

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERA MECÁNICA AUTOMOTRÍZ

“CARACTERIZACIÓN DE EFECTOS DE LA MEZCLA GASOLINA-ETANOL
EN UN MOTOR ARMFIELD VOLKSWAGEN CM11 MEDIANTE EL
LEVANTAMIENTO DE UNA BASE DE DATOS POR ANÁLISIS DE GASES Y
ESPECTROS DE VIBRACIÓN”

Tesis previa a la obtención del
Título de Ingeniera Mecánica
Automotriz

Tesis previa a la obtención del
Título de Ingeniero Mecánico
Automotriz

Autores:

Miriam Soledad Carpio Pesantez

Félix Rufino Cedillo Sánchez

Director:

Ing. Néstor Rivera

Cuenca, Febrero 2015

Este trabajo de tesis lo dedicó a mi esposo Marco que amo tanto y a mi hija Hanna que es la razón de mi ser, siempre están motivándome y apoyándome. A mis queridos hermanos Rubén, Aldo, Byron, Carlos, a mi abuelita Betu y a toda mi familia por enseñarme que todo es posible en la vida. Como no mencionar a mis padres Alberto y Olga por enseñarme que el sacrificio, la constancia y la humildad son los pilares fundamentales

Miriam

Este trabajo va dedicado a mi familia por todo su apoyo y comprensión que ha sido el pilar fundamental en la consecución de mi meta.

Rufino

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de una manera muy humilde a Dios y a la Virgen del Cisne por guiar mi camino durante toda mi vida, a mis padres gracias a su apoyo económico y moral he hecho realidad la culminación de esta carrera, a mi esposo por el amor y paciencia que me brinda, a mis tíos, primos, amigos y allegados, gracias por sus consejos y apoyo, significaron mucho para mí.

Al Ing. Néstor Rivera por confiar en nosotros y tener la disponibilidad total para compartir sus conocimientos y brindar sus consejos que llegaban en el momento más oportuno. Al mismo tiempo agradezco a la Dra. Mary Vergara por brindarnos asesoría respecto al tema.

Por último agradezco a mis compañeros que me brindaron su amistad y compartieron conmigo esta etapa académica

Miriam

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme carácter, voluntad durante mi proceso de profesionalización.

Al Ing. Néstor Rivera, por impartirnos sus conocimientos durante el proceso de formación académica y en este trabajo final.

Al Ing. Diego Valladolid, quien con sus conocimientos se tuvo éxito en el desarrollo de este trabajo.

A la Dra. Mary Vergara por su apoyo en el desarrollo del trabajo.

A mi Padre Elías quien fue el pilar fundamental para llegar a cumplir con mí meta.

A María, Paul e hijos por el apoyo constante e incondicional.

A mi hijo Sebastián quien fue la fuente de inspiración para el desarrollo de este trabajo.

Al personal encargado del taller automotriz de la UPS.

Rufino

DECLARATORIA

El trabajo de grado que presentemos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecida en la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana. En tal virtud de los fundamentos técnicos – científicos y los resultados son exclusiva responsabilidad de los autores.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigentes.



Miriam Soledad Carpio Pesantez



Félix Rufino Cedillo Sánchez

CERTIFICADO

Que el presente proyecto de tesis “Caracterización de efectos de la mezcla gasolina-etanol en un motor Armfield Volkswagen cm11 mediante el levantamiento de una base de datos por análisis de gases y espectros de vibración”, realizado por los estudiantes: Carpio Pesantez Miriam Soledad, Cedillo Sánchez Félix Rufino, fue dirigido por mi persona.



Ing. Néstor Rivera

RESUMEN

En el campo automotriz los motores de combustión interna de encendido provocado por una chispa, utilizan como combustible la gasolina la cual luego del proceso de la combustión se tiene como resultado la emanación de gases contaminantes, entre los principales tenemos al monóxido de carbono, hidrocarburos. Debida a la presencia de este tipo de gases nuestro planeta se encuentra altamente contaminado debido a que el nivel de vehículos es elevado.

Este trabajo tiene como finalidad realizar un análisis de los gases contaminantes emanados por el motor Armfield CM11, partiendo con la adición de porcentajes entre los combustibles gasolina-etanol, hasta llegar a tener una mezcla en la cual se vea reflejado una disminución de la emanación de gases contaminantes, teniendo en cuenta que la potencia y torque no se vean afectados.

Los espectros de vibración nos ayudaran a determinar la mezcla con la cual trabajara el motor sin causar averías dentro de los elementos del motor causado por las vibraciones.

Para la realización de las mezclas utilizaremos la gasolina de ochenta y dos octanos como primer combustible y a este lo añadiremos el etanol en porcentajes según sea la mezcla, daremos inicio con la E0 la cual nos indica un cero por ciento de etanol, E10 este nos indica que la mezcla contiene un noventa por ciento de gasolina y un diez por ciento de etanol y así sucesivamente hasta llegar a tener una E100 la cual nos indica que contiene el cien por ciento de etanol.

Mediante un levantamiento de una base de datos de los gases contaminantes se llegara a determinar el estudio de la mezcla ideal la cual cumpla con la hipótesis planteada para el desarrollo de este trabajo.

En el análisis de los resultados de los gases contaminantes, potencia y torque se los realiza mediante el análisis ANOVA de un factor el cual nos da la media y el análisis de varianza con lo cual se determina la mezcla que cumpla con lo requerido.

La adquisición de la señal se lo realiza mediante el equipo especializado ADASH dentro del cual contiene un acelerómetro uniaxial, en el análisis de los espectros de vibración se utilizó un algoritmo de la transformada rápida de Fourier, para lo cual se utiliza el software Matlab, debido que nos permite realizar una visualización de las señales tratadas y sobretodo se llega a determinar los parámetros de factor curtosis, Energía, valor RMS, potencia y Factor de cresta. Mediante los cuales se centra nuestro análisis en la determinación la mezcla óptima.

Palabras claves: ANOVA, análisis de vibraciones, análisis de gases contaminantes.

INDICE

LISTA DE TABLAS	xv
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xviii
CAPITULO I	2
ESTUDIO TERMODINÁMICO DEL MOTOR CICLO OTTO	2
1.1 Sistema termodinámico.....	2
1.1.1 Sistema termodinámico abierto.....	2
1.2 Principios termodinámicos de funcionamiento del motor térmico	3
1.2.1 Principio de la conservación de la energía.....	3
1.2.2 Primer principio de la termodinámica.....	3
1.2.2 El segundo principio de la termodinámica.....	4
1.3 Motor ciclo Otto de cuatro tiempos	4
1.3.1 Ciclo teórico del motor Otto	4
1.3.2 Eficiencia térmica del ciclo ideal Otto	6
1.4 Ciclo real del motor Otto	7
1.4.1 Cotas de reglaje.....	7
1.4.2 Proceso de combustión del motor Otto	9
1.5 Parámetros de funcionamiento del motor	11
1.5.1 La potencia y torque al freno	11
1.5.2 Curva de par motor	12
1.5.3 Curva de potencia	12
1.5.4 La potencia indicada	13
1.5.5 La presión media efectiva	13
1.5.6 Consumo de combustible	13
CAPITULO II.....	15
DISEÑO DEL PROTOCOLO Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Preparación de las mezclas de los combustibles gasolina-etanol.....	15
2.1.1 Preparación mezcla Etanol-Gasolina	15
2.1.2 Descripción de las mezclas de los combustibles.....	16
2.1.2 Caracterización de combustibles.....	17
2.2.1 Experimentación de la combustión	18
2.2.2 Emisiones de gases de escape	21
2.2.3 Espectros de vibración	21
2.2.4 Medición de Amplitud de vibración	21
2.2.5 Unidades de Vibración.....	22

2.3	Análisis de resultados de los datos adquiridos.....	23
2.3.1	Análisis de espectro	23
CAPITULO III.....		24
ADQUISICIÓN DE VALORES TEÓRICOS DE POTENCIA Y TORQUE TRAS LA VARIACIÓN DE MEZCLAS		24
3.1	Equipos utilizados.....	24
3.2	Matriz de pruebas.....	25
3.3	Preparación de las mezclas	27
3.3.2	Mezcla E10	29
3.3.3	Mezcla E20	31
3.3.4	Mezcla E30	33
3.3.5	Mezcla E40	35
3.3.6	Mezcla E50	38
3.3.7	Mezcla E60	40
3.3.8	Mezcla E70	42
3.3.9	Mezcla E80	44
3.3.10	Mezcla E90	46
3.3.11	Mezcla E100	49
CAPITULO IV.....		52
IMPLEMENTACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE EMISIONES CONTAMINANTES Y ESPECTROS DE VIBRACIÓN.....		52
4.1	ESPECTROS DE VIBRACIÓN	52
CAPITULO V.....		53
ANALIZAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS		53
5.1	Análisis de datos a 700rpm	53
5.1.1	Valores de Lambda (λ) a 700 rpm.....	53
5.1.2	Valores de Oxígeno O ₂ [%] a 700 rpm.....	55
5.1.3	Valores de Dióxido de carbono [%] a 700 rpm.....	56
5.1.4	Valores de Hidrocarburos (HC) ppm a 700 rpm.....	58
5.1.5	Valores de Monóxido de carbono (CO) [%] a 700 rpm.....	59
5.1.6	Valores de Revoluciones por minuto (rpm) a 700 rpm.....	60
5.1.7	Valores de Torque a 700 rpm.....	62
5.1.8	Valores de Potencia a 700 rpm	63
Análisis de los datos de los espectros de vibración a 700 rpm		65
5.1.9	Valores de las Energías a 700 rpm.....	66
5.1.10	Valores de la Potencia a 700 rpm.....	67

5.1.11 Valores del Factor de curtosis a 700 rpm.....	68
5.1.12 Valores del valor RMS a 700 rpm.....	69
5.1.13 Valores del Factor de cresta a 700 rpm.....	70
5.2 ANALISIS DE RESULTADOS A 2000 rpm.....	71
5.2.1 Análisis de valor de lambda (λ)	71
5.2.1.1 Análisis de varianza	71
5.2.3 Análisis de valor de Dióxido de carbono (CO ₂).....	73
5.2.4 Análisis de valor de Hidrocarburos (HC) ppm	75
5.2.5 Análisis de valor de Monóxido de carbono (CO) [%]	76
5.2.6 Análisis de valor de rpm	77
5.2.7 Análisis de valor de Torque	79
5.2.8 Análisis de valor de Potencia	80
Análisis de los datos de los espectros de vibración a 2000 RPM	82
5.2.9 Valores de las Energías a 2000 rpm.....	82
5.1.10 Valores de la Potencia a 2000 rpm.....	83
5.2.11 Valores del Factor de curtosis a 2000 rpm.....	84
5.2.12 Valores del valor RMS a 2000 rpm.....	85
5.2.13 Valores del valor de factor de cresta a 2000 rpm.....	86
5.3 ANALISIS DE RESULTADOS A 4400rpm.....	88
5.3.1 Análisis de valor de Lambda.....	88
5.3.2 Análisis de valor de Oxígeno (O ₂) %	89
5.3.3 Análisis de valor de Dióxido de carbono (CO ₂).....	90
5.3.4 Análisis de valor de Hidrocarburos (HC).....	92
5.3.5 Análisis de valor de Monóxido de carbono (CO)	93
5.3.6 Análisis de valor de rpm	95
5.3.7 Análisis de valor de Torque	96
5.3.8 Análisis de valor de Potencia	97
5.3.9 Valores de las Energías a 4400 rpm.....	99
5.3.10 Valores de la Potencia a 4400 rpm.....	100
5.3.11 Valores del Factor de curtosis a 4400 rpm.....	101
5.3.12 Valores del valor RMS a 4400 rpm.....	102
5.3.13 Valores del factor de cresta a 4400 rpm.....	103
CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES.....	119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 Esquema general de un sistema termodinámico	2
Figura 1. 2 Sistema termodinámico abierto.....	3
Figura 1. 3 Generador de trabajo por absorción de calor.	4
Figura 1. 4 Ciclo ideal en motores de encendido por chispa.	5
Figura 1. 5 Diagrama indicado del ciclo Otto.	7
Figura 1. 6 Diagrama de mando.	9
Figura 1. 7 Relación aire – combustible.....	11
Figura 1. 8 Curva de consumo específico.	14
Figura 2. 1 Mezcla de Etanol-Gasolina E.....	16
Figura 2. 2 Banco para la experimentación de la combustión.....	18
Figura 2. 3 Software CM11 Armfield	20
Figura 2. 4 Esquema de toma de muestras del banco Armfield	20
Figura 2. 5 Ubicación del Acelerómetro sobre el Knock Sensor.....	22
Figura 2. 6 Señal de onda obtenida con el acelerómetro.	23
Figura 2. 7 Señal Procesada en Software Matlab	23
Figura 3. 1 Analizador de gases	24
Figura 3. 2 Acelerómetro unidireccional.....	25
Figura 3. 3 Señal de la mezcla E10 a 700RPM.	26
Figura 3. 4 Espectro Vibración E0 a 700 rpm tratada en Matlab.	27
Figura 3. 5 Espectro Vibración E0 a 2000 rpm tratada en Matlab	28
Figura 3. 6 Espectro Vibración a 4400 rpm tratada en Matlab.....	29
Figura 3. 7 Espectro Vibración E10 a 700rpm tratada en Matlab	30
Figura 3. 8 Espectro Vibración E10 a 2000 rpm tratada en Matlab	30
Figura 3. 9 Espectro Vibración a 4400 rpm tratada en Matlab.....	31
Figura 3. 10 Espectro Vibración E20 a 700rpm tratada en Matlab	32
Figura 3. 11 Espectro Vibración E20 a 2000 rpm tratada en Matlab	32
Figura 3. 12 Espectro Vibración a 4400 rpm tratada en Matlab.....	33
Figura 3. 13 Espectro Vibración E30 a 700rpm tratada en Matlab	34
Figura 3. 14 Espectro Vibración E30 a 2000 rpm tratada en Matlab	34
Figura 3. 15 Espectro Vibración a 4400 rpm tratada en Matlab.....	35
Figura 3. 16 Espectro Vibración a E40 a 700rpm tratada en Matlab.....	36
Figura 3. 17 Espectro Vibración E40 a 2000 rpm tratada en Matlab	37
Figura 3. 18 Espectro Vibración E40 a 4400 rpm tratada en Matlab	37
Figura 3. 19 Espectro Vibración E50 a 700 rpm tratada en Matlab	38
Figura 3. 20 Espectro Vibración E50 a 2000 rpm tratada en Matlab	39
Figura 3. 21 Espectro Vibración E50 a 4400 rpm tratada en Matlab	39
Figura 3. 22 Espectro Vibración a E60 a 700rpm tratada en Matlab.....	40
Figura 3. 23 Espectro Vibración a 2000 rpm tratada en Matlab.....	41
Figura 3. 24 Espectro Vibración E60 a 4400 rpm tratada en Matlab	41
Figura 3. 25 Espectro Vibración a E70 a 700rpm tratada en Matlab.....	42
Figura 3. 26 Espectro Vibración E70 a 2000 rpm tratada en Matlab	43
Figura 3. 27 Espectro Vibración E70 a 4400 rpm tratada en Matlab	44
Figura 3. 28 Espectro Vibración E80 a 700rpm tratada en Matlab	45
Figura 3. 29 Espectro Vibración E80 a 2000 rpm tratada en Matlab	45
Figura 3. 30 Espectro Vibración E80 a 4400 rpm tratada en Matlab	46
Figura 3. 31 Espectro Vibración a Ralentí tratada en Matlab.....	47

Figura 3. 32 Espectro Vibración E90 a 2000 rpm tratada en Matlab	48
Figura 3. 33 Espectro Vibración a 4400 rpm tratada en Matlab	48
Figura 3. 34 Espectro Vibración E100 a 700rpm tratada en Matlab	49
Figura 3. 35 Espectro Vibración a 2000 rpm tratada en Matlab.....	50
Figura 3. 36 Espectro Vibración E100 a 4400 rpm tratada en Matlab	51
Figura 5. 1 Gráfica de intervalos de los valores de Lambda a 700rpm	54
Figura 5. 2 Diagrama de cajas de Lambda a 700rpm.	55
Figura 5. 3 Gráfica de intervalos de los valores del oxígeno a 700rpm.	56
Figura 5. 4 Diagrama de cajas del oxígeno a 700rpm.	56
Figura 5. 5 Gráfica de intervalos de los valores del CO2 a 700rpm.....	57
Figura 5. 6 Diagrama de cajas del Dióxido de carbono a 700rpm.	57
Figura 5. 7 Gráfica de intervalos de los valores de los HC a 700rpm	58
Figura 5. 8 Diagrama de cajas de hidrocarburos a 700rpm.	59
Figura 5. 9 Gráfica de intervalos de los valores de CO	60
Figura 5. 10 Diagrama de cajas del monóxido de carbono a 700rpm.	60
Figura 5. 11 Gráfica de intervalos de los valores de rpm a 700rpm	61
Figura 5. 12 Diagrama de cajas de las rpm a 700rpm.	61
Figura 5. 13 Gráfica de intervalos de Torque 700rpm.	62
Figura 5. 14 Diagrama de cajas de Torque a 700rpm.....	63
Figura 5. 15 Gráfica de intervalos de la Potencia 700rpm.	64
Figura 5. 16 Diagrama de cajas de Potencia a 700rpm.	64
Figura 5. 17 18 Gráfica de intervalos de las Energías a 700rpm	66
Figura 5. 19 Diagrama de cajas de las Energías a 700rpm.....	66
Figura 5. 20 Gráfica de intervalos de la Potencia a 700rpm.....	67
Figura 5. 21 Diagrama de cajas de las Potencia a 700rpm.	67
Figura 5. 22 Gráfica de intervalos del factor de curtosis a 700rpm.....	68
Figura 5. 23 Diagrama de cajas del factor de curtosis a 700rpm.....	68
Figura 5. 24 Gráfica de intervalo del valor RMS a 700rpm	69
Figura 5. 25 Diagrama de cajas del valor RMS a 700rpm.	69
Figura 5. 26 Gráfica de intervalos del valor de factor de cresta a 700rpm	70
Figura 5. 27 Diagrama de cajas del valor RMS a 700rpm.	70
Figura 5. 28 Gráfica de intervalo de Lambda 2000rpm.	71
Figura 5. 29 Diagrama de cajas de Lambda a 2000rpm.	72
Figura 5. 30 Gráfica de intervalos de Oxígeno 2000rpm.	73
Figura 5. 31 Diagrama de cajas de Oxígeno a 2000rpm.	73
Figura 5. 32 Gráfica de intervalos de CO2a 2000rpm.....	74
Figura 5. 33 Diagrama de cajas de CO2 a 2000rpm.....	74
Figura 5. 34 Gráfica de intervalos de HC a 2000rpm.....	75
Figura 5. 35 Diagrama de cajas de HC a 2000rpm.....	76
Figura 5. 36 Gráfica de intervalos de CO a 2000rpm.....	77
Figura 5. 37 Diagrama de cajas de HC a 2000rpm.....	77
Figura 5. 38 Gráfica de media de rpm a 2000rpm.....	78
Figura 5. 39 Diagrama de cajas de rpm a 2000rpm.....	78
Figura 5. 40 Gráfica de intervalos de Torque a 2000rpm.....	79
Figura 5. 41 Diagrama de cajas de rpm a 2000rpm.....	80
Figura 5. 42 Gráfica de intervalos de Potencia a 2000rpm.....	81
Figura 5. 43 Diagrama de cajas de Potencia a 2000rpm.	81
Figura 5. 44 Gráfica de intervalos de las Energía a 2000rpm	82
Figura 5. 45 Diagrama de cajas de las Energías a 2000rpm.....	83
Figura 5. 46 Gráfica de intervalos de la Potencia a 2000rpm.....	83
Figura 5. 47 Diagrama de cajas de las Potencia a 2000rpm.	84

Figura 5. 48 Gráfica de intervalos del factor de curtosis a 2000rpm.....	84
Figura 5. 49 Diagrama de cajas del factor de curtosis a 2000rpm.....	85
Figura 5. 50 Grafica de media del valor RMS a 2000RPM.....	85
Figura 5. 51 Diagrama de cajas del valor RMS a 700rpm.	86
Figura 5. 52 Gráfica de intervalos del valor RMS a 2000rpm.....	86
Figura 5. 53 Diagrama de cajas del valor RMS a 700rpm.	87
Figura 5. 54 Gráfica de media de Lambda a 4400rpm	88
Figura 5. 55 Diagrama de cajas de Lambda a 4400rpm.	89
Figura 5. 56 Gráfica de intervalos de Oxígeno a 4400rpm.....	90
Figura 5. 57 Diagrama de cajas de Oxígeno a 4400rpm.	90
Figura 5. 58 Gráfica de intervalos de CO2 a 4400rpm.....	91
Figura 5. 59 Diagrama de cajas de CO2 a 4400rpm.....	92
Figura 5. 60 Grafica de media de HC a 4400rpm.....	93
Figura 5. 61 Diagrama de cajas de HC a 4400rpm.	93
Figura 5. 62 Gráfica de intervalos de CO a 4400rpm.....	94
Figura 5. 63 Diagrama de cajas de CO a 4400rpm.....	94
Figura 5. 64 Grafica de media de rpm a 4400rpm.....	95
Figura 5. 65 Diagrama de cajas de rpm a 4400rpm.....	96
Figura 5. 66 Gráfica de intervalos de Torque a 4400rpm.....	97
Figura 5. 67 Diagrama de cajas de Torque a 4400rpm.....	97
Figura 5. 68 Gráfica de intervalos de Potencia a 4400rpm.....	98
Figura 5. 69 Diagrama de cajas de Potencia a 4400rpm.	98
Figura 5. 70 Gráfica de intervalos de las Energía a 4400rpm.	99
Figura 5. 71 Diagrama de cajas de las Energías a 4400rpm.	99
Figura 5. 72 Gráfica de intervalos de la Potencia a 4400rpm.....	100
Figura 5. 73 Diagrama de cajas de las Potencia a 4400rpm.	100
Figura 5. 74 Grafica de media del factor de curtosis a 4400rpm.....	101
Figura 5. 75 Diagrama de cajas del factor de curtosis a 4400rpm.....	101
Figura 5. 76 Gráfica de intervalos del valor RMS a 4400rpm.....	102
Figura 5. 77 Diagrama de cajas del valor RMS a 4400rpm.....	102
Figura 5. 78 Gráfica de intervalos del factor de cresta a 4400rpm.....	103
Figura 5. 79 Diagrama de cajas del factor de cresta a 4400rpm.....	103
Figura 5. 80 Efectos principales del oxígeno (O2).	104
Figura 5. 81 Grafica de iteración para O2.	104
Figura 5. 82 Efectos principales del (CO2).	104
Figura 5. 83 Grafica de iteración (CO2).	105
Figura 5. 84 Efectos principales de los hidrocarburos (HC).	105
Figura 5. 85 Grafica de interacción (HC).	105
Figura 5. 86 Efectos principales del monóxido de carbono (CO).	106
Figura 5. 87 Grafica de interacción de monóxido de carbono (CO).	106
Figura 5. 88 Efectos principales del Torque.....	106
Figura 5. 89 Grafica de interacción del Torque.....	107
Figura 5. 90 Efectos principales de la potencia	107
Figura 5. 91 Grafica de interacción de la potencia.	107
Figura 5. 92 Efectos principales de las Energías	108
Figura 5. 93 Grafica de Iteración de las Energías.....	108
Figura 5. 94 Efectos principales de la Potencia.....	108
Figura 5. 95 Grafica de interacción la Potencia.	109
Figura 5. 96 Efectos principales del Factor de curtosis.	109
Figura 5. 97 Grafica de interacción del Factor de curtosis.	109
Figura 5. 98 Efectos principales del valor RMS.....	110
Figura 5. 99 Grafica de interacción del Valor RMS.....	110
Figura 5. 100 Efectos principales del Factor de Cresta.	110

Figura 5. 101 Grafica de interacción del Factor de cresta	111
Figura 5. 102 Espectro de vibración dominio frecuencia E0 700rpm.	111
Figura 5. 103 Espectro de vibración dominio frecuencia E10 700rpm.	112
Figura 5. 104 Espectro de vibración dominio frecuencia E80 700rpm.	112
Figura 5. 105 Espectro de vibración dominio frecuencia E0 2000rpm.	112
Figura 5. 106 Espectro de vibración dominio frecuencia E10 2000rpm.	113
Figura 5. 107 Espectro de vibración dominio frecuencia E80 2000rpm.	113
Figura 5. 108 Espectro de vibración dominio frecuencia E0 4400rpm.	114
Figura 5. 109 Espectro de vibración dominio frecuencia E10 4400rpm.	114
Figura 5. 110 Espectro de vibración dominio frecuencia E80 4400rpm.	114

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. 1 Cotas de distribución. Fuente: Autores	8
Tabla 1. 2 : Relación estequiometría según el combustible empleado. Fuente: autores.....	10
Tabla 2. 1 Cantidad de etanol y gasolina utilizada para las mezclas. Fuente: Autores.....	17
Tabla 2. 2 Características del banco Armfield.	19
Tabla 3. 1 Características del motor de combustión interna Banco Armfield.	24
Tabla 3. 2 Valores obtenidos el MCI en software CM11 mezcla E10 a 700RPM.	25
Tabla 3. 3 Datos de emisiones contaminantes de la mezcla E10 a 700rpm.....	26
Tabla 3. 4 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E0 a 700 RPM. Fuente: Autores	27
Tabla 3. 5 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E0 a 2000 rpm. Fuente: Autores	28
Tabla 3. 6 Datos de Torque, Potencia y emisiones contaminantes. Mezcla E0 a 4400 rpm.....	28
Tabla 3. 7 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E10 a 700rpm. Fuente: Autores	29
Tabla 3. 8 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E10 a 2000 rpm. Fuente: Autores	30
Tabla 3. 9 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E10 a 4400 rpm. Fuente: Autores	31
Tabla 3. 10 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E20 Ralentí. Fuente: Autores	31
Tabla 3. 11 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. E20 a 2000 rpm. Fuente: Autores.....	32
Tabla 3. 12 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E20 a 4400 rpm. Fuente: Autores	33
Tabla 3. 13 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E30 Ralentí. Fuente: Autores	33
Tabla 3. 14 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E30 a 2000 rpm. Fuente: Autores	34
Tabla 3. 15 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E20 a 4400 rpm. Fuente: Autores	35
Tabla 3. 16 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E40 Ralentí. Fuente: Autores	36
Tabla 3. 17 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E40 a 2000 rpm. Fuente: Autores	36
Tabla 3. 18 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E40 a 4400 rpm. Fuente: Autores	37
Tabla 3. 19 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E50 Ralentí. Fuente: Autores	38
Tabla 3. 20 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E50 a 2000 rpm. Fuente: Autores	38
Tabla 3. 21 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E50 a 4400 rpm. Fuente: Autores	39
Tabla 3. 22 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E60 Ralentí. Fuente: Autores	40
Tabla 3. 23 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E60 a 2000 rpm. Fuente: Autores	40

Tabla 3. 24 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E50 a 4400 rpm. Fuente: Autores	41
Tabla 3. 25 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E70 Ralentí. Fuente: Autores	42
Tabla 3. 26 Datos de Torque, Potencia y emisiones contaminantes. Mezcla E70 a 2000 rpm. Fuente: Autores.....	43
Tabla 3. 27 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E70 a 4400 rpm. Fuente: Autores	43
Tabla 3. 28 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E80 Ralentí. Fuente: Autores	44
Tabla 3. 29 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E80 a 2000 rpm. Fuente: Autores	45
Tabla 3. 30 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E80 a 4400 rpm. Fuente: Autores.....	46
Tabla 3. 31 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E90 Ralentí. Fuente: Autores	47
Tabla 3. 32 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E90 a 2000 rpm. Fuente: Autores	47
Tabla 3. 33 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E90 a 4400 rpm. Fuente: Autores	48
Tabla 3. 34 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E100 Ralentí. Fuente: Autores	49
Tabla 3. 35 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases. Mezcla E100 a 2000 rpm.	50
Tabla 3. 36 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases. Mezcla E100 a 4400 rpm.	50
Tabla 5. 1 Análisis de varianza para Lambda a 700RPM.	53
Tabla 5. 2 Descriptivos de las muestras del valor de lambda a 700RPM.	54
Tabla 5. 3 Análisis de varianza del Oxígeno a 700rpm.	55
Tabla 5. 4 Descriptivos de las muestras del valor del oxígeno a 700rpm. Fuente: Autores.....	55
Tabla 5. 5 Análisis de varianza del Dióxido de carbono (CO ₂) a 700RPM.	56
Tabla 5. 6 Descriptivos de las muestras del valor del Dióxido de carbono (CO ₂) a 700rpm.	57
Tabla 5. 7 Análisis de varianza de los Hidrocarburos (HC) a 700rpm.	58
Tabla 5. 8 Descriptivos de las muestras del valor de los Hidrocarburos (HC) a 700rpm.	58
Tabla 5. 9 Análisis de varianza de monóxido de carbono (CO) a 700rpm.	59
Tabla 5. 10 Descriptivos de las muestras del valor de monóxido de carbono (CO) a 700rpm.	59
Tabla 5. 11 Análisis de varianza de rpm a 700rpm.	60
Tabla 5. 12 Descriptivos de las muestras del valor de rpm a 700rpm.	61
Tabla 5. 13 Análisis de varianza de Torque a 700rpm.	62
Tabla 5. 14 Descriptivos de las muestras del valor de Torque a 700rpm.	62
Tabla 5. 15 Análisis de varianza de Potencia a 700rpm.	63
Tabla 5. 16 Descriptivos de las muestras del valor de Potencia a 700rpm.	63
Tabla 5. 17 Análisis de varianza de la Energías a 700rpm.	66
Tabla 5. 18 Análisis de varianza de la Potencia a 700rpm.	67
Tabla 5. 19 Análisis de varianza del factor de curtosis a 700rpm.	68
Tabla 5. 20 Análisis de varianza del factor de curtosis a 700rpm.	69
Tabla 5. 21 Análisis de varianza del factor de cresta a 700rpm.	70
Tabla 5. 22 Análisis de varianza de Lambda a 2000rpm.....	71
Tabla 5. 23 Descriptivos de las muestras del valor de Lambda a 2000rpm.	71
Tabla 5. 24 Análisis de varianza de Oxígeno a 2000rpm.	72
Tabla 5. 25 Descriptivos de las muestras del valor de Oxígeno a 2000rpm.	72
Tabla 5. 26 Análisis de varianza de CO ₂ a 2000rpm.	73
Tabla 5. 27 Descriptivos de las muestras del valor de CO ₂ a 2000rpm.	74
Tabla 5. 28 Análisis de varianza de HC a 2000rpm.	75

Tabla 5. 29 Descriptivos de las muestras del valor de HC a 2000rpm.	75
Tabla 5. 30 Análisis de varianza de CO a 2000rpm.	76
Tabla 5. 31 Descriptivos de las muestras del valor de CO a 2000rpm.	76
Tabla 5. 32 Análisis de varianza de rpm a 2000rpm.	77
Tabla 5. 33 Descriptivos de las muestras del valor de RPM a 2000rpm.	78
Tabla 5. 34 Análisis de varianza de Torque a 2000rpm.	79
Tabla 5. 35 Descriptivos de las muestras del valor de Torque a 2000rpm.	79
Tabla 5. 36 Análisis de varianza de Potencia a 2000rpm.	80
Tabla 5. 37 Descriptivos de las muestras del valor de Potencia a 2000rpm.	80
Tabla 5. 38 Análisis de varianza de la Energías a 2000rpm.	82
Tabla 5. 39 Análisis de varianza de la Potencia a 2000rpm.	83
Tabla 5. 40 Análisis de varianza del factor de curtosis a 2000rpm.	84
Tabla 5. 41 Análisis de varianza del factor de curtosis a 2000rpm.	85
Tabla 5. 42 Análisis de varianza del Factor de cresta a 2000rpm.	86
Tabla 5. 43 Análisis de varianza de Lambda a 4400rpm.	88
Tabla 5. 44 Descriptivos de las muestras del valor de Lambda a 4400rpm.	88
Tabla 5. 45 Análisis de varianza de oxígeno a 4400rpm.	89
Tabla 5. 46 Descriptivos de las muestras del valor de Oxígeno a 4400rpm.	89
Tabla 5. 47 Análisis de varianza de CO2 a 4400rpm.	90
Tabla 5. 48 Descriptivos de las muestras del valor de CO2 a 4400RPM.	91
Tabla 5. 49 Análisis de varianza de HC a 4400rpm.	92
Tabla 5. 50 Descriptivos de las muestras del valor de HC a 4400rpm.	92
Tabla 5. 51 Análisis de varianza de CO a 4400rpm.	93
Tabla 5. 52 Descriptivos de las muestras del valor de CO a 4400rpm.	94
Tabla 5. 53 Análisis de varianza de rpm a 4400rpm.	95
Tabla 5. 54 Descriptivos de las muestras del valor de rpm a 4400rpm.	95
Tabla 5. 55 Análisis de varianza de Torque a 4400rpm.	96
Tabla 5. 56 Descriptivos de las muestras del valor de Torque a 4400rpm.	96
Tabla 5. 57 Análisis de varianza de Potencia a 4400rpm.	97
Tabla 5. 58 Descriptivos de las muestras del valor de Potencia a 4400rpm.	98
Tabla 5. 59 Análisis de varianza de la Energías a 4400rpm.	99
Tabla 5. 60 Análisis de varianza de la Potencia a 4400rpm.	100
Tabla 5. 61 Análisis de varianza del factor de curtosis a 4400rpm.	101
Tabla 5. 62 Análisis de varianza del valor RMS a 4400rpm.	102
Tabla 5. 63 Análisis de varianza del Factor de cresta a 4400rpm.	103
Tabla 5. 64 Datos de los espectros de vibración en Frecuencia-amplitud.	115
Tabla 5. 65 Datos generales de los factores de análisis a 700 RPM. Fuente: Autores.	1
Tabla 5. 66 Datos generales de los factores de análisis a 2000 RPM. Fuente: Autores.	2
Tabla 5. 67 Datos generales de los factores de análisis a 4400 RPM. Fuente: Autores.	3

LISTA DE SÍMBOLOS

dB	Decibel
E	Energía
f_n	Frecuencia natural
g	Gravedad
Q	Calor absorbido
W	Trabajo
ΔV	Variación de energía
η	Rendimiento del ciclo Otto
k	Relaciones de calores específicos
P	Potencia
T	Par motor

CAPITULO I

ESTUDIO TERMODINÁMICO DEL MOTOR CICLO OTTO

1.1 Sistema termodinámico

Un sistema se define como una cantidad de materia o una región en el espacio elegida para análisis, al hablar de cierta región del espacio, surge de manera natural el concepto de frontera que es la masa o región fuera del sistema. La superficie real o imaginaria que separa al sistema de sus alrededores se llama frontera, puede ser fija o móvil.

En términos matemáticos, la frontera tiene espesor cero y, por lo tanto, no puede contener ninguna masa ni ocupar un volumen en el espacio. [1]

Todo sistema termodinámico posee una energía interna de la que no se conoce su valor pero sí podemos conocer la variación que puede sufrir. Si tenemos un sistema como el de la figura:

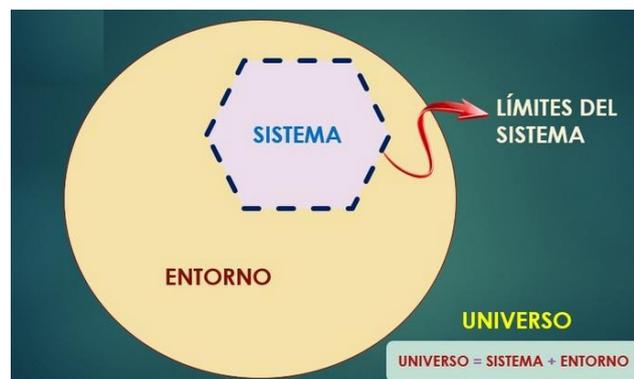


Figura 1. 1 Esquema general de un sistema termodinámico
Fuente: [2]

En el caso de que un sistema está contenido en un recipiente, lo cual es una situación común en termodinámica, el grado de interacción con sus alrededores dependerá de la naturaleza de sus paredes:

- Paredes adiabáticas, son aquellas que no permiten que un sistema modifique su grado relativo de calentamiento. Los llamados aislantes térmicos a nivel comercial son excelentes ejemplos de materiales con esta propiedad, como la madera, el asbesto, etc.
- Paredes diatérmicas, son aquellas que permiten interacciones que modifiquen el grado relativo de calentamiento. Los metales son materiales que constituyen excelentes paredes diatérmicas. [3]

1.1.1 Sistema termodinámico abierto

Se suele llamar volumen de control, es una región elegida apropiadamente en el espacio, generalmente encierra un dispositivo que tiene que ver con flujo másico. Puede existir intercambio de

materia o de alguna forma de energía con sus alrededores. Hay intercambio de masa y energía, con el medio externo. [1][3]



Figura 1. 2 Sistema termodinámico abierto.
Fuente: [4]

1.2 Principios termodinámicos de funcionamiento del motor térmico

Un motor térmico es aquel que permite obtener energía mecánica, a partir de la energía térmica almacenada en un fluido. El análisis de un motor térmico, supone partir de los dos principios de la termodinámica.

1.2.1 Principio de la conservación de la energía

Expresa que durante una interacción, la energía puede cambiar de una forma a otra pero su cantidad total permanece constante, es decir, la energía no se crea ni se destruye. El cambio en el contenido energético de un cuerpo o de cualquier otro sistema es igual a la diferencia entre la entrada y la salida de energía, y el balance de esta se expresa de la siguiente manera: [1]

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E$$

1.2.2 Primer principio de la termodinámica

Es una expresión del principio de la conservación de la energía, y sostiene que la energía es una propiedad termodinámica. Establece que si se realiza trabajo sobre un sistema o bien éste intercambia calor con otro, la energía interna del sistema cambiará. Visto de otra forma, esta ley permite definir el calor como la energía necesaria que debe intercambiar el sistema para compensar las diferencias entre trabajo y energía interna.

$$Q = \Delta U + W$$

Q Representa el calor absorbido por el sistema,
 ΔU Representa la variación de la energía interna del sistema
 W Es el trabajo realizado por el sistema.

Es imposible construir una máquina que obtenga un trabajo mayor que la energía que se suministra. La cantidad de energía total, de un sistema aislado permanece constante, aunque se pueda transformar de una clase en otra.

1.2.2 El segundo principio de la termodinámica

Una máquina térmica sólo puede producir trabajo absorbiendo calor de foco caliente, y cediendo una parte a otro foco frío. Luego siempre hay pérdidas de energía. Es imposible construir una máquina que transforme íntegramente la energía suministrada en trabajo útil. El principio básico del funcionamiento de un motor se basa en un proceso o ciclo cerrado, el motor recibe una determinada cantidad de calor Q_1 de un foco caliente, y posteriormente cede otra cantidad de calor Q_2 a un foco frío. La energía térmica que desaparece se transforma en trabajo mecánico. [5][6]

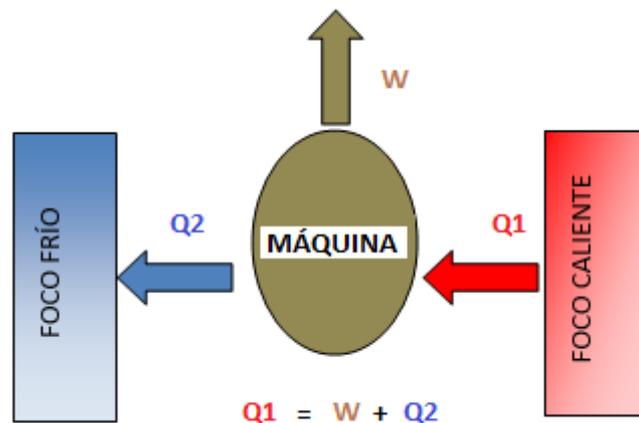


Figura 1. 3 Generador de trabajo por absorción de calor.
Fuente: Autores

1.3 Motor ciclo Otto de cuatro tiempos

El ciclo Otto, llamado así en honor al ingeniero alemán Nikolaus A. Otto que lo definió, en el año de 1876. Tiene como conceptos teóricos clave que el calor se suministra a volumen constante, que no hay intercambio de calor durante la compresión ni durante la expansión, y que es adiabático. En función de cómo se produzca el intercambio de gases, el ciclo se puede realizar en dos o en cuatro fases o tiempos, y como las condiciones mencionadas no son posibles en el motor alternativo, se definen en dos ciclos: el teórico y el práctico (motores térmicos) [6]

1.3.1 Ciclo teórico del motor Otto

El ciclo Otto es el ciclo termodinámico ideal que se aplica en los motores de encendido provocado. Se aproxima suponiendo que la mezcla carburante se comporta como gas perfecto. Un diagrama esquemático de cada tiempo, así como el diagrama $P - v$ para una máquina de encendido por chispa de cuatro tiempos se presenta a continuación.

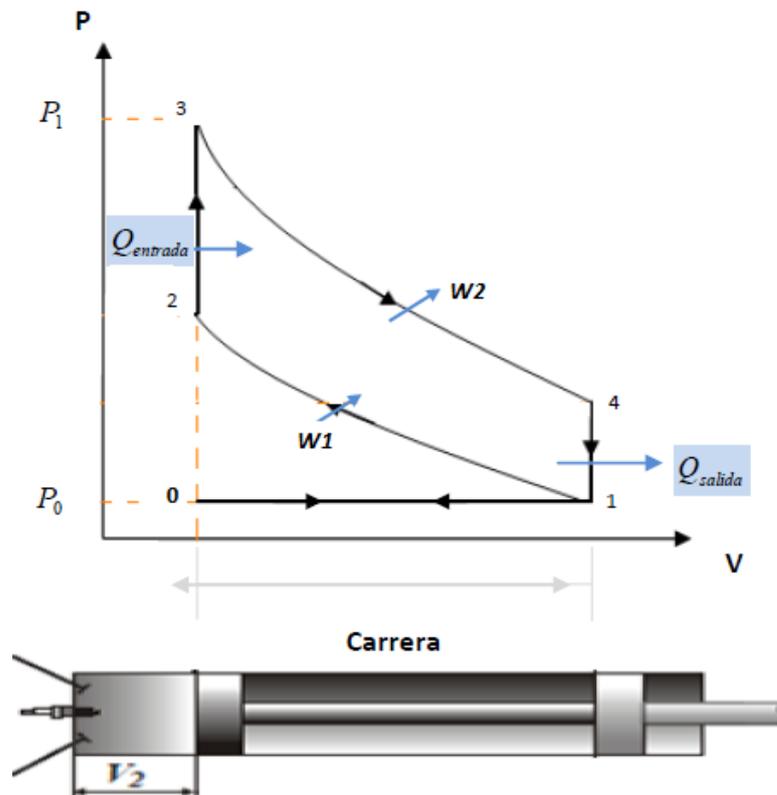


Figura 1. 4 Ciclo ideal en motores de encendido por chispa.
Fuente [3]

1.3.1.1 Proceso de admisión (0-1) Transformación isobara

El pistón desciende con la válvula de admisión abierta y se aspira la mezcla carburante. El proceso tiene lugar a presión constante, en este momento, el pistón se encuentra en el PMS, se inicia el descenso del pistón hacia el PMI, entrando en el cilindro comburente más combustible mezclado.

1.3.1.2 Proceso de compresión (1-2) Transformación adiabática

El pistón se desplaza desde el PMI con las dos válvulas cerradas hasta llegar al PMS, en ese entonces se produce una compresión adiabática ($Q=0$) de la mezcla, al ser la transformación adiabática no hay transferencia de calor.

1.3.1.3 Proceso de expansión (2-3 y 3-4): Transformación isocora

Cuando el pistón está en el punto muerto superior, salta la chispa en la bujía y explota la mezcla, aumentando bruscamente la presión a volumen constante. Se produce una brusca absorción de calor por los gases de combustión. A continuación, el pistón es lanzado hacia abajo realizando trabajo positivo w_2 (el cual viene dado por el área encerrada por el ciclo).

Esta expansión se produce tan rápidamente que se puede suponer que no se produce intercambio de calor Q_1 con el ambiente, por lo que sigue un proceso adiabático. En la expansión aumenta el volumen y disminuyen la presión y la temperatura.

1.3.1.4 Proceso de escape (4-1 y 1-0) Transformación isócara e isobara

Se abre la válvula de escape e, idealmente, podemos suponer que se produce un descenso brusco de la presión y de la temperatura a volumen constante (proceso 4-1), produciéndose una brusca cesión de calor al ambiente. A continuación, el pistón sube expulsando los gases quemados fuera del cilindro a presión constante (proceso 1-0). Como vemos, sólo se produce trabajo en el tercer tiempo, el cual se almacena en forma de energía mecánica en el volante de inercia, de donde se toma la energía necesaria para realizar los otros tres tiempos. [6]

1.3.2 Eficiencia térmica del ciclo ideal Otto

Se puede demostrar que el rendimiento del ciclo Otto ideal viene dado por la expresión:

$$\eta_{\text{ter.Otto}} = \frac{W_{\text{neto}}}{Q_{\text{entrada}}} = 1 - \frac{Q_{\text{salida}}}{Q_{\text{entrada}}}$$

Esta ecuación está supuesta para el aire frío estándar, así mismo de los procesos 1-2 y 3-4 que son procesos isotrópicos:

$$\eta_{\text{ter.Otto}} = 1 - \frac{1}{r^{(\gamma-1)}}$$

En esta ecuación se muestra que bajo las suposiciones de aire estándar frío, la eficiencia térmica de un ciclo de Otto ideal depende de la relación de compresión de la máquina y de relación de calores específicos del fluido de trabajo. La eficiencia del ciclo ideal Otto aumenta tanto con la relación de compresión como con la relación de calores específicos. Esto también es real para las máquinas de combustión interna reales de encendido por chispa.

$$r = \frac{V_{\text{máx}}}{V_{\text{min}}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

De la fórmula anterior se define la relación de compresión y k es la relación de calores específicos $\frac{c_p}{c_v}$. [1]

Sin embargo, el rendimiento real de los motores de gasolina es bastante más bajo (25% a 30%) por las siguientes causas:

- La combustión no suele ser completa.
- Existe intercambio de calor entre los gases y las paredes, con lo que la compresión y la expansión no son adiabáticas.

análogas, y posteriormente se corrigen durante los ensayos en el banco, hasta conseguir los datos óptimos de máximo rendimiento.

Estas cotas de reglaje en la distribución, que suelen estar comprendidas dentro de los valores indicados a continuación, son, una vez fijadas, invariables, excepto en algunos motores que llevan sistemas dinámicos de variación.

Tabla 1. 1 Cotas de distribución. Fuente: Autores

TIPO	AAA	RCA	AAE	RCE	AE
Motores lentos	10 – 20°	30 – 40°	35 – 50°	0 – 10°	0 – 15°
Motores rápidos	10 – 30°	40 – 60°	40 – 60°	5 – 30°	10 – 40°

1.4.1.1 Adelanto en la apertura de la admisión (AAA)

Consigue abrir la válvula de admisión antes que el pistón llegue al P.M.S. en su carrera de escape, al iniciarse la aspiración de la mezcla, hace que la válvula de admisión esté muy abierta, evitando la estrangulación a la entrada de los gases.

1.4.1.2 Retraso en el cierre de la admisión (RCA)

Tiene la finalidad de hacer que la válvula de admisión se cierre un poco después de que el pistón llegue a su P.M.I. debido a la inercia de los gases al final de la admisión éstos siguen entrando en el cilindro, aunque el pistón comience a desplazarse hacia el P.M.S.

1.4.1.3 Adelanto del encendido (AE) o de la inyección (AI)

Consigue compensar el tiempo necesario para que, al final de la combustión, el movimiento del pistón en su fase de trabajo sea mínimo. Se puede cifrar en unos 30°.

1.4.1.4 Adelanto en la apertura de escape (AAE)

Consigue que la presión interna baje antes, y que cuando se inicie el escape la válvula, esté completamente abierta, evitando el estrangulamiento a la salida y la pérdida de energía necesaria para realizar el barrido de gases.

1.4.1.5 Retraso en el cierre del escape (RCE)

Consigue una mejor evacuación de los gases quemados debido a la succión provocada por la alta velocidad de los gases de escape, evitándose así que los gases residuales que pueden quedar en el interior del cilindro impidan la entrada de gases frescos.

1.4.1.6 Cruce de válvulas

Es el período en el que las válvulas de admisión y escape están simultáneamente abiertas. Durante el mismo, debido a la velocidad de los gases de escape, crean una succión que facilita la entrada de la nueva mezcla y barre los gases residuales.

Cuando los gases frescos llegan a la válvula de escape ésta ya está cerrada sin que se pierdan en la atmósfera. [9]

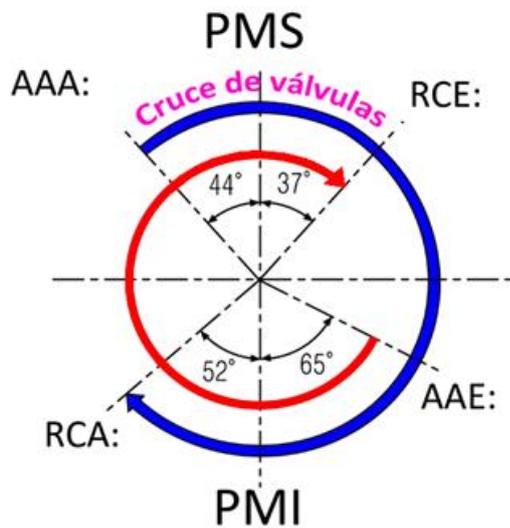
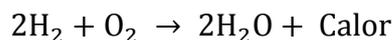


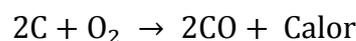
Figura 1. 6 Diagrama de mando.
Fuente: [10]

1.4.2 Proceso de combustión del motor Otto

Para que la combustión pueda tener lugar en poco tiempo, las moléculas de combustible y oxígeno deben estar cerca unas de otras. El oxígeno necesario para la combustión se toma del aire admitido. Como el aire contiene alrededor del 20% de oxígeno, el combustible necesita una proporción muy alta de aire para la mezcla. Para la combustión completa de 1 kg. De gasolina normal, la cantidad mínima de aire necesario, o necesidad teórica de aire es de 14,8 kg. Equivalente a 12 m³. El carbono contenido en el combustible arde con el oxígeno dando dióxido de carbono, mientras que el hidrogeno del combustible se combina con el oxígeno y da vapor de agua (H₂O). El nitrógeno contenido en el aire no interviene en la combustión propiamente dicha, si son altas la presión y la temperatura de combustión, llega a producir óxido nítrico, que es venenoso.



Si la mezcla combustible – aire es demasiado rica, por ejemplo, 1 kg de gasolina y 13 kg de aire (1:13), una parte del carbono se convierte al quemarse en monóxido de carbono, debido a la escases de oxígeno.



Si la mezcla combustible- aire es demasiado pobre, por ejemplo, 1 kg de gasolina y 16 kg de aire (1:16), es cierto que se tiene una combustión completa, pero la insuficiente

refrigeración interna por evaporación del combustible puede dar lugar al recalentamiento del cilindro.

1.4.2.1 Combustión estequiométrica

Para que el combustible pueda quemarse de una forma rápida y completa, cada gramo de gasolina ha de mezclarse con 14,7 gramos de aire, que en volumen equivalente a 1 litro de combustible por cada 10000 litros de aire. A esta mezcla se la denomina mezcla estequiometría, que se calcula a partir de la composición química de ambos fluidos y se representa por la letra griega Lambda (λ). Cuyo valor en este caso se obtiene comparando la cantidad de aire que aspira el motor con la cantidad de aire teórico necesario.

$$\frac{\text{cantidad de aire que aspira el motor}}{\text{cantidad de aire teorico necesario}} = 1$$

Cada relación estequiometría varía según el tipo de combustible empleado.

Tabla 1. 2 : Relación estequiometría según el combustible empleado. Fuente: autores

Combustible	Relación aire – combustible (kg/kg)
Gasolina	14.7/1
Etanol	9.0/1
Metanol	6.4/1
Gas natural	17.2/1
Propano	15.5/1
Diesel	14,6/1
Hidrogeno	34.0/1

1.4.2.2 Mezcla rica

Cuando existe déficit de aire, el valor de λ es menor que 1 ($\lambda < 1$). Las mezclas ricas tienen una proporción entre 1: 15,1 y 1: 4,5.

1.4.2.3 Mezcla pobre

Cuando los valores de lambda supera la unidad 1 ($\lambda > 1$) indican un exceso de aire y la mezcla se denomina pobre. Las mezclas pobres son las comprendidas entre las proporciones 1: 1,53 y 1:22. [6]

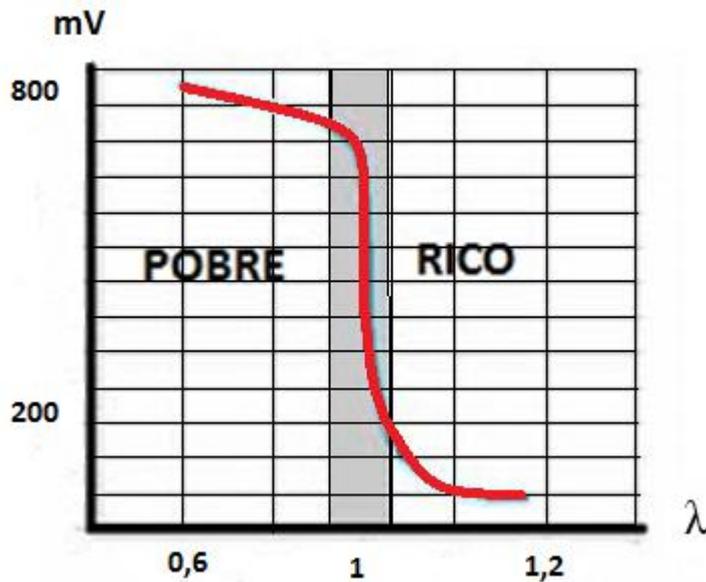


Figura 1. 7 Relación aire – combustible.
Fuente: Autores

La sonda lambda de banda ancha es utilizada para poder determinar con una cierta precisión mezclas en un rango de trabajo amplio, que oscilan entre 11:1 a 22:1, o factores lambda de 0.9 (rica) a 2.2 (pobre).

Se puede entonces utilizar no solo para determinar mezclas pobres, sino también para ser aplicadas en motores que trabajan con otras relaciones aire-combustible, y hacer así un análisis de gases de escape en motores de Alcohol, Gasoil y Propano.

1.5 Parámetros de funcionamiento del motor

En el funcionamiento real del motor, al no ser constantes los rendimientos, las curvas ofrecen un aspecto totalmente cambiado y obtenidas con un freno, dan esquemas como los que se presentan en las figuras siguientes:

1.5.1 La potencia y torque al freno

Estos parámetros van directamente relacionados, ya que dicha potencia se calcula gracias a la medición del torque en el eje de transmisión del motor; es un buen indicador de la habilidad del motor para producir trabajo y es definido como el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia.

A medida que aumenta el régimen de giro incrementa la potencia al freno de forma prácticamente lineal, lo que ocurre hasta llegar a un valor de velocidad angular del cigüeñal en el que por seguridad para el motor, actúa el regulador disminuyendo de forma automática la entrada de combustible. A partir de dicho régimen la potencia disminuye hasta llegar a un valor que, considerando el alto régimen de giro, es muy bajo

1.5.2 Curva de par motor

En los motores de combustión, la curva de par empieza siendo ascendente hasta llegar a las revoluciones donde el motor rinde el par máximo (T_1), que es el punto de diseño óptimo. A partir de ese momento, el par comienza a disminuir progresivamente. Esto es así, porque a partir del punto óptimo de revoluciones del motor empiezan a aparecer dificultades, como ya se han comentado anteriormente algunas, y que están relacionadas fundamentalmente con los siguientes factores:

- Una inadecuada evacuación de gases quemados conforme aumenta las revoluciones del motor, según se ha visto
- Insuficiente llenado de aire en cada ciclo
- La combustión empieza a no ser óptima
- La fracción de tiempo para cada combustión se reduce
- La mezcla de aire-combustible no se acaba de completar
- El avance a la inyección no es suficiente

En consecuencia, aunque quememos más combustible acelerando el motor y consiguiendo que la potencia todavía aumente, el par descende. De ahí que los consumos específicos óptimos estén en valores próximos a la zona de par máximo, aumentando el consumo del motor conforme se aleja de este rango.

1.5.3 Curva de potencia

La potencia que puede ofrecer un motor de combustión interna, incrementa conforme sube de régimen de giro, hasta un máximo (representado por P_3) que se alcanza cuando gira a n_3 (r.p.m.)

En estas condiciones, aunque se acelere más la velocidad del motor, éste no es capaz de entregar más potencia dado que la curva entra en su tramo descendente. El límite máximo de rpm a la que puede girar el motor lo marca n_4 , establecido por las propias limitaciones de los elementos mecánicos que lo constituyen.

Lo primero que se puede comprobar es que la máxima potencia no corresponde con el régimen del máximo par motor (punto de revoluciones n_1). En la mayoría de los casos, el punto de par máximo se encuentra en torno al 70% del régimen nominal, es decir, de aquel al que se produce la máxima potencia.

La potencia es el producto del par motor por el número de vueltas, y aunque se alcance el punto donde se comienza ligeramente a disminuir el par que ofrece el motor, este efecto se compensa por el aumento, que proporcionalmente es mayor, del régimen de giro del motor, y por ello su producto, que proporciona la potencia, sigue aumentando. El rango de velocidades que produce un funcionamiento estable del motor, según la gráfica, sería el comprendido entre el régimen de velocidades n_1 y n_2 , valores que por otro lado no se corresponde con el punto de máxima potencia. [11]

1.5.4 La potencia indicada

Es la que se genera directamente por la transferencia de energía del combustible hacia el pistón, pudiéndose medir gracias al valor de la presión media efectiva dentro del cilindro. Como expresa su nombre, es la que corresponde al trabajo que recibe realmente la cabeza del pistón

La potencia al freno siempre será menor que la indicada, por lo tanto, si se desea conocer el valor de la potencia que se pierde en rodamientos y demás piezas mecánicas, basta con restar ambas potencias; por lo tanto, la eficiencia mecánica puede ser conocida dividiendo la potencia al freno entre la potencia indicada.

1.5.5 La presión media efectiva

Se puede calcular de dos formas: con el valor de la potencia al freno o bien, la potencia indicada dividida entre el volumen específico originado por la carrera del pistón.

1.5.6 Consumo de combustible

Es medido como la razón de flujo másico de combustible por unidad de tiempo. Un parámetro que se usa comúnmente es el consumo específico de combustible, el cual indica el flujo de combustible por kilowatt de potencia generada.

Como se sabe que un caballo de vapor (C.V.) es igual a 75 Kgm/seg, la energía correspondiente a un caballo de vapor * hora (C.V. ·h) equivale a $75 \cdot 3600 = 270000$ Kgm. Si H es el poder energético del combustible expresado en KJ/Kg, el trabajo equivalente al consumo específico de combustible vendrá dado por:

$$C_s \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot \eta_t \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot 427 = 270000 \text{ Kgm}$$

Como:

$$\eta = \eta_t \cdot \eta_i \cdot \eta_m$$

Se tiene

$$C_s = \frac{270000}{10^{-3} \cdot H \cdot \eta \cdot 427} = \frac{632000}{\eta \cdot H_1}$$

Despejando de la ecuación anterior, el rendimiento total se tiene:

$$\eta = \frac{270000 \cdot 1000}{C_s \cdot H \cdot 427} \implies \eta \approx \frac{632000}{C_s \cdot H}$$

1.6.7 Curva de consumo específico de combustible

La curva de consumo específico suele seguir un comportamiento inverso a la curva del par, es decir, en las condiciones de par máximo se consigue un consumo específico mínimo.

En la figura, se incluye la curva de consumo específico (C), junto con las demás curvas de potencia (P) y par motor (T), y donde se puede comprobar el comportamiento de cada variable según el régimen de funcionamiento del motor. [11]

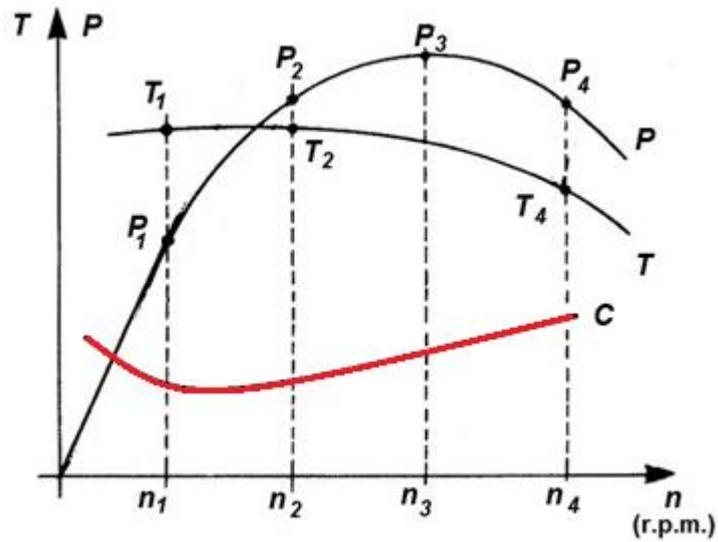


Figura 1. 8 Curva de consumo específico.

Fuente: [11]

De igual manera, se puede medir el consumo específico de combustible utilizando la potencia indicada o la potencia al freno, siendo más comúnmente utilizada la última.

CAPITULO II

DISEÑO DEL PROTOCOLO Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para el desarrollo de la caracterización de las mezclas de gasolina-etanol, lo realizamos por etapas.

Primera etapa consiste en la preparación de las mezclas entre los combustibles, descripción de las mezclas etanol desde el cero por ciento hasta tener etanol al cien por ciento y la caracterización de los combustibles.

Segunda etapa experimentación de la combustión, es decir poner en funcionamiento el motor Armfield con las respectivas mezclas y se procede a tomar los valores de torque, potencia, emisiones de los gases de escape y espectros de vibración.

Tercera etapa consiste en analizar los resultados adquiridos e implementarlos en una base de datos en los posteriores capítulos.

2.1 Preparación de las mezclas de los combustibles gasolina-etanol

En esta etapa se describe la forma como se elaborará las mezclas de gasolina-etanol, mediante cálculos definiremos que las mezclas contengan las siguientes cantidades: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100% de etanol.

El combustible resultante de la mezcla de etanol-gasolina se lo conoce como gasohol oalconafta, por lo tanto a las mezclas les asignaremos la letra E debido a que su compuesta de análisis es el etanol y llegando a tener de la siguiente manera E0, E10, etc.

2.1.1 Preparación mezcla Etanol-Gasolina

Para la preparación de esta mezcla se necesitó los siguientes equipos y materiales.

- Etanol
- Gasolina extra de 82 octanos
- Probeta de 250 ml
- Envases

Procedimiento

- La cantidad que se necesita para la elaboración de la mezcla E se basa en un volumen total de combustible de 1500ml, de los cuales un porcentaje que acompañe a la letra E nos indicara la cantidad del Etanol y la cantidad que falta se completa con gasolina para llegar a la cantidad total antes mencionada.

Y esto se utiliza como combustible para el motor de combustión interna Armfield.



Figura 2. 1 Mezcla de Etanol-Gasolina E
Fuente: Autores

2.1.2 Descripción de las mezclas de los combustibles

La mezcla de gasohol es realizada con alcohol etílico (etanol) con una concentración de 96° de alcohol. La gasolina que utilizamos como base no contiene ningún tipo de aditivo oxigenante, la misma que es comercializada en todas las gasolineras del Ecuador y es conocida como la gasolina extra de 82 octanos.

La proporción entre los dos combustibles lo indicaremos mediante porcentajes del etanol el mismo que predeciremos mediante una E mayúscula. La cantidad de combustibles que se utilizó para cada una de las pruebas es de 1500 ml, donde la cantidad lo componen entre gasolina y el etanol de acuerdo al porcentaje que se esté ejecutando.

En la tabla 2.1 se muestra las cantidades de cada uno de los combustibles que se utilizan en las mezclas con sus respectivos porcentajes.

En la tabla, se muestran las cantidades de los 11 compuestos de combustibles utilizados, de los cuales servirán para adquisición de datos en el estado de Ralentí que en nuestro caso es de 700 rpm, a media carga que consideramos a 2000 rpm y a plena carga que son a 4400 rpm.

Tabla 2. 1 Cantidad de etanol y gasolina utilizada para las mezclas. Fuente: Autores

Mezcla	Cantidad de etanol		Cantidad de gasolina		Cantidad total
	ml	%	ml	%	MI
E0	0	0	1500	100	1500
E10	150	10	1350	90	1500
E20	300	20	1200	80	1500
E30	450	30	1050	70	1500
E40	600	40	900	60	1500
E50	750	50	750	50	1500
E60	900	60	600	40	1500
E70	1050	70	450	30	1500
E80	1200	80	300	20	1500
E90	1350	90	150	10	1500
E100	1500	100	0	0	1500

2.1.2 Caracterización de combustibles

La utilización del gasohol a distintas proporciones en motores de combustión interna tiene como función principal quemar de manera más eficiente a los derivados del petróleo en comparación al quemar gasolina pura.

La caracterización de un combustible consiste en identificar sus propiedades físicas y químicas a través de las diversas pruebas.

“El número de octano u octanaje, es la capacidad que tiene un combustible para resistir la detonación.

RON (Research Octane Number), es una escala que mide la capacidad antidetonante del combustible con respecto a la mezcla patrón formado por una mezcla de isoctano y n-heptano; de esta forma, se determina el número de octanos con respecto al porcentaje de isoctano en la mezcla estándar.

MON (Motor Octane Number), también se basa en un combustible de referencia, formado por isoctano y n-heptano; la diferencia que tiene con la medida RON es que se sobrecarga más el motor durante el ensayo.

La relación estequiometría aire-combustible (A/F por sus siglas en inglés), es un parámetro adimensional utilizado para describir la cantidad necesaria de aire para la combustión completa de un combustible usado, lo que realmente utiliza del aire es el contenido de oxígeno (79% nitrógeno y 21% oxígeno en volumen), por lo que la cantidad de aire es mucho mayor a la cantidad de combustible para la reacción química, el valor ideal o estequiométrico de la relación AF para las gasolinas comercializadas en nuestro país es aproximadamente de 14.7:1

Características del etanol

El etanol, también conocido como alcohol etílico, es un líquido incoloro de fórmula química $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ (o también expresado como $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), inflamable, de olor y sabor agradable, miscible en agua en todas sus proporciones y con la mayoría de los disolventes orgánicos. Debido a que el etanol contiene hasta un 35% de oxígeno en su composición, puede provocar una combustión más completa en el automotor, resultando en esto, menores emisiones de gases contaminantes hacia la atmósfera

Características de la gasolina extra

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos derivada del petróleo, que se utiliza como combustible en motores de combustión interna de ignición por chispa; su fórmula química es C_3H_8 [3]

2.2.1 Experimentación de la combustión

Para la experimentación de las mezclas preparadas se los realizo en el laboratorio del banco dinamométrico que se encuentra en el taller de mecánica automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

El laboratorio cuenta con la infraestructura para el estudio de los procesos de combustión en sistemas de gasolina, además para la prueba de aditivos y para el uso de combustibles alternos como es el caso del estudio que estamos realizando.

Existe un banco de pruebas que consiste en un motor Armfield y un freno dinamométrico. En la figura 2.1 podemos observar el banco de pruebas el que utiliza para realizar la experimentación.



Figura 2. 2 Banco para la experimentación de la combustión
Fuente: Autores

El Banco Armfield está constituido por un motor, Freno, rodamientos, acoplamiento y el sistema eléctrico. En la tabla 2.2 presentamos las características del equipo.

Tabla 2. 2 Características del banco Armfield.

Fuente: D. Armfield, Engineering Teaching & Research Equipamente

MOTOR	
Cilindrada	999 cm ³
Numero de cilindros	4
Carrera	70.60 mm
Calibre (diámetro)	67.10 mm
Numero válvulas por cilindro	2
Relación de compresión	10.5:1
Potencia máxima	37 kW @5000rpm
Torque máximo	86 Nm @ 3400 rpm
Sistema de inyección	Bosch Motronic MP9.0
FRENO	
Manufacturado	Klam
Modelo No.	K40
Potencia máxima	60 KW
Torque máximo	145 Nm
RODAMIENTOS	
Manufacturado	SKF
Modelo	Arcusaflex AC2, 3 HT. 2012
SISTEMA ELECTRICO	
Voltaje	220-240 Volts
Frecuencia	50-60 Hz
Fusible	20 Amps

Para poner en funcionamiento tanto al motor como al dinamómetro existen dos alternativas y están son manipular directamente sobre el banco y la otra es mediante un computador utilizando el software CM11 Armfield hacer su respectivo funcionamiento de acuerdo a los parámetros que desee analizar, además podemos ver el valor de Lambda, torque, potencia y sobre todo existe la forma de poder ver cuánto es lo que se quiere acelerar y a cuantas rpm se llega, mientras con la aplicación del freno se puede ir visualizando las variables

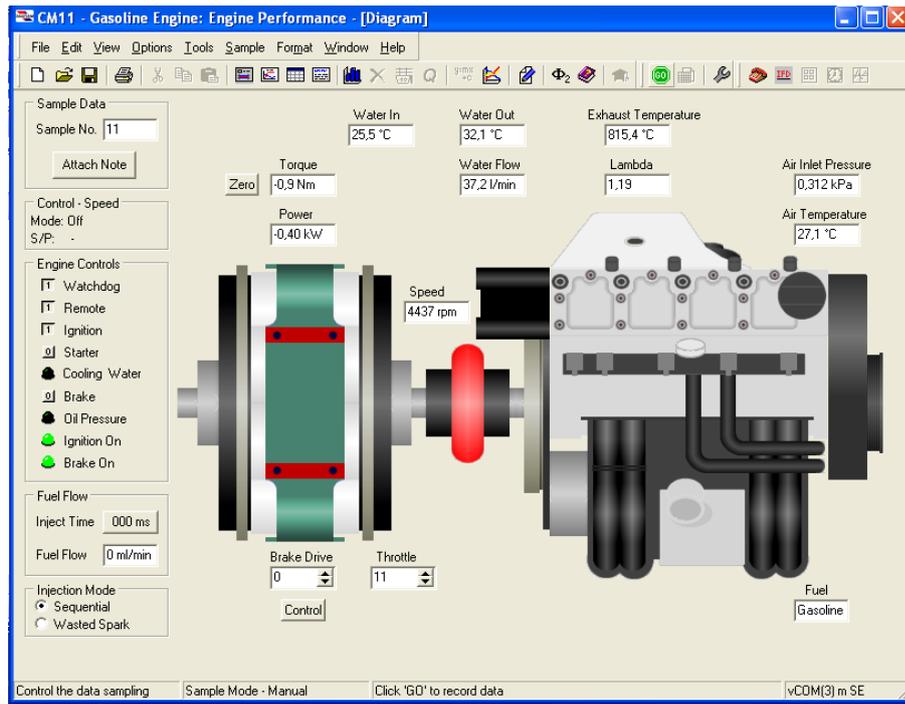


Figura 2. 3 Software CM11 Armfield
Fuente: Armfield/Autores

Una vez que ya se ha puesto en funcionamiento el banco de pruebas Armfield y este se encuentre en condiciones óptimas de trabajo, entonces procedemos a tomar muestras las mismas que son generadas como se puede ver en la figura 2.3 donde las de color azul representa la potencia y las de color rojo representa el torque, se realizó la toma de las muestras para cada ensayo ejecutado.

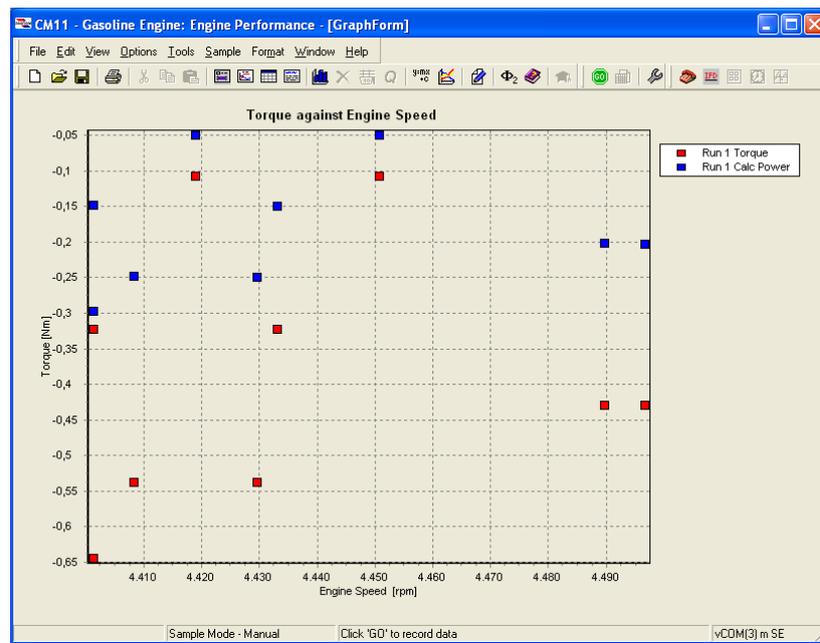


Figura 2. 4 Esquema de toma de muestras del banco Armfield
Fuente: Armfield/Autores

Este tipo de muestras serán de manera similar para los ensayos a estado de ralentí que en nuestro caso es de 700 RPM y a media carga que es a 2000 RPM y plena carga es de 4400 RPM.

2.2.2 Emisiones de gases de escape

Los gases que se analizarán son:

Monóxido de carbono (CO), el mismo que es un gas irritante, incoloro, insípido y tóxico. Es producto de la combustión incompleta de los combustibles, cuando no hay suficiente oxígeno para que se convierta completamente en dióxido de carbono, lo que se busca en nuestro estudio disminuir el monóxido de carbono.

Hidrocarburos (HC), son productos de la combustión incompleta las mismas que son causadas por vaporización del combustible, este gas tiene que ser lo más bajo posible.

Dióxido de carbono (CO₂), se da del producto de la combustión completa y este es un gas incoloro el mismo que no tiene ni olor, ni sabor que se encuentra en la atmósfera de forma natural y no es tóxico.

Lambda (λ) no es el valor medido del gas de escape del vehículo, sino un cálculo constante basado en la fórmula de Bretschneider que mide la densidad del CO, HC, CO₂ y O₂ y aplica el porcentaje de H, C, O del vehículo de gasolina. Por consiguiente, para medir con precisión 4 gases es requisito previo el cálculo de lambda. [4]

2.2.3 Espectros de vibración

Vibración, es una oscilación mecánica alrededor de una posición de referencia. Esta oscilación puede ser periódica (repetitiva) o no. El movimiento armónico es la forma de vibración periódica más simple [5].

La vibración de un objeto es causada por una fuente de excitación, esta fuerza se puede aplicar externamente al objeto o puede tener su origen dentro del objeto. [6]

El movimiento vibratorio de un cuerpo entero se puede describir completamente como una combinación de movimientos individuales de 6 tipos diferentes. Esos son traslacionales en tres direcciones **ortogonales** x, y y z, y rotacionales alrededor de los ejes x, y y z. cualquier movimiento complejo que el cuerpo pueda presentar se puede descomponer en una combinación de esos seis movimientos. [6]

2.2.4 Medición de Amplitud de vibración

Las definiciones siguientes son aplicación a la medición de la amplitud de las vibraciones mecánicas.

Amplitud pico (Pk) es la distancia máxima de la onda del punto cero o del punto de equilibrio.

Amplitud pico a pico (Pk-Pk) es la distancia de una cresta negativa hasta una cresta positiva.

Amplitud Raíz del promedio de los Cuadrados (RCP) es la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los valores de onda. En el caso de onda senoidal el valor RCP es igual a 0.707 del valor pico, este caso es solo para onda senoidales.

2.2.5 Unidades de Vibración

En el sistema inglés, la velocidad variable tiene como unidad a las pulgadas por segundo (PPS), la aceleración se mide en pulgadas por segundo al cuadrado y esta tiene un valor 386 pulgadas/seg².

Sistema internacional. La velocidad viene dada en metros por segundo (m/s). La aceleración tiene un valor de 9.81 metros por segundo cuadrado (m/seg²)

Frecuencia viene dada en la unidad de Hertz (Hz) [6]

2.2.6 Extracción de espectros de vibraciones

Al momento de tomar la señal de vibración se debe tener al motor de combustión interna funcionando en condiciones de operación estable. La determinación de la severidad de la vibración puede basarse en la máxima vibración que ocurre sobre todo el rango de potencia y velocidad correspondiente a la operación normal. [7]

Adquisición de la señal de la vibración, para el levantamiento de la información preliminar y la base de datos se utilizara el equipo de la familia ERBESSD INSTRUMENTS ®, que contiene un acelerómetro unidireccional para la adquisición de la señal de la vibración, un amplificador, un filtro antialiasing de 5000 HZ y una interfaz por medio de una tarjeta de adquisición de datos para conectar al ordenador, en esta etapa se determina los parámetros de muestreo de la señal. El acelerómetro unidireccional con un rango de 1 – 5000 Hz y una salida analógica de 330mV/g, que se ubica sobre el knock sensor como se puede ver en la figura 2.6; posterior se utilizó un acelerómetro de la familia ADASH, para procesar toda la información a través del software propio del equipo. [8]



Figura 2. 5 Ubicación del Acelerómetro sobre el Knock Sensor.
Fuente: Autores

Mediante el acelerómetro y su respectivo software al adquirir las señales, tenemos una onda como se puede ver en la figura.

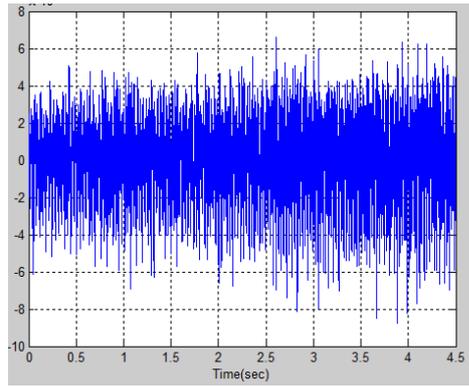


Figura 2. 6 Señal de onda obtenida con el acelerómetro.
Fuente: Autores

2.3 Análisis de resultados de los datos adquiridos

Mediante el análisis ANOVA de un factor utilizando el software SPSS (Statistical Package for the Social Science), nos permite realizar una comparación entre variables cuantitativas, en nuestro caso se da el análisis de las emisiones de gases de los datos tomados por cada mezcla de combustibles.

2.3.1 Análisis de espectro

EL análisis de espectros que se define como la transformación de una señal de la representación en el dominio del tiempo hacia la representación en el dominio de la frecuencia.

Para el análisis de las señales de vibraciones se lo realiza mediante:

- La transformada rápida de Fourier: un algoritmo de computador para calcular la TDF.

Mediante el software Matlab procederemos a analizar el archivo wav adquirido por el acelerómetro y el software del mismo, del cual nos da una señal como la que se presenta en la figura 2.8.

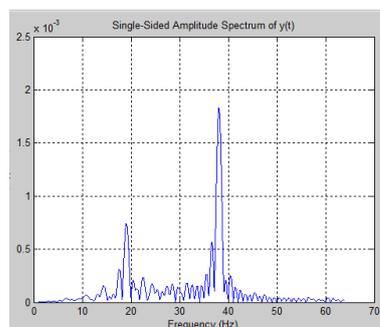


Figura 2. 7 Señal Procesada en Software Matlab
Fuente: Autores

CAPITULO III

ADQUISICIÓN DE VALORES TEÓRICOS DE POTENCIA Y TORQUE TRAS LA VARIACIÓN DE MEZCLAS

3.1 Equipos utilizados

En las pruebas experimentales que realizaremos con las distintas mezclas etanol-gasolina lo ejecutaremos en el banco de pruebas Armfield, en el cual se adquirirá los valores teóricos de Torque, Potencia y el número de RPM debido a que el análisis se los realiza en tres valores distintos de revoluciones por minuto.

En la tabla 3.1 se puede observar las características principales del motor de combustión interna del banco de pruebas Armfield.

Tabla 3. 1 Características del motor de combustión interna Banco Armfield.

Fuente: [9]

Motor	Volkswagen
Cilindrada	999 cm ³
Numero de cilindros	4
Numero de válvulas por cilindro	2
Relación de compresión	10.5:1
Potencia máxima	37 kW @5000rpm
Torque máximo	86 Nm @ 3400 rpm
Sistema de inyección	Bosch Motronic MP9.0

Para adquisición de valores de las emisiones de gases contaminantes del motor de combustión interna se lo realizo mediante el analizador de gases de la marca **QGA/NGA 600** el mismo que es un analizador que permite la toma de los siguientes datos: el oxígeno (O₂), Dióxido de carbono (CO₂), Hidrocarburos (HC) y monóxido carbono (CO)



Figura 3. 1 Analizador de gases

Fuente: Autores

En la obtención de los espectro de vibración se realiza la adquisición de la señal de la vibración, se utilizara el equipo de la familia ERBESSD INSTRUMENTS ®, que contiene un acelerómetro unidireccional para la adquisición de la señal de la vibración, un amplificador, un filtro antialiasing de 5000 Hz, y una interfaz por medio de una tarjeta de adquisición de datos para conectar al ordenador, en esta etapa se determina los parámetros de muestreo de la señal. El acelerómetro unidireccional con un rango de 1 – 5000 Hz y una salida analógica de 330mV/g, se ubica sobre el sensor knock sensor, se utilizó un acelerómetro de la familia ADASH, para procesar toda la información a través del software propio del equipo.



Figura 3. 2 Acelerómetro unidireccional
Fuente: Autores

3.2 Matriz de pruebas

Los datos que se van a obtener son el tipo de combustible (Fuel Selection), la velocidad de giro del motor (RPM), el Torque (T Nm) y la Potencia (P KW). Estos valores serán ubicados en una tabla con la finalidad de mantener en orden los datos debido a que son diez muestras de cada mezcla en tres maneras distintas de revoluciones por minuto.

Tabla 3. 2 Valores obtenidos el MCI en software CM11 mezcla E10 a 700RPM.
Fuente: Autores

No. De Muestra	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]
1	E10	700	0,8	0,06
2	E10	700	0,2	0,02
3	E10	703	0,4	0,03
4	E10	700	0,10	0,01
5	E10	707	0,30	0,02

En el analizador de gases se tienen los valores de las emisiones de gases contaminantes los cuales los emplearemos en una tabla para facilitar el análisis, el valor de lambda (Lambda), el oxígeno (O2) esta medido en porcentaje, el dióxido de carbono (CO2), es medido en porcentaje, los hidrocarburos (HC), es medido en partes por millón (ppm) y el monóxido de carbono (CO).

Tabla 3. 3 Datos de emisiones contaminantes de la mezcla E10 a 700rpm.

Fuente: Autores

No. De Muestra	LAMBDA Λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC ppm	CO [%]
1	0,98	0,56	15,1	221	1,3
2	0,98	0,7	15,4	191	0,76
3	1,001	0,72	15,4	191	0,76
4	1,002	0,7	15,4	191	0,76
5	1,002	0,72	15,4	191	0,76

En los espectros de vibración serán analizados mediante la **Transformada Rápida de Fourier**. La TRF es un algoritmo para calcular el TDF de manera rápida y eficaz. El algoritmo pone algunas limitaciones en la señal y en el espectro resultante. La mayoría de los analizadores TRF permite la transformación de las frecuencias de muestro desde 512, 1024, 2048 o 4096 Hz. El rango de las frecuencias dependen de la cantidad de muestras recogidas y de la proporción de muestreo. [6]

El espectro de vibración tomaremos con una frecuencia de 1024 en un tiempo de 1 segundo. La señal del espectro de vibración que es obtenida por el equipo, lo presentamos a continuación y acompañando a esta tenemos la señal procesada y analizada mediante la transformada rápida de Fourier en un algoritmo en Matlab, en este caso es de la mezcla E10 a 700rpm.

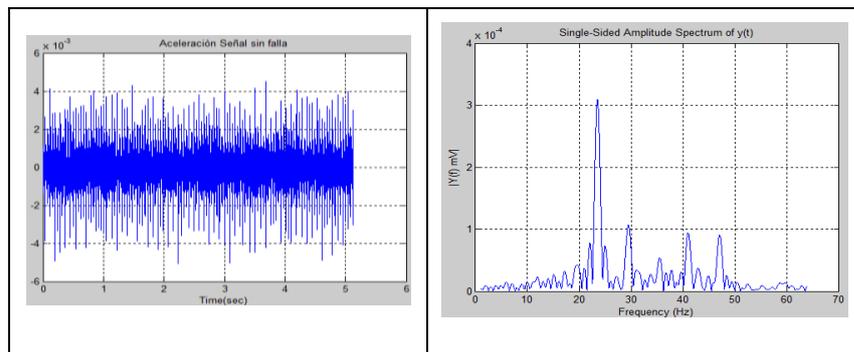


Figura 3. 3 Señal de la mezcla E10 a 700RPM.

Fuente: Autores

3.3 Preparación de las mezclas

El motor de combustión interna debe estar en funcionamiento previo a la obtención de muestras, con la finalidad de que las muestras sean reales.

3.3.1 Mezcla E0

La cantidad de combustible tiene un volumen total de 1500ml, de los cuales tiene un 0% de etanol y un 100% de gasolina. Este compuesto es utilizado para los regímenes de motor en ralentí, media carga y plena carga. Se toma 5 muestras por cada prueba.

3.3.1.1 Ralentí 700 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 4 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E0 a 700 RPM.
Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E0	701	2,4	0,24	16,7	1,136	3,71	14	678	0,28
2	E0	703	1,6	0,16	16,3	1,11	3	14,1	560	0,23
3	E0	707	1,8	0,22	15,9	1,082	2,29	14	441	0,24
4	E0	709	2,5	0,26	16,6	1,133	3,52	13,8	693	0,17
5	E0	700	2,1	0,26	16,6	1,134	3,51	13,9	637	0,18

Espectro de vibración

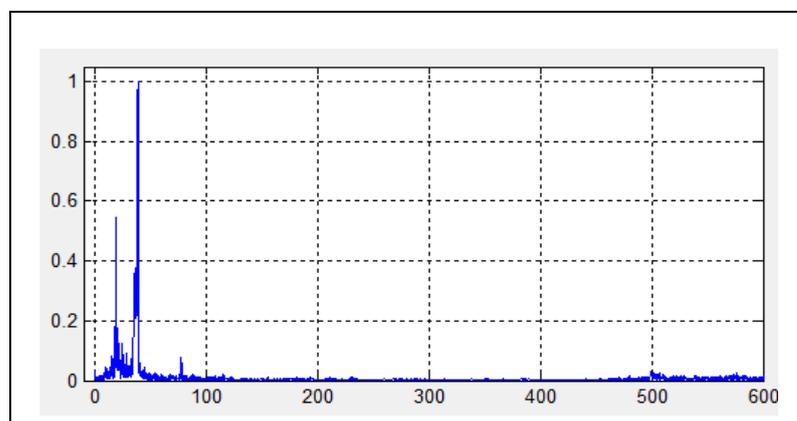


Figura 3. 4 Espectro Vibración E0 a 700 rpm tratada en Matlab.
Fuente: Autores/ [10]

3.3.1.2 Media Carga 2000 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 5 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E0 a 2000 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E0	880	2,8	0,26	14,9	1,019	0,97	14,8	229	0,51
2	E0	1266	4,3	0,57	15	1,022	1	14,9	223	0,48
3	E0	1131	1,9	0,23	15	1,02	0,97	14,9	224	0,47
4	E0	1107	2,1	0,25	15	1,021	0,99	14,9	229	0,48
5	E0	1142	1,8	0,22	15	1,023	1,01	14,9	228	0,45

Espectro de vibración

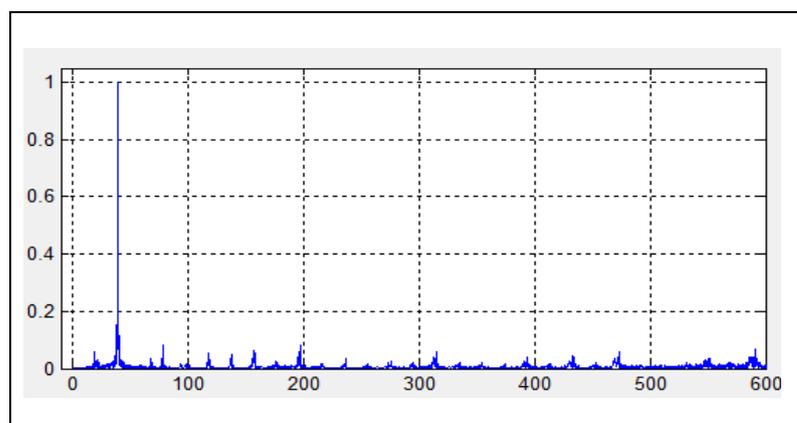


Figura 3. 5 Espectro Vibración E0 a 2000 rpm tratada en Matlab

Fuente: Autores/ [10]

3.3.1.3 Plena Carga 4400 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 6 Datos de Torque, Potencia y emisiones contaminantes. Mezcla E0 a 4400 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E0	4384	26,9	1,28	14,9	1,018	0,89	14,9	160	0,53
2	E0	4391	26,9	1,33	15	1,02	0,94	14,9	153	0,52
3	E0	4405	26,9	1,29	14,9	1,016	0,86	14,9	146	0,57
4	E0	4401	26,9	1,39	14,9	1,016	0,88	14,9	145	0,58
5	E0	4415	26,9	1,14	14,9	1,017	0,88	14,9	143	0,57

Espectro de vibración

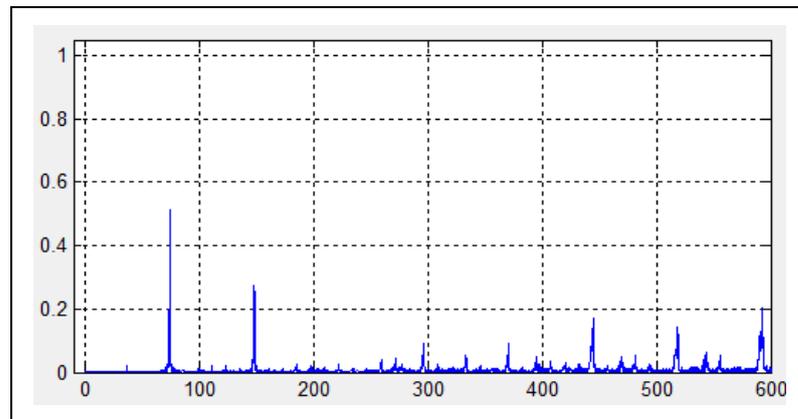


Figura 3. 6 Espectro Vibración a 4400 rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores/ [10]

3.3.2 Mezcla E10

La cantidad de combustible tiene un volumen total de 1500ml, de los cuales tiene un 10% de etanol y un 90% de gasolina. Este compuesto es utilizado para los regímenes de motor en ralentí, media carga y plena carga. Se toma 5 muestras por cada prueba.

3.3.2.1 Ralentí 700 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 7 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E10 a 700rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA Δ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E10	700	0,8	0,06	14,8	1,012	0,84	15	259	0,52
2	E10	700	0,2	0,02	14,8	1,012	0,84	15,1	260	0,5
4	E10	703	0,4	0,03	14,8	1,011	0,84	15	259	0,54
5	E10	700	0,1	0,01	14,8	1,011	0,84	15	260	0,54
7	E10	707	0,3	0,02	14,8	1,01	0,84	15	260	0,57

Espectro de vibración

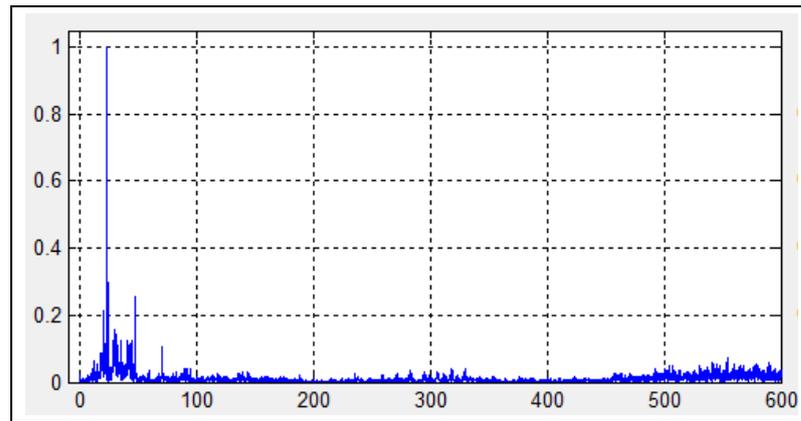


Figura 3. 7 Espectro Vibración E10 a 700rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores/ [10]

3.3.2.2 Media Carga 2000 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 8 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E10 a 2000 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA Δ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E10	2139	29,1	0,24	15	1,02	0,97	14,9	224	0,47
2	E10	2340	28,9	0,21	15	1,025	1,06	14,9	226	0,46
3	E10	2354	29,1	0,26	15	1,021	0,99	14,9	229	0,48
4	E10	2255	30,1	0,48	15	1,021	1	14,9	228	0,48
5	E10	2277	28,8	0,18	14,9	1,02	0,95	14,9	223	0,46

Espectro de vibración

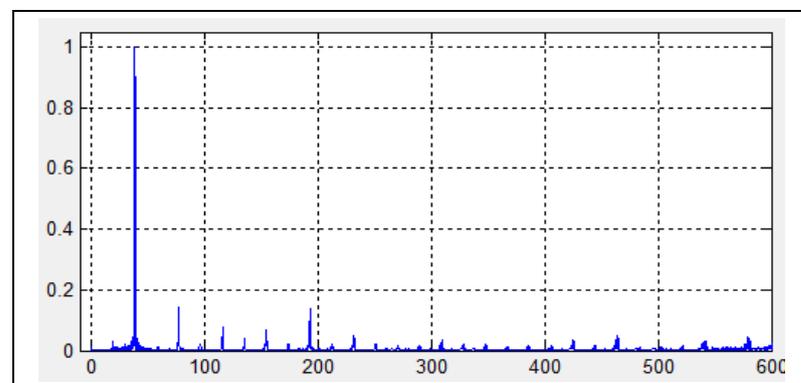


Figura 3. 8 Espectro Vibración E10 a 2000 rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores/ [10]

3.3.2.3 Plena Carga 4400 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 9 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E10 a 4400 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E10	4196	7,8	3,45	14,4	0,98	0,56	15,1	221	1,3
2	E10	4097	7,0	3,00	14,6	0,999	0,7	15,3	205	0,84
3	E10	4101	9,0	3,88	14,7	1,001	0,7	15,4	192	0,79
4	E10	4111	7,6	3,28	14,7	1,002	0,72	15,4	191	0,76
5	E10	4076	7,3	3,12	14,7	1	0,67	15,4	191	0,76

Espectro de vibración

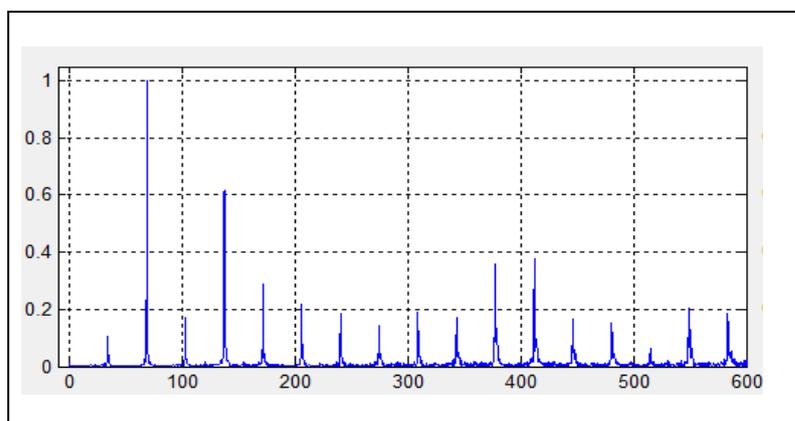


Figura 3. 9 Espectro Vibración a 4400 rpm tratada en Matlab

Fuente: Autores

3.3.3 Mezcla E20

La cantidad de combustible tiene un volumen total de 1500ml, de los cuales tiene un 20% de etanol y un 80% de gasolina. Este compuesto es utilizado para los regímenes de motor en ralentí, media carga y plena carga. Se toma 5 muestras por cada prueba.

3.3.3.1 Ralentí 700 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 10 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E20 Ralentí.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA Λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E20	700	1,4	0,10	14,9	1,016	0,99	14,7	343	0,51
2	E20	700	1,0	0,07	14,9	1,017	1,02	14,6	343	0,52
3	E20	703	1,1	0,08	14,9	1,017	1,02	14,7	342	0,51
4	E20	703	1,3	0,09	14,9	1,017	1,02	14,6	342	0,5
5	E20	707	1,2	0,09	14,9	1,017	1,03	14,6	343	0,52

Espectro de vibración

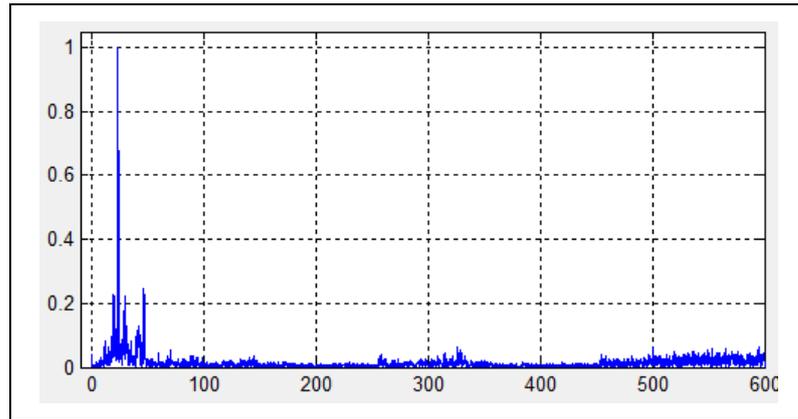


Figura 3. 10 Espectro Vibración E20 a 700rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores/ [10]

3.3.3.2 Media Carga 2000 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 11 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. E20 a 2000 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E20	1867	1,4	0,27	14,9	1,017	1,02	14,6	343	0,52
2	E20	1898	1,7	0,34	14,9	1,017	1,02	14,7	342	0,51
3	E20	1934	1,1	0,22	14,9	1,019	1,06	14,6	343	0,51
4	E20	1902	1,6	0,32	14,9	1,018	1,06	14,7	343	0,52
5	E20	1916	1,1	0,22	14,9	1,018	1,06	14,7	349	0,52

Espectro de vibración

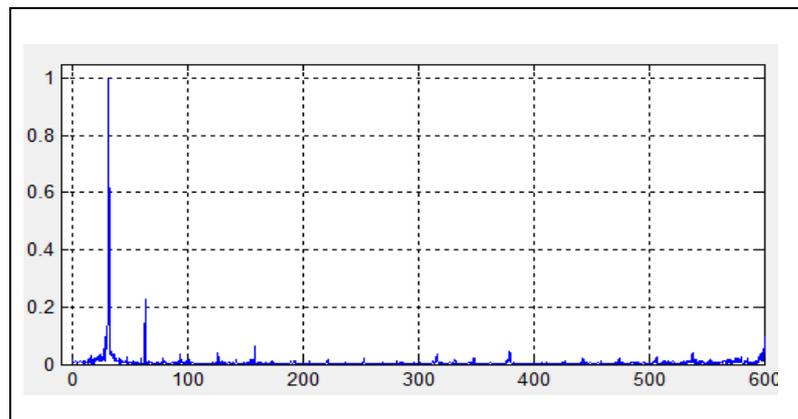


Figura 3. 11 Espectro Vibración E20 a 2000 rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores/ [10]

3.3.3.3 Plena Carga 4400 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 12 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E20 a 4400 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E20	4401	30,3	1,04	14,8	1,01	0,82	14,7	116	0,76
2	E20	4408	30,6	1,19	14,8	1,011	0,8	14,7	104	0,71
3	E20	4401	30,3	1,04	14,8	1,01	0,77	14,8	101	0,7
4	E20	4412	30,3	1,04	14,8	1,007	0,72	14,8	103	0,71
5	E20	4408	30,2	0,99	14,8	1,008	0,75	14,8	104	0,72

Espectro de vibración

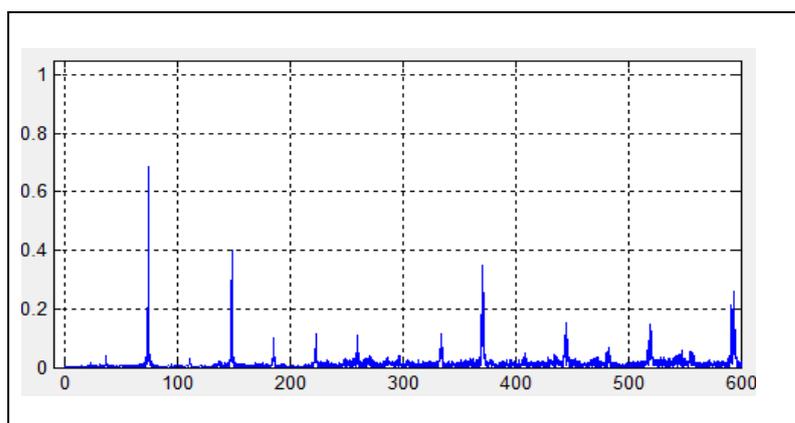


Figura 3. 12 Espectro Vibración a 4400 rpm tratada en Matlab

Fuente: Autores

3.3.4 Mezcla E30

La cantidad de combustible tiene un volumen total de 1500ml, de los cuales tiene un 30% de etanol y un 70% de gasolina. Este compuesto es utilizado para los regímenes de motor en ralentí, media carga y plena carga. Se toma 5 muestras por cada prueba.

3.3.4.1 Ralentí 700rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 13 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E30 Ralentí.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E30	711	0,9	0,06	14,9	1,017	1,19	15,1	494	0,54
2	E30	693	1,5	0,11	14,9	1,018	1,2	15,1	488	0,52
3	E30	703	1,1	0,08	15	1,02	1,25	15	479	0,55
4	E30	703	1,2	0,09	15	1,02	1,24	15	473	0,54
5	E30	707	1,0	0,07	14,9	1,019	1,2	15	470	0,52

Espectro de vibración

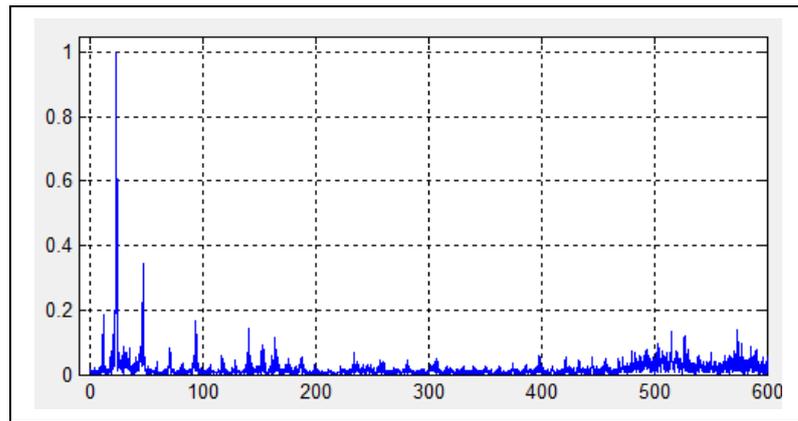


Figura 3. 13 Espectro Vibración E30 a 700rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores

3.3.4.2 Media Carga 2000 rpm

Valores Torque y Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 14 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E30 a 2000 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E30	1746	0,9	0,16	15	1,024	1,59	14,3	503	0,92
2	E30	1761	1,1	0,20	14,8	1,01	1,42	14,4	547	1,1
3	E30	1753	1,1	0,20	14,8	1,012	1,45	14,1	531	1,1
4	E30	1785	1,5	0,28	14,9	1,016	1,41	14,2	510	0,92
5	E30	1799	0,6	0,12	15	1,024	1,59	14,6	503	0,91

Espectro de vibración

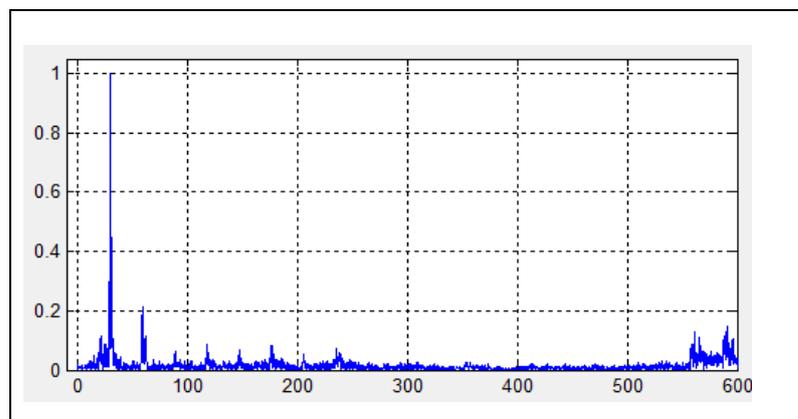


Figura 3. 14 Espectro Vibración E30 a 2000 rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores

3.3.4.3 Plena Carga 4400 rpm

Valores Torque y Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 15 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E20 a 4400 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E30	4415	2,5	1,14	14,8	1,009	0,84	15,2	192	0,71
2	E30	4401	2,0	0,94	14,8	1,009	0,81	15,2	169	0,7
3	E30	4405	2,5	1,14	14,7	1,006	0,75	15,2	167	0,7
4	E30	4401	2,5	1,14	14,8	1,008	0,78	15,3	161	0,68
5	E30	4408	2,5	1,14	14,8	1,007	0,79	15	187	0,72

Espectro de vibración

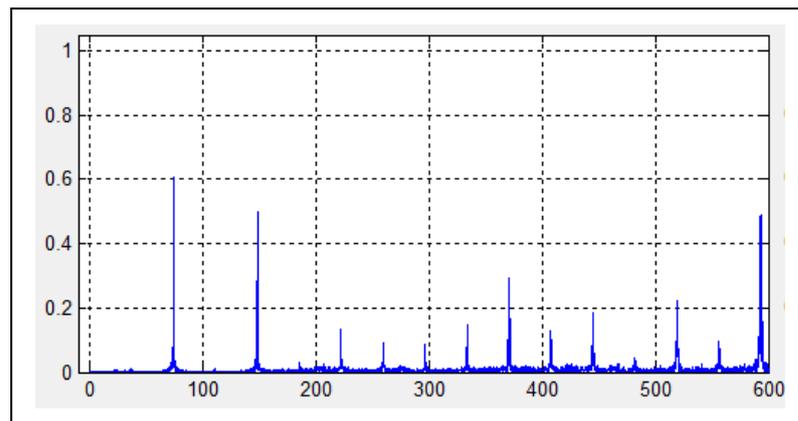


Figura 3. 15 Espectro Vibración a 4400 rpm tratada en Matlab

Fuente: Autores

3.3.5 Mezcla E40

La cantidad de combustible tiene un volumen total de 1500ml, de los cuales tiene un 40% de etanol y un 60% de gasolina. Este compuesto es utilizado para los regímenes de motor en ralentí, media carga y plena carga. Se toma 5 muestras por cada prueba.

3.3.5.1 Ralentí a 700rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 16 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E40 Ralentí.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E40	781	0,9	-0,07	12,5	0,853	0,77	11,7	1011	5,5
2	E40	764	0,6	-0,05	12,6	0,857	0,76	11,9	1002	5,38
3	E40	810	0,4	-0,04	12,5	0,851	0,81	11,7	1073	5,58
4	E40	757	0,5	-0,04	12,6	0,86	0,74	11,9	975	5,23
5	E40	760	0,5	-0,04	12,4	0,849	0,79	11,7	1060	5,68

Espectro de vibración

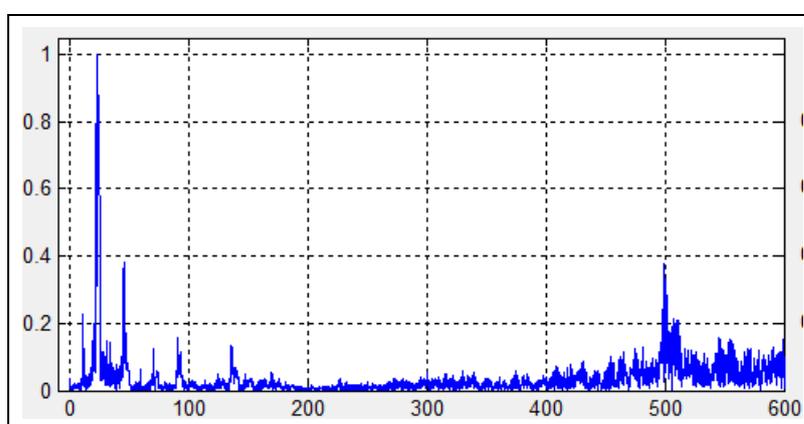


Figura 3. 16 Espectro Vibración a E40 a 700rpm tratada en Matlab

Fuente: Autores

3.3.5.2 Media Carga 2000 rpm

Valores Torque y Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 17 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E40 a 2000 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E40	2061	0,5	0,12	14,4	0,984	0,69	14,9	274	1,27
2	E40	2082	0,3	0,07	14,6	0,994	0,73	15	268	0,99
3	E40	2008	0,1	0,02	14,5	0,988	0,72	15	271	1,17
4	E40	1994	0,1	0,02	14,5	0,986	0,7	14,9	277	1,2
5	E40	1909	0,4	0,09	14,5	0,989	0,74	14,9	265	1,17

Espectro de vibración

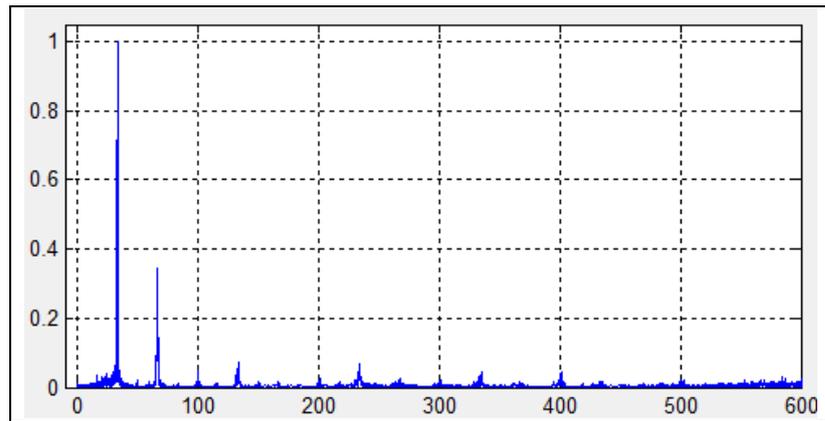


Figura 3. 17 Espectro Vibración E40 a 2000 rpm tratada en Matlab

Fuente: Autores

3.3.5.3 Plena Carga 4400 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 18 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E40 a 4400 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E40	4422	1,1	0,50	14,8	1,007	0,88	15	203	0,84
2	E40	4408	1,5	0,69	14,7	1,005	0,84	15	192	0,85
3	E40	4408	1,9	0,89	14,8	1,006	0,89	15,1	189	0,88
4	E40	4412	1,7	0,79	14,7	1,006	0,87	15	187	0,87
5	E40	4415	1,6	0,75	14,7	1,003	0,81	15	187	0,87

Espectro de vibración

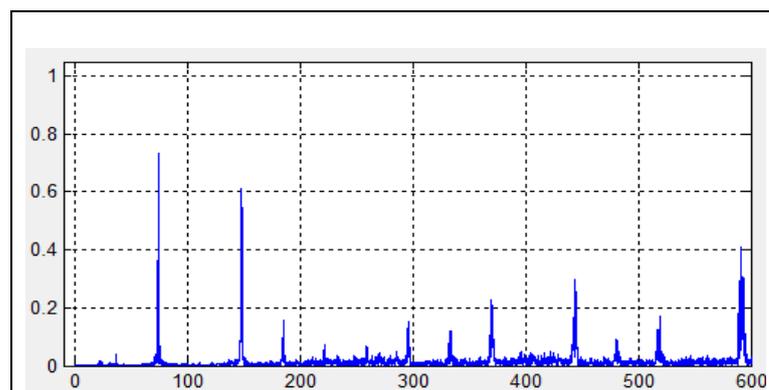


Figura 3. 18 Espectro Vibración E40 a 4400 rpm tratada en Matlab

Fuente: Autores

3.3.6 Mezcla E50

La cantidad de combustible tiene un volumen total de 1500ml, de los cuales tiene un 50% de etanol y un 50% de gasolina. Este compuesto es utilizado para los regímenes de motor en ralentí, media carga y plena carga. Se toma 10 muestras por cada prueba.

3.3.6.1 Ralentí 700rpm

Valores Torque y Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 19 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E50 Ralentí.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA Λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E50	714	1,9	0,14	13,7	0,934	0,61	13,6	559	2,61
2	E50	689	1,4	0,10	13,8	0,942	0,6	13,8	528	2,36
3	E50	700	1,9	0,14	13,9	0,947	0,6	13,9	497	2,19
4	E50	703	1,9	0,14	13,9	0,948	0,6	13,9	494	2,17
5	E50	703	1,8	0,13	14	0,954	0,59	14,1	471	1,95

Espectro de vibración

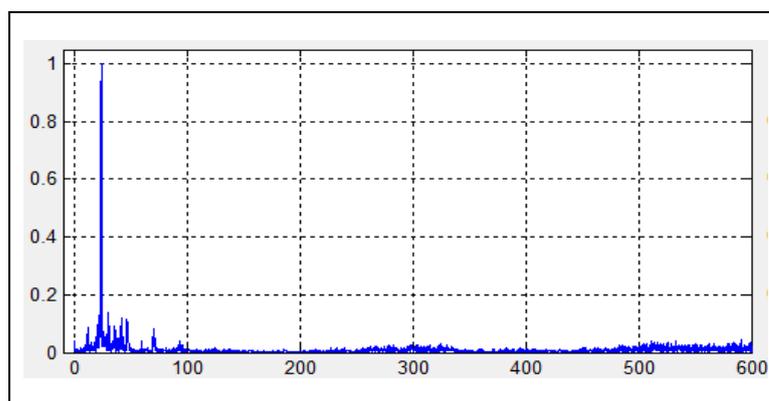


Figura 3. 19 Espectro Vibración E50 a 700 rpm tratada en Matlab

Fuente: Autores

3.3.6.2 Media Carga 2000 rpm

Valores Torque y Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 20 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E50 a 2000 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E50	2308	1,9	0,47	14,8	1,012	0,89	14,7	228	0,63
2	E50	2340	1,6	0,39	14,8	1,013	0,82	14,9	221	0,51
3	E50	2340	2,1	0,53	14,8	1,009	0,74	14,9	216	0,51
4	E50	2340	1,7	0,42	14,8	1,009	0,81	14,9	217	0,64
5	E50	2337	1,3	0,32	14,8	1,011	0,87	14,9	221	0,66

Espectro de vibración

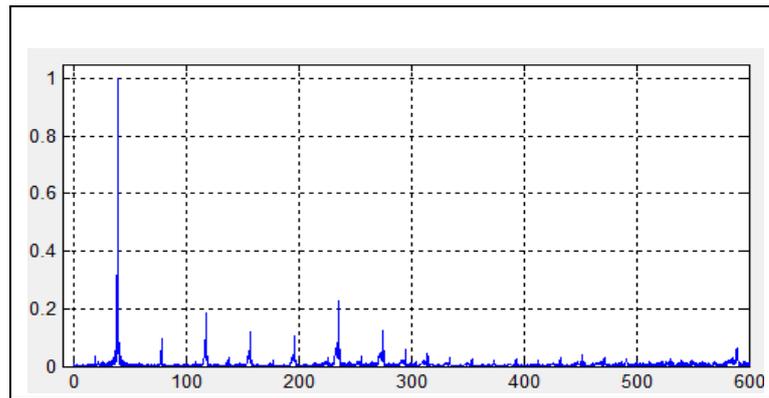


Figura 3. 20 Espectro Vibración E50 a 2000 rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores

3.3.6.3 Plena Carga 4400 rpm

Valores Torque y Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 21 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E50 a 4400 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E50	4323	2,0	0,92	14,8	1,01	0,9	14,8	211	0,76
2	E50	4299	2,1	0,97	14,9	1,015	0,97	14,8	202	0,69
3	E50	4274	2,3	1,01	14,8	1,01	0,85	14,8	204	0,67
4	E50	4355	2,0	0,93	14,8	1,012	0,9	14,8	201	0,68
5	E50	4285	1,8	0,82	14,8	1,007	0,79	14,8	193	0,7

Espectro de vibración

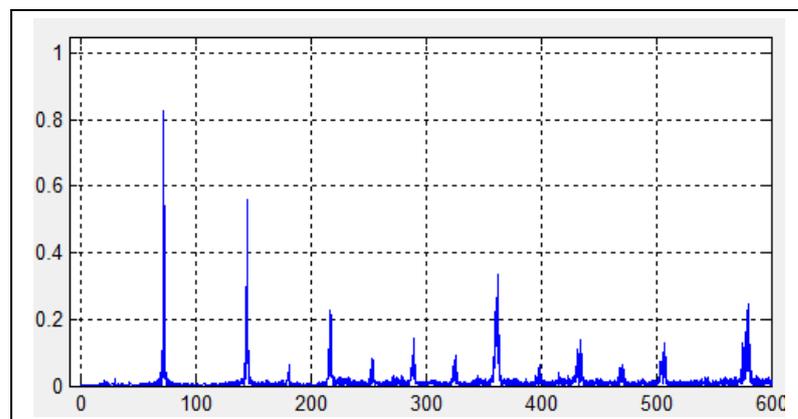


Figura 3. 21 Espectro Vibración E50 a 4400 rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores

3.3.7 Mezcla E60

La cantidad de combustible tiene un volumen total de 1500ml, de los cuales tiene un 60% de etanol y un 40% de gasolina. Este compuesto es utilizado para los regímenes de motor en ralentí, media carga y plena carga. Se toma 5 muestras por cada prueba.

3.3.7.1 Ralentí 700rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 22 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E60 Ralentí.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E60	693	1,3	0,09	13,4	0,915	0,64	13,1	531	3,44
2	E60	714	1,0	0,07	13,4	0,913	0,65	13	544	3,5
3	E60	721	1,0	0,07	13,4	0,911	0,66	12,9	548	3,57
4	E60	718	1,3	0,10	13,4	0,913	0,66	13	554	3,53
5	E60	689	1,3	0,09	13,4	0,912	0,67	12,9	558	3,55

Espectro de vibración

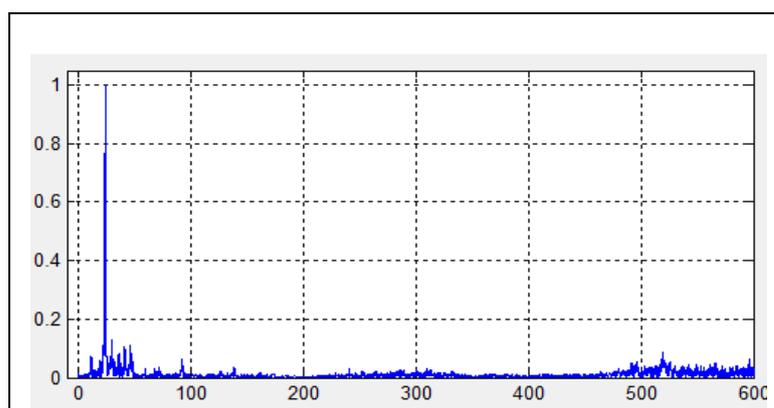


Figura 3. 22 Espectro Vibración a E60 a 700rpm tratada en Matlab

Fuente: Autores

3.3.7.2 Media Carga 2000 rpm

Valores Torque y Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 23 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E60 a 2000 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA Λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E60	1849	1,2	0,23	14,9	1,017	1,12	14,4	219	0,84
4	E60	1849	1,2	0,23	14,9	1,017	1,13	14,3	222	0,84
5	E60	1891	1,4	0,28	14,9	1,017	1,14	14,3	222	0,86
6	E60	1859	1,6	0,31	14,9	1,016	1,08	14,4	220	0,82
8	E60	1884	1,4	0,28	14,9	1,018	1,1	14,4	214	0,79

Espectro de vibración

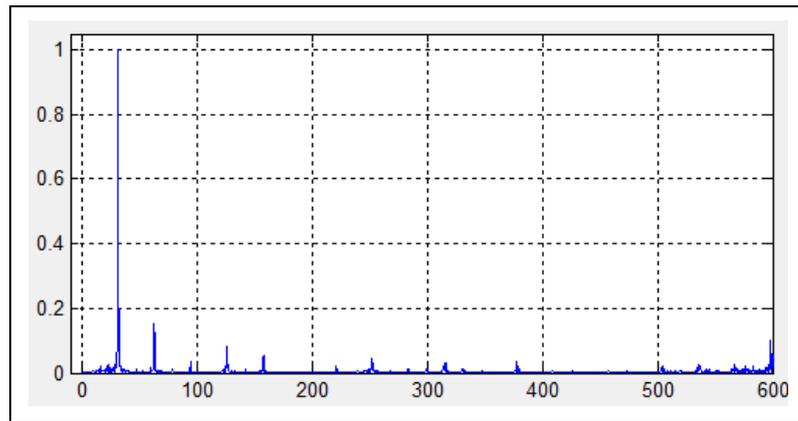


Figura 3. 23 Espectro Vibración a 2000 rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores/ [10]

3.3.7.3 Plena Carga 4400 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 24 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E50 a 4400 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E60	4419	1,5	0,70	14,8	1,012	1,02	14,4	162	0,92
2	E60	4433	1,7	0,80	14,9	1,014	1	14,4	150	0,84
3	E60	4444	1,5	0,70	14,8	1,009	0,96	14,5	143	0,98
4	E60	4412	1,0	0,45	14,9	1,013	0,97	14,5	139	0,84
5	E60	4426	1,5	0,70	14,8	1,012	0,99	14,4	135	0,92

Espectro de vibración

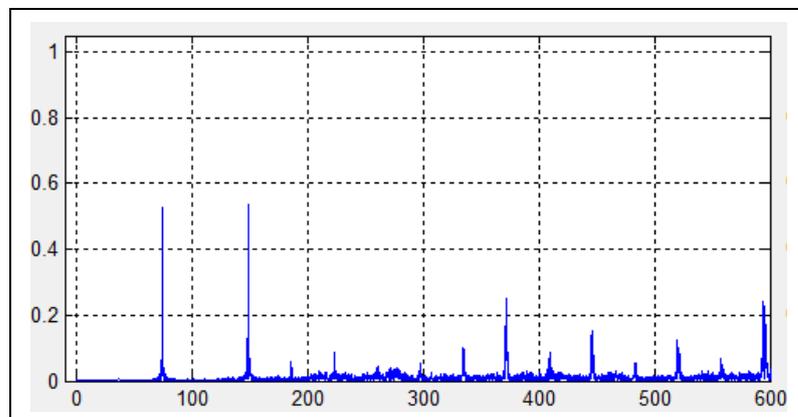


Figura 3. 24 Espectro Vibración E60 a 4400 rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores

3.3.8 Mezcla E70

La cantidad de combustible tiene un volumen total de 1500ml, de los cuales tiene un 70% de etanol y un 30% de gasolina. Este compuesto es utilizado para los regímenes de motor en ralentí, media carga y plena carga. Se toma 5 muestras por cada prueba.

3.3.8.1 Ralentí 700 rpm

Valores Torque y Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 25 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E70 Ralentí.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E70	700	1,7	0,13	15,2	1,034	1,2	15,5	204	0,33
2	E70	703	1,6	0,12	15,1	1,033	1,17	15,5	205	0,33
3	E70	703	1,7	0,13	15,1	1,029	1,1	15,5	206	0,36
4	E70	703	1,0	0,07	15,1	1,029	1,09	15,5	206	0,36
5	E70	703	1,3	0,09	15,1	1,028	1,07	15,6	205	0,36

Espectro de vibración

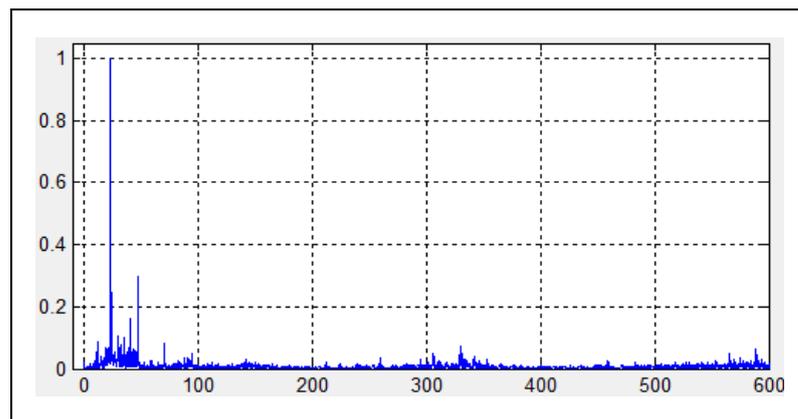


Figura 3. 25 Espectro Vibración a E70 a 700rpm tratada en Matlab

Fuente: Autores/ [10]

3.3.8.2 Media Carga 2000 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 26 Datos de Torque, Potencia y emisiones contaminantes. Mezcla E70 a 2000 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
5	E70	2287	1,6	0,39	14,8	1,01	0,8	15,6	167	0,63
6	E70	2287	1,5	0,36	14,8	1,008	0,72	15,6	169	0,59
7	E70	2273	0,9	0,20	14,8	1,01	0,76	15,6	160	0,57
8	E70	2284	1,2	0,28	14,8	1,012	0,81	15,6	159	0,59
9	E70	2248	1,6	0,38	14,8	1,01	0,76	15,6	162	0,59

Espectro de vibración

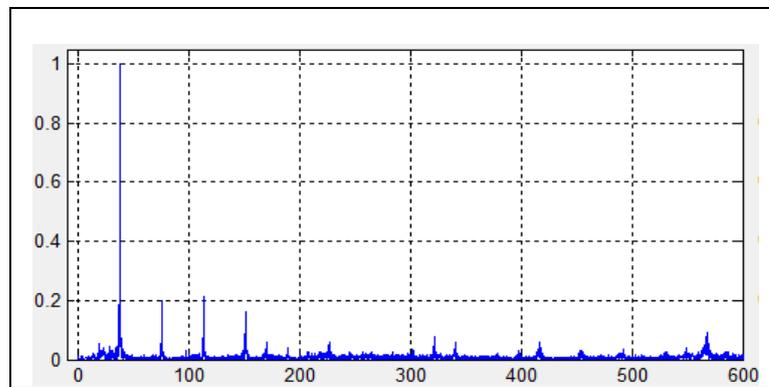


Figura 3. 26 Espectro Vibración E70 a 2000 rpm tratada en Matlab

Fuente: Autores

3.3.8.3 Plena Carga 4400 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 27 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E70 a 4400 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E70	4727	2,6	1,28	14,7	1,006	0,77	15,4	125	0,8
2	E70	4836	2,8	1,41	14,8	1,008	0,76	15,5	122	0,72
3	E70	4815	2,7	1,35	14,8	1,008	0,81	15,5	126	0,77
4	E70	4705	2,7	1,32	14,8	1,006	0,73	15,5	122	0,72
5	E70	4709	2,8	1,38	14,8	1,008	0,81	15,5	121	0,78

Espectro de vibración

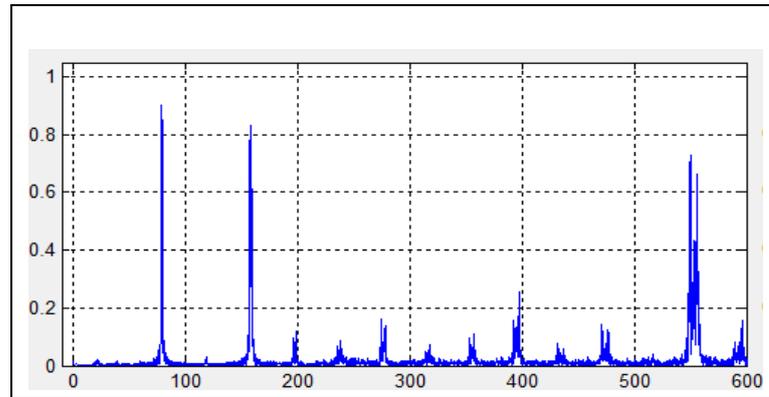


Figura 3. 27 Espectro Vibración E70 a 4400 rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores

3.3.9 Mezcla E80

La cantidad de combustible tiene un volumen total de 1500ml, de los cuales tiene un 80% de etanol y un 20% de gasolina. Este compuesto es utilizado para los regímenes de motor en ralentí, media carga y plena carga. Se toma 10 muestras por cada prueba.

3.3.9.1 Ralentí a 700rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 28 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E80 Ralentí.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E80	703	2,1	0,16	15,7	1,072	1,87	14,9	201	0,15
2	E80	703	1,6	0,12	15,8	1,076	1,96	14,8	200	0,14
3	E80	703	1,8	0,13	15,8	1,078	2	14,8	198	0,14
4	E80	700	1,9	0,14	15,8	1,079	2,02	14,8	198	0,14
5	E80	703	1,9	0,14	15,8	1,078	1,99	14,8	191	0,15

Espectro de vibración

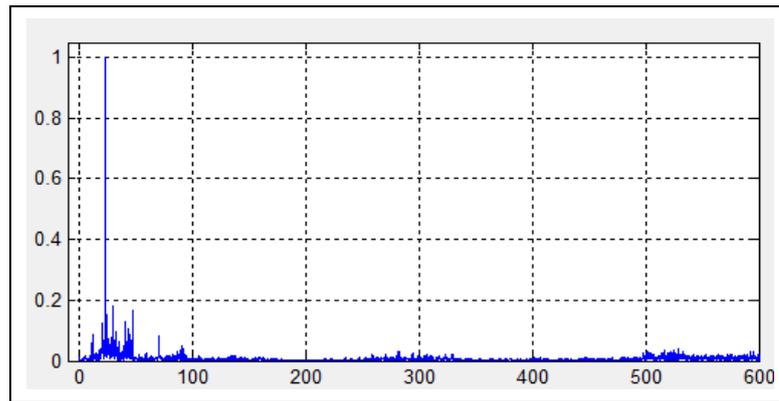


Figura 3. 28 Espectro Vibración E80 a 700rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores

3.3.9.2 Media Carga 2000 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 29 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E80 a 2000 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E80	2019	1,5	0,32	14,8	1,011	0,69	15,6	95	0,52
2	E80	2008	2,3	0,47	14,8	1,013	0,74	15,6	106	0,53
3	E80	2047	2,3	0,48	14,8	1,009	0,75	15,4	130	0,64
4	E80	2019	2,3	0,48	14,8	1,011	0,73	15,6	101	0,58
5	E80	1948	2,1	0,44	14,8	1,01	0,78	15,5	128	0,65

Espectro de vibración

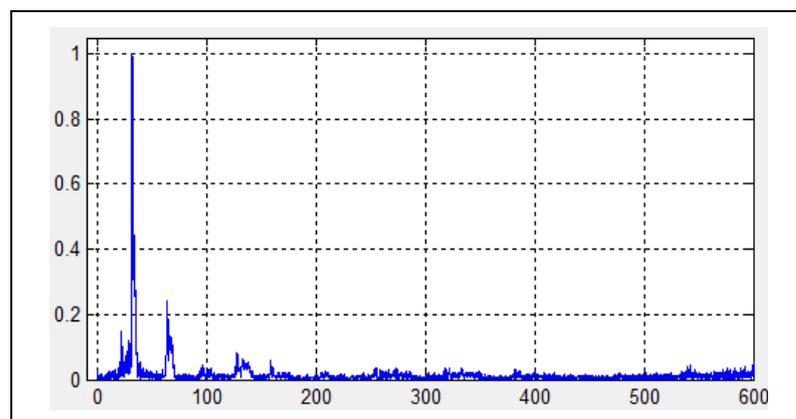


Figura 3. 29 Espectro Vibración E80 a 2000 rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores

3.3.9.3 Plena Carga 4400 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 30 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E80 a 4400 rpm. Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E80	4451	3,1	1,45	14,9	1,015	0,89	15,3	113	0,67
2	E80	4461	2,6	1,20	14,9	1,017	0,89	15,3	107	0,6
3	E80	4483	2,8	1,31	14,9	1,019	0,94	15,4	107	0,62
4	E80	4468	2,4	1,11	14,9	1,019	0,95	15,3	109	0,62
5	E80	4518	3,1	1,47	15	1,022	0,98	15,3	105	0,57

Espectro de vibración

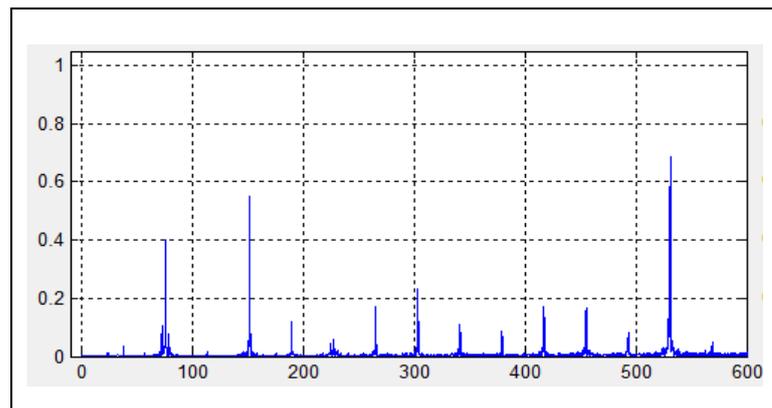


Figura 3. 30 Espectro Vibración E80 a 4400 rpm tratada en Matlab Fuente: Autores

3.3.10 Mezcla E90

La cantidad de combustible tiene un volumen total de 1500ml, de los cuales tiene un 90% de etanol y un 10% de gasolina.

3.3.10.1 Ralentí a 700rpm

Valores Torque y Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 31 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E90 Ralentí.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E90	700	0,8	0,06	14,9	1,014	1,09	14,8	172	0,93
2	E90	707	1,0	0,07	14,8	1,008	0,93	14,9	169	0,91
3	E90	703	0,4	0,03	14,9	1,02	1,18	14,9	168	0,88
4	E90	707	0,9	0,06	14,8	1,012	1,11	15	169	1,03
5	E90	696	0,6	0,05	14,8	1,012	0,97	14,8	170	0,84

Espectro de vibración

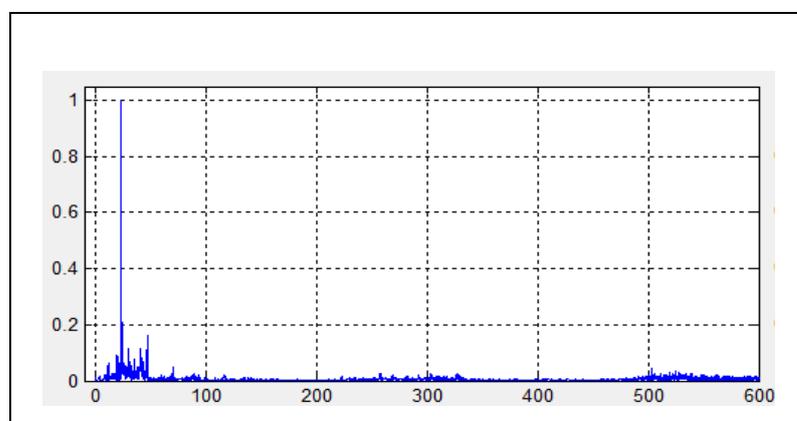


Figura 3. 31 Espectro Vibración a Ralentí tratada en Matlab

Fuente: Autores/ [10]

3.3.10.2 Media Carga 2000 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 32 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E90 a 2000 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E90	2100	1,2	0,26	14,9	1,015	0,94	14,8	183	0,67
2	E90	2026	1,1	0,23	14,9	1,013	0,87	14,8	181	0,62
3	E90	2026	0,8	0,16	14,9	1,018	0,95	14,8	182	0,57
4	E90	2019	1,1	0,23	14,9	1,017	0,94	14,8	182	0,61
5	E90	2019	1,0	0,20	14,8	1,013	0,89	14,8	183	0,66

Espectro de vibración

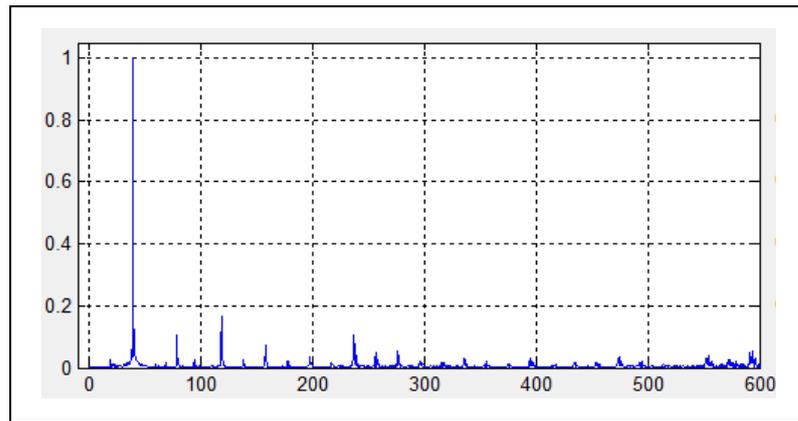


Figura 3. 32 Espectro Vibración E90 a 2000 rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores

3.3.10.3 Plena Carga 4400 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 33 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E90 a 4400 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E90	4401	-0,3	-0,15	14,8	1,009	0,97	15,1	176	0,93
2	E90	4419	-0,1	-0,05	14,7	1,005	0,92	15	175	0,98
3	E90	4433	-0,3	-0,15	14,9	1,015	0,98	15,1	165	0,73
4	E90	4497	-0,4	-0,20	14,8	1,012	1,01	15,1	164	0,88
5	E90	4401	-0,6	-0,30	14,9	1,015	1,18	15	166	1,05

Espectro de vibración

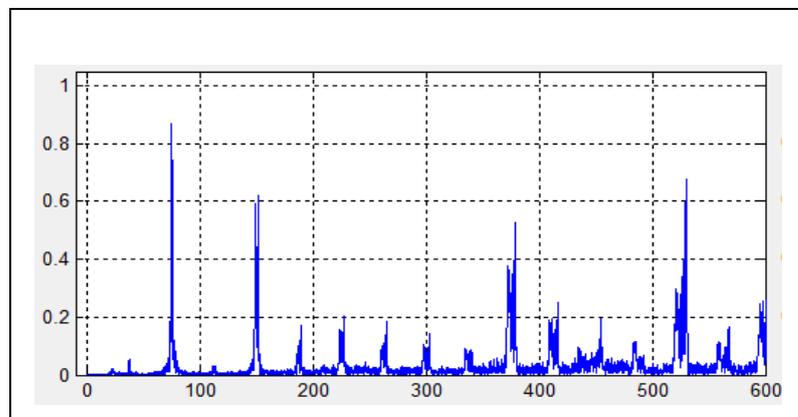


Figura 3. 33 Espectro Vibración a 4400 rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores

3.3.11 Mezcla E100

La cantidad de combustible tiene un volumen total de 1500ml, de los cuales tiene un 100% de etanol y un 0% de gasolina. Este compuesto es utilizado para los regímenes de motor en ralentí, media carga y plena carga. Se toma 5 muestras por cada prueba.

3.3.11.1 Ralentí 700rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 34 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes. Mezcla E100 Ralentí.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA Δ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E100	703	0,6	0,05	15,8	1,075	1,91	14,6	160	0,2
2	E100	696	0,3	0,02	15,9	1,085	2,14	14,7	160	0,21
3	E100	707	0,1	0,01	16	1,091	2,25	14,5	167	0,2
4	E100	703	0,3	0,02	15,6	1,067	1,77	14,8	163	0,22
5	E100	703	0,1	0,01	15,7	1,068	1,81	14,8	160	0,23

Espectro de vibración

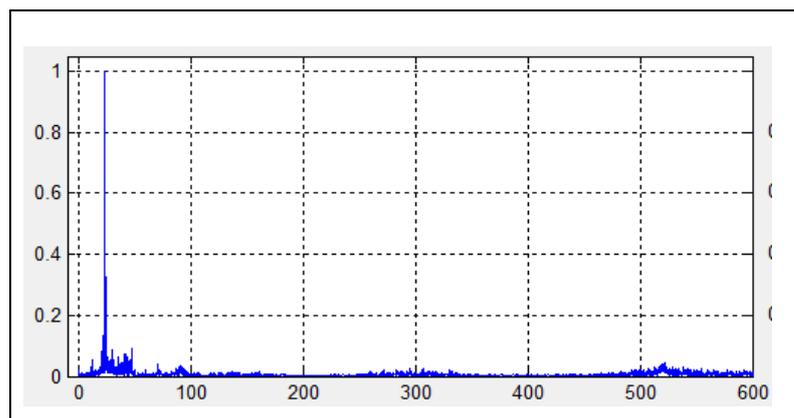


Figura 3. 34 Espectro Vibración E100 a 700rpm tratada en Matlab

Fuente: Autores

3.3.11.2 Media Carga 2000 rpm

Valores Torque y Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 35 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases. Mezcla E100 a 2000 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E100	2008	0,6	0,14	14,9	1,017	0,91	15,3	136	0,59
2	E100	2050	1,0	0,21	14,9	1,016	0,84	15,4	111	0,56
3	E100	2040	0,4	0,09	14,8	1,012	0,75	15,4	119	0,57
4	E100	2012	0,5	0,11	14,8	1,01	0,71	15,4	116	0,57
5	E100	2001	0,9	0,18	14,9	1,016	0,82	15,5	118	0,53

Espectro de vibración

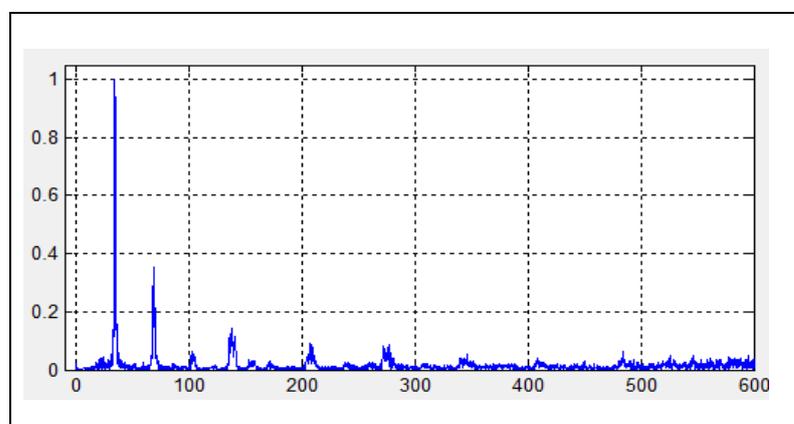


Figura 3. 35 Espectro Vibración a 2000 rpm tratada en Matlab

Fuente: Autores

3.3.11.3 Plena Carga 4400 rpm

Valores Torque, Potencia y emisiones de gases contaminantes

Tabla 3. 36 Datos de Torque, Potencia y emisiones de gases. Mezcla E100 a 4400 rpm.

Fuente: Autores

NOTA	Fuel Selection	Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Calc Power [kW]	AFR	LAMBDA λ	O2 [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	CO [%]
1	E100	4461	1,3	0,60	14,9	1,019	1,28	14,6	171	1,06
2	E100	4468	1,8	0,85	14,8	1,012	0,95	14,7	170	0,81
3	E100	4451	1,5	0,70	14,8	1,008	0,93	14,9	169	0,91
4	E100	4465	1,5	0,70	14,8	1,008	0,92	14,9	171	0,89
5	E100	4451	1,6	0,75	14,9	1,02	1,18	14,9	168	0,88

Espectro de vibración

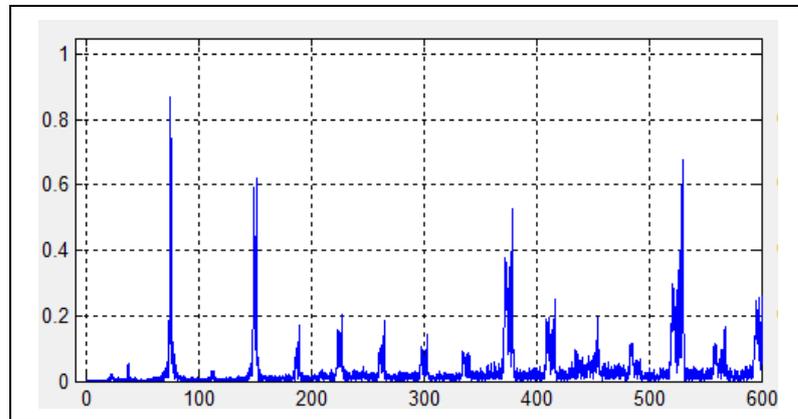


Figura 3. 36 Espectro Vibración E100 a 4400 rpm tratada en Matlab
Fuente: Autores

CAPITULO IV

IMPLEMENTACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE EMISIONES CONTAMINANTES Y ESPECTROS DE VIBRACIÓN

La base de datos está conformada de emisiones de gases contaminantes y espectros de vibraciones.

Dentro de las emisiones de gases contaminantes encontramos los datos de las pruebas de experimentación de la mezclas E0, E10, E20, E30, E40, E50, E60, E70, E80, E90 y E100 adquiridas en tres niveles de velocidades como es de 700 rpm, 2000 rpm y 4400 rpm.

Se los empleo en tres documentos de la siguiente manera:

1. Gases contaminantes.- Dentro de esta encontramos los gases contaminantes como son el dióxido de carbono, hidrocarburos, Lambda, monóxido de carbono y el oxígeno y dentro de las carpetas antes mencionadas encontramos los valores de su gas respectivo en las tres distintas velocidades del motor antes mencionadas.
2. RPM.- Dentro de esta encontramos los datos distribuidos por rpm como es el caso de 700rpm, 2000rpm y 4400rpm y dentro de esto encontramos los valores de los gases contaminantes antes mencionados en cada uno de las respectivas revoluciones del motor.
3. Tipos de mezclas.- En esta se encuentran distribuidas los datos de los gases contaminantes por tipo de mezclas, es decir encontramos las once mezclas antes mencionadas y dentro de cada una de ellas tenemos los valores en los tres niveles de revoluciones por minuto con cada uno de los gases contaminantes.

4.1 Espectros de vibración

Los datos de las vibraciones son obtenidos en la experimentación de la mezclas E0, E10, E20, E30, E40, E50, E60, E70, E80, E90 y E100 adquiridas en tres niveles de velocidades como es de 700 rpm, 2000 rpm y 4400 rpm.

Están distribuidas de dos maneras:

1. RPM.- en las revoluciones por minuto encontramos cinco archivos de vibración en formato WAV para cada una de las mezclas que se encuentran dentro de las tres diferentes revoluciones del motor de combustión interna Armfield.
2. Tipos de mezclas.- La clasificación dentro de este sistema encontramos los once tipos de mezclas diferentes y dentro de cada una de ellas están distribuidas por rpm como es el caso de 700, 2000 y 4400 RPM. Y dentro de cada una de estas carpetas encontramos cinco archivos wav de los espectros de vibración.

CAPITULO V

ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Mediante el software Minitab 17 nos ayudaremos en el análisis de cada uno de los resultados adquiridos en capítulos anteriores, mediante este software encontramos el análisis de varianza Anova, es una técnica central en el análisis de datos experimentales. El objetivo del análisis de varianza es probar la hipótesis de igualdad de los tratamientos con respecto a la media de la correspondiente variable de respuesta. Este análisis es similar para cada uno de los valores como son el valor de lambda, monóxido de carbono, hidrocarburos no combustionados, dióxido de carbono, oxígeno, revoluciones por minuto, torque y potencia. En la mezcla E100 se procede a cambiar el nombre a E99 el motivo se da debido a que software le considera como un valor intermedio entre las mezclas E10 y E20, mientras q esta mezcla es solamente etanol sin ninguna cantidad gasolina.

5.1 Análisis de datos a 700rpm

5.1.1 Valores de Lambda (λ) a 700 rpm

5.1.1.1 Análisis de varianza

La información que contiene la tabla de análisis de varianza (ANOVA) contiene las siguientes abreviaturas FV= Fuente de variabilidad (efecto), SC= suma de cuadrados, GL= grados de libertad, CM= cuadrado medio, Fo= Estadístico de prueba, valor $-p$ = significancia observada.

Tabla 5. 1 Análisis de varianza para Lambda a 700RPM.
Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	1,355	10	0,1355	1,32	0,249
Error	4,513	44	0,1026		
Total	5,867	54			

5.1.1.2 La media.- o esperanza de X, da un valor que es representativo o promedio de los valores de X, y por esta razón con frecuencia se denomina de tendencia central. [11]

5.1.1.3 La varianza (o la desviación estándar) Es una medida de la dispersión, o de la variación, de los valores de la variable aleatoria alrededor de la media μ . Si los valores tienden a concentrarse cerca de la media, la

varianza es pequeña, mientras que si los valores tienden a distribuirse lejos de la media, la varianza es grande. [11]

Tabla 5. 2 Descriptivos de las muestras del valor de lambda a 700RPM.
Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Estándar	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	1,444	0,754	1,156	1,733
E10	5	0,9688	0,0944	0,6802	1,2574
E20	5	1,0936	0,1713	0,8050	1,3822
E30	5	0,9954	0,0533	0,7068	1,2840
E40	5	0,86180	0,02158	0,57316	1,15044
E50	5	1,138	0,426	0,850	1,427
E60	5	0,9876	0,1685	0,6990	1,2763
E70	5	1,164	0,300	0,875	1,452
E80	5	1,282	0,457	0,994	1,571
E90	5	0,9704	0,0954	0,6818	1,2590
E100	5	1,07720	0,01055	0,78856	1,36584

5.1.1.4 Gráficos de intervalos

El gráfico de medias me permite hacer una comparación estadística y visual de las medias de los datos en este caso de Lambda de las distintas mezclas. Además se puede ver los valores de los intervalos de cada una de las medias. Este tipo de análisis detecta una confianza del 95% en el estudio estadístico de cada uno de las variables a comparar.

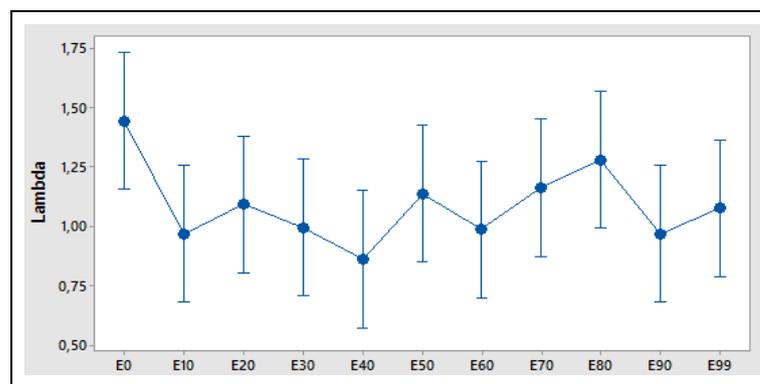


Figura 5. 1 Gráfica de intervalos de los valores de Lambda a 700rpm
Fuente: Autores

5.1.1.5 Diagramas de cajas simultáneas

Es una representación de manera descriptiva al comparar tratamientos, los datos que se analizan en el diagrama de cajas son las muestras en sí, este método me permite describir el comportamiento de los datos, comparar procesos y para realizar análisis por estrato. El diagrama de cajas está basado en los cuartiles y parte el rango de variación de los grupos de valores de análisis.

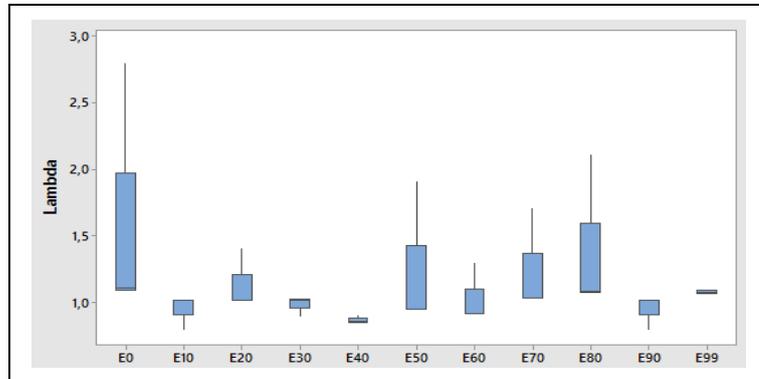


Figura 5. 2 Diagrama de cajas de Lambda a 700rpm.

Fuente: Autores

5.1.2 Valores de Oxígeno O₂ [%] a 700 rpm

5.1.2.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 3 Análisis de varianza del Oxígeno a 700rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	22,511	10	2,25108	26,29	0,000
Error	3,768	44	0,08564		
Total	26,279	54			

Tabla 5. 4 Descriptivos de las muestras del valor del oxígeno a 700rpm. Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	2,728	0,937	2,464	2,992
E10	5	0,8400	0,0000	0,5762	1,1038
E20	5	1,01600	0,01517	0,75225	1,27975
E30	5	1,2160	0,0270	0,9522	1,4798
E40	5	0,7740	0,0321	0,5102	1,0378
E50	5	0,60000	0,00707	0,33625	0,86375
E60	5	0,65600	0,01140	0,39225	0,91975
E70	5	1,1260	0,0559	0,8622	1,3898
E80	5	1,9680	0,0589	1,7042	2,2318
E90	5	1,0560	0,1033	0,7922	1,3198
E100	5	1,9760	0,2100	1,7122	2,2398

5.1.2.2 Gráfica de intervalos

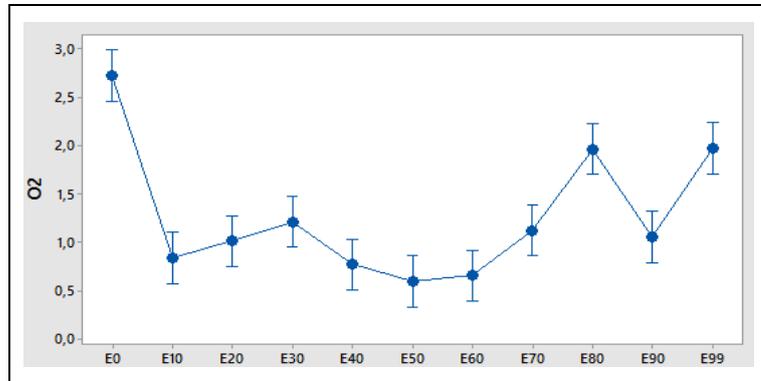


Figura 5. 3 Gráfica de intervalos de los valores del oxígeno a 700rpm.
Fuente: Autores

5.1.2.3 Diagrama de cajas simultáneas

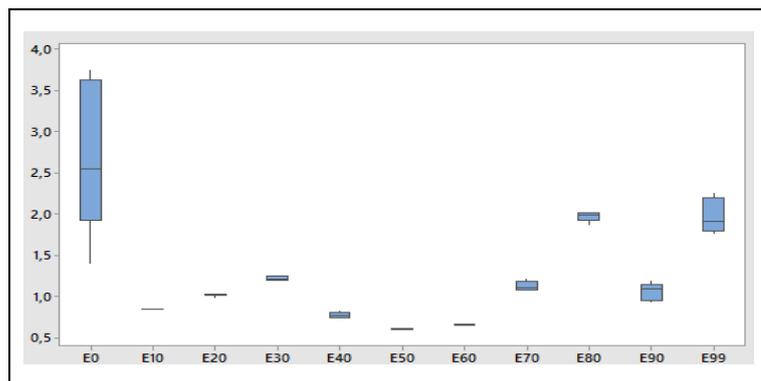


Figura 5. 4 Diagrama de cajas del oxígeno a 700rpm.
Fuente: Autores.

5.1.3 Valores de Dióxido de carbono [%] a 700 rpm

5.1.3.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 5 Análisis de varianza del Dióxido de carbono (CO₂) a 700RPM.
Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	59,9975	10	5,99975	605,48	0,000
Error	0,4360	44	0,00991		
Total	60,4335	54			

Tabla 5. 6 Descriptivos de las muestras del valor del Dióxido de carbono (CO2) a 700rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	14,0000	0,1581	13,9103	14,0897
E10	5	15,0200	0,0447	14,9303	15,1097
E20	5	14,6400	0,0548	14,5503	14,7297
E30	5	15,0400	0,0548	14,9503	15,1297
E40	5	11,7400	0,0894	11,6503	11,8297
E50	5	13,8600	0,1817	13,7703	13,9497
E60	5	12,9800	0,0837	12,8903	13,0697
E70	5	15,5200	0,0447	15,4303	15,6097
E80	5	14,8200	0,0447	14,7303	14,9097
E90	5	14,8800	0,0837	14,7903	14,9697
E100	5	14,6800	0,1304	14,5903	14,7697

5.1.3.2 Gráfica de intervalos

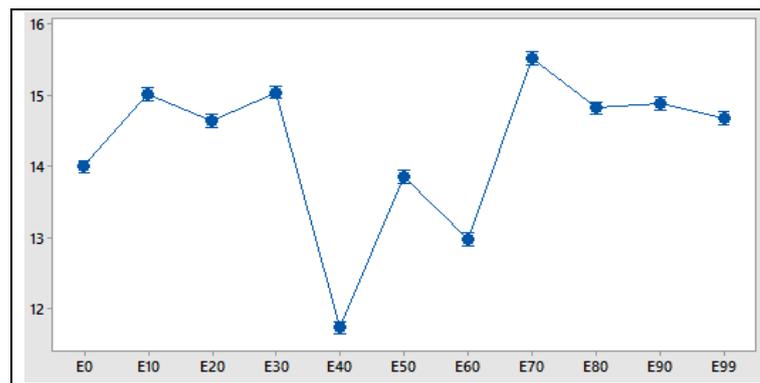


Figura 5. 5 Gráfica de intervalos de los valores del CO2 a 700rpm

Fuente: Autores

5.1.3.3 Diagrama de cajas simultáneas

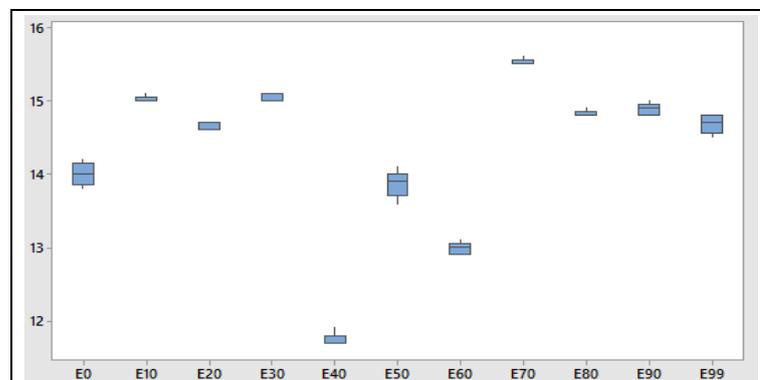


Figura 5. 6 Diagrama de cajas del Dióxido de carbono a 700rpm.

Fuente: Autores

5.1.4 Valores de Hidrocarburos (HC) ppm a 700 rpm

5.1.4.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 7 Análisis de varianza de los Hidrocarburos (HC) a 700rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	3373373	10	337337	291,69	0,000
Error	50886	44	1156		
Total	3424259	54			

Tabla 5. 8 Descriptivos de las muestras del valor de los Hidrocarburos (HC) a 700rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	567,0	102,7	536,3	597,7
E10	5	259,600	0,548	228,949	290,251
E20	5	342,600	0,548	311,949	373,251
E30	5	480,80	10,08	450,15	511,45
E40	5	1028,8	27,7	998,1	1059,5
E50	5	509,8	34,2	479,1	540,5
E60	5	547,00	10,44	516,35	577,65
E70	5	205,200	0,837	174,549	235,851
E80	5	197,60	3,91	166,95	228,25
E90	5	169,600	1,517	138,949	200,251
E100	5	162,00	3,08	131,35	192,65

5.1.4.2 Gráfica de intervalos

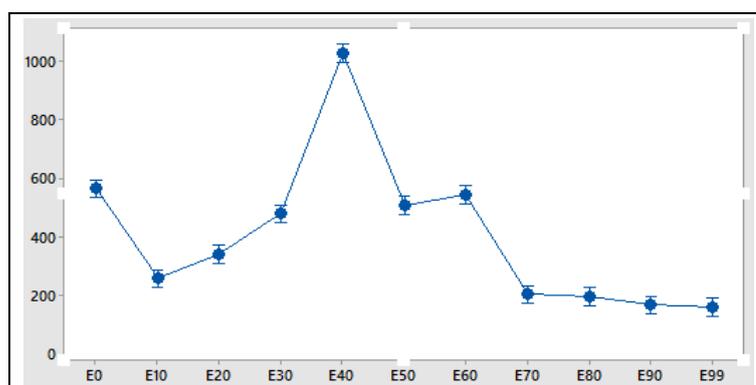


Figura 5. 7 Gráfica de intervalos de los valores de los HC a 700rpm

Fuente: Autores

5.1.4.3 Diagrama de cajas simultáneas

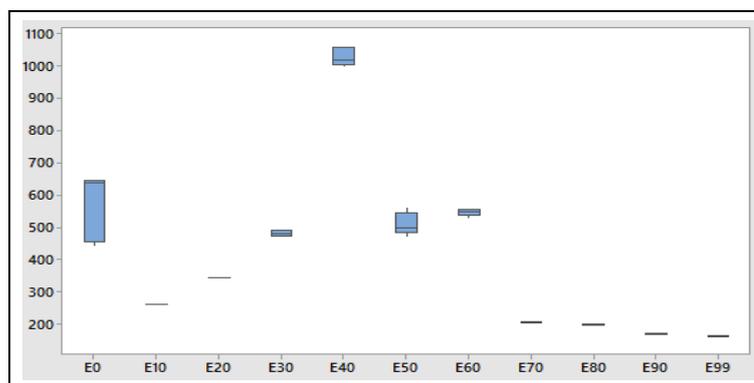


Figura 5. 8 Diagrama de cajas de hidrocarburos a 700rpm.

Fuente: Autores

5.1.5 Valores de Monóxido de carbono (CO) [%] a 700 rpm

5.1.5.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 9 Análisis de varianza de monóxido de carbono (CO) a 700rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	150,772	10	15,0772	1838,48	0,000
Error	0,361	44	0,0082		
Total	151,133	54			

Tabla 5. 10 Descriptivos de las muestras del valor de monóxido de carbono (CO) a 700rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	0,2680	0,0804	0,1864	0,3496
E10	5	0,5340	0,0261	0,4524	0,6156
E20	5	0,51200	0,00837	0,43038	0,59362
E30	5	0,53400	0,01342	0,45238	0,61562
E40	5	5,5320	0,1197	5,4504	5,6136
E50	5	2,256	0,246	2,174	2,338
E60	5	3,5180	0,0507	3,4364	3,5996
E70	5	0,34800	0,01643	0,26638	0,42962
E80	5	0,14400	0,00548	0,06238	0,22562
E90	5	0,9180	0,0712	0,8364	0,9996
E100	5	0,21200	0,01304	0,1303	0,29362

5.1.5.2 Gráfica de intervalos

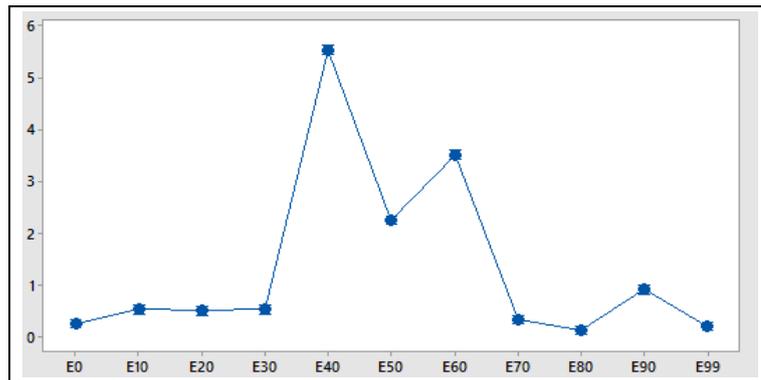


Figura 5. 9 Gráfica de intervalos de los valores de CO

Fuente: Autores

5.1.5.3 Diagrama de cajas simultánea

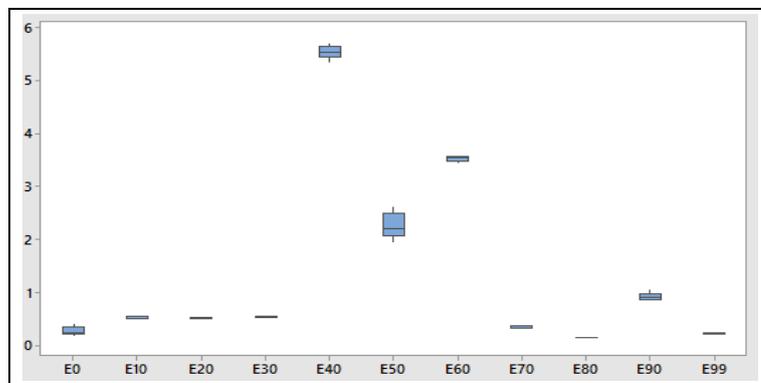


Figura 5. 10 Diagrama de cajas del monóxido de carbono a 700rpm.

Fuente: Autores

5.1.6 Valores de revoluciones por minuto (rpm) a 700 rpm

5.1.6.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 11 Análisis de varianza de rpm a 700rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	191,7	10	19,17	0,38	0,950
Error	2233,9	44	50,77		
Total	2425,5	54			

Tabla 5. 12 Descriptivos de las muestras del valor de rpm a 700rpm.
Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	705,80	8,38	699,37	712,22
E10	5	702,08	3,16	695,66	708,50
E20	5	702,79	2,96	696,37	709,21
E30	5	703,50	6,61	697,07	709,92
E40	5	707,38	9,33	700,96	713,80
E50	5	702,08	8,87	695,66	708,50
E60	5	707,03	14,79	700,61	713,45
E70	5	702,789	1,581	696,367	709,211
E80	5	702,789	1,581	696,367	709,211
E90	5	702,79	4,61	696,37	709,21
E99	5	702,79	3,87	696,37	709,21

5.1.6.2 Gráfica de intervalos

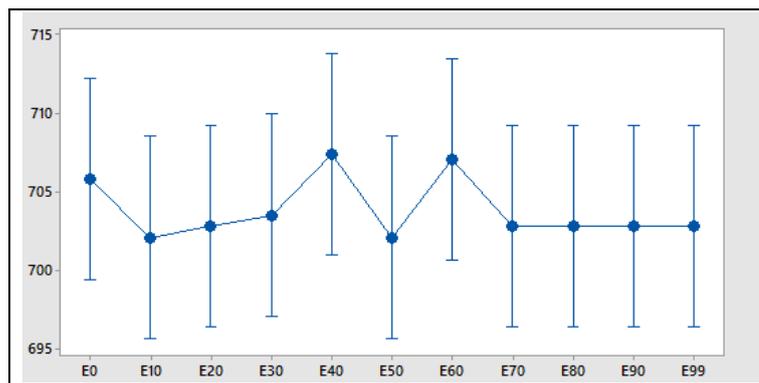


Figura 5. 11 Gráfica de intervalos de los valores de rpm a 700rpm
Fuente: Autores

5.1.6.3 Diagrama de cajas simultáneas

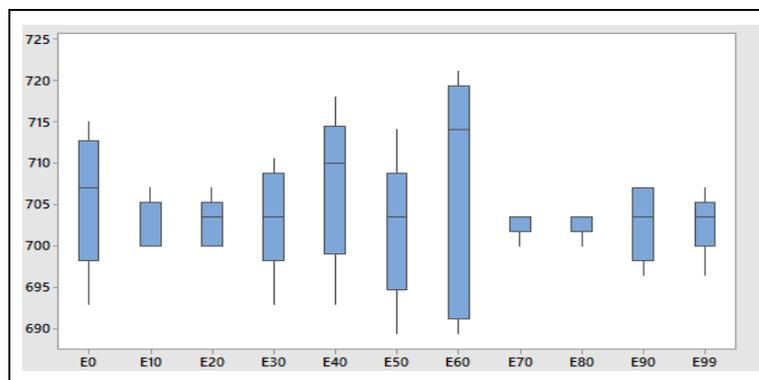


Figura 5. 12 Diagrama de cajas de las rpm a 700rpm.
Fuente: Autores

5.1.7 Valores de Torque a 700 rpm

5.1.7.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 13 Análisis de varianza de Torque a 700rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	14,717	10	1,47169	18,96	0,000
Error	3,416	44	0,07763		
Total	18,133	54			

Tabla 5. 14 Descriptivos de las muestras del valor de Torque a 700rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	2,063	0,539	1,811	2,314
E10	5	0,360	0,270	0,109	0,611
E20	5	1,2000	0,2581	0,9489	1,4511
E30	5	1,140	0,230	0,889	1,391
E40	5	0,5400	0,2074	0,2889	0,7911
E50	5	1,7800	0,2168	1,5289	2,0311
E60	5	1,1602	0,1765	0,9090	1,4113
E70	5	1,460	0,305	1,209	1,711
E80	5	1,8600	0,1817	1,6089	2,1111
E90	5	0,740	0,241	0,489	0,991
E99	5	1,120	0,327	0,869	1,371

5.1.7.2 Gráfica de intervalos

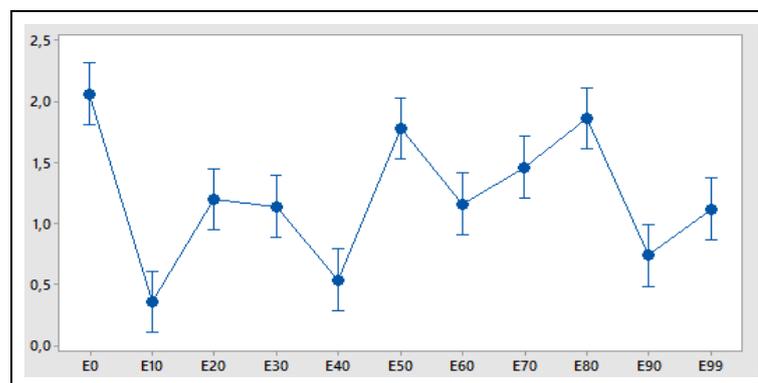


Figura 5. 13 Gráfica de intervalos de Torque 700rpm.

Fuente: Autores

5.1.7.3 Diagrama de cajas simultáneas

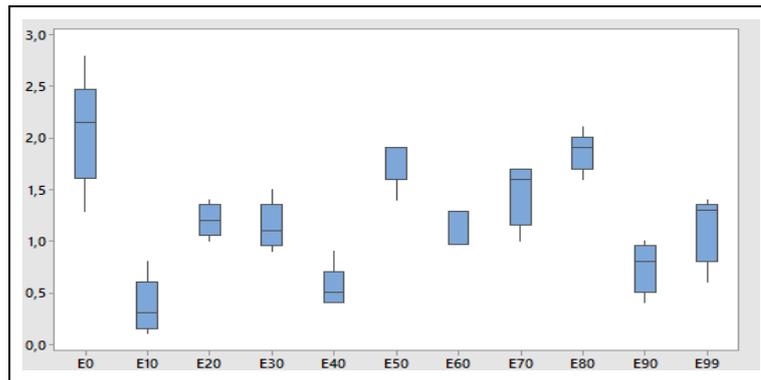


Figura 5. 14 Diagrama de cajas de Torque a 700rpm.

Fuente: Autores

5.1.8 Valores de Potencia a 700 rpm

5.1.8.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 15 Análisis de varianza de Potencia a 700rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	0,3239	10	0,032392	7,50	0,000
Error	0,1900	44	0,004319		
Total	0,5140	54			

Tabla 5. 16 Descriptivos de las muestras del valor de Potencia a 700rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	0,2258	0,0504	0,1665	0,2850
E10	5	0,02800	0,01924	0,03123	0,08723
E20	5	0,08600	0,01140	0,02677	0,14523
E30	5	0,08200	0,01924	0,2277	0,14123
E40	5	0,04000	0,02121	0,01923	0,09923
E50	5	0,13000	0,01732	0,07077	0,18923
E60	5	0,08577	0,01205	0,02653	0,14500
E70	5	0,1080	0,0268	0,0488	0,1672
E80	5	0,13800	0,01483	0,07877	0,19723
E90	5	0,2800	0,2049	0,2208	0,3392
E100	5	0,02200	0,01643	0,03723	0,08123

5.1.8.2 Gráfica de intervalos

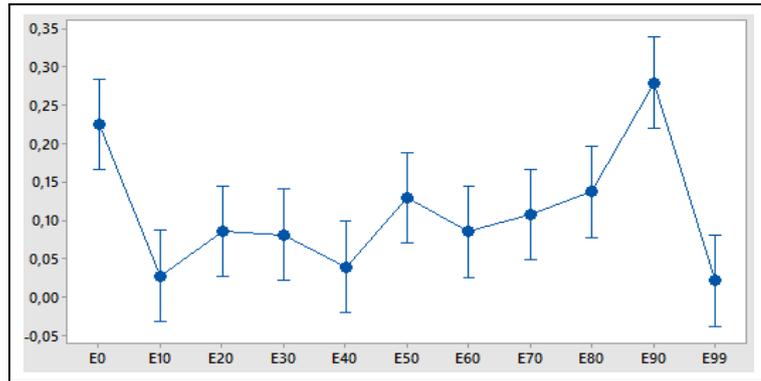


Figura 5. 15 Gráfica de intervalos de la Potencia 700rpm.

Fuente: Autores

5.1.8.3 Diagrama de cajas simultáneas

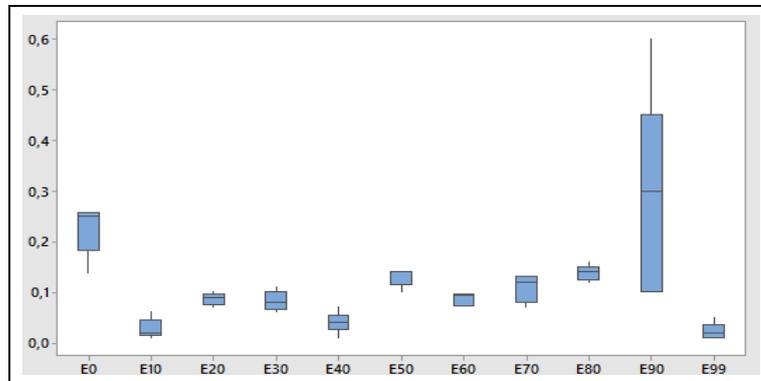


Figura 5. 16 Diagrama de cajas de Potencia a 700rpm.

Fuente: Autores

Análisis de los datos de los espectros de vibración a 700 rpm

Para el análisis de los espectros de vibración mediante el software Matlab, se llegó a obtener datos como son: Energías, potencia, factor de curtosis y el valor RMS. Con los cuales se hace un análisis de varianza con la ayuda del software Minitab donde sacaremos la media, desviación estándar y los intervalos de confianza al 95 %.

Energía

Para las vibraciones libres de un sistema sin amortiguamiento, la energía es en parte cinética y en parte potencial. La energía cinética T es almacenada en la masa en virtud de su velocidad mientras que, la energía potencial U es almacenada en forma de energía elástica de deformación o de trabajo realizado en un campo de fuerza tal como el gravitacional. Como la energía total se mantiene constante, su razón de cambio es cero. [12]

Curtosis

La curtosis mide cuan puntiaguda es una distribución, en general por referencia a la normal. Si tiene un pico alto, se dice leptocurtica, mientras si es aplastada, se dice que es platicurtica. La distribución normal que no es ni puntiaguda ni aplastada se llama mesocurtica. Una medida de la curtosis utiliza el cuarto momento respecto de la media en forma adimensional. [13]

Valor RMS

Es la raíz cuadrada de la desviación estándar. El valor RMS representa un estimado del contenido energético en la vibración de una maquina o estructura. Este valor es ampliamente utilizado para cuantificar severidad de la vibración en máquinas.

El valor RMS es proporcional al área bajo la curva, si se rectifica a los picos negativos, eso quiere decir, si se los hace positivos y el área de la curva resultante esta promediado hasta un nivel medio este nivel es proporcional al valor RMS.

Factor de cresta

Es igual a la amplitud del pico de la forma de onda dividida por el valor RMS. Este factor Cresta es con el tiempo una tendencia para poder ver si la cantidad de impactos está incrementando o no.

5.1.9 Valores de las Energías a 700 rpm

Tabla 5. 17 Análisis de varianza de la Energías a 700rpm.
Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	1,0729	0,0812	1,0486	1,0972
E10	5	0,10061	0,00664	0,07630	0,12492
E20	5	0,09243	0,00582	0,06812	0,11674
E30	5	0,13329	0,01076	0,10898	0,15760
E40	5	0,21711	0,01696	0,19280	0,24142
E50	5	0,197123	0,002176	0,172812	0,221433
E60	5	0,16496	0,01196	0,14065	0,18928
E70	5	0,12479	0,01618	0,10048	0,14910
E80	5	0,18932	0,01261	0,16501	0,21363
E90	5	0,16924	0,01326	0,14493	0,19355
E100	5	0,19761	0,01372	0,17330	0,22192

5.1.9.1 Gráfica de intervalos

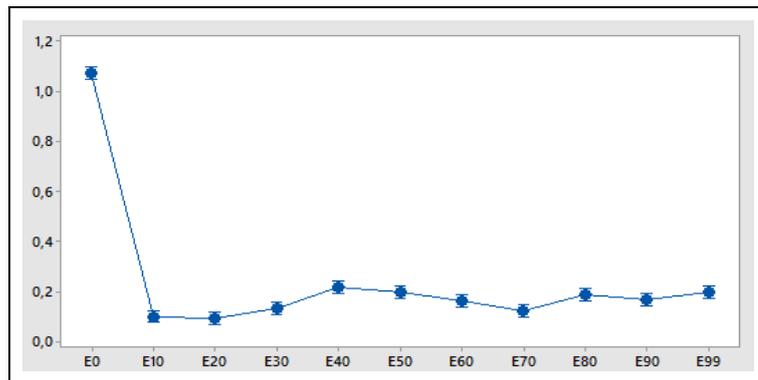


Figura 5. 17 18 Gráfica de intervalos de las Energías a 700rpm
Fuente: Autores

5.1.9.2 Diagrama de cajas simultaneas

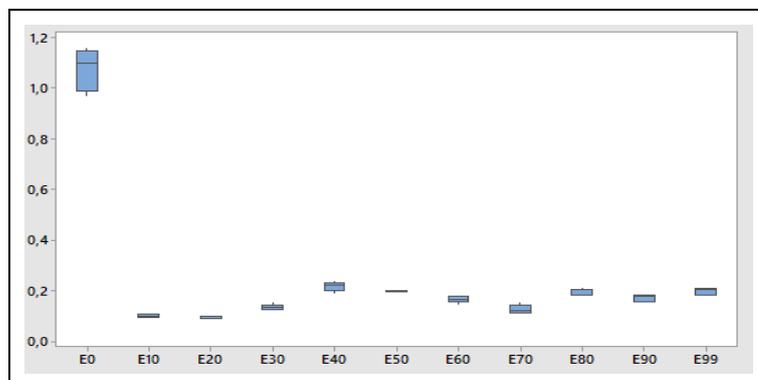


Figura 5. 19 Diagrama de cajas de las Energías a 700rpm.
Fuente: Autores

5.1.10 Valores de la Potencia a 700 rpm

Tabla 5. 18 Análisis de varianza de la Potencia a 700rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	0,000004	0,000000	0,000004	0,000004
E10	5	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
E20	5	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
E30	5	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001
E40	5	0,000001	0,000000	0,000001	0,000001
E50	5	0,000001	0,000000	0,000001	0,000001
E60	5	0,000001	0,000000	0,000000	0,000001
E70	5	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001
E80	5	0,000001	0,000000	0,000000	0,000000
E90	5	0,000001	0,000000	0,000001	0,000001
E100	5	0,000001	0,000000	0,000000	0,000001

5.1.10.1 Gráfica de intervalos

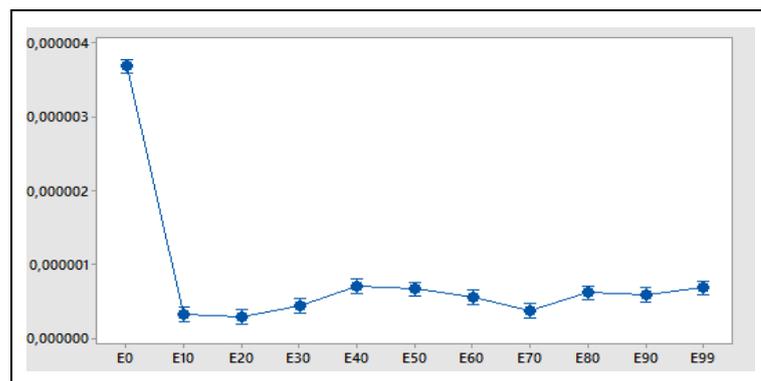


Figura 5. 20 Gráfica de intervalos de la Potencia a 700rpm

Fuente: Autores

5.1.10.2 Diagrama de cajas simultaneas

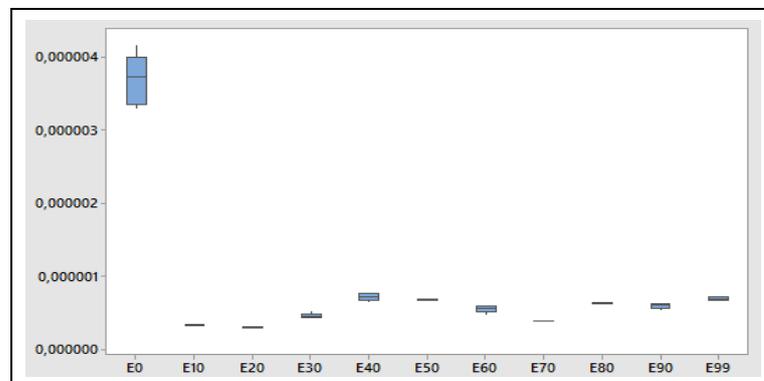


Figura 5. 21 Diagrama de cajas de las Potencia a 700rpm.

Fuente: Autores

5.1.11 Valores del Factor de curtosis a 700 rpm

Tabla 5. 19 Análisis de varianza del factor de curtosis a 700rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	2,8824	0,1007	2,3576	3,4071
E10	5	5,2147	0,0961	4,6899	5,7395
E20	5	3,5757	0,0957	3,0509	4,1005
E30	5	7,401	0,460	6,876	7,925
E40	5	6,795	0,849	6,270	7,320
E50	5	6,741	0,428	6,216	7,266
E60	5	5,6533	0,1380	5,1285	6,1780
E70	5	5,770	0,327	5,246	6,295
E80	5	6,989	0,361	6,464	7,514
E90	5	6,485	0,363	5,961	7,010
E100	5	7,870	1,482	7,346	8,395

5.1.11.1 Gráfica de intervalos

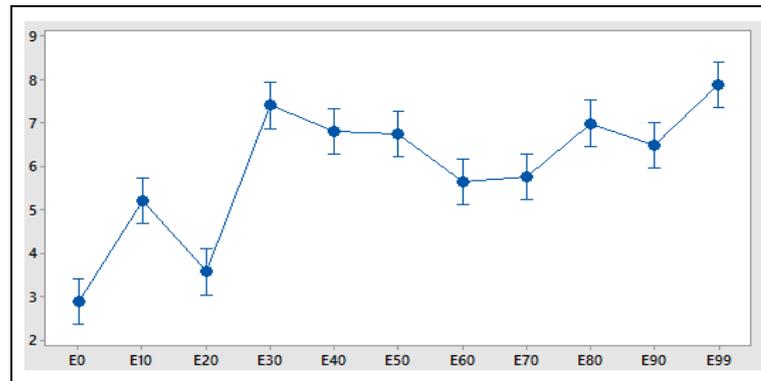


Figura 5. 22 Gráfica de intervalos del factor de curtosis a 700rpm

Fuente: Autores

5.1.11.2 Diagrama de cajas simultáneas

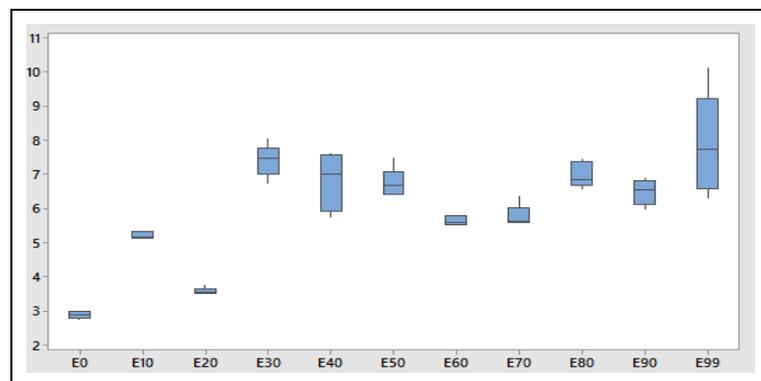


Figura 5. 23 Diagrama de cajas del factor de curtosis a 700rpm.

Fuente: Autores

5.1.12 Valores del valor RMS a 700 rpm

Tabla 5. 20 Análisis de varianza del factor de curtosis a 700rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	0,00191	0,000090	0,001889	0,001947
E10	5	0,000573	0,000006	0,000544	0,000602
E20	5	0,000544	0,000004	0,000515	0,000572
E30	5	0,000668	0,000026	0,000639	0,000697
E40	5	0,000844	0,000026	0,000815	0,000872
E50	5	0,000818	0,000004	0,000715	0,000846
E60	5	0,00744	0,000032	0,000715	0,000772
E70	5	0,000614	0,000003	0,000585	0,000643
E80	5	0,000786	0,000007	0,000757	0,000815
E90	5	0,000766	0,000020	0,000737	0,000795
E100	5	0,000827	0,000017	0,000798	0,000856

5.1.12.1 Gráfica de intervalos

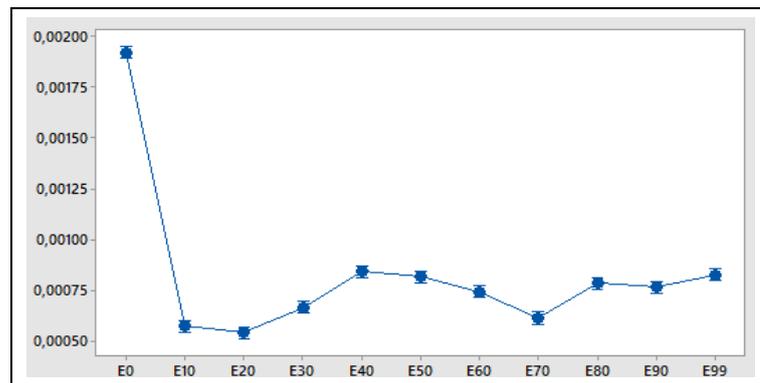


Figura 5. 24 Gráfica de intervalo del valor RMS a 700rpm

Fuente: Autores

5.1.12.2 Diagrama de cajas simultáneas

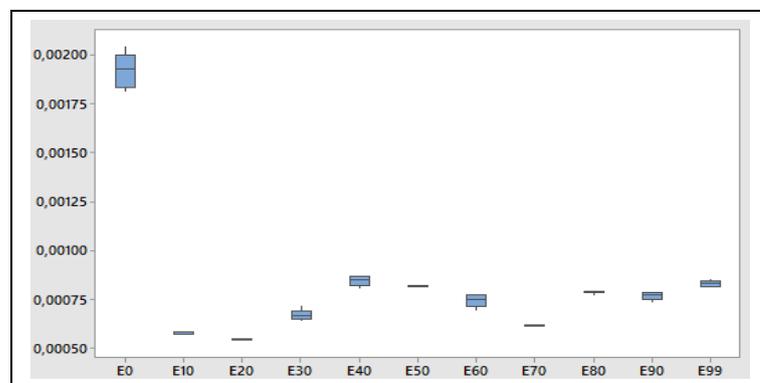


Figura 5. 25 Diagrama de cajas del valor RMS a 700rpm.

Fuente: Autores

5.1.13 Valores del Factor de cresta a 700 rpm

Tabla 5. 21 Análisis de varianza del factor de cresta a 700rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	3,5053	0,1893	2,9230	4,0875
E10	5	7,884	0,450	7,302	8,466
E20	5	5,5929	0,2097	5,0107	6,1752
E30	5	7,383	0,350	6,800	7,965
E40	5	8,381	0,683	7,799	8,964
E50	5	8,493	0,585	7,910	9,075
E60	5	7,409	0,374	6,826	7,991
E70	5	8,609	0,490	8,027	9,191
E80	5	7,9505	0,1789	7,3682	8,5327
E90	5	9,272	1,529	8,690	9,854
E100	5	9,000	0,792	8,418	9,582

5.1.13.1 Gráfica de intervalos

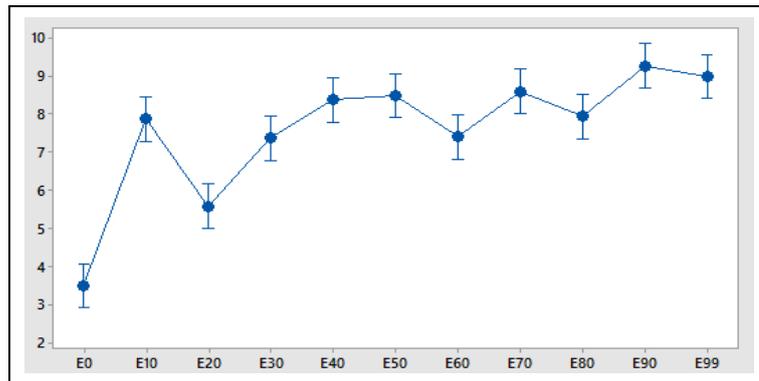


Figura 5. 26 Gráfica de intervalos del valor de factor de cresta a 700rpm

Fuente: Autores

5.1.13.2 Diagrama de cajas simultáneas

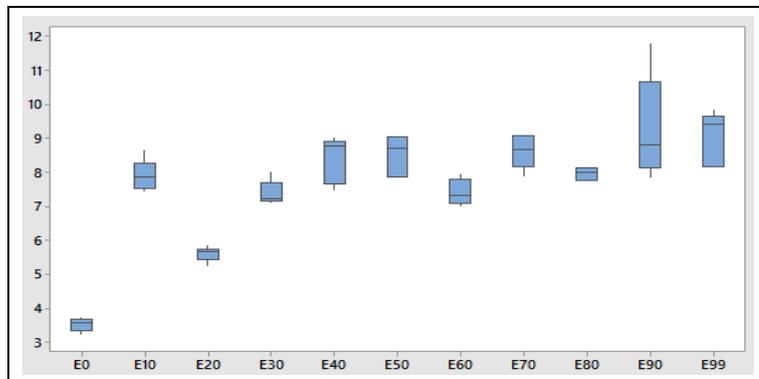


Figura 5. 27 Diagrama de cajas del valor RMS a 700rpm.

Fuente: Autores

5.2 ANALISIS DE RESULTADOS A 2000 rpm

5.2.1 Análisis de valor de lambda (λ)

5.2.1.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 22 Análisis de varianza de Lambda a 2000rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	0,004243	10	0,000424	51,29	0,000
Error	0,000363	44	0,00008		
Total	0,004607	54			

Tabla 5. 23 Descriptivos de las muestras del valor de Lambda a 2000rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	1,02200	0,0158	1,01941	1,02459
E10	5	1,02140	0,00207	1,01881	1,02399
E20	5	1,01760	0,00089	1,05101	1,02019
E30	5	1,01720	0,00657	1,01461	1,01979
E40	5	0,9882	0,00377	0,98561	0,99079
E50	5	1,01000	0,00245	1,00741	1,01259
E60	5	1,01700	0,00071	1,01441	1,01959
E70	5	1,01000	0,00141	1,00741	1,01959
E80	5	1,01100	0,00141	1,00841	1,01259
E90	5	1,01480	0,00179	1,01221	1,01739
E100	5	1,01440	0,00351	1,01181	1,01699

5.2.1.2 Gráfica de intervalos

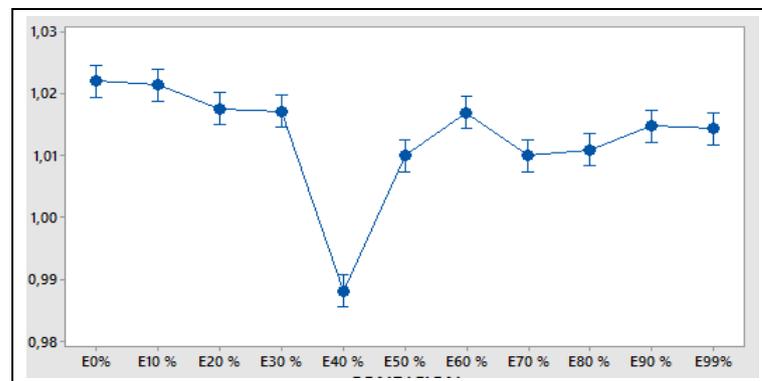


Figura 5. 28 Gráfica de intervalo de Lambda 2000rpm.

Fuente: Autores

5.2.1.3 Diagrama de cajas simultáneas

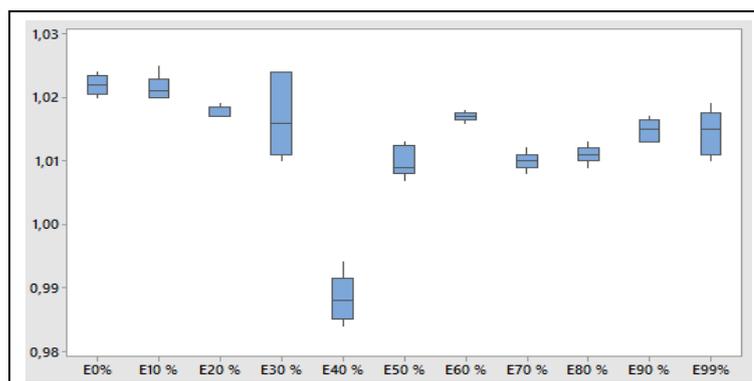


Figura 5. 29 Diagrama de cajas de Lambda a 2000rpm.

Fuente: Autores

5.2.2 Análisis de valor Oxígeno (O2)

5.2.2.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 24 Análisis de varianza de Oxígeno a 2000rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	2,55434	10	0,255434	113,30	0,000
Error	0,09920	44	0,002255		
Total	2,65354	54			

Tabla 5. 25 Descriptivos de las muestras del valor de Oxígeno a 2000rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	0,98800	0,01789	0,94520	1,03080
E10	5	0,9940	0,0416	0,9512	1,0368
E20	5	1,0360	0,0230	0,9932	1,0788
E30	5	1,4920	0,0907	1,4492	1,5348
E40	5	0,71600	0,02074	0,67320	0,75880
E50	5	0,8060	0,0568	0,7632	0,8488
E60	5	1,1140	0,0241	1,0712	1,1568
E70	5	0,7700	0,0361	0,7272	0,8128
E80	5	0,7280	0,0228	0,6852	0,7708
E90	5	0,9180	0,0356	0,8752	0,9608
E100	5	0,8020	0,0817	0,7592	0,8448

5.2.2.2 Gráfica de intervalos

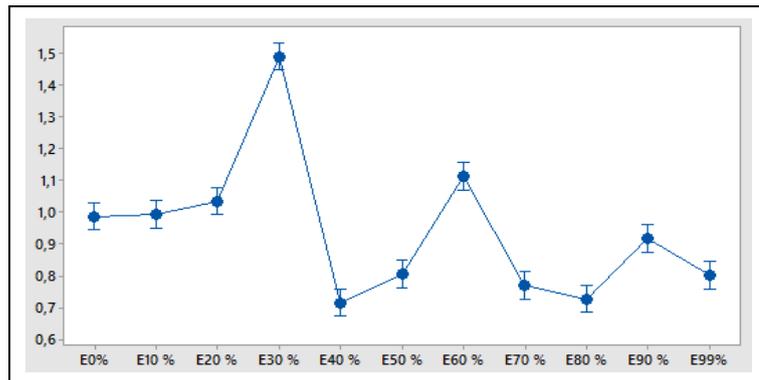


Figura 5. 30 Gráfica de intervalos de Oxígeno 2000rpm.

Fuente: Autores

5.2.2.1 Diagrama de cajas simultáneas

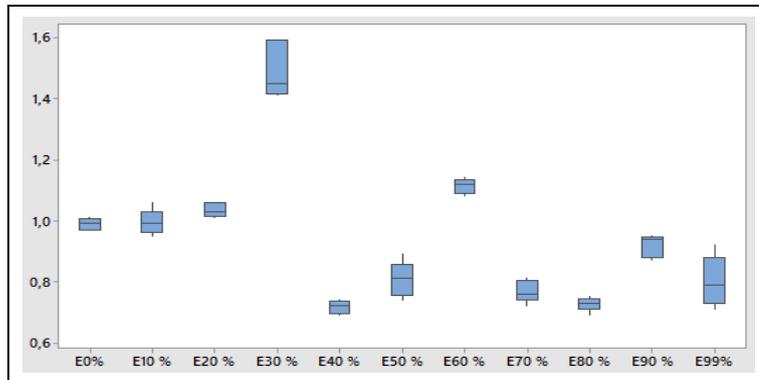


Figura 5. 31 Diagrama de cajas de Oxígeno a 2000rpm.

Fuente: Autores

5.2.3 Análisis de valor de Dióxido de carbono (CO2)

5.2.3.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 26 Análisis de varianza de CO2 a 2000rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	9,3815	10	0,928145	149,56	0,000
Error	0,2760	44	0,006273		
Total	9,6575	54			

Tabla 5. 27 Descriptivos de las muestras del valor de CO2 a 2000rpm.
Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	14,8800	0,0447	14,8086	14,9514
E10	5	14,90	0,00	14,83	14,97
E20	5	14,6400	0,0548	14,5686	14,7114
E30	5	14,3200	0,1924	14,2486	14,3914
E40	5	14,9400	0,0548	14,8686	15,0114
E50	5	14,8400	0,0894	14,7686	14,9114
E60	5	14,3600	0,0548	14,2886	14,4314
E70	5	15,60	0,00	15,53	15,67
E80	5	15,5600	0,0894	15,4886	15,6314
E90	5	14,80	0,00	14,73	14,87
E99	5	15,4000	0,0707	15,3286	15,4714

5.2.3.2 Gráfica de intervalos

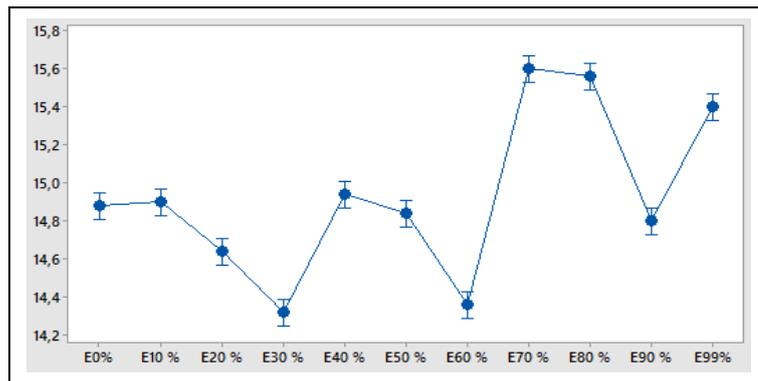


Figura 5. 32 Gráfica de intervalos de CO2 a 2000rpm.
Fuente: Autores

5.2.3.3 Diagrama de cajas simultáneas

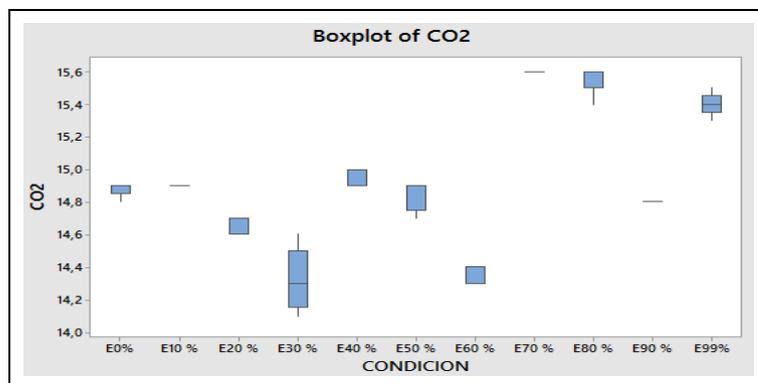


Figura 5. 33 Diagrama de cajas de CO2 a 2000rpm.
Fuente: Autores

5.2.4 Análisis de valor de Hidrocarburos (HC) ppm

5.2.4.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 28 Análisis de varianza de HC a 2000rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	659352	10	65935,2	966,28	0,000
Error	3002	44	68,2		
Total	662354	54			

Tabla 5. 29 Descriptivos de las muestras del valor de HC a 2000rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	226,60	2,88	219,15	234,05
E10	5	226,60	2,55	218,55	233,45
E20	5	343,600	1,342	336,155	351,045
E30	5	518,80	19,50	511,35	526,25
E40	5	271,00	4,74	263,55	278,45
E50	5	219,80	4,97	212,35	227,25
E60	5	219,40	3,29	211,95	226,85
E70	5	163,40	4,39	155,95	170,85
E80	5	106,60	13,65	99,15	114,05
E90	5	182,200	0,837	174,755	189,645
E100	5	120,00	9,46	112,55	124,45

5.2.4.2 Gráfica de intervalos

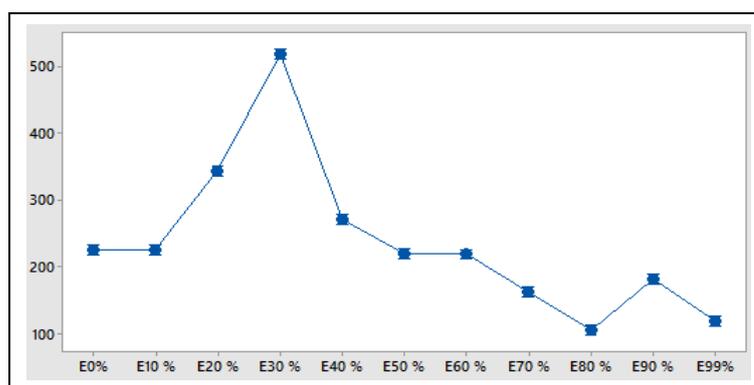


Figura 5. 34 Gráfica de intervalos de HC a 2000rpm.

Fuente: Autores

5.2.4.3 Diagrama de cajas simultáneas

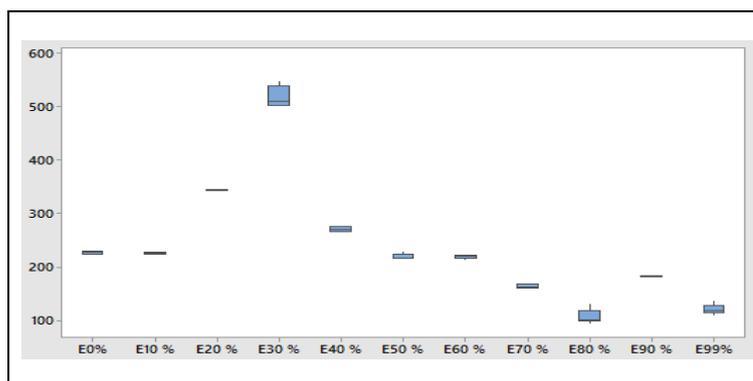


Figura 5. 35 Diagrama de cajas de HC a 2000rpm.

Fuente: Autores

5.2.5 Análisis de valor de Monóxido de carbono (CO) [%]

5.2.5.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 30 Análisis de varianza de CO a 2000rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	2,5188	10	0,251879	88,69	0,000
Error	0,1250	44	0,002840		
Total	2,6438	54			

Tabla 5. 31 Descriptivos de las muestras del valor de CO a 2000rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	0,47800	0,02168	0,42997	0,52603
E10	5	0,47000	0,01000	0,42197	0,51803
E20	5	0,51600	0,00548	0,46797	0,56403
E30	5	0,9900	0,1005	0,9420	1,0380
E40	5	1,1600	0,1034	1,1120	1,2080
E50	5	0,5840	0,0677	0,5360	0,6320
E60	5	0,8300	0,0265	0,7820	0,8780
E70	5	0,59400	0,02191	0,54597	0,64203
E80	5	0,5700	0,0480	0,5220	0,6180
E90	5	0,6260	0,0404	0,5780	0,6740
E100	5	0,57000	0,01225	0,52197	0,61803

5.2.5.2 Gráfica de intervalos

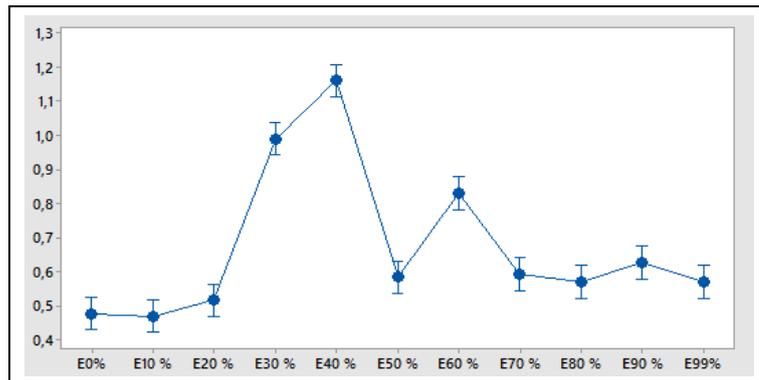


Figura 5. 36 Gráfica de intervalos de CO a 2000rpm.

Fuente: Autores

5.2.5.3 Diagrama de cajas simultáneas

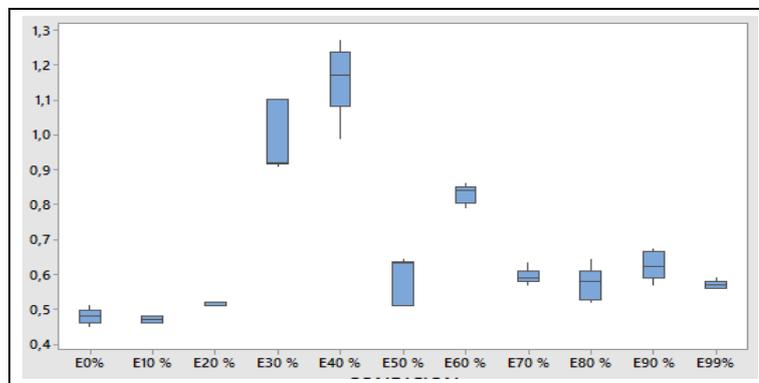


Figura 5. 37 Diagrama de cajas de HC a 2000rpm.

Fuente: Autores

5.2.6 Análisis de valor de rpm

5.2.6.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 32 Análisis de varianza de rpm a 2000rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	958367	10	95837	2,33	0,026
Error	1805927	44	41044		
Total	2764294	54			

Tabla 5. 33 Descriptivos de las muestras del valor de RPM a 2000rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	2188,8	160,3	2006,2	2371
E10	5	2130,3	219,3	1947,7	2312,9
E20	5	1820,6	59,9	1638	2003,2
E30	5	1883,5	124,7	1700,9	2066,1
E40	5	2237,8	152,2	2055,2	2420,4
E50	5	2057	245	1874	2239
E60	5	2101	230	1918	2283
E70	5	2131,7	142,5	1949,1	2314,3
E80	5	2017,87	6,32	1835,27	2200,46
E90	5	2035,5	38,8	1852,9	2218,1
E99	5	1848	448	1666	2031

5.2.6.2 Gráfica de intervalos

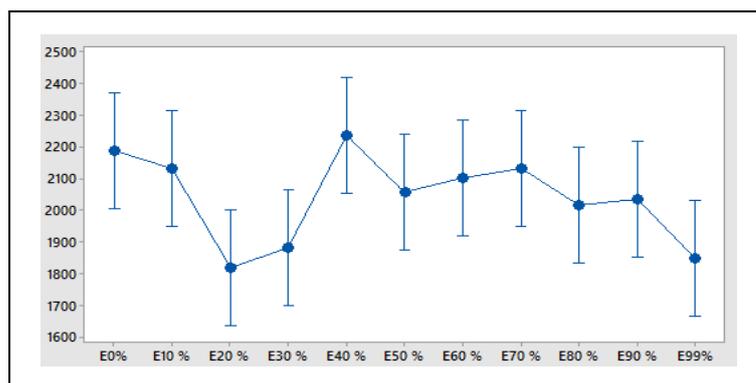


Figura 5. 38 Gráfica de media de rpm a 2000rpm.

Fuente: Autores

5.2.6.3 Diagrama de cajas simultáneas

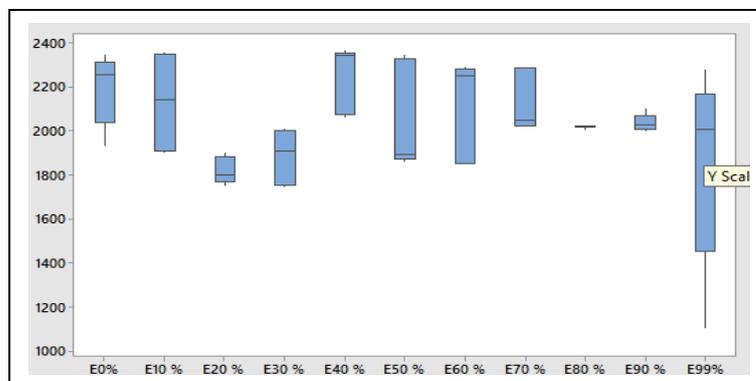


Figura 5. 39 Diagrama de cajas de rpm a 2000rpm.

Fuente: Autores

5.2.7 Análisis de valor de Torque

5.2.7.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 34 Análisis de varianza de Torque a 2000rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	16,481	10	1,64815	23,27	0,000
Error	3,116	44	0,07082		
Total	19,597	54			

Tabla 5. 35 Descriptivos de las muestras del valor de Torque a 2000rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	2,040	0,462	1,800	2,280
E10	5	0,9400	0,1517	0,7001	1,1799
E20	5	1,380	0,277	1,140	1,620
E30	5	1,00	0,265	0,760	1,240
E40	5	0,2800	0,1789	0,0401	0,5199
E50	5	1,8000	0,2000	1,5601	2,0399
E60	5	1,3600	0,1673	1,1201	1,5999
E70	5	1,360	0,305	1,120	1,600
E80	5	2,140	0,358	1,900	2,380
E90	5	1,0400	0,1517	0,8001	1,2799
E99	5	0,620	0,228	0,380	0,860

5.2.7.2 Gráfica de intervalos

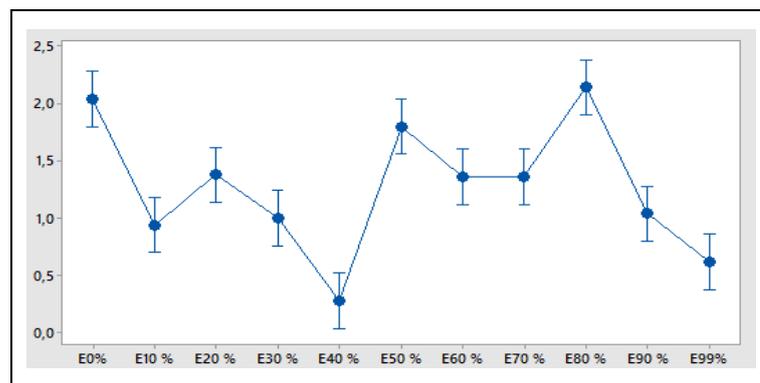


Figura 5. 40 Gráfica de intervalos de Torque a 2000rpm

Fuente: Autores

5.2.7.3 Diagrama de cajas simultáneas

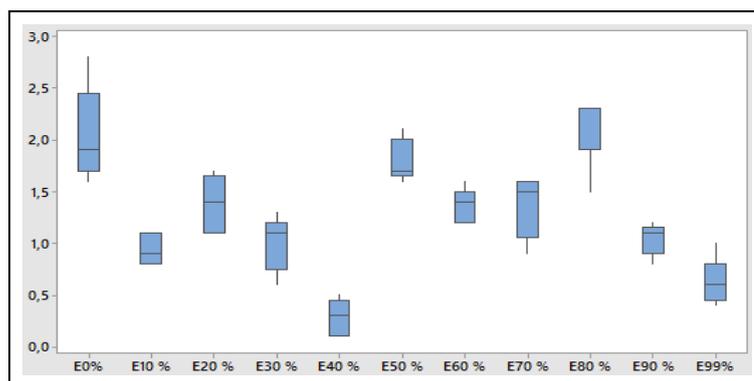


Figura 5. 41 Diagrama de cajas de rpm a 2000rpm.

Fuente: Autores

5.2.8 Análisis de valor de Potencia

5.2.8.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 36 Análisis de varianza de Potencia a 2000rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	1,1330	10	0,11330	7,55	0,000
Error	0,6605	44	0,01501		
Total	1,7936	54			

Tabla 5. 37 Descriptivos de las muestras del valor de Potencia a 2000rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	0,3060	0,1484	0,1956	0,4164
E10	5	0,342	0,257	0,232	0,452
E20	5	0,2940	0,0488	0,1836	0,4044
E30	5	0,1929	0,0593	0,0816	0,3024
E40	5	0,0500	0,0447	0,0604	0,1604
E50	5	0,4480	0,0540	0,3376	0,5584
E60	5	0,2660	0,0351	0,1556	0,3764
E70	5	0,3220	0,0807	0,2116	0,4324
E80	5	0,4460	0,0706	0,3356	0,5564
E90	5	0,2160	0,0378	0,1056	0,3264
E100	5	0,620	0,228	0,510	0,730

5.2.8.2 Gráfica de intervalos

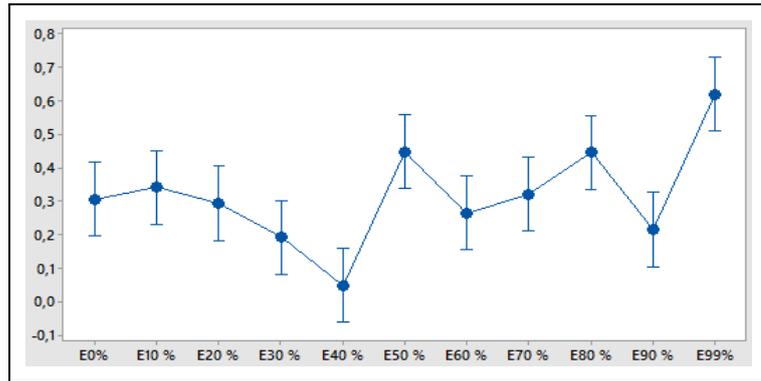


Figura 5. 42 Gráfica de intervalos de Potencia a 2000rpm.
Fuente: Autores

5.2.8.3 Diagrama de cajas simultáneas

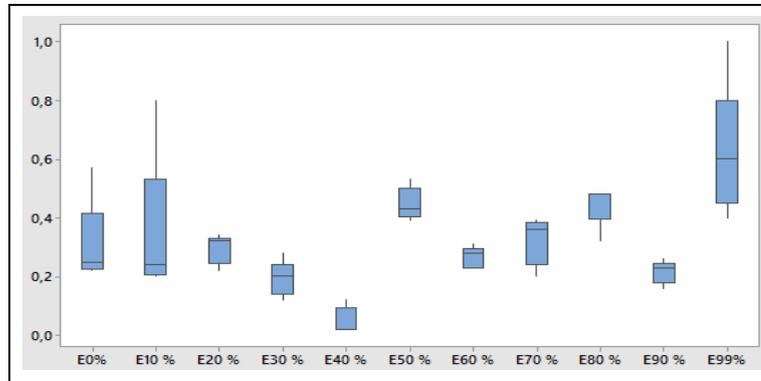


Figura 5. 43 Diagrama de cajas de Potencia a 2000rpm.
Fuente: Autores

Análisis de los datos de los espectros de vibración a 2000 rpm

Para el análisis de los espectros de vibración mediante el software Matlab, se llegó a obtener datos como son: Energías, potencia, factor de curtosis y el valor RMS. Con los cuales se hace un análisis de varianza con la ayuda del software Minitab donde sacaremos la media, desviación estándar y los intervalos de confianza al 95 %.

5.2.9 Valores de las Energías a 2000 rpm

Tabla 5. 38 Análisis de varianza de la Energías a 2000rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	5,548	0,238	5,318	5,778
E10	5	5,055	0,263	4,825	5,285
E20	5	2,531	0,237	2,301	2,761
E30	5	2,1274	0,1763	1,8977	2,3571
E40	5	3,135	0,338	2,906	3,365
E50	5	4,711	0,322	4,481	4,941
E60	5	2,444	0,269	2,214	2,673
E70	5	3,9084	0,0653	3,6786	4,1381
E80	5	2,5087	0,1707	2,2790	2,7385
E90	5	2,856	0,399	2,627	3,086
E100	5	2,7714	0,1377	2,5417	3,0011

5.2.9.1 Gráfica de intervalos

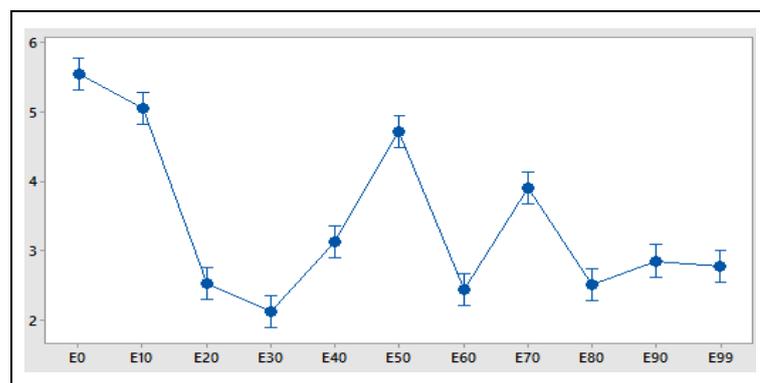


Figura 5. 44 Gráfica de intervalos de las Energía a 2000rpm

Fuente: Autores

5.2.9.2 Diagrama de cajas simultáneas

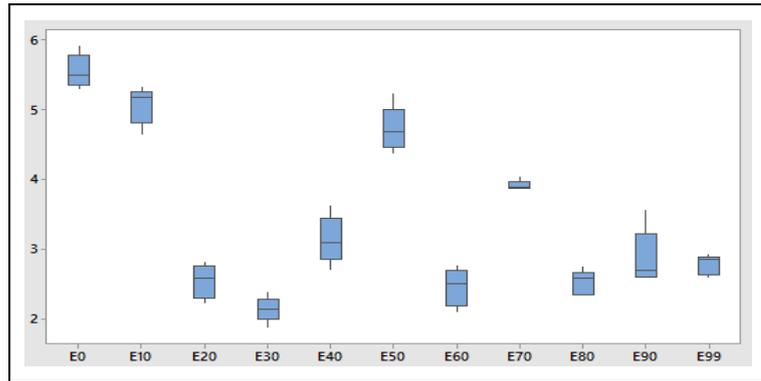


Figura 5. 45 Diagrama de cajas de las Energías a 2000rpm.

Fuente: Autores

5.1.10 Valores de la Potencia a 2000 rpm

Tabla 5. 39 Análisis de varianza de la Potencia a 2000rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	0,000018	0,000001	0,000017	0,000019
E10	5	0,000018	0,000000	0,000017	0,000018
E20	5	0,000009	0,000000	0,000008	0,000010
E30	5	0,000007	0,000000	0,000006	0,000007
E40	5	0,000010	0,000001	0,000009	0,000011
E50	5	0,000016	0,000001	0,000015	0,000017
E60	5	0,000008	0,000001	0,000008	0,000009
E70	5	0,000013	0,000000	0,000012	0,000014
E80	5	0,000008	0,000001	0,000008	0,000009
E90	5	0,000010	0,000002	0,000009	0,000011
E100	5	0,000009	0,000000	0,000009	0,000010

5.2.10.1 Gráfica de intervalos

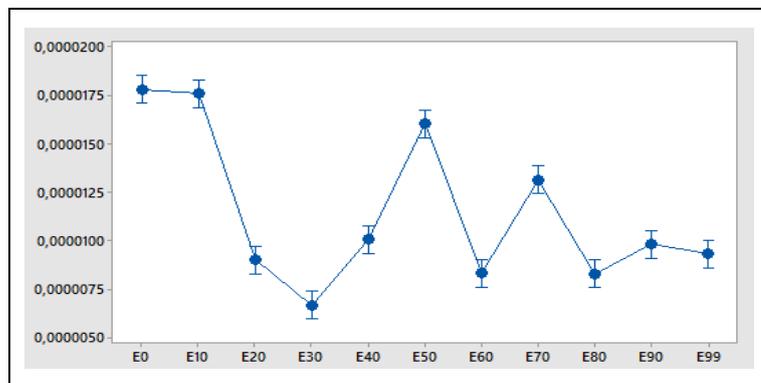


Figura 5. 46 Gráfica de intervalos de la Potencia a 2000rpm

Fuente: Autores

5.2.10.2 Diagrama de cajas simultáneas

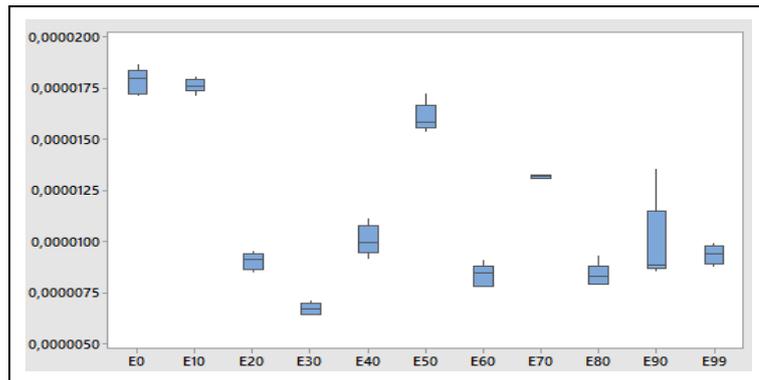


Figura 5. 47 Diagrama de cajas de las Potencia a 2000rpm.

Fuente: Autores

5.2.11 Valores del Factor de curtosis a 2000 rpm

Tabla 5. 40 Análisis de varianza del factor de curtosis a 2000rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	5,888	0,271	5,709	6,067
E10	5	5,611	0,236	5,432	5,790
E20	5	4,599	0,238	4,421	4,778
E30	5	4,9282	0,1123	4,7496	5,1069
E40	5	5,1614	0,1510	4,9828	5,3401
E50	5	4,4743	0,0994	4,2957	4,6529
E60	5	5,1879	0,1538	5,0093	5,3665
E70	5	6,141	0,266	5,962	6,319
E80	5	6,2538	0,2073	6,0752	6,4324
E90	5	5,5694	0,1740	5,3908	5,7481
E100	5	5,8968	0,1828	5,7182	6,0755

5.2.11.1 Gráfica de intervalos

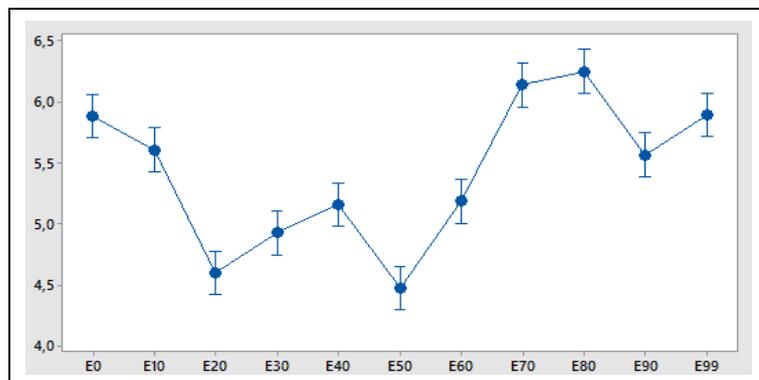


Figura 5. 48 Gráfica de intervalos del factor de curtosis a 2000rpm

Fuente: Autores

5.2.11.2 Diagrama de cajas simultáneas

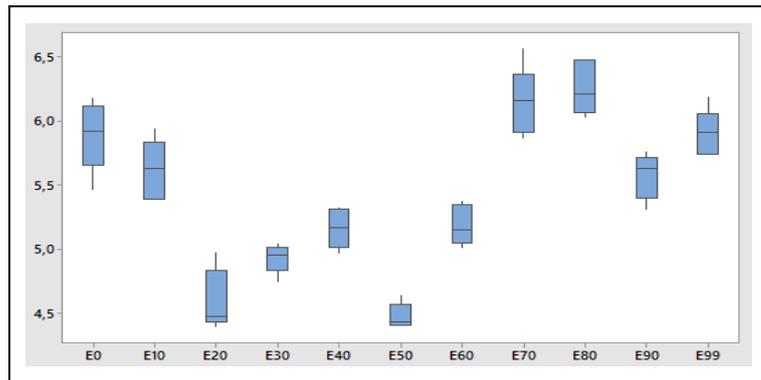


Figura 5. 49 Diagrama de cajas del factor de curtosis a 2000rpm.

Fuente: Autores

5.2.12 Valores del valor RMS a 2000 rpm

Tabla 5. 41 Análisis de varianza del factor de curtosis a 2000rpm.

Fuente: Autores

Mezcla	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	0,004224	0,000073	0,004116	0,004331
E10	5	0,004198	0,000037	0,004090	0,004306
E20	5	0,003004	0,000068	0,002896	0,003112
E30	5	0,002587	0,000057	0,002479	0,002694
E40	5	0,003172	0,000117	0,003064	0,003280
E50	5	0,004006	0,000088	0,003898	0,004114
E60	5	0,002885	0,000092	0,002777	0,002993
E70	5	0,003630	0,000010	0,003523	0,003738
E80	5	0,002884	0,000093	0,002776	0,002991
E90	5	0,003124	0,000314	0,003016	0,003231
E100	5	0,003056	0,000073	0,002949	0,003164

5.2.12.1 Gráfica de intervalos

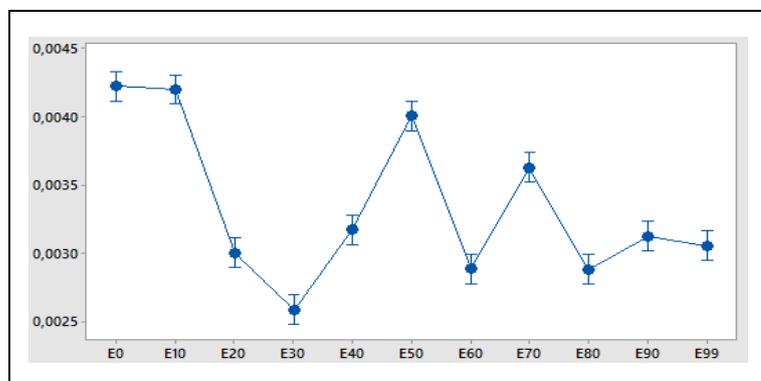


Figura 5. 50 Grafica de media del valor RMS a 2000RPM.

Fuente: Autores

5.2.12.2 Diagrama de cajas simultáneas

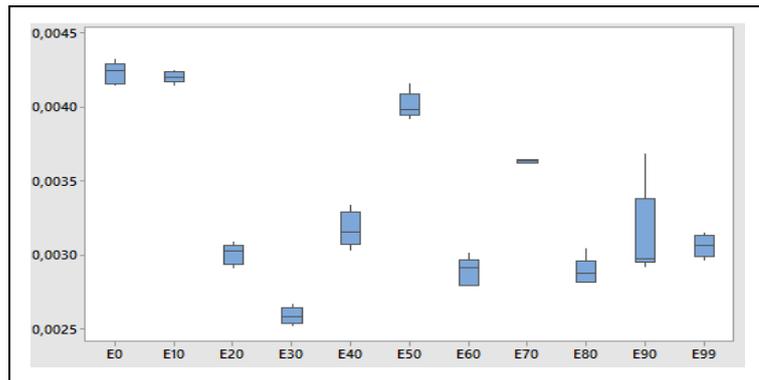


Figura 5. 51 Diagrama de cajas del valor RMS a 700rpm.

Fuente: Autores

5.2.13 Valores del valor de factor de cresta a 2000 rpm

Tabla 5. 42 Análisis de varianza del Factor de cresta a 2000rpm.

Fuente: Autores

Mezcla	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	8,312	0,493	7,866	7,866
E10	5	7,884	0,798	7,437	7,437
E20	5	6,029	0,532	5,583	5,583
E30	5	6,3562	0,1904	5,9097	5,9097
E40	5	6,7623	0,2146	6,3159	6,3159
E50	5	6,695	0,715	6,248	6,248
E60	5	6,3705	0,1406	5,9241	5,9241
E70	5	8,273	0,407	7,827	7,827
E80	5	8,521	0,552	8,074	8,074
E90	5	7,315	0,562	6,869	6,869
E100	5	7,330	0,370	6,884	6,884

5.2.13.1 Gráfica de intervalos

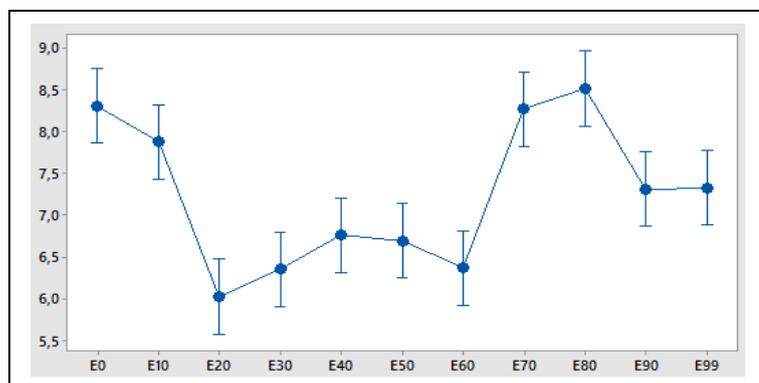


Figura 5. 52 Gráfica de intervalos del valor RMS a 2000rpm

Fuente: Autores

5.2.13.2 Diagrama de cajas simultáneas

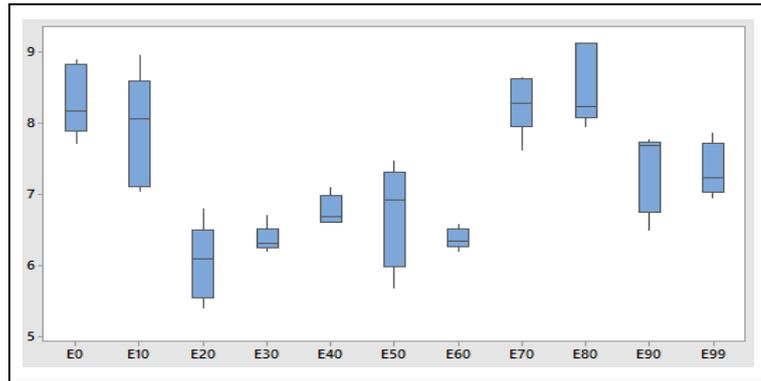


Figura 5. 53 Diagrama de cajas del valor RMS a 700rpm.
Fuente: Autores

5.3 ANALISIS DE RESULTADOS A 4400rpm

5.3.1 Análisis de valor de Lambda

5.3.1.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 43 Análisis de varianza de Lambda a 4400rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	0,002316	10	0,000232	11,72	0,000
Error	0,000869	44	0,000020		
Total	0,003185	54			

Tabla 5. 44 Descriptivos de las muestras del valor de Lambda a 4400rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	1,01740	0,00167	1,01339	1,02141
E10	5	0,99300	0,01187	0,98899	0,99701
E20	5	1,00980	0,00110	1,00579	1,01381
E30	5	1,00780	0,00130	1,00379	1,01181
E40	5	1,00540	0,00152	1,00139	1,00941
E50	5	1,01080	0,00295	1,00679	1,01481
E60	5	1,01200	0,00187	1,00799	1,01601
E70	5	1,00720	0,00110	1,00319	1,01121
E80	5	1,01840	0,00261	1,01439	1,02241
E90	5	1,01060	0,00378	1,00659	1,01461
E99	5	1,01340	0,00581	1,00939	1,01741

5.3.1.2 Gráfica de intervalos

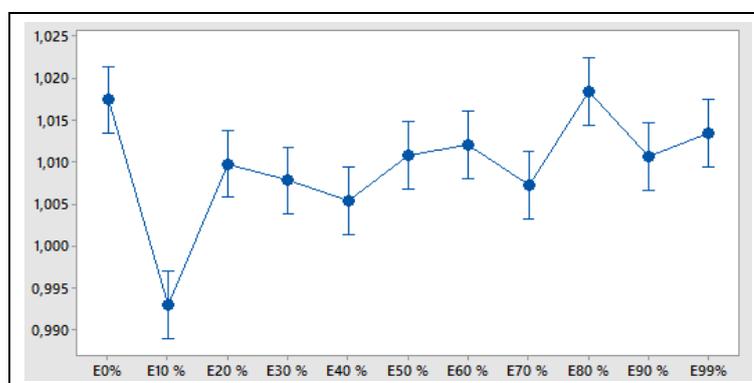


Figura 5. 54 Gráfica de media de Lambda a 4400rpm

Fuente: Autores

5.3.1.3 Diagrama de cajas simultáneas

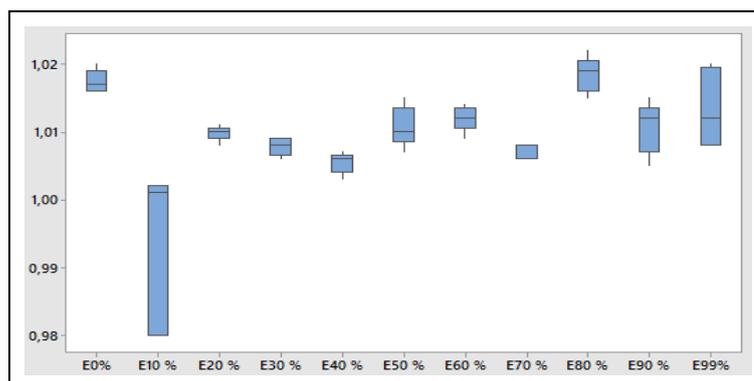


Figura 5. 55 Diagrama de cajas de Lambda a 4400rpm.

Fuente: Autores

5.3.2 Análisis de valor de Oxígeno (O₂) %

5.3.2.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 45 Análisis de varianza de oxígeno a 4400rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	0,6269	10	0,062685	14,67	0,000
Error	0,1880	44	0,004272		
Total	0,8148	54			

Tabla 5. 46 Descriptivos de las muestras del valor de Oxígeno a 4400rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	0,8900	0,0300	0,8311	0,9489
E10	5	0,6800	0,0678	0,6211	0,7389
E20	5	0,7720	0,0396	0,7131	0,8309
E30	5	0,7940	0,0336	0,7351	0,8529
E40	5	0,8580	0,0327	0,7991	0,9169
E50	5	0,8820	0,0669	0,8231	0,9409
E60	5	0,9880	0,0239	0,9291	1,0469
E70	5	0,7740	0,0351	0,7151	0,8329
E80	5	0,9300	0,0394	0,8711	0,9889
E90	5	0,9860	0,0462	0,9271	1,0449
E100	5	1,0520	0,1666	0,9931	1,1109

5.3.2.2 Gráfica de intervalos

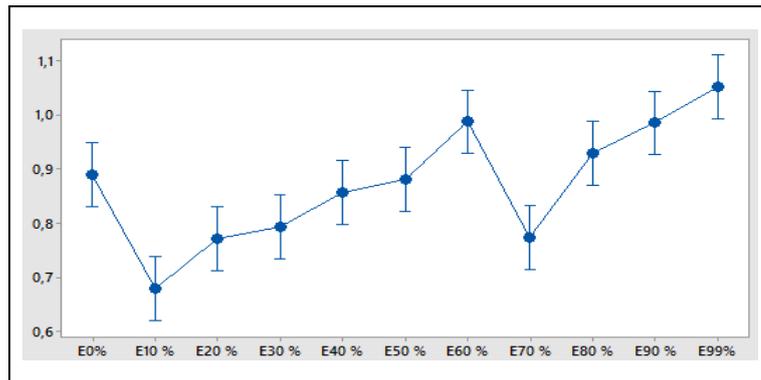


Figura 5. 56 Gráfica de intervalos de Oxígeno a 4400rpm
Fuente: Autores

5.3.2.3 Diagrama de cajas simultáneas

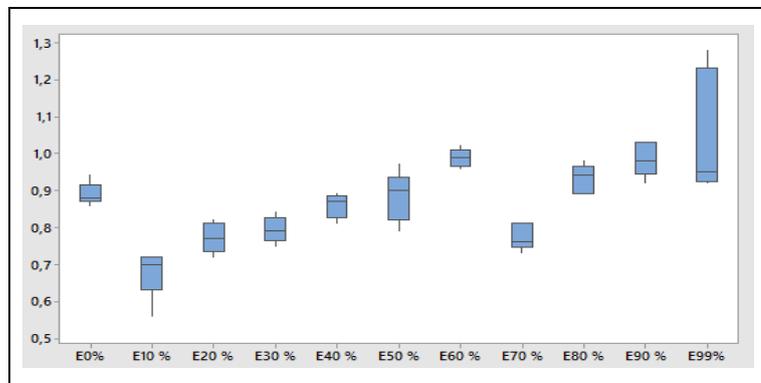


Figura 5. 57 Diagrama de cajas de Oxígeno a 4400rpm.
Fuente: Autores

5.3.3 Análisis de valor de Dióxido de carbono (CO2)

5.3.3.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 47 Análisis de varianza de CO2 a 4400rpm.
Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	4,8331	10	0,483309	85,75	0,000
Error	0,2480	44	0,005636		
Total	5,0811	54			

Tabla 5. 48 Descriptivos de las muestras del valor de CO2 a 4400RPM.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	14,90	0,00	14,83	14,97
E10	5	15,3400	0,1342	15,2723	15,4077
E20	5	14,7600	0,0548	14,6923	14,8277
E30	5	15,1800	0,1095	15,1123	15,2477
E40	5	15,0200	0,0447	14,9523	15,0877
E50	5	14,80	0,00	14,73	14,87
E60	5	14,4400	0,0548	14,3723	14,5077
E70	5	15,50	0,00	15,43	15,57
E80	5	15,3200	0,0447	15,2523	15,3877
E90	5	15,0800	0,0447	15,0123	15,1477
E100	5	14,8000	0,1414	14,7323	14,8677

5.3.3.2 Gráfica de intervalos

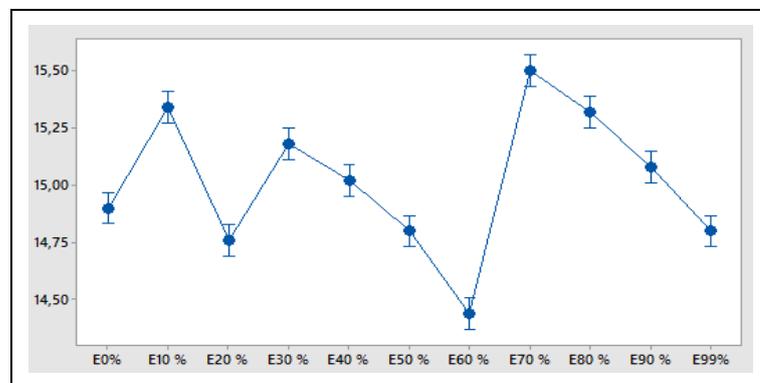


Figura 5. 58 Gráfica de intervalos de CO2 a 4400rpm

Fuente: Autores

5.3.3.3 Diagrama de cajas simultáneas

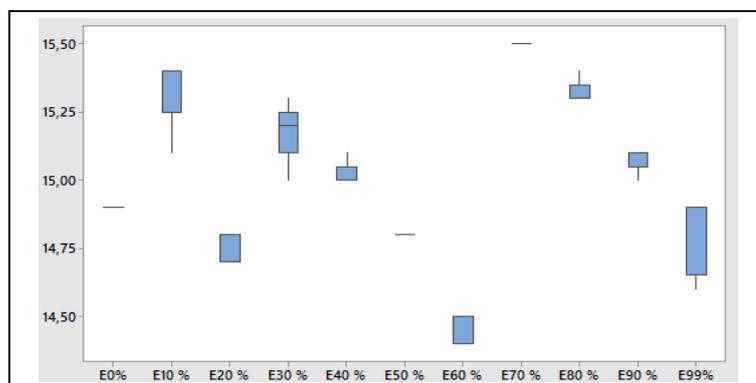


Figura 5. 59 Diagrama de cajas de CO₂ a 4400rpm.

Fuente: Autores

5.3.4 Análisis de valor de Hidrocarburos (HC)

5.3.4.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 49 Análisis de varianza de HC a 4400rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	59699	10	5969,89	83,52	0,000
Error	3145	44	71,48		
Total	62844	54			

Tabla 5. 50 Descriptivos de las muestras del valor de HC a 4400rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	149,40	7,02	141,78	157,02
E10	5	197,00	13,42	189,38	204,62
E20	5	105,60	5,94	97,98	113,22
E30	5	175,20	13,50	167,58	182,82
E40	5	193,80	11,48	186,18	201,42
E50	5	202,20	6,46	194,58	209,82
E60	5	145,80	10,62	138,18	153,42
E70	5	123,600	2,191	115,980	131,220
E80	5	108,80	3,03	100,58	115,82
E90	5	168,80	6,14	161,18	176,42
E99	5	169,800	1,304	162,180	177,420

5.3.4.2 Gráfica de intervalos

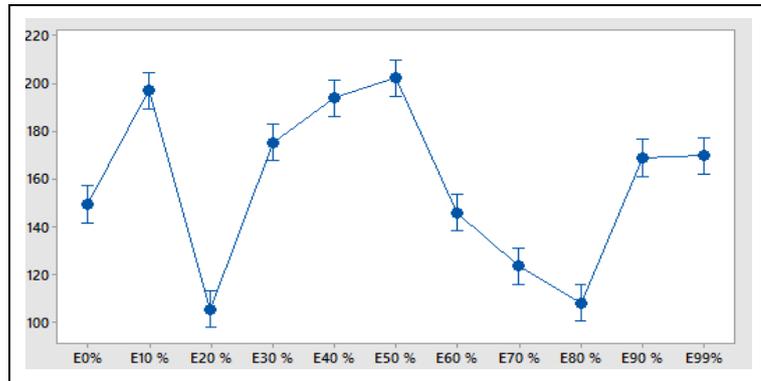


Figura 5. 60 Gráfica de media de HC a 4400rpm
Fuente: Autores

5.3.4.3 Diagrama de cajas simultáneas

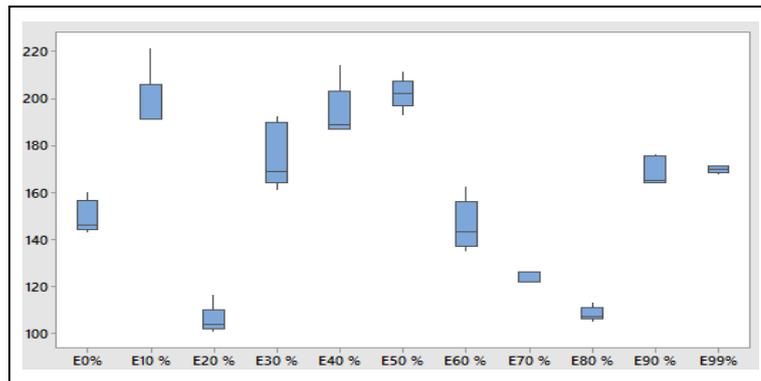


Figura 5. 61 Diagrama de cajas de HC a 4400rpm.
Fuente: Autores

5.3.5 Análisis de valor de Monóxido de carbono (CO)

5.3.5.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 51 Análisis de varianza de CO a 4400rpm.
Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	0,7497	10	0,074967	9,79	0,000
Error	0,3369	44	0,007656		
Total	1,0866	54			

Tabla 5. 52 Descriptivos de las muestras del valor de CO a 4400rpm.
Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	0,5540	0,0270	0,4751	0,6329
E10	5	0,868	0,241	0,789	0,947
E20	5	0,7200	0,0235	0,6411	0,7989
E30	5	0,70200	0,01483	0,62314	0,78086
E40	5	0,86200	0,01643	0,78314	0,94086
E50	5	0,7000	0,0354	0,6211	0,7789
E60	5	0,9000	0,0600	0,8211	0,9789
E70	5	0,7400	0,0274	0,6611	0,8189
E80	5	0,6160	0,0365	0,5371	0,6949
E90	5	0,8800	0,0935	0,8011	0,9589
E100	5	0,9100	0,0919	0,8311	0,9889

5.3.5.2 Gráfica de intervalos

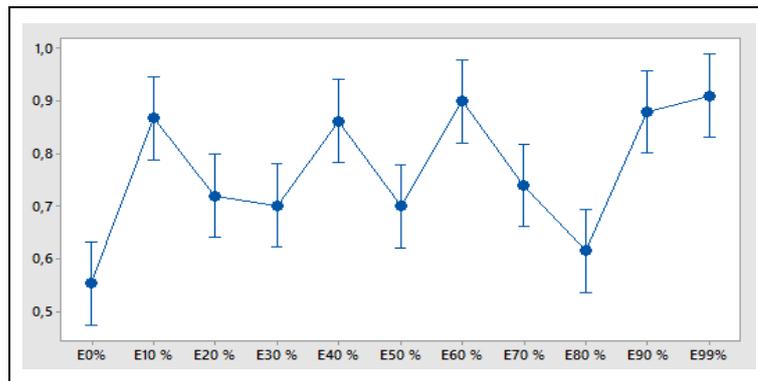


Figura 5. 62 Gráfica de intervalos de CO a 4400rpm
Fuente: Autores

5.3.5.3 Diagrama de cajas simultáneas

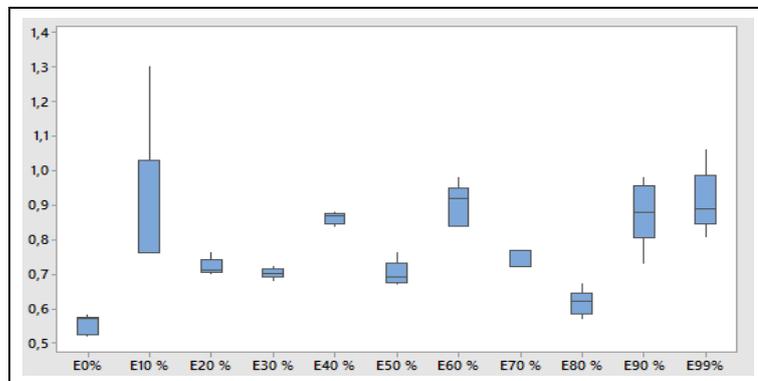


Figura 5. 63 Diagrama de cajas de CO a 4400rpm.
Fuente: Autores

5.3.6 Análisis de valor de rpm

5.3.6.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 53 Análisis de varianza de rpm a 4400rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	1260075	10	126007	156,43	0,000
Error	35442	44	806		
Total	1295517	54			

Tabla 5. 54 Descriptivos de las muestras del valor de rpm a 4400rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	4399,15	12,40	4373,57	4424,73
E10	5	4124,1	40,7	4098,5	4149,7
E20	5	4406,22	4,74	4380,64	4431,80
E30	5	4406,22	5,92	4380,64	4431,80
E40	5	4413,29	5,92	4387,71	4438,87
E50	5	4307,2	32,6	4281,7	4332,8
E60	5	4426,72	12,35	4401,14	4452,30
E70	5	4801,4	54,8	4775,9	4827,0
E80	5	4476,2	26,0	4450,6	4501,8
E90	5	4449,3	44,7	4423,8	4474,9
E99	5	4459,25	8,14	4433,67	4484,83

5.3.6.3 Gráfica de intervalos

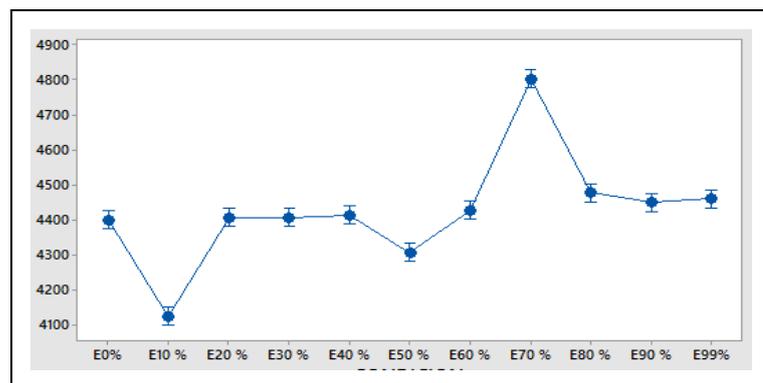


Figura 5. 64 Grafica de media de rpm a 4400rpm

Fuente: Autores

5.3.6.4 Diagrama de cajas simultáneas

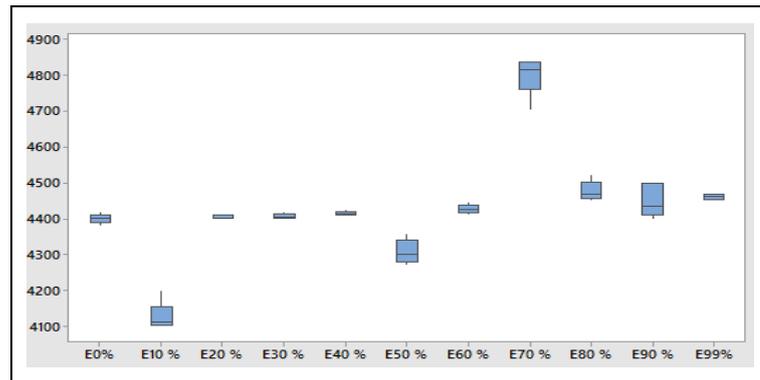


Figura 5. 65 Diagrama de cajas de rpm a 4400rpm.

Fuente: Autores

5.3.7 Análisis de valor de Torque

5.3.7.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 55 Análisis de varianza de Torque a 4400rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	203,531	10	20,3531	255,92	0,000
Error	3,964	44	0,0901		
Total	207,495	54			

Tabla 5. 56 Descriptivos de las muestras del valor de Torque a 4400rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	2,8000	0,1871	2,5295	3,0705
E10	5	8,200	0,735	7,929	8,471
E20	5	2,3200	0,1789	2,0495	2,5905
E30	5	2,400	0,224	2,129	2,671
E40	5	1,560	0,297	1,289	1,831
E50	5	2,0400	0,1817	1,7695	2,3105
E60	5	1,440	0,261	1,169	1,711
E70	5	2,7200	0,0447	2,4495	2,9905
E80	5	2,800	0,308	2,529	3,071
E90	5	0,3000	0,1225	0,0295	0,5705
E100	5	1,5400	0,1817	1,2695	1,8105

5.3.7.2 Gráfica de intervalos

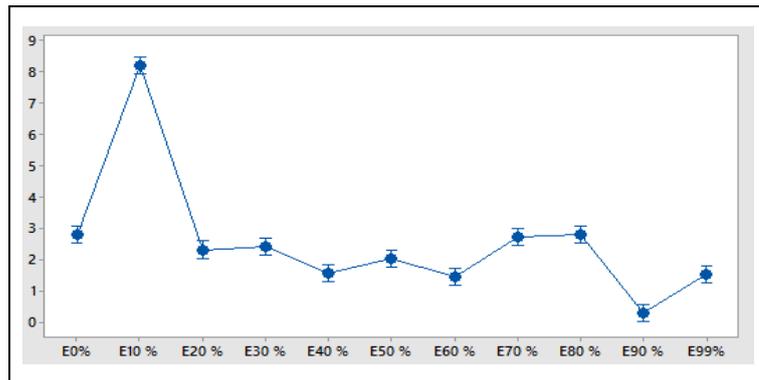


Figura 5. 66 Gráfica de intervalos de Torque a 4400rpm
Fuente: Autores

5.3.7.3 Diagrama de cajas simultáneas

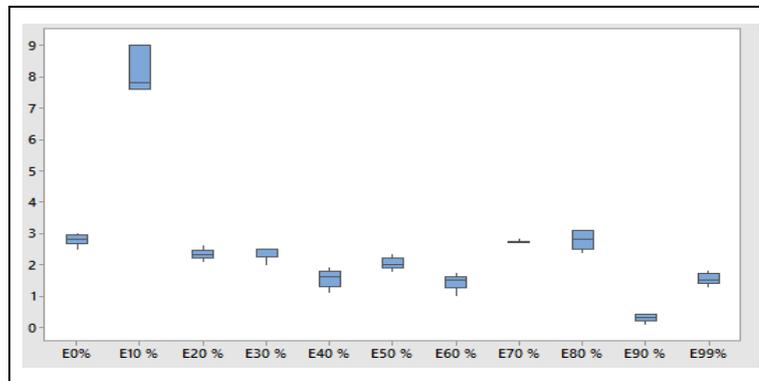


Figura 5. 67 Diagrama de cajas de Torque a 4400rpm.
Fuente: Autores

5.3.8 Análisis de valor de Potencia

5.3.8.1 Análisis de varianza

Tabla 5. 57 Análisis de varianza de Potencia a 4400rpm.

Fuente: Autores

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor-p
CONDICION	37,6095	10	3,76095	209,38	0,000
Error	0,7904	44	0,01796		
Total	38,3999	54			

Tabla 5. 58 Descriptivos de las muestras del valor de Potencia a 4400rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	1,2860	0,0924	1,1652	1,4068
E10	5	3,554	0,306	3,433	3,675
E20	5	1,0600	0,0758	0,9393	1,1808
E30	5	1,0700	0,0975	0,9492	1,1908
E40	5	0,7240	0,1448	0,6032	0,8448
E50	5	0,9300	0,0711	0,8092	1,0508
E60	5	0,6700	0,1304	0,5492	0,7908
E70	5	1,3560	0,0329	1,2352	1,4768
E80	5	1,3080	0,1559	1,1872	1,4288
E90	5	0,1500	0,0612	0,0292	0,2708
E99	5	0,7200	0,0908	0,5992	0,8408

5.3.8.2 Gráfica de intervalos

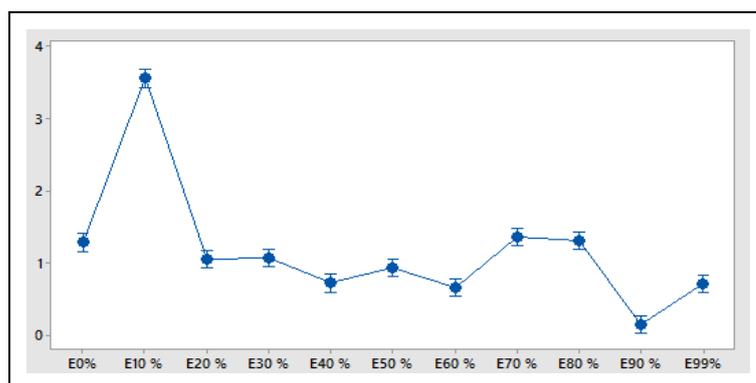


Figura 5. 68 Gráfica de intervalos de Potencia a 4400rpm

Fuente: Autores

5.3.8.3 Diagrama de cajas simultáneas

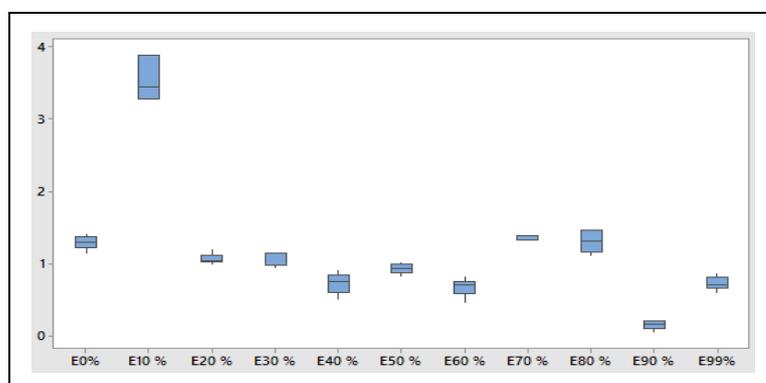


Figura 5. 69 Diagrama de cajas de Potencia a 4400rpm.

Fuente: Autores

5.3.9 Valores de las Energías a 4400 rpm

Tabla 5. 59 Análisis de varianza de la Energías a 4400rpm.
Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	102,97	10,36	93,67	112,26
E10	5	62,05	3,97	52,75	71,34
E20	5	102,41	12,49	93,12	111,70
E30	5	106,53	7,91	97,24	115,82
E40	5	96,22	4,08	86,93	105,51
E50	5	96,36	13,24	87,07	105,65
E60	5	102,29	13,01	93,00	111,58
E70	5	149,57	14,94	140,28	158,86
E80	5	115,80	11,20	106,50	125,09
E90	5	102,97	10,36	93,67	112,26
E100	5	106,58	3,28	97,28	115,87

5.3.9.1 Gráfica de intervalos

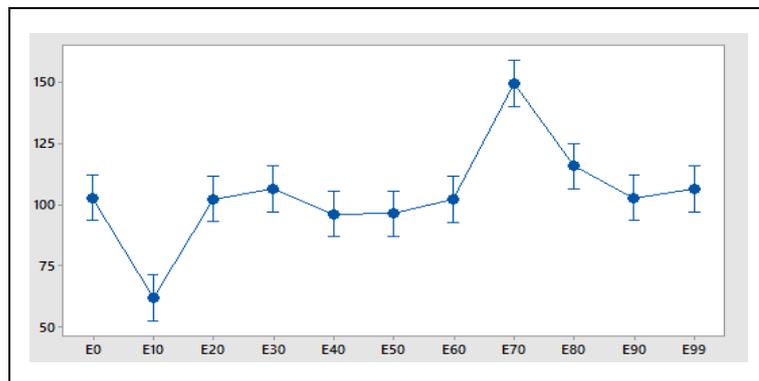


Figura 5. 70 Gráfica de intervalos de las Energías a 4400rpm.
Fuente: Autores

5.3.9.2 Diagrama de cajas simultáneas

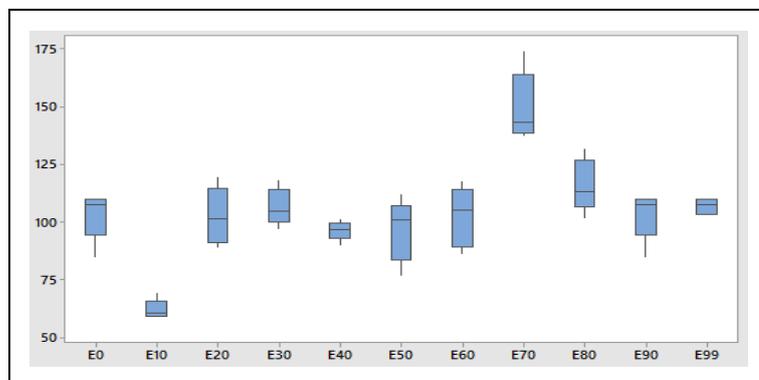


Figura 5. 71 Diagrama de cajas de las Energías a 4400rpm.
Fuente: Autores

5.3.10 Valores de la Potencia a 4400 rpm

Tabla 5. 60 Análisis de varianza de la Potencia a 4400rpm.

Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	0,000323	0,000048	0,463122	0,463768
E10	5	0,000213	0,000013	0,463232	0,463658
E20	5	0,000354	0,000019	0,463091	0,463799
E30	5	0,000350	0,000017	0,463095	0,463795
E40	5	0,000330	0,000008	0,463115	0,463775
E50	5	0,000333	0,000034	0,463112	0,463778
E60	5	0,000344	0,000057	0,463101	0,463789
E70	5	0,000477	0,000026	0,462968	0,463922
E80	5	0,000378	0,000020	0,463067	0,463823
E90	5	0,000323	0,000048	0,463122	0,463768
E100	5	0,763	1,705	0,300	1,226

5.3.10.1 Gráfica de intervalos

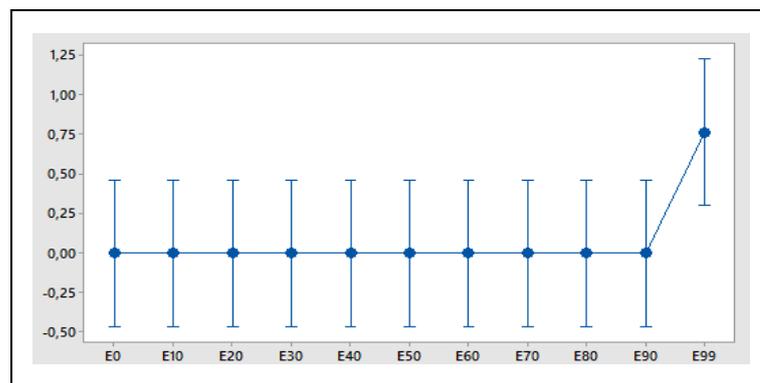


Figura 5. 72 Gráfica de intervalos de la Potencia a 4400rpm

Fuente: Autores

5.3.10.2 Diagrama de cajas simultáneas

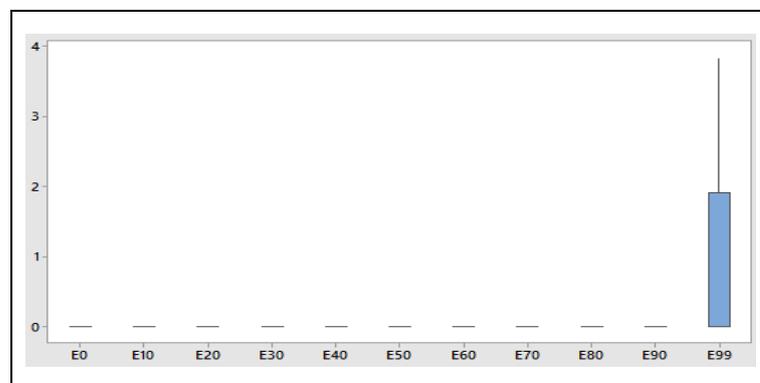


Figura 5. 73 Diagrama de cajas de las Potencia a 4400rpm.

Fuente: Autores

5.3.11 Valores del Factor de curtosis a 4400 rpm

Tabla 5. 61 Análisis de varianza del factor de curtosis a 4400rpm
Fuente: Autores

	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	3,6964	0,1922	3,2639	4,1288
E10	5	3,9317	0,1796	3,4993	4,3642
E20	5	3,2726	0,1462	2,8402	3,7051
E30	5	3,892	0,228	3,459	4,324
E40	5	3,5197	0,0695	3,0872	3,9521
E50	5	2,771	1,499	2,338	3,203
E60	5	3,5121	0,1528	3,0796	3,9445
E70	5	3,2594	0,1753	2,8269	3,6919
E80	5	3,3363	0,1828	2,9038	3,7687
E90	5	3,6964	0,1922	3,2639	4,1288
E100	5	3,6283	0,1188	3,1958	4,0607

5.3.11.1 Gráfica de intervalos

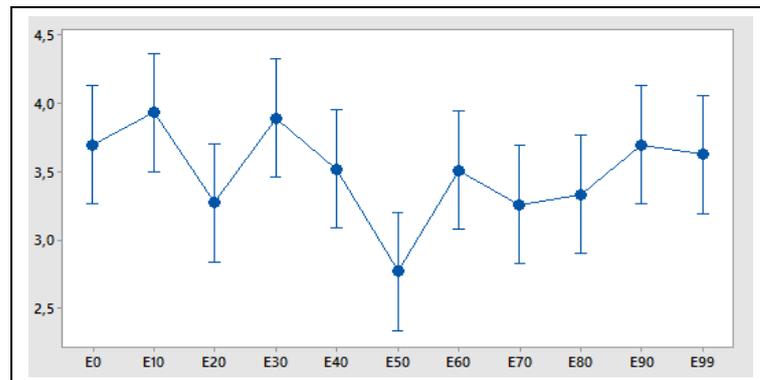


Figura 5. 74 Grafica de media del factor de curtosis a 4400rpm
Fuente: Autores

5.3.11.2 Diagrama de cajas simultáneas

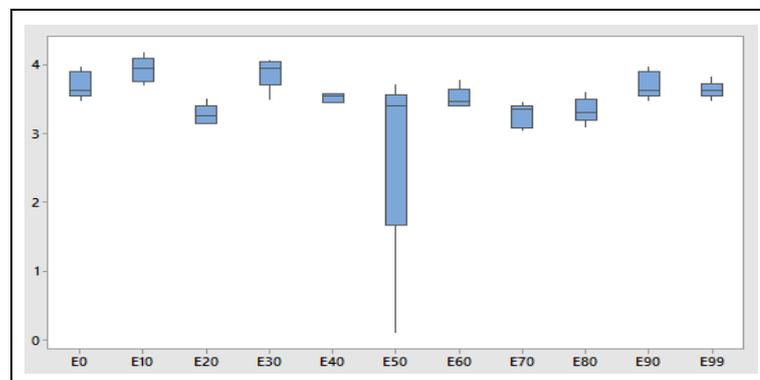


Figura 5. 75 Diagrama de cajas del factor de curtosis a 4400rpm.
Fuente: Autores

5.3.12 Valores del valor RMS a 4400 rpm

Tabla 5. 62 Análisis de varianza del valor RMS a 4400rpm.

Fuente: Autores

Mezcla	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	0,017938	0,001365	0,017096	0,018780
E10	5	0,014590	0,000430	0,013748	0,015432
E20	5	0,018819	0,000513	0,017977	0,019661
E30	5	0,018693	0,000443	0,017851	0,019535
E40	5	0,018165	0,000208	0,017323	0,019007
E50	5	0,018236	0,000927	0,017394	0,019078
E60	5	0,018487	0,001556	0,017645	0,019329
E70	5	0,021833	0,000596	0,020991	0,022675
E80	5	0,019428	0,000523	0,018586	0,020270
E90	5	0,017938	0,001365	0,017096	0,018780
E100	5	0,018371	0,001130	0,017529	0,019213

5.3.12.1 Gráfica de intervalos

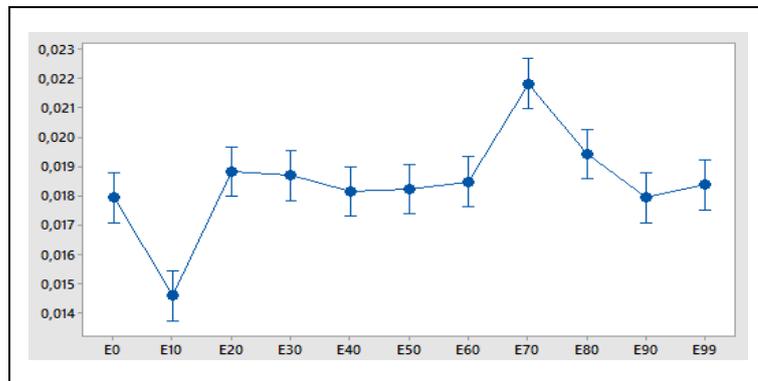


Figura 5. 76 Gráfica de intervalos del valor RMS a 4400rpm

Fuente: Autores

5.3.12.2 Diagrama de cajas simultáneas

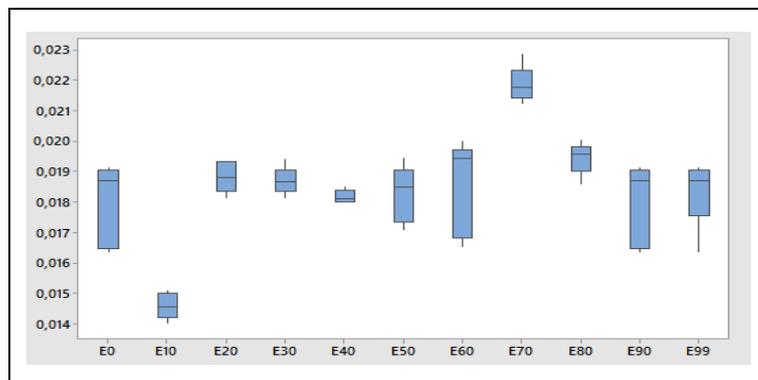


Figura 5. 77 Diagrama de cajas del valor RMS a 4400rpm.

Fuente: Autores

5.3.13 Valores del factor de cresta a 4400 rpm

Tabla 5. 63 Análisis de varianza del Factor de cresta a 4400rpm.
Fuente: Autores

Mezcla	N	Media	Desviación Típica	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
E0	5	5,788	1,017	5,351	6,224
E10	5	5,740	0,467	5,303	6,176
E20	5	4,876	0,488	4,440	5,313
E30	5	5,5650	0,1501	5,1284	6,0016
E40	5	5,424	0,476	4,987	5,860
E50	5	5,391	0,429	4,955	5,828
E60	5	5,762	0,564	5,325	6,199
E70	5	5,111	0,318	4,674	5,547
E80	5	4,6532	0,0840	4,2166	5,0898
E90	5	6,030	0,341	5,594	6,467
E100	5	6,030	0,341	5,594	6,467

5.3.13.1 Gráfica de intervalos

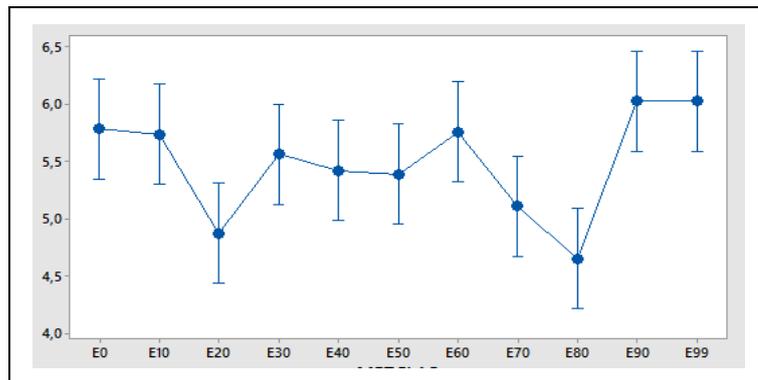


Figura 5. 78 Gráfica de intervalos del factor de cresta a 4400rpm
Fuente: Autores

5.3.13.2 Diagrama de cajas simultáneas

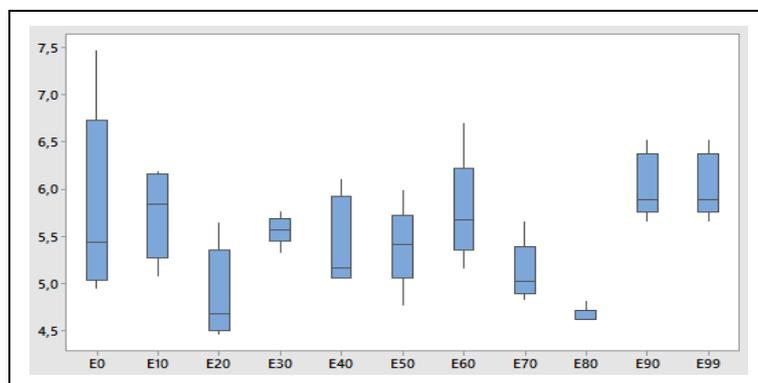


Figura 5. 79 Diagrama de cajas del factor de cresta a 4400rpm.
Fuente: Autores

5.4 Diagramas de los primarios de los parámetros de análisis de las emisiones de gases contaminantes y de los valores que describen el espectro de vibración con respecto a las revoluciones por minuto y mezclas.

5.4.1 Oxígeno (O2)

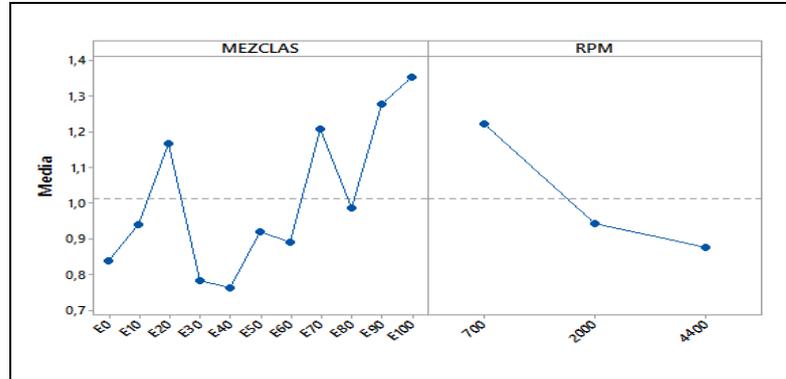


Figura 5. 80 Efectos principales del oxígeno (O2).

Fuente: Autores

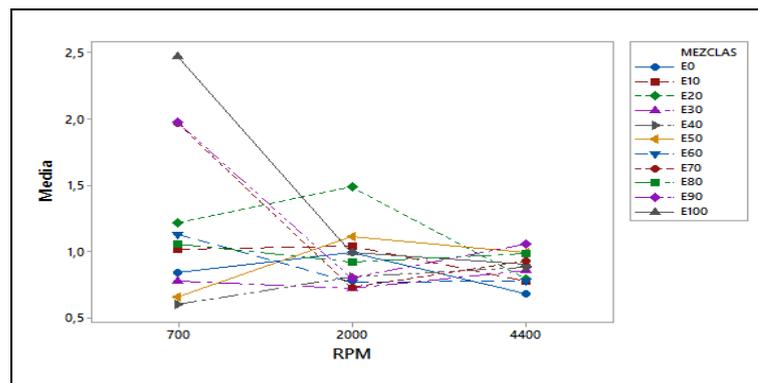


Figura 5. 81 Grafica de iteración para O2.

Fuente: Autores

5.4.2 Dióxido de carbono (CO2)

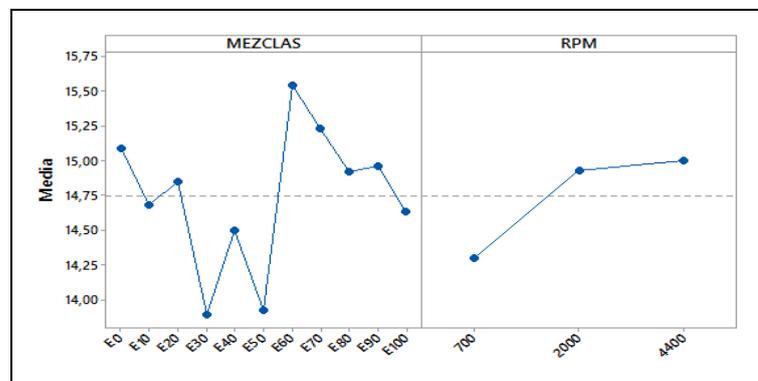


Figura 5. 82 Efectos principales del (CO2).

Fuente: Autores

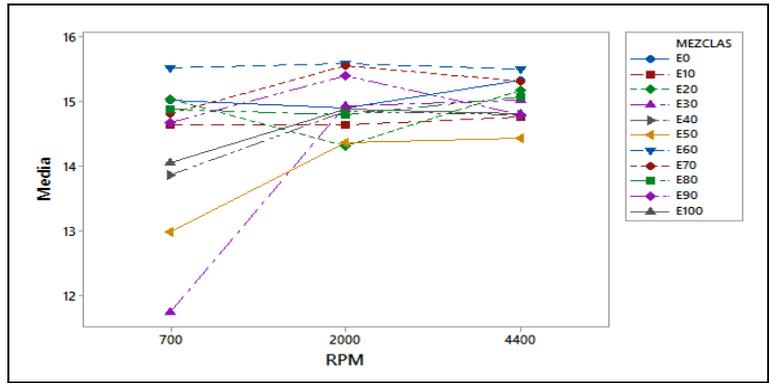


Figura 5. 83 Grafica de iteración (CO2).
Fuente: Autores

5.4.3 Hidrocarburos (HC)

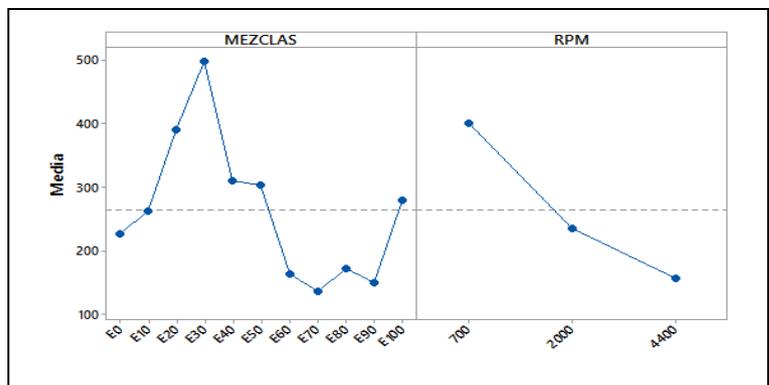


Figura 5. 84 Efectos principales de los hidrocarburos (HC).
Fuente: Autores

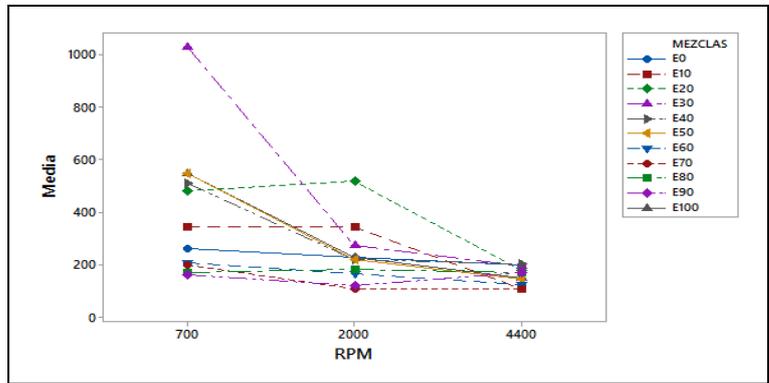


Figura 5. 85 Grafica de interacción (HC).
Fuente: Autores

5.4.4 Monóxido de carbono (CO)

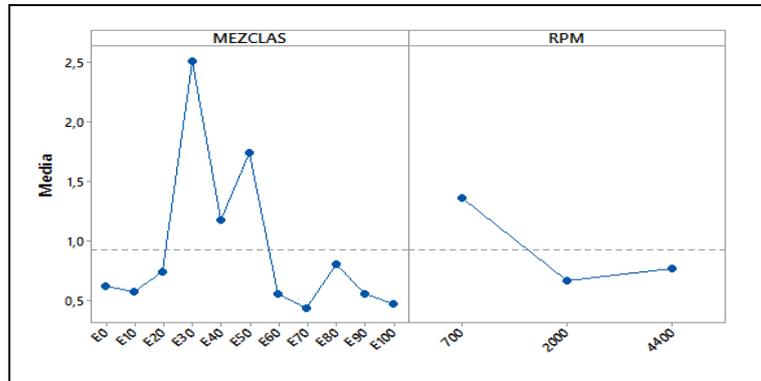


Figura 5. 86 Efectos principales del monóxido de carbono (CO).
Fuente: Autores

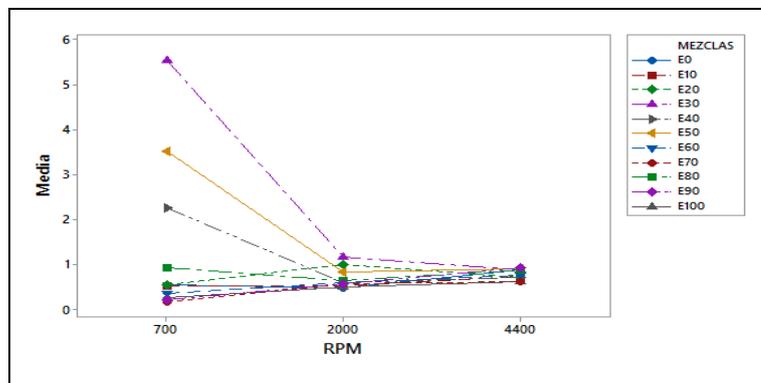


Figura 5. 87 Grafica de interacción de monóxido de carbono (CO).
Fuente: Autores

5.4.5 Torque

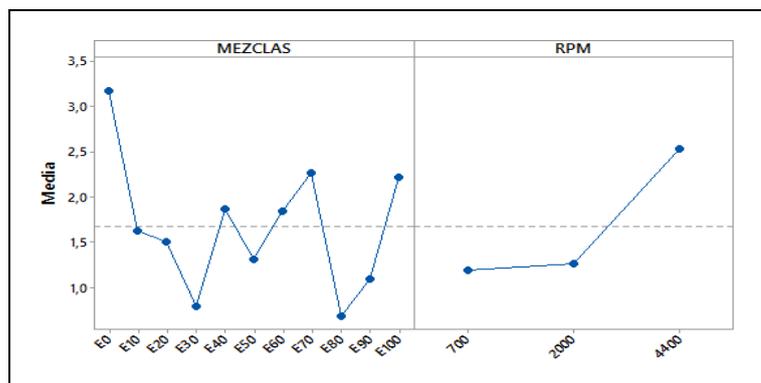


Figura 5. 88 Efectos principales del Torque.
Fuente: Autores

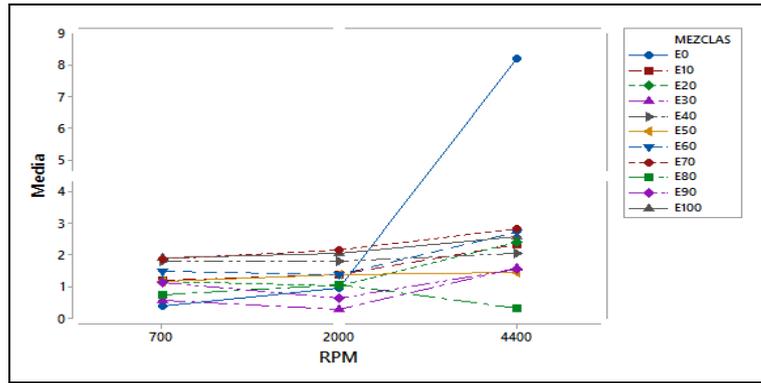


Figura 5. 89 Grafica de interacción del Torque
Fuente: Autores

5.4.6 Potencia

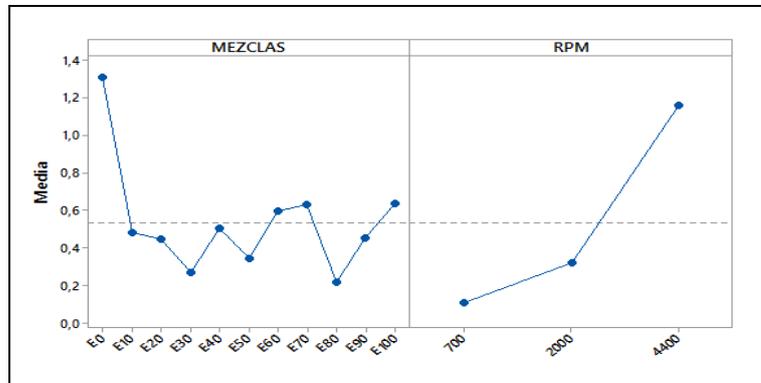


Figura 5. 90 Efectos principales de la potencia
Fuente: Autores

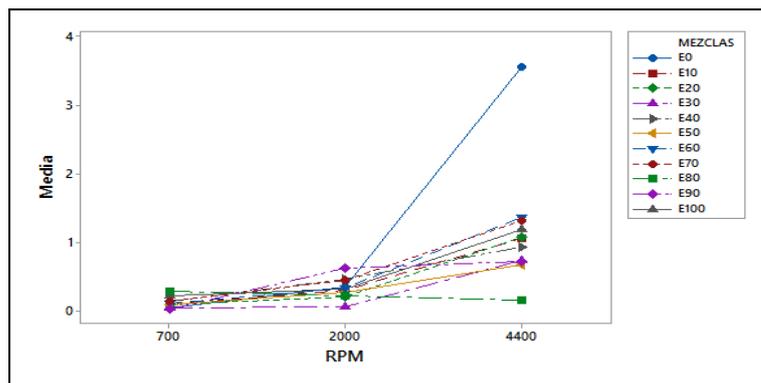


Figura 5. 91 Grafica de interacción de la potencia.
Fuente: Autores

5.5.1 Energías

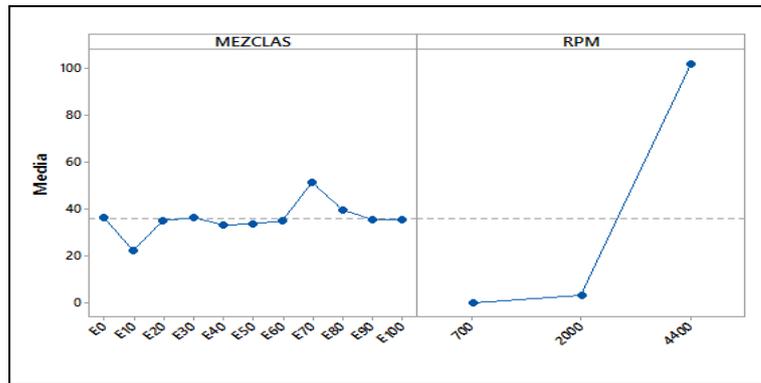


Figura 5.92 Efectos principales de las Energías
Fuente: Autores

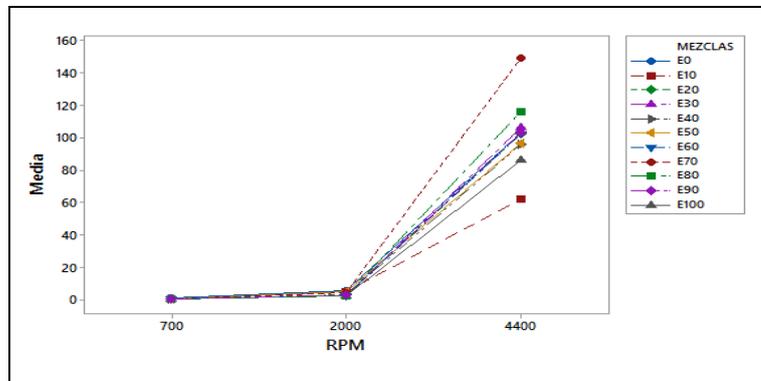


Figura 5.93 Grafica de Iteración de las Energías.
Fuente: Autores

5.5.2 Potencia

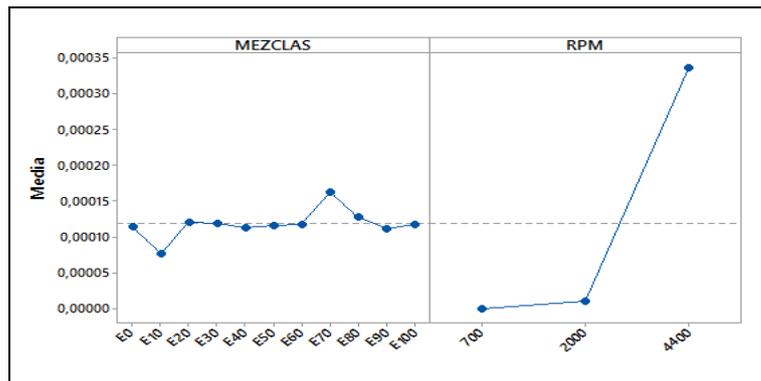


Figura 5.94 Efectos principales de la Potencia.
Fuente: Autores

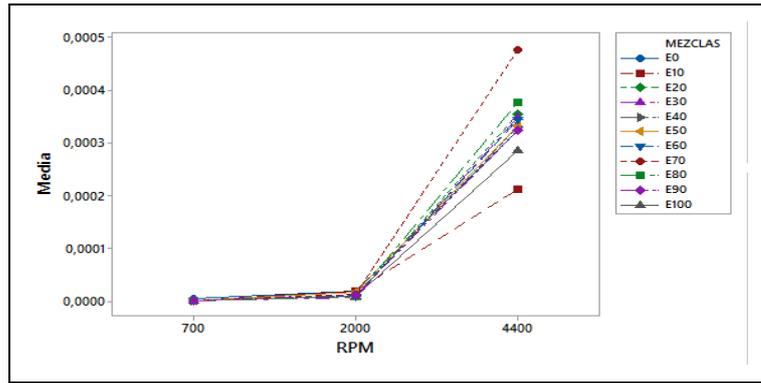


Figura 5. 95 Grafica de interacción la Potencia.
Fuente: Autores

5.5.3 Factor de curtosis

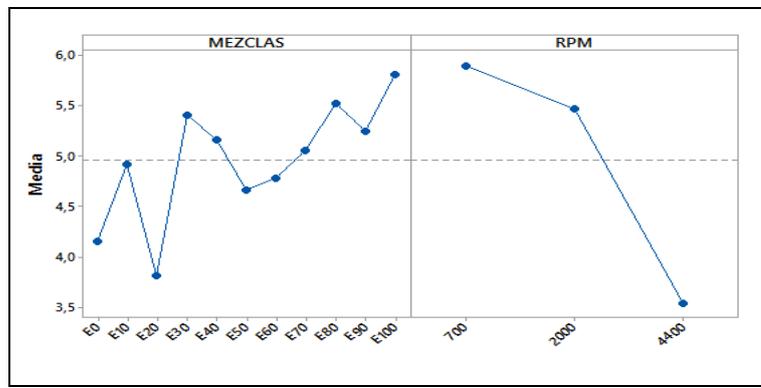


Figura 5. 96 Efectos principales del Factor de curtosis.
Fuente: Autores

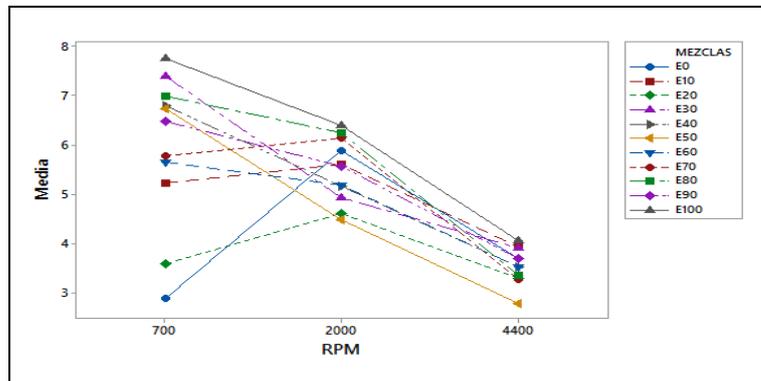


Figura 5. 97 Grafica de interacción del Factor de curtosis.
Fuente: Autores

5.5.4 Valor RMS

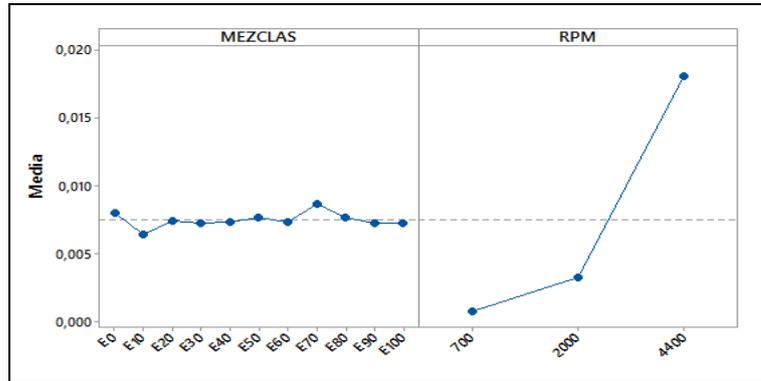


Figura 5. 98 Efectos principales del valor RMS.
Fuente: Autores

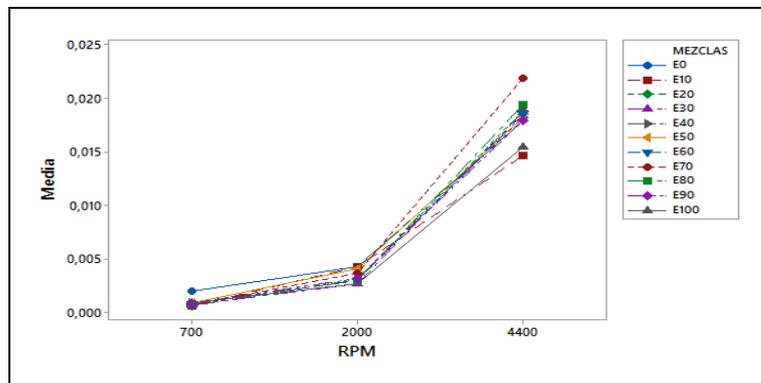


Figura 5. 99 Grafica de interacción del Valor RMS.
Fuente: Autores

5.5.5 Factor de cresta

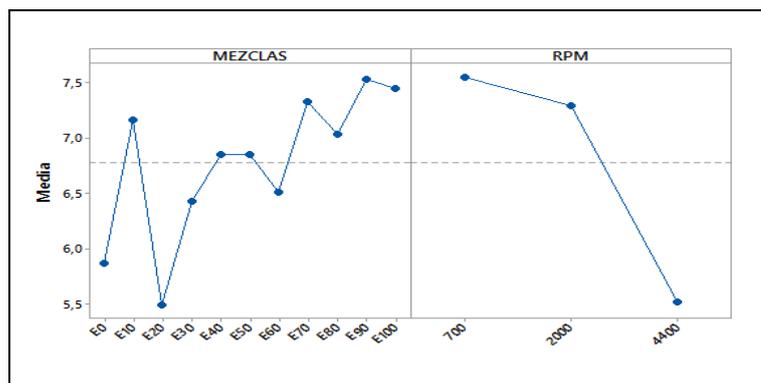


Figura 5. 100 Efectos principales del Factor de Cresta.
Fuente: Autores

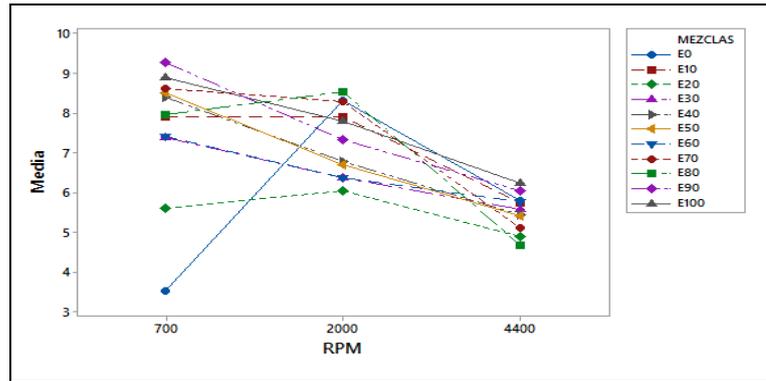


Figura 5. 101 Grafica de interacción del Factor de cresta
Fuente: Autores

5.6 Análisis del comportamiento de los espectros de vibración mediante frecuencia-amplitud de los picos más prolongados.

Para identificar los armónicos y sus derivados de los espectros de vibración se asocia la frecuencia con la velocidad de giro del motor, dividiendo las rpm para 60 y el resultado de esta división proporciona directamente la frecuencia de funcionamiento del motor y luego lo caracterizamos en términos de X,(1x, 2x, 3x,etc).

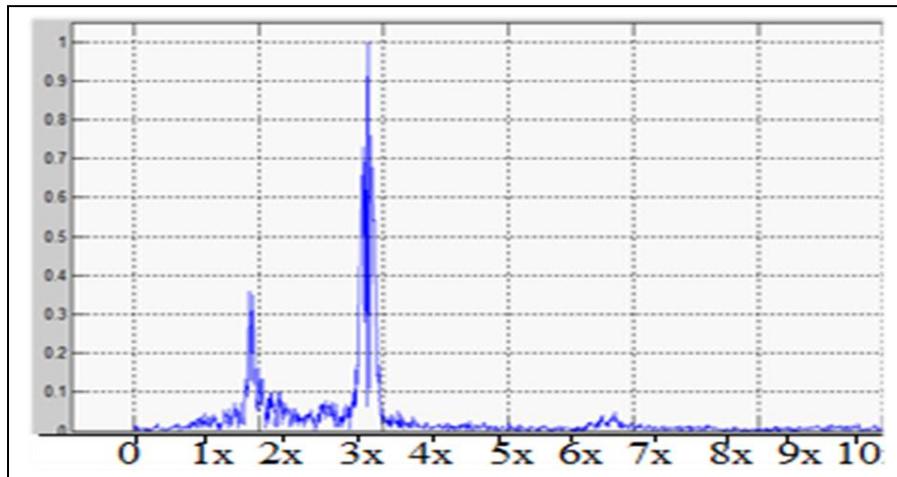


Figura 5. 102 Espectro de vibración dominio frecuencia E0 700rpm.
Fuente: Autores

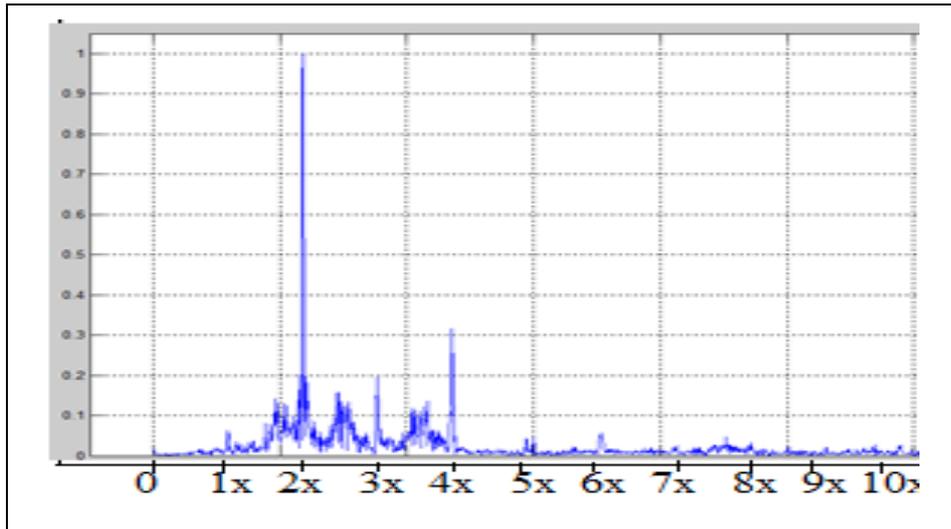


Figura 5. 103 Espectro de vibración dominio frecuencia E10 700rpm.
Fuente: Autores

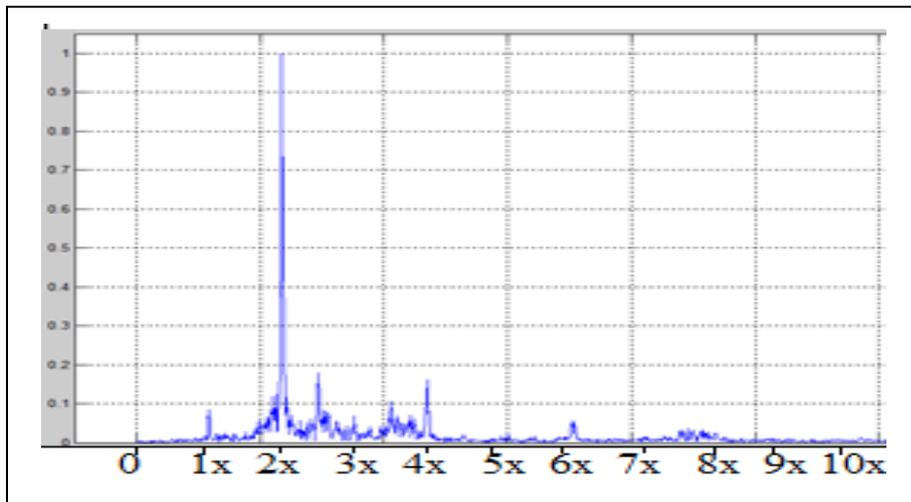


Figura 5. 104 Espectro de vibración dominio frecuencia E80 700rpm.
Fuente: Autores

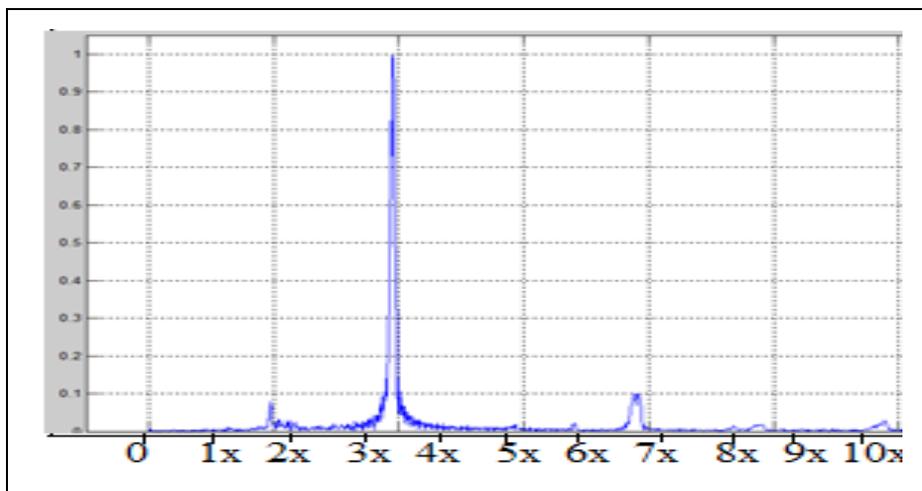


Figura 5. 105 Espectro de vibración dominio frecuencia E0 2000rpm.
Fuente: Autores

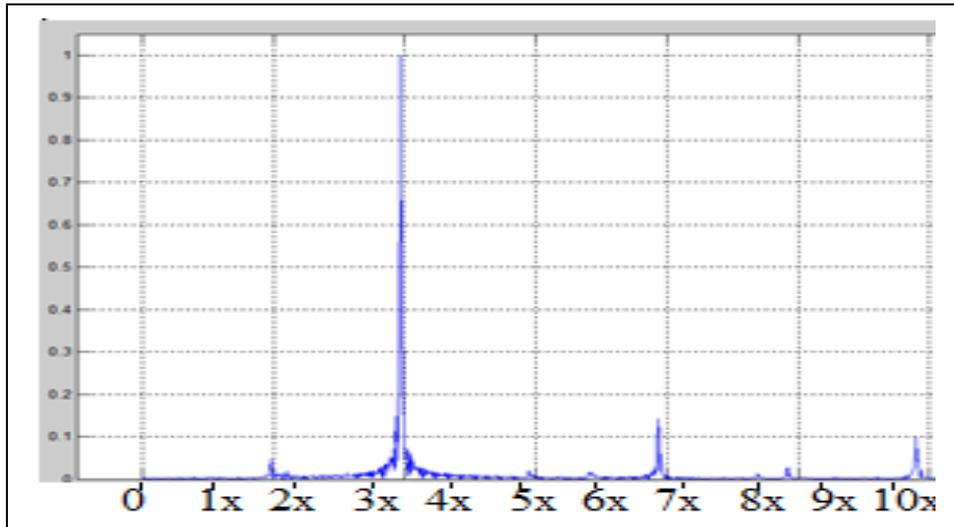


Figura 5. 106 Espectro de vibración dominio frecuencia E10 2000rpm.
Fuente: Autores

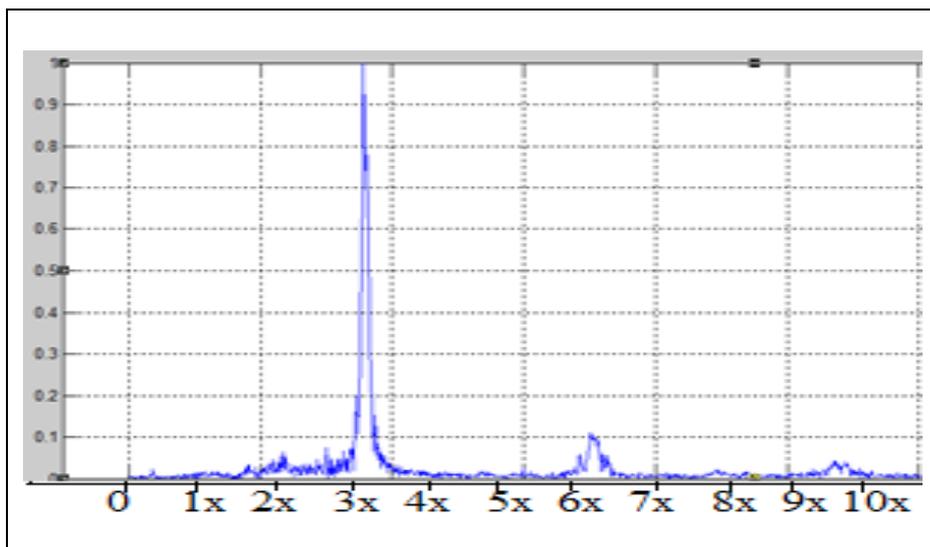


Figura 5. 107 Espectro de vibración dominio frecuencia E80 2000rpm.
Fuente: Autores

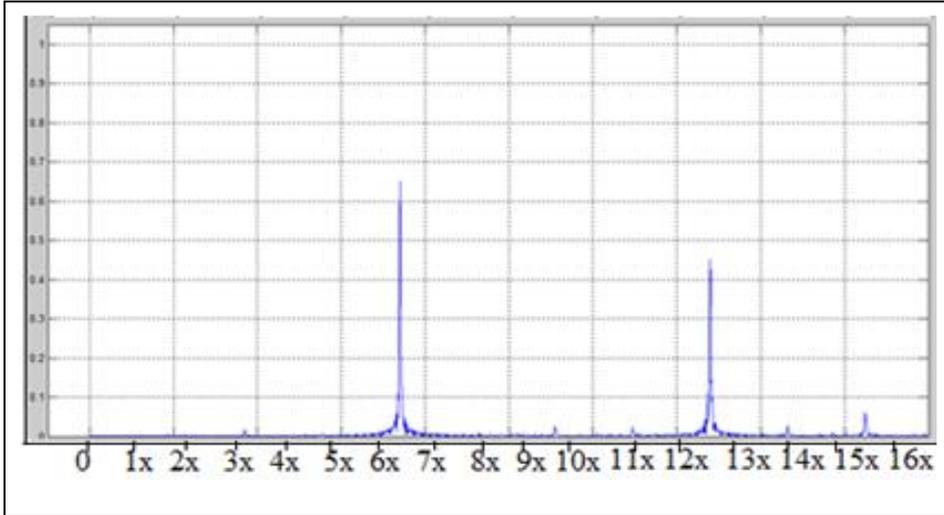


Figura 5. 108 Espectro de vibración dominio frecuencia E0 4400rpm.
Fuente: Autores

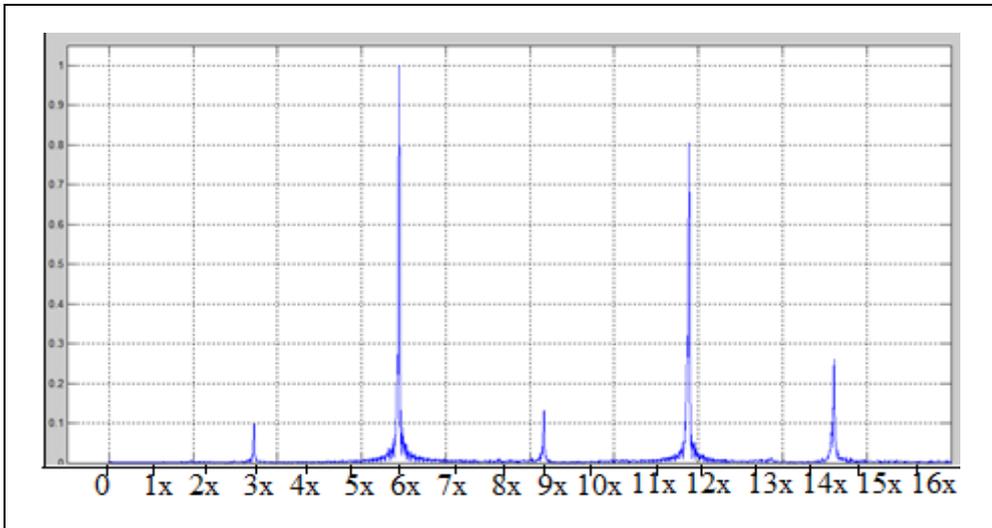


Figura 5. 109 Espectro de vibración dominio frecuencia E10 4400rpm.
Fuente: Autores

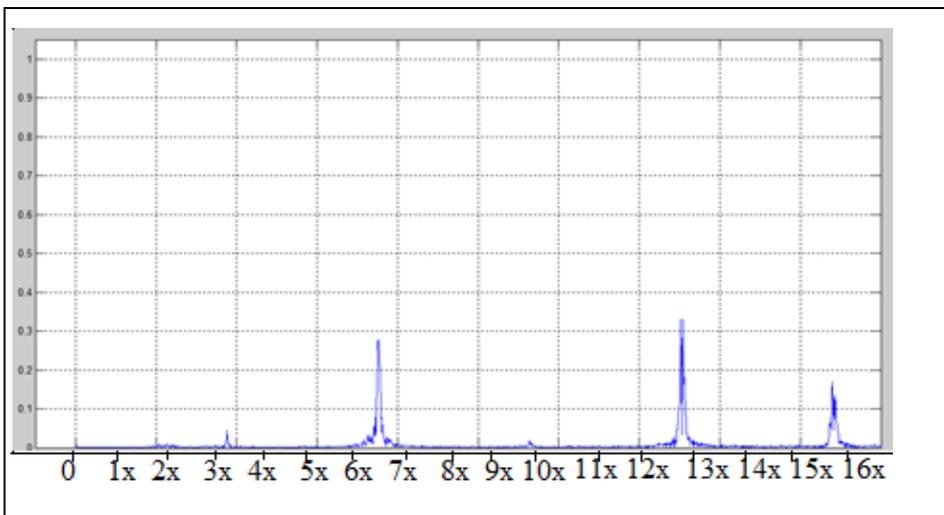


Figura 5. 110 Espectro de vibración dominio frecuencia E80 4400rpm.
Fuente: Autores

Tabla 5. 64 Datos de los espectros de vibración en Frecuencia-amplitud.

Fuente: Autores

	700 RPM			2000 RPM			4400 RPM		
	E0	E10	E80	E0	E10	E80	E0	E10	E80
x/2									
X									
1,5x	0,38								
2x									0,09
Combustión	0,91	0,98	0,75						
2,5x									
3x								0,09	0,008
Combustión				0,82	0,69	0,79			
3,5x							0,019		
4x		0,31	0,15						
4,5x	0,025								
5x									
5,5x									
6x		0,06	0,06						
Combustión							0,65	0,8	0,29
6,5x	0,046								
7x				0,15	0,14				
7,5x			0,038			0,019			
8x		0,045							
8,5									
9								0,06	
9,5							0,025		0,04
10x									
10,5x								0,01	
11x							0,025		
11,5x									
12x				0,05	0,07			0,22	
12,5x						0,14			
13x							0,45		0,32
13,5x								0,01	
14x				0,9	0,043	0,032			
14,5x							0,025		
15x								0,30	
15,5x									
16x							0,062		
16,5x	0,008								0,18
17x									

Análisis

En el análisis de los espectros de vibración correspondientes a los patrones de las mezclas E0 E10 y E80, estas representan el mejor desempeño del motor a 700 rpm. Para poder realizar el análisis se recurre a identificar, en primera instancia, las frecuencias de la velocidad de rotación del motor, correspondiente al orden 1x y con ello sus respectivos armónicos 2x,3x,4x,etc y subarmónicos. En la señal existe un pico que se le asocia con el ruido de la combustión la cual está presente en todas las tres mezclas, entre los armónicos 2x y 3x con una amplitud de 1g. Debiéndose este fenómeno a las mismas condiciones de funcionamiento del motor, al momento de la adquisición de datos.

En los patrones de las mezclas E0, E10 y E80 a una velocidad de giro del motor de 2000 rpm, de la misma manera se identifica la frecuencia de funcionamiento a 1x y sus armónicos y subarmónicos presentes en la señal. En esta etapa de funcionamiento sigue prevaleciendo un pico de amplitud 1g desfasado y ubicado entre las frecuencias

que corresponden al armónico 3x y 4x se le asocia con el ruido propio de la combustión.

En la muestra de la frecuencia de funcionamiento del motor a 4400 rpm que recae en 1x y también se identifica los armónicos y subarmónicos, dentro de los armónicos 5x y 6x de amplitud que va desde 0,6 a 08. A estas revoluciones el motor comienza a fallar cuando está trabajando con la mezcla E80 esta anomalía se la relaciona con el diseño de los componentes del sistema de alimentación del motor ya que a altas concentraciones de etanol en el combustible, se requiere de modificaciones en los componentes.

Para la ubicación de las frecuencias de los picos más significativos presentes en cada una de las mezclas de combustible y localización de amplitudes, se consideró una tolerancia de $\pm 5\%$ debido a que la velocidad de giro del motor no es constante.

La amplitud de la señal que representa a la combustión se puede visualizar que para los regímenes de giro de 700 y 2000 rpm son constantes, mientras que para el régimen de giro a 4400rpm se produce una disminución de la amplitud en la mezcla E80 con respecto a las dos mezclas. Al utilizar una mezcla con alto contenido de etanol hace que el motor se someta a trabajos más fuertes por lo cual se necesita realizar una modificación de los elementos del motor como modificar la cámara de combustión, válvulas, pistones y todos los elementos que se vean influenciados con la generación de trabajo del motor. Por este motivo se decide la utilización de la mezcla E10 es la mezcla que mejor cumple con los parámetros con respecto a las demás mezclas antes estudiadas.

CONCLUSIONES

Mediante el análisis de los datos adquiridos se llegó a determinar la mezcla E10 como la óptima para el funcionamiento del motor sin modificación en sus componentes y con este se logra una considerable reducción de las emisiones contaminantes sin alterar significativamente el espectro de vibración.

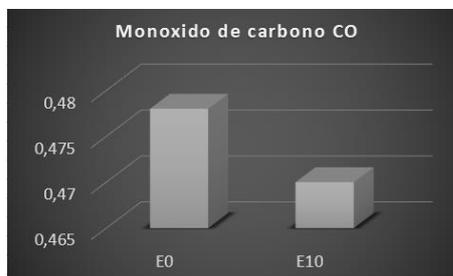
En las siguientes tablas presentamos los datos de cada uno de los parámetros analizados, con la cual verificaremos el cumplimiento de nuestra hipótesis planteada la misma que es mediante la adición de etanol se logrará un incremento del 10% de la potencia y torque, y una reducción del 5% en la emisión de hidrocarburos no combustionados sin alterar el espectro de vibraciones.

Mediante los análisis de los resultados llegamos a determinar que la mezcla que cumple con el mayor número de parámetros de las emisiones de gases contaminantes, como los espectros de vibración planteados en nuestra hipótesis es la mezcla **E10**, es decir la mezcla que contiene el diez por ciento de etanol y el noventa por ciento de gasolina extra de 82 octanos, existen otras mezclas que se asemejan al cumplimiento de la hipótesis pero se descartan debido a que necesita una mayor concentración de etanol, por lo tanto se tendrá un mayor costo, en esto no se ve reflejado los resultados en relación al costo de inversión.

El etanol al ser un combustible cien por ciento miscible con agua no se puede utilizar en altas concentraciones ya puede generar daños en el sistema de alimentación o se puede dar el caso que se necesite realizar una modificación de los componentes con materiales más resistentes.

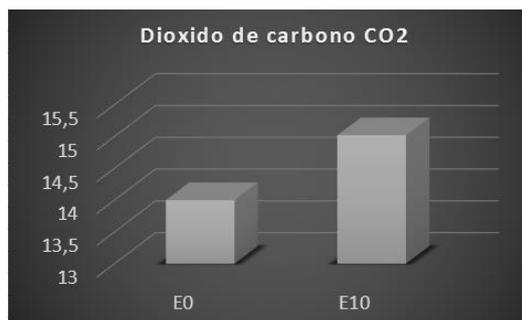
Monóxido de carbono (CO)

Mediante el experimento se determinó que al incrementar la cantidad de etanol en las mezclas, se produce una reducción en la emisión de CO. Esto va depender de las condiciones de funcionamiento del motor. El etanol contiene un átomo de oxígeno en su forma básica y al mezclarlo con el combustible este proporciona una mayor cantidad de oxígeno en el proceso de combustión, teniendo la reducción de emisión de este gas contaminante.



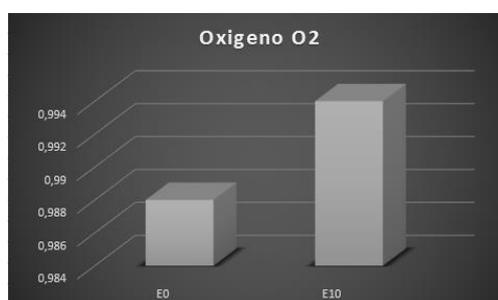
Dióxido de carbono (CO2)

Si existe mayor cantidad de oxígeno en la mezcla se mejora el proceso de combustión y por lo tanto se va tener un incremento en la emisión de CO2, además va depender de las condiciones de operación del motor.



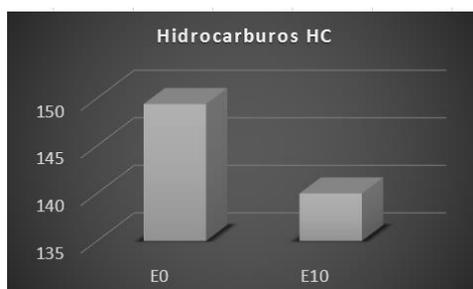
Oxígeno (O2)

Al tener un combustible con una alta concentración de oxígeno, existe un incremento en la emisión de este gas, debido a que al tener más cantidad de oxígeno en la mezcla se mejora el proceso de combustión.



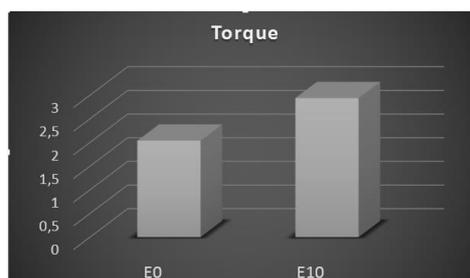
Hidrocarburos (HC)

La presencia de los hidrocarburos en los gases contaminantes se debe a que existe una combustión incompleta. En la mezcla E10 existe una reducción en la emisión de este gas con respecto a las emisiones de la mezcla E0. esto se da debido a que existe una mayor cantidad de oxígeno que brinda el etanol.



Torque

El valor del torque en nuestro caso necesitamos que se incremente o al menos se mantenga para este caso tenemos que se da un incremento del 5%.



RECOMENDACIONES

En futuros análisis de vibraciones se recomienda utilizar los archivos de la base datos y realizar los el análisis mediante la transformada rápida de Fourier teniendo en cuenta los parámetros de factores de cresta de una determinada cantidad de picos para tener una mejor perspectiva de estudio.

En la adquisición de los espectros de vibración se recomienda tomar un valor bajo de la frecuencia de muestreo para optimizar el tiempo de análisis.

Tener en cuenta que el motor que cumpla con los parámetros de funcionamiento al momento de adquirir muestras, ya que de esto dependerán la fiabilidad del análisis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Yunus, Termodinamica, Mexico: Mac Graw- Hill, 2007.
- [2] Sistema Termodinamicos, 2014.
- [3] J. A. Camarillo Montero , ESTUDIO DE LA COMBUSTIÓN DE UN MOTOR MONOCILÍNDRICO DE IGNICIÓN ALIMENTADO CON MEZCLAS GASOLINA-ETANOL ANHIDRO E HIDRATADO A DISTINTAS CONCENTRACIONES, Veracruz Mexico: Limusa, 2011.
- [4] -g. Wonmi, Automotive emission analyzer QGA/NGA 6000, Korea: Copyright (c) NEXTECH., LTD, 2012.
- [5] S. E. Diaz, Medicion y Analisis de vibracion.
- [6] G. White, Introduccion al Analisis de vibraciones, U.S.A: Azima DLI, 2010.
- [7] G. Rossas, "Estudio de vibraciones mecanicas enmaquinas reciprocantes", Bucaramanga, 2004.
- [8] M. H. Criollo Olger, "Diagnostico de fallo en la combustion para motores de combustion interna alternativos Diesel por analisis de vibraciones", Cuenca, 2014.
- [9] D. Armfield, Engineering Teaching & Research Equipament, England: Copyright and Trademarks, 2012.
- [10] I. D. Valladolid, «Caracterizacion de señales, espectro y Filtro». Ecuador 16 12 2014.
- [11] S. Murray, J. Schiller y A. Srinivasan, Teoria y problemas de PROBABILIDAD Y ESTADISTICA, Mexico DF: mC gRAW Hill, 2003.
- [12] W. T. THOMSON, Teoria de vibraciones Aplicaciones, Mexico: Pentice Hall, 1982.
- [13] M. R. Spiegel, Estadistica, CHILE: McGraw-Hill, 1997.
- [14] D. Armfield, Engineering Teaching & Research Equipamente, England: Copyright and Trademarks, 2012.
- [15] M. C. J. V. Cesar Guerra, Fundamentos de las vibraciones mecanicas, Cuautitlan : FIME UANL, 2005.
- [16] White, G, Introduccion al analisis de vibraciones.

Tabla 5. 65 Datos generales de los factores de análisis a 700 RPM. Fuente: Autores

700 rpm	E0	E10	E20	E30	E40	E50	E60	E70	E80	E90	E100
O ₂	2,728	0,8400	1,01600	1,2160	0,7740	0,60000	0,65600	1,1260	1,9680	1,0560	1,9760
CO ₂	14,0000	15,0200	14,6400	15,0400	11,7400	13,8600	12,9800	15,5200	14,8200	14,8800	14,6800
HC	567,00	259,600	342,600	480,80	1028,8	509,8	547,00	205,200	197,60	169,600	162
CO	0,2680	0,5340	0,51200	0,53400	5,5320	2,256	3,5180	0,34800	0,14400	0,9180	0,21200
Torque	2,063	0,360	1,2000	1,140	0,5400	1,7800	1,1602	1,460	1,8600	0,740	1,120
Pot	0,2258	0,02800	0,08600	0,08200	0,04000	0,13000	0,08577	0,1080	0,13800	0,2800	0,02200
Energía	1,0729	0,10061	0,09243	0,13329	0,21711	0,197123	0,16496	0,12479	0,18932	0,16924	0,19761
Potencia	0,000004	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001	0,000001	0,000001	0,000000	0,000001	0,000001	0,000001
Factor curtosis	2,8824	5,2147	3,5757	7,401	6,795	6,741	5,6533	5,770	6,989	6,485	7,870
Valor RMS	0,00191	0,000573	0,000544	0,000668	0,000844	0,000818	0,00744	0,000614	0,000786	0,000766	0,000827
Factor Cresta	3,5053	7,884	5,5929	7,383	8,381	8,493	7,409	8,609	7,9505	9,272	9,000

Tabla 5. 66 Datos generales de los factores de análisis a 2000 RPM. Fuente: Autores

2000 rpm	E0	E10	E20	E30	E40	E50	E60	E70	E80	E90	E100
O ₂	0,98800	0,9940	1,0360	1,4920	0,71600	0,8060	1,1140	0,7700	0,7280	0,9180	0,8020
CO ₂	14,8800	14,90	14,6400	14,3200	14,9400	14,8400	14,3600	15,60	15,5600	14,80	15,4000
HC	226,60	226,60	343,600	518,80	271,00	219,80	219,40	163,40	106,60	182,200	120,00
CO	0,47800	0,47000	0,51600	0,9900	1,1600	0,5840	0,8300	0,59400	0,5700	0,6260	0,57000
Torque	2,040	0,9400	1,380	1,00	0,2800	1,8000	1,3600	1,360	2,140	1,0400	0,620
Pot	0,3060	0,342	0,2940	0,1929	0,0500	0,4480	0,2660	0,3220	0,4460	0,2160	0,620
Energía	5,548	5,055	2,531	2,1274	3,135	4,711	2,444	3,9084	2,5087	2,856	2,7714
Potencia	0,000018	0,000018	0,000009	0,000007	0,000010	0,000016	0,000008	0,000013	0,000008	0,000010	0,000009
Factor curtosis	5,888	5,611	4,599	4,9282	5,1614	4,4743	5,1879	6,141	6,2538	5,5694	5,8968
Valor RMS	0,004224	0,004198	0,003004	0,002587	0,003172	0,004006	0,002885	0,003630	0,002884	0,003124	0,003056
Factor Cresta	8,312	7,884	6,029	6,3562	6,7623	6,695	6,3705	8,273	8,521	7,315	7,330

Tabla 5. 67 Datos generales de los factores de análisis a 4400 RPM. Fuente: Autores

4400 rpm	E0	E10	E20	E30	E40	E50	E60	E70	E80	E90	E100
O ₂	0,8900	0,6800	0,7720	0,7940	0,8580	0,8820	0,9880	0,7740	0,9300	0,9860	1,0520
CO ₂	14,90	15,3400	14,7600	15,1800	15,0200	14,80	14,4400	15,50	15,3200	15,0800	14,8000
HC	149,40	140,00	105,60	175,20	193,80	202,20	145,80	123,600	108,80	168,80	169,800
CO	0,5540	0,868	0,7200	0,70200	0,86200	0,7000	0,9000	0,7400	0,6160	0,8800	0,9100
Torque	2,8000	8,200	2,3200	2,400	1,560	2,0400	1,440	2,7200	2,800	0,3000	1,5400
Pot	1,2860	3,554	1,0600	1,0700	0,7240	0,9300	0,6700	1,3560	1,3080	0,1500	0,7200
Energía	102,97	62,05	102,41	106,53	96,22	96,36	102,29	149,57	115,80	102,97	106,58
Potencia	0,000323	0,000213	0,000354	0,000350	0,000330	0,000333	0,000344	0,000477	0,000378	0,000323	0,763
Factor curtosis	3,6964	3,9317	3,2726	3,892	3,5197	2,771	3,5121	3,2594	3,3363	3,8794	3,6283
Valor RMS	0,017938	0,014590	0,018819	0,018693	0,018165	0,018236	0,018487	0,021833	0,019428	0,017938	0,018371
Factor Cresta	5,788	5,740	4,876	5,5650	5,424	5,391	5,762	5,111	4,6532	6,030	6,030

