiene un modelo matemático validado estadísticamente, que describe el comportamiento de las variables de estudio para diferentes concentraciones de etanol anhidro en la gasolina de 86,5 octanos, el modelo matemático se presenta mediante una gráfica de rastreo de repuesta. En el análisis comparativo los resultados obtenidos muestran que la potencia del motor, el torque y el consumo de combustible en promedio se incrementa en un 16%, 2,78% y 8,58% respectivamente. Al evaluar las emisiones de gases de escape a 2500 rpm se observa, que el CO disminuye considerablemente en comparación con el combustible E0 que registra un valor de 0,43% vol, frente al 0,03% vol para el combustible E100; los HC disminuyen en promedio un 44,38%; el CO₂ presenta una ligera variación entre 14,55% vol para E0 y 14,72% vol para E75, disminuyendo en un 5,6% vol para E100; los NO_x disminuyen ligeramente para E25 y E50, incrementándose en un 43% para E75 e incrementándose

drásticamente para E100 en porcentajes superiores al 100%. Al evaluar las emisiones a ralentí se mantiene la misma tendencia para el CO y HC que la registrada a 2500 rpm; para el CO₂ las emisiones se mantienen entre 14,3% vol para E0, 14,6% vol y 14,73% vol para E25 y E50 respectivamente, en tanto que para E75 y E100 se produce un descenso en un promedio del 4,76%. En la prueba de tracción constante con diferentes valores de fuerza de tracción, los resultados obtenidos demuestran que la presión media efectiva se incrementa para todos los combustibles en un promedio de 113,4% con respecto a E0. Al comparar la potencia calculada en función de la presión media efectiva y la potencia medida en el banco dinamométrico para el combustible E100 se observa una semejanza de los datos obtenidos con mínimas variaciones de 3,31 kW en promedio. Las emisiones de CO se incrementan en un promedio de 287,5% con respecto al combustible de referencia E0; las emisiones de CO₂ presentan una tendencia con mínimas variaciones para los combustibles E0, E25, E50, E75, en tanto que para E100 presentan una disminución del 27% con respecto a E0. Los HC se incrementan ligeramente para E25 y E50, decreciendo para E75 y E100 en un promedio del 11,5%. Los NO_x presentan una tendencia con mínimas variaciones entre E0 y E50, incrementándose drásticamente para E75 en un porcentaje del 258%, y para E100 disminuyen en un porcentaje del 52,15% con respecto a E0. El factor lambda presenta valores de 1,004 para los combustibles E0, E25, E50, E75 lo que representa una combustión que se aproxima a la estequiométrica, y para E100 se observa un valor de 1,36 que representa una combustión con exceso de aire debido a que el motor funciona con el 100% de etanol con lo que se da un mayor aporte de oxígeno al proceso de combustión. En la parte final se comparan las emisiones de CO y HC a ralentí y los factores de emisión CO, HC, NO respecto a la norma NTE INEN 2 204:2002-1R, el DECRETO N° 2673 normativa venezolana, la normativa chilena y las normas EURO. Al comparar el CO para los combustibles E25, E50, E75, E100, se observa que las emisiones a ralentí están por debajo de los límites establecidos por la norma ecuatoriana en un promedio de 96,25% y con respecto a la normativa venezolana en un 96,87%, para el combustible de referencia E0 los valores están por debajo de las especificaciones de las dos normas en un promedio de 77%. Con respecto a los HC se observa que para los combustibles E25, E50, E75, E100, las emisiones de HC a ralentí están por debajo

de los límites establecidos por la norma ecuatoriana en un promedio de 86,6%, y con respecto a la norma venezolana están por debajo de los límites establecidos en un promedio de 87,75%, los valores obtenidos para el combustible de referencia E0 están en un 1,5% por encima del límite establecido por la normativa ecuatoriana y un 7,7% por debajo de la normativa venezolana. En el análisis de los factores de emisión, para los combustibles E25, E50, E75, E100, se observa que las emisiones de CO están por debajo del límite establecido en la norma ecuatoriana y en la normativa chilena para motores con etanol en un promedio de 84,73%, para el combustible de referencia E0 las emisiones están por debajo de la normativa ecuatoriana en un 97,6%. Con respecto a los límites permitidos por la normativa chilena para motores a gasolina las emisiones de CO están por debajo en un promedio de 68%; para el combustible de referencia E0 los valores están por debajo de la normativa chilena para motores a gasolina en un 95,6%. Con respecto a la norma EURO VI los resultados obtenidos para los combustibles E25, E50, E75, E100, demuestran que las emisiones de CO están por debajo del límite establecido en un 68% y para el combustible de referencia E0 está por debajo en un 95%.

En lo referente a las emisiones de HC, los resultados para los combustibles E25, E50, E75, E100, demuestran que los HC están por debajo del límite establecido en la norma ecuatoriana en un promedio de 93% y con respecto a la normativa chilena para motores con etanol, se observa que para los combustibles E25 y E50 los valores están por encima del límite permitido en un 150%, y para los combustibles E75 y E100 el valor es igual al establecido en dicha norma. Con respecto a los límites permitidos por la normativa chilena para motores a gasolina las emisiones de HC para todos los combustibles están por debajo en un promedio de 80%. Con respecto a la norma EURO VI para los combustibles E25, E50, E75, E100, se observa que las emisiones de HC están por debajo del límite establecido en un 81,25% y para el combustible de referencia E0 está por debajo en un 90%.

En lo referente a las emisiones de NO, para los combustibles E25, E50, E75, E100, se observa que las emisiones están por debajo del límite establecido en la norma ecuatoriana en un promedio de 46,6% y con respecto a la normativa chilena para motores con etanol se observa que para los combustibles E25 y E50 los valores

están por encima del límite permitido en un 150%, y para los combustibles E75 y E100 el valor obtenido es igual al establecido en dicha norma. Con respecto a los límites permitidos por la normativa chilena para motores a gasolina las emisiones de NO para todos los combustibles están por debajo en un promedio del 80%. Con respecto a las normas EURO, para los combustibles E0, E25, E50, E75, se observa que las emisiones de NO_x están por encima del límite establecido en la norma EURO III en un promedio de 136%, y para E100 las emisiones son inferiores en un 26%. Con respecto a las norma EURO IV, V, VI los valores obtenidos son superiores en un promedio de 285,5%; 413,92 %; y 413,9% respectivamente.

Como conclusión se determina que el uso de etanol en la gasolina mejora la potencia y torque del motor, las emisiones contaminantes de CO, HC disminuyen notablemente con respecto al combustible de referencia, para los NO_x los valores son superiores a los límites establecidos por las normas EURO así como para la normativa chilena para motores con etanol.

La aplicación del estudio estadístico permite obtener un modelo matemático que describe el comportamiento de las variables de estudio para diferentes concentraciones de etanol en la gasolina, lo que representa una gran ventaja ya que se pueden determinar los valores de potencia, torque, consumo de combustible, emisiones de gases de escape sin la necesidad de realizar pruebas físicas que demandan el gasto de recursos humanos, financieros etc.

PRESENTACIÓN

Son evidentes las secuelas que actualmente se evidencia en el planeta sobre el calentamiento global, la alteración en los ciclos naturales (las lluvias, las estaciones climáticas etc), todas estos cambios generados por la contaminación ambiental producto de la actividad humana, entre las que se destaca el uso irracional del automóvil, el cual para su funcionamiento utiliza combustibles derivados del petróleo con lo que se emanan a la atmósfera millones de toneladas de metros cúbicos de gases de efecto invernadero, así también es innegable el desarrollo que se ha conseguido gracias al automóvil, pero esto no puede seguir siendo causa de contaminación, es por ello que hoy los seres humanos tenemos la imperiosa tarea de hacer que el vehículo sea más amigable con el ambiente, dentro de los aspectos que buscan este fin, se puede mencionar a los sistemas de gestión del motor, pero también el uso de los combustibles y sus posibles alternativas menos contaminantes y dependientes de fuentes no renovables, con esta premisa esta investigación presenta el análisis sobre el comportamiento de un motor de combustión interna de ciclo Otto con sistema de inyección electrónica de gasolina, funcionando con mezclas de etanol anhidro y gasolina de 86,5 octanos, con el objetivo de evaluar el comportamiento del motor en potencia, torque, consumo de combustible y emisión de gases de escape.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	i
CERTIFICACIÓN	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
RESUMEN	vi
PRESENTACIÓN	xi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xxi
ÍNDICE DE TABLAS	xxiv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xxvii
NOMENCLATURA	xxix
CAPÍTULO I FUNDAMENTOS Y MARCO TEÓRICO	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ESTADO DEL ARTE	3
1.2.1. Propiedades físico - químicas de mezclas gasolina - etanol	3
1.2.1.1. Número de octano.....	3
1.2.1.2. Calor de vaporización.....	4
1.2.1.3. Presión de vapor Reid (PVR)	4
1.2.1.4. Temperatura de autoencendido	5
1.2.1.5. Densidad	5
1.2.1.6. Poder Calorífico Inferior (LHV)	5
1.2.1.7. Emisiones de escape	6
1.2.2. Composición de los gases de escape en el motor a gasolina.....	6

1.2.2.1.	Descripción de los componentes que integran los gases de escape ..	7
1.2.2.2.	Estudios realizados respecto a la adición de etanol anhidro en la gasolina	11
1.3.	COMBUSTIBLE PARA MOTORES A GASOLINA	17
1.3.1.	Características fisicoquímicas de los combustibles.....	17
1.3.2.	Características termoquímicas de los combustibles.....	20
1.3.3.	Bioetanol	20
1.3.3.1.	Propiedades del etanol.....	21
1.3.4.	Gasolina	22
1.3.4.1.	Propiedades de la gasolina	22
1.4.	MONITOREO DE LA CALIDAD DE AIRE EN CUENCA	23
1.4.1.	Antecedentes	23
1.4.2.	Calidad del aire en el cantón Cuenca.....	24
1.5.	NORMATIVA DE EMISIONES CONTAMINANTES POR FUENTES MÓVILES.....	26
1.5.1.	Normativa nacional.....	26
1.5.2.	Normativa internacional.....	27
1.5.2.1.	Norma venezolana DECRETO N° 2673	27
1.5.2.2.	Norma Oficial Chilena	28
1.5.2.3.	Normas EURO	29
1.6.	PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR	30
1.6.1.	Potencia efectiva, par motor, presión de combustión.....	30
1.6.1.1.	Potencia efectiva	31
1.6.1.2.	Presión media efectiva	32
1.6.1.3.	Par motor.....	33
1.6.1.4.	Consumo específico	34
1.6.1.5.	Presión de combustión.....	34

1.6.2.	Combustión	35
1.6.2.1.	Combustión estequiométrica	36
1.6.2.2.	Combustión real	36
1.6.2.3.	Relación estequiométrica	37
1.6.3.	Combustión método simplificado.....	39
1.6.3.1.	Factores de emisión máxicos	41
1.6.3.2.	Peso molecular del combustible	42
1.6.3.3.	Factores de emisión en gramos/kilómetro	43
CAPÍTULO II DESARROLLO EXPERIMENTAL		44
2.1.	PLANEACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	44
2.1.1.	Objetivo	44
2.1.2.	Descripción del estudio	44
2.2.	METODOLOGÍA APLICADA	45
2.2.1.	Maquinaria.....	45
2.2.1.1.	Vehículo Hyundai Getz 1,4 litros	46
2.2.1.2.	Equipo externo de suministro de combustible	47
2.2.1.3.	Insumos y materiales utilizados para la preparación del combustible	48
2.2.1.4.	Equipos para la medición de los parámetros de funcionamiento del motor.	48
a)	Banco de potencia MAHA LPS 3000.....	49
b)	Balanza digital	50
c)	Analizador de gases MGT 5	50
d)	Sensor de presión de combustión del motor	52
e)	Tarjeta de adquisición de datos.....	52
f)	Computadora Laptop.....	53
2.2.2.	Métodos utilizados en la investigación	54

2.2.2.1.	Métodos para el diseño experimental, análisis de resultados	56
a)	Diseño experimental simplex reticular (simplex- lattice).....	56
b)	Prueba de valores atípicos de los datos registrados	57
c)	Regresión por mínimos cuadrados y validación de la ecuación de la variable de respuesta	57
d)	Análisis de variabilidad de datos	60
2.2.2.2.	Métodos previos al desarrollo de las pruebas de funcionamiento del motor	61
2.2.2.3.	Métodos para la caracterización de los combustibles utilizados en la investigación	61
2.2.2.4.	Métodos de medición de los diferentes parámetros de funcionamiento del motor	63
2.2.3.	Competencias del personal	63
2.2.4.	Materiales.....	65
2.2.4.1.	Características del etanol	65
2.2.4.2.	Características de la gasolina	66
2.2.5.	Condiciones ambientales para el desarrollo del estudio	67
2.3.	REGISTRO DE DATOS	67
2.3.1.	Registro de datos de la potencia del motor	68
2.3.2.	Registro de datos de torque del motor	68
2.3.3.	Registro de datos de consumo de combustible	68
2.3.4.	Registro de datos de monóxido de carbono a ralentí	69
2.3.5.	Registro de datos de bióxido de carbono a ralentí	70
2.3.6.	Registro de datos de hidrocarburos no combustionados a ralentí.....	70
2.3.7.	Registro de datos de oxígeno a ralentí.....	70
2.3.8.	Registro de datos de óxidos de nitrógeno a ralentí	71
2.3.9.	Registro de datos del monóxido de carbono a 2500 rpm	71

2.3.10.	Registro de datos de bióxido de carbono a 2500 rpm	72
2.3.11.	Registro de datos de hidrocarburos no combustionados a 2500 rpm	72
2.3.12.	Registro de datos de oxígeno a 2500 rpm.....	72
2.3.13.	Registro de datos de óxidos de nitrógeno a 2500 rpm	73
2.3.14.	Registro de datos de monóxido de carbono a tracción constante	73
2.3.15.	Registro de datos de bióxido de carbono a tracción constante	74
2.3.16.	Registro de datos de hidrocarburos no combustionados a tracción constante	74
2.3.17.	Registro de datos de óxidos de nitrógeno a tracción constante	74
2.3.18.	Registro de datos de la presión media efectiva	75
2.3.19.	Cuadro de datos de potencia efectiva calculada en función de la presión media efectiva para el combustible E100	76
2.3.20.	Cuadro de datos de potencia del motor medida en el banco..... Maha LPS 3000 para el combustible E100	76
CAPITULO III ANÁLISIS DE RESULTADOS		77
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	77
3.2.	PRUEBA DE VALORES ATÍPICOS	77
3.3.	ANÁLISIS DE POTENCIA, TORQUE Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	78
3.3.1.	Potencia del motor.....	78
3.3.1.1.	Análisis de potencia.....	78
3.3.1.2.	Modelo explicativo para la potencia	78
3.3.1.3.	Gráfica de rastreo de respuesta de la potencia.....	80
3.3.2.	Torque del motor	80
3.3.2.1.	Análisis de torque del motor	80
3.3.2.2.	Modelo explicativo del torque	81
3.3.2.3.	Gráfica de rastreo de la respuesta del torque	82

3.3.3.	Consumo de combustible	83
3.3.3.1.	Análisis de consumo de combustible.....	83
3.3.3.2.	Modelo explicativo del consumo de combustible.....	83
3.3.3.3.	Gráfica rastreo de respuesta del consumo combustible.....	84
3.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE EMISIONES CONTAMINANTES A RALENTÍ	85
3.4.1.	Emisiones de monóxido de carbono a ralentí.....	85
3.4.1.1.	Análisis de emisiones de CO a ralentí.....	85
3.4.1.2.	Modelo explicativo monóxido de carbono a ralentí.....	85
3.4.1.3.	Gráfica de rastreo de respuesta para el monóxido de carbono a ralentí	86
3.4.2.	Emisiones de bióxido de carbono a ralentí.....	87
3.4.2.1.	Análisis de emisiones de CO ₂ a ralentí	87
3.4.2.2.	Modelo explicativo del bióxido de carbono	88
3.4.2.3.	Gráfica de rastreo de la respuesta bióxido de carbono a ralentí	88
3.4.3.	Emisiones de hidrocarburos no combustionados a ralentí	89
3.4.3.1.	Análisis Emisiones de HC a ralentí.....	89
3.4.3.2.	Modelo explicativo de HC a ralentí	90
3.4.3.3.	Gráfica de rastreo de la respuesta hidrocarburos a ralentí.....	91
3.4.4.	Emisiones de O ₂ a ralentí.....	91
3.4.4.1.	Análisis de las emisiones de O ₂ a ralentí	91
3.4.4.2.	Modelo explicativo del oxígeno a ralentí.....	92
3.4.4.3.	Gráfica de rastreo de respuesta O ₂ a Ralentí.....	93
3.4.5.	Emisiones de óxidos de nitrógeno a ralentí.....	94
3.4.5.1.	Análisis de emisiones de óxidos de nitrógeno a ralentí	94
3.4.5.2.	Modelo explicativo del NO _x a ralentí.....	94
3.4.5.3.	Gráfica de rastreo de respuesta NO _x a ralentí.....	95

3.5.	ANÁLISIS DE EMISIONES CONTAMINANTES A 2500 RPM	96
3.5.1.	Emisiones de monóxido de carbono a 2500 rpm	96
3.5.1.1.	Análisis de emisiones de CO a 2500 rpm.....	96
3.5.1.2.	Modelo explicativo monóxido de carbono a 2500 rpm.....	96
3.5.1.3.	Gráfica de rastreo de respuesta monóxido de carbono a 2500 rpm..	97
3.5.2.	Emisiones de bióxido de carbono a 2500 rpm.....	98
3.5.2.1.	Análisis de emisiones de bióxido de carbono a 2500 rpm.....	98
3.5.2.2.	Modelo explicativo del bióxido de carbono CO ₂ a 2500 rpm	99
3.5.2.3.	Gráfica de rastreo de la respuesta bióxido de carbono a 2500 rpm	100
3.5.3.	Emisiones de hidrocarburos no combustionados a 2500 rpm	100
3.5.3.1.	Análisis de emisiones de hidrocarburo no combustionados a 2500 rpm	100
3.5.3.2.	Modelo explicativo de los hidrocarburos HC	101
3.5.3.3.	Gráfica de rastreo de la respuesta hidrocarburos a 2500 rpm	102
3.5.4.	Emisiones de oxígeno a 2500 rpm	103
3.5.4.1.	Análisis de emisiones de O ₂ a 2500 rpm.....	103
3.5.4.2.	Modelo explicativo del O ₂ a 2500 rpm.....	103
3.5.4.3.	Gráfica de rastreo de respuesta O ₂ a 2500 rpm.....	104
3.5.5.	Emisiones de óxidos de nitrógeno a 2500 rpm.....	105
3.5.5.1.	Análisis de emisiones de óxidos de nitrógeno a 2500 rpm.....	105
3.5.5.2.	Modelo explicativo del NO _x a 2500 rpm.....	106
3.5.5.3.	Gráfica de rastreo de respuesta NO _x a 2500 rpm.....	106
3.6.	ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR CON PRUEBA DE TRACCIÓN CONSTANTE DE 600N ..	107
3.6.1.	Análisis comparativo de la potencia del motor	107
3.6.1.1.	Análisis comparativo del comportamiento de la presión media efectiva en función de la fuerza de tracción aplicada	107

3.6.1.2.	Análisis comparativo entre potencia calculada y medida banco potencia.....	108
3.6.2.	Análisis de emisiones de monóxido de carbono.....	109
3.6.3.	Análisis de emisiones de bióxido de carbono.....	110
3.6.4.	Análisis de emisiones de hidrocarburos no combustionados.....	111
3.6.5.	Análisis de emisiones de óxidos de nitrógeno.....	111
3.6.6.	Análisis de emisiones de oxígeno.....	112
3.6.7.	Análisis del factor Lambda.....	113
3.7	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS EMISIONES CON RESPECTO A NORMA NACIONAL E INTERNACIONAL.....	113
3.7.1.	Análisis comparativo de emisiones a ralentí.....	113
3.7.1.1.	Análisis comparativo de emisiones de CO a ralentí con la norma NTE INEN 2 204:2002 y el DECRETO N° 2673.....	114
3.7.1.2.	Análisis comparativo de emisiones de HC a ralentí con la norma NTE INEN 2 204:2002 y el DECRETO N° 2673.....	114
3.7.2.	Análisis comparativo de los factores de emisión con la norma nacional , la normativa chilena y la norma EURO.....	115
3.7.2.1.	Análisis comparativo de las emisiones de CO con la norma NTE INEN 2 204:2002 y la norma oficial chilena.....	115
3.7.2.2.	Análisis comparativo de las emisiones de CO con la norma EURO VI.....	116
3.7.2.3.	Análisis comparativo de las emisiones de HC con la norma NTE INEN 2 204:2002 y la norma oficial chilena.....	116
3.7.2.4.	Análisis comparativo de las emisiones de HC con la norma EURO VI.....	117
3.7.2.5.	Análisis comparativo de las emisiones de NO con la norma NTE INEN 2 204:2002 y la norma oficial chilena.....	118
3.7.2.6.	Análisis comparativo de las emisiones de NO con la norma EURO VI.....	118

CAPITULO IV	120
CONCLUSIONES.....	120
RECOMENDACIONES	126
TRABAJOS FUTUROS	128
BIBLIOGRAFÍA	129
ANEXO A.....	136
ANEXO B.....	158
ANEXO C.....	183
ANEXO D.....	201

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Demanda mundial de energía primaria entre 1971 al 2013 expresadas en Mtoe	1
Figura 1. 2. Participación en el consumo total de la fuente de energía.	2
Figura 1. 3. Consumo energético por parque automotor en Ecuador.....	2
Figura 1. 4. Composición de los gases de escape en motores de gasolina.	7
Figura 1. 5. Distribución atómica del etanol.....	21
Figura 1. 6. Localización de las estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca. Año 2014.	24
Figura 1. 7. Ciclo Otto.	31
Figura 1. 8. Presión media efectiva.	32
Figura 1. 9. Par motor.	33
Figura 1. 10. Fases del proceso de combustión de un MEP.	35
Figura 2. 1. Esquema del estudio.....	45
Figura 2. 2. Elementos del equipo externo de suministro de combustible.....	47
Figura 2. 3. Insumos para la preparación de las mezclas	48
Figura 2. 4. Banco de potencia Maha LPS 3000.	49
Figura 2. 5. Balanza electrónica ACS - 30	50
Figura 2. 6. Analizador de gases Maha MGT 5.....	51
Figura 2. 7. Sensor de presión de combustión	52
Figura 2. 8. Tarjeta de adquisición de datos	53
Figura 2. 9. Computadora Laptop.....	54
Figura 2. 10. Metodología de estudio	55
Figura 2. 11. Representación gráfica del diseño simplex reticular (3,2)	56
Figura 3. 1. Comparación de potencia del motor con las mezclas etanol – gasolina	78
Figura 3. 2. Gráfica de rastreo potencia del motor	80
Figura 3. 3. Comparación de torque de motor con las mezclas etanol – gasolina	81
Figura 3. 4. Gráfica de rastreo respuesta torque del motor	82
Figura 3. 5. Consumo de combustible	83
Figura 3. 6. Gráfica de rastreo respuesta consumo de combustible de motor	84

Figura 3. 7. Emisiones de monóxido de carbono a ralenti	85
Figura 3. 8. Gráfica de rastreo respuesta monóxido carbono a ralenti.....	87
Figura 3. 9. Emisiones de bióxido de carbono a ralenti.....	87
Figura 3. 10. Gráfica de rastreo respuesta dióxido de carbono a ralenti.....	89
Figura 3. 11. Emisiones de HC a ralenti.....	89
Figura 3. 12. Gráfica de rastreo respuesta hidrocarburo a ralenti	91
Figura 3. 13. Emisiones de O ₂ en ralenti.....	92
Figura 3. 14. Gráfica de rastreo respuesta O ₂ a ralenti	93
Figura 3. 15. Emisiones de óxidos de nitrógeno a ralenti.....	94
Figura 3. 16. Gráfica de rastreo respuesta NO _x a ralenti	95
Figura 3. 17. Emisiones de monóxido de carbono a 2500 rpm	96
Figura 3. 18. Gráfica de rastreo respuesta monóxido carbono a 2500 rpm	98
Figura 3. 19. Emisiones de bióxido de carbono a 2500 rpm	98
Figura 3. 20. Gráfica de rastreo respuesta dióxido de carbono a 2500 rpm.....	100
Figura 3. 21. Emisiones de hidrocarburos no combustionados a 2500 rpm.....	101
Figura 3. 22. Gráfica de rastreo respuesta hidrocarburo a 2500 rpm.....	102
Figura 3. 23. Emisiones de oxígeno de a 2500 rpm	103
Figura 3. 24. Gráfica de rastreo respuesta O ₂ a 2500 rpm	105
Figura 3. 25. Emisiones de óxidos de nitrógeno a 2500 rpm	105
Figura 3. 26. Gráfica de rastreo respuesta NO _x a 2500 rpm	107
Figura 3. 27. Comportamiento de la presión media efectiva en función de la fuerza de tracción aplicada.....	108
Figura 3. 28. Curvas comparativas entre la potencia calculada en función de la pme y la potencia medida en el banco Maha LPS 3000	109
Figura 3. 29. Emisiones de monóxido de carbono en prueba de tracción constante	110
Figura 3. 30. Emisiones de bióxido de carbono en prueba de tracción constante.....	110
Figura 3. 31. Emisiones de HC en prueba de tracción constante.....	111
Figura 3. 32. Emisiones de óxidos de nitrógeno en prueba de tracción constante	112
Figura 3. 33. Emisiones de oxígeno en prueba de tracción constante	112
Figura 3. 34. Factor lambda en prueba de tracción constante	113

Figura 3. 35. Emisiones de CO a ralenti vs norma NTE INEN 2 204:200 y DECRETO N° 2673.....	114
Figura 3. 36. Emisiones de HC a ralenti vs norma NTE INEN 2 204:200 y DECRETO N° 2673.....	115
Figura 3. 37. Emisiones de CO vs NTE INEN 2 204 y Normativa Chilena	116
Figura 3. 38. Emisiones de CO vs norma EURO VI	116
Figura 3. 39. Emisiones de HC vs NTE INEN 2 204 y Normativa Chilena	117
Figura 3. 40. Emisiones de HC vs norma EURO VI	117
Figura 3. 41. Emisiones de NO vs NTE INEN 2 204 y Normativa Chilena	118
Figura 3. 42. Emisiones de NO vs norma EURO VI	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Resultados de emisiones en MCI-EP operando con diferentes mezclas de etanol - gasolina comparados con gasolina	15
Tabla 1. 2. Características fisicoquímicas y termoquímicas de los combustibles.	17
Tabla 1. 3. Propiedades del alcohol industrial anhidro (etanol).	21
Tabla 1. 4. Características de la gasolina de 87 octanos.	22
Tabla 1. 5. Aporte de la contaminación por tráfico vehicular en Cantón Cuenca	25
Tabla 1. 6. Número de vehículos que aprobaron la RTV en Cuenca durante periodo 2008-2014	25
Tabla 1. 7. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática)	27
Tabla 1. 8. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica)* a partir del año 2000 (ciclos americanos)	27
Tabla 1. 9. Límites de emisiones para fuentes móviles a gasolina y diésel en ralentí	28
Tabla 1. 10. Límites de emisiones establecidos según el ciclo europeo de medición	28
Tabla 1. 11. Límites de emisiones contaminantes para vehículos livianos normativa chilena con etanol.....	29
Tabla 1. 12. Límites de emisiones contaminantes para vehículos livianos motor a gasolina normativa chilena.....	29
Tabla 1. 13. Normas EURO a las emisiones.....	30
Tabla 1. 14. Peso molecular de los componentes del combustible	39
Tabla 1. 15. Balance de número de átomos.....	40
Tabla 2. 1. Datos técnicos del vehículo.....	46
Tabla 2. 2. Elementos y características técnicas del equipo externo de suministro de combustible	47
Tabla 2. 3. Insumos utilizados para formar las mezclas	48
Tabla 2. 4. Características técnicas del banco de potencia Maha LPS 3000.....	49
Tabla 2. 5. Características técnicas de la balanza digital	50
Tabla 2. 6. Características técnicas del analizador de gases Maha MGT 5.....	51
Tabla 2. 7. Características técnicas del sensor de presión de combustión	52

Tabla 2. 8. Características técnicas de la tarjeta de adquisición de datos	53
Tabla 2. 9. Características técnicas de la computadora laptop	53
Tabla 2. 10. Caracterización de las mezclas etanol anhidro – gasolina de 87 octanos.....	62
Tabla 2. 11. Competencias del personal para el desarrollo del estudio	63
Tabla 2. 12. Propiedades del alcohol industrial anhidro (etanol)	65
Tabla 2. 13. Características de la gasolina extra.....	66
Tabla 2. 14. Condiciones ambientales de la ciudad de Cuenca	67
Tabla 2. 15. Datos de potencia del motor.....	68
Tabla 2. 16. Datos de torque del motor	68
Tabla 2. 17. Datos de consumo de combustible en g/km	69
Tabla 2. 18. Datos de consumo de combustible en l/100km	69
Tabla 2. 19. Datos de emisión de CO a ralentí.....	69
Tabla 2. 20. Datos de emisión de CO ₂ a ralentí	70
Tabla 2. 21. Datos de hidrocarburos no combustionados a ralentí	70
Tabla 2. 22. Datos de oxígeno a ralentí	70
Tabla 2. 23. Datos de óxidos de nitrógeno a ralentí.....	71
Tabla 2. 24. Datos de monóxido de carbono a 2500 rpm.....	71
Tabla 2. 25. Datos del bióxido de carbono a 2500 rpm	72
Tabla 2. 26. Datos de hidrocarburos no combustionados a 2500 rpm	72
Tabla 2. 27. Datos de oxígeno a 2500 rpm	72
Tabla 2. 28. Datos de óxidos de nitrógeno a 2500 rpm	73
Tabla 2. 29. Datos de monóxido de carbono en prueba de fuerza a tracción constante 600N	73
Tabla 2. 30. Datos de bióxido de carbono en prueba de fuerza a tracción constante 600 N	74
Tabla 2. 31. Datos de hidrocarburos no combustionados en prueba de fuerza a tracción constante de 600N.....	74
Tabla 2. 32. Datos de óxidos de nitrógeno en prueba de fuerza a tracción constante de 600N	74
Tabla 2. 33. Presión media efectiva del motor por mezclas en función de la pendiente y fuerza de tracción aplicadas	75

Tabla 2. 34. Potencia efectiva del motor calcula en función de la presión media efectiva	76
Tabla 2. 35. Potencia del motor medida en el banco Maha LPS 3000	76
Tabla 3. 1. Valores del Ajuste de la Regresión para la Potencia.....	79
Tabla 3. 2. Coeficientes de Regresión Estimados para la Potencia del Motor ...	79
Tabla 3. 3. Valores del Ajuste de la Regresión para el Torque del Motor	81
Tabla 3. 4. Coeficientes de Regresión Estimados para el Torque del Motor.....	81
Tabla 3. 5. Valores del Ajuste de la Regresión para el Consumo Combustible .	83
Tabla 3. 6. Coeficientes de regresión estimados para consumo combustible	84
Tabla 3. 7. Valores del Ajuste de la Regresión para el Monóxido Carbono	85
Tabla 3. 8. Coeficientes de regresión estimados para el CO a ralentí	86
Tabla 3. 9. Valores del Ajuste de la Regresión para el CO ₂	88
Tabla 3. 10. Coeficientes de regresión estimados para CO ₂	88
Tabla 3. 11. Valores del Ajuste de la Regresión para el HC a Ralentí	90
Tabla 3. 12. Coeficientes de regresión estimados para HC a ralentí	90
Tabla 3. 13. Valores del Ajuste de la Regresión para el Óxido de Nitrógeno a 2500rpm	92
Tabla 3. 14. Coeficientes de Regresión Estimados para O ₂ a ralentí	93
Tabla 3. 15. Valores del Ajuste de la Regresión para el Óxido de Nitrógeno a Ralentí.....	94
Tabla 3. 16. Coeficientes de Regresión Estimados para Consumo Combustible	95
Tabla 3. 17. Valores del Ajuste de la Regresión para el Monóxido de Carbono ..	96
Tabla 3. 18. Coeficientes de regresión estimados para CO	97
Tabla 3. 19. Valores del Ajuste de la Regresión para el Bióxido de Carbono	99
Tabla 3. 20. Coeficientes de Regresión Estimados para CO ₂	99
Tabla 3. 21. Valores del Ajuste de la Regresión para los Hidrocarburos	101
Tabla 3. 22. Coeficientes de regresión estimados para HC a 2500 rpm	102
Tabla 3. 23. Valores del Ajuste de la Regresión para el Óxido de Nitrógeno a 2500rpm	103
Tabla 3. 24. Coeficientes de regresión estimados para O ₂ a 2500 rpm	104
Tabla 3. 25. Valores del Ajuste de la Regresión para el Óxido de Nitrógeno a 2500rpm	106
Tabla 3. 26. Coeficientes de regresión estimados para NO _x a 2500 rpm.....	106

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. 1. Potencia efectiva de un motor de ciclo Otto	31
Ecuación 1. 2. Presión media efectiva	32
Ecuación 1. 3. Para de un motor de ciclo Otto	33
Ecuación 1. 4. Consumo específico de combustible	34
Ecuación 1. 5. Combustión completa de un hidrocarburo	36
Ecuación 1. 6. Combustión completa de la mezcla etanol – gasolina	36
Ecuación 1. 7. Combustión incompleta de un hidrocarburo	37
Ecuación 1. 8. Combustión incompleta de la mezcla etanol - gasolina	37
Ecuación 1. 9. Relación estequiométrica	38
Ecuación 1. 10. Masa de etanol	38
Ecuación 1. 11. Masa de gasolina.....	38
Ecuación 1. 12. Masa total del combustible etanol - gasolina	38
Ecuación 1. 13. Masa de aire para la combustión del etanol y gasolina	38
Ecuación 1. 14. Combustión del combustible etanol – gasolina método simplificado	39
Ecuación 1. 15. Razón de CO con respecto al CO ₂	40
Ecuación 1. 16. Razón de HC con respecto al CO ₂	40
Ecuación 1. 17. Razón de NO con respecto al CO ₂	40
Ecuación 1. 18. Coeficiente estequiométrico para el CO	41
Ecuación 1. 19. Coeficiente estequiométrico para el HC	41
Ecuación 1. 20. Coeficiente estequiométrico para el NO	41
Ecuación 1. 21. Coeficiente estequiométrico para el CO ₂	41
Ecuación 1. 22. Factor másico de emisión de CO en función del coeficiente estequiométrico a.....	41
Ecuación 1. 23. Factor másico de emisión de HC en función del coeficiente estequiométrico c.....	41
Ecuación 1. 24. Factor másico de emisión de NO en función del coeficiente estequiométrico f.....	41
Ecuación 1. 25. Factor másico de emisión de CO en función del coeficiente estequiométrico d.....	42
Ecuación 1. 26. Factor másico de emisión de HC en función del coeficiente estequiométrico d.....	42

Ecuación 1. 27. Factor másico de emisión de NO en función del coeficiente estequiométrico d.....	42
Ecuación 1. 28. Ecuación equivalente del Peso molecular la molécula de combustible a base de etanol	42
Ecuación 1. 29. Peso molecular del combustible en función del porcentaje de etanol y gasolina	42
Ecuación 1. 30. Factor de emisión para el CO	43
Ecuación 1. 31. Factor de emisión para el HC	43
Ecuación 1. 32. Factor de emisión para el NO	43
Ecuación 2. 1. Número de mezclas que se pueden formar en función del modelo estadístico	56
Ecuación 2. 2. Media aritmética de una muestra.....	60
Ecuación 2. 3. Desviación estándar de una muestra	61
Ecuación 2. 4. Coeficiente de variación	61
Ecuación 2. 5. Poder calorífico superior.....	62
Ecuación 2. 6. Poder calorífico inferior.....	62
Ecuación 3. 1. Modelo explicativo para la potencia	79
Ecuación 3. 2. Modelo explicativo del torque	81
Ecuación 3. 3. Modelo explicativo de consumo de combustible.....	84
Ecuación 3. 4. Modelo explicativo de CO a ralentí	86
Ecuación 3. 5. Modelo explicativo del CO ₂ a ralentí.....	88
Ecuación 3. 6. Modelo explicativo de HC a ralentí	90
Ecuación 3. 7. Modelo explicativo de O ₂ a ralentí.....	92
Ecuación 3. 8. Modelo explicativo de NO _x a ralentí.....	95
Ecuación 3. 9. Modelo explicativo de CO a 2500 rpm	97
Ecuación 3. 10. Modelo explicativo del CO ₂ a 2500 rpm	99
Ecuación 3. 11. Modelo explicativo de HC a 2500 rpm	101
Ecuación 3. 12. Modelo explicativo del O ₂ a 2500 rpm	104
Ecuación 3. 13. Modelo explicativo de NO _x a 2500 rpm.....	106

NOMENCLATURA

Símbolo	Denominación	Unidad
CO ₂	Dióxido de carbono	
CO	Monóxido de carbono	
HC	Hidrocarburos	
PM	Material particulado	(μm)
NO _x	Óxidos de nitrógeno	
SO ₂	Óxidos de azufre	
WHO	World Health Organization	
Mtoe	Million of tonne of oil equivalent	
GEI	Gases de efecto invernadero	
MCIA	Motores de combustión interna alternativos	
RON	Research Octane Number	
MON	Motor Octane Numbe	
PVR	Presión de vapor Reid	kPa
v/v	Volumen de etanol sobre volumen de gasolina	
LHV	Poder calorífico inferior	(kJ/kg)
N ₂	Nitrógeno	
O ₂	Oxígeno	
H ₂ O	Agua	
CH ₄	Metano	
C ₆ H ₆	Benceno	
C ₂ H ₂	Acetileno	
CH ₂ O	Formaldehido	
GDI	Gasoline Direct Injection	
MPFI	Sistema de inyección multipunto	
m/m	Relación de masas	
FFV	Fuel Flexible Car	
MCI -EP	Motores de combustión interna por encendido provocado	
MEP	Motores de encendido provocado	
MEC	Motores de encendido por compresión	
C ₂ H ₆ O	Etanol	

C_8H_{18}	Formula química trimetilpentano	
C_2H_6	Etano	
RTV	Revisión Técnica Vehicular	
EMOV-EP	Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca	
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos	
COVNM	Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano	
EEC	European Economic Community	
GVWR	Peso bruto del vehículo	
NMOG	Gas orgánico no metánicos	
HCHO	Formaldehido	
LVW	Peso en vacío +136kg	
p_{me}	Presión media efectiva	(Bar)
V_T	Volumen total del motor	(cm^3)
n	Revoluciones del motor	(rpm)
i	Número de ciclos por revolución	
W_e	Trabajo efectivo	(J)
N_e	potencia efectiva	(W)
ω	Velocidad angular	(rad/s)
g_{ef}	Consumo específico de combustible	(g/kWh)
\dot{m}_f	Gasto másico de combustible	($kg\ s^{-1}$)
x	Porcentaje de etanol anhidro	(%)
C_2H_6O	Etanol anhidro	
C_8H_{18}	Gasolina	
y	Porcentaje de gasolina	(%)
x'	Porcentaje de los productos por la combustión del etanol anhidro	(%)
y'	Porcentaje de los productos por la combustión de la gasolina	(%)
C_xH_y	Formula general de un Hidrocarburo	
m_e	Masa del etanol	(g/mol)
m_g	Masa gasolina	(g/mol)
m_{E25}	Masa de combustible E25	(g/mol)
m_{air}	Masa de aire	(g)
m_a	Gasto de aire	(g)
m, a, b, c, d, e, f	Coeficientes estequiométricos	
R_{CO}	Razón de CO con respecto al CO_2	

R_{HC}	Razón de HC con respecto al CO ₂	
R_{NO}	Razón de NO con respecto al CO ₂	
$F_{CO_{m\acute{a}sico}}$	Factor de emisión de CO	(g/kg _{combustible})
$F_{HC_{m\acute{a}sico}}$	Factor de emisión de HC	(g/kg _{combustible})
$F_{NO_{m\acute{a}sico}}$	Factor de emisión de NO	(g/kg _{combustible})
$MW_{combustible}$	Peso molecular del combustible	(Kg de combustible/mol de combustible)
F_{CO}	Factor de emisión de CO	(g/km)
F_{HO}	Factor de emisión de HC	(g/km)
F_{NO}	Factor de emisión de NO	(g/km)
A	Nivel de significancia	
MC	Mínimos cuadrados	
R ²	coeficiente de determinación	
D	Diámetro del cilindro	(mm)
L	Carrera del pistón	(mm)
N	Revoluciones del motor	(rpm)
K	Numero de ciclos para un motor de 4 tiempos	
P	Densidad del aire	(kg/m ³)
Li	Inflamabilidad	
C ₂ H ₅ OH	Fórmula química etanol etílico	
Ar	Argón	
E0	0% etanol, 100% gasolina	
E25	25% etanol, 75% gasolina	
E50	50% de Etanol, 50% gasolina	
E75	75% de etanol, 25% de gasolina	
E100	100% de etanol, 0% de gasolina	
Pe	Potencia efectiva	(W)
M _f	Gasto de combustible	(J/s)
η_e	Rendimiento efectivo	
F	Dosado estequiométrico	
m _a	Gasto del aire	
Q	Componentes	
M	Orden de modelo estadístico	
x_i	Numero de mezclas que se pueden formar	
E(y)	Es el valor esperado de la variable de respuesta	
DOE	Diseño de experimentos	
DOHC	Doble árbol de levas	

MFI	Multi Port Fuel Injection
LPS	Banco de potencia
Rpm	Revoluciones por minuto
Hpa	Hecto pascales
V	Voltaje
°C	Grados centígrados
MC	Mínimos Cuadrados
A	Nivel de significancia de las muestras
AFR	Relación aire combustible
R	Coefficiente de determinación de Person
R ²	Coefficiente de determinación
p valor	Coefficiente de determinación de Person
DW	Independencia entre los residuos de Durbin-Watson
ECU	Unidad de control de motor

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS Y MARCO TEÓRICO

1.1. INTRODUCCIÓN

El creciente desarrollo de la economía mundial, está directamente asociado con el consumo de energía, la misma que se obtiene producto de la quema de combustibles fósiles en su gran mayoría, cuya consecuencia es la emisión hacia la atmósfera de productos contaminantes tales como el dióxido de carbono (CO₂) principal causante del efecto invernadero, el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no combustionados (HC), material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO₂), todos estos contaminantes provocan graves afecciones en la salud e inclusive la muerte de los seres humanos, según WHO, se estima que la contaminación del aire fue la responsable de 7 millones de muertes prematuras en el mundo y aproximadamente 600.000 muertes en la región de Europa durante el año 2012, cuyo coste económico es de 1,6 billones de dólares cada año. (World Health Organization in the European Region, 2015).

En la figura 1.1, se presenta el consumo mundial de energía primaria entre los años 1973 y 2013, de acuerdo a datos estadísticos de la Agencia Internacional de energía, se observa que el consumo en el año 1973 fue de 4667 Mtoe y para el año 2013 es de 9301 Mtoe (por su siglas en ingles Millon of tonne of oil equivalent) de barriles equivalentes de petróleo). (International Energy Agency, 2015).

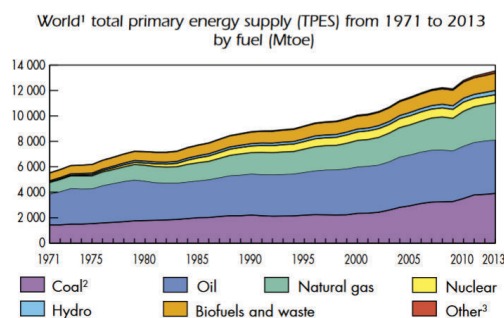


Figura 1. 1. Demanda mundial de energía primaria entre 1971 al 2013 expresadas en Mtoe

Fuente: (International Energy Agency, 2015)

En la Figura 1.2, se observa la participación de los biofuel con un 12,2 % frente al 39,9 % de petróleo y los demás porcentajes están comprendidos entre carbón, gas natural, y otras (International Energy Agency, 2015).

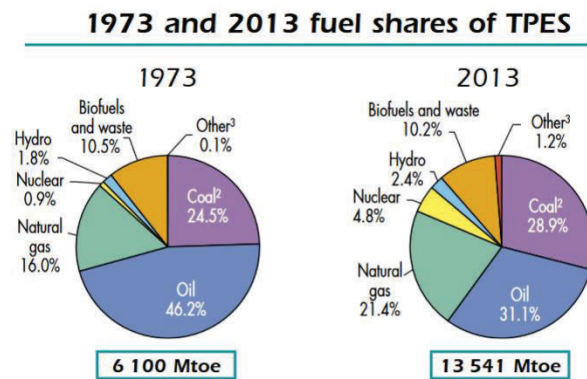


Figura 1. 2. Participación en el consumo total de la fuente de energía.

Fuente: (International Energy Agency, 2015)

En Ecuador se estima que el consumo anual de petróleo es de 74 Mtoe, de los cuales el 56% está destinado al sector de transporte. El 14 % se destina para el transporte aéreo, navegación y ferroviario, y el 86 % es ocupado por el parque automotor, el cual en su mayoría está constituido por vehículos livianos (camionetas, furgonetas de carga, autos, jeeps y taxis) con el 72,75% del total del parque automotor, con un consumo energético del 50,6%, aunque los camiones de carga pesada representan un segmento pequeño con el 11% del total del parque automotor, son los responsables del 45,7% del consumo energético total (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, 2015), en la Figura 1.3 se indica el consumo porcentual por sectores a nivel del Ecuador.

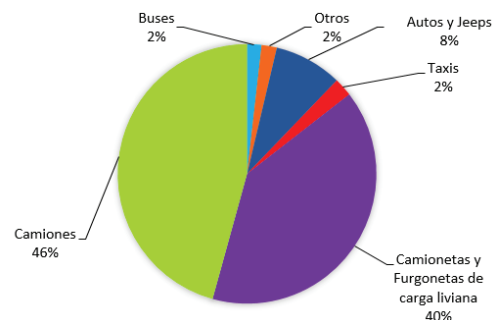


Figura 1. 3. Consumo energético por parque automotor en Ecuador.

Fuente: (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, 2015)

Estudios realizados por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables en el año 2015 dan a conocer que más del 50% de las emisiones de GEI son ocasionadas por el transporte, solo en el año 2012 se ha determinado que el 90% de las emisiones de GEI fueron producidas por el sector transporte, lo que ha permitido identificar al transporte terrestre como el factor de mayor impacto ambiental en el Ecuador.

Con el afán de solventar esta problemática ambiental surge la imperiosa necesidad de adoptar medidas de eficiencia energética, entre las cuales se destaca la sustitución de los combustibles fósiles por los biocombustibles, es así que en el año 2010, el Ecuador comienza un plan piloto en la provincia del Guayas de distribución de combustible “Ecopaís”, que está constituido por un 5% de etanol y el 95% de gasolina extra, en sustitución de la gasolina extra, la misma que saldrá del mercado progresivamente hasta el año 2017.

1.2. ESTADO DEL ARTE

El proceso de combustión en el motor de combustión interna alternativo (MCIA), involucra el conocimiento de las propiedades del combustible, la relación aire – combustible, variables ambientales, etc. Además de esto a través de parámetros de salida del MCIA, como la potencia, el consumo de combustible y las emisiones gaseosas, se puede conocer la forma en que el proceso de combustión se está llevando a cabo. Por esta razón a continuación se realiza una revisión del estado del arte, relacionado con el problema de estudio.

1.2.1. Propiedades físico - químicas de mezclas gasolina - etanol

1.2.1.1. Número de octano

La definición de octanaje es una medida de la calidad y capacidad antidetonante de las gasolinas para evitar las detonaciones y explosiones en las máquinas de combustión interna, de tal manera que se libere o se produzca la máxima cantidad de energía útil es decir la medida de la resistencia de un combustible a

autoencenderse. Diferentes estudios realizados por (Wyman, 1996), (Torres, Molina, Pinto, & Rueda, 2002) “concluyen que para esta propiedad existe acuerdo total en que aumenta, entre 1 % y 1,5 % por cada 10 % v/v de aumento en el contenido de etanol en la mezcla”, tanto el número de octano de investigación (Research Octane Number sus siglas del inglés RON) como el número de octano de motor (Motor Octane Number del inglés MON), con respecto a la gasolina. Esto ocurre debido a que el etanol tiene mayores valores que la gasolina para estos dos indicadores, luego al realizar la mezcla el nuevo combustible incrementa un poco el valor en el número de octano, el cual se calcula como el promedio aritmético de RON y MON. $(RON + MON)/2$ (Wyman, 1996).

1.2.1.2. Calor de vaporización

Es la cantidad de energía necesaria para cambiar de un estado líquido a uno gaseoso una cierta cantidad de combustible, las investigaciones realizadas por (Yüksel & Yüksel., 2004), (Yücesu, Topgül, Cinar, & Okur, 2006) coinciden en que el calor de vaporización de la mezcla es mayor entre 15 % y 18 %. Esto quiere decir que se necesita más energía para pasar a fase de vapor un kilogramo de mezcla que la misma cantidad de gasolina pura (Wyman, 1996).

1.2.1.3. Presión de vapor Reid (PVR)

PVR es el procedimiento de prueba para determinar la presión de vapor de las gasolinas bajo la norma ASTM D3323 es decir es una medida de la volatilidad que tiene un combustible. Generalmente a bajas proporciones de mezcla, como por ejemplo el “10%, la presión de vapor aumenta en 14 % con respecto a la gasolina pura. Al aumentar el porcentaje de etanol en la mezcla, especialmente mayor al 30 % v/v el valor de PVR disminuye con respecto a la gasolina (Wyman, 1996)”.

Las investigaciones realizadas por “(Onursal, 2002) y (Vitale, y otros, 2002) coinciden en que para E10 la PVR es mayor en 14 % que para gasolina. El valor de la diferencia depende en gran medida de la calidad de la gasolina base para la

mezcla". Varios autores reportan que aún sin hacerse el "ajuste" en la calidad de la gasolina y a medida que aumenta el etanol en la mezcla, el valor de PVR se hace similar al de la gasolina pura. Se puede hacer igual para composiciones entre 17 % v/v y 30 % v/v. A partir de estos puntos y al aumentar la cantidad de etanol el valor de PVR disminuye con respecto a la gasolina.

1.2.1.4. Temperatura de autoencendido

También se le conoce como punto de autoignición o punto de autoinflamación es una característica de los materiales inflamables como los combustibles y es la temperatura más baja en la cual el combustible se enciende espontáneamente sin la influencia de una llama o una chispa. Esta temperatura es mayor en 60 % para el etanol puro con respecto a la gasolina. Es bastante difícil encontrar este dato para mezclas gasolina-etanol. Lo anterior simplemente hace suponer que como la temperatura de autoencendido de uno de los componentes de la mezcla es mayor, entonces la temperatura de autoencendido de la mezcla va a ser ligeramente más alta.

1.2.1.5. Densidad

La densidad de las mezclas gasolina-etanol aumenta con respecto a gasolina pura según las mediciones realizadas en el laboratorio y esto también es afirmado por varias investigaciones realizadas como por ejemplo (Haskew, Thomas, & Liberty, 2006)

1.2.1.6. Poder Calorífico Inferior (LHV)

Es la magnitud del calor de reacción a presión o volumen constante, para la combustión completa de una unidad de masa del combustible, cuando el agua como producto se encuentra en estado gaseoso. Esta propiedad disminuye para las mezclas gasolina-etanol entre 2 y 4 %, con mayor tendencia en el intervalo de 3 a 3,4 %. La propiedad LHV es importante porque una medida indirecta del potencial máximo que tiene el combustible de entregar energía cuando los

productos de la reacción son los estequiométricos y el agua se encuentra en estado de vapor. Sin embargo lo que se reporta en la bibliografía consultada es que no debe ser visto como la única propiedad que puede reflejar la potencia de salida. Lo anterior se explica con la siguiente situación: si el LHV disminuye en 3%, el consumo de combustible aumenta en 1.5% y la potencia se mantiene constante, debe existir alguna mejora adicional en el proceso de admisión y combustión que se esté compensando por ese LHV perdido. La primera tiene que ver con el aumento en la densidad del aire gracias a la mayor volatilidad de la mezcla (mayor PVR). La segunda tiene que ver con la mayor temperatura de autoencendido (mayor calor de vaporización) que causa que la velocidad de llama sea mayor quemando de mejor forma los reactantes (Wyman, 1996).

1.2.1.7. Emisiones de escape

Los factores de emisión del monóxido de carbono aumentan cuando se incrementa el porcentaje de etanol anhidro, con respecto a los HC estos presentan cierta variabilidad aunque para concentraciones de etanol del 15 % se registran la mayor cantidad de emisiones en comparación con la gasolina y mezclas con el 5 %, 10% y 20% de etanol. Los estudios desarrollados con concentraciones del 5% al 20% de etanol demuestran que los NO_x se incrementan a medida que se adiciona etanol a la gasolina (Freire & Loza, 2013).

1.2.2. Composición de los gases de escape en el motor a gasolina

Cuando se habla de la composición de los gases de escape de un vehículo se utilizan siempre los mismos términos: monóxido de carbono (CO), óxido nítrico (NO_x), partículas de hollín o hidrocarburos (HC). En este contexto, sólo pocas veces se menciona que estas sustancias integrantes sólo representan una fracción de la total cantidad de gases de escape.

Debido a ello, antes de describir las diferentes sustancias que integran los gases de escape, se muestra la composición aproximada de los gases que despiden los motores a gasolina. (N₂ Nitrógeno, O₂ Oxígeno, H₂O Agua, CO₂ Dióxido de carbono,

CO Monóxido de carbono, NO_x Óxidos nítricos, SO₂ Dióxido de azufre, HC Hidrocarburos).

En la Figura 1.4, se indica una idea general resumida sobre los componentes iniciales y finales de la combustión en el motor.

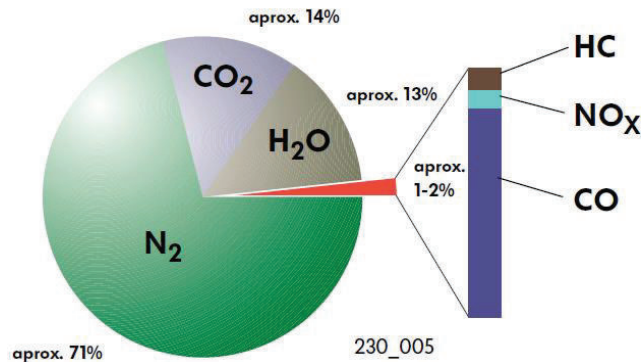


Figura 1. 4. Composición de los gases de escape en motores de gasolina.

Fuente: (AUDI Volkswagen)

1.2.2.1. Descripción de los componentes que integran los gases de escape

a) Nitrógeno

Es un gas no combustible, incoloro e inodoro. El nitrógeno (N₂) es un componente elemental del aire respiratorio (78 % nitrógeno, 21 % oxígeno, 1 % otros gases) e ingresa al proceso de la combustión conjuntamente con el aire de admisión. La mayor parte del nitrógeno aspirado vuelve a salir puro en los gases de escape; sólo una pequeña parte se combina con el oxígeno O₂ (óxidos nítricos NO_x).

b) Óxidos nítricos

Son combinaciones de nitrógeno N₂ y oxígeno O₂, los óxidos de nitrógeno que se miden comprenden principalmente las especies NO, NO₂ y N₂O. Los óxidos de nitrógeno se producen al existir una alta presión, alta temperatura y exceso de oxígeno durante la combustión en el motor. Ciertos óxidos nítricos son nocivos para la salud. Las medidas destinadas a reducir el consumo de combustible suelen

conducir lamentablemente a un ascenso de las concentraciones de óxidos nítricos en los gases de escape, porque una combustión más eficaz produce temperaturas más altas. Estas altas temperaturas generan a su vez una mayor emisión de óxidos nítricos.

La adición de etanol a la gasolina, producen emisiones que en general tienen tendencia a aumentar en un rango entre el 1% y 18% (He B. Q., 2003). Los NO_x se forman como consecuencia de una disociación directa del nitrógeno atmosférico por la alta temperatura en la cámara de combustión, lo cual es predecible por el mayor calor de vaporización y temperatura de autoencendido de las mezclas gasolina-etanol. El aumento de los óxidos de nitrógeno crece a medida que el contenido de etanol aumenta en la mezcla, sin embargo ciertos autores indican que puede haber una disminución cuando se utilizan mezclas de etanol entre el 15 y 24 % v/v en motores sin modificar (Rutz D. y Janssen R., 2008).

c) Oxígeno

El oxígeno (O_2) es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es el componente más importante de nuestro aire respiratorio (21 %). Se aspira a través del filtro de aire, igual que el nitrógeno.

d) Agua

Es aspirada en parte por el motor (humedad del aire) o se produce con motivo de la combustión fría (fase de calentamiento del motor). Es un componente inofensivo de los gases de escape.

e) Dióxido de carbono

Es un gas incoloro, no combustible. Se produce al ser quemados los combustibles que contienen carbono (gasolina). El carbono se combina durante esa operación con el oxígeno aspirado. Las discusiones generales en torno a las alteraciones

climatológicas (efecto invernadero), el tema de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) se ha hecho consciente en la opinión pública.

f) Monóxido de carbono

Se produce con motivo de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono o cuando hay poco oxígeno disponible para la combustión y por tanto no llega para quemar todo el carbono del combustible completamente quedando átomos de carbono unidos a solo un oxígeno formando el CO. Es un gas incoloro, inodoro, explosivo y altamente tóxico. Bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. Es mortal, incluso en una baja concentración en el aire respiratorio. Por eso, concentraciones superiores de CO al 0,3 % en volumen resultan mortales.

En una concentración normal en el aire ambiental se oxida al corto tiempo, formando dióxido de carbono CO₂. El Monóxido de carbono normalmente en la emisión de óxidos de carbono disminuye en porcentajes variables al utilizar las mezclas etanol – gasolina, dependiendo del combustible y del tipo de motor. En general para motores con sistema de control de flujo de combustible en lazo abierto es menor la emisión de CO que para motores modernos con control en lazo cerrado.

La formación de CO está directamente ligada a la eficiencia de la combustión. Estudios realizados atribuyen esta disminución al efecto de dilución y presencia de oxígeno que aumenta la velocidad de la llama y a su vez que la emisión de CO depende de la calidad del combustible, de la relación aire-combustible y del tipo de control de sistema de alimentación que posea el vehículo (Ceviz, 2004)

También muestran algunos autores que a medida que el etanol de las mezclas aumenta disminuyen las emisiones de monóxido de carbono debido a que se disminuye la volatilidad.

g) Dióxido de azufre (SO₂)

Es un gas incoloro, de olor penetrante, no combustible. El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso propicia las enfermedades de las vías respiratorias, pero interviene sólo en una medida muy reducida en los gases de escape. Si se reduce el contenido de azufre en el combustible es posible disminuir las emisiones de dióxido de azufre.

h) Hidrocarburos

Son componentes no quemados del combustible, que surgen en los gases de escape después de una combustión incompleta. Los hidrocarburos (HC) se manifiestan en diferentes combinaciones (p. ej. C₆H₆, C₈H₁₈) y actúan de diverso modo en el organismo. Algunos de ellos irritan los órganos sensoriales, mientras que otros son cancerígenos (El benceno). Al igual que con los óxidos de carbonos, los hidrocarburos no quemados disminuyen cuando se utilizan mezclas de gasolina-etanol. La disminución está entre el 5 y el 20 % (Ceviz, 2004).

i) Benceno

La emisión de este hidrocarburo aromático disminuye entre 11 % y 30 % cuando se utilizan mezclas de gasolina-etanol. El consumo de combustible aumenta proporcionalmente al incremento en la concentración de etanol en la mezcla. El aumento se produce por un efecto combinado provocado por la mayor densidad de la mezcla y por el aumento en la relación aire-combustible real por la más alta volatilidad del combustible (sólo en motores con carburador).

j) Aldehídos (formaldehído y acetaldehído)

Siempre que se utilizan mezclas de gasolina-etanol la formación de aldehídos puede aumentar entre 5% y 200 %. La formación de una mayor concentración de aldehídos está ligada a la combustión incompleta de los alcoholes y depende directamente de la concentración de etanol en la mezcla. Los aldehídos son una

emisión no regulada que tiene efectos graves sobre la salud humana (Rutz D. y Janssen R., 2008).

1.2.2.2. Estudios realizados respecto a la adición de etanol anhidro en la gasolina

El estudio realizado por, defecto de mezclas de combustible convencional con mayor concentración de biocombustible, con mezcla E7.8; E10 y E12 (etanol) en un motor de ciclo Otto marca Ford, de 1,400 centímetros cúbicos en el cual se tiene que el “incremento del consumo de combustible es mayor en el motor Otto ante el aumento de carga o par motor, conservando las rpm constantes y las emisiones contaminantes son menores que con gasolina pura (Delión & Rojas, 2015)”. Esto se debe a que la molécula de los alcoholes contiene oxígeno y esto favorece la producción de vapor de agua en los gases de escape.

Este estudio realizado por (Fernández, Mosquera, & Mosquera, 2010) se demostró que la utilización del “etanol mezclado con la gasolina aumenta el consumo linealmente a la mezcla utilizada y la emisión de CO₂ a la atmosfera decrece cúbicamente con el aumento de la proporción de etanol en la mezcla utilizada”

Expertos como (Mantilla, 210) y (MacLean & Lave, 2003) coinciden en que no es “clara la relación entre las propiedades, las emisiones finales del motor y el desempeño, Esto en gran parte puede deberse a la existencia de calidades variables de gasolina y a la gran variedad de motores empleados en el mundo.

Cuando se utilizan biocombustibles en motores de combustión interna, el consumo de estos aumenta (MacLean & Lave, 2003). Esto se debe a que si se disminuye la relación de aire-combustible estequiométrica para las mismas revoluciones por minuto, el mismo nivel de carga y la misma masa de aire, la masa de combustible que se necesita debe ser mayor (José, Samaniego, & Antonissen, 2008).

Según los estudios de (Leong, Muttamara, & Laortanakul, 2002) y (Hsieh, Chen, Wu, & Lin, 2002) respecto a la potencia y el torque no disminuyen a “pesar de que

el poder calorífico inferior (LHV) del bioetanol es menor que el de los combustibles fósiles. Inclusive, en algunos casos la potencia y torque aumentan junto con la eficiencia térmica para las mismas condiciones de operación”.

Según el estudio realizado por (Yüksel & Yüksel, 2004) es de importancia resaltar las “emisiones no reguladas, como los aldehídos, que aumentan respecto a cuándo se usa gasolina” y estudios confirman la “probabilidad de desarrollar cáncer y enfermedades relacionadas en seres humanos debido a ellos (Ceviz & Yüksel, 2004).

La investigación realizada en un vehículo Lada 1300 cm³ de 4 tiempos, con un sistema de alimentación por carburación, con una potencia nominal de 48 kW a 5600 revoluciones por minuto (rpm) y un torque máximo de 96 Nm a 3400 rpm. El combustible utilizado es una mezcla de etanol anhidro en gasolina regular, 10%, 20% y 30%. Analizando el torque efectivo, la potencia efectiva, el consumo específico de combustible y las emisiones de monóxido de carbono, obteniendo como conclusiones lo siguiente según (Melo, Sánchez, Ferrer, & Ferrer, 2012).

Se observa una tendencia al aumento del torque efectivo y la potencia efectiva para las mezclas E10 y E20 en comparación a E0, siendo E10 la de mejores resultados. Sin embargo para la mezcla E30 se observa que el momento efectivo es menor a E0 para todos los puntos experimentales evaluados.

El consumo de combustible específico para las mezclas E10 y E20 es inferior en todos los casos al obtenido con E0, no obstante los menores valores se obtienen con E10.

A medida que aumenta el porcentaje de etanol en la mezcla con gasolina, el consumo de combustible aumenta para todos los puntos experimentales evaluados.

El porcentaje de las emisiones de monóxido de carbono disminuyen a medida que aumenta el porcentaje de etanol en la mezcla con gasolina, siendo E30 la de mejores resultados.

Las mezclas E10 y E20 de etanol anhidro-gasolina regular pueden ser usadas como combustible en un motor Lada 1300, ya que ambas disminuye las emisiones de monóxido de carbono, además no producen deterioro significativo de las prestaciones del motor, por el contrario mejoran su rendimiento. (Melo, Sánchez, Ferrer, & Ferrer, 2012)

(Broustail, Halter, Seers, Moréac, & Mounaim-Rousselle, 2012), realizó un estudio experimental del uso de mezclas de iso-octano-etanol, en un motor de encendido

por chispa, mono cilíndrico con carburador; trabajando a bajas y medias cargas. El iso-octano fue usado como combustible referencia para realizar las mezclas a 25%, 50%, 75% y 100% en fracción de volumen con alcohol obteniendo los siguientes resultados:

El consumo específico de combustible aumentó en un 60% con la adición de etanol y las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) aumentaron significativamente con la adición del mismo; las emisiones de óxido de nitrógeno (NO_x) se redujeron en pocas proporciones; mientras que se observó una fuerte reducción en la cantidad de hidrocarburos no quemados y gas metano (CH_4) cuando se le adicionó alcohol a la mezcla además se encontró que para el uso de etanol al 100%, los niveles de benceno (C_6H_6) estuvieron casi eliminados por completo. Asimismo, se obtuvo una reducción de los niveles de acetileno (C_2H_2) cuando se usó etanol en la mezcla. Para el caso de la cantidad de formaldehído (CH_2O) emitido, se encontró un pequeño aumento cuando se usó la mezcla con etanol. (Broustail, Halter, Seers, Moréac, & Mounaim-Rousselle, 2012),

En conclusión, el uso de etanol como combustible en motores de encendido por chispa para aplicaciones vehiculares reduce la cantidad de emisiones de gas metano (CH_4); sin embargo, combustionar altos porcentajes de alcohol en las mezclas induce un mayor porcentaje de emisiones de formaldehídos (CH_2O), el cual produce cáncer.

El estudio realizado por (Al-Hasan, 2003) en un vehículo (tipo Toyota-Tercel-3^a) de cuatro cilindros y encendido por chispa de cuatro tiempos con una cilindrada de 1452 cm^3 , una relación de compresión de 9:1 y una potencia máxima de 52kW a 5600 rpm.

Las siguientes conclusiones pueden ser deducidas. 1) El uso de etanol como un aditivo de combustible a la gasolina sin plomo llevan a una mejora en el rendimiento del motor y las emisiones. 2) Resultados de la adición de etanol en un aumento de la potencia al frenado, y el aumento del consumo de combustible en aproximadamente 8,3%, 9,0%, 7% y 5,7% son valores medios respectivamente. 3) El uso de una mezcla de gasolina sin plomo de etanol-conduce a una reducción significativa de las emisiones de escape en alrededor de 46,5% y 24,3% de los valores medios medidos de CO y las emisiones de HC, respectivamente, para todas las velocidades del motor. Por otra parte, las emisiones de CO_2 aumentan en aproximadamente un 7,5%. 4) La mezcla de combustible de etanol al 20% dio los mejores

resultados del rendimiento del motor y las emisiones de escape. 5) La adición del 25% de etanol a la gasolina sin plomo se consigue en el experimento sin problemas durante el funcionamiento del motor. (Al-Hasan, 2003),

(Aakko-Saksa, Rantanen-Kolehmainen, Koponen, Engman, & Kihlman, 2011), realizó un estudio experimental en 3 autos diferente y todos los motores trabajan con encendido por chispa y cuatro cilindros los dos primeros autos son modelos 2010 y el tercero 2006 y cuenta con turbo compresor; el primer auto, cuenta con un sistema de inyección directa (GDI), el segundo auto, posee 16 válvulas y un sistema variable que controla la apertura de las válvulas de admisión (MPFI).

Estos dos autos representan a los autos convencionales, los cuales no son necesariamente compatibles con combustibles que contengan más de 4% m/m% de oxígeno (fracción gravimétrica: 4 % de masa de oxígeno del total de masa del combustible) y el tercer auto, este auto representa a los autos flexibles (Fuel Flexible Car, (FFV)); los cuales toleran combustibles con alto contenido de oxígeno, mayores a 4% m/m%.

Lo derivado en la publicación para el tercer auto (FFV) con el combustible E85 fue una baja cantidad de emisiones de óxidos nitrosos (NO_x), pero un alto contenido de emisiones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos parcialmente quemados y no quemados (HC), esto debido a las características de evaporación del etanol y a la baja temperatura de combustión.

La revisión bibliográfica realizado por (Mariaca, Ladino, & Sarmiento, 2016) acerca del uso de etanol como combustible en motores de combustión interna de encendido provocado establece que el uso de etanol mezclado con gasolina en porcentajes mayores al 20% como combustible no representa una disminución del rendimiento del motor. Además, esta adición sí genera una disminución en las emisiones de CO, CO_2 y HC. No obstante, no se observa una tendencia para las variables de temperatura de gases y NO_x ya que algunos autores reportan disminuciones y otros aumentos de estas variables. La tabla 1.1, presenta los resultados de varias investigaciones realizadas respecto al respecto.

Tabla 1. 1. Resultados de emisiones en MCI-EP operando con diferentes mezclas de etanol - gasolina comparados con gasolina

Mezclas	Comparación respecto a la gasolina						Referencia bibliográfica
	CO	HC	NOx	CO2	Temperatura		
E40y E60	11 ↓	16,45 ↓	↓				Yücesu, H. Topgüli, T. Cinar, C. Okur, M., "Effect of ethanol-gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios," <i>Applied Thermal Engineering</i> , vol. 26, p. 2272-2278, 2006. doi:10.1016/j.applthermaleng.2006.03.006
E5, E10, E20 y E30	10 ↓	10 ↓	↓	5 ↑			Hsieh, W. Chen, R. Wu, T. Lin, T., "Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels," <i>Atmospheric Environment</i> , vol. 36, p. 403-410, 2002.
E25, E50, E75 y E100	53 ↓	12 ↓	↓ 19 ↓	10 ↓			Celik, M., "Experimental determination of suitable ethanol-gasoline blend rate at high compression ratio for gasoline engine," <i>Applied Thermal Engineering</i> , vol. 28, p. 396-404, 2008. doi:10.1016/j.applthermaleng.2007.10.028
E5 y E10					3 a 25 ° ↓		Eyidogan, M. Ozsezen, A. Canakci, M. Turkan, A., "Impact of alcohol-gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine," <i>Fuel</i> , vol. 89, p. 2713-2720, 2010. doi:10.1016/j.fuel.2010.01.032
E100	29 ↓	13,6 ↓	↓				Balki, M. Sayin, C. Canakci, M., "The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine," <i>Fuel</i> , vol. 115, p. 901-906, 2014. doi:10.1016/j.fuel.2012.09.020
E10, E20, E40 y E60	21 ↓	31,45 ↓	↓				Topgüli, T. Yücesu, H. Cinar, C. Koca A., "The effects of ethanol-unleaded gasoline blends and ignition timing on engine performance and exhaust emissions," <i>Renewable Energy</i> , vol. 31, p. 2534-2542, 2006. doi:10.1016/j.renene.2006.01.004
E10 y E20		11 ↓	↓				Zhang, Z. Wang, T. Jia, M. Wei, Q. Meng, X. Shu, G., "Combustion and particle number emissions of a direct injection spark ignition engine operating on ethanol/gasoline and n-butanol/gasoline blends with exhaust gas recirculation," <i>Fuel</i> , vol. 130, p. 177-188, 2014. doi:10.1016/j.fuel.2014.04.052
E100	42 ↓						Hakan, B., "Experimental and theoretical investigation of using gasoline-ethanol blends in spark-ignition engines," <i>Renewable Energy</i> , vol. 30, p. 1733-1747, 2005. doi:10.1016/j.renene.2005.01.006
E25 hasta E27,5	30 ↓			7,5 ↑			Al-Hasan, M., "Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission," <i>Energy Conversion and Management</i> , vol. 44, p. 1547-1561, 2003. doi:10.1016/S0196-8904(02)00166-8

Fuente: (Mariaca, Ladino, & Sarmiento, 2016)

E5 y E10	11	↓			7.5	↑	0.6	↓	1.3°	↓	Oszezen, A. Canakci, M., "Performance and combustion characteristics of alcoholgasoline blends at wide-open throttle," <i>Energy</i> , vol. 36, pp. 2747-2752, 2011. doi:10.1016/j.energy.2011.02.014
E10 y E20	52	↓	19	↓	60	↑					Schifter, I. Diaz, L. Rodriguez, R. Gómez, J.P. Gonzalez, U., "Combustion and emissions behavior for ethanol-gasoline blends in a single cylinder engine." <i>Fuel</i> , vol. 90, p. 3586-3592, 2011. doi:10.1016/j.fuel.2011.01.034
E10, E20, E30 y E85	15	↓	20	↓	15	↓					Costagliola, M.A. De Simio, L. Iannaccone, S. Prati, M.V., "Combustion efficiency and engine out emissions of a S.I. engine fueled with alcohol/gasoline blends," <i>AppliedEnergy</i> .vol.111,p.1162-1171, 2013. doi:10.1016/j.apenergy.2012.09.042
E10 y E30	5,2	↓	14,2	↓	33 4	↓					He, B. Wang, J. Hao, J. Yan, X. Xiao, J., "A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels," <i>Atmospheric Environment</i> , vol. 37, p. 949-957, 2003. doi:10.1016/S1352-2310(02)00973-1
E10, E15, E20, E25 y E30			20,4	↓							Gravalos, I. Moshou, D. Giatalmas, T. Xyradakis, P. Kateris, D. Tsiropoulos, Z., "Emissions characteristics of spark ignition engine operating on lowerhigher molecular mass alcohol blended gasoline fuels," <i>Renewable Energy</i> , vol. 50, pp. 27-32, 2013. doi:10.1016/j.renene.2012.06.033
E5, E10 y E15	35	↓	30	↓	38 4	↓	6,2	4			Ghazikhani, M. Hatami, M. Safari, B. Ganji, D., "Experimental investigation of exhaust temperature and delivery ratio effect on emissions and performance of agasoline-ethanol two-stroke engine," <i>Case Studies in Thermal Engineering</i> , vol. 2, p. 82-90, 2014. doi:10.1016/j.csite.2014.01.001
E5, E10	18 j	↓			13 4	↓	84	↓			Canakci, M. Ozsezen, A. Alptekin, E. Eyidogan, M., "Impact of alcoholgasoline fuel blends on the exhaust emission of an SI engine," <i>Renewable Energy</i> , vol. 52, pp. 111-117, 2013. doi:10.1016/j.renene.2012.09.062
E10, E20, E50 y E85	46	↓	18	↓	14	↓					Karavaliakis, G. Durbin, T. Shrivastava, M. Zheng, Z. Villela, M. Jung, H., "Impacts of ethanol fuel level on emissions of regulated and unregulated pollutants from a fleet of gasoline light-duty vehicles," <i>Fuel</i> , vol. 93, p. 549-558, 2012. doi:10.1016/j.fuel.2011.09.021
E0, E10 y E85	y		20	↓	33	↓					Lee, H. Myung, Ch. Park, S., "Time-resolved particle emission and size distribution characteristics during dynamic engine operation conditions with ethanol-blended fuels," <i>Fuel</i> , vol. 88, p. 1680-1686, 2009. doi:10.1016/j.fuel.2009.03.007

1.3. COMBUSTIBLE PARA MOTORES A GASOLINA

Los combustibles utilizados por los motores de combustión interna alternativos (MCIA), son de tipo líquido derivados del petróleo, debido a su facilidad de almacenamiento y gran densidad energética. Para el caso de los motores de encendido provocado (MEP) la gasolina y para los motores de encendido por compresión (MEC) es el diésel. Para facilitar el proceso de combustión estos combustibles deben poseer características fisicoquímicas y termoquímicas tales como:

Tabla 1. 2. Características fisicoquímicas y termoquímicas de los combustibles

Características fisicoquímicas			Características termoquímicas
Densidad (ρ)	Volatilidad	Flujo en frío	Poder calorífico
Viscosidad y lubricidad (ν)	Presión de vapor	Estabilidad	Dosado estequiométrico
Inflamabilidad (L_i ; L_s)	Entalpia de vaporación	Impurezas	Temperatura adiabática de llama

1.3.1. Características fisicoquímicas de los combustibles

Para la caracterización del combustible es importante conocer las características fisicoquímicas más importantes, a continuación se describen las mismas según (Payri, 2011), para esta investigación se caracterizara la densidad, octanaje y poder calorífico.

a) Octanaje

La definición de Octanaje o número de octano es una medida de la calidad y capacidad antidetonante de las gasolinas para evitar las detonaciones y explosiones en las máquinas de combustión interna, de tal manera que se libere o se produzca la máxima cantidad de energía útil es decir la medida de la resistencia de un combustible a autoencenderse. Diferentes estudios realizados por (Wyman, 1996), (Torres, Molina, Pinto, & Rueda, 2002) “concuenda que para

esta propiedad existe acuerdo total en que aumenta, entre 1 % y 1,5 % por cada 10 % v/v de aumento en el contenido de etanol en la mezcla”, tanto el número de octano de investigación (Research Octane Number su siglas del inglés RON) como el número de octano de motor (Motor Octane Numbe del inglés MON), con respecto a la gasolina. Esto ocurre debido a que el etanol tiene mayores valores que la gasolina para estos dos indicadores, luego al realizar la mezcla el nuevo combustible incrementa un poco el valor en el número de octano, el cual se calcula como el promedio aritmético de RON y MON. $(RON + MON)/2$ (Wyman, 1996)

b) Densidad

Es la masa por unidad de volumen del fluido.

c) Viscosidad y lubricidad

La viscosidad es una medida de la resistencia del fluido al corte cuando el fluido está en movimiento. La lubricidad indica la capacidad lubricante del combustible. Aunque la viscosidad y la lubricidad están relacionadas la primera es una propiedad reológica y la segunda es tribológica.

d) Inflamabilidad

La inflamabilidad está definida por varios parámetros entre los cuales se tiene:

- Límites de inflamabilidad.- existen dos límites el superior e inferior, hacen referencia a la relación de mezcla combustible vaporizada/aire, la que permite el progreso de una llama, si esta relación esta fuera de estos límites la llama se extingue.
- Temperatura de inflamabilidad.- es la mínima temperatura a la que existe peligro de inflamación de un combustible ante la proximidad de un agente exterior, a presión ambiente.
- Temperatura de autoinflamación.- es la mínima temperatura a la que un combustible se autoinflama al entrar en contacto con el aire.

e) Volatilidad

Es la tendencia de un combustible líquido a evaporarse en unas determinadas condiciones, un combustible es más volátil cuanto menor es su temperatura de ebullición.

f) Presión de vapor

Es la presión a la que se establece el equilibrio líquido/vapor. Un líquido es más volátil cuanto mayor es su presión de vapor.

g) Entalpía de vaporación

Es la energía absorbida del ambiente cuando el combustible se evapora, ya que ello puede producir enfriamiento en los sistemas de alimentación e incluso durante la combustión, favoreciendo el apagado de la llama, dificultando el arranque en frío o influyendo sobre la formación de contaminantes.

h) Flujo en frío

Es la tendencia de un combustible a formar cristales, estos cristales aumentan de tamaño a medida que disminuye la temperatura, ya que aumenta la atracción entre los compuestos cerosos formando entre sí aglomerados, lo que pueden dificultar el paso del combustible a través de los sistemas de alimentación e inyección del motor.

i) Estabilidad

Esta propiedad cuantifica la estabilidad del combustible, es decir, su resistencia a la degradación, principalmente durante el almacenamiento, la estabilidad puede ser térmica u oxidativa, siendo esta última la que puede ser más crítica.

j) Impurezas

Entre los parámetros de calidad de un combustible, se cuantifican las impurezas derivadas de los procesos productivos o por la contaminación ocurrida en la distribución o almacenamiento de producto final.

1.3.2. Características termoquímicas de los combustibles

Para la caracterización del combustible es importante conocer las características termoquímicas más importantes, a continuación se describen las mismas según (Payri, 2011).

a) Poder calorífico

Es la energía liberada en forma de calor en la combustión estequiométrica de una unidad de masa de combustible, donde los productos quemados quedan en las mismas condiciones de temperatura y presión que los reactivos iniciales.

b) Dosado estequiométrico

Relación ente la masa de combustible y la masa de aire existente en la cámara de combustión.

c) Temperatura adiabática de llama

Es la temperatura que alcanzan los productos de la combustión, cuando todo el calor de la reacción se invierte en calentar dichos productos, es decir, el proceso de combustión se realiza de forma adiabática.

1.3.3. Bioetanol

El bioetanol, conocido como etanol o alcohol etílico, cuya fórmula química es C_2H_6O proveniente de la caña de azúcar, ha sido ampliamente utilizado como combustible

o como potenciador de la gasolina ya que mejora la oxidación de los hidrocarburos y con ello la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. El bioetanol utilizado como combustible data desde el año 1980, en la actualidad se cuentan con tecnologías rentables y probadas comercialmente, tanto para la producción a nivel industrial (la molienda seca, la molienda húmeda, procesamiento de los materiales lignocelulósicos, producción de etanol a partir de la biomasa) y para su uso como combustible (flex-fuel, E5, E10 – E100). La figura 1.5, presenta la distribución de los átomos que lo conforman.

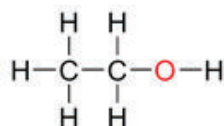


Figura 1. 5. Distribución atómica del etanol.

Fuente: (Darrell D. Ebbing, 2010)

1.3.3.1. Propiedades del etanol

En la tabla 1.3, se especifican los requisitos que debe cumplir el etanol anhidro según la norma NTE INEN 2 478:2009.

Tabla 1. 3. Propiedades del alcohol industrial anhidro (etanol).

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Φ Contenido de etanol	%	96,3	-----	ASTM D 5501
Acidez total (Como ácido acético)	mg/100ml***	-----	3	NTE INEN 341
Conductividad eléctrica	μS/m	-----	500	ASTM D 1125
Densidad a 20 °C	kg/m3	-----	791,5	ASTM D 4052
Contenido de Cloruros	mg/l	-----	32	ASTM D 512*
Φ Contenido de agua	%	-----	0,3	ASTM E 203
Contenido de cobre	mg/kg	-----	0,1	ASTM D 1688**
Residuo por evaporación	mg/100ml	-----	5	ASTM 381
pHe		6,5	9	ASTM D 6423
Φ Contenido de desnaturizantes	%	2	3	ASTM D 6729
*. Utilizar el método C modificado **. Utilizar el método A modificado ***. El etanol anhidro grado carburante desnaturizado puede contener aditivos tales como inhibidores de corrosión y detergentes que pueden afectar la acidez titulable (acidez expresada como ácido acético) del etanol anhidro grado carburante terminado. Es posible que el etanol anhidro grado carburante cumpla con las especificaciones de acidez, pero el efecto de estos aditivos puede producir una aparente acidez titulable alta en el producto desnaturizado. Si existe alguna inquietud al respecto se debe verificar que el etanol anhidro cumpla con los requisitos de acidez del numeral 6.1.2.				

Fuente: (INEN, 2009)

1.3.4. Gasolina

La gasolina es una mezcla de varios hidrocarburos, que en general se evaporan o hierven a bajas temperaturas en comparación con otros hidrocarburos. Se requiere que la gasolina no detone antes de que la dispere una chispa eléctrica debidamente controlada por lo que sus características de ignición son muy importantes. El octanaje es una escala que permite tener una idea de cómo una gasolina puede comportarse durante la combustión. Un octanaje de 100 quiere decir que la gasolina tiene características de ignición equivalentes a las del 2-2-4 trimetilpentano (C_8H_{18}) el que sería el combustible óptimo para los motores de ciclo Otto, y el menos deseable uno con octanaje cero, tal como el n – heptano, C_7H_{16} (Rolle, 2006). Las gasolinas están conformadas por la unión de varios hidrocarburos tales como; alcanos, alquenos, isoalcanos, cicloalcanos, cicloalquenos, y compuestos aromáticos (García J. A., 2006).

1.3.4.1. Propiedades de la gasolina

La tabla 1.4, presenta los requisitos de la gasolina de 87 octanos según la norma NTE INEN 935:2010.

Tabla 1. 4. Características de la gasolina de 87 octanos.

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Número de octano Research	RON *	81,0	---	NTE INEN 2 102
Destilación:				NTE INEN 926
10%	°C	---	70	
50 %	°C	77	121	
90%	°C	---	189	
Punto final	°C	---	215	
Residuo de destilación ϕ_r	%	---	2	
Relación vapor – líquido, a 60°C, V/L	---	---	20	NTE INEN 932 ASTM D 5188
Presión de vapor	kPa ^A	---	56 ^B	NTE INEN 928 ^C ASTM D 4953 ASTM D 5191 ^D
Corrosión a la lámina de cobre (3 h a 50°C)	---	---	1	NTE INEN 927
Contenido de gomas	mg/100 cm ³	---	3,0	NTE INEN 933
Contenido de azufre, W_s	%	---	0,075	NTE INEN 929 ASTM D 4294 ^D
Contenido de aromáticos, ϕ_a	%	---	30,0	NTE INEN 2 252 ^D ASTM 6730

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Contenido de benceno, φ_b	%	---	1,0	ASTM D 3006 ^C ASTM D 5580 ^D ASTM D 6277
Contenido de olefinas, φ_o	%	---	18,0	NTE INEN 2 252 ^D ASTM D 6730
Estabilidad a la oxidación	min	240	---	NTE INEN 934
Contenido de oxígeno, W_{O_2}	%	---	2,7 ^E	ASTM D 4815 ^D ASTM D 5845
Contenido de plomo	mg/l	---	Ver notas ^F y ^G	ASTM D 3237 ASTM D 5185
Contenido de manganeso	mg/l	---	Ver notas ^F y ^H	ASTM D 3831 ASTM D 5185
Contenido de hierro	mg/l	---	Ver notas ^F y ^I	ASTM D 5185

^A 1 kPa ~ 0,01 kgf/cm² ~0,10 N/ cm² ~0,145 kgf/pul
^B En el caso que las gasolinas contengan etanol anhidro la presión de vapor puede llegar hasta 62 kPa
^C Método de ensayo utilizando para combustible gasolina sin plomo
^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 adición 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
*. No existe unidad del SI

Fuente: (INEN, GASOLINA. REQUISITOS, 2012)

1.4. MONITOREO DE LA CALIDAD DE AIRE EN CUENCA

1.4.1. Antecedentes

En el año 2006 la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Cuenca (CUENCAIRE) en un estudio realizado demuestran que en el centro histórico los niveles de contaminación por partículas de diámetro menores a 2.5 micrones, superan la normativa nacional; y con referencia a la emisión de gases, en ciertas zonas no se cumplen los parámetros legales.

La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca opera desde el año 2008. Inicialmente formaba parte de la Corporación Municipal para el mejoramiento del aire de Cuenca (Cuencaire); entidad que también se encargaba de la fiscalización del proceso de Revisión Técnica Vehicular (RTV) en el cantón Cuenca. Cuencaire fue liquidada a finales del año 2010. La operación de la Red de Monitoreo y la

fiscalización de la RTV fueron transferidas a la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV-EP).

La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca cuenta actualmente con 20 puntos de vigilancia, localizados en diferentes sitios de la ciudad como se indica en la Figura 1.6, que cumplen con las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA).

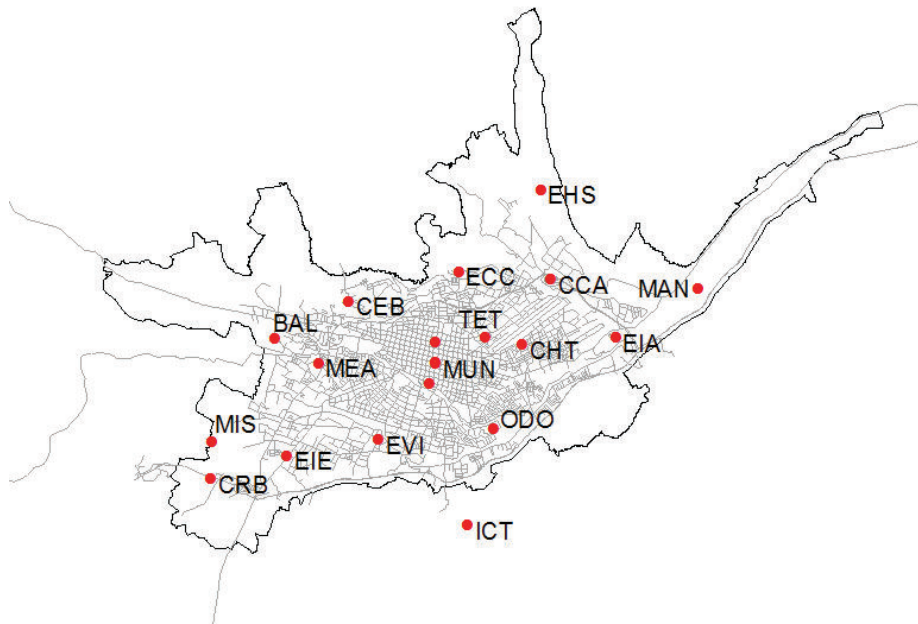


Figura 1. 6. Localización de las estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca

Fuente: (Espinoza & Parra, 2014)

Posee una estación automática que registra en tiempo real las concentraciones de CO, SO₂, NO₂, O₃ y MP2.5, además tiene una subred de monitoreo pasiva con 20 estaciones en la cual se mide las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos, a través de la técnica pasiva se basa en el principio de difusión de los gases originada en un gradiente de concentración.

1.4.2. Calidad del aire en el cantón Cuenca

De acuerdo al último inventario de emisiones del cantón Cuenca, elaborado con año base 2011 (EMOV EP, 2014), las fuentes más importantes de emisión por contaminante por el tráfico vehicular se indica en la tabla 1.5.

Tabla 1. 5. Aporte de la contaminación por tráfico vehicular en Cantón Cuenca

Gas contaminante	Tráfico vehicular
Monóxido de carbono (CO)	91.9%.
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	76.4%,
Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVNM)	34.4%,
Dióxido de azufre (SO ₂):	30.2%,
Material particulado fino (MP2.5):	42,7%
Material particulado fino (MP10):	39.9%,

Fuente: (Espinoza & Parra, 2014)

En la zona urbana de Cuenca el tráfico vehicular es la fuente más importante de emisión contaminante a la atmosfera. La revisión técnica vehicular (RTV) vigente en el Cantón Cuenca desde el año 2008 tiene como objeto controlar que las emisiones del parque vehicular cumplan con los límites que establece la Legislación Nacional. De acuerdo con los registros de la RTV en la tabla 1.6, se indica el número de vehículos que han aprobado la RTV.

Tabla 1. 6. Número de vehículos que aprobaron la RTV en Cuenca durante periodo 2008-2014

Año	Vehículos aprobado RTV
2008	9261
2009	35 937
2010	83 706
2011	89 840
2012	95 337
2013	102202
2014	106085

Fuente: (Espinoza & Parra, 2014)

1.5. NORMATIVA DE EMISIONES CONTAMINANTES POR FUENTES MÓVILES

1.5.1. Normativa nacional

Para reducir los niveles de emisiones de los vehículos, existen varios marcos de legislación establecidos por los países de América, Europa y Asia. Las normas y reglamentos de emisiones contaminantes establecen requisitos, propiedades y características técnicas que contribuyen al mejoramiento de la calidad y protección hacia el medio ambiente, cumpliendo con los procedimientos establecidos para las diferentes fuentes de contaminación en este caso las móviles como los vehículos para ingresar, registrar y operar, dentro del Sistema Nacional de Transporte Terrestre.

Normas locales

Todos los vehículos que sirvan para el transporte de personas y bienes dentro del país y específicamente en el Distrito Metropolitano de Quito, tienen que cumplir con las normas ambientales y técnicas establecidas.

Dentro de las normas se destacan las siguientes:

a) NTE INEN 2 204:2002-1R

Gestión Ambiental – Aire. Vehículos automotores, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres a gasolina.

El objetivo de esta norma establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de gasolina. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de gasolina. Toda fuente móvil de gasolina que se importe o se ensamble en el país debe emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxido de nitrógeno (NO_x) y emisiones evaporativas, en cantidades no superiores a las indicadas en las tablas 1.7 y 1.8.

Tabla 1. 7. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralenti (prueba estática)

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

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

Tabla 1. 8. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica)* a partir del año 2000 (ciclos americanos)

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado kg	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	Ciclos de prueba	Evaporativas g/ensayo SHED
Vehículos livianos			2,1	0,25	0,62	FTP 75	2
Vehículos medianos	=< 3860	= < 1700	6,2	0,5	0,75		2
		1700 - 3860	6,2	0,5	1,1		2
Vehículos pesados**	> 3860 = < 6350		14,4	1,1	5,0	Transiente pesado	3
	> 6350		37,1	1,9	5,0		4

*. Prueba realizada a nivel del mar
 **. En g/bHP-h(gramos/brake horse power – hora)

1.5.2. Normativa internacional

- Normativa venezolana.- estable los límites máximo permitidos de emisiones en ralenti y cuando se evalúe bajo los procedimientos de utilización del ciclo europeo de medición establecidos en la Directiva 93/59/EEC.
- Norma Oficial Chilena.- establece normas de emisión aplicables a vehículos motorizados pesados.
- Normas EURO V y EURO VI.

1.5.2.1. Norma venezolana DECRETO N° 2673

La norma venezolana establece que a partir del 1 de enero del año 2000, toda fuente móvil con motor a gasolina en servicio, debe cumplir con los límites de emisión para monóxido de carbono (CO), e hidrocarburos (HC), indicados en la tabla 1.9 y 1,10 de este decreto, en condiciones de ensayo de marcha mínima o ralenti y bajo los

procedimientos de utilización del ciclo europeo de medición establecidos en la Directiva 93/59/EEC (ADAN, 1998).

Tabla 1. 9. Límites de emisiones para fuentes móviles a gasolina y diésel en ralentí

Año modelo	PESO BRUTO VEHICULAR (kg)	% CO*	Ppm HC**
2000 y siguientes	< 3500	1,2	220
	≥ 3500	3,0	300
1990 - 1999	Todos	4,5	650
Anteriores a 1990	Todos	7,0	1000
* % (porcentaje en volumen).			
** ppm (partes por millón en volumen)			

Fuente: (ADAN, 1998)

Tabla 1. 10. Límites de emisiones establecidos según el ciclo europeo de medición

VEHÍCULO	REFERENCIA	g/km*		
		CO	HC + NOx	PM (1)
M (2)	Todos	2,72	0,97	0,14
	≤ 1200	2,72	0,97	0,14
N, (3), N, (4)	> 1250 ≤ 1700	5,17	1,4	0,19
	> 1700	6,9	1,7	0,25
* . g/km (gramos por kilómetro)				
(2) excepto:				
Vehículos diseñados para transportar más de seis (6) pasajeros incluyendo al conductor. Vehículos cuyo peso máximo exceda los 2.500 kg.				
(3) Incluye aquellos vehículos de la categoría M especificados en la nota 2 anterior.				
(4) Sólo para vehículos equipados con motores Diesel cuyo peso de referencia sea menor o igual 2.840 kg.				

Fuente: (ADAN, 1998)

1.5.2.2. Norma Oficial Chilena

En las tablas 1.11 y 1.12 se presentan los límites de emisión para motores que trabajan con etanol y con gasolina respectivamente según la normativa chilena.

Tabla 1. 11. Límites de emisiones contaminantes para vehículos livianos normativa chilena con etanol

CATEGORÍA	Peso bruto vehicular (kg) GVWR	Peso neto de marcha *(kg)	Durabilidad (mi)	Emisiones de escape (g/km)			HCHO (mg/km)
				CO	NO _x	NMOG	
Vehículos livianos de pasajeros	Hasta 12 pasajeros		50.000	2.11	0.087	0.062	9.32
			120.000	2.61	0.124	0.078	11.19
Vehículos livianos tipo 1	<2700	<=1700	50.000	2.11	0.087	0.062	9.32
			120.000	2.61	0.124	0.078	11.19
Vehículos livianos tipo 2	<2700	>1701	50.000	2.11	0.087	0.062	9.32
			120.000	2.61	0.124	0.078	11.19

*Peso en vacío +136kg (LVW)
 *HCHC= formaldehído
 *NMOG= Gases orgánicos que no contiene Metano

Tabla 1. 12. Límites de emisiones contaminantes para vehículos livianos motor a gasolina normativa chilena

CATEGORÍA	Peso bruto Vehicular (kg) GVWR	Peso neto de Marcha* (kg)	Emisiones de escape g/km		
			CO	HCT	NO _x
Vehículos livianos de pasajeros	<2700	Todas	1.00	1.1	0.08
Vehículos comerciales livianos 1	<2700	<=1305	1.00	0.1	0.08
Vehículos comerciales livianos 2	<2700	>1305 y <=1760	1.81	0.13	0.1
Vehículos comerciales livianos 3	<2700	>1760	2.27	0.16	0.11

*Peso en vacío +100kg (masa de referencia)

1.5.2.3. Normas EURO

La norma EURO fija los valores límite de las emisiones de gases de combustión de los vehículos nuevos vendidos en los Estados Miembros de la Unión Europea. Las normas de emisión se definen en una serie de directivas de la Unión Europea. Actualmente, las emisiones de Hidrocarburos (HC), Monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), y partículas están reguladas para la mayoría de los tipos de vehículos, incluyendo automóviles, camiones, trenes, tractores y máquinas

similares, barcazas, pero excluyendo los barcos de navegación marítima y los aviones. Para cada tipo de vehículo se aplican normas diferentes

La implantación en el tiempo ha sido progresiva partiendo de la norma EURO I hasta la actualidad la EURO VI ver tabla 1.13, que son cada vez más restrictivas y exigentes así se tienen valores de la norma Euro VI (a partir de 2014) para la industria del automóvil.

Tabla 1. 13. Normas EURO a las emisiones

	Valido a partir de	CO (g/Km)	HC(g/Km)	NO _x (g/Km)	HC + NO _x (g/Km)	PM
Euro I	12/92	2.72	-	-	0.97	-
Euro II	01/97	2.20	-	-	0.5	-
Euro III	01/00	2.30	0.20	0.15	-	-
Euro IV	01/05	1.00	0.10	0.08	-	-
Euro V	09/09	1.00	0.10	0.06	-	0.005*
Euro VI	08/14	1.00	0.10	0.06	-	0.005*

*con inyección directa

1.6. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

En el presente estudio se evalúa, la potencia, torque, el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del motor de combustión interna, a continuación se presentan el fundamento teórico de estos parámetros.

1.6.1. Potencia efectiva, par motor, presión de combustión

El motor de gasolina, basa su funcionamiento en el ciclo Otto, cuyo diagrama presión volumen se indica en la figura 1.7, en el que se desarrollan, “dos procesos isoentrópicos correspondientes a la compresión (1 – 2) y a la expansión (3 – 4) respectivamente y dos proceso a volumen constante, uno correspondiente al aporte de calor (2 – 3) Q_q , y el otro la cesión de calor (4 – 1) Q_v ” (Payri, 2011).

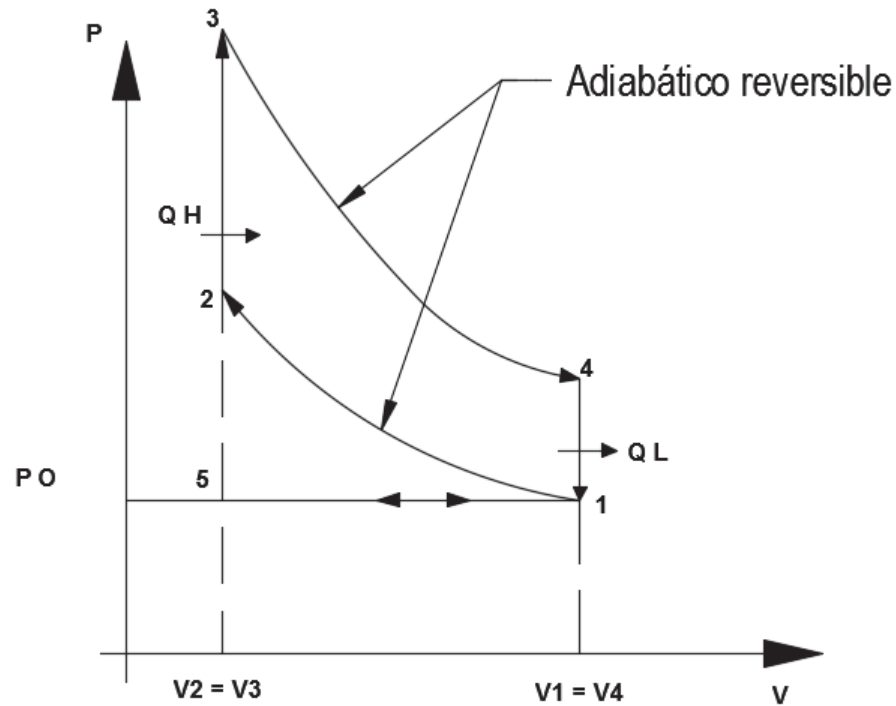


Figura 1. 7. Ciclo Otto.

Fuente: (Payri, 2011)

1.6.1.1. Potencia efectiva

“La potencia efectiva es la potencia que el motor puede proporcionar a la salida del cigüeñal, esta potencia es menor que la potencia indicada, ya que el motor consume potencia en el rozamiento del pistón, en el accionamiento de los sistemas auxiliares, etc.” (Payri, 2011).

La potencia efectiva se calcula con la ecuación 1.1.

$$N_e = p_{me} * V_T * n * i \quad (1.1)$$

Donde:

p_{me} = Presión media efectiva (Bar)

V_T = Volumen total del motor (cm^3)

n = Revoluciones del motor (rpm)

i = Número de ciclos por revolución

N_e = potencia efectiva (kW)

1.6.1.2. Presión media efectiva

La presión media efectiva es una presión constante que durante la carrera de expansión produciría un trabajo igual al trabajo efectivo (Payri, 2011). La presión media efectiva resulta de hallar la media de la presión existente dentro del cilindro durante el tiempo de combustión y expansión, de forma que se puede suponer que sobre el pistón actúa una presión media uniforme durante la carrera de expansión figura 1.8 (Sanz, 2011).

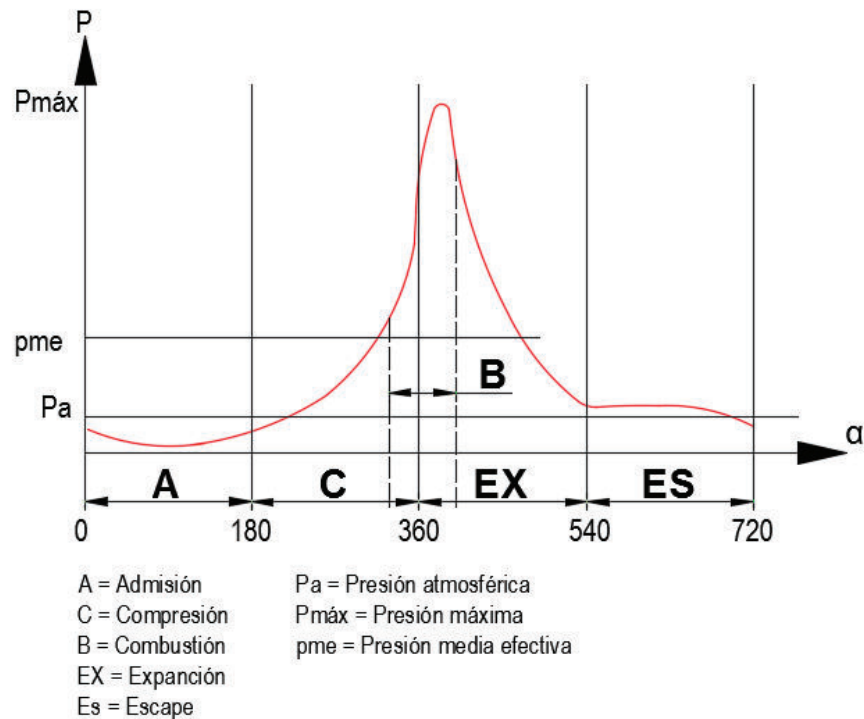


Figura 1. 8. Presión media efectiva.

Fuente: (Sanz, 2011)

La presión media efectiva se calcula con la ecuación 1.2.

$$pme = \frac{W_e}{V_T} = \frac{N_e}{i * n * V_T} \quad (1.1) \quad (1.2)$$

Donde:

$$W_e = \text{Trabajo efectivo} \quad (\text{J})$$

1.6.1.3. Par motor

El par motor es el para mecánico que el motor ejerce por medio de su eje hacia el exterior, este parámetro es de especial interés pues indica la capacidad tractora que otorga el motor a los dispositivos de arrastre, e indica asimismo la capacidad de aceleración. (Payri, 2011).

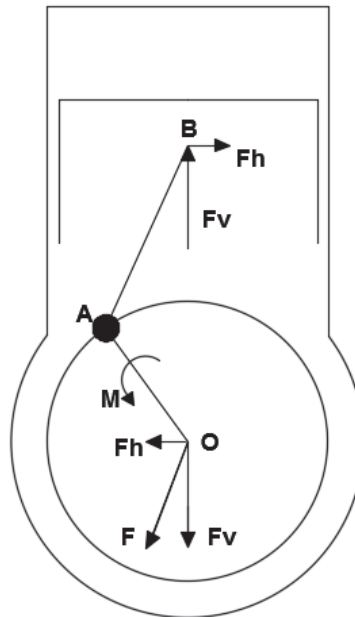


Figura 1. 9. Par motor.

Fuente: (Payri, 2011)

El par motor se calcula con la ecuación 1.3.

$$M_e = \frac{N_e}{\omega} = \frac{N_e}{2\pi * \frac{n}{60}} \quad (1.3)$$

Donde:

M_e = Para motor (Nm)

ω = Velocidad angular (rad/s)

1.6.1.4. Consumo específico

El consumo específico se define como el consumo horario de combustible en relación a la potencia producida (Payri, 2011). El consumo específico se determina con la ecuación 1.4.

$$g_{ef} = \frac{\dot{m}_f}{N_e} \quad (1.4)$$

Donde

g_{ef} = Consumo específico de combustible (g/kWh)

\dot{m}_f = Gasto másico de combustible (kg s^{-1})

N_e = Potencia efectiva (W)

El consumo de combustible habitualmente se mide en litros por kilómetro, esta unidad de medida tiene una correlación directa con el consumo específico, incluyendo la densidad por estar dando el valor referido al volumen de combustible.

1.6.1.5. Presión de combustión

El proceso de combustión en un MEP se inicia tras el salto de una chispa eléctrica dentro de un volumen de mezcla aire combustible, esto provoca la inflamación y quemado de esta mezcla, incrementándose la presión y temperatura dentro del cilindro. “El proceso de combustión de un MEP se desarrolla en tres fases, donde la primera fase (F1) corresponde a la frontera del volumen de combustible quemado, la que se propaga hacia el resto de la mezcla sin quemar, el tamaño de la región quemada va creciendo y el efecto de la combustión empieza a percibirse en la cámara de combustión; esta fase se inicia desde el salto de la chispa de la bujía hasta el momento en el que la llama establecida comienza a liberar energía a partir de la fracción de mezcla, esta fase llega a su fin cuando la presión de la mezcla se eleva por encima de la presión de compresión” (Torres, 2005). En la segunda fase (F2) se inicia una combustión mucho más rápida, debido a que se incrementa el frete de llama, mayores temperaturas en la mezcla sin quemar e

incremento de la velocidad de combustión, por lo que la presión crece de manera muy sensible. Durante esta fase se quema la mayor parte del combustible y finaliza cuando el frente de llama se acerca a las paredes de la cámara de combustión con lo que disminuye su propagación. La tercera fase (F3) corresponde a la parte final del proceso de combustión la misma que finaliza cuando toda la mezcla se ha quemado. En la figura 1.10, se indica la curva de evolución de la presión dentro del cilindro durante el proceso de combustión y sus respectivas fases (Payri, 2011).

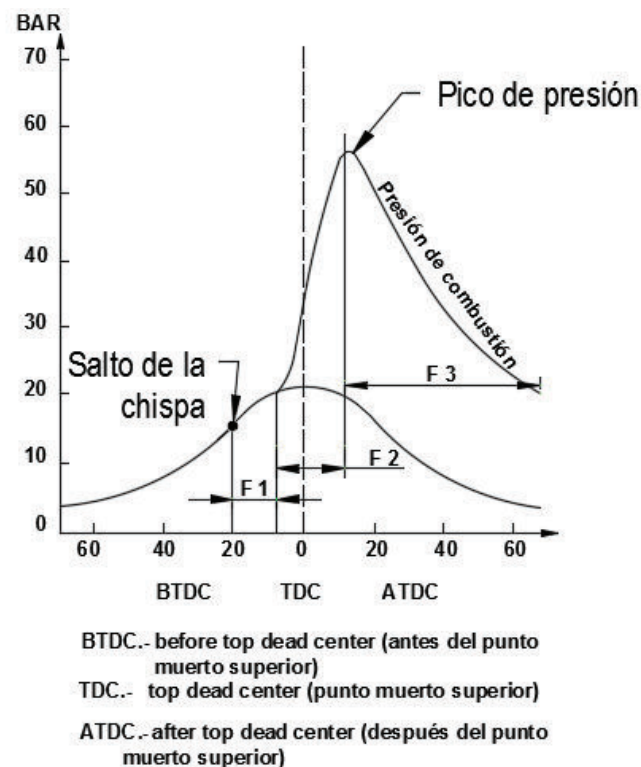


Figura 1. 10. Fases del proceso de combustión de un MEP.

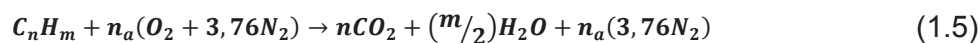
Fuente: (Torres, 2005)

1.6.2. Combustión

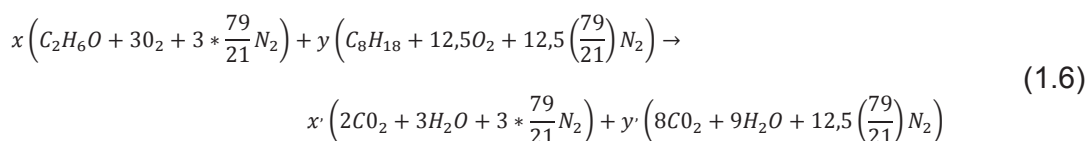
Los motores de combustión interna pueden operar con distintos tipos de procesos de combustión, de tal forma que en determinadas situaciones el control del proceso es debido a los aspectos químicos del proceso de combustión que en este caso son más lentos que los fenómenos físicos, mientras que en otras ocasiones se invierte completamente .

1.6.2.1. Combustión estequiométrica

La estequiometria es el cálculo de las reacciones cuantitativas entre los reactantes (oxígeno y combustible) y los productos de la combustión. “El balance de estas reacciones depende únicamente de la conservación de la masa de cada una de las especies químicas que intervienen en la reacción” (Payri, 2011). La ecuación 1.5, representa el proceso de combustión completa de un hidrocarburo.



Dado que para este estudio el motor trabaja con un combustible constituido por etanol anhidro y gasolina, entonces en la ecuación 1.5, se introduce la nueva especie química que es el etanol anhidro y las variables que representan los porcentajes de contenido de los dos componentes. La ecuación 1.6, representa el proceso de combustión completo para este combustible a base de etanol anhidro y gasolina.



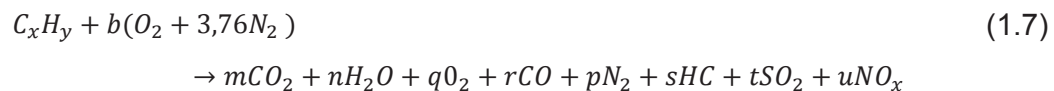
Donde

- x = Porcentaje de etanol anhidro (%)
- C_2H_6O = Etanol anhidro
- C_8H_{18} = Gasolina
- y = Porcentaje de gasolina (%)
- x' = Porcentaje de los productos por la combustión del etanol anhidro (%)
- y' = Porcentaje de los productos por la combustión de la gasolina (%)

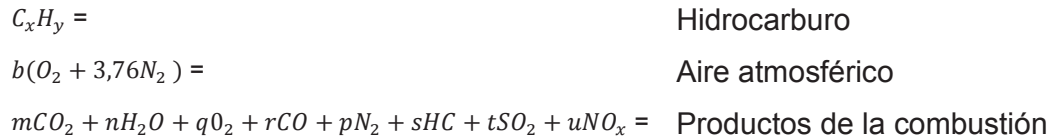
1.6.2.2. Combustión real

En la combustión incompleta del carbono de un combustible, este reacciona según la ecuación $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$. En estas reacciones el oxígeno tiene mayor facilidad de combinarse con el hidrógeno que con el carbono, con lo que todo el hidrogeno

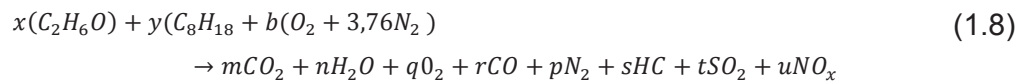
se convierte en agua (Sánchez, 2003). Dado que el proceso de combustión se desarrolla en tiempos cortos, grandes velocidades de propagación de llama etc; razones que provocan que los productos no sean exclusivamente CO_2 , H_2O y N_2 , sino también CO , O_2 , hidrocarburos no combustionados (HC), SO_x , NO_x . La ecuación 1.7, representa un modelo de la combustión incompleta de un hidrocarburo.



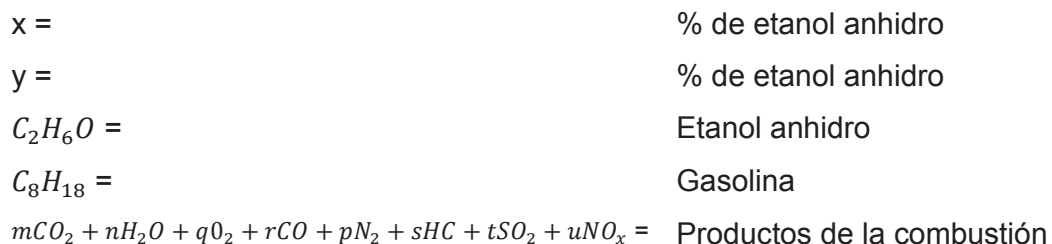
Donde



Y para un combustible constituido por etanol anhidro y gasolina la ecuación 1.8, representa el modelo de su combustión.



Donde



1.6.2.3. Relación estequiométrica

La relación estequiométrica (ecuación 1.9) es la relación entre la masa de aire y la masa de combustible necesarios para la combustión completa.

$$\frac{A}{C} = \frac{\text{masa de aire}}{\text{masa de combustible}} \quad (1.9)$$

El cálculo de la masa de combustible se obtiene con la ecuación (1.10), (1.11) y (1.13) las que determinan; la masa de etanol, la masa de gasolina y la masa total de combustible respectivamente.

Masa del etanol (m_e)

$$m_e = x(C_2H_6O) \quad (1.10)$$

Masa de gasolina (m_g)

$$m_g = y(C_8H_{18}) \quad (1.11)$$

Masa total de combustible (m_{EX}).

$$m_{EX} = m_e + m_g \quad (1.12)$$

El cálculo de la masa de aire se obtiene con la aplicación de la ecuación (1.13).

Masa de aire (m_{air})

$$m_{air} = x \left(2CO_2 + 3H_2O + 3 * \frac{79}{21} N_2 \right) + x \left(8CO_2 + 9H_2O + 12,5 \left(\frac{79}{21} \right) N_2 \right) \quad (1.13)$$

Donde

$m_e =$	Masa del etanol (kg)
$m_g =$	Masa gasolina (kg)
$m_{EX} =$	Masa total de combustible (kg)
$m_{air} =$	Masa de aire (kg)

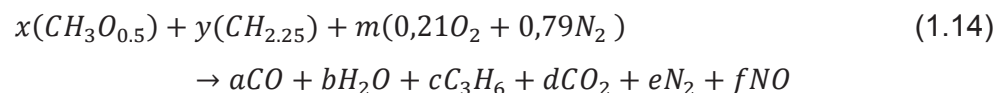
Para determinar la relación estequiométrica se reemplazan los pesos moleculares de cada componente químico tabla 1.14, tanto del combustible como del aire necesario para la combustión; en las ecuaciones 1.10; 1.11; 1.12 y 1.13.

Tabla 1. 14. Peso molecular de los componentes del combustible

Peso molecular		
Denominación	Símbolo	Peso molecular (g/mol)
Carbono	C	12
Hidrógeno	H	1
Oxígeno	O	16
Nitrógeno	N	14

1.6.3. Combustión método simplificado

El método simplificado permite la obtención de los factores de emisión de un motor de combustión interna; este método consiste en aplicar un modelo de la combustión de un hidrocarburo, que para el caso de este estudio se debe incluir al etanol anhidro, este modelo se representa en la ecuación 1.14.



Donde

x = Etanol anhidro (%)

y = Gasolina (%)

m, a, b, c, d, e, f = Coeficientes estequiométricos

La solución de este modelo requiere de ecuaciones complementarias, las se obtienen del balance del número de átomos, las mismas que se representa a continuación.

Tabla 1. 15. Balance de número de átomos

Elemento	Reactante	Productos
Carbono	$N =$ N = átomos molécula etanol + átomos molécula gasolina	$a + 3c + d$
Hidrógeno	$5,25 =$	$2b + 6c$
Oxígeno	$0,42m =$	$a + b + 2d + f$
Nitrógeno	$1,58m =$	$2e + f$

Los coeficientes estequiométricos se determinan mediante el análisis volumétrico de emisión de gases durante el ciclo de conducción.

Considerando que el CO_2 , es el gas predominante en los productos, se establece las relaciones de los demás productos con respecto a este gas, cuyas relaciones se determinan con las ecuaciones 1.15; 1.16; 1.17.

$$R_{CO} = \left(\frac{\% CO}{\% CO_2} \right) = \frac{a}{d} \quad (1.15)$$

$$R_{HC} = \left(\frac{\% HC}{\% CO_2} \right) = \frac{c}{d} \quad (1.16)$$

$$R_{NO} = \left(\frac{\% NO}{\% CO_2} \right) = \frac{f}{d} \quad (1.17)$$

Donde

R_{CO} = Razón de CO con respecto al CO_2

R_{HC} = Razón de HC con respecto al CO_2

R_{NO} = Razón de NO con respecto al CO_2

De las ecuaciones 1.15, 1.16 y 1.17, se obtienen los coeficientes estequiométricos para el CO, HC y los NO.

$$a = d * R_{CO} \quad (1.18)$$

$$c = d * R_{HC} \quad (1.19)$$

$$f = d * R_{NO} \quad (1.20)$$

Reemplazando estas relaciones en las ecuaciones de los balances atómicos se tiene.

$$d = \frac{N}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \quad (1.21)$$

1.6.3.1. Factores de emisión máxicos

Los factores de emisión máxicos están dados por la relación entre la masa de contaminante y la masa de combustible consumido.

$$F_{CO\text{ máxico}} = a * \frac{MW_{CO}}{MW_{\text{combustible}}} \quad (1.22)$$

$$F_{HC\text{ máxico}} = c * \frac{MW_{HC}}{MW_{\text{combustible}}} \quad (1.23)$$

$$F_{NO\text{ máxico}} = f * \frac{MW_{NO}}{MW_{\text{combustible}}} \quad (1.24)$$

Donde

$F_{CO\text{ máxico}}$ = Factor máxico de emisión de CO (g/kg_{combustible})

$F_{HC\text{ máxico}}$ = Factor máxico de emisión de HC (g/kg_{combustible})

$F_{NO\text{ máxico}}$ = Factor máxico de emisión de NO (g/kg_{combustible})

Al reemplazar los coeficientes estequiométricos del CO, HC, NO, (representados por a, b, c) en las ecuaciones 1.22, 1.23, 1.24, se tiene las ecuaciones 1.25, 1.26,

1.27, con las que se determinan los factores másicos de emisión para el CO, HC y NO.

$$F_{CO\text{másico}} = \frac{N * R_{CO}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{CO}}{MW_{combustible}} \quad (1.25)$$

$$F_{HC\text{másico}} = \frac{N * R_{HC}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{HC}}{MW_{combustible}} \quad (1.26)$$

$$F_{NO\text{másico}} = \frac{N * R_{NO}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{NO}}{MW_{combustible}} \quad (1.27)$$

1.6.3.2. Peso molecular del combustible

La masa molecular de una sustancia es la suma de las masas atómicas de cada uno de sus átomos. La masa molar de una sustancia expresada en unidades de masa atómica se llama peso molecular (Peña & Céspedes, 2007).

$$MW_{combustible} = x(C_2H_6O) + y(C_8H_{18}) \quad (1.28)$$

Para el C_8H_{18} , el equivalente es $CH_{2.25}$ y para el C_2H_6O , el equivalente es $CH_3O_{0.5}$, con lo que la ecuación 1.28 se puede escribir de la siguiente manera.

$$MW_{combustible} = x(CH_3O_{0.5}) + y(CH_{2.25}) \quad (1.28)$$

Reemplazando los pesos atómicos detallados en la tabla 1.13, en la ecuación 1.28, se tiene el peso molecular del combustible constituido por etanol y la gasolina.

$$MW_{combustible} = x \left(0,023 \frac{kg_{combustible}}{mol_{combustible}} \right) + y \left(0,01425 \frac{kg_{combustible}}{mol_{combustible}} \right) \quad (1.29)$$

Donde

x = etanol (%)

y = gasolina (%)

1.6.3.3. Factores de emisión en gramos/kilómetro

Conociendo la densidad del combustible (ρ , kg/m³), el consumo de combustible en una distancia recorrida ($C_{combustible}$, m³/km), se pueden obtener los factores de emisión en gramos de contaminante por kilómetro recorrido (Freire & Loza, 2013). Los factores de emisión para el CO, HC y NO, se determinan mediante el producto de los factores de emisión másicos, la densidad del combustible y el consumo de combustible.

$$F_{CO} = F_{CO\text{másico}} * \rho_{combustible} * C_{combustible}$$

$$F_{HO} = F_{HC\text{másico}} * \rho_{combustible} * C_{combustible}$$

$$F_{NO} = F_{NO\text{másico}} * \rho_{combustible} * C_{combustible}$$

Donde:

F_{CO} = Factor de emisión de CO (g/km)

F_{HO} = Factor de emisión de HC (g/km)

F_{NO} = Factor de emisión de NO (g/km)

Al reemplazar los valores de los factores másicos de emisión en las ecuaciones anteriores, se tienen las ecuaciones 1.33, 1.34, 1.35, con las que se determinan los factores de emisión en g/km.

$$F_{CO} = \frac{N * R_{CO}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{CO}}{MW_{combustible}} * \rho_{combustible} * C_{combustible} \quad (1.30)$$

$$F_{HO} = \frac{N * R_{HC}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{HC}}{MW_{combustible}} * \rho_{combustible} * C_{combustible} \quad (1.31)$$

$$F_{NO} = \frac{N * R_{NO}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{NO}}{MW_{combustible}} * \rho_{combustible} * C_{combustible} \quad (1.32)$$

CAPÍTULO II

DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1. PLANEACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Es frecuente en la investigación situaciones en las que se cuenta con observaciones de diversas variables y es razonable pensar en una relación entre ellas. Los análisis de los resultados buscan de manera previa observar que factores influyen sobre las propiedades de las variables de respuesta y poder determinar si existe relación entre variables de estudio, es de sumo interés y también responder con criterio estadístico a cuestiones acerca de la relación de una variable con otra.

Para la construcción de un modelo que represente la dependencia lineal de una variable respuesta (Y) como en este caso la potencia, torque, consumo de combustible y gases contaminantes del motor de combustión interna, respecto a otra variable explicativa (X) las diferentes mezclas (E25, E50, E75, E100), son modelos respuesta de interés y no son más que modelos estadísticos que explican la dependencia de una variable Y respecto a una o varias variables cuantitativas X.

2.1.1. Objetivo

Evaluar el comportamiento en potencia, torque, emisiones de escape (CO; CO₂, HC, NO_x) y presión de combustión, del motor de ciclo Otto del vehículo Hyundai Getz 1,4 litros con sistema de inyección electrónica MPFI, funcionando con combustibles (E0, E25, E50, E75, E100) etanol anhidro y gasolina de 86.5 octanos.

2.1.2. Descripción del estudio

Para el desarrollo de este estudio el motor del vehículo Hyundai Getz 1,4 litros, es alimentado con la mezcla etanol anhidro – gasolina de 86.5 octanos, para lo cual se utiliza un equipo de suministro de combustible externo, con lo que se evalúa el

comportamiento del motor en potencia, torque, emisiones de escape y presión de combustión, para lo cual se aplican métodos de análisis de datos, métodos para el desarrollo de las pruebas y se utilizan equipos debidamente normalizados y calibrados. La figura 2.1, indica el esquema del estudio.

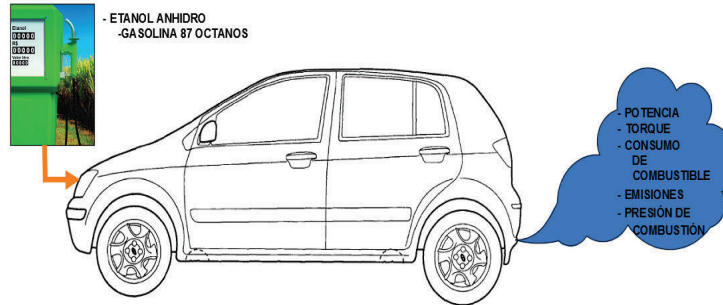


Figura 2. 1. Esquema del estudio.

2.2. METODOLOGÍA APLICADA

Para asegurar el correcto desarrollo del estudio, se aplica la metodología de mejoramiento continuo basado en las 5 M, ya que esta permite reducir los costes y aumentar la eficiencia en la producción, ya sea de bienes o para el desarrollo de un experimento. El método de las 5 M es un sistema de análisis estructurado que tiene cinco pilares fundamentales, alrededor de los cuales giran las posibles causas de un problema. Este método consiste en las siguientes etapas:

- Maquinaria (machine).
- Método (method).
- Mano de obra (manpower).
- Material (material).
- Medio ambiente (middle).

A continuación se describen cada una de estas etapas para la aplicación de la presente investigación.

2.2.1. Maquinaria

Dentro de la maquinaria o equipo para el desarrollo de esta investigación se emplea lo siguiente:

- El Vehículo.
- El equipo externo de suministro de combustible.
- Insumos y materiales utilizados para la preparación del combustible con diferentes concentraciones de etanol anhidro en la gasolina de 86.5 octanos.
- Los equipos para la medición de los parámetros de funcionamiento del motor (potencia, torque, consumo de combustible, emisiones contaminantes y presión de combustión).

A continuación se describen las características técnicas de cada equipo.

2.2.1.1. Vehículo Hyundai Getz 1,4 litros

Las pruebas se realizan en un vehículo marca Hyundai modelo Getz 1,4 litros, año 2011, en la tabla 2.1, se describen sus características técnicas.

Tabla 2. 1. Datos técnicos del vehículo

Característica	Dato
Tipo de carrocería.	Sedan 5 puertas
Tipo de motor.	En línea DOHC
Tipo de aspiración	Atmosférico
Número de cilindros.	4
Diámetro/carrera.	71,5mm/83,5mm
Cilindrada total.	1341 cm ³
Relación de compresión.	9,5
Orden de encendido.	1 – 3 – 4 – 2
Distribución.	4 válvulas por cilindro/dos árboles de levas
Presión de compresión.	220 psi
Sistema de alimentación de combustible.	Inyección electrónica indirecta
Tipo de combustible.	Gasolina
Potencia máxima.	72 kW 6000 rpm
Par motor.	125 Nm a 3200 rpm
Sistema de inyección.	MFI
Peso de la carrocería.	1077 kg
Sistema de control de emisiones	Convertidor catalítico
Datos de afinamiento del motor	
Holgura de válvulas.	(levantadores hidráulico)
Velocidad de ralentí.	700 ± 100 rpm
Avance de encendido.	BTDC 5° ± 5°
Calibración de las bujías.	1,0 – 1,1 mm
Presión del sistema de inyección.	49,8 psi

Fuente: (Hyundai Motor Company, 2011)

2.2.1.2. Equipo externo de suministro de combustible

Es el equipo utilizado para suministrar el combustible (etanol anhidro – gasolina de 86.5 octanos) al vehículo y obtener los valores en cada una de las pruebas. El equipo externo de suministro de combustible, está constituido por los elementos que se detallan en la tabla 2.2 y en la figura 2.2, ilustra los elementos constitutivos.

Tabla 2. 2. Elementos y características técnicas del equipo externo de suministro de combustible

Elementos	Cantidad	Características
Bomba de presión	1	Presión.- 60 psi.
Depósitos de combustible	5	Material.- polipropileno. Capacidad.- 3000 cm ³
Mangueras flexibles con acoples rápidos	1	Resistentes a la corrosión química y a la alta presión.
Filtro de combustible	1	Tamaño de retención de partículas 8 micras. Resistencia a la presión de 6 bar.
Conexiones electricas con switch	1	Calibre.- AWG 12. Switch.- pulsante.

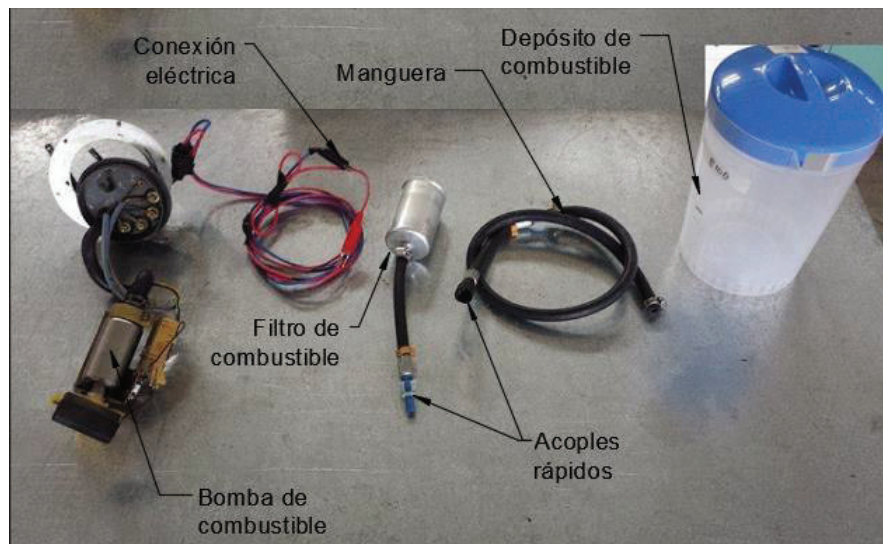


Figura 2. 2. Elementos del equipo externo de suministro de combustible

2.2.1.3. Insumos y materiales utilizados para la preparación del combustible

El combustible (etanol anhidro – gasolina de 86.5), se denomina gasohol oalconafta, esta mezcla se identifica con la nomenclatura E seguido de un número, la letra E representa la mezcla y el número indica el porcentaje de etanol que se adiciona a la gasolina. Para esta investigación se utiliza la gasolina de 86.5 octanos (E0) como referencia, y los combustibles E25, E50, E75 y E100. En la tabla 2.3, y figura 2.3, se detallan los insumos utilizados para la preparación del combustible.

Tabla 2. 3. Insumos utilizados para formar las mezclas

Elementos/insumos	Cantidad	Características
Probetas	2	Material.- vidrio Capacidad.- 250 ml
Depósitos	5	Material.- polipropileno Capacidad.- 3000 cm ³

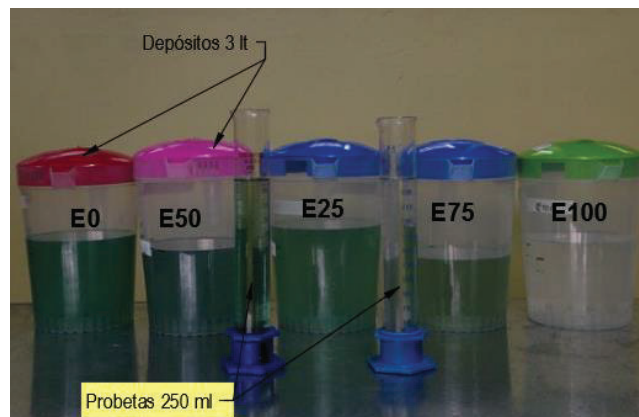


Figura 2. 3. Insumos para la preparación de las mezclas

2.2.1.4. Equipos para la medición de los parámetros de funcionamiento del motor.

Para la medición de potencia, torque, consumo de combustible, emisiones de escape y la presión de combustión se utilizan los siguientes equipos:

- Banco de potencia MAHA LPS 3000.
- Balanza digital.
- Analizador de cinco gases MAHA MGT 5.

- Sensor de presión de combustión del motor.
- Tarjeta de adquisición de datos.
- Computadora Laptop.

a) Banco de potencia MAHA LPS 3000

La medición de potencia y torque del vehículo Hyundai Getz 1,4 litros, funcionando con las mezclas etanol anhidro – gasolina de 86.5 octanos, se desarrollan en un banco dinamométrico de chasis. En la tabla 2.4, se detallan las características del equipo.

Tabla 2. 4. Características técnicas del banco de potencia Maha LPS 3000

Equipo	Cantidad	Características
Banco de potencia LPS 3000.	1	<ul style="list-style-type: none"> • El banco de potencia Maha LPS 3000 está constituido por un pupitre de comunicaciones, equipado con PC, una pantalla de color, un teclado, y un mouse. • Un control remoto. • Un juego de rodillos. • Un ventilador de aire refrigerante. • El banco LPS 3000 determina la potencia de vehículos con motores Otto y Diésel.

La figura 2.4, ilustra los componentes del banco de potencia el mismo que está instalado en los laboratorios pertenecientes a la Carrera de Ingeniería Mecánica automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.



Figura 2. 4. Banco de potencia Maha LPS 3000

b) Balanza digital

Para determinar el consumo de combustible se utiliza una balanza digital. En la tabla 2.5, se indican las características técnicas.

Tabla 2. 5. Características técnicas de la balanza digital

Equipo	Cantidad	Características
Balanza digital	1	Capacidad max 15 kg Capacidad mínima 100 g

La figura 2.5, ilustra la balanza electrónica ACS – 30.



Figura 2. 5. Balanza electrónica ACS - 30

c) Analizador de gases MGT 5

Para la medición de las emisiones de los gases de escape se utiliza el equipo Maha MGT 5, versión V0.31/4.00.E. en la tabla 2.6, se describen sus características técnicas.

Tabla 2. 6. Características técnicas del analizador de gases Maha MGT 5.

Equipo	Cantidad	Características
Maha MGT 5, versión V0.31/4.00.E	1	Analizador 4/5 gases.- WgB39 / Lg4601 Número de serie año de fabricación.- 4213/534772 02/2009 Identificación de modelo.- analizador de 5 gases MGT 5 Gases analizables.- CO, CO ₂ , HC, O ₂ , NO _x . Alimentación de corriente.- 85 V – 280 –VAC, 50/60 Hz, 65 W. Temperatura de trabajo.- 5 a 45 °C. Interface.- LON, USB, OBD. Cantidad total de flujo.- 3.5 l/min Dimensiones.- 560x240x300 mm. Presión de trabajo.- 750 – 1100 mbar. Calibración.- cada 6 meses. Tipo de precisión.- OIML R99: 0, PTB-A18.10:1
Nota.- ver en detalle más características en el manual de equipo		

Fuente: (Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co, 2007)

La figura 2.6, ilustra el analizador de gases Maha MGT 5.



Figura 2. 6. Analizador de gases Maha MGT 5.

d) Sensor de presión de combustión del motor

Para medir la presión de combustión del motor funcionando con las diferentes mezclas, se utiliza un sensor de presión de combustión. En la tabla 2.7, se describen las características técnicas.

Tabla 2. 7. Características técnicas del sensor de presión de combustión

Equipo	Cantidad	Características
Sensor de presión para el análisis de combustión	1	Rango de medida.- 0 – 200 bar. Temperatura de operación.- máxima 230 °C. Diámetro de la rosca.- M 14x1, 25. Calibración de los electrodos.- 1,1 mm.

Fuente. (Castillo & Rojas)

La figura 2.7, ilustra el sensor de presión de combustión instalado en el cilindro del motor.



Figura 2. 7. Sensor de presión de combustión

e) Tarjeta de adquisición de datos

Para la adquisición de los datos de presión de combustión medidos por el sensor se utiliza una tarjeta DAQ. En la tabla 2.8, se describen las características técnicas.

Tabla 2. 8. Características técnicas de la tarjeta de adquisición de datos

Equipo	Cantidad	Características
Tarjeta de adquisición de datos DAQ	1	Entradas.- 8 entradas analógicas (12 bits, 10 kS/s). Salidas.- 2 salidas analógicas estáticas (12 bits); 12 E/S digitales; contador de 32 bits. Energizado.- por bus para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada. Compatibilidad.- con LabVIEW, LabWindows™/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET. Serie.- NI USB – 6008.

La figura 2.8, ilustra la tarjeta de adquisición de datos.

**Figura 2. 8.** Tarjeta de adquisición de datos

f) Computadora Laptop

Para la lectura de los datos de presión de combustión medidos por el sensor y adquiridos por la tarjeta DAQ, se utiliza una computadora laptop. En la tabla 2.9, se describen las características técnicas.

Tabla 2. 9. Características técnicas de la computadora laptop

Equipo	Cantidad	Características
Computadora Laptop	1	Marca.- Toshiba Procesador.- Intel Core i7 5500U 2.4GHz (3.0 GHz) con Turbo Pantalla.- Pantalla LED 15.6" HD Memoria RAM.- 8GB Disco Duro.- 1TB Video.- AMD Radeon R7 M260 2GB ddr3 Sistema operativo.- Windows 8.1

La figura 2.9, ilustra la computadora laptop Toshiba i7.



Figura 2. 9. Computadora Laptop

2.2.2. Métodos utilizados en la investigación

Para el desarrollo de esta investigación se aplican los siguientes métodos:

- Métodos para el diseño experimental, análisis de resultados
 - Diseño experimental reticular simple para mezclas de combustible.
 - Prueba de valores atípicos.
 - Regresión por mínimos cuadrados y validación de la ecuación.
 - Análisis de variabilidad de datos (histogramas, media aritmética, desviación estándar, coeficiente de variación y).
- Métodos previos al desarrollo de las pruebas de funcionamiento del motor
 - Preparación de los combustibles etanol anhidro – gasolina de 86.5 octanos.
 - Instalación del equipo externo de suministro de combustible.
 - Desmontaje del equipo externo de suministro de combustible.
 - Cambio de combustibles.
- Métodos para la caracterización del combustible etanol anhidro – gasolina de 86.5 octanos.
 - Medición de densidad según el método del Picnómetro.
 - Medición de octanaje mediante octanometro (ASTM D 2699-86, ASTM D 2700-86).

- Cálculo teórico del poder calorífico.
- Medición de los diferentes parámetros de funcionamiento del motor.
 - Potencia y torque del motor según la norma SAE J1349.
 - Toma de datos de consumo de combustible según ciclo definido para el estudio.
 - Toma de datos de emisiones de gases de escape según la norma NTE INEN 2 204:2002.
 - Determinación de factores de emisión, según modelo de combustión método simplificado.
 - Toma de datos de presión de combustión según el método de adquisición de datos definido para este estudio.

La figura 2.10, presenta un cuadro sinóptico sobre las metodologías aplicadas.

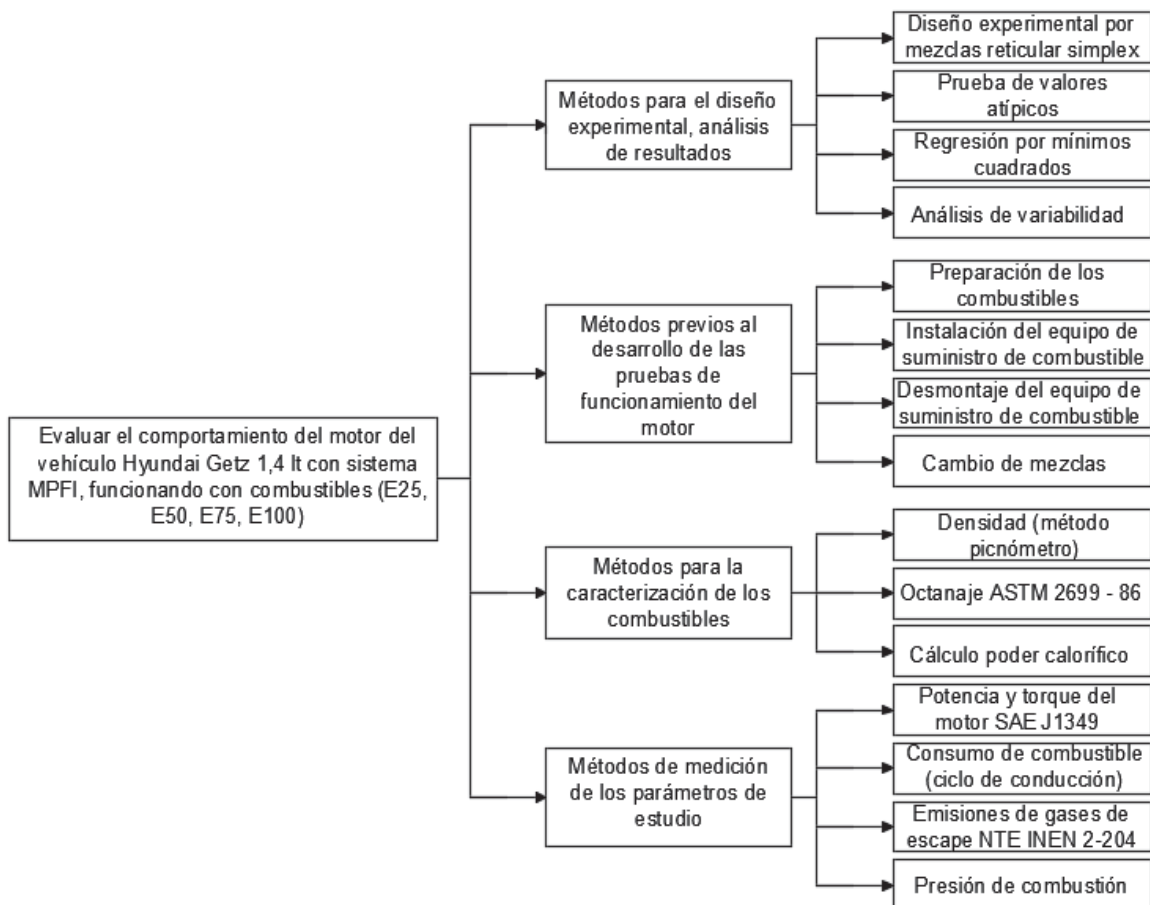


Figura 2. 10. Metodología de estudio

2.2.2.1. Métodos para el diseño experimental, análisis de resultados

a) Diseño experimental simplex reticular (simplex- lattice)

“El diseño simplex reticular $\{q,m\}$ considera “ q ” componentes y permite ajustar un modelo estadístico de orden “ m ”; lo cual consiste en todas las posibles combinaciones de componentes o mezclas que se puedan formar al considerar que las proporciones puedan tomar los “ $m+1$ ” valores entre cero y uno dados por la ecuación 2.1” (Pulido, 2008):

$$x_i = 0, 1/m, 0, 2/m, \dots, m/m \quad (2.1)$$

La figura 2.11, presenta la gráfica de un diseño simple reticular $\{3,2\}$, donde $q=3$ y $m=2$, los valores que pueden tomar los componente son: $x_i = 0, \frac{1}{2}, 1$ con lo que las mezclas de los tres componentes que se pueden llegar a formar son (Pulido, 2008): $(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 0); (0, 1, 0); (0, 0, 1); (1/2, 1/2, 0); (1/2, 0, 1/2)$ y $(0, 1/2, 1/2)$.

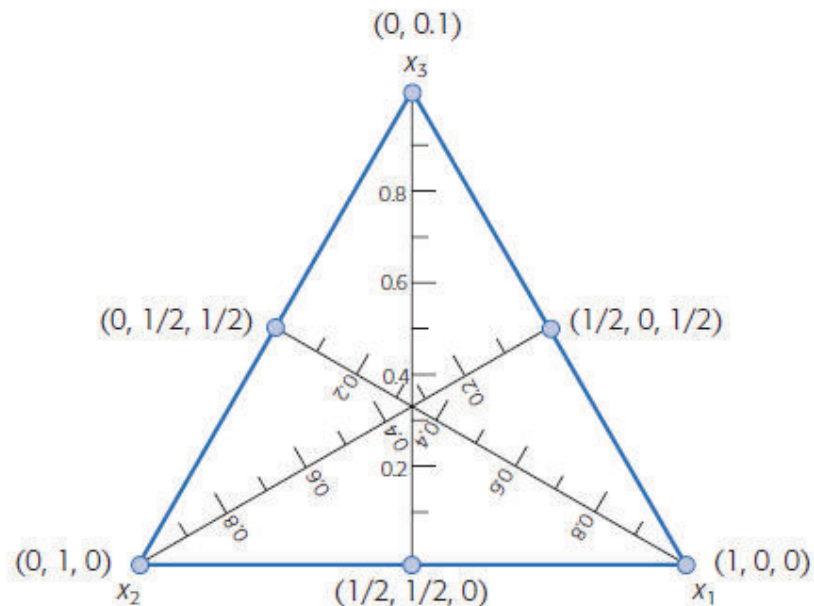


Figura 2. 11. Representación gráfica del diseño simplex reticular (3,2)

Fuente: (Pulido & De la Vara Salazar , 2008)

b) Prueba de valores atípicos de los datos registrados

Una vez obtenidos los datos del diseño experimental (variables de respuesta) en función los diferentes combustibles de este estudio, conviene efectuar pruebas de validación de los resultados obtenidos en el experimento antes de proceder a obtener un modelo de respuesta. Para la validación de los resultados se establece pruebas, las mismas que consisten en la realización de comprobaciones de la calidad de la información de la muestra utilizada, del ajuste de dicha información al modelo teórico.

La calidad de la información utilizada debe ser homogénea, dicho de otro modo, no debe contener elementos extraños. “Un elemento atípico (outlier) es una observación para la que resulta forzado creer que se generó debido a la estructura que el total de la información de la muestra” (Chatterjee, 2006)

El análisis de existencia de los valores atípicos se realiza para todas las variables de respuesta potencia, torque, rpm, consumo de combustible, CO, CO₂, HC, NO_x y presión media efectiva del motor. Esta validación se realiza con la prueba de relación R22 de Dixon, la misma que se recomienda para muestra menores a 30 datos con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ (p-valor), los resultados se encuentran en el anexo A.

c) Regresión por mínimos cuadrados y validación de la ecuación de la variable de respuesta

En un diseño de experimento que intervienen dos componentes como es en este caso para formar un combustible, “el ajuste se realiza por el método de Mínimos Cuadrados (MC), la regresión lineal se utiliza como una técnica estadística para estudiar la relación entre variables” (George, Stuart, & William, 2008). En el contexto de esta investigación se utiliza para caracterizar la relación entre variables de estudio.

Para que un modelo de regresión lineal sea válido y tener confianza en él, es preciso que se cumplan ciertas condiciones respecto a los errores. Estas condiciones son los supuestos estructurales del modelo de regresión lineal.

La aplicación de una técnica estadística implica verificar que los supuestos del modelo sean razonablemente satisfechos. Una de estas herramientas que se utiliza es el “análisis de residuos que, es una técnica bastante eficiente para detectar desvíos de los supuestos planteados. Abarca análisis gráficos, numéricos y mixtos; este debe ser un procedimiento de rutina en el análisis de los datos y construcción de la ecuación de la regresión que se quiere conseguir” (Díaz, 2009).

Es importante no pasar por alto los supuestos en los que se basa el modelo de regresión lineal, ya que, de hacerlo, se puede llegar a conclusiones completamente erróneas, tanto en la especificación del modelo, es decir, el número de variables del modelo, como en la dimensión de los coeficientes. Los supuestos a comprobar son linealidad, Independencia, homocedasticidad, para esto se utiliza la gráfica de residuos cuatro en uno.

Para ello, se realiza primero un tratamiento de datos es decir una prueba de valores atípicos, segundo se realiza una gráfica de matriz de interacción entre variables para obtener una idea intuitiva de la relación, y finalmente la construcción de la ecuación, en donde se estiman los parámetros por el método de los “Mínimos Cuadrados (MC) y el análisis de residuos que permite comprobar las hipótesis de normalidad, homocedasticidad, independencia y linealidad del modelo”. (Balmón., 2010) (Cornell, Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data, 3rd Edition, 2002).

La metodología expuesta en los puntos anteriores sirve para realizar una regresión y obtener una ecuación (modelo de la respuesta) de interés en función del porcentaje de etanol anhidro y gasolina extra de 86.5 octanos en el combustible a ser utilizado en el MCIA, para realizar predicciones y rastreo de las variables respuestas (potencia, torque, consumo de combustible, gases contaminantes).

A continuación se resumen los pasos utilizados para la construcción del modelo en base al ajuste de regresión.

- a. Construcción de un diagrama de dispersión de las variables para comprobar si están relacionadas y si el modelo de regresión simple tiene una relación importante.
- b. Validación del modelo, se estiman los parámetros (p valor) y se comprueba que exista relación entre las variables es decir si la pendiente es significativamente diferente de cero.
- c. Evaluación del modelo, verificación de los supuestos de linealidad, normalidad, homocedasticidad e independencia (análisis de residuos), solo así puede aceptarse el modelo. Si se cumple se utiliza el modelo obtenido para realizar predicciones y rastreo de las respuestas.
- d. Si los supuestos no se cumple en los datos se procede a transformar las variables a un grado superior (cuadrático, cúbico completo y cuadrático completo) para proceder con el análisis, se selecciona uno a uno cada modelo y se realiza la evaluación a través de p valor y el coeficiente de determinación R^2 , se repite esta paso cada vez hasta tener el ajuste deseado y que se cumpla con los supuestos.

Se utiliza el p-valor para determinar cuál es el modelo valido determinado si son estadísticamente significativos. Para utilizar el p-valor, se tiene presente en comparar este p-valor con su nivel significancia (α). El nivel de α utilizado es 0,05. Su interpretación es la siguiente:

- a. Si el p valor es menor o igual a α , se debe concluir que el efecto es significativo (ecuación correcta).
- b. Si el p valor es mayor que α , se debe concluir que el efecto no es significativo.

De manera adicional, para la selección del modelo se tiene el criterio del coeficientes de determinación (R^2). El coeficiente de determinación indica el porcentaje del ajuste que se ha conseguido con el modelo lineal, a mayor porcentaje, mejor es el modelo para predecir el comportamiento de la variable respuesta.

Valerse de este procedimiento para ajustar los modelos de mínimos cuadrados, almacenar los estadísticos de regresión, examinar los diagnósticos de residuos y realizar pruebas de falta de ajuste y “cuando los datos son muy asimétricos se utiliza la transformación de Box-Cox” (Peña, 2010).

Cabe indicar que los diferentes grados de modelos de regresión que se obtiene para el análisis respectivo, es a través de un software estadístico que se resumen en las tablas respectivas de acuerdo al parámetro analizado.

Si en el proceso se obtiene un valor de R^2 elevado, muy bien, aunque ello no es evidencia a favor del modelo, y si este valor de R^2 es pequeño, esto no significa que el modelo sea malo.

d) Análisis de variabilidad de datos

Para el análisis de variabilidad de los datos se determina la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Promedio

Es la suma de un conjunto de observaciones dividido por el número total de observaciones realizadas.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.2)$$

Desviación estándar

La desviación estándar es la medida de dispersión más común, que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos. La desviación estándar se puede utilizar para establecer un valor de referencia para estimar la variación general de un proceso (Soporte Minitab, 2016).

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (2.3)$$

Coeficiente de variación

El coeficiente de variación es una medida de dispersión que describe la cantidad de variabilidad en relación con la media. Puesto que el coeficiente de variación no se basa en unidades, se puede utilizar en lugar de la desviación estándar para comparar la dispersión de los conjuntos de datos que tienen diferentes unidades o diferentes medias (Soporte Minitab, 2016).

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100 \quad (2.4)$$

El análisis de variabilidad se desarrolla en cada una de las tablas de registro de datos.

2.2.2.2. Métodos previos al desarrollo de las pruebas de funcionamiento del motor

Los métodos previos al desarrollo de las pruebas son:

- Preparación de los combustibles etanol anhidro – gasolina de 86.5 octanos.
- Instalación del equipo externo de suministro de combustible.
- Desmontaje del equipo externo de suministro de combustible.
- Cambio de combustibles.

La descripción de estos métodos se presenta en el anexo B.

2.2.2.3. Métodos para la caracterización de los combustibles utilizados en la investigación

La caracterización es un tipo de descripción cualitativa que puede recurrir a datos o a lo cuantitativo con el fin de profundizar el conocimiento sobre algo. Para cualificar ese algo previamente se deben identificar y organizar los datos; y a partir

de ellos, describir (caracterizar) de una forma estructurada; y posteriormente, establecer su significado (sistematizar de forma crítica) (Bonilla, Hurtado & Jaramillo, 2009). En la tabla 2.10, se presenta la caracterización sobre densidad, octanaje, poder calorífico de los combustibles a base de etanol anhidro – gasolina de 85.6 octanos.

- Densidad.- determinado mediante método picnómetro.
- Medición de octanaje mediante octanometro (ASTM D 2699-86, ASTM D 2700-86).
- Poder calorífico superior e inferior.- determinado por cálculo en función de poder calorífico de cada componente y del porcentaje de concentración de cada uno de ellos (García E. A., 2010), mediante la ecuación 2.1. y 2.2 respectivamente.

$$H_{CS\ Ex} = \%E * H_{CS\ etanol} + \%G * H_{CS\ gasolina} \quad (2.5)$$

$$H_{Ci\ Ex} = \%E * H_{Ci\ etanol} + \%G * H_{Ci\ gasolina} \quad (2.6)$$

Tabla 2. 10. Caracterización de las mezclas etanol anhidro – gasolina de 87 octanos

Combustible	Característica	Valor	Unidad
E0 (referencia)	Densidad	740	kg/m ³
	Octanaje	85.6	RON
	Poder calorífico superior	47300	kJ/kg
	Poder calorífico inferior	44000	kJ/kg
E25	Densidad	760	kg/m ³
	Octanaje	90.95	RON
	Poder calorífico superior	42900	kJ/kg
	Poder calorífico inferior	39725	kJ/kg
E50	Densidad	768,7	kg/m ³
	Octanaje	96,3	RON
	Poder calorífico superior	38500	kJ/kg
	Poder calorífico inferior	35450	kJ/kg
E75	Densidad	782	kg/m ³
	Octanaje	101,65	RON
	Poder calorífico superior	34100	kJ/kg
	Poder calorífico inferior	31175	kJ/kg
E100	Densidad	790,7	kg/m ³
	Octanaje	107	RON
	Poder calorífico superior	29700	kJ/kg
	Poder calorífico inferior	26900	kJ/kg

2.2.2.4. Métodos de medición de los diferentes parámetros de funcionamiento del motor

- Potencia y torque del motor según la norma SAE J1349.
- Toma de datos de consumo de combustible según ciclo de conducción ión aplicado desarrollado para este estudio el mismo que está fundamentado en los ciclos de conducción 91/441/CEE.
- Toma de datos de emisiones de gases de escape según la norma NTE INEN 2 204:2002.
- Determinación de factores de emisión, según modelo de combustión método simplificado.
- Toma de datos de presión de combustión según el método de adquisición de datos definido para este estudio.

Los métodos utilizados para la medición de los diferentes parámetros de funcionamiento del motor se detallan en el anexo C.

2.2.3. Competencias del personal

Para el desarrollo de este estudio se requiere del uso de equipos, métodos técnicos y científicos; para la obtención de los datos que se utilizan para evaluar el comportamiento del motor funcionando con las diferentes mezclas etanol anhidro – gasolina de 86.5 octanos. En la tabla 2.11, se detallan las competencias que debe tener el personal.

Tabla 2. 11. Competencias del personal para el desarrollo del estudio

Metodologías		Competencias
Métodos para el diseño experimental, análisis de resultados	Diseño experimental reticular simplex para mezclas de combustible.	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimientos sobre diseño estadístico de experimentos por mezclas. • Conocimientos sobre estadística descriptiva.
	Prueba de valores atípicos.	
	Regresión por mínimos cuadrados y validación de la ecuación.	

Metodologías		Competencias
	Análisis de datos por estadística descriptiva (histogramas, media aritmética coeficiente de variación y desviación estándar muestral).	
Métodos previos al desarrollo de las pruebas de funcionamiento del motor.	Preparación de las mezclas etanol anhidro – gasolina de 87 octanos.	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimientos sobre insumos de laboratorio.
	Instalación del equipo externo de suministro de combustible.	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimientos sobre el sistema de alimentación de combustible del vehículo.
	Desmontaje del equipo externo de suministro de combustible.	
	Cambio de mezclas.	
Métodos para la caracterización del combustible etanol anhidro – gasolina de 86.5 octanos.	Medición de densidad según el método del Picnómetro.	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorista bioquímico
	Medición de octanaje mediante octanometro (ASTM D 2699-86, ASTM D 2700-86).	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorista bioquímico
	Calculo teórico del poder calorífico.	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimientos termodinámicos
Métodos de medición de los diferentes parámetros de estudio	Potencia y torque del motor según la norma SAE J1349.	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento sobre la operación del banco de potencia Maha LPS 3000.
	Toma de datos de consumo de combustible según ciclo de conducción definido en REGLAMENTO (CE) N o 692/2008.	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo y conducción del vehículo y banco de potencia Maha LP3000.
	Medición de emisiones de gases de escape según la norma NTE INEN 2 204:2002.	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento de la normativa de medición de emisiones de gases de escape. • Operación de los equipos analizador de gases MGT 5 y banco de potencia Maha LPS 3000.
	Medición de presión de combustión según el método	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento de motores de combustión interna.

Metodologías		Competencias
	de adquisición de datos definido para este estudio.	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo, instalación y configuración de la tarjeta de adquisición de datos DAQ. • Manejo de software labview.

2.2.4. Materiales

Los materiales con los que se formulan las mezclas son el etanol anhidro y la gasolina de 86.5 octanos, cuyas características se detalla a continuación.

2.2.4.1. Características del etanol

En la tabla 2.12, se especifican los requisitos que debe cumplir el etanol anhidro según la norma NTE INEN 2 478:2009.

Tabla 2. 12. Propiedades del alcohol industrial anhidro (etanol)

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Φ Contenido de etanol	%	96,3	-----	ASTM D 5501
Acidez total (Como ácido acético)	mg/100ml***	-----	3	NTE INEN 341
Conductividad eléctrica	μS/m	-----	500	ASTM D 1125
Densidad a 20 °C	kg/m ³	-----	791,5	ASTM D 4052
Contenido de Cloruros	mg/l	-----	32	ASTM D 512*
Φ Contenido de agua	%	-----	0,3	ASTM E 203
Contenido de cobre	mg/kg	-----	0,1	ASTM D 1688**
Residuo por evaporación	mg/100ml	-----	5	ASTM 381
pHe		6,5	9	ASTM D 6423
Φ Contenido de desnaturizantes	%	2	3	ASTM D 6729
* . Utilizar el método C modificado				
** . Utilizar el método A modificado				
***. El etanol anhidro grado carburante desnaturizado puede contener aditivos tales como inhibidores de corrosión y detergentes que pueden afectar la acidez titulable (acidez expresada como ácido acético) del etanol anhidro grado carburante terminado. Es posible que el etanol anhidro grado carburante cumpla con las especificaciones de acidez, pero el efecto de estos aditivos puede producir una aparente acidez titulable alta en el producto desnaturizado. Si existe alguna inquietud al respecto se debe verificar que el etanol anhidro cumpla con los requisitos de acidez del numeral 6.1.2.				

Fuente (INEN, ETANOL ANHIDRO. REQUISITOS , 2009)

2.2.4.2. Características de la gasolina

La gasolina es una mezcla de varios hidrocarburos, que en general se evaporan o hierven a bajas temperaturas en comparación con otros hidrocarburos. Se requiere que la gasolina no detone antes de que la dispere una chispa eléctrica debidamente controlada por lo que sus características de ignición son muy importantes. El octanaje es una escala que permite tener una idea de cómo una gasolina puede comportarse durante la combustión. Un octanaje de 100 quiere decir que la gasolina tiene características de ignición equivalentes a las del 2-2-4 trimetilpentano (C_8H_{18}) el que sería el combustible óptimo para los motores de ciclo Otto, y el menos deseable uno con octanaje cero, tal como el n – heptano, C_7H_{16} (Rolle, 2006). Las gasolinas están conformadas por la unión de varios hidrocarburos tales como; alcanos, alquenos, isoalcanos, cicloalcanos, cicloalquenos, y compuestos aromáticos (García J. A., 2006)

La tabla 1.3, los requisitos de la gasolina extra según la norma NTE INEN 935:2010.

Tabla 2. 13. Características de la gasolina extra

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Número de octano Research	RON *	87,0	---	NTE INEN 2 102
Destilación: 10%	°C	---	70	NTE INEN 926
50 %	°C	77	121	
90%	°C	---	189	
Punto final	°C	---	215	
Residuo de destilación φ_r	%	---	2	
Relación vapor – líquido, a 60°C, V/L	---	---	20	NTE INEN 932 ASTM D 5188
Presión de vapor	kPa ^A	---	56 ^B	NTE INEN 928 ^C ASTM D 4953 ASTM D 5191 ^D
Corrosión a la lámina de cobre (3 h a 50°C)	---	---	1	NTE INEN 927
Contenido de gomas	mg/100 cm ³	---	3,0	NTE INEN 933
Contenido de azufre, W_s	%	---	0,075	NTE INEN 929 ASTM D 4294 ^D
Contenido de aromáticos, φ_a	%	---	30,0	NTE INEN 2 252 ^D ASTM 6730
Contenido de benceno, φ_b	%	---	1,0	ASTM D 3006 ^C ASTM D 5580 ^D ASTM D 6277
Contenido de olefinas, φ_o	%	---	18,0	NTE INEN 2 252 ^D ASTM D 6730
Estabilidad a la oxidación	min	240	---	NTE INEN 934
Contenido de oxígeno, w_{O_2}	%	---	2,7 ^E	ASTM D 4815 ^D ASTM D 5845

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Contenido de plomo	mg/l	---	Ver notas F y G	ASTM D 3237 ASTM D 5185
Contenido de manganeso	mg/l	---	Ver notas F y H	ASTM D 3831 ASTM D 5185
Contenido de hierro	mg/l	---	Ver notas F y I	ASTM D 5185

^A 1 kPa ~ 0,01 kgf/cm² ~0,10 N/ cm² ~0,145 kgf/pul
^B En el caso que las gasolinas contengan etanol anhidro la presión de vapor puede llegar hasta 62 kPa
^C Método de ensayo utilizando para combustible gasolina sin plomo
^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 adición 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
*. No existe unidad del SI

Fuente: (INEN, GASOLINA. REQUISITOS, 2012)

2.2.5. Condiciones ambientales para el desarrollo del estudio

Las pruebas se desarrollan en las instalaciones del taller de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. La ciudad de Cuenca tiene las siguientes condiciones ambientales las que se indican en la tabla 2.14.

Tabla 2. 14. Condiciones ambientales de la ciudad de Cuenca

Condición ambiental	Valor	Unidad
Ubicación geográfica	Latitud: 2° 59' 10" S	
	Longitud: 79° 00' 41" W	
Altura geográfica	2558	msnm
Presión atmosférica	89192	Pa.
Temperatura promedio	14,7	°C
Humedad relativa	77	%
Promedio anual de lluvias	878	mm

Fuente: (Estación Climatológica Cuenca, 2016)

2.3. REGISTRO DE DATOS

Los datos se obtienen directamente de las bases de datos generados por los equipos, cuyos valores se registran en tablas debidamente diseñadas para tal efecto.

2.3.1. Registro de datos de la potencia del motor

Tabla 2. 15. Datos de potencia del motor

COMBUSTIBLE	E0 (kW)	E25 (kW)	E50 (kW)	E75 (kW)	E100 (kW)
NUMERO MUESTRA	56,3	63,6	65,6	65,8	64,5
	54,5	62,1	64,1	62,074	64,9
	55,6	62,074	65,55	67,1	65,3
	54,5	62,036	64,45	65	63,9
	55,8	62,1	65,59	65,77	64,8
	56,2	62,07	64,15	67,097	65,1
PROMEDIO	55,48	62,33	64,91	65,47	64,75
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,80	0,62	0,75	1,86	0,50
COEFICIENTE VARIACIÓN	1,45	1,00	1,15	2,84	0,77

2.3.2. Registro de datos de torque del motor

Tabla 2. 16. Datos de torque del motor

COMBUSTIBLE	E0 (N)	E25 (N)	E50 (N)	E75 (N)	E100 (N)
NUMERO MUESTRA	112,5	114,8	113,7	114,5	113,4
	107,2	111,9	112,61	111,88	112,9
	110,9	111,88	113,703	115,4	112,7
	108,9	112	112,93	114,1	111,85
	110,2	111,88	113,89	114,456	112,15
	111,1	114,089	112,45	115,42	112,1
PROMEDIO	110,13	112,76	113,21	114,29	112,52
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,86	1,33	0,63	1,30	0,59
COEFICIENTE VARIACIÓN	1,69	1,18	0,55	1,14	0,52

2.3.3. Registro de datos de consumo de combustible

En la tabla 2.17, se presentan los datos de consumo de combustible en g/km. En la tabla 2.18, se presentan los datos de consumo de combustible en l/100km.

Tabla 2. 17. Datos de consumo de combustible en g/km

COMBUSTIBLE	E0 (g/km)	E25 (g/km)	E50 (g/km)	E75 (g/km)	E100 (g/km)
NUMERO MUESTRA	0,036	0,0375	0,0435	0,047	0,475
	0,033	0,038	0,0425	0,0395	0,0515
	0,043	0,04	0,04	0,045	0,0515
	0,036	0,04	0,0398	0,0465	0,05123
	0,034	0,0375	0,0405	0,0475	0,052
	0,035	0,049	0,0415	0,048	0,0495
PROMEDIO	0,04	0,04	0,04	0,05	0,12
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,004	0,004	0,004	0,003	0,17
COEFICIENTE VARIACIÓN	9,80	10,91	3,58	6,92	142,08

Tabla 2. 18. Datos de consumo de combustible en l/100km

COMBUSTIBLE	E0 (l/100km)	E25 (l/100km)	E50 (l/100km)	E75 (l/100km)	E100 (l/100km)
NUMERO MUESTRA	5,81	5,33	5,66	6,27	6,51
	4,86	6,25	5,27	6,01	6,51
	4,86	6,51	5,20	6,07	6,01
	5,24	6,58	5,33	5,95	6,24
	5,02	5,26	5,46	5,75	6,05
	5,74	4,67	5,54	4,73	6,46
PROMEDIO	5,26	5,77	5,41	5,80	6,30
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,43	0,79	0,17	0,55	0,23
COEFICIENTE VARIACIÓN	8,11	13,64	3,20	9,45	3,70

2.3.4. Registro de datos de monóxido de carbono a ralenti

Tabla 2. 19. Datos de emisión de CO a ralenti

COMBUSTIBLE	E0 (% vol)	E25 (% vol)	E50 (%vol)	E75 (%vol)	E100 (%vol)
NUMERO MUESTRA	0,25	0,04	0,03	0,03	0,03
	0,25	0,06	0,03	0,03	0,03
	0,28	0,07	0,03	0,03	0,03
	0,23	0,06	0,03	0,03	0,03
	0,26	0,09	0,04	0,03	0,03
	0,25	0,05	0,03	0,03	0,03
PROMEDIO	0,253	0,06	0,03	0,03	0,03
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,02	0,02	0,004	0,000	0,000
COEFICIENTE VARIACIÓN	6,45	27,93	12,89	0,000	0,000

2.3.5. Registro de datos de bióxido de carbono a ralenti

Tabla 2. 20. Datos de emisión de CO₂ a ralenti

COMBUSTIBLE	E0 (% vol)	E25 (% vol)	E50 (% vol)	E75 (% vol)	E100 (% vol)
NUMERO MUESTRA	14,3	14,6	14,9	13,8	13,5
	14,5	14,7	14,6	14	13,5
	14,3	14,5	14,7	13,8	13,5
	13,9	14,7	14,7	13,8	13,6
	15,3	14,6	14,7	13,65	13,4
	14	14,5	14,8	13,8	13,3
PROMEDIO	14,4	14,6	14,7	13,8	13,5
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,50	0,09	0,10	0,11	0,10
COEFICIENTE VARIACIÓN	0,0347	0,0061	0,0070	0,0081	0,0077

2.3.6. Registro de datos de hidrocarburos no combustionados a ralenti

Tabla 2. 21. Datos de hidrocarburos no combustionados a ralenti

COMBUSTIBLE	E0 (ppm)	E25 (ppm)	E50 (ppm)	E75 (ppm)	E100 (ppm)
NUMERO MUESTRA	204	40	18	21	17
	201	38	23	21	17
	207	57	24	23	18
	199	38	21	25	18
	202	50	24	24	18
	205	43	23	18	20
PROMEDIO	203	44,33	22,17	22	18
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	2,90	7,66	2,32	2,53	1,10
COEFICIENTE VARIACIÓN	1,43	17,28	10,45	11,50	6,09

2.3.7. Registro de datos de oxígeno a ralenti

Tabla 2. 22. Datos de oxígeno a ralenti

COMBUSTIBLE	E0 (% vol)	E25 (% vol)	E50 (% vol)	E75 (% vol)	E100 (% vol)
NUMERO MUESTRA	0,67	0,39	0,34	1,5	1,73
	0,7	0,22	0,27	1,49	1,65
	0,72	0,38	0,24	1,43	1,77

COMBUSTIBLE	E0 (% vol)	E25 (% vol)	E50 (% vol)	E75 (% vol)	E100 (% vol)
	0,68	0,22	0,22	1,44	1,49
	0,67	0,46	0,27	1,45	1,78
	0,67	0,57	0,27	1,53	1,89
PROMEDIO	0,7	0,4	0,3	1,5	1,7
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,02	0,14	0,04	0,04	0,14
COEFICIENTE VARIACIÓN	0,0303	0,3664	0,1517	0,0267	0,0793

2.3.8. Registro de datos de óxidos de nitrógeno a ralenti

Tabla 2. 23. Datos de óxidos de nitrógeno a ralenti

COMBUSTIBLE	E0 (ppm)	E25 (ppm)	E50 (ppm)	E75 (ppm)	E100 (ppm)
NUMERO MUESTRA	25	13	2	9	12
	25	10	4	7	12
	26	12	5	9	11
	26	10	2	8	9
	23	12	2	10	11
	24	14	3	7	11
PROMEDIO	24,83	11,83	3,00	8,333	11
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,17	1,60	1,26	1,21	1,10
COEFICIENTE VARIACIÓN	4,71	13,54	42,16	14,53	9,96

2.3.9. Registro de datos del monóxido de carbono a 2500 rpm

Tabla 2. 24. Datos de monóxido de carbono a 2500 rpm

COMBUSTIBLE	E0 (% vol)	E25 (% vol)	E50 (% vol)	E75 (% vol)	E100 (% vol)
NUMERO MUESTRA	0,86	0,15	0,03	0,03	0,03
	0,02	0,08	0,04	0,03	0,03
	0,49	0,05	0,03	0,03	0,03
	0,4	0,12	0,03	0,03	0,03
	0,38	0,07	0,03	0,04	0,03
	0,44	0,03	0,03	0,03	0,03
PROMEDIO	0,432	0,08	0,03	0,032	0,03
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,27	0,04	0,004	0,004	0,000
COEFICIENTE VARIACIÓN	62,17	53,49	12,89	12,89	0,000

2.3.10. Registro de datos de bióxido de carbono a 2500 rpm

Tabla 2. 25. Datos del bióxido de carbono a 2500 rpm

COMBUSTIBLE	E0 (% vol)	E25 (% vol)	E50 (% vol)	E75 (% vol)	E100 (% vol)
NUMERO MUESTRA	14,2	14,6	14,8	14,7	13,6
	14,8	14,6	14,9	14,7	13,8
	14,4	14,9	14,8	14,7	13,4
	14,7	14,5	14,8	14,7	13,7
	14,6	14,8	14,8	14,8	14
	14,6	14,9	14,8	14,7	13,9
PROMEDIO	14,55	14,72	14,82	14,717	13,73
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,22	0,17	0,041	0,041	0,216
COEFICIENTE VARIACIÓN	1,49	1,17	0,28	0,277	1,573

2.3.11. Registro de datos de hidrocarburos no combustionados a 2500 rpm

Tabla 2. 26. Datos de hidrocarburos no combustionados a 2500 rpm

COMBUSTIBLE	E0 (ppm)	E25 (ppm)	E50 (ppm)	E75 (ppm)	E100 (ppm)
NUMERO MUESTRA	56	51	20	16	22
	24	33	27	18	20
	35	25	25	20	19
	45	28	25	24	17
	58	21	19	26	16
	30	21	22	22	15
PROMEDIO	41,33	29,83	23,00	21	18,17
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	13,97	11,32	3,16	3,74	2,64
COEFICIENTE VARIACIÓN	33,79	37,95	13,75	17,82	14,53

2.3.12. Registro de datos de oxígeno a 2500 rpm

Tabla 2. 27. Datos de oxígeno a 2500 rpm

COMBUSTIBLE	E0 (% vol)	E25 (% vol)	E50 (% vol)	E75 (% vol)	E100 (% vol)
NUMERO MUESTRA	0,93	0,71	0,08	0,11	1,5
	0,22	0,06	0,08	0,15	1,32
	0,74	0,08	0,07	0,13	1,84
	0,09	0,65	0,12	0,16	1,43
	0,12	0,19	0,09	0,15	0,94

COMBUSTIBLE	E0 (% vol)	E25 (% vol)	E50 (% vol)	E75 (% vol)	E100 (% vol)
	0,1	0,15	0,1	0,11	0,97
PROMEDIO	0,4	0,3	0,1	0,1	1,3
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,37	0,29	0,02	0,02	0,34
COEFICIENTE VARIACIÓN	1,0107	0,9573	0,1988	0,1606	0,2556

2.3.13. Registro de datos de óxidos de nitrógeno a 2500 rpm

Tabla 2. 28. Datos de óxidos de nitrógeno a 2500 rpm

COMBUSTIBLE	E0 (ppm)	E25 (ppm)	E50 (ppm)	E75 (ppm)	E100 (ppm)
NUMERO MUESTRA	13	20	10	27	128
	31	12	11	27	118
	17	10	5	26	100
	8	15	7	29	104
	18	14	7	21	115
	20	12	16	23	115
PROMEDIO	17,83	13,83	9,33	25,50	113,33
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	7,73	3,49	3,93	2,95	10,07
COEFICIENTE VARIACIÓN	43,35	25,21	42,14	11,57	8,89

2.3.14. Registro de datos de monóxido de carbono a tracción constante

Tabla 2. 29. Datos de monóxido de carbono en prueba de fuerza a tracción constante 600N

COMBUSTIBLE	E0 (% vol)	E25 (% vol)	E50 (% vol)	E75 (% vol)	E100 (% vol)
NUMERO MUESTRA	0,86	0,15	0,03	0,03	0,03
	0,02	0,08	0,04	0,03	0,03
	0,49	0,05	0,03	0,03	0,03
	0,4	0,12	0,03	0,03	0,03
	0,38	0,07	0,03	0,04	0,03
	0,44	0,03	0,03	0,03	0,03
PROMEDIO	0,432	0,08	0,03	0,032	0,03
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,27	0,04	0,004	0,004	0,000
COEFICIENTE VARIACIÓN	62,17	53,49	12,89	12,89	0,000

2.3.15. Registro de datos de bióxido de carbono a tracción constante

Tabla 2. 30. Datos de bióxido de carbono en prueba de fuerza a tracción constante 600 N

COMBUSTIBLE	E0 (% vol)	E25 (% vol)	E50 (% vol)	E75 (% vol)	E100 (% vol)
NUMERO MUESTRA	14,2	14,6	14,8	14,7	13,6
	14,8	14,6	14,9	14,7	13,8
	14,4	14,9	14,8	14,7	13,4
	14,7	14,5	14,8	14,7	13,7
	14,6	14,8	14,8	14,8	14
	14,6	14,9	14,8	14,7	13,9
PROMEDIO	14,55	14,72	14,82	14,717	13,73
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,22	0,17	0,041	0,041	0,216
COEFICIENTE VARIACIÓN	1,49	1,17	0,28	0,277	1,573

2.3.16. Registro de datos de hidrocarburos no combustionados a tracción constante

Tabla 2. 31. Datos de hidrocarburos no combustionados en prueba de fuerza a tracción constante de 600N

COMBUSTIBLE	E0 (ppm)	E25 (ppm)	E50 (ppm)	E75 (ppm)	E100 (ppm)
NUMERO MUESTRA	56	51	20	16	22
	24	33	27	18	20
	35	25	25	20	19
	45	28	25	24	17
	58	21	19	26	16
	30	21	22	22	15
PROMEDIO	41,33	29,83	23,00	21	18,17
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	13,97	11,32	3,16	3,74	2,64
COEFICIENTE VARIACIÓN	33,79	37,95	13,75	17,82	14,53

2.3.17. Registro de datos de óxidos de nitrógeno a tracción constante

Tabla 2. 32. Datos de óxidos de nitrógeno en prueba de fuerza a tracción constante de 600N

COMBUSTIBLE	E0 (ppm)	E25 (ppm)	E50 (ppm)	E75 (ppm)	E100 (ppm)
NUMERO MUESTRA	13	20	10	27	128
	31	12	11	27	118
	17	10	5	26	100
	8	15	7	29	104

COMBUSTIBLE	E0 (ppm)	E25 (ppm)	E50 (ppm)	E75 (ppm)	E100 (ppm)
	18	14	7	21	115
	20	12	16	23	115
PROMEDIO	17,83	13,83	9,33	25,50	113,33
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	7,73	3,49	3,93	2,95	10,07
COEFICIENTE VARIACIÓN	43,35	25,21	42,14	11,57	8,89

2.3.18. Registro de datos de la presión media efectiva

Tabla 2. 33. Presión media efectiva del motor por mezclas en función de la pendiente y fuerza de tracción aplicadas

COMBUSTIBLE	PENDIENTE	FUERZA	Presión
		TRACCIÓN (N)	media efectiva (Bar)
E0	5°	1005	4,25251959
	7,5°	1500	5,32595223
	10°	2000	4,92025918
E25	5°	1005	4,69529388
	7,5°	1500	5,33189216
	10°	2000	5,69485619
E50	5°	1005	4,77909407
	7,5°	1500	5,1948002
	10°	2000	5,54471201
E75	5°	1005	4,95916483
	7,5°	1500	5,23685081
	10°	2000	5,63947783
E100	5°	1005	4,90143706
	7,5°	1500	5,34474543
	10°	2000	5,71055741

2.3.19. Cuadro de datos de potencia efectiva calculada en función de la presión media efectiva para el combustible E100

Tabla 2. 34. Potencia efectiva del motor calcula en función de la presión media efectiva

RPM	pme (MPa)	pme (BAR)	POTENCIA EFECTIVA (Watts)
1000	0,723912562	7,23912562	8089,72
2000	0,704207338	7,04207338	15739,03
3000	0,734005476	7,34005476	24607,53
4000	0,83740945	8,3740945	37432,20
5000	0,887872949	8,87872949	49609,90
6000	0,839342832	8,39342832	56277,94

2.3.20. Cuadro de datos de potencia del motor medida en el banco Maha LPS 3000 para el combustible E100

Tabla 2. 35. Potencia del motor medida en el banco Maha LPS 3000

RPM	POTENCIA EFECTIVA (kW) - BANCO DINAMOMÉTRICO
1000	9,16
2000	19
3000	33
4000	45,688
5000	58,653
6000	65,319

CAPITULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. INTRODUCCIÓN

Una vez obtenidos los valores de los diferentes parámetros de estudio de esta investigación se realiza una validación estadística la que se detalla en el anexo 4. A continuación se analiza el comportamiento del motor en potencia, torque y consumo de combustible, para lo cual se desarrolla una comparación entre los valores obtenidos para los diferentes combustibles E25, E50, E75 y E100 con respecto al combustible de referencia E0, esto se complementa con la presentación de un modelo matemático validado estadísticamente y grafica de rastreo de respuesta que representa el comportamiento de estas variables de estudio para diferentes concentraciones de etanol anhidro adicionado a la gasolina. En segunda instancia se analizan las emisiones contaminantes en prueba a 2500 rpm y a ralentí, para lo cual se comparan los valores obtenidos para los diferentes combustibles E25, E50, E75 y E100 con respecto al combustible de referencia E0. También se evalúa el comportamiento de la presión media efectiva, la potencia del motor y las emisiones de escape al someter al vehículo a una prueba tracción constante en el banco de potencia. Finalmente se evalúan las emisiones de CO, HC y NO con respecto a los límites establecidos en normativas nacionales e internacionales.

3.2. PRUEBA DE VALORES ATÍPICOS

Dentro del análisis realizado no se encontraron datos atípicos obtenidos de las mediciones realizadas en esta investigación, por lo que no es necesario realizar una comprobación de cada uno de los valores obtenidos en la investigación. Ver detalle en el anexo A.

3.3. ANÁLISIS DE POTENCIA, TORQUE Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El análisis de varianza y de la gráfica de residuos estandarizados cuatro en uno, se presenta en el anexo A.

3.3.1. Potencia del motor

3.3.1.1. Análisis de potencia

En la figura 3.1, se presentan los resultados promedios de las mediciones de potencia, donde se observa que para el combustible de referencia E0 el valor es de 55,48 kW y se incrementa a 62,33 kW para el combustible E25, lo que equivale a un incremento del 12,34 %, con respecto a las mezclas E50 la potencia es de 64,91 kW, E75 es de 65,47 kW y E100 es de 64,75 kW, lo que equivale a un incremento del 16,99%, 18% y 16,7% respectivamente.

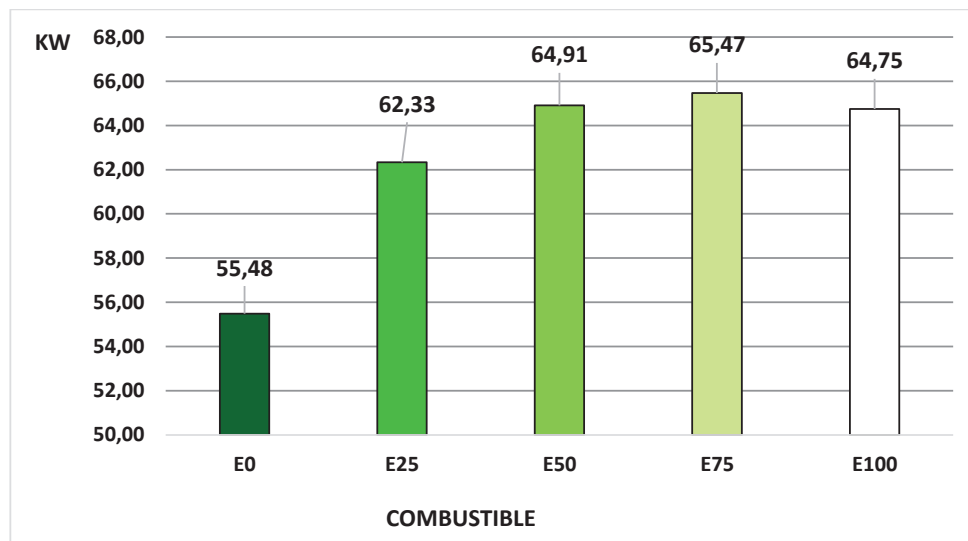


Figura 3. 1. Comparación de potencia del motor con las mezclas etanol – gasolina

3.3.1.2. Modelo explicativo para la potencia

Para determinar la influencia del grado de concentración del etanol anhidro en la potencia del motor con los datos obtenidos anteriormente se realiza una regresión

lineal y cuadrática obteniéndose los coeficientes de determinación que se indican la tabla 3.1; seleccionando el modelo cuadrático por cumplir los supuestos estadísticos.

Tabla 3. 1. Valores del Ajuste de la Regresión para la Potencia

Modelo	P- valor	R² (%)	R² Predicción (%)	R² ajustado (%)
Lineal	0,000	62.13	51.36	60.13
Cuadrático	0,000	90.81	88.11	89.79
Nota. Valor *p<.05				

Seleccionado el modelo cuadrático se tiene los coeficientes que se indican en la Tabla 3.2 y de esta manera se obtiene la ecuación 3.1 para la potencia del motor:

$$Y = 64,37(E) + 55,87(G) + 20,36 (E * G) \quad (3.1)$$

Para la ecuación 3.1, y las siguientes de este capítulo se tiene que:

E = Etanol en %

G = Gasolina de 86,5 octanos en %

Tabla 3. 2. Coeficientes de Regresión Estimados para la Potencia del Motor

Término	Coeficiente	Error del Coeficiente	T	P	VIF
Etanol	64,37	0.6020	*	*	2,037
Gasolina	55,87	0.620	*	*	2,037
Etanol*Gasolina	20,36	2.71660	7,50	0,00	3,370
Nota. Valor *p<.05					

Del análisis de varianza y de la gráfica de residuos estandarizados cuatro en uno de la ecuación 3.1 es significativo ($p = 0,000$), ver ANEXO 4, es decir, por lo menos uno de los términos en la ecuación tiene un impacto sobre la respuesta medida.

3.3.1.3. Gráfica de rastreo de respuesta de la potencia

La grafica de rastreo de potencia que se obtiene de la ecuación 3.1, se presenta la figura 3.2; para su análisis se parte del combustible de referencia con una potencia y a medida que aumenta la concentración de etanol en la gasolina se incremente la potencia hasta el combustible E75, desde este punto se tiene un descenso de la potencia has el combustible E100.

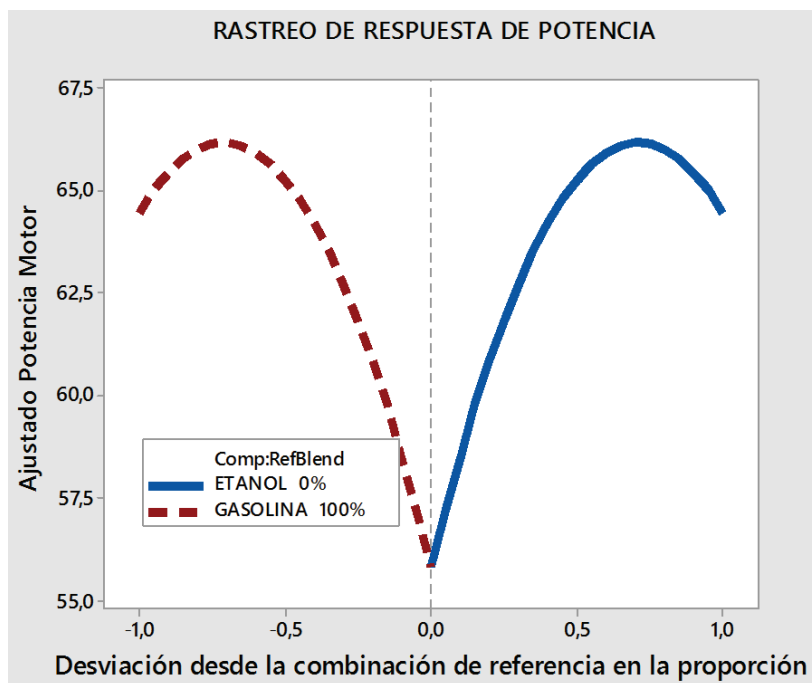


Figura 3. 2. Gráfica de rastreo potencia del motor

3.3.2. Torque del motor

3.3.2.1. Análisis de torque del motor

En la figura 3.3, se presentan los resultados promedios de torque del motor, donde se observa que para el combustible de referencia E0 es de 110 Nm, y se incrementa para las mezclas E25 112,76 Nm, E50 113,21 Nm, E75 114,29 Nm, lo que representa un incremento del 2,38%; 2,79%; 3,79% respectivamente. Para el combustible E100 se tiene un valor de 112,52 Nm equivalente al 2,17% mayor con respecto a E0.

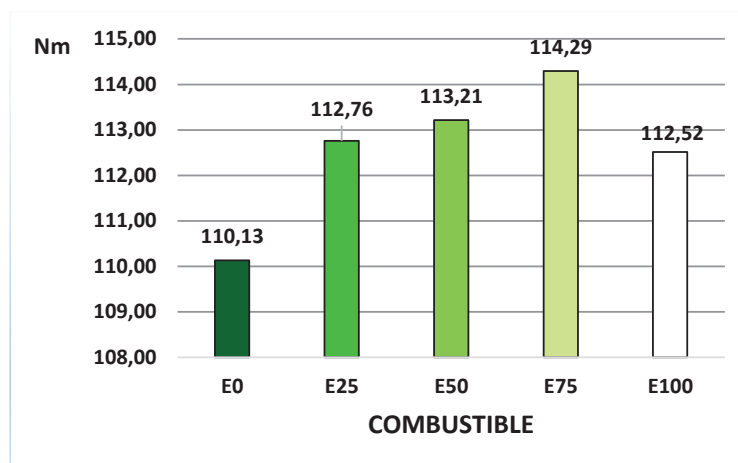


Figura 3.3. Comparación de torque de motor con las mezclas etanol – gasolina

3.3.2.2. Modelo explicativo del torque

La ecuación obtenida mediante regresión según los datos de la tabla 3.3, es el modelo cuadrático donde $R^2 = 49,39$ y el p -valor = 0,011 por cumplir con los supuestos estadísticos.

Tabla 3.3. Valores del Ajuste de la Regresión para el Torque del Motor

Modelo	P- valor	R^2 (%)	R^2 Predicción (%)	R^2 Ajustado (%)
Lineal	0,016	27,04	9,03	23,20
Cuadrático	0,011	49.39	33.84	43.76

Nota. Valor * $p < .05$

Seleccionado el modelo cuadrático se tiene los coeficientes que se indican en la tabla 3.4 y de esta manera se obtiene la ecuación explicativa 3.2 para el torque del motor.

$$Y = 113,42(E) + 111,009(G) + 7,160 (E * G) \quad (3.2)$$

Tabla 3.4. Coeficientes de Regresión Estimados para el Torque del Motor

Término	Coefficiente	Error del Coeficiente	T	P	VIF
Etanol	113.42	0,5629	*	*	2,037
Gasolina	111.009	0.5629	*	*	2,037
Etanol*Gasolina	7.160	2.5401	2.82	0,011	3,370

Término	Coefficiente	Error del Coeficiente	T	P	VIF
Nota. Valor * $p < .05$					

Del análisis de varianza y de la gráfica de residuos estandarizados cuatro en uno, para la ecuación 3.2 es significativo (p -valor = 0,011), es decir, por lo menos uno de los términos en la ecuación tiene un impacto sobre la respuesta medida.

3.3.2.3. Gráfica de rastreo de la respuesta del torque

La grafica de rastreo de torque que se presenta en la figura 3.4, se obtiene de la ecuación 3.2, la que muestra cómo el porcentaje de etanol anhidro afecta al torque del motor en relación con el combustible de referencia por lo tanto a medida que se incrementa la concentración de etanol anhidro en el combustible el torque se incrementa rápidamente, hasta un punto máximo de 114,78 Nm con un combustible E75, a partir de este punto decrece a 113 Nm con el combustible E100.

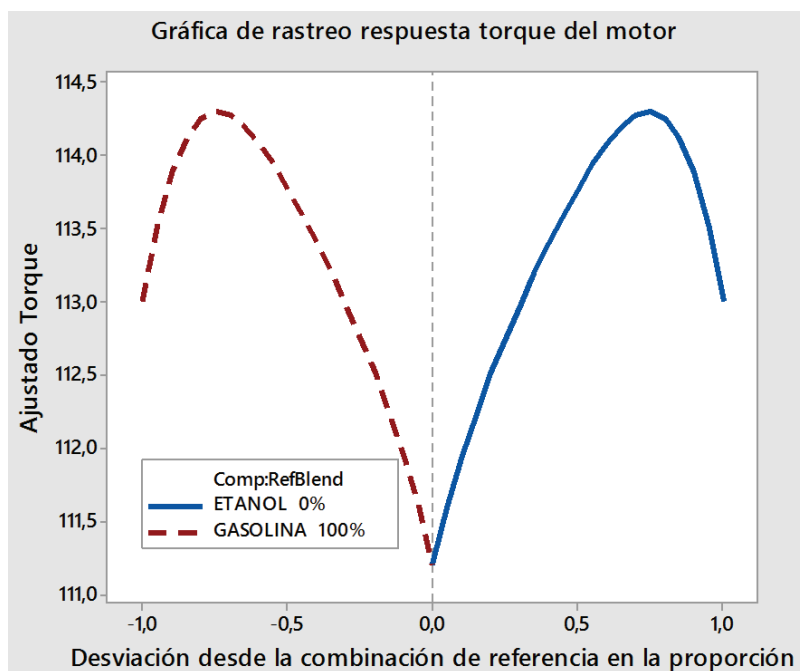


Figura 3. 4. Gráfica de rastreo respuesta torque del motor

3.3.3. Consumo de combustible

3.3.3.1. Análisis de consumo de combustible

En la figura 3.5, se presentan los resultados promedios sobre el consumo de combustible, se observa un incremento en el consumo para los combustibles con contenido de etanol anhidro; siendo muy notable el incremento para el combustible E100 con un valor de 6,15 lt/100 km, con respecto a los 5,15 lt/100 km del combustible de referencia E0, lo que equivale a un aumento del 19,47%.

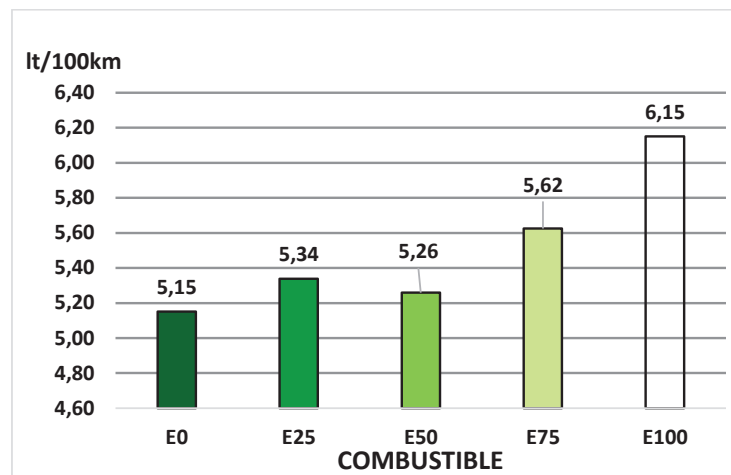


Figura 3. 5. Consumo de combustible

3.3.3.2. Modelo explicativo del consumo de combustible

Se realiza la regresión con los datos obtenidos de la investigación y se ajusta a un modelo cuadrático verificando el cumplimiento de los supuestos estadísticos, que se indican en la tabla 3.5. Del cual se selecciona la ecuación lineal con un $R^2 = 66,87$ y el p-valor = 0,000. Además en la columna de p- valor se observa que en la regresión cuadrática el nivel de significancia es mayor que 0,05 por lo tanto esta regresión no se considera.

Tabla 3. 5. Valores del Ajuste de la Regresión para el Consumo Combustible

Modelo	P- valor	R^2 (%)	R^2 Predicción (%)	R^2 Ajustado (%)
Lineal	0,000	66,87	60,54	65,12
Cuadrático	0,980	66,87	57,81	63,19
Nota. Valor *p<.05				

Seleccionado el modelo lineal, se tiene los coeficientes que se presentan en la tabla 3.3 y de esta manera se obtiene la ecuación explicativa 3.3 para el consumo de combustible del motor.

$$Y = 0,04937(E) + 0,03582(G) \quad (3.3)$$

Tabla 3. 6. Coeficientes de regresión estimados para consumo combustible

Término	Coefficiente	Error del Coeficiente	T	P	VIF
Etanol	0,04937	0,001308	*	*	1,190
Gasolina	0,03582	0,001308	*	*	1,190
Nota. Valor *p<.05					

Del análisis de la varianza y de la gráfica de residuos estandarizados cuatro en uno, para la ecuación 3.3 es significativo (p-valor = 0,00), es decir, por lo menos uno de los términos en la ecuación tiene un impacto sobre la respuesta medida y puede ser usado para predecir de mejor manera la variable consumo de combustible.

3.3.3.3. Gráfica rastreo de respuesta del consumo combustible

La grafica de rastreo de consumo de combustible que se presenta en la figura 3.6, se obtiene de la ecuación 3.3, se parte del combustible de referencia y se observa que el consumo de combustible presenta una tendencia a aumentar a partir del incremento del porcentaje de etanol anhidro en el combustible hasta llegar a un máximo con E100.

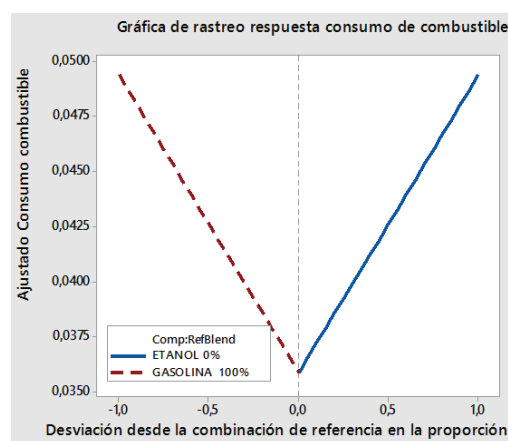


Figura 3. 6. Gráfica de rastreo respuesta consumo de combustible de motor

3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE EMISIONES CONTAMINANTES A RALENTÍ

3.4.1. Emisiones de monóxido de carbono a ralentí

3.4.1.1. Análisis de emisiones de CO a ralentí

En la figura 3.7, se presentan los resultados promedios de las emisiones de CO, en la que se observa que para el combustible de referencia E0 el valor es de 0,25 %Vol, que comparando con los combustibles E25, E50, E75, E100, se produce un descenso considerable que van desde el 76% para el E25 hasta el 88% para el E50, E75, E100.

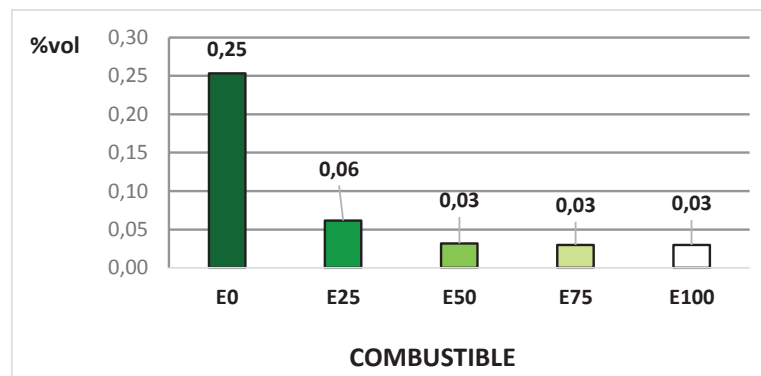


Figura 3. 7. Emisiones de monóxido de carbono a ralentí

3.4.1.2. Modelo explicativo monóxido de carbono a ralentí

Se realiza la regresión con los datos obtenidos de la investigación y se ajusta a un orden superior del modelo según se indica en la tabla 3.7, donde se observan los diferentes valores que toma R^2 y el p-valor. Esta información permite seleccionar el modelo cúbico completo, por cumplir con el supuesto estadístico.

Tabla 3. 7. Valores del Ajuste de la Regresión para el Monóxido Carbono

Modelo	P- valor	R^2 (%)	R^2 Predicción (%)	R^2 Ajustado (%)
Lineal	0,00	53,00	38,33	50,53
Cuadrático	0,000	86,93	81,51	85,48
Cúbico completo	0,000	97,68	96,48	97,27

Nota. Valor *p<.05

Una vez seleccionado el modelo cúbico completo se tienen los coeficientes del modelo que se presentan en la tabla 3.8 y de esta manera se obtiene la ecuación explicativa 3.4, para el monóxido de carbono a ralentí.

$$Y = 0.27(E) + 0.25(G) - 0,49(E * G) + 0,44(E * G)(E - G) \quad (3.4)$$

Tabla 3. 8. Coeficientes de regresión estimados para el CO a ralentí

Término	Coeficiente	Error del Coeficiente	T	P	VIF
Etanol	0,0277	0,007592	*	*	2,454
Gasolina	0,257	0,007592	*	*	2,454
Etanol*Gasolina	-0,4923	0,031216	-15,77	0,000	3,370
Etanol*Gasolina*(-)	0,4444	0,050057	8,88	0,000	1,500
Nota. Valor *p<.05					

Del análisis de la varianza y de la gráfica de residuos estandarizados cuatro en uno, para la ecuación 3.4, es significativo (p-valor = 0,00), es decir, por lo menos uno de los términos en la ecuación tiene un impacto sobre la respuesta medida y se valida la ecuación por lo tanto puede ser usado para predecir de mejor manera la variable monóxido de carbono.

3.4.1.3. Gráfica de rastreo de respuesta para el monóxido de carbono a ralentí

La grafica de rastreo del CO que se presenta en la figura 3.8, se obtiene de la ecuación 3.9, en esta figura se observa que la máxima emisión de CO se da para el combustible de referencia E0 y desciende a medida que se incorpora etanol anhidro en la gasolina, se observa un ligero incremento desde E50 a E80 y luego desciende nuevamente desde E80 a E100.

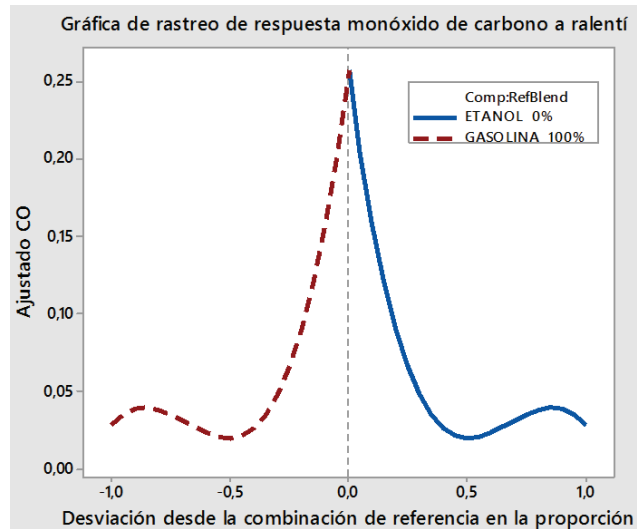


Figura 3. 8. Gráfica de rastreo respuesta monóxido carbono a ralentí

3.4.2. Emisiones de bióxido de carbono a ralentí

3.4.2.1. Análisis de emisiones de CO₂ a ralentí

En la figura 3.9, se presentan los resultados promedios de las emisiones de CO₂, donde se observa que para los combustible E25, E50 el valor es de 14,6 %Vol y 14,7 %Vol, lo que equivale al 2,09 % y al 3 % de incremento con respecto al combustible de referencia E0; mientras que para los combustibles E75 y E100 se aprecia un descenso, con valores de 13,8 % Vol y 13,47 % Vol, lo que equivale al 3,49% y 5,80% respectivamente.

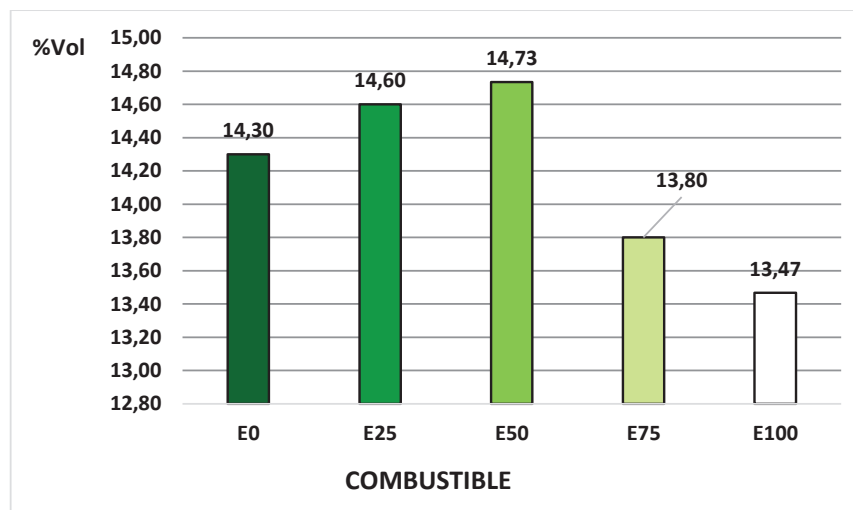


Figura 3. 9. Emisiones de bióxido de carbono a ralentí

3.4.2.2. Modelo explicativo del bióxido de carbono

Se realiza la regresión con los datos obtenidos de la investigación y se ajusta a un orden superior del modelo hasta verificar el cumplimiento de los supuestos estadísticos que se presentan en la tabla 3.9, donde $R^2 = 81,52$ y el p-valor = 0,000, esta información permite seleccionar el modelo cuadrático.

Tabla 3. 9. Valores del Ajuste de la Regresión para el CO₂

Modelo	P- valor	R ² (%)	R ² Predicción (%)	R ² Ajustado (%)
Lineal	0,00	57,53	48,40	55,30
Cuadrático	0.00	81,52	75,48	79,47

Nota. Valor *p<.05

Seleccionando el modelo cuadrático, se tienen los coeficientes de la ecuación que se presentan en la Tabla 3.10 y de esta manera se obtiene la ecuación explicativa 3.5, para el dióxido de carbono a ralentí.

$$Y = 0,13(E) + 14,38(G) + 2,43(E * G) \quad (3.5)$$

Tabla 3. 10. Coeficientes de regresión estimados para CO₂

Término	Coefficiente	Error del Coeficiente	T	P	VIF
Etanol	13,315	0,1114	*	*	2,037
Gasolina	14,381	0,14144	*	*	2,037
Etanol*Gasolina	2,430	0,5026	4.83	0,000	3,370

Nota. Valor *p<.05;

Del análisis de la varianza y de la gráfica de residuos estandarizados cuatro en uno, para la ecuación 3.5, es significativo (p-valor = 0,00), es decir, por lo menos uno de los términos en la ecuación tiene un impacto sobre la respuesta medida y se valida la ecuación por lo que puede ser usado para predecir de mejor manera el comportamiento del bióxido de carbono a ralentí.

3.4.2.3. Gráfica de rastreo de la respuesta bióxido de carbono a ralentí

La grafica de rastreo del CO₂ que se presenta en la figura 3.10, se obtiene de la ecuación 3.8, en esta se observa que para el combustible de referencia E0 el CO₂ tiende a subir hasta E25 y a partir de este punto desciende el CO₂ hasta llegar al combustible E100.

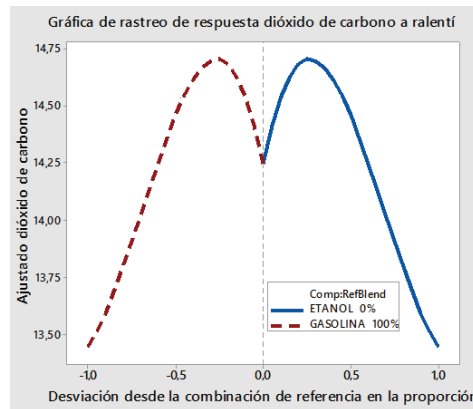


Figura 3. 10. Gráfica de rastreo respuesta dióxido de carbono a ralenti

3.4.3. Emisiones de hidrocarburos no combustionados a ralenti

3.4.3.1. Análisis Emisiones de HC a ralenti

En la figura 3.11, se presentan los resultados promedio de las emisiones de HC, en la que se observa una disminución notable para los combustibles E25, E50, E75 y E100, con un valor promedio 86,85 % con respecto al combustible de referencia E0.

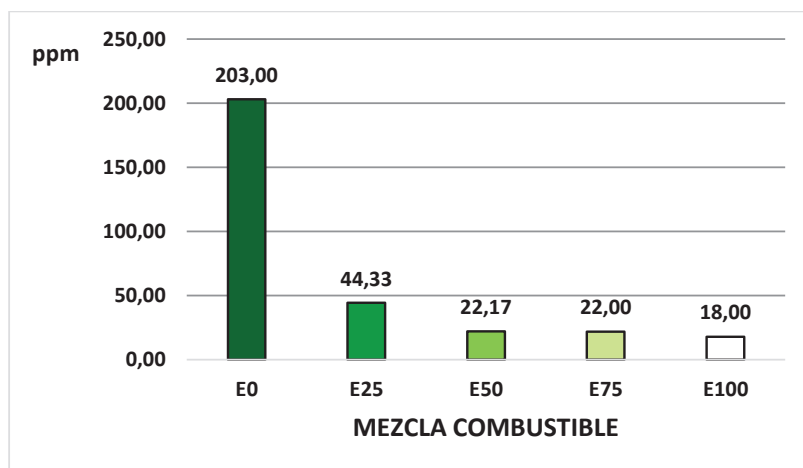


Figura 3. 11. Emisiones de HC a ralenti

3.4.3.2. Modelo explicativo de HC a ralentí

Se realiza la regresión con los datos obtenidos a ralentí y se ajusta a un orden superior del modelo hasta verificar el cumplimiento de supuestos estadísticos los que se presentan en la tabla 3.11, donde $R^2 = 99,10$ y el p-valor = 0,000. Esta información permite seleccionar el modelo cúbico ya cumple con supuestos.

Tabla 3. 11. Valores del Ajuste de la Regresión para el HC a Ralentí

Modelo	P- valor	R^2 (%)	R^2 Predicción (%)	R^2 Ajustado (%)
Lineal	0,000	56,36	38,89	50,90
Cuadrático	0,000	86,79	81,30	85,32
Cúbico completo	0,000	99,10	98,78	98,94

Nota. Valor *p<.05

Una vez seleccionado el modelo cúbico completo se tiene los coeficientes del modelo que se presentan en la tabla 3.12 y de esta manera se obtiene la ecuación explicativa 3.6, para los hidrocarburos emitidos por el motor a ralentí.

$$Y = 18,8(E) + 202,5(G) - 399(E * G) + 378,7(E * G)(E - G) \quad (3.6)$$

Tabla 3. 12. Coeficientes de regresión estimados para HC a ralentí

Término	Coeficiente	Error del Coeficiente	T	P	VIF
Etanol	15,8	3,762	*	*	2,454
Gasolina	202,5	3,762	*	*	2,454
Etanol*Gasolina	-389,0	15,470	-25,15	0,000	3,370
Etanol*Gasolina*(-)	378,7	24,807	15,26	0,000	1,500

Nota. Valor *p<.05;

Del análisis de la varianza y de la gráfica de residuos estandarizados cuatro en uno, para la ecuación 3.6, es significativo (p-valor = 0,00), es decir, por lo menos uno de los términos en la ecuación tiene un impacto sobre la respuesta medida por lo tanto puede ser usado para predecir de mejor manera la variable hidrocarburo en ralentí.

3.4.3.3. Gráfica de rastreo de la respuesta hidrocarburos a ralenti

La grafica de rastreo del HC que se presenta en la figura 3.12, se obtiene de la ecuación 3.11, se parte del combustible de referencia E0 con un valor máximo de emisiones de HC el mismo que presenta una tendencia a la baja de HC corresponde a una mezcla E50 y a partir de este punto sube ligeramente con E80, para finalmente bajar con el combustible E100.

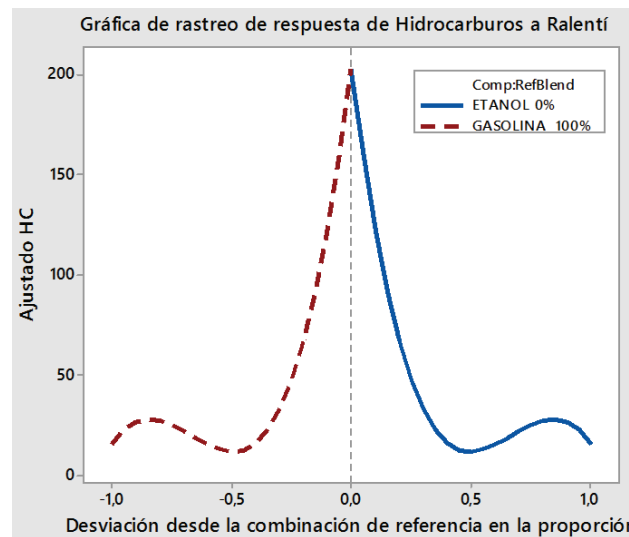


Figura 3. 12. Gráfica de rastreo respuesta hidrocarburo a ralenti

3.4.4. Emisiones de O₂ a ralenti

3.4.4.1. Análisis de las emisiones de O₂ a ralenti

En la figura 3.13, se presentan los resultados promedios de las emisiones de O₂, se observa que para el combustible de referencia E0, el valor es de 0,69 % Vol, evidenciándose un descenso para E25 con 0,37 % Vol y E50 con 0,27 % Vol, lo que representa una disminución del 46,37 % y 60,86 % respectivamente. Para los combustibles E75 el valor es de 1,47 % Vol y E100 igual a 1,72 % Vol, lo que representa un incremento del 113,04 % y 149,27 % con respecto a E0.

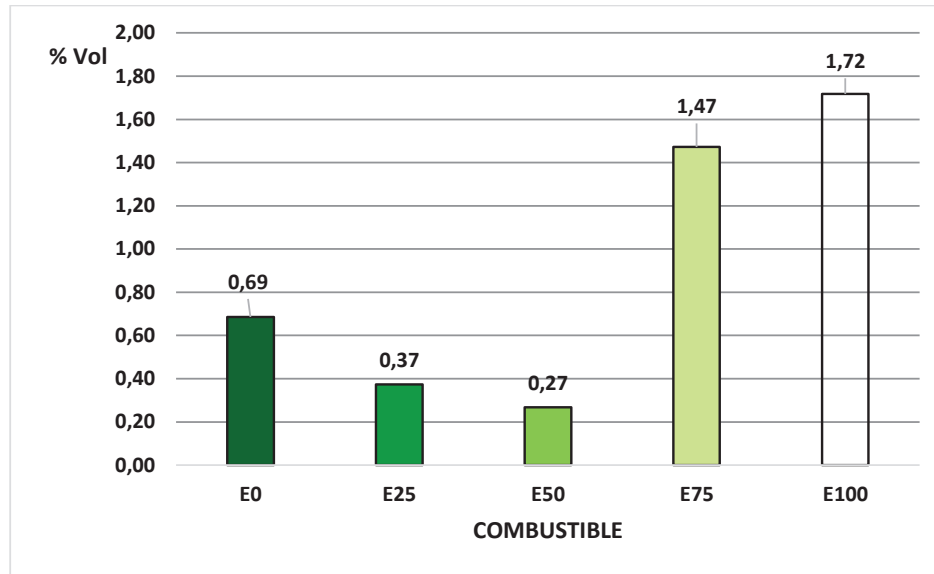


Figura 3. 13. Emisiones de O₂ en ralentí

3.4.4.2. Modelo explicativo del oxígeno a ralentí

Se realiza la regresión con los datos obtenidos de la investigación y se ajusta a un cuadrático verificando el cumplimiento de supuestos estadísticos, que se indican en la tabla 3.13. Del cual se selecciona la ecuación cuadrática con un $R^2 = 80,05$ y el p-valor = 0,000.

Tabla 3. 13. Valores del Ajuste de la Regresión para el Óxido de Nitrógeno a 2500rpm

Modelo	P- valor	R ² (%)	R ² Predicción (%)	R ² Ajustado (%)
Lineal	0,000	64,12	56,54	62,23
Cuadrático	0,001	80,05	73,15	77,83
Nota. Valor *p<.05				

Seleccionado el modelo cuadrático, se tiene los coeficientes que se presentan en la tabla 3.4 y de esta manera se obtiene la ecuación explicativa 3.7, para el O₂ con el motor a ralentí.

$$Y = 103(E) + 31,9(G) - 250,3(E * G) \quad (3.7)$$

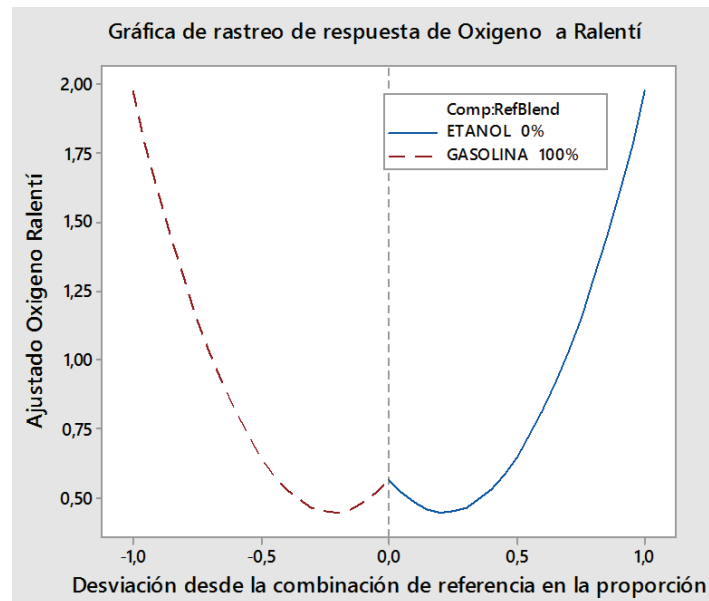
Tabla 3. 14. Coeficientes de Regresión Estimados para O₂ a ralenti

Término	Coefficiente	Error del Coeficiente	T	P	VIF
Etanol	1,977	0,1455	*	*	2,037
Gasolina	0,561	0,1455	*	*	2,037
Etanol*Gasolina	-2,489	0,6565	-3,79	0,001	3,370
Nota. Valor *p<.05					

Del análisis de la varianza y de la gráfica de residuos estandarizados cuatro en uno, para la ecuación 3.7, es significativo (p -valor = 0,001), es decir, por lo menos uno de los términos en la ecuación tiene un impacto sobre la respuesta media y puede ser usado para predecir de mejor manera el oxígeno

3.4.4.3. Gráfica de rastreo de respuesta O₂ a Ralenti

La grafica de rastreo del O₂ a Ralenti que se obtiene de la ecuación 3.12, se presenta en la figura 3.14; para su análisis se parte del combustible de referencia, se observa que el O₂ a ralenti disminuye muy poco hasta llegar al combustible E25 para nuevamente subir bruscamente con el aumento del porcentaje de etanol hasta el combustible E100.

**Figura 3. 14.** Gráfica de rastreo respuesta O₂ a ralenti

3.4.5. Emisiones de óxidos de nitrógeno a ralenti

3.4.5.1. Análisis de emisiones de óxidos de nitrógeno a ralenti

En la figura 3.15, se presentan los resultados promedio de las mediciones de NO_x , donde se observa una disminución de estos gases para los combustibles E25, E50, E75, E100; siendo está más notoria para el combustible E50 con un valor de 3,00 ppm, que equivalente al 87,9 % menos con respecto a E0.

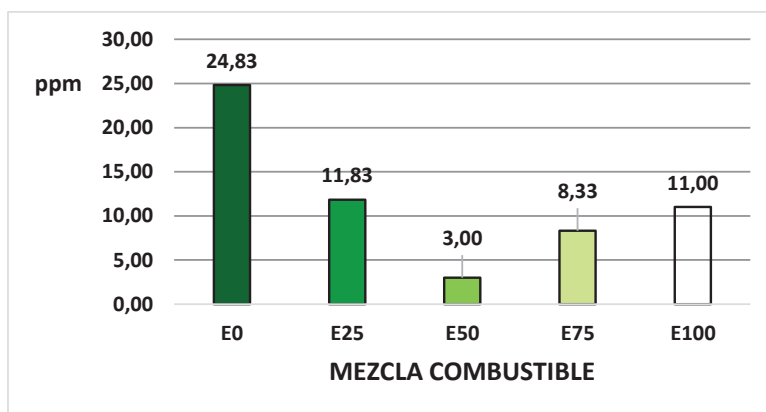


Figura 3. 15. Emisiones de óxidos de nitrógeno a ralenti

3.4.5.2. Modelo explicativo del NO_x a ralenti

Se realiza la regresión con los datos obtenidos de la investigación y se ajusta a un cuadrático verificando el cumplimiento de supuestos estadísticos, que se indican en la tabla 3.15. Del cual se selecciona la ecuación cuadrática con un $R^2 = 90,18$ y el p-valor = 0,000.

Tabla 3. 15. Valores del Ajuste de la Regresión para el Óxido de Nitrógeno a Ralenti

Modelo	P- valor	R^2 (%)	R^2 Predicción (%)	R^2 Ajustado (%)
Lineal	0,006	33,52	15,50	30,02
Cuadrático	0,000	90,18	87,22	89,09
Nota. Valor *p<.05				

Seleccionado el modelo cuadrático, se tiene los coeficientes en la tabla 3.16 y de esta manera se obtiene la ecuación explicativa 3.8 para los NO_x del motor a ralenti.

$$Y = 13,25(E) + 24,70(G) - 52,49(E * G) \quad (3.8)$$

Tabla 3. 16. Coeficientes de Regresión Estimados para Consumo Combustible

Término	Coefficiente	Error del Coeficiente	T	P	VIF
Etanol	13,25	1,141	*	*	2,037
Gasolina	24,70	1,141	*	*	2,037
Etanol*Gasolina	-52,49	5,150	-10,49	0,000	3,370
Nota. Valor *p<.05					

Del análisis de la varianza y de la gráfica de residuos estandarizados cuatro en uno, para la ecuación 3.8, es significativo (p-valor = 0,00), es decir, por lo menos uno de los términos en la ecuación tiene un impacto sobre la respuesta media y puede ser usado para predecir de mejor manera los óxidos de nitrógeno

3.4.5.3. Gráfica de rastreo de respuesta NO_x a ralentí

La grafica de rastreo del NO_x a Ralentí que se obtiene de la ecuación 3.13, se presenta en la figura 3.16; para su análisis se parte del combustible de referencia, donde se observa los NO_x a ralentí baja hasta su punto máximo con una combustible E60, para nuevamente subir con el aumento del porcentaje de etanol hasta el combustible E100 pero por debajo de los valores de referencia.

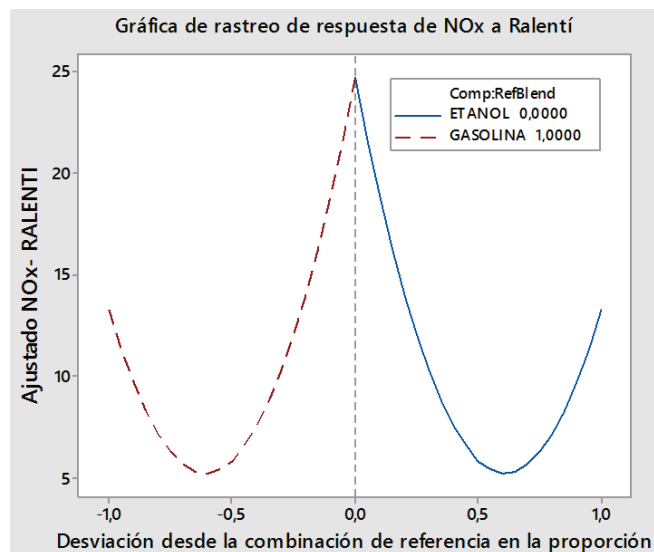


Figura 3. 16. Gráfica de rastreo respuesta NO_x a ralentí

3.5. ANÁLISIS DE EMISIONES CONTAMINANTES A 2500 RPM

3.5.1. Emisiones de monóxido de carbono a 2500 rpm

3.5.1.1. Análisis de emisiones de CO a 2500 rpm

En la figura 3.17, se presentan los resultados promedios de las emisiones de CO, en la que se observa que para el combustible de referencia E0 el porcentaje en volumen de CO es de 0,43 %Vol, que comparado con los combustibles E25, E50, E75, E100 se produce una disminución considerable de estas emisiones que van desde el 81,39% para E25 hasta el 93% para E50, E75, E100.

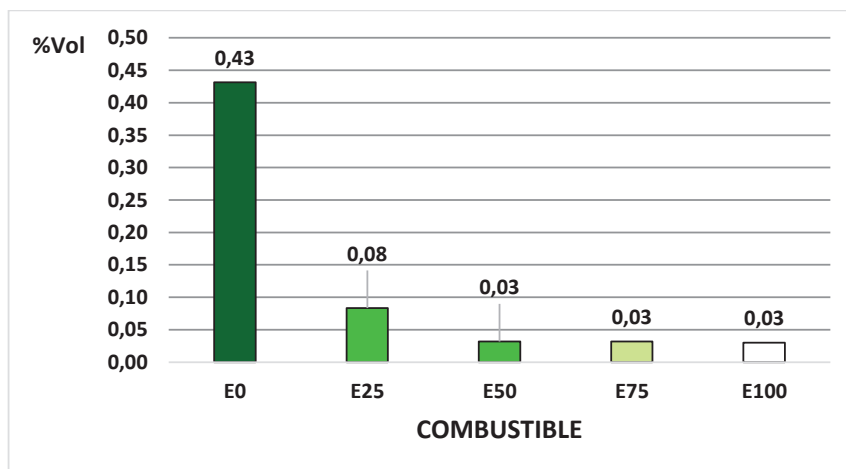


Figura 3. 17. Emisiones de monóxido de carbono a 2500 rpm

3.5.1.2. Modelo explicativo monóxido de carbono a 2500 rpm

Se realiza la regresión con los datos obtenidos a 2500 rpm del diseño experimental y se ajuste a un orden superior del modelo según se indica en la tabla 3.17, donde $R^2 = 39,78$ y el p-valor = 0,030. Esta información permite seleccionar el modelo cúbico completo, ya que cumple con supuestos estadísticos.

Tabla 3. 17. Valores del Ajuste de la Regresión para el Monóxido de Carbono

Modelo	P- valor	R^2 (%)	R^2 Predicción (%)	R^2 Ajustado (%)
Lineal	0,061	17,26	0.03	12,91
Cuadrático	0,443	20,00	0.00	11,11
Cúbico completo	0,030	39,78	15,44	29,15

Cuartico completo	0,075	50,90	26,35	38,62
Nota. Valor *p<0.05				

Una vez seleccionado el modelo cubico completo se tienen los coeficientes del modelo que se presentan en la tabla 3.18 y de esta manera se obtiene la ecuación explicativa 3.9 para el monóxido carbono.

$$Y = 0,039(E) + 0,039(G) + 0,0578(E * G) - 0,2489(E * G)(E - G) \quad (3.9)$$

Tabla 3. 18. Coeficientes de regresión estimados para CO

Término	Coefficiente	Error del Coeficiente	T	P	VIF
Etanol	0,039	0,01598	*	*	2,454
Gasolina	0,0439	0,001598	*	*	2,454
Etanol*Gasolina	0,0578	0,06570	0,88	0,391	3,370
Etanol*Gasolina*(-)	-0,2489	0,10535	-2,36	0,030	1,500
Nota. Valor *p<.05					

Del análisis de la varianza y de la gráfica de residuos estandarizados cuatro en uno, para la ecuación 3.9 es significativo (p-valor = 0,030), es decir, por lo menos uno de los términos en la ecuación tiene un impacto sobre la respuesta medida.

3.5.1.3. Gráfica de rastreo de respuesta monóxido de carbono a 2500 rpm

La grafica de rastreo del CO que se presenta en la figura 3.18, se obtiene de la ecuación 3.4, para su análisis se parte del combustible de referencia E0, se observa que el CO tiende a subir hasta alcanza un máximo valor con el combustible E15 y a partir de este punto desciende a un mínimo con E60, a partir de este punto se incrementa ligeramente hasta el combustible E90; luego de este punto desciende ligeramente hasta E100.

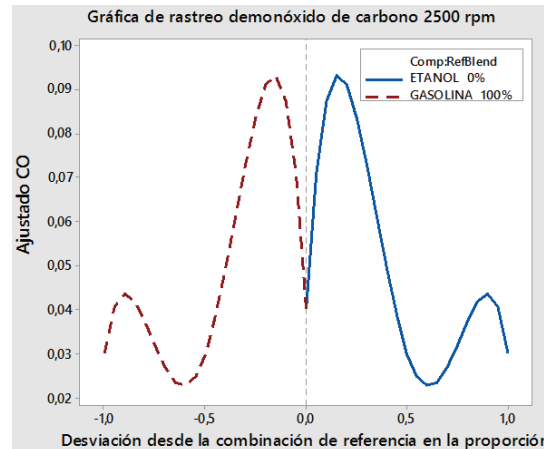


Figura 3. 18. Gráfica de rastreo respuesta monóxido carbono a 2500 rpm

3.5.2. Emisiones de bióxido de carbono a 2500 rpm

3.5.2.1. Análisis de emisiones de bióxido de carbono a 2500 rpm

En la figura 3.19, se presentan los resultados promedios de emisiones de CO_2 , en la que se observa que para el combustible de referencia E0 el valor es de 14,55 %Vol, produciéndose un ligero incremento entre los combustibles E25, E75 de 14,72 %Vol, y E50 de 14,82 %Vol, lo que equivale a un aumento del 1,16% para E25 y E75 y del 1,85% para E50, en tanto que para E100 se produce un descenso apreciable de 13,73 %Vol, correspondiente al 5,63% con respecto al combustible referencial E0.

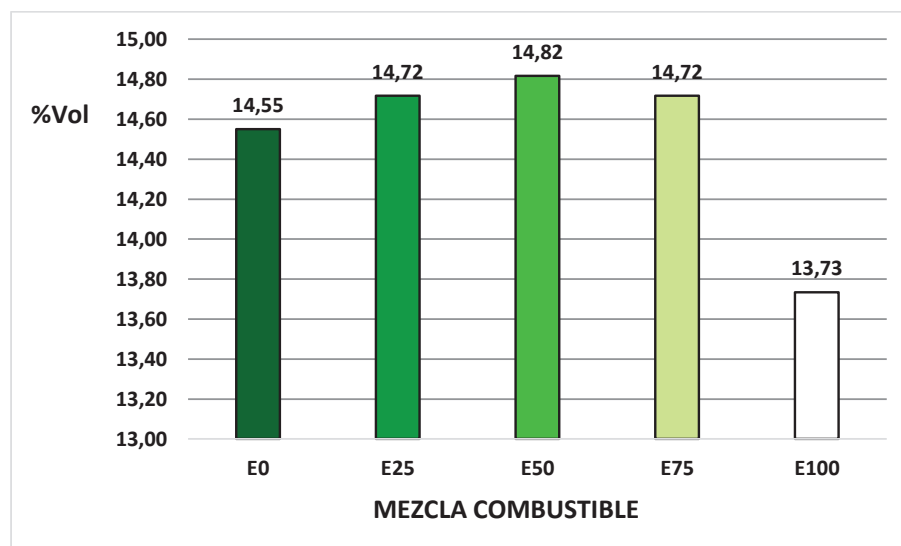


Figura 3. 19. Emisiones de bióxido de carbono a 2500 rpm

3.5.2.2. Modelo explicativo del bióxido de carbono CO₂ a 2500 rpm

Se realiza la regresión con los datos obtenidos a 2500 rpm del diseño de experimento y se ajusta a un orden superior del modelo hasta verificar el cumplimiento de supuestos estadísticos, según se indica en la tabla 3.19, donde $R^2 = 87,32$ y el p-valor = 0,02. Esta información permite seleccionar el modelo cúbico completo, ya que cumple con supuestos estadísticos.

Tabla 3. 19. Valores del Ajuste de la Regresión para el Bióxido de Carbono

Modelo	P- valor	R ² (%)	R ² Predicción (%)	R ² Ajustado (%)
Lineal	0,039	20,48	0,00	16,30
Cuadrático	0,000	77,07	65,11	74,53
Cúbico completo	0,002	87,32	76,62	85,08

Nota. Valor *p<.05

Seleccionado el modelo cubico completo se tienen los coeficientes del modelo detallados en la tabla 3.20 y de esta manera se obtiene la ecuación explicativa 3.10, para el bióxido carbono.

$$Y = 13,616 (E) + 14,483 (G) + 3,388 (E * G) + 2,311 (E * G)(E - G) \quad (3.10)$$

Tabla 3. 20. Coeficientes de Regresión Estimados para CO₂

Término	Coefficiente	Error del Coeficiente	T	P	VIF
ETANOL	13,616	0,0946	*	*	2,454
GASOLINA	14,483	0,09460	*	*	2,454
ETANOL*GASOLINA	3,388	0,38898	8,71	0,000	3,370
ETANOL*GASOLINA*(-)	2,311	0,62376	3,71	0,002	1,500

Nota. Valor *p<.05

Del análisis de la varianza y de la gráfica de residuos estandarizados cuatro en uno, para la ecuación 3.10, es significativo (p-valor = 0,02), es decir, por lo menos uno de los términos en la ecuación tiene un impacto sobre la respuesta medida y por lo tanto puede ser usado para predecir de mejor manera la variable CO₂.

3.5.2.3. Gráfica de rastreo de la respuesta bióxido de carbono a 2500 rpm

La grafica de rastreo del CO₂ que se presenta en la figura 3.20, se obtiene de la ecuación 3.10, se parte del combustible de referencia E0, en el cual el CO₂ tiende a subir hasta un combustible E60, a partir de este punto desciende bruscamente el valor de CO₂ con el combustible E100.

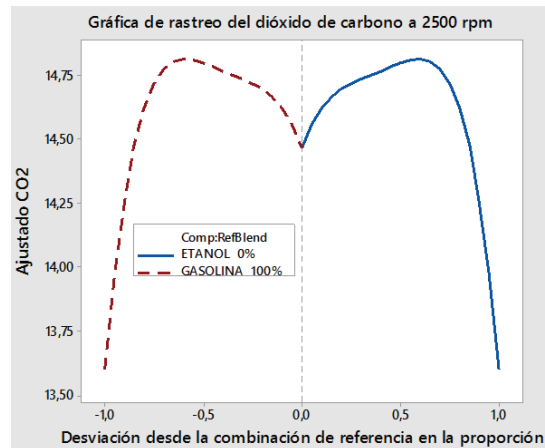


Figura 3. 20. Gráfica de rastreo respuesta dióxido de carbono a 2500 rpm

3.5.2. Emisiones de hidrocarburos no combustionados a 2500 rpm

3.5.3.1. Análisis de emisiones de hidrocarburo no combustionados a 2500 rpm

En la figura 3.21, se presentan los resultados promedios de emisiones de HC, en la que se observa que para el combustible de referencia E0 es de 43,43 ppm, y para los combustibles E25, E50, E75 y E100, se produce un descenso considerable de estas emisiones, que van desde el 31,31%, 47%, 51,6 y 58,16% respectivamente.

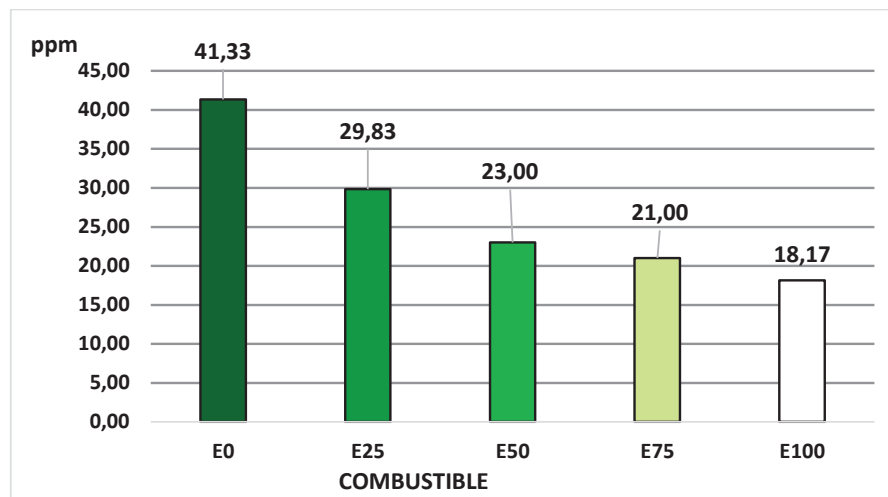


Figura 3. 21. Emisiones de hidrocarburos no combustionados a 2500 rpm

3.5.3.2. Modelo explicativo de los hidrocarburos HC

Se realiza la regresión con los datos obtenidos a 2500 rpm, los mismos que se ajusta a un orden superior del modelo según se indica en la tabla 3.21, donde $R^2 = 34,75$ y el p-valor = 0,005. Esta información permite seleccionar el modelo lineal por cumplir con los supuestos estadísticos.

Tabla 3. 21. Valores del Ajuste de la Regresión para los Hidrocarburos

Modelo	P- valor	R^2 (%)	R^2 Predicción (%)	R^2 Ajustado (%)
Lineal	0,005	34,75	16,88	31,32
Cuadrático	0,273	39,08	9,28	32,31

Nota. Valor *p<.05

Seleccionado el modelo lineal se determinan los coeficientes del modelo mediante los valores especificados en la tabla 3.22 y de esta manera se obtiene la ecuación explicativa 3.11 para los hidrocarburos emitidos por el motor a 2500 rpm.

$$Y = 17,29 (E) + 35,18 (G) \quad (3.11)$$

Tabla 3. 22. Coeficientes de regresión estimados para HC a 2500 rpm

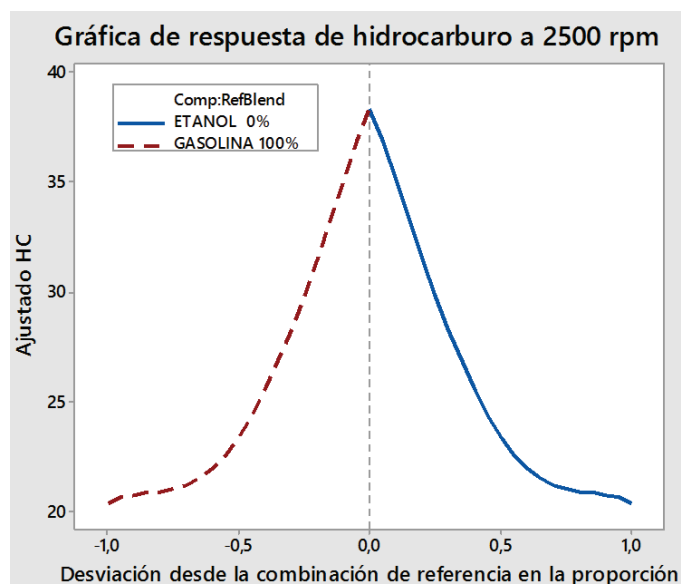
Término	Coefficiente	Error del Coeficiente	T	P	VIF
Etanol	17,29	3,361	*	*	1,190
Gasolina	35,18	3,361	*	*	1,190

Nota. Valor *p<.05

Del análisis de la varianza y de la gráfica de residuos estandarizados cuatro en uno, para la ecuación 3.11, es significativo (p -valor = 0,005), es decir, por lo menos uno de los términos en la ecuación tiene un impacto sobre la respuesta medida y por lo tanto puede ser usado para predecir de mejor manera la variable hidrocarburos a 2500 rpm.

3.5.3.3. Gráfica de rastreo de la respuesta hidrocarburos a 2500 rpm

La grafica de rastreo del HC que se presenta en la figura 3.22, se obtiene de la ecuación 3.6, se parte del combustible de referencia en el cual se observa una tendencia siempre a la baja de HC hasta llegar al combustible E100.

**Figura 3. 22.** Gráfica de rastreo respuesta hidrocarburo a 2500 rpm

3.5.4. Emisiones de oxígeno a 2500 rpm

3.5.4.1. Análisis de emisiones de O₂ a 2500 rpm

En la figura 3.23, se presentan los resultados promedios de emisiones de O₂, en la que se tiene que para el combustible de referencia E0 el valor es de 0,37 %Vol, que en comparación con E25 el valor es de 0,31 %Vol, E50 de 0,09 %Vol y E75 de 0,14%Vol, lo que equivale a una disminución del 16%, 75% y 62,16% respectivamente, también se observa que para E100 se tiene un valor de 1,33 %Vol, lo que representa un 259,45% de aumento con respecto a E0.

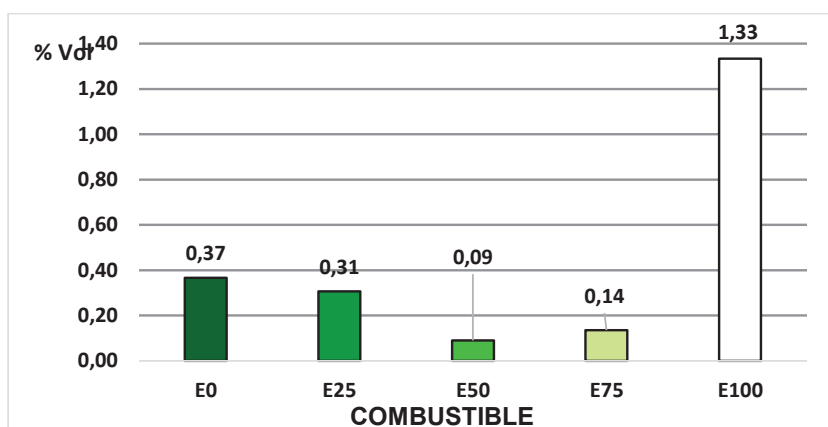


Figura 3. 23. Emisiones de oxígeno de a 2500 rpm

3.5.4.2. Modelo explicativo del O₂ a 2500 rpm

Se realiza la regresión con los datos obtenidos de la investigación y se ajusta a un modelo cuadrático verificando el cumplimiento de supuestos estadísticos, que se indican en la tabla 3.23. Del cual se selecciona la ecuación cubica con un $R^2 = 85,38$ y el p-valor = 0,000.

Tabla 3. 23. Valores del Ajuste de la Regresión para el Óxido de Nitrógeno a 2500rpm

Modelo	P- valor	R ² (%)	R ² Predicción (%)	R ² Ajustado (%)
Lineal	0,05	18,72	0,0	14,45
Cuadrático	0,000	64,20	47,79	60,23
Cúbico completo	0,00	85,38	74,65	82,80
Nota. Valor *p<.05				

Seleccionado el modelo cubico, se tiene los coeficientes que se presentan en la tabla 3.24 y de esta manera se obtiene la ecuación explicativa 3.12 para el O₂.

$$Y = 1,542(E) + 0,349(G) - 3,75(E * G) - 4,098(E * G)(E - G) \quad (3.12)$$

Tabla 3. 24. Coeficientes de regresión estimados para O₂ a 2500 rpm

Término	Coefficiente	Error del Coeficiente	T	P	VIF
Etanol	1,542	0,1252	*	*	2,454
Gasolina	0,349	0,1252	*	*	2,454
Etanol*Gasolina	-3,745	0,5149	-7,27	0,000	3,370
Etanol*Gasolina*(-)	-4,098	0,8257	-4,96	0,000	1,500
Nota. Valor *p<.05					

Del análisis de la varianza y de la gráfica de residuos estandarizados cuatro en uno, para la ecuación 3.12, es significativo (p-valor = 0,000), es decir, por lo menos uno de los términos en la ecuación tiene un impacto sobre la respuesta media y puede ser usado para predecir de mejor manera las emisiones de O₂ a 2500 rpm.

3.5.4.3. Gráfica de rastreo de respuesta O₂ a 2500 rpm

La grafica de rastreo del O₂ a 2500 rpm que se obtiene de la ecuación 3.7, se presenta en la figura 3.24; para su análisis se parte del combustible de referencia, tenemos que el O₂ a ralentí disminuye hasta llegar al combustible E60 para nuevamente subir bruscamente con el aumento del porcentaje de etanol hasta un combustible E100 sobrepasando en gran medida los valores de referencia.

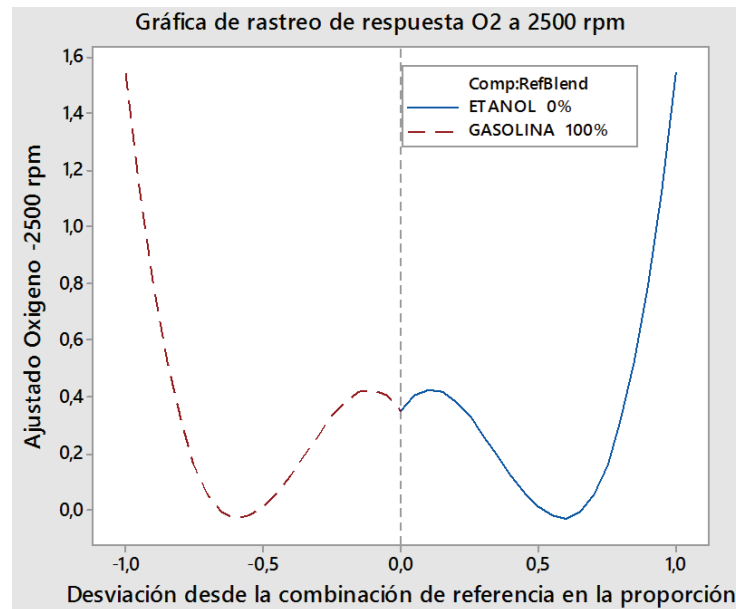


Figura 3. 24. Gráfica de rastreo respuesta O₂ a 2500 rpm

3.5.5. Emisiones de óxidos de nitrógeno a 2500 rpm

3.5.5.1. Análisis de emisiones de óxidos de nitrógeno a 2500 rpm

En la figura 3.25, se presentan los resultados promedios de emisiones de O₂, en la que se observa que para el combustible de referencia E0 el valor es de 17,83 ppm, produciéndose un apreciable descenso para los combustibles E25 y E50 correspondientes al 22,43% y 47,67% respectivamente, en tanto que para E75 se produce un aumento del 43,01%, y para el combustible E100 se da un incremento exorbitante correspondiente al 535,61%.

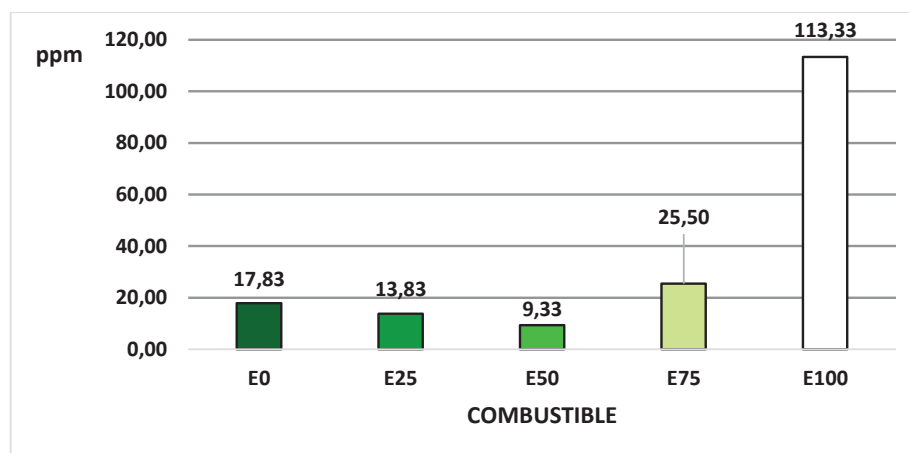


Figura 3. 25. Emisiones de óxidos de nitrógeno a 2500 rpm

3.5.5.2. Modelo explicativo del NO_x a 2500 rpm

Se realiza la regresión con los datos obtenidos de la investigación y se ajusta a un cuadrático verificando el cumplimiento de supuestos estadísticos, que se indican en la tabla 3.25. Del cual se selecciona la ecuación cuadrática con un $R^2 = 87,33$ y el p-valor = 0,000.

Tabla 3. 25. Valores del Ajuste de la Regresión para el Óxido de Nitrógeno a 2500rpm

Modelo	P- valor	R ² (%)	R ² Predicción (%)	R ² Ajustado (%)
Lineal	0,001	43,77	26	40,81
Cuadrático	0,000	87,33	81,01	85,92
Nota. Valor *p<.05				

Seleccionado el modelo cuadrático, se tiene los coeficientes que se presentan en la tabla 3.26 y de esta manera se obtiene la ecuación explicativa 3.13 que describe el comportamiento de los NO_x a 2500 rpm.

$$Y = 103(E) + 31,9(G) - 250,3(E * G) \quad (3.13)$$

Tabla 3. 26. Coeficientes de regresión estimados para NO_x a 2500 rpm

Término	Coficiente	Error del Coeficiente	T	P	VIF
Etanol	103,0	7,050	*	*	2,037
Gasolina	31,9	7,050	*	*	2,037
Etanol*Gasolina	-250,3	31,815	-7,87	0,000	3,370
Nota. Valor *p<.05					

Del análisis de la varianza y de la gráfica de residuos estandarizados cuatro en uno, para la ecuación 3.13, es significativo (p-valor = 0,00), es decir, por lo menos uno de los términos en la ecuación tiene un impacto sobre la respuesta media y puede ser usado para predecir de mejor manera los óxidos de nitrógeno a 2500 rpm.

3.5.5.3. Gráfica de rastreo de respuesta NO_x a 2500 rpm

La grafica de rastreo del NO_x a 2500 rpm que se obtiene de la ecuación 3.8, se presenta en la figura 3.26; para su análisis se parte del combustible de referencia,

tenemos que el NO_x a ralentí baja hasta su punto máximo con una combustible E35 para nuevamente subir con el aumento del porcentaje de etanol en el combustible hasta su máximo en E100 sobrepasando los valores de referencia.

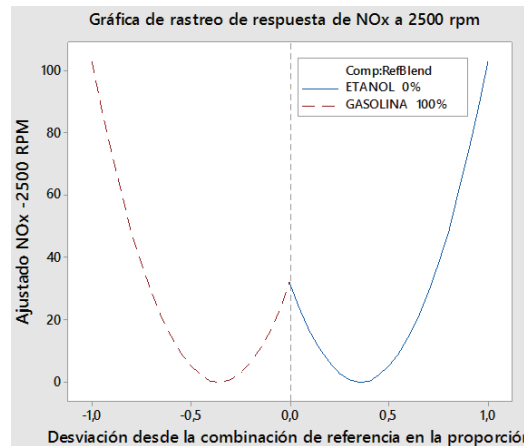


Figura 3. 26. Gráfica de rastreo respuesta NO_x a 2500 rpm

3.6. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR CON PRUEBA DE TRACCIÓN CONSTANTE

3.6.1. Análisis comparativo de la potencia del motor

3.6.1.1. Análisis comparativo del comportamiento de la presión media efectiva en función de la fuerza de tracción aplicada

En la figura 3.27, se presenta el comportamiento de la presión media efectiva cuando el vehículo supera pendientes de diferentes ángulos de inclinación y por lo tanto desigual fuerza de tracción. En esta figura se puede observar que la presión media efectiva se incrementa para todas las pruebas en función de la pendiente. Si toma la pendiente de 5° con respecto a diferentes mezclas se observa en E0 un valor mínimo de PME y la máxima en E75 con un incremento de 16,47%; para $7,5^\circ$ de pendiente entre E50 y E100 se tiene un 2,89% y para la pendiente de 10° entre E0 y E100 se tiene un 6,73% de aumento de la PME.

Con esto se puede decir que el motor incrementa su potencia cuando se demande superar pendientes con mayor inclinación y cuando funcione con mezclas con mayor contenido de etanol hasta el combustible con 100 % de etanol.

Realizando un análisis de los diferentes valores obtenidos de la presión media efectiva a diferente pendiente según se indica en la figura 3.27, se tiene que para la mezcla de referencia E0 se incrementa en un 25,18%; mientras que para las demás mezcla se tiene 21,31%; 15,30%; 13,74%; 16,53% para E25, E50, E75 y E100 respectivamente.

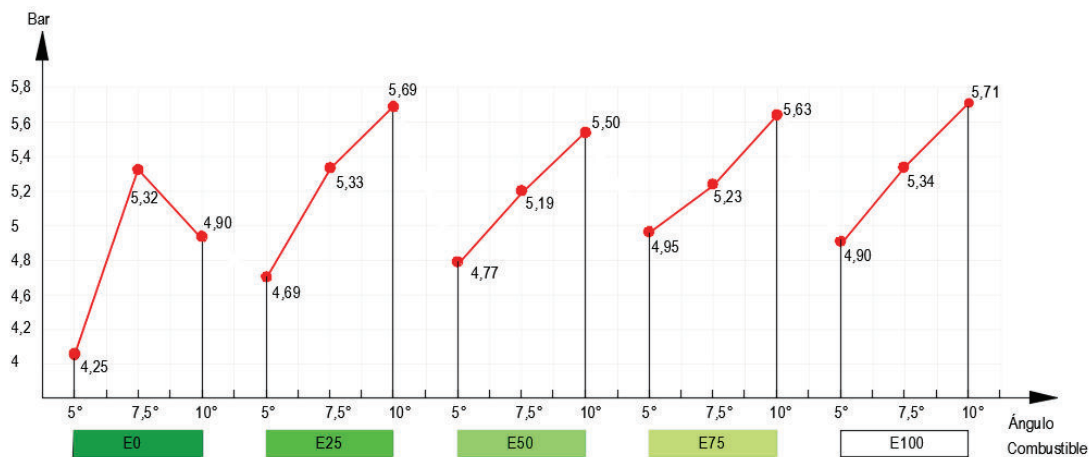


Figura 3. 27. Comportamiento de la presión media efectiva en función de la fuerza de tracción aplicada.

3.6.1.2. Análisis comparativo entre potencia calculada y medida banco potencia

En esta prueba se realiza la comparación entre la potencia calculada por medio de la presión media efectiva medida directamente en el motor versus la proporcionada por el banco dinamométrico de chasis para una mezcla E100. Los valores obtenidos se indican en la figura 3.28, las mediciones se tomaron en incrementos de 1000 rpm hasta llegar a 6000 rpm.

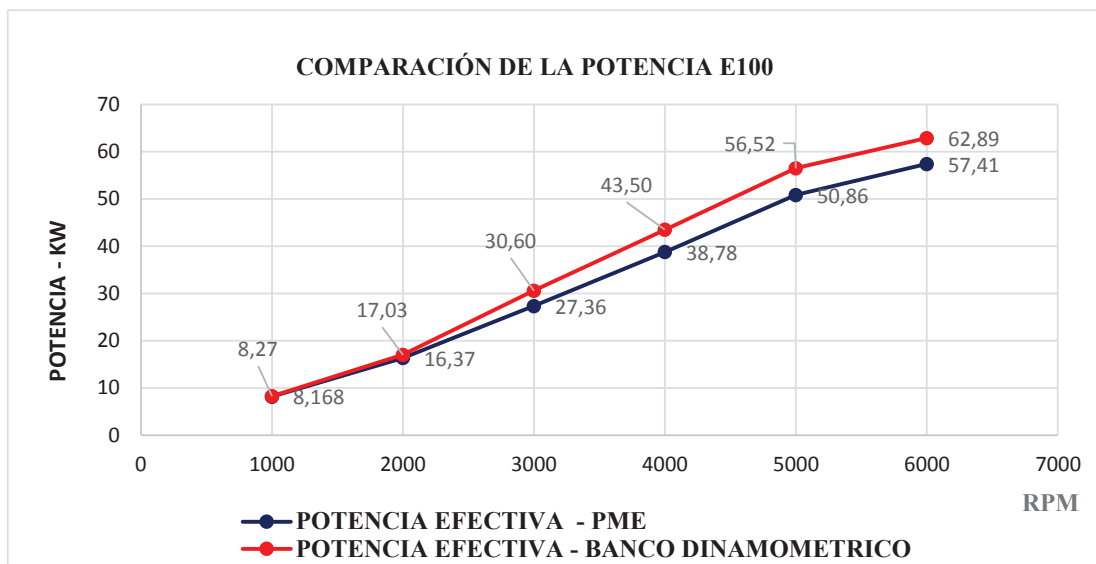


Figura 3. 28. Curvas comparativas entre la potencia calculada en función de la pme y la potencia medida en el banco Maha LPS 3000

Analizando la gráfica 3.28, se tiene las siguientes diferencias de la potencia del motor entre la PME (calculada) y la medida (banco dinamométrico) de 1,24%; 4,04%; 11,84%; 12,16%; 11,13% y 9,54% para una mezcla E100. Por lo tanto la potencia medida en el banco es mayor siempre que la calculada por la PME teniendo su máxima diferencia a 4000 rpm y la mínima a 1000 rpm.

3.6.2. Análisis de emisiones de monóxido de carbono

En la figura 3.29, se presentan los resultados promedio de emisiones de monóxido de carbono a tracción constan, se observa que para el combustible de referencia E0 el valor es de 0,01 %Vol, y para los demás combustibles se incrementa con valores de 0,04 %Vol, 0,0417 %Vol, 0,0433 %Vol y 0.03%Vol para los combustibles E25, E50 E75 y E100 respectivamente, lo que corresponde a un incremento promedio del 287,5 % con respecto al combustible de referencia.

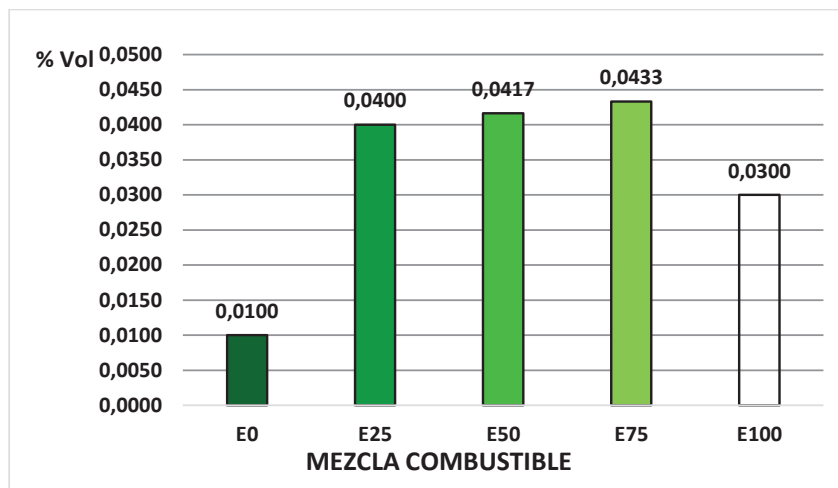


Figura 3. 29. Emisiones de monóxido de carbono en prueba de tracción constante

3.6.3. Análisis de emisiones de bióxido de carbono

En la figura 3.30, se presentan los resultados promedio de las emisiones de bióxido de carbono, donde se observa una tendencia lineal de emisiones entre el combustible de referencia E0, E25, E50, E75, con valores de 14,8 %Vol, 14,85 %Vol, 14,77 %Vol, 14,62 %Vol respectivamente, mientras que para E100 se produce un descenso de 10,77 %Vol, lo que equivale al 27,22 % menos con respecto a E0.

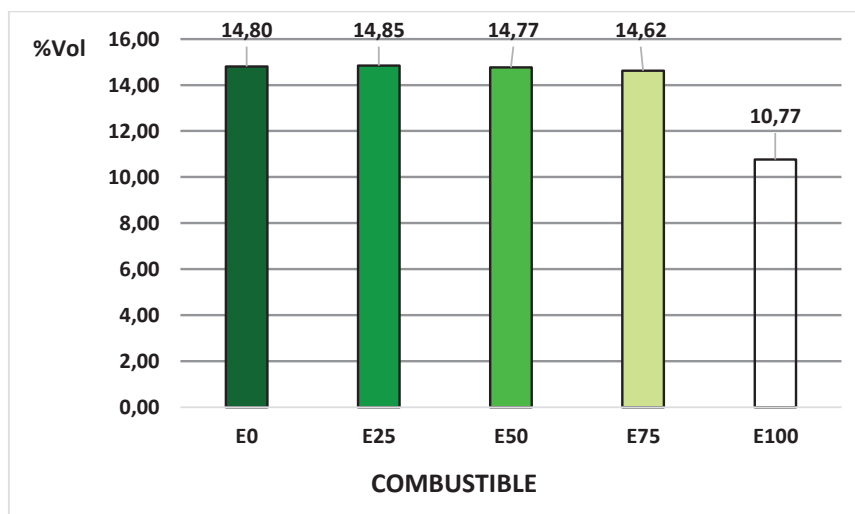


Figura 3. 30. Emisiones de bióxido de carbono en prueba de tracción constante

3.6.4. Análisis de emisiones de hidrocarburos no combustionados

En la figura 3.31, se presentan los resultados promedios de emisiones de HC, donde se observa un ligero incremento entre E25 y E50, con valores de 24,17 ppm y 20,00 ppm, con respecto al combustible de referencia E0, cuyo valor es de 17,33 ppm, lo que representa un aumento del 39,46 % y 15,40 % respectivamente. También se observa un descenso para los combustibles E75 y E100 con valores de 16,00 ppm y 14,67 ppm equivalente a una disminución porcentual del 7,67 % y 15,34 % respectivamente.

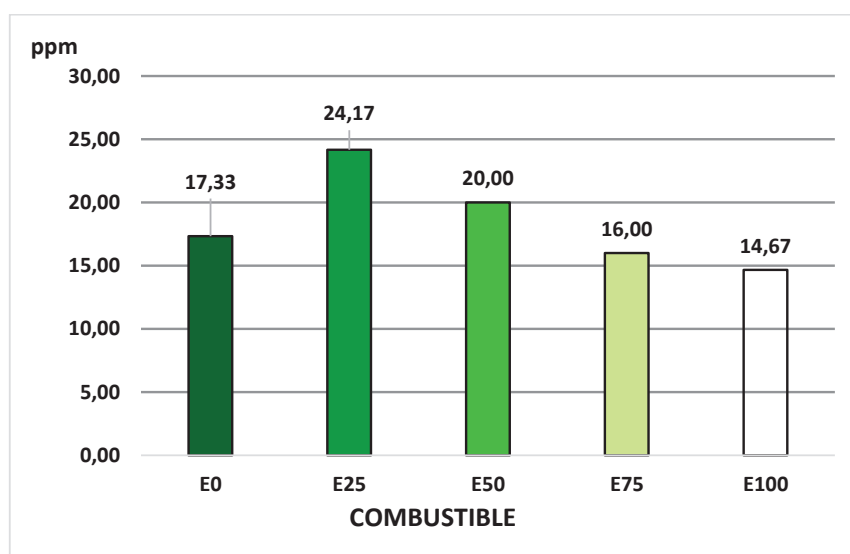


Figura 3. 31. Emisiones de HC en prueba de tracción constante

3.6.5. Análisis de emisiones de óxidos de nitrógeno

En la figura 3.32, se presentan los resultados promedio de emisiones de NO_x, se observa un ligero descenso para el combustible E25 de 366,17 ppm frente a las 383,17 ppm del E0, equivalente a un 8,27 % menos. Para los combustibles E50 y E75 se produce un aumento de 428 ppm y de 493,17 ppm, lo que equivale a un aumento del 26,56% y del 45,78% respectivamente. Finalmente para el combustible E100 se da un descenso apreciable de 183,33 ppm, equivalente al 45,78% menos con respecto al combustible de referencia E0.

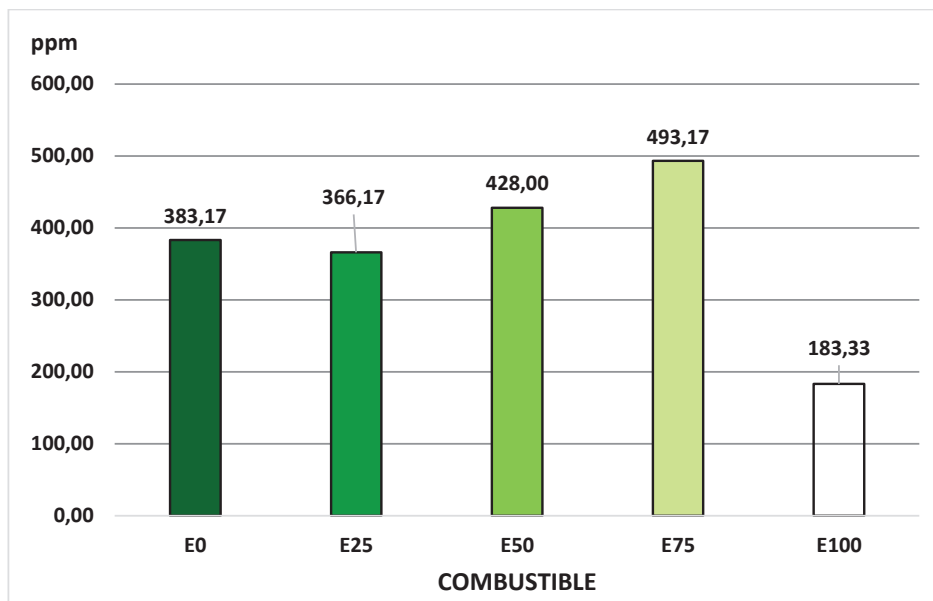


Figura 3. 32. Emisiones de óxidos de nitrógeno en prueba de tracción constante

3.6.6. Análisis de emisiones de oxígeno

En la figura 3.33, se presentan los resultados promedio de las emisiones de O_2 , se observa que para los combustibles E0, E25, E50, E75, los valores son 0,09 %Vol, 0,08 %Vol, 0,11 %Vol, 0,10 %Vol respectivamente, que comparados con el combustible E100 cuyo valor es de 5,59 %Vol, lo que representa un incremento considerable con una relación de 58,84 veces mayor.

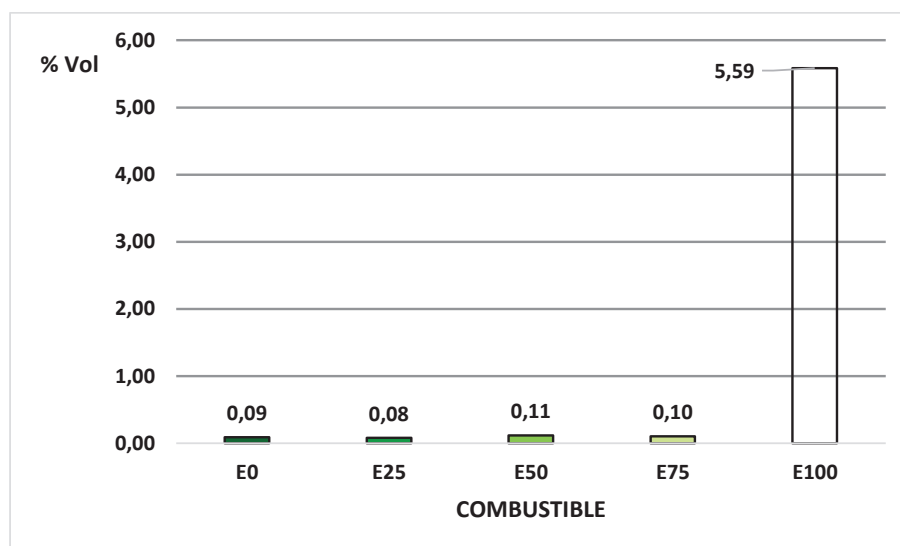


Figura 3. 33. Emisiones de oxígeno en prueba de tracción constante

3.6.7. Análisis del factor Lambda

En la figura 3.24, se presentan los resultados promedio de los valores del factor lambda, donde se observa que este oscila entre 1,002 y 1,004 para los combustibles E0, E25, E50 y E75, lo que indica que la mezcla aire – combustible tiende a ser estequiométrica. Para el caso del combustible E100 el valor es de 1,36, lo que indica que el motor está trabajando con una mezcla aire – combustible con exceso de aire.

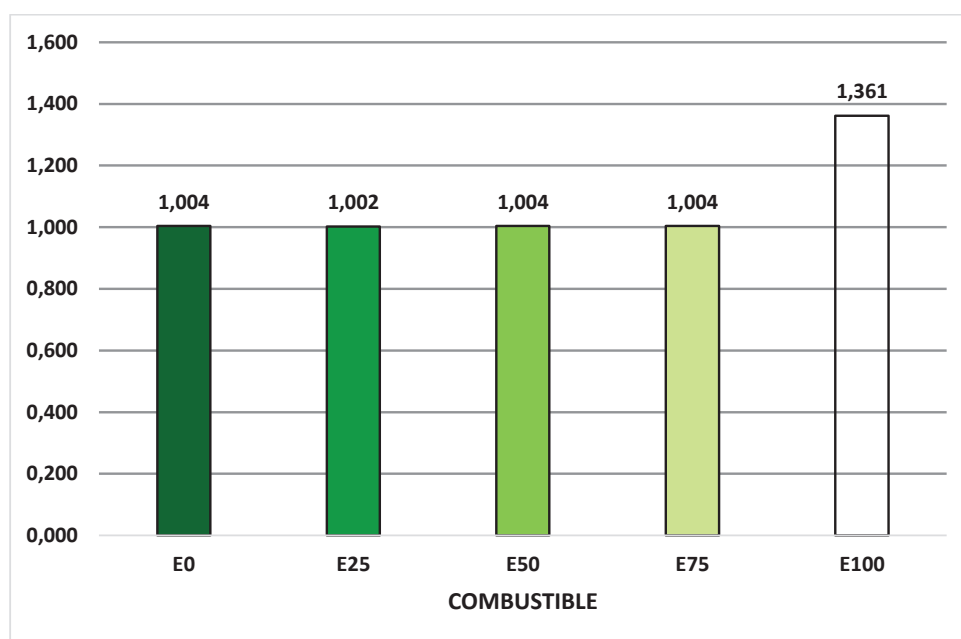


Figura 3. 34. Factor lambda en prueba de tracción constante

3.7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS EMISIONES CON RESPECTO A NORMA NACIONAL E INTERNACIONAL

3.7.1. Análisis comparativo de emisiones a ralenti

El análisis comparativo de las emisiones a ralenti se realiza con los datos especificados en la norma ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002, y con el DECRETO N° 2673 normativa venezolana.

3.7.1.1. Análisis comparativo de emisiones de CO a ralentí con la norma NTE INEN 2 204:2002 y el DECRETO N° 2673

En la figura 3.35, se presentan los resultados promedio de emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburo no combustionados comparado con los valores según la norma NTE INEN 2 204:2002, y el DECRETO N° 2363, se observa que los valores registrados para todos los combustibles son inferiores en comparación con los límite permitido, registrándose valores de emisiones muy bajas para todas los combustibles con adición de etanol.

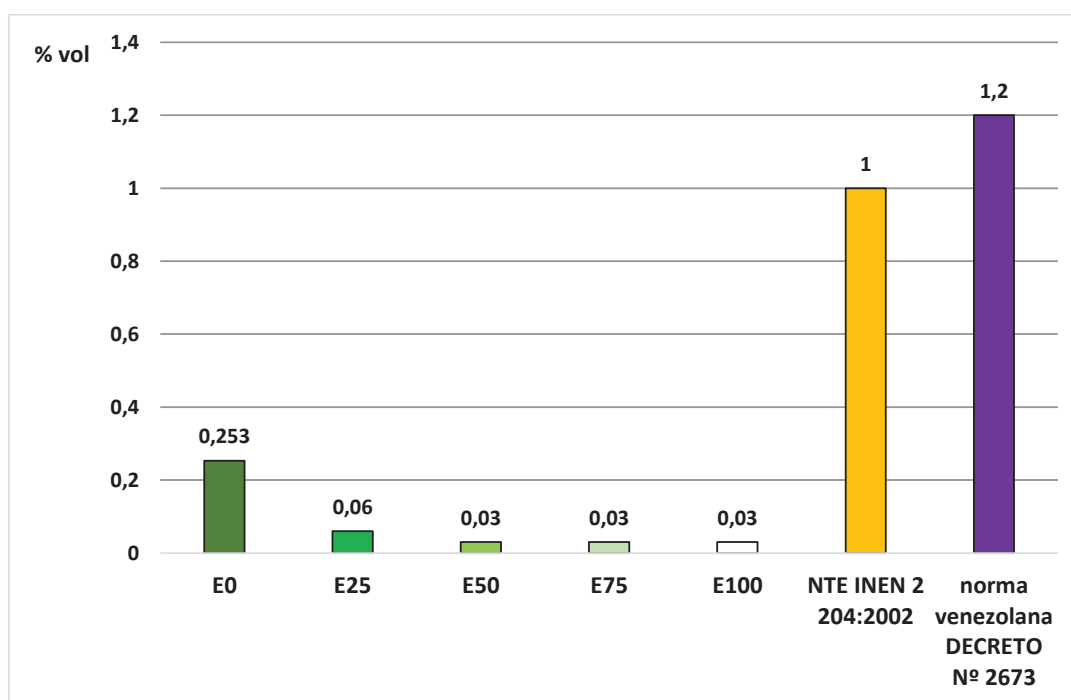


Figura 3. 35. Emisiones de CO a ralentí vs norma NTE INEN 2 204:200 y DECRETO N° 2673

3.7.1.2. Análisis comparativo de emisiones de HC a ralentí con la norma NTE INEN 2 204:2002 y el DECRETO N° 2673

En la figura 3.36, se presentan los resultados promedio de emisiones de monóxido de carbono comparado con el valor permitido según la norma ecuatoriana y el decreto venezolano, en la que se observa que para el combustible de referencia el valor de emisión es ligeramente mayor al permitido por la norma ecuatoriana e inferior al límite venezolano, en tanto que para los combustibles con contenido de

etanol los valores registrados son inferiores a los límites especificados por las normas.

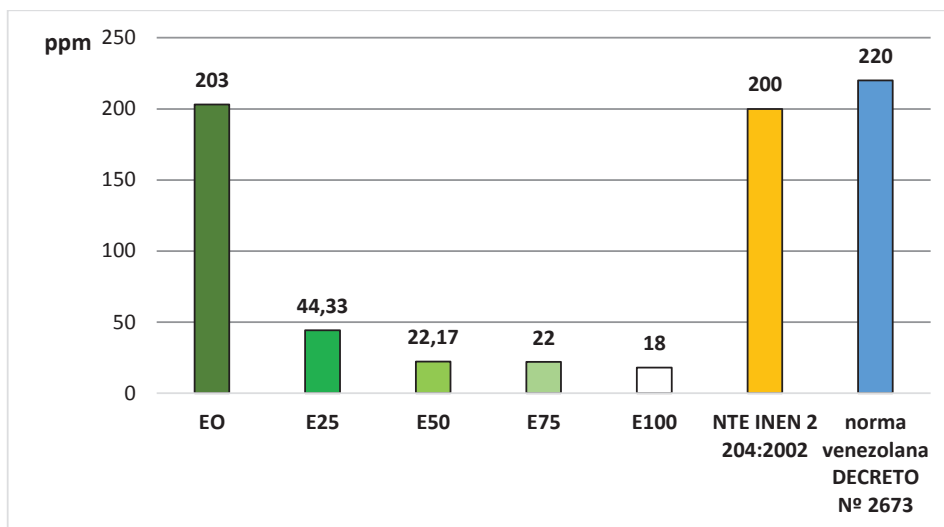


Figura 3. 36. Emisiones de HC a ralentí vs norma NTE INEN 2 204:200 y DECRETO N° 2673

3.7.2. Análisis comparativo de los factores de emisión con la norma nacional, la normativa chilena y la norma EURO

Los factores de emisión para el CO, HC y NO se determinan aplicando las ecuaciones descritas en la sección 1.6.3, a continuación se presentan los resultados para cada uno de los productos así como su respectivo análisis comparativo con la norma nacional NTE INEN 2 204:2002, la norma oficial chilena, y las norma Euro I, II, III, IV, V, VI . Los cálculos se detallan en el anexo D.

3.7.2.1. Análisis comparativo de las emisiones de CO con la norma NTE INEN 2 204:2002 y la norma oficial chilena

En la figura 3.37, se presentan los resultados promedio de emisiones de monóxido de carbono comparado con el valor permitido según la norma ecuatoriana NTE INEN 2 204 y la Normativa Chilena, en la que se observa que los valores de están por debajo de los valores permitidos por las normativas.

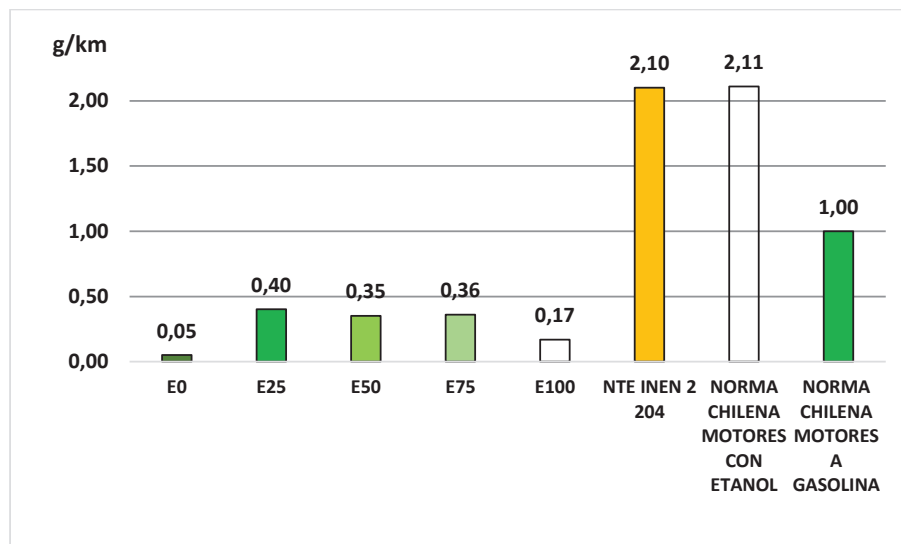


Figura 3. 37. Emisiones de CO vs NTE INEN 2 204 y Normativa Chilena

3.7.2.2. Análisis comparativo de las emisiones de CO con la norma EURO VI

En la figura 3.38, se presentan los resultados promedio de emisiones de monóxido de carbono comparado con el valor permitido según la norma EURO VI, se observa que los valores obtenidos son inferiores al máximo permitido.

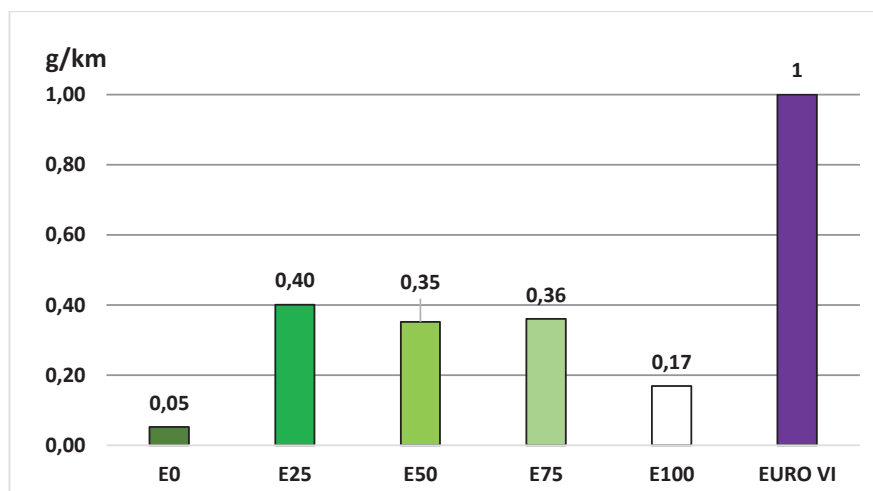


Figura 3. 38. Emisiones de CO vs norma EURO VI

3.7.2.3. Análisis comparativo de las emisiones de HC con la norma NTE INEN 2 204:2002 y la norma oficial chilena

En la figura 3.39, se presentan los resultados promedio de emisiones de HC, se observa que los resultados del estudio están por debajo de la norma INEN 2 204 y de la normativa chilena para motores a gasolina; en tanto que para motores a etanol especificado en la norma chilena, en los combustibles E25 y E50 se pasan los límites permitidos, para los demás es igual al máximo permitido.

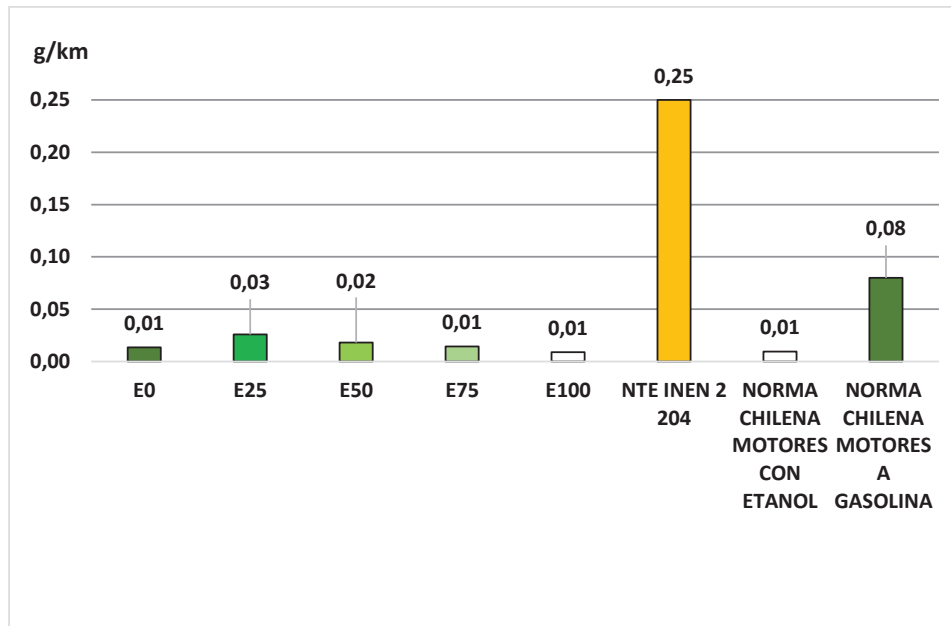


Figura 3. 39. Emisiones de HC vs NTE INEN 2 204 y Normativa Chilena

3.7.2.4. Análisis comparativo de las emisiones de HC con la norma EURO VI

En la figura 3.40, se presentan los resultados promedio de emisiones de HC, se observa que los resultados del estudio están por debajo de la norma EURO VI.

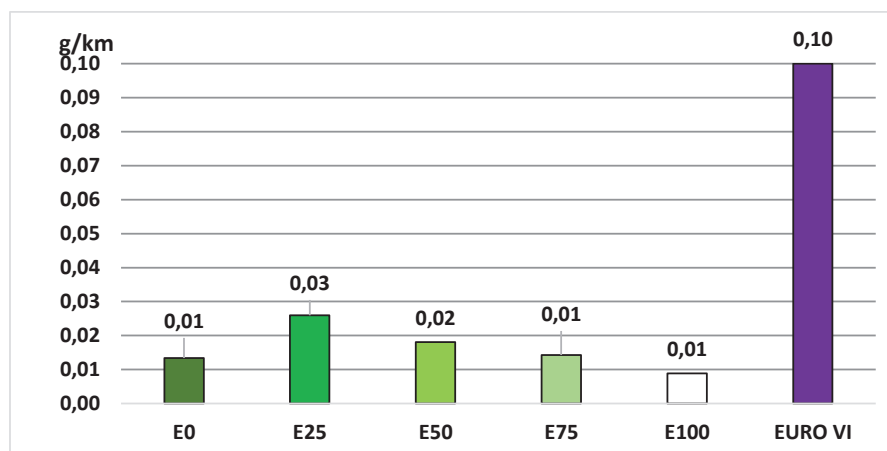


Figura 3. 40. Emisiones de HC vs norma EURO VI

3.7.2.5. Análisis comparativo de las emisiones de NO con la norma NTE INEN 2 204:2002 y la norma oficial chilena

En la figura 3.41, se presentan los resultados promedio de emisiones de NO, se observa que los resultados del estudio están por debajo de la norma INEN 2 204, y la normativa chilena para motores a etanol y gasolina, los valores obtenidos están por encima de las máximo permitidos.

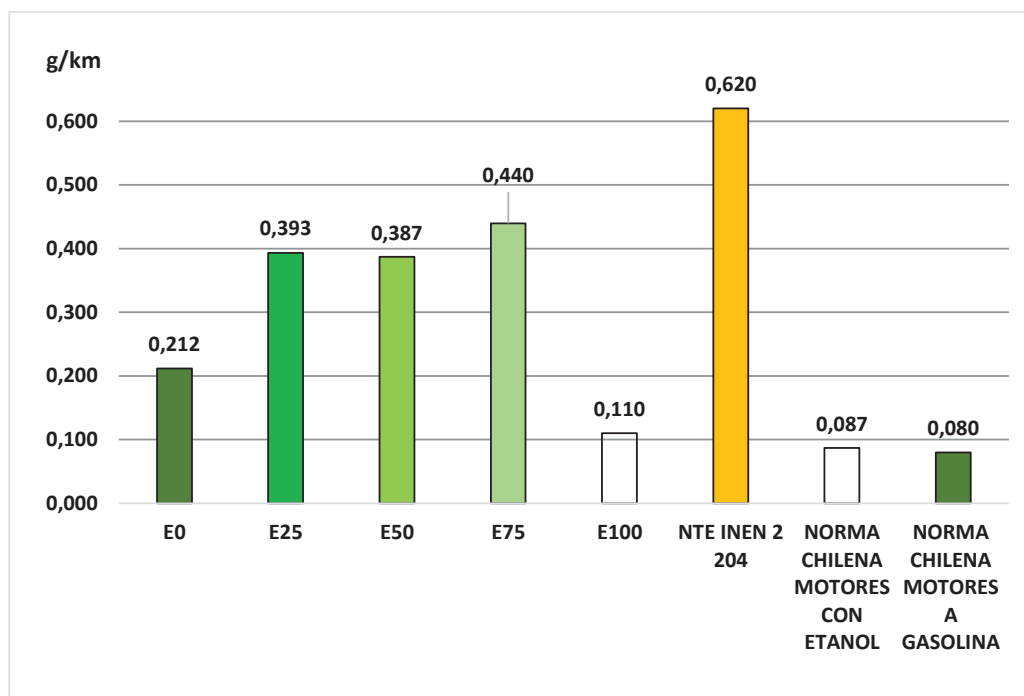


Figura 3. 41. Emisiones de NO vs NTE INEN 2 204 y Normativa Chilena

3.7.2.6. Análisis comparativo de las emisiones de NO con la norma EURO VI

En la figura 3.42, se presentan los resultados promedio de emisiones de NO, se observa que los resultados del estudio están por encima de los límites permitidos por la norma EURO III, IV, V y VI. Cabe notar que el valor obtenido para el combustible E100 es menor que norma EURO III, pero mayor a las demás.

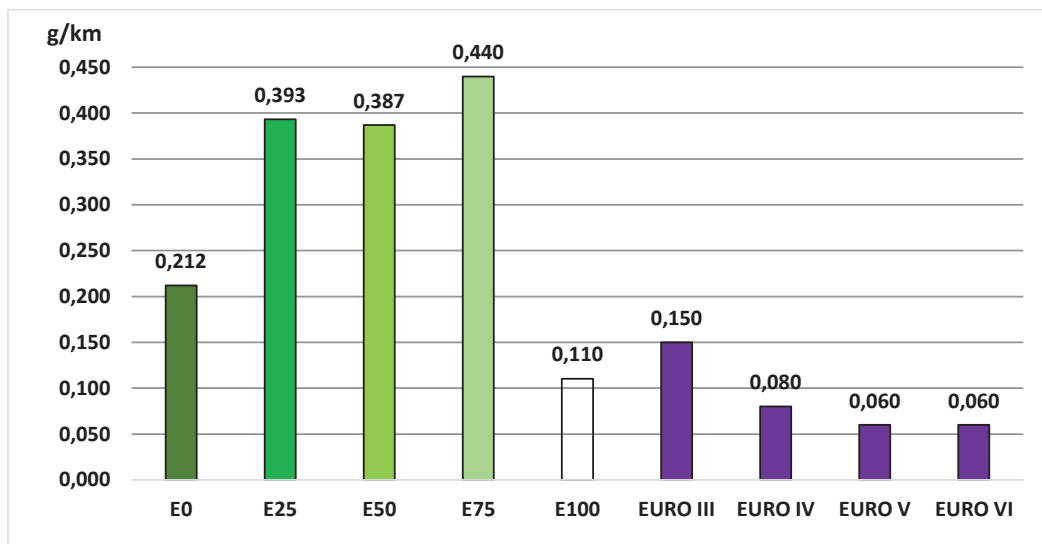


Figura 3. 42. Emisiones de NO vs norma EURO VI

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

Luego del análisis de resultados se pueden hacer algunas conclusiones puntuales sobre este trabajo de investigación.

- La potencia y el torque aumentan con la adición de etanol a la gasolina, obteniéndose un valor máximo con el combustible E75, mientras que para E100 se produce una ligera disminución en comparación con E75.
- El consumo de combustible se incrementa ligeramente para E25, E50 y E75, mientras que para E100 se produce un notable incremento con respecto al combustible de referencia E0.
- En las pruebas a ralentí para CO y HC, se observa una disminución de estas emisiones, es decir bajan conforme se incrementa el contenido de etanol en la gasolina. Lo que es beneficioso para el medio ambiente.
- Las emisiones de CO₂, en la prueba a ralentí presentan un ligero aumento para los combustibles E25, E50, mientras que para E75 y E100 disminuyen en alrededor 0,5% vol y 0,83% vol.
- La emisión de CO y HC en las pruebas a 2500 rpm disminuye para los combustibles E25, E50, E75, E100 con respecto a E0. Lo que representa un beneficio ambiental.
- Las emisiones de CO₂, en la prueba a 2500 rpm presentan un ligero aumento para los combustibles E25, E50, E75 con respecto a E0; mientras que para E100 se produce una disminución importante.
- El consumo de combustible se incrementa a medida que se adiciona etanol en la gasolina.

- En la prueba a 2500 rpm las emisiones de O_2 se mantiene en niveles bajos para combustibles E0, E25, E50, E75; mientras que para E100 la concentración de O_2 aumenta drásticamente.
- En la prueba a 2500 rpm las emisiones de NO_x , se mantienen en niveles bajos para los combustibles E0, E25, E50, E75, mientras que para E100 se registra un aumento drástico de las emisiones de NO_x .
- En las pruebas a 2500 rpm las emisiones de O_2 descienden para los combustibles E25, y E50 con respecto a E0, incrementándose pronunciadamente para E75 y E100, provocado por el empobrecimiento de la mezcla por la alta concentración de etanol.
- En las pruebas a 2500 rpm los óxidos de nitrógeno presentan valores bajos para todos los combustibles con respecto a E0, esto debido posiblemente a una disminución de la temperatura en la cámara de combustión por la adición de etanol que disminuye el poder calorífico del combustible.
- La presión media efectiva aumenta para todos los combustibles con contenido de etanol, este incremento es similar para todos los grados de concentración de etanol y esfuerzo de tracción aplicado al motor. Por ejemplo entre E25 y E100 en la prueba de tracción con una fuerza tractora de 920 N la presión varía 0.21 Bar.
- Al evaluar la potencia calculada en función de la presión media efectiva y la presión medida en el banco dinamométrico para el combustible E100 se observa una similitud entre los valores medidos con mínimas variaciones en promedio de 4,77 kW, que se ponen de manifiesto a partir de las 3000 rpm hasta las 6000 rpm.
- En las pruebas de tracción constante, las emisiones de CO se incrementa para E25, E50, E75 en promedio de 0,031 % vol con respecto a E0, para E100 se produce un descenso de 0.02 % vol.

- En las pruebas de tracción constante las emisiones de CO₂ se mantienen con un mínima variación para E25, E50, E75, y para E100 se produce un descenso de 10,77 % vol con respecto a los 14,8 % vol para E0.
- En las pruebas de tracción constante los HC se incrementan ligeramente en un promedio 4,75 ppm para E25 y E50 con respecto a E0 y para E75 y E100 disminuyen ligeramente en un promedio de 3,99 ppm.
- En las pruebas de tracción constante los óxidos de nitrógeno se incrementan ligeramente para E50 y E75 en un promedio de 77,45 ppm con respecto a E0, y para E100 se produce un descenso de 199,84 ppm.
- Las emisiones de oxígeno son muy bajas para todos los combustibles excepto para E100 en el que se registra un valor sumamente elevado de 66,5 veces mayor que E0.
- Evaluando el factor lambda se observa que el motor opera con mezclas muy cercanas a la estequiométrica para los combustibles E0, E25, E50, E75 con un promedio de 1,0035. Y para E100 el motor opera con mezclas pobres con un valor lambda de 1,361 que da cuenta de exceso de aire.
- Al comparar las emisiones de CO con la norma NTE INEN 2 204:2002, y el DECRETO N° 2363 reglamento venezolano, se observa que los valores están por debajo de los límites establecidos en una relación de 16,6 : 1 comparando con la norma ecuatoriana y en una relación de 20 : 1 comparando con la normativa venezolana.
- Con respecto a los HC se observa que para E0 el valor es ligeramente mayor al límite especificado por la norma NTE INEN 2 204:2002 e inferior a la normativa venezolana, mientras que para E25, E50, E75 y E100 los valores obtenidos son sumamente más bajos que los especificados en las dos normas, por lo tanto se puede concluir que la adición de etanol contribuye a la disminución de las emisiones de HC.

- En cuanto a los factores de emisión, se observa que la adición de etanol incrementa la emisión de CO, HC para todos los combustibles con etanol, aunque los valores están por debajo de los límites establecidos por las normas.
- La adición de etanol incrementa la emisión de NO_x con respecto a E0, los valores registrados están por debajo de la norma ecuatoriana pero por encima de la normativa chilena para motor con etanol y gasolina, así como también por encima de las normas EURO III, IV, V, VI, con lo que se puede concluir que la adición de etanol para motores no diseñados para estos combustibles no es conveniente.
- Con esta investigación y mediante el diseño experimental por mezclas se obtiene un modelo matemático, el que permite predecir el comportamiento de la potencia, torque, consumo de combustible, emisiones de gases de escape a ralentí y a 2500 rpm del motor del vehículo Hyundai Getz 1,4 L, para rangos de concentración de etanol del 0% al 100% en la gasolina de 86,5 octanos, lo que permite predecir el comportamiento del motor sin la necesidad de ejecutar pruebas de funcionamiento, lo que representa un ahorro de recursos humanos, económicos y fiscales.
- Respecto a la potencia del motor los resultados obtenidos con mezcla comprendidas en un rango de E0 a E40 la potencia no registra un incremento respecto a la muestra de referencia E0, la misma que es de 64,15 kW; solo a partir de E40 hasta E100 existe aumento de potencia, el máximo incremento de potencia está alrededor de 3,15% para una mezcla E60 y a partir de este punto existe un leve descenso en la potencia sin llegar al límite de la mezcla de referencia. El aumento de potencia que se da respecto a la mezcla de referencia, se debe al incremento del contenido de etanol en la mezcla, como consecuencia de un mejor proceso de combustión siendo el etanol un aditivo en suplir la demanda de oxígeno, para la combustión ante la disminución de la presión atmosférica por la altura.

- El torque registra siempre un aumento respecto a la mezcla de referencia al incrementar el porcentaje de etanol en la mezcla consiguiendo su máxima torque de 114,73 Nm con una mezcla E80, que re un aumento de un 11,39 % respecto a la mezcla de referencia (E0 103 Nm). Sin embargo las pérdidas del torque con respecto a las especificaciones técnicas del fabricante (125 Nm) re un 8,95%, son consecuencia de la presión atmosférica y ajuste del motor.
- El consumo de combustible es directamente proporcional al porcentaje de etanol en la mezcla, en otras palabras, a mayor porcentaje de etanol en la mezcla, mayor será el consumo de combustible del motor. Así con una mezcla E20 el aumento del consumo de combustible representa un 7% y en una E100 es de alrededor de 31,37% más, esto debido la disminución del poder calorífico del combustible a medida que se adiciona etanol en la gasolina.
- Con respecto a las emisiones, se encontró que a mayor porcentaje de etanol en la mezcla, menor será la cantidad de CO emitido, lo que demuestra, que la adición de etanol reduce considerablemente la emisiones de CO, llegando a alcanzar hasta un 93.93% la reducción de esta emisión gaseosa con una mezcla E80, para las condiciones a ralentí. Pero contradictoriamente sucede con el CO que se incrementa en un 68,29% a 2500 rpm con una mezcla E25, pero a partir de mezclas mayores a E25 disminuye en un 80% el CO hasta llegar a un valor por debajo del punto de referencia. Si se compara con la Norma NTE INEN 2 204, en la cual se establece el 1% como máximo nivel de contaminación del CO (% vol), en ningún momento se llega a superar este valor, siempre está por debajo del nivel fijado. Esta reducción se debe a que el etanol anhidro, tiene en su estructura un átomo de oxígeno es decir contiene mayor cantidad de moléculas de oxígeno en su composición, por lo que este alcohol puede ser tratado como un hidrocarburo parcialmente quemado u oxidado, entonces cuando se agrega etanol al combustible se proporciona más oxígeno para el proceso de combustión, lo que ocasiona una reducción en la emisión de CO.

- Con respecto al CO₂ se tiene que a medida que aumenta el contenido de etanol anhidro, en el combustible, aumenta la emisión de CO₂, exceptuando para el rango de mezclas comprendidas entre E5 a E20 en el cual existe una disminución del 9,85% de CO₂ emitido, con respecto al combustible de referencia E0. A partir de las mezclas comprendidas entre E20 a E100 se incrementa en un 3,43% el CO₂, de igual manera con respecto al combustible de referencia E0. Con el motor a 2500 rpm se incrementa en un 7,39% el CO₂, según se aumenta la proporción de etanol en la mezcla sin existir ninguna mezcla puntual en la que disminuya con respecto a la mezcla de referencia E0.

- Respecto a las emisiones de HC realizadas a ralentí y a 2500 rpm, la emisión de HC disminuye desde un 11,22% y 49,87 para el E10, hasta un 81,13 % y 67,17% para E80 respectivamente. El CO al igual que el CO₂, es un indicador de qué tan bueno ha sido el proceso de oxidación de carbonos en el combustible. Es decir, entre menor sea la emisión de CO, y junto con una menor emisión de HC, se puede afirmar que el proceso de combustión es más eficiente.

- La presión media efectiva registra siempre un aumento respecto a la mezcla de referencia, al incrementar el porcentaje de etanol en la mezcla consiguiendo su máxima presión media efectiva de 6.05 bares con una mezcla E100 que representa un aumento de un 38,13% respecto a la mezcla de referencia (E0; 4,37 bares).

RECOMENDACIONES

- La utilización de combustible etanol anhidro – gasolina extra, en un motor de combustión interna se debe realizar en motores que tengan una relación de compresión (R_c) alta entre 9,5:1 a 11:1, para aprovechar la mezcla etanol anhidro – gasolina extra, como combustible, ya que se incrementa el índice de octano por lo tanto estos motores pueden trabajar con mayores relaciones de compresión y de igual manera con mayores avances al encendido.
- Para el uso de etanol como combustible se deben utilizar materiales resistentes al ataque corrosivo de los alcoholes.
- Se debe tener en cuenta que el etanol podría producir el deterioro de las juntas de estanqueidad por lo que se recomienda revisar estas luego de la utilización del etanol como combustible.
- El etanol también podría producir el taponamiento de los conductos del sistema de alimentación de combustible, por lo que se recomienda realizar una inspección de estos luego del funcionamiento del motor con etanol.
- Se debe evaluar el comportamiento de los dispositivos de tratamiento de gases de escape como es el catalizador.
- Para la manipulación de etanol es recomendable utilizar bata y lentes de seguridad.
- El lugar debe tener una buena ventilación ya que los vapores pueden llegar a un punto de ignición produciendo una explosión si los vapores se encuentran en un área cerrada.
- Aunque los efectos no son serios para la salud, la inhalación prolongada de concentraciones altas produce irritación de los ojos, y tracto respiratorio

superiores, náuseas, vómito, dolor de cabeza, excitación o depresión, adormecimiento, y otros efectos narcóticos, coma e incluso la muerte.

TRABAJOS FUTUROS

- Para futuros trabajo la posibilidad de realizar un diseño de mezcla con tres componentes que puede ser etanol anhidro, gasolina y aditivos optimizadores para evaluar sus efectos en la las emisiones del motor.
- Otro trabajo recomendado es continuar con esta investigación, pero estableciendo limites en la proporciones de los componentes e introduciendo variables dentro del proceso que pudieran afectar al experimento.
- También se debería hacer estudios sobre los otros gases que se producen en la combustión al añadir etanol anhidro en la gasolina que también son contaminantes que no fueron medidos en esta investigación.
- En vista de que en nuestro país ya se está utilizando una mezcla de etanol anhidro – gasolina extra, sería importante desarrollar un estudio sobre la incidencia de este combustible sobre los elementos internos del motor.
- Se pueden desarrollar trabajos sobre el diseño de elementos del sistema de alimentación de combustible que inhiban la acción corrosiva del etanol anhidro.
- Se pueden desarrollar trabajos sobre el proceso de combustión para las diferentes concentraciones de etanol anhidro utilizadas en este estudio.
- Dado que el etanol requiera más calor para evaporarse en comparación a la gasolina, entonces esto provocaría problemas para el arranque en frio de un motor, por lo tanto resultaría conveniente estudiar el comportamiento de un motor con elevadas concentraciones de etanol a bajas temperaturas.

BIBLIOGRAFÍA

(s.f.).

Aakko-Saksa, P., Rantanen-Kolehmainen, L., Koponen, P., Engman, A., & Kihlman, j. (2011). Biogasoline Options-Possibilities for Achieving High Bio-share and Compatibility with Conventional Cars. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 4(2), 298-317.

ADAN. (1998). *Asociación para la Defensa del Ambiente y la Naturaleza*. Obtenido de Asociación para la Defensa del Ambiente y la Naturaleza: <http://www.adan.org.ve/documentos/Decreto-2673.pdf>

AG, A. (1999). *Sistema de inyección Common Rail para el motor V8 TDI de 3,3 ltr. Diseño y funcionamiento*. Germany.

Al-Hasan, M. (2003). Effect of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission. *Energy Conversion and Management*, 44(9), 1547-1561.

AUDI Volkswagen. (s.f.). *Emisiones de gases de escape de vehículos*. Wolfsburg: Volkswagen AG.

Balmón., M. A. (2010). *Guía práctica de análisis de datos*. Barcelona: Junta de Andalucía.

Broustail, G., Halter, F., Seers, P., Moréac, G., & Mounaim-Rousselle, C. (2012). Comparison of regulated and non-regulated pollutants with iso-octane/butanol and iso-octane/ethanol blends in a port-fuel injection spark-ignition engine. *Fuel*, 94, 251-261.

Castillo, & Rojas. (s.f.). *Repositorio Digital EPN*. Recuperado el 20 de 02 de 2016, de Repositorio Digital EPN: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/12150>

Ceviz, M. A., & Yüksel, F. (2004). Effects of ethanol–unleaded gasoline blends on cyclic variability and emissions in an SI engine. *Applied Thermal Engineering*, 25(5), 917-925.

Chatterjee, S. H. (2006). *Simple linear regression. Regression Analysis by Example*. New Jersey, Estados Unidos: John Wiley & Sons. Recuperado el 8 de 12 de 2015

CORNELL, J. A. (1990). *Experiments with Mixtures*. U.S.A.: University of Florida .

Cornell, J. A. (2002). *Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data, 3rd Edition*. New York : John Wiley y Sons. Inc.

- Cornell, J. A. (2011). *A Primer on Experiments with Mixtures*. New Jersey: John Wiley y Sons. Inc.
- Corporation, D. (2003). *Sistema de rampa común para NISSAN Motor de tipo YD1-K2*. Showa-cho, Kariya, Aichi Prefecture, Japón: Denso Corporation .
- Corporation, D. (2004). *Manual de Servicio Common Rail System*. Showa-cho, Kariya, Aichi Prefecture, Japón.
- Curtis, S., Hess, T., & Egan, S. (2008). Effect of Ethanol Blends on a Spark Ignition, 4-Stroke. *Internal Combustion Engine*.
- Darrell D. Ebbing, S. D. (2010). *Química General* (Vol. Novena). México: Cengage Learning.
- Delión, J. C., & Rojas, M. R. (2015). Combustibles alternativos en motores de combustión interna. *Ingeniería Industrial*(32), 199-299.
- Díaz, A. (2009). *Diseño estadístico de experimentos* (Segunda ed.). Colombia: Universidad de Antioquia.
- Espinoza, C., & Parra, R. (2014). *Informe de Calidad de Aire Cuenca 2014*. Cuenca. Estación Climatológica Cuenca. (2016). *Estación Climatológica Cuenca*. Obtenido de Estación Climatológica Cuenca.
- Fernández, H., Mosquera, J. D., & Mosquera, J. C. (2010). Análisis de emisiones de CO₂ para diferentes combustibles en la población de taxis en Pereira y Dosquebradas. *Scientia Et Technica*(2), 45. Obtenido de <http://revistas.utp.edu.co/index.ph>
- Fikre, Y., & Yüksel, B. (2004). The use of ethanol–gasoline blend as a fuel in an SI engine. *Renewable energy*, 29(7), 1181-1191.
- Franklin Santiago Chalá Pérez, J. A. (2008). *Biblioteca Digital EPN*. Recuperado el 26 de 08 de 2015, de Biblioteca Digital EPN: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/627/1/CD-1537%282008-06-09-12-11-56%29.pdf>
- Freire, & Loza. (2013). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL*. Recuperado el 15 de 04 de 2016, de ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- Fustillo, J. M. (2006). Programa Master Sistemas Common Rail. Miami, Florida.
- García, E. A. (2010). *Universidad Carlos III de Madrid*. Recuperado el 10 de 11 de 2015, de Universidad Carlos III de Madrid: <http://e->

archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7819/PFC_Eleder_Antunano_Garcia.pdf?sequence=1

- García, J. A. (2006). *Evaluación del riesgo para la salud humana asociado a la exposición a BTEX en las gasolineras de Quito*. Quito . Recuperado el 21 de 10 de 2015, de https://books.google.com.ec/books?id=uOcmAgAAQBAJ&pg=PA38&dq=constituyentes+de+la+gasolina&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=constituyentes%20de%20la%20gasolina&f=false
- George, B., Stuart, H., & William, H. (2008). *Estadística para investigadores : diseño, innovación y descubrimiento, segunda edición*. Barcelona: Reverte.
- Haskew, H., Thomas, P., & Liberty, F. (2006). Fuel Permeation From Automotive Systems: E0, E6, E10, E20 And E85. Final Report CRC Project. *Final Report CRC Project*.
- Hsieh, W. D., Chen, R. H., Wu, T. L., & Lin, T. H. (2002). Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuels. *Atmospheric Environment*, 36, 403-410.
- Hyundai Motor Company. (2011). *Manual de Taller* .
- INEN . (2002). *Instituto Ecuatoriano de Normalización* . Obtenido de Instituto Ecuatoriano de Normalización : <http://apps.inen.gob.ec/descarga/>
- INEN. (2009). *ETANOL ANHIDRO. REQUISITOS* . Recuperado el 10 de 10 de 2015, de INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN: <http://apps.inen.gob.ec/descarga/>
- INEN. (2009). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*. Recuperado el 10 de 10 de 2015, de INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN: <http://apps.inen.gob.ec/descarga/>
- INEN. (2012). *GASOLINA. REQUISITOS*.
- INEN. (s.f.). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*. Recuperado el 10 de 10 de 2015, de INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN: <http://apps.inen.gob.ec/descarga/>
- INER. (s.f.). *INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES*. Recuperado el 07 de 10 de 2015, de INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES:

- http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/TRANSPORTE_DOSSIER.pdf
- Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. (10 de 08 de 2015). *Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables*. Obtenido de Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables: http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/ISEREE_Identificaci%C3%B3n-de-las-necesidades-de-EE-en-transporte.pdf
- International Energy Agency. (11 de 2015). *International Energy Agency*. Recuperado el 2 de 4 de 2016, de International Energy Agency: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld_Statistics_2015.pdf
- José, G., Samaniego, J. I., & Antonissen, M. (2008). Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos. *CEPAL*.
- Leong, S. T., Muttamara, S., & Laortanakul, P. (2002). Applicability of gasoline containing ethanol as Thailand's alternative fuel to curb toxic VOC pollutants from automobile emission. *Atmospheric environment*, 36(21), 3495-3503.
- Ltda., R. B. (2002). *Entrenamiento del Sistema Common Rail*.
- MacLean, H., & Lave, L. (2003). Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies. *Progress in energy and combustion science*(29.1), 1-69.
- Mantilla, J. M. (210). Modelado de la combustión de mezcla gasolina-etanol en motores de combustión interna. *Modelado de la combustión de mezcla gasolina-etanol en motores de combustión interna*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Mariaca, A., Ladino, E., & Sarmiento, A. (2016). Motores de combustión interna (MCI) operando con mezclas de etanol gasolina: Revisión. *ciencia e Ingeniería Neogranadina*,, 26(1), 1.
- Martínez, S., Cruz, F., Morales, G., & Garcia, M. (2008). Estudio de los efectos reductivos de emisiones gaseosas como: HC, CO, CO₂, O₂ Y NO_x durante la combustión gasolina-etanol en un motor de combustión interna durante la combustión gasolina-etanol en un motor de combustión interna. *Trabajo*, 14, 15.

- Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. (2007). *MGT 5 Analizador de 4/5 gases con terminal de mando* .
- Melo, E., Sánchez, Y., Ferrer, N., & Ferrer, N. (2012). Evaluación de un motor de encendido por chispa trabajando con mezclas etanol-gasolina. *Ingeniería Energética*, 33(2), 94-102.
- Montgomery, D. C. (2013). *Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería* . México : Limusa S.A. .
- Onursal, G. (2002). Onursal, G. (2002). A Literature Review Based Assessment on the Impacts of a 20% Ethanol Gasoline Fuel Blend on the Australian Vehicle Fleet. *Orbital Engine Company*, 28-30.
- Payri, F. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Barcelona: Reverté, S.A.
- Peña, & Céspedes. (2007). *Físicoquímica. Manual de laboratorio*. Medellín: Sello.
- Peña, D. (2010). *Regresión y diseño de experimentos* (Segunda ed.). Madrid: Alianza Editoria. Recuperado el 20 de 10 de 2015
- Piamba, O., & Oscar, A. (2007). desempeño de motor utilizando como combustible mezcla de etanol anhidro y gasolina en relación de 10% en volumen E10. 8° *Congreso Iberoamericano de ingeniería mecánica*.
- ProduAgro S.A. (s.f.). *ProduAgro S.A Productora de Alcoholes*. Recuperado el 15 de 10 de 2015, de ProduAgro S.A Productora de Alcoholes: <http://www.producargo.com/es/nuestros-productos/divisi%C3%B3n-alcohol/ficha-t%C3%A9cnica>
- Pulido. (2008).
- Pulido, H. G., & De la Vara Salazar , R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* . México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Rolle, K. C. (2006). *Termodinámica*. Pearson Educación. Recuperado el 20 de 10 de 2015, de https://books.google.com.ec/books?id=1rIBBXQhmCwC&dq=que+es+la+gasolina&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- ROMERO, D. R., & ROJAS, J. A. (21 de 08 de 2015). *Repositorio Digital EPN*. Obtenido de Repositorio Digital EPN: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5799/1/CD-4686.pdf>

- Sánchez, M. A. (30 de 11 de 2003). *Universidad Autónoma Metropolitana*. Recuperado el 14 de 04 de 2016, de Universidad Autónoma Metropolitana: <http://148.206.53.84/tesiuami/UAMI10854.pdf>
- Sanz, S. (2011). *Motores*. Editex.
- Schlumberger Excellence in Education Development. (22 de 07 de 2015). *Schlumberger Excellence in Education Development*. Obtenido de Schlumberger Excellence in Education Development: <http://www.planetseed.com/es/relatedarticle/produccion-de-co2-una-perspectiva-internacional>
- Soporte Minitab*. (2016). Obtenido de Soporte Minitab: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/summary-statistics/what-is-the-coefficient-of-variation/>
- Torres. (2005). *Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura*. Recuperado el 10 de 01 de 2016, de Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura: http://www.fceia.unr.edu.ar/fceia1/mecanica/Automotores/Apunte_FlujoMCI.pdf
- Torres, J., Molina, D., Pinto, C., & Rueda, F. (2002). Estudio de la mezcla de gasolina con 10% de etanol anhidro. Evaluación de propiedades fisicoquímicas. *CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro*, 2(3), 71-82.
- UNAM. (17 de Septiembre de 2015). *Universidad Autónoma de México, Facultad de Química*. Obtenido de Universidad Autónoma de México, Facultad de Química: <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/12etanol.pdf>
- Universidad de Castilla de la Mancha. (15 de 10 de 2015). *UCLM*. Obtenido de https://www.uclm.es/profesorado/raulmmartin/Estadistica/PracticasSPSS/Supuestos_del_modelo_de_regresion_lineal.pdf
- Universidad de Alicante. (6 de 11 de 2015). *Matriz de correlación y gráficos de dispersión; Universidad de Alicante*. Obtenido de <http://web.ua.es/es/lpa/docencia/analisis-estadistico-de-datos-geoquimicos-con-r/matriz-de-correlacion-y-graficos-de-dispersion.html>
- Vitale, R., Boulton, J., Lepage, M., Gauthier, M., Qiu, X., & Lamy, S. (2002). Modelling the Effects of E10 Fuels in Canada. In Emission Inventory. *Conference Emission Inventory Conference*. Florida.

- World Health Organization in the European Region. (12 de 07 de 2015). *World Health Organization in the European Region*. Obtenido de World Health Organization in the European Region: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf?ua=1
- Wyman, C. (1996). *Handbook on bioethanol: production and utilization*. CRC press. Whashington: Taylor Francis.
- Yücesu, H., Topgül, T., Cinar, C., & Okur, M. (2006). Effect of ethanol–gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios. *Applied Thermal Engineering*, 26(17), 2272-2278.
- Yüksel, F., & Yüksel., B. (2004). The use of ethanol–gasoline blend as a fuel in an SI engine. *Renewable energy*, 29(7), 1181-1191.