UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO EN UN MOTOR HONDA GX120 DE ENCENDIDO POR CHISPA, UTILIZANDO ETANOL A DIFERENTES CONCENTRACIONES EN LA CIUDAD DEL CUSCO

PRESENTADO POR:
Br. FRANCIS BRYAN SUAREZ RIVERA
Br. BAGNER GENARO GUTIERREZ BOCANGEL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

ASESOR:
MSc. Ing. ARTURO MACEDO SILVA

CUSCO – PERÚ

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO EN UN MOTOR HONDA GX120 DE ENCENDIDO POR CHISPA, UTILIZANDO ETANOL A DIFERENTES CONCENTRACIONES EN LA CIUDAD DEL CUSCO

presentado por:

SUAREZ RIVERA FRANCIS BRYAN con Nro. de DNI 72743547 y

GUTIERREZ BOCANGEL BAGNER GENARO con Nro. de DNI 62199744

para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO MECÁNICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6 %

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	**X**
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 16 de agosto del 2025

.....

Firma

Post firma Arturo Macedo Silva

Nro. de DNI 23821894

ORCID del Asesor 0000-0002-2794-949x

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: _____

https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:484029613?locale=es-MX

Bagner Genaro y Francis Bryan Gutiérrez Bocangel...

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO EN UN MOTOR HONDA GX120 DE ENCEN...

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:484029613

Fecha de entrega
16 ago 2025, 9:23 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
16 ago 2025, 9:41 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
Tesis_Final_Corregida 2.pdf

Tamaño de archivo
24.0 MB

255 Páginas

30.692 Palabras

152.324 Caracteres

6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 9 palabras)
- Trabajos entregados
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

6% Fuentes de Internet

0% Publicaciones

0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

Caracteres reemplazados
49 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a nuestro asesor de tesis M.Sc Ing. Arturo Macedo Silva, por su guía constante en nuestro trabajo, sus valiosas sugerencias y su constante apoyo en el trámite del desarrollo de nuestra investigación; su experiencia fue fundamental para la culminación de nuestro trabajo.

Así mismo a mis compañeros y amigos por su colaboración en diversas etapas de desarrollo de nuestro modulo experimental, así como las ideas sugeridas durante el proceso de investigación.

Bagner Genaro Gutierrez Bocangel

En primer lugar, a mi asesor de tesis, Arturo Macedo Silva, cuya guía experta, dedicación y confianza en nuestro trabajo fueron pilares esenciales para alcanzar este objetivo. Sus observaciones y constante motivación transformaron cada obstáculo en una oportunidad de aprendizaje.

A mi familia, en especial a mis padres, les agradezco por ser mi refugio y mi fuerza. Su amor inquebrantable y sus sacrificios silenciosos hicieron posible que hoy llegue a esta meta.

No puedo olvidar a quienes, desde lo académico, lo personal o incluso lo anónimo, contribuyeron a moldear este camino. Hoy veo sus huellas en cada página de este trabajo.

Francis Bryan Suárez Rivera

DEDICATORIA

A mis padres, Genaro Gutierrez y María Bocangel, quienes con su ejemplo de trabajo, esfuerzo y sacrificio me enseñaron a nunca rendirme y luchar por mis objetivos. Gracias por su apoyo moral y siempre estar a mi lado, impulsándome a ser mejor que ayer cada día.

A mis hermanos, por compartir conmigo mis logros, por ser mi apoyo constante y por su complicidad y aliento en cada momento de este proceso, sin ustedes muchos de mis logros no habrían sido posibles.

A mis familiares, docentes y amigos, por brindarme una enseñanza en cada etapa que compartí con ustedes. De cada uno de ustedes aprendí algo valioso, y este trabajo es el resultado de esas enseñanzas.

B**agner Genaro Gutierrez Bocangel.**

DEDICATORIA

A mis padres, Francisco Suárez y Bedegla Gladis Rivera por su amor, compresión y apoyo incondicional incluso en los momentos más difíciles, sin los cuales estoy seguro no estaría donde estoy.

A todos mis docentes quienes no solo participaron en mi formación académica sino también en mi formación ética y de quienes aprendí tanto durante mi formación.

A todos no creo poder devolver ni una fracción de todo aquello que me brindaron.

Francis Bryan Suárez Rivera

RESUMEN

Este estudio analizó el efecto de mezclas gasolina-etanol (7.8% a 50%) en el rendimiento y emisiones de un motor Honda GX120. Se midió la potencia eléctrica generada y las emisiones mediante un banco de pruebas y un analizador de gases. La metodología incluyó: un diseño de una factor a la vez para evaluar rendimiento con cinco niveles de etanol y un diseño factorial para emisiones, considerando concentración de etanol y régimen del motor (2500 y 930 rpm). Los datos se procesaron con ANOVA.

Los resultados indicaron que mezclas hasta E40 mantuvieron un rendimiento similar al de la gasolina comercial, sin diferencias significativas en potencia. Las emisiones de CO disminuyeron progresivamente, alcanzando una reducción del 88% con E50.

Los hallazgos demuestran que es técnicamente viable usar mezclas con etanol en motores convencionales sin modificaciones en ciudades de gran altitud, mejorando significativamente las emisiones sin afectar el rendimiento.

Palabras claves: Gasolina-etanol, reducción de emisiones, combustibles sostenibles, combustión incompleta, rendimiento en altitud elevada.

ABSTRACT

This study investigated the effects of gasoline-ethanol blends (7.8% to 50%) on the performance and emissions of a Honda GX120 spark-ignition engine. Electrical power output and emissions were measured using a test bench and a calibrated gas analyzer. The methodology employed:a one-factor-at-a-time design to evaluate performance across five ethanol concentrations, and a factorial design for emissions analysis, considering both ethanol blend ratio and engine speed (2500 and 930 rpm). Data were processed using ANOVA.

Results indicated that blends up to E40 maintained performance comparable to baseline gasoline, with no statistically significant power differences. CO emissions showed progressive reduction, reaching an 88% decrease with E50.

The findings demonstrate the technical feasibility of using ethanol blends in unmodified conventional engines in high-altitude urban areas, significantly improving emissions without compromising performance.

Keywords: Gasoline-ethanol blends, emission reduction, sustainable fuels, incomplete combustion, high-altitude performance.

INDICE

CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES 3

1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA 3

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. 6

1.3.1 Problema principal 6

1.3.2 Problemas específicos 6

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 7

1.4.1 Objetivo general 7

1.4.2 Objetivos específicos 7

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 7

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO 8

1.6.1 Alcances 8

1.6.2 Limitaciones 8

1.6.3 Variable independiente 8

1.6.4 Variable dependiente 8

1.7 HIPÓTESIS GENERAL 9

1.7.1 Hipótesis específicas 9

1.8 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 9

1.8.1 Enfoque 9

1.8.2 Tipo 9

1.8.3 Nivel de la investigación 10
1.8.4 Objetivo del experimento 10
1.8.5 Tipo de diseño 10
1.8.6 Variables: 10
1.8.7 Variables operacionalizadas 10
1.8.8 Configuración experimental 11
1.8.9 Análisis de datos 12
1.8.10 Resultados esperados 12
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO 13
2.1 ESTADO DEL ARTE 13
2.2 COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN EL PRESENTE TRABAJO 17
2.2.1 Gasolina 17
2.2.2 Etanol 18
2.2.3 Mezclas gasolina-etanol 21
2.3 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS 21
2.4 MOTORES DE ENCENDIDO POR CHISPA 23
2.5 ASPECTOS TERMODINÁMICOS DE UN MOTOR OTTO 24
2.5.1 Primera ley de la termodinámica 24
2.5.2 Diagrama teórico del ciclo otto 25
2.5.3 Diagrama real del ciclo otto 27
2.5.4 Eficiencia térmica 29
2.6 PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE UN MOTOR 29

2.6.1 Parámetros indicativos 30
2.6.2 Parámetros efectivos 30
2.7 MOTOR UTILIZADO EN LA PRESENTE INVESTIGACIÓN 30
2.7.1 Principales características del motor Honda GX120 31
2.7.2 Curvas características del motor Honda GX120 32
2.8 COMBUSTIÓN 33
2.8.1 Estequiometria de la combustión 34
2.8.2 Coeficiente de exceso de aire 35
2.8.3 Constante de equilibrio $K_{(T)}$ 36
2.8.4 Poder calorífico 36
2.8.5 Gases productos de la combustión 37
2.8.6 Eficiencia de la combustión 39
2.9 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES CONTAMINANTES 42
2.9.1 Limites permisibles para los gases de escape en motores estacionarios 43
CAPÍTULO III ANÁLISIS DEL PROCESO DE LA COMBUSTIÓN 44
3.1 DATOS INICIALES DE LOS COMBUSTIBLES 44
3.2 COMBUSTIÓN ESTEQUIOMÉTRICA 44
3.2.1 Combustión estequiométrica para la gasolina 90 (E7.8) 44
3.2.2 Combustión estequiométrica para la mezcla de gasolina con etanol al 20% en volumen (E20) 47

3.2.3 Combustión estequiométrica para la mezcla de gasolina con etanol al 30% en volumen (E30) 50

3.2.4 Combustión estequiométrica para la mezcla de gasolina con etanol al 40% en volumen (E40) 53

3.2.5 Combustión estequiométrica para la mezcla de gasolina con etanol al 50% en volumen (E50) 56

3.3 Cálculo de coeficiente de exceso de aire λ 61

3.4 Combustión incompleta para la altura de la ciudad del Cusco 61

3.4.1 Cálculo de coeficiente de exceso de aire λ 61

3.4.2 Combustión incompleta para la gasolina 90 (E7.8), para la altura de la ciudad del Cusco 63

3.4.3 Combustión incompleta para la mezcla de gasolina con etanol al 20% en volumen (E20) 68

3.4.4 Combustión incompleta para la mezcla de gasolina con etanol al 30% en volumen (E30) 73

3.4.5 Combustión incompleta para la mezcla de gasolina con etanol al 40% en volumen (E40) 78

3.4.6 Combustión incompleta para la mezcla de gasolina con etanol al 50% en volumen (E50) 83

3.5 CALCULO LAS FRACCIONES MOLARES DE LOS PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN DE LAS REACCIONES 90

CAPÍTULO IV DESARROLLO DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES 94

4.1 METODOLOGÍA 94

4.2 ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS ETANOL-GASOLINA 95

4.3 PRUEBAS Y EVALUACIÓN PARA LOS DIFERENTES COMBUSTIBLES 97

4.3.1 Ubicación 97

4.3.2 Ensayos para potencia eléctrica 98

4.3.3 Ensayo para consumo de combustible 98

4.3.4 Ensayo para emisiones 98

4.4 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN EL ENSAYO 99

4.5 ESTRATEGIA DE EXPERIMENTACIÓN 100

4.5.1 Potencia y consumo 100

4.5.2 Emisiones contaminantes 101

4.6 DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DURANTE LAS PRUEBAS DE POTENCIA 103

4.7 DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DURANTE LAS PRUEBAS DE CONSUMO 105

4.8 DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DURANTE LAS PRUENAS DE EMISIONES 107

CAPÍTULO V ANALISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES 110

5.1 DISEÑO CON UN SOLO FACTOR PARA EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA POTENCIA. 110

5.1.1 Análisis ANOVA 110

5.1.2 Prueba de Tukey 113

5.1.3 Prueba LSD 114

5.2 DISEÑO DE UN SOLO FACTOR PARA EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL CONSUMO. 116

5.2.1 Análisis ANOVA 116

5.2.2 Prueba de Tukey 120

5.2.3 Prueba LSD 121

5.3 DISEÑO FACTORIAL DE DOS FACTORES PARA EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LAS EMISIONES. 122

5.3.1 Análisis ANOVA para las emisiones de CO 122

5.3.2 Prueba Tukey para 930 rpm 128

5.3.3 Prueba Tukey para 2500 rpm 129

5.3.4 Análisis ANOVA para las emisiones de CO_2 131

5.3.5 Prueba Tukey para 930 rpm 137

5.3.6 Prueba de Tukey para 2500 rpm 138

5.3.7 Análisis ANOVA para las emisiones de HC 140

CAPÍTULO VI EVALUACIÓN ECONÓMICA 145

6.1 GENERALIDADES 145

6.2 COSTOS DE FABRICACIÓN Y ADAPTACIÓN DEL MÓDULO EXPERIMENTAL 145

6.3 COSTOS ASOCIADOS A LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS Y LOS EQUIPOS UTILIZADOS 146

6.4 COSTOS FIJOS Y COSTOS VARIABLES 147

6.4.1 Costos fijos 147

6.4.2 Costos variables 148

6.4.3 Costos totales 148

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Fuentes de energía primaria en el Perú 5

Tabla 2.1 Propiedades físicas y químicas de la gasolina y etanol 20

Tabla 3.1 Fracciones molares para el combustible E7.8 45

Tabla 3.2 Fracciones molares para el combustible E20 48

Tabla 3.3 Fracciones molares para el combustible E30 51

Tabla 3.4 Fracciones molares para el combustible E40 54

Tabla 3.5 Fracciones molares para el combustible E50 57

Tabla 3.6 Pesos moleculares de los componentes de las mezclas gasolina-etanol ... 61

Tabla 3.7 Moles de aire para las mezclas gasolina-etanol 61

Tabla 3.8 Resultados del ciclo Otto para la mezcla E7.8 para la altura del Cusco ... 65

Tabla 3.9 Resultados del ciclo Otto para la mezcla E20 para la altura del Cusco 70

Tabla 3.10 Resultados del ciclo Otto para la mezcla E30 para la altura del Cusco .. 75

Tabla 3.11 Resultados del ciclo Otto para la mezcla E40 para la altura del Cusco .. 80

Tabla 3.12 Resultados del ciclo Otto para la mezcla E50 para la altura del Cusco .. 85

Tabla 3.13 Fracciones molares de los productos de combustión 90

Tabla 4.1 Volumen y porcentaje utilizado en las mezclas para 1000 ml 95

Tabla 4.2 Instrumentos y equipos utilizados 99

Tabla 4.3 Aleatorización de las pruebas de potencia y consumo 101

Tabla 4.4 Aleatorización de las pruebas de emisiones contaminantes 102

Tabla 4.5 Datos experimentales de las pruebas de potencia con E7.8 103

Tabla 4.6 Datos experimentales de las pruebas de potencia con E20 104

Tabla 4.7 Datos experimentales de las pruebas de potencia con E30 104

Tabla 4.8 Datos experimentales de las pruebas de potencia con E40 104

Tabla 4.9 Datos experimentales de las pruebas de potencia con E50 105

Tabla 4.10 Datos experimentales de las pruebas de consumo con E7.8 105
Tabla 4.11 Datos experimentales de las pruebas de consumo con E20 105
Tabla 4.12 Datos experimentales de las pruebas de consumo con E30 106
Tabla 4.13 Datos experimentales de las pruebas de consumo con E40 106
Tabla 4.14 Datos experimentales de las pruebas de consumo con E50 106
Tabla 4.15 Datos experimentales de las emisiones con E7.8 107
Tabla 4.16 Datos experimentales de las emisiones con E20 107
Tabla 4.17 Datos experimentales de las emisiones con E30 108
Tabla 4.18 Datos experimentales de las emisiones con E40 108
Tabla 4.19 Datos experimentales de las emisiones con E50 109
Tabla 5.1 Datos de potencia del experimento para el análisis ANOVA 110
Tabla 5.2 Análisis de varianza de los datos de la potencia 111
Tabla 5.3 Medias de las potencias 113
Tabla 5.4 Aplicación de la prueba Tukey para las medias de potencia 114
Tabla 5.5 Aplicación de la prueba LSD para las medias de potencia 114
Tabla 5.6 Datos de consumo del experimento para el análisis ANOVA 116
Tabla 5.7 Análisis de varianza de los datos del consumo 117
Tabla 5.8 Medias de los consumos 119
Tabla 5.9 Aplicación de la prueba Tukey para las medias de consumo 120
Tabla 5.10 Aplicación de la prueba LSD para las medias de consumo 121
Tabla 5.11 Datos de emisiones CO del experimento 124
Tabla 5.12 Análisis de varianza de los datos de emisiones de CO 125
Tabla 5.13 Medias de las emisiones de CO a diferente rpm 127
Tabla 5.14 Aplicación de la prueba Tukey para las emisiones de CO a 930 rpm .. 128
Tabla 5.15 Aplicación de la prueba Tukey para las emisiones de CO a 2500 rpm 129

Tabla 5.16 Datos de emisiones CO_2 del experimento 133
Tabla 5.17 Análisis de varianza de los datos de emisiones de CO_2..... 134
Tabla 5.18 Medias de las emisiones de CO_2 a diferente rpm 135
Tabla 5.19 Aplicación de la prueba Tukey para las emisiones de CO_2 a 930 rpm. 137
Tabla 5.20 Aplicación de la prueba Tukey para las emisiones de CO_2 a 2500 rpm138
Tabla 5.21 Datos de emisiones HC del experimento..... 142
Tabla 5.22 Análisis de varianza de los datos de emisiones de HC..... 143
Tabla 6.1 Costos totales del módulo experimental..... 145
Tabla 6.2 Costos totales en los ensayos..... 146
Tabla 6.3 Precio detallado de un litro de mezcla de combustible gasolina-etanol . 147
Tabla 6.4 Resumen de los promedios obtenidos durante la experimentación..... 147
Tabla 6.5 Costos fijos para las mezclas gasolina-etanol..... 148
Tabla 6.6 Costos variables para las mezclas gasolina-etanol 148
Tabla 6.7 Costo total para las mezclas gasolina-etanol 149

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Proceso de obtención del etanol 20

Figura 2.2 Clasificación de los motores 22

Figura 2.3 Partes de un motor Otto 23

Figura 2.4 Aplicación de la primera ley de la termodinámica a un volumen de control entre dos estados definidos 25

Figura 2.5 Diagrama teórico del ciclo Otto 26

Figura 2.6 Diagrama real del ciclo Otto 27

Figura 2.7 Motor Honda GX120 31

Figura 2.8 Clasificación de los motores 33

Figura 2.9 Triangulo de la combustión 34

Figura 2.10 Eficiencia de la combustión en MCIA vs la riqueza de la mezcla 40

Figura 2.11 Límites máximos permisibles de emisiones 42

Figura 3.1 Combustión ideal para cálculo del poder calorífico – E7.8 47

Figura 3.2 Combustión ideal para cálculo del poder calorífico – E20 50

Figura 3.3 Combustión ideal para cálculo del poder calorífico – E30 53

Figura 3.4 Combustión ideal para cálculo del poder calorífico – E40 56

Figura 3.5 Combustión ideal para cálculo del poder calorífico – E50 59

Figura 3.6 Relación aire-combustible Estequiométrica 60

Figura 3.7 Poder calorífico inferior - Q_{LHV} 60

Figura 3.8 Datos iniciales MATLAB – E7.8 65

Figura 3.9 Resultados MATLAB – E7.8 65

Figura 3.10 Datos iniciales MATLAB – E20 70

Figura 3.11 Resultados MATLAB – E20 70

Figura 3.12 Datos iniciales MATLAB – E30 75

Figura 3.13 Resultados MATLAB – E30 75
Figura 3.14 Datos iniciales MATLAB – E40 80
Figura 3.15 Resultados MATLAB – E40 80
Figura 3.16 Datos iniciales MATLAB – E50 85
Figura 3.17 Resultados MATLAB – E50 85
Figura 3.18 Coeficiente de exceso de aire en la ciudad de Cusco 88
Figura 3.19 Eficiencia térmica ideal 88
Figura 3.20 Eficiencia térmica neta 89
Figura 3.21 Temperatura de escape 89
Figura 3.22 Presión efectiva media indicada 90
Figura 3.23 Fracción molar de dióxido de carbono 91
Figura 3.24 Fracción molar de dióxido de carbono 91
Figura 3.25 Fracción molar de dióxido de carbono 92
Figura 3.26 Fracción molar de hidrógeno 92
Figura 3.27 Fracción molar de nitrógeno 93
Figura 4.1 Diagrama de metodología 94
Figura 4.2 Mezclas gasolina-etanol 96
Figura 4.3 Probeta 250 ml 97
Figura 4.4 Instrumentos y equipos utilizados 100
Figura 5.1 Distribución F para la potencia 112
Figura 5.2 Diagrama simultaneo de potencia 112
Figura 5.3 Potencia-porcentaje de etanol 115
Figura 5.4 Distribución F para el consumo 118
Figura 5.5 Diagrama de cajas simultáneo de consumo 119
Figura 5.6 Consumo-porcentaje de etanol 122

Figura 5.7 Distribución F para las emisiones de CO 126
Figura 5.8 Gráfica monóxido de carbono-régimen..... 127
Figura 5.9 Emisiones de CO-porcentaje de etanol a 930 rpm 130
Figura 5.10 Emisiones de CO-porcentaje de etanol a 2500 rpm 131
Figura 5.11 Distribución F para las emisiones de CO_2..... 135
Figura 5.12 Gráfica dióxido de carbono-régimen..... 136
Figura 5.13 Emisiones de CO_2-porcentaje de etanol a 930 rpm..... 139
Figura 5.14 Emisiones de CO_2-porcentaje de etanol a 2500 rpm..... 140
Figura 5.15 Distribución F para las emisiones de HC 144
Figura 6.1 Costo total de generación 150

NOMENCLATURA

E7.8	Mezcla de gasolina-etanol, con etanol al 7.8% en volumen
E20	Mezcla de gasolina-etanol, con etanol al 20% en volumen
E30	Mezcla de gasolina-etanol, con etanol al 30% en volumen
E40	Mezcla de gasolina-etanol, con etanol al 40% en volumen
E50	Mezcla de gasolina-etanol, con etanol al 50% en volumen
$\%V_E$	Porcentaje en volumen de etanol
$\%M_E$	Porcentaje en masa de etanol
$\%V_G$	Porcentaje en volumen de gasolina
$\%M_G$	Porcentaje en masa de gasolina
m_E	Masa de etanol en un kg de mezcla gasolina-etanol
m_G	Masa de gasolina en un kg de mezcla gasolina-etanol
AF_{esteq}	Relación aire combustible estequiométrica
AF_{real}	Relación aire combustible real
λ	Coeficiente de exceso de aire
λ_{nm}	Coeficiente de exceso de aire a nivel del mar
λ’	Coeficiente de exceso de aire en la ciudad del Cusco
Φ	Riqueza de combustible
Φ’	Riqueza de combustible en la ciudad del Cusco
a	Moles de aire para condiciones de combustión estequiométrica
a’	Moles de aire modificados para la ciudad del Cusco
$K_{(T)}$	Constante de equilibrio de la reacción agua-gas
M_a	Peso molecular del aire
M_f	Peso molecular del combustible
γ	Coeficiente politrópico

r_c	Relación de compresión
Q_{LHV}	Poder calorífico inferior
$n_{r,i}$	Número de moles de los reactantes
$n_{r,p}$	Número de moles de los productos
q_c	Calor de combustión
X	Calidad del agua
h^o_f	Entalpia de formación
f	Fracción residual de gases
H_o	Hipótesis nula
H_a	Hipótesis alternativa
μ	Media del proceso de experimentación con un solo factor
SC_T	Suma total de cuadrados
SC_{Trat}	Suma de cuadrados de los tratamientos
SC_E	Suma de cuadrados del error
CM_{Trat}	Cuadrado medio de tratamientos
CM_E	Cuadrado medio del error
F_o	Estadístico de prueba
α	Significancia prefijada
N	Número de observaciones
k	Número de tratamientos
$\bar{y}$	Media del proceso de experimentación del diseño factorial
$V_{cilindro}$	Volumen del cilindro
V_{camara}	Volumen de la cámara
n_{comb}	Eficiencia de la combustión
PMI	Presión media indicada

W_i	Trabajo indicado por ciclo
V_u	Volumen unitario del cilindro

INTRODUCCIÓN

La elaboración de la presente tesis enfoca la evaluación de los parámetros operativos de un motor Honda GX120 de encendido por chispa alimentado con cinco tipos de combustible gasolina-etanol, con el fin de analizar su rendimiento en términos de potencia a 3600 rpm y consumo de combustible. además, se evaluará las emisiones contaminantes del motor a 2500 y 900 rpm, a fin de determinar el impacto de las diferentes concentraciones de etanol en las emisiones de gases contaminantes.

El **capítulo I** proporciona una descripción general de la investigación, en la que se enuncia el problema de estudio y se definen los objetivos que se quieren alcanzar y guíen el desarrollo del trabajo.

En el **capítulo II**, titulado "marco teórico", se abordarán los conceptos clave y el estado del arte relevante para la investigación, incluyendo las propiedades de los combustibles utilizados y su influencia en el comportamiento del motor.

El **capítulo III**, se dedica a la evaluación analítica-teórica de las emisiones contaminantes generadas por los distintos combustibles evaluados. Se examinarán las emisiones contaminantes en función de las concentraciones de etanol en las diferentes mezclas.

En el **capítulo IV**, se presentará la metodología empleada para la obtención de datos sobre la potencia, el consumo de combustible y las emisiones. Se explicará cómo se realizaron las mediciones y bajo qué condiciones se realizaron

En el **capítulo V**, se presentará el procesamiento y análisis estadístico de los datos obtenidos, incluyendo la representación gráfica de los resultados para facilitar la interpretación de los mismos. Se evaluará el comportamiento del motor con los diferentes combustibles, identificando las tendencias y relaciones más relevantes.

Finalmente, en el **capítulo VI**, se realizará un análisis económico preliminar sobre el costo de implementación del módulo experimental y se discutirá sobre los diferentes combustibles utilizados, considerando los costos asociados a cada mezcla.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Según la "bp Statistical Review of World Energy 2022- 71st edition", a nivel mundial el consumo de energías primarias incremento un 5.8% de igual manera las emisiones de CO_2 aumentaron un 5.9% durante el año 2021a comparación con el año 2020.

De este consumo de energía primaria a nivel mundial, se tiene como las fuentes más utilizadas; al petróleo con un 30.95%, al carbón con un 26.9% y al gas natural con 24.42 %.

En la región de Sur y Centro América, el consumo de energía primaria tuvo un incremento de 7% de igual manera las emisiones de CO_2 aumentaron un 11.1% durante el año 2021 en comparación con el año 2020.

De este consumo de energía primaria a nivel de la región S & Cent. América, se tiene como las fuentes más utilizadas; al petróleo con un 39.74%, a la hidro-eléctrica con un 21.86% y al gas natural con un 24.42%.

Según el "boletín estadístico de gas natural – 1er trimestre 2023" de la división de supervisión de gas natural – Osinergmin, el aumento de energía primaria aumento entre 2019 y 2021 fue impulsado únicamente por fuentes de energía renovable. El consumo de combustibles fósiles se mantuvo sin cambios, con una menor demanda compensada por mayor consumo de gas natural y carbón. Cabe recalcar que durante el año 2020 hubo una caída en el consumo de energía a nivel mundial debido a la pandemia de COVID-19.

En nuestro país el consumo energético aumento un 15.4% en el 2021, recuperando los niveles después de la pandemia, aumentaron su consumo; petróleo 27.1%, gas natural 12.5%, carbón 9.3%, hidroeléctrica 4.3% y energías renovables 4.2%.

El consumo de energía primaria en nuestro país durante el año 2021fue el siguiente; petróleo 43%, hidroeléctrica 25%, gas natural 24%, carbón 4% y energías renovables 4%.

Detallando el consumo de gas natural en nuestro para el trimestre 2023-1 se tiene; generadores eléctricos 61%, industriales 23%, GNV 11% y Residenciales y comerciales 5%.

Según “La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú – Osinergmin”, el sector de transporte es el mayor consumidor de combustibles líquidos en el Perú con las siguientes demandas; Diesel con 54% y gasolinas con 20%.

El programa ahorro GNV, es un programa ejecutado por el MINEM con recursos del Fondo de Inclusión Social Energético-FISE, el cual fomenta la masificación del uso del gas natural vehicular mediante el otorgamiento de un financiamiento sin intereses para la conversión de vehículos a gas natural.

(FISE, 2023)

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial el consumo de energía primaria incremento en un 5.8%, de igual manera las emisiones de CO_2 aumentaron un 5.9% durante el año 2021. Del consumo de energía primaria un 82.3% son de combustibles fósiles, esto indica una dependencia a nivel mundial hacia estas fuentes de energía.

A nivel nacional el consumo de energía primaria incremento un 18.5%, de igual manera las emisiones de CO_2 aumentaron un 21% durante el año 2021. Estas cifras son producto de la pandemia de COVID-19, la cual causo una reducción en el consumo de energía primaria. Para tener una idea más clara durante el periodo 2011-2021 se tiene en promedio un incremento en consumo de energía primaria del 2.8% y las emisiones de CO_2 incrementaron 2.2%. Del consumo de energía primaria un 71% son de combustibles fósiles.

Tabla 1.1

Fuentes de energía primaria en el Perú

Fuentes de Energía Primaria	Porcentaje Utilizado
Petróleo	43%
Hidroeléctrica	25%
Gas Natural	24%
Carbón	4%
E. Renovables	4%
Total	100%

Nota. Porcentajes calculados con datos de Reporte anual de energías 2022 (OSINERGMIN, 2022).

El sector de transporte es el mayor consumidor de combustibles líquidos con una demanda del 41.6% para el año 2021, de esta demanda de combustible los principales combustibles son; Diesel B5 con 57.3 % y gasohol con 20.8% (Minas, 2021). En nuestro país tenemos el Decreto Supremo N° 029-2021-MINAN, que establece los limites permisibles de emisiones atmosféricas para vehículos automotores; donde para diferentes tipos de uso y tonelaje de vehículos se ponen los límites de emisiones contaminantes: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), hidrocarburos totales (HCT), Hidrocarburos no metálicos (HCNM), óxidos de nitrógeno (NO_x), gases orgánicos no metanos (NMOG), Hidrocarburos no metanos (NMHC) y material particulado (PM) por mencionar los principales.

El CO es un gas toxico que afecta a la salud humana ocasionando principalmente fatiga, irritación ocular, mareo, irritación nasal, cefalea, somnolencia, etc. El CO_2 es el principal causante del efecto invernadero, por la capacidad que posee para almacenar calor.

La ciudad del Cusco se encuentra a 3399 m. s. n. m. A esta altura la densidad del aire disminuye por lo cual contiene menos oxígeno, debido a la insuficiencia de oxígeno se produce una combustión incompleta esto afecta; se aumentan las emisiones de CO y C_xH_y

(hidrocarburos), esto evita también el desprendimiento completo del calor durante la reacción de combustión.

El uso de etanol aumenta la cantidad de oxígeno en la mezcla de combustible, esto mejora el proceso de combustión desprendiendo mayor cantidad de calor y reduciendo la formación de CO de igual manera la cantidad de C_xH_y en las emisiones. No hay motivos para decir que la formación de CO_2 durante la combustión reducirá por el uso de etanol, pero se estima que las emisiones de CO_2 del etanol de caña de azúcar desde el pozo hasta la rueda son, en promedio, de 0,20 kg por litro de combustible utilizado, frente a 2,82 kg por litro de gasolina utilizado. (Mićić & Jotanović, 2015)

En esta investigación se busca analizar los valores de los parámetros de funcionamiento de un motor gasolinero, usando etanol como oxigenante en la ciudad del Cusco. Realizando mezclas a diferentes concentraciones de etanol se intentará ver si es posible aumentar o mantener la potencia generada, centrándose principalmente en la reducción de emisiones contaminantes.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Por lo expuesto anteriormente se puede decir, que el uso de mezclas de etanol y gasolina en nuestra ciudad, podría traer beneficios ambientales y aumento de la potencia en un motor gasolinero, por lo tanto, la presente investigación pretende responder a la siguiente interrogante:

1.3.1 Problema principal

¿Cuáles son los parámetros de funcionamiento de un motor de encendido por chispa Honda GX120 utilizando etanol a diferentes concentraciones, bajo los factores ambientales de la ciudad del Cusco?

1.3.2 Problemas específicos

- ¿Cómo influyen las diferentes concentraciones de etanol que contiene el combustible en el proceso de combustión?

- ¿Es posible efectuar el desarrollo de las pruebas experimentales y la recolección de datos utilizando diferentes concentraciones de etanol?
- ¿Se pueden analizar los resultados experimentales de las pruebas experimentales realizadas con las diferentes mezclas de gasolina y etanol?
- ¿Es factible realizar la comparación de costos del consumo de los combustibles?

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Analizar experimentalmente los parámetros de funcionamiento de un motor Honda GX120 de encendido por chispa, utilizando etanol a diferentes concentraciones; Cusco.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el proceso de combustión utilizando diferentes concentraciones de etanol.
- Efectuar el desarrollo de las pruebas experimentales y la recolección de datos utilizando diferentes concentraciones de etanol.
- Analizar los resultados de las pruebas experimentales realizadas con las diferentes mezclas de gasolina y etanol
- Determinar y comparar los costos en los consumos de los combustibles.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En nuestra ciudad del Cusco, el efecto de la altura produce una combustión incompleta lo que a su vez produce perdida de potencia. Con las mezclas gasolina-etanol se busca mitigar este efecto.

La demanda de energía primaria en el país experimenta un incremento continuo cada año, y en este contexto, los hidrocarburos líquidos siguen siendo la principal fuente de energía para satisfacer las necesidades del transporte público. En este sentido, Existe una ausencia de un estudio técnico referido al impacto del uso de mezcla de etanol y gasolina sobre la potencia

efectiva del motor y desde el punto de vista ambiental, analizar el efecto que tendría incorporación de etanol en la gasolina surge como una alternativa viable para reducir la dependencia de los combustibles fósiles no renovables, aportando beneficios tanto en términos de eficiencia energética como de mitigación de emisiones contaminantes.

Los resultados derivados de esta investigación serán fundamentales para generar un marco de conocimiento sobre el comportamiento de las mezclas de etanol-gasolina en los motores utilizados en la ciudad del Cusco, proporcionando información para la evaluación del impacto ambiental en un contexto geográfico particular.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

1.6.1 Alcances

- Medir la potencia, consumo y niveles de emisiones contaminantes con las diferentes concentraciones de etanol.
- La medición de la potencia y del consumo se realizará a la velocidad sincrónica del generador utilizado, que será 3600 rpm. No se cuenta con un dinamómetro para la medición de la potencia al eje.

1.6.2 Limitaciones

- La investigación, experimentación y toma de datos se desarrollarán bajo las condiciones ambientales de la ciudad del Cusco.
- El análisis económico se limitará principalmente a los gastos variables relacionados con el costo y consumo de las diferentes mezclas.

1.6.3 Variable independiente

- Porcentaje de etanol
- RPM del motor

1.6.4 Variable dependiente

- Potencia efectiva

- Consumo de combustible
- Nivel de emisiones contaminantes

1.7 HIPÓTESIS GENERAL

El análisis experimental permitirá conocer algún cambio en el comportamiento de los parámetros de funcionamiento con el uso de etanol.

1.7.1 Hipótesis específicas

- El análisis del proceso de combustión mostrará el comportamiento de las relaciones de aire combustible y coeficientes de exceso de aire.
- El desarrollo de las pruebas experimentales nos brindará los datos de los parámetros de funcionamiento.
- El análisis de los resultados de las pruebas experimentales permitirá analizar el impacto del porcentaje de etanol sobre los parámetros de funcionamiento
- El análisis de los costos en los consumos nos permitirá ver la viabilidad del uso de las mezclas ahora o posteriormente.

1.8 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1 Enfoque

Cuantitativo: se basa en la medición numérica de variables como potencia, consumo y emisiones, utilizando instrumentos. Los datos obtenidos se analizan mediante métodos estadísticos para establecer relaciones objetivas y generalizables entre estas variables

1.8.2 Tipo

Experimental: se manipulan variables independientes (tipo de combustible) para medir su impacto cuantificable en las variables dependientes (potencia, consumo y emisiones)

1.8.3 Nivel de la investigación

Explicativa: determina las variaciones en las variables dependientes por diferentes combustibles, analizando su relación directa con principios termodinámicos clave, como la energía liberada por unidad de masa (poder calorífico) y la eficiencia de combustión.

1.8.4 Objetivo del experimento

Determinar la potencia, consumo y emisiones de la combustión en función del porcentaje de etanol de la mezcla de combustible.

1.8.5 Tipo de diseño

Completamente Aleatorizado (DCA):

Diseño de un factor a la vez: Utilizado para la potencia y consumo.

Diseño Factorial (2 factores): Utilizado para las emisiones de la combustión.

1.8.6 Variables:

Independiente (VI): Porcentaje de etanol y RPM del motor.

Dependiente (VD): Potencia, consumo y emisiones de la combustión.

1.8.7 Variables operacionalizadas

1.8.7.1 Potencia

Variable: Potencia.

Indicadores:

- Voltaje (V).
- Amperaje (A).
- Régimen

Escala de medición: kW, RPM.

Instrumento: Multímetro, Amperímetro y tacómetro.

1.8.7.2 Consumo

Variable: Consumo.

Indicadores:

- Volumen consumido.
- Tiempo.
- Régimen

Escala de medición: Mililitros, segundos y RPM.

Instrumento: Envase milimetrado, cronometro y tacómetro.

1.8.7.3 Emisiones

Variable: Emisiones.

Indicadores:

- CO_2 (% v/v).
- CO (% v/v).
- HC (ppm)
- Régimen

Escala de medición: %v/v, ppm y RPM).

Instrumento: Analizador de gases y tacómetro

1.8.8 Configuración experimental

1.8.8.1 Módulo de pruebas:

Motor monoclínico gasolinero conectado mediante un acople flexible a un generador de

Procedimiento

1.8.8.2 Preparación:

- Ensamblaje del módulo de pruebas.
- Verificación del funcionamiento del módulo de pruebas.
- Realización de pruebas preliminares.

1.8.8.3 Adquisición de datos:

- Análisis de los datos de las pruebas preliminares (dispersión)

- Potencia: mediciones tomadas durante 5 minutos, después de un funcionamiento estable.
- Consumo: la medición se realiza respecto al tiempo que le toma al motor consumir 25ml de combustible.
- Emisiones: mediciones realizadas a bajo y a alto régimen de funcionamiento mediante un analizador de gases.
- Repeticiones: 5 por cada mezcla de combustible.

1.8.9 Análisis de datos

Se obtendrá mediante la potencia eléctrica:

$$P = V \times A$$

El consumo mediante la relación del volumen consumido sobre el tiempo que demoro:

$$C = \frac{V}{t}$$

El analizador de gases brindará los valores en porcentaje de volumen o ppm.

1.8.10 Resultados esperados

Como se busca mejorar la combustión se espera aumentar o mantener la potencia, reduciendo las emisiones de CO y que el consumo no varie demasiado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ESTADO DEL ARTE

"Biocombustibles líquidos en Colombia y su impacto en motores de combustión interna. Una revisión", Johana Marcela Amaris – Diego Antonio Manrique – Julían Ernesto Jaramillo.

- En este momento, los biocombustibles no mitigan el alza e inestabilidad en el precio del petróleo. No obstante, son la opción más viable a largo plazo, logrando disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.
- Actualmente, Colombia es un país productor de biocombustibles (bioetanol) de primera generación. En Colombia, se está estudiando la utilización de materias primas diferentes a la caña de azúcar y la palma para la producción de biocombustibles. No obstante, su implementación se limita a plantas piloto, que no afectan la producción comercial actual.
- En términos de competitividad, los biocombustibles varios de acuerdo a las materias primas utilizadas, la tecnología empleada, y el mercado en el que se desarrollen.
- El futuro de los biocombustibles depende de la inversión que se haga en investigación y desarrollo por parte de las naciones. Colombia ocupa una posición privilegiada para el desarrollo de los biocombustibles en el mundo.
- El contenido energético del biodiesel es menor que el del Diesel (12% menor en peso, 8% en volumen) por lo que su consumo es ligeramente mayor.
- Aunque se han realizado varios estudios, aún en Colombia no se conocen claramente las consecuencias del uso de biocombustibles en vehículos, debido a la diversidad geográfica del país y la variedad del parque automotor. Además, las implicaciones del uso de biocombustibles en los motores son afectados por el tipo de motor que se utilice, el lugar donde se realicen las pruebas, la composición del biocombustible utilizado y la antigüedad del motor, entre otros. Lo anterior, justifica la diversidad en los resultados expuestos en los diferentes

trabajos de investigación sobre el tema. Por lo tanto, se recomienda una investigación aplicada de la influencia real de los biocombustibles.

(Amaris, Manrique, & Jaranillo, 2015)

"Estudio experimental de emisiones contaminantes generadas en un motor de relación de compresión variable tipo CFR alimentado con mezclas gasolina-etanol", Nancy B. Muñiz Ramírez - Luis F. Rua Mojica - Sebastian Ley Tomas - R. Hernández Altamirano - Fabián S. Mederos Nieto - S. Martínez.

El estudio de los parámetros físicos que corresponden a la relación de compresión y temperatura de admisión sobre combustibles oxigenados fueron investigados a diferentes concentraciones volumétricas, por tanto, se puede concluir que:

- El efecto de la temperatura de admisión alta sobre la presión máxima provoca el fenómeno de autoignición conocido como knock.
- Todas las emisiones contaminantes del tubo de escape del motor se ven afectadas por las condiciones dentro del cilindro causadas debido a la diferencia de temperatura del aire de admisión (38°C y 68°C).
- A mayor temperatura del aire de admisión, el CO disminuye a mayores relaciones de compresión que van desde 7.36 a 8.45, teniendo en consideración que las mezclas oxigenadas presentan menor porcentaje de emisiones para temperaturas más bajas, por otro lado, se muestra la tendencia contraria en el caso del CO2, donde a temperaturas de admisión más alta, el porcentaje de emisión también aumenta, siendo menor el del combustible gasolina para ambas temperaturas.
- La temperatura de admisión alta influye en la disminución de la formación NO a relación de compresiones más altas, teniendo una disminución mayor para la mezcla E15.

- Cualquier cambio en la relación de compresión afectará las emisiones de HC, sin embargo, el parámetro con más influencia es la temperatura, donde se muestra un mayor contenido de HC debido a menor temperatura.

(Muñiz, Rua, Ley, Hernández, Mederos, & Martínez, 2021)

"Estado del arte sobre la influencia de mezclas etanol-gasolina en el desempeño de motores de combustión interna", Josué Mario Andia Vargas - Marco Salinas Rojas - Renán Orellana Lafuente - Daniel Felipe Sempértegui Tapia.

A partir del presente trabajo de revisión de la literatura sobre el análisis de la eficiencia y condiciones de operación de combustibles basados en etanol en motores de combustión interna, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- A mayor contenido de etanol, mayor el número de octanos. Lo que implica menor susceptibilidad al efecto knocking.
- Se logró identificar la importancia de la razón de compresión en el motor. Al mismo tiempo, se verificó que la gasolina tiene menos posibilidades de comprimirse, mientras que con etanol las posibilidades aumentan.
- Gracias a una mayor capacidad de compresión en las mezclas gasolina-etanol, el torque, aumentó respecto a la gasolina. Además, el BSFC bajó y se tuvo mayor ventaja al momento de alcanzar el MBT.
- La potencia de frenado mejora con el incremento de etanol en la mezcla del combustible, lo que implica mayor eficiencia térmica a mayor contenido de etanol.
- El etanol es una fuente de combustible más amigable con el medio ambiente comparado a la gasolina. En la literatura se observó que, con el incremento del porcentaje de etanol en la muestra, disminuyen las emisiones de los gases de combustión.
- De acuerdo a la literatura, no se requieren grandes cambios en un motor para que este pueda empezar a ser utilizado con mezclas gasolina-etanol.

- Se observa una tendencia de corroer ciertas partes del motor el doble de rápido que la gasolina convencional con mezclas gasolina etanol E50 o superior.

(Andia, Salinas, Orellana, & Sempértegui, 2023)

"Análisis experimental de uso de mezclas etanol-gasolina en motores de encendido por chispa", Giancarlo Jesús Tipián.

- Entre las mezclas estudiadas, se encontró que, de modo general, el mejor desempeño se obtuvo al usar el combustible E17,5. Como constatado en Figura 4.12 y Figura 4.13, para las distintas cargas evaluadas en 2500 rpm y 3500 rpm, los mayores rendimientos efectivos correspondieron al uso del E17,5 (por ejemplo: a plena carga (100% del torque) de 3500 rpm, el rendimiento con E17,5 y E7,8 fueron 26% y 29%, respectivamente). En 4500 rpm (Figura 4.14), el uso de E17 también mostró altos rendimientos en altas cargas de operación.
- Para el caso del CEC, como era de esperar, también se concluye que el combustible E17,5 es la mejor opción a plena carga (Figura 4.16) ya que se tienen los menores valores de consumo específico de combustible.
- Las cantidades de emisiones de CO se redujeron notoriamente a medida que se aumentó la cantidad de etanol a la mezcla, lo cual se observó para los cuatro grados de carga, esto se debe principalmente a que el etanol contiene mayor cantidad de moléculas de oxígeno en su composición, y por ende, en la combustión existirá mayor oxígeno para quemar el combustible, esto quiere decir que, habrá una combustión más completa con lo que se redujeron los niveles de CO (por ejemplo: a plena carga (100% del torque) de 3500 rpm, las emisiones de CO con E7,8 y E17,5 fueron 4,3% y 2,1%, respectivamente).
- El mismo efecto de reducción de emisiones se obtuvo para los hidrocarburos quemados y no quemados (HC), ya que, al haber combustión más completa, se quema mayor cantidad de hidrocarburos del combustible.

- Por otro lado, la cantidad de emisiones de CO_2 y el O_2 aumentaron considerablemente conforme se aumentó etanol a la mezcla, debido a la composición de oxígeno del etanol carburante, lo cual causa el efecto ya explicado anteriormente.

(Tipían, 2015)

2.2 COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN EL PRESENTE TRABAJO

2.2.1 Gasolina

2.2.1.1 Definición

La gasolina o conocida en otros países como nafta, es un combustible fósil compuesto por la mezcla de diferentes hidrocarburos derivados del petróleo formado por átomos de hidrogeno y carbono en su estructura molecular. En la actualidad es el combustible más utilizado en los motores de combustión interna de encendido por chispa.

2.2.1.2 Producción

La gasolina se obtiene a través de la destilación fraccionada del petróleo crudo, proceso en el cual se separan los distintos componentes del crudo según sus puntos de ebullición. la gasolina resultante de esta destilación llega a un promedio de 60 en número de octano. No todas las gasolinas del mercado provocan el mismo efecto en la combustión, ya que dependen directamente del octanaje de la gasolina. Sin embargo, la calidad de la gasolina y su comportamiento durante la combustión pueden mejorarse al aumentar su número de octano.

Para lograr esto, se emplea el proceso de **craqueo catalítico**, que implica la ruptura controlada de las moléculas de hidrocarburos más largas presentes en el crudo para formar compuestos más ligeros de esta manera aumentar mejorar el índice de octano. Este proceso no solo mejora la calidad del combustible, sino que también optimiza su rendimiento en motores de mayor compresión.

El índice de octano es una medida de resistencia de la gasolina a la autoignición o detonación en el motor. En los motores de encendido provocado, la mezcla aire-combustible se

comprime dentro del cilindro antes de ser encendido por la chispa de la bujía. Si la gasolina presenta el número de octano bajo, puede presentarse una detonación prematura, lo que afecta a la eficiencia del motor y puede provocar daños en el mismo. Un mayor índice de octano indica una mayor capacidad del combustible para resistir la autoignición, lo que permite una compresión más alta en el motor mejorando la eficiencia térmica y el rendimiento general del mismo.

2.2.2 Etanol

2.2.2.1 Definición

El bioetanol, considerado como el "combustible del futuro" es un alcohol simple (etanol C_2H_5OH) que se obtiene a partir de biomasa, el etanol se separa de la mezcla de la fermentación mediante destilación, obteniendo un etanol común con una pureza alrededor de 96% en volumen, con el 4% restante en agua. Existen 2 formas comerciales principales de etanol:

- **Etanol hidratado:** este contiene aproximadamente un 4% de agua en volumen y no ha sido sometido a procesos de desnaturalización.
- **Etanol anhidrido:** este etanol tiene una pureza de superior al 99,4% en volumen de etanol, con niveles mínimo de agua.

El etanol es un combustible con muchas características interesantes, posee un alto poder calorífico (calor de combustión), lo que le hace una fuente eficiente de energía. Además, contiene índice de octano elevado, lo que mejora la resistencia a la detonación en motores de encendido por chispa, aun que presenta un índice bajo de cetano (relacionado con motores de encendido por compresión).

A pesar de los beneficios ambientales y energéticos, el uso de etanol aun no esta tan extendido en muchos países, incluido el Perú, donde estos aun enfrentan barreras técnicas, económicas y de logística. Sin embargo, a nivel global, el etanol es cada vez más utilizado como

parte de una estrategia para disminuir la dependencia de los recursos fósiles y transitar hacia un sistema energético más limpio y que proteja el medio ambiente.

A modo de ilustración y en condiciones de combustión completa, 1 molécula de etanol produce 2 moléculas de dióxido de carbono (ecuación 1) con un calor de combustión de -29.7 kJoules/g (-1367 kJoules/mol) y una tasa de efecto invernadero de 1 CO_2/687 kJoules. Esto se compara con la combustión completa del isooctano, donde 1 molécula de isooctano produce 8 moléculas de dióxido de carbono (ecuación 2) con un calor de combustión de -47.7 kJoules/g (-5442 kJoules/mol) y una tasa de efecto invernadero de 1 CO2/680 kJoules.

C_2H_5OH (l) + 3 O_2 (g) 2 CO_2 (g) + 3 H_2O (g)(1)

C_8H_{18} (l) + 25/2 O_2 (g) 8 CO_2 (g) + 9 H_2O (g)(2)

(Alvarez, Evelson, & Boveris, 2008)

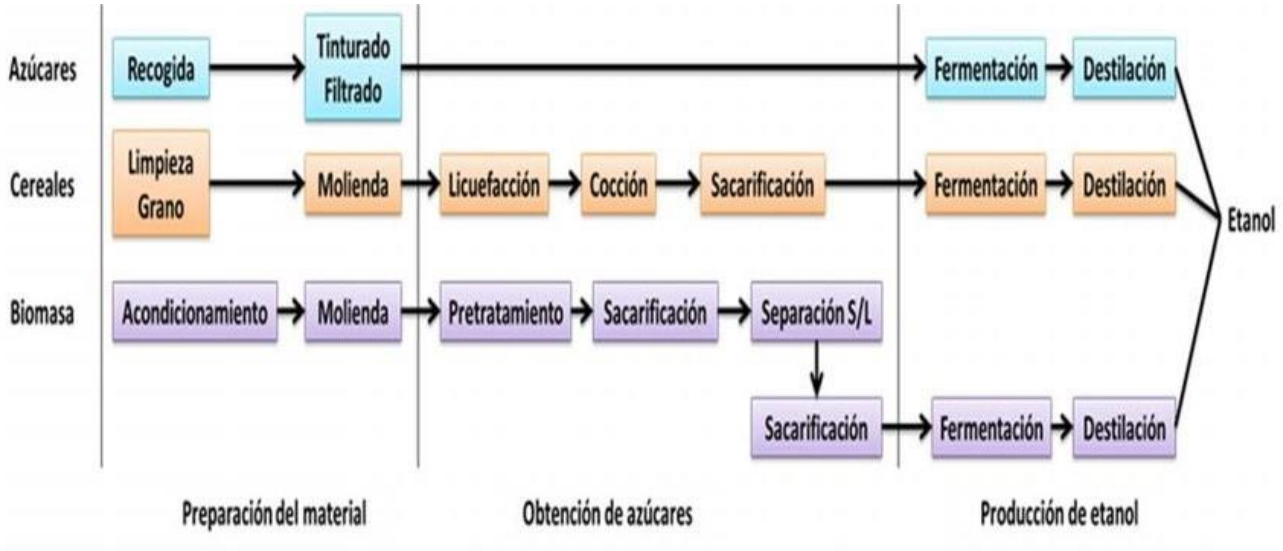
2.2.2.2 Producción

El etanol se obtiene usualmente de derivados vegetales con alto contenido de sacarosa (como la caña de azúcar o el maíz). Este alcohol se produce mediante un proceso de fermentación, donde los azucares presentes en la biomasa son convertidos por acción de microorganismos (generalmente levaduras) en etanol y dióxido de carbono, en un proceso que ocurre en unas 48 horas. El rendimiento de este proceso varia, pero típicamente se obtiene un contenido de etanol de aproximadamente 12-15% en peso de la biomasa tratada. Típicamente una tonelada de caña de azúcar limpia contiene unos 135 kg de sacarosa que producen unos 85 litros de etanol.

Con alto contenido de almidón, como maíz, papa. El almidón se hidroliza durante el proceso de producción para producir glucosa que fermenta a etanol por las levaduras. Desde un punto de vista teórico, una tonelada de maíz puede producir 380 litros de etanol, pero la media de la producción industrial es de 324 litros.

Figura 2.1

Proceso de obtención del etanol



Nota. Tomado de "Producción sostenible de biocombustibles" [Figura 31], por Pérez, A., Gómez, B., & López, C., 2015. https://www.researchgate.net/figure/Figura-31-Diagrama-de-la-produccion-de-etanol-a-partir-de-diferentes-materias-primas_fig1_264457964Propiedades de los combustibles utilizados en la presente tesis

En la tabla 2.1 se presenta las principales propiedades de los combustibles utilizados en la presente tesis.

Tabla 2.1

Propiedades físicas y químicas de la gasolina y etanol

Propiedades Físicas y Químicas	Gasolina	Etanol
Formula molecular	C_7H_{17}	C_2H_5OH
Poder calorífico (MJ/Kg)	44.1516	28.1387
temperatura de autoignición (°C)	250	464
temperatura de ebullición (°C)	25 - 215	78
Índice de octano	95	100
Calor de vaporización (KJ/Kg)	340	855
Relación Aire/Combustible	14.7	8.9431
Numero de octanaje (RON/MON)	106/87	91/80
Densidad A 20 °C (g/cc)	0.7231	0.7895

Nota. Elaboración propia.

La fórmula molecular del etanol presenta mayor composición de hidrogeno con relación al carbono lo que implica menor emisiones de material particulado en el proceso de combustión

2.2.3 Mezclas gasolina-etanol

Cuando el etanol se mezcla con nafta (gasolina), se obtiene el combustible conocido como gasohol o alconafta, que mantiene características similares de combustión a la nafta, pero con un mayor poder energético debido al contenido de etanol. El uso de gasohol ha aganado popularidad en muchos países como una alternativa a los combustibles derivados del petróleo, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y promoviendo el uso de energías renovables.

Este tipo de combustible surge desde los años 70’s con el desabastecimiento de la gasolina y el diésel. primeramente, la mezcla se realizaba con el metanol por su fácil producción, posteriormente se puso a prueba el etanol observándose que el metanol es toxico y trayendo demasiados problemas corrosivos.

En la actualidad en todo el mundo se utiliza el gasohol en diferentes porcentajes de concentración de etanol. Se suele indicar el porcentaje de etanol con la letra “E” mayúscula acompañada del porcentaje del alcohol de esta manera E10 contiene 10% de etanol y 90% de gasolina.

Europa y estados unidos utilizan porcentajes que van desde E5 hasta E85 en sus motores flexibles y Brasil siendo el único país que llega a utilizar E100 en los mismos motores obteniendo resultados positivos.

2.3 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS

Los caballos fueron remplazados por la máquina de vapor, los motores a gasolina y eléctricos remplazaron a las máquinas de vapor. Los motores eléctricos no evolucionaron y sigue siendo un problema en la actualidad su limitada autonomía.

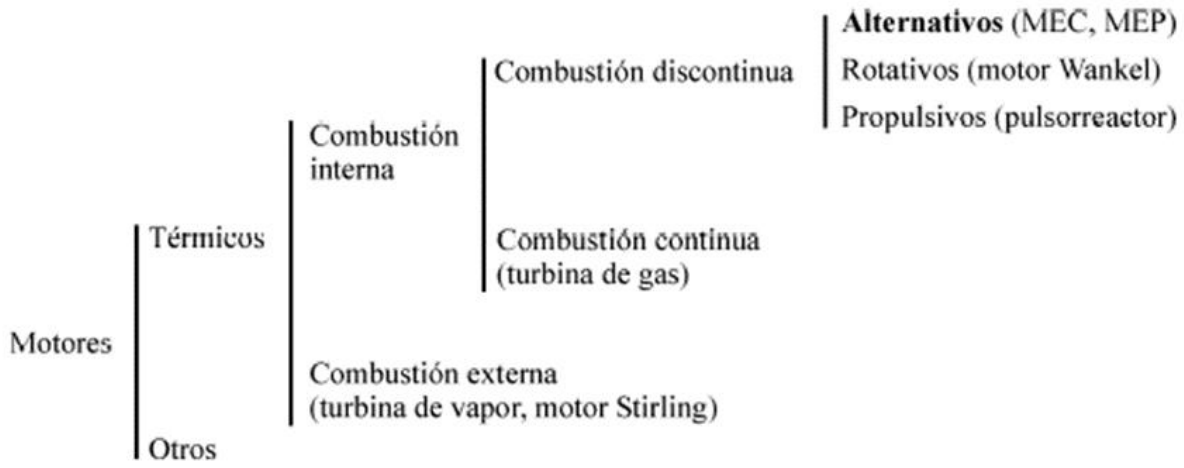
Un motor se puede considerar como un dispositivo que permite transformar cualquier tipo de energía en energía mecánica. Dentro de ese amplio campo, se encuentra el motor térmico, que se puede definir como el dispositivo que permite obtener energía mecánica a partir de la energía térmica contenida en un fluido compresible. (Payri & Desantes, 2011)

En 1980, Étienne Lenoir diseño el primer motor de combustión interna en el que no existía compresión antes de la combustión. En 1876, Nicolaus Otto patento el primer motor de cuatro tiempos de combustión interna conocido por el ciclo de cuatro posiciones del pistón. En 1892, Rudolph Diesel patento una nueva forma de motor de combustión interna, el motor diésel, similar al motor de combustión interna común, pero sin disponer de bujía.

(Velázquez, 2019)

Figura 2.2

Clasificación de los motores



Nota. Tomado de Motores de combustión interna alternativos (p. 24), por F. Payri, 2011, Reverté.Los MCIA son muy utilizados por las siguientes ventajas:

- Rendimiento: es posible llegar a 55%, el cual es aparentemente bajo en comparación a otros motores, pero su rendimiento es muy estable cuando funciona con diferentes regímenes o cargas.

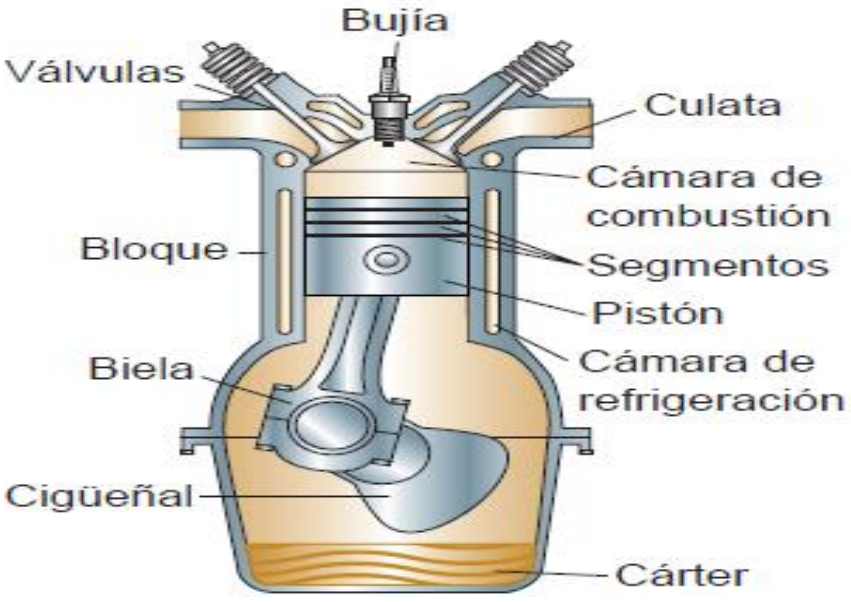
- Potencia: los MCIA se pueden construir para poder brindar un gran rango de potencias, por lo cual son utilizados en muchas aplicaciones.
- Combustible: pueden funcionar con combustibles de toda naturaleza líquidos, gaseosos o incluso solidos pulverizados.
- Características constructivas: se pueden dimensionar la carrera y el diámetro, inclusive dar arreglos poli cilíndricos para múltiples aplicaciones.

2.4 MOTORES DE ENCENDIDO POR CHISPA

También conocido como motores de encendido provocado (MEP) motores del ciclo Otto. La mezcla homogénea aire combustible se forma en el proceso de admisión para ser deflagrado por un agente externo como es la bujía, se dispone de un encendido eléctrico, dicha chispa inflama la carga comprimida en la cámara de combustión.

Figura 2.3

Partes de un motor Otto



Nota. Tomado de Motores (p. 28), por S. Sanz, año, Editex.

Los motores de encendido por chispa también se pueden clasificar en motores de cuatro tiempos y motores de dos tiempos esto según la renovación de su carga.

En estos motores el ciclo de trabajo se completa en dos vueltas de cigüeñal o, lo que es lo mismo a decir, en cuatro carreras del émbolo. De esto último proviene la denominación de motores de 4 tiempos. (Payri & Desantes, 2011)

2.5 ASPECTOS TERMODINÁMICOS DE UN MOTOR OTTO

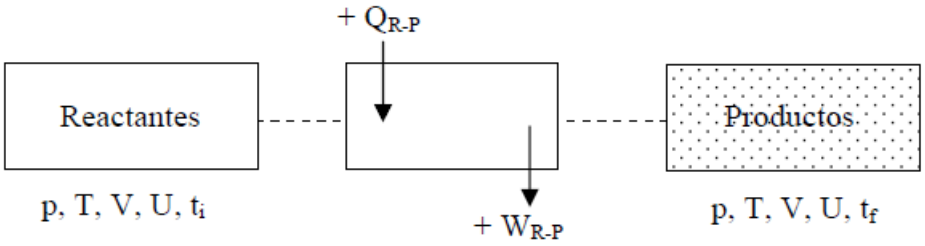
El motor otto es un motor térmico que convierte energía térmica en energía mecánica mediante el proceso de combustión interna. Esta combustión ocurre dentro del cilindro. Durante el ciclo termodinámico, se genera una cierta cantidad de calor como resultado de la combustión (calor generado) de la mezcla homogénea aire-combustible, mientras que otra parte del calor se pierde en la refrigeración, fricción u otros factores. El trabajo útil producido es la diferencia de calores entre el generado menos el cedido, debido a la realización continua de ciclos termodinámicos dentro del cilindro el motor otto proporciona un trabajo continuo.

2.5.1 Primera ley de la termodinámica

Desde un enfoque termodinámico se permite realizar un balance energético del motor, relaciona los cambios de energía interna con el calor o trabajo transferido para un sistema con masa considerando que están suscitando cambios en la composición de los reactantes y los productos. Esto permite ver dónde y cómo se pierde la energía lo cual es fundamental para mejorar el diseño y la eficiencia de los motores.

Figura 2.4

Aplicación de la primera ley de la termodinámica a un volumen de control entre dos estados definidos



Nota. Tomado de El proceso de combustión en motores de combustión interna (p. 32), por J. Fygueroa y O. Araque, año, Mérida.

$$Q_{R-P} - W_{R-P} = U_P - U_R$$

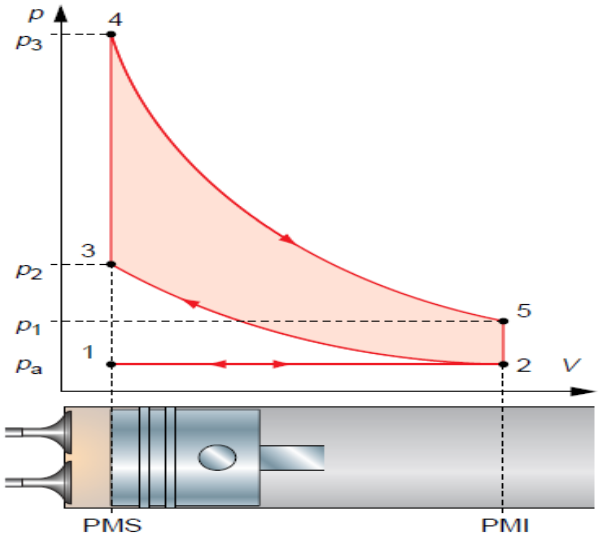
Por convención, se considera positivos el calor transferido al sistema y el trabajo realizo por el sistema sobre el entorno, se conocen las condiciones de P y T inicial y se desea calcular la energía liberada durante el proceso de combustiona que el sistema alcanza para nuevas condiciones de equilibrio (también definidas por nuevos valores de P y T). En el desarrollo de nuestros cálculos, consideraremos el caso en la que las condiciones iniciales y finales son conocidas e iguales a las normalizadas, P_0 y T_0. En este contexto, la cantidad de calor liberado bajo estos estándares, será referida como el poder calorífico inferior del combustible (Q_{LHV}).

2.5.2 Diagrama teórico del ciclo otto

En el diagrama teórico (P-V) del motor Otto, el ciclo termodinámico puede describirse en seis etapas.

Figura 2.5

Diagrama teórico del ciclo Otto



Nota. Tomado de Motores (p. 34), por S. Sanz, año, Editex.

Admisión (1-2)._ En este proceso el pistón se desplaza desde el PMS hacia el PMI, con las válvulas de admisión abiertas y las válvulas de escape totalmente cerradas. La mezcla aire combustible ingresa al cilindro a presión constante (isobárico).

Compresión (2-3)._ En esta fase ambas válvulas permanecen cerradas las de admisión y escape, el pistón asciende dese el PMI al PMS comprimiendo la mezcla que se encuentra en el cilindro este proceso es adiabática e irreversible indicando que existe un incremento de presión y temperatura sin transferencia de calor.

Combustión (3-4)._ El pistón llega al PMS donde se produce la ignición de la mezcla por medio de la chispa, en el modelo ideal del ciclo Otto este proceso se lleva a volumen constante (isocoro) generando un incremento súbito de temperatura y presión en el cilindro debido a la rápida liberación de la energía química.

Expansión (4-5)._ También conocida como carrera de trabajo es donde el pistón desciendo desde el PMS al PMI, esta etapa se considera adiabática con una variación de volumen y una notable disminución de la temperatura y presión.

Escape (5-2)._Al finalizar la expansión existe una rápida caída de presión a volumen constante ya que los gases se expulsan a una presión atmosférica con las válvulas de escape viertas**.**

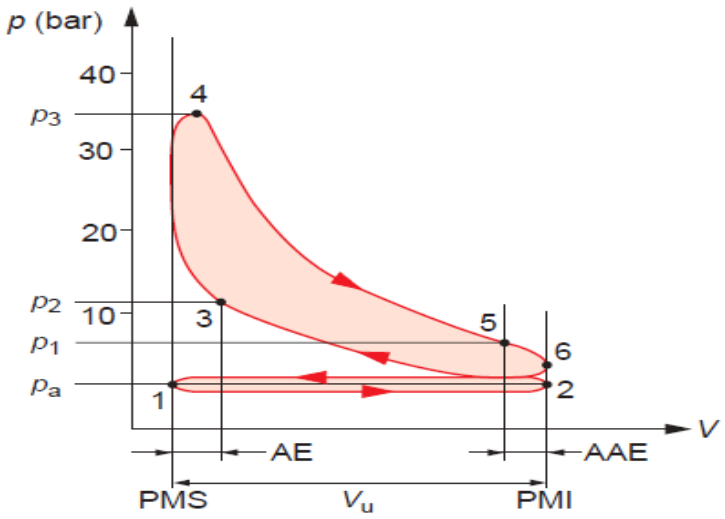
Expulsión de gases (2-1)._ Con las válvulas de escape completamente abiertas empieza la expulsión de los gases de combustión residuales a presión atmosférica, el pistón se desplaza desde el PMI hacia el PMS, de esta manera se acaba el ciclo y se prepara la cámara para un siguiente ciclo de admisión.

2.5.3 Diagrama real del ciclo otto

Existe una variación significativa respecto al diagrama *(P-V)* del ciclo ideal.

Figura 2.6

Diagrama real del ciclo Otto



Nota. Tomado de Motores (p. 35), por S. Sanz, año, Editex.

Admisión (1-2)._ En este proceso se realiza el llenado del cilindro a una presión menor a la atmosférica debido a perdida que sufre el fluido a consecuencia de los ductos y el filtro de aire. La apertura de las válvulas de admisión es antes de que el pistón llegue al PMS para favorecer el barrido de los gases residuales y se cierran después del PMI para aprovechar el

efecto de inercia del flujo. La masa admitida de la mezcla aire-combustible es menor a la teórica por efectos de fuga y retención de gases residuales.

Compresión (2-3)._ En esta etapa las válvulas de escape y admisión permanecen cerrados y el pistón se desplaza desde el PMI hacia el PMS. Existe una transferencia de calor hacia las paredes del motor y al sistema de refrigeración por lo tanto es un proceso no adiabático, debido a la no homogeneidad de la mezcla la chispa salta antes del PMS para la propagación del frente de llama y una combustión completa de la mezcla lo que se conoce como avance de encendido (AE).

Combustión (3-4)._ En esta etapa el proceso no es isocoro como se asumió en el ciclo ideal, la combustión empieza en el punto tres hasta el punto cuatro donde se presente la mayor presión y temperatura del ciclo.

Expansión (4-5)._ El descenso del pistón del PMS al PMI es no adiabático donde existe transferencia de calor. Esta expansión politrópica genera trabajo útil, pero con una eficiencia menor al ciclo ideal ya que existe perdidas térmicas y mecánicas.

Apertura anticipada de escape (5-6)._ En esta parte existe la apertura anticipada de las válvulas de escape (AAE). generando una despresurización en el cilindro lo que facilitara la expulsión de los gases, existe una variación de volumen en esta etapa.

Escape (6-1)._ El pistón sube nuevamente desde el PMI hasta PMS expulsando los gases residuales, las válvulas de escape permanecen abiertas hasta después del PMS para aprovechar el efecto de barrido y reducir la retención de los gases, la expulsión de los gases es a una presión mayor a la atmosférica ya que existe perdidas en el ducto de salida como catalizador, silenciador y otros. Este proceso tampoco es isobárico y se produce un trabajo negativo que afecta a la eficiencia de la máquina.

2.5.4 Eficiencia térmica

Parámetro fundamental en el análisis termodinámico de los motores, ya que determina cuan eficaz el sistema convierte la energía química contenida en el combustible en trabajo útil. Expresa el porcentaje de calor liberado durante la combustión que es transformado en energía mecánica aprovechable, siendo el resto disipado en forma de perdidas.

2.5.4.1 Eficiencia térmica ideal

La eficiencia térmica ideal conocida como eficiencia máxima teórica, corresponde al rendimiento de un ciclo termodinámico ideal en la que no se consideran perdidas reales como la fricción mecánica, la transferencia de calor no deseada, combustión incompleta o las fugas del sistema. Esta eficiencia representa una limeta superior en los ciclos termodinámicos de los motores que nos permite ver el desempeño de los mismos.

$$n_{ideal} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

2.5.4.2 Eficiencia térmica neta

Representa la eficiencia real considerando perdidas mecánicas, térmicas y energética. Se basa en la potencia útil real entregada y el calor suministrado.

$$n_{neta} = \frac{P_{util}}{m_{comb} * Q_{LHV}}$$

2.6 PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE UN MOTOR

Los parámetros de operación de un motor son las características que presenta un motor en su funcionamiento como: régimen de giro (RPM), carga, consumo especifico de combustible, presión media efectiva, torque, potencia, etc.

Otros autores dividen diferentes parámetros que se perciben en el funcionamiento y poder caracterizarlos, algunos de estos son:

2.6.1 Parámetros indicativos

Hacen referencia a aspectos termodinámicos del ciclo. Su nombre proviene del diagrama indicador que es donde mejor se representa la evolución del proceso termodinámico que experimenta el gas

(Velázquez,2019)

2.6.1.1 Presión media indicada

La presión media indicada (PMI) es una magnitud teórica que permite evaluar el rendimiento del motor sin necesidad de conocer directamente el par motor o la potencia desarrollada. Es una presión teórica que representa el valor promedio de la presión efectiva que actúa sobre el pistón a lo largo del ciclo termodinámico. Es un indicador fundamental para estimar cuanta energía útil se genera durante la combustión dentro del cilindro. En el diagrama (P-V), el área encerrada por el ciclo representa el trabajo indicado por el ciclo. Dividir ese trabajo por el volumen desplazado o volumen útil del cilindro representa la presión media indicada.

$$PMI = \frac{W_i}{V_U}$$

2.6.2 Parámetros efectivos

hacen referencia a aspectos termodinámicos y mecánicos del ciclo, es decir, lo que ocurre en el eje del motor. No se tienen en cuenta las perdidas mecánicas

(Velázquez,2019)

2.7 MOTOR UTILIZADO EN LA PRESENTE INVESTIGACIÓN

Es un motor de 4 tiempos mono cilíndrico, ligero y de buen desempeño por su simplicidad en su diseño. El motor Honda GX120 tiene un diseño (OHV).

Los motores con válvulas en cabeza (OHV, por sus ciclas en inglés de “overhead valve”) se caracterizan por disponer las válvulas de admisión y escape por encima de la cámara de

combustión, en lugar de un bloque lateral, como ocurre en otro tipo de motores. Esta configuración implica que las válvulas estén dispuestas en la parte superior del cilindro, siendo accionadas generalmente por un sistema de árbol de levas en el bloque a través de taques, varillas y balancines.

Figura 2.7

Motor Honda GX120

Nota. Tomado de Motores GX120, por Honda Engines Europe, s.f. ***https://www.honda-engines-eu.com/es/productos/motores/qx120***

2.7.1 Principales características del motor Honda GX120

- Tipo de motor mono cilíndrico, OHV, 4 tiempos, cilindro inclinado 25°.
- Refrigeración por aire.
- Arranque manual retráctil.
- Sistema de encendido por bobina transistorizada.
- Inyección por carburador.
- Sistemas de distribución por engranajes.
- Cilindrado: 122 cm3

- Potencia neta: 2.4 kW (3.2 HP) /3600 rpm
- Relación de compresión: 8.3:1
- Para máximo: 7.5 Nm/2500 rpm

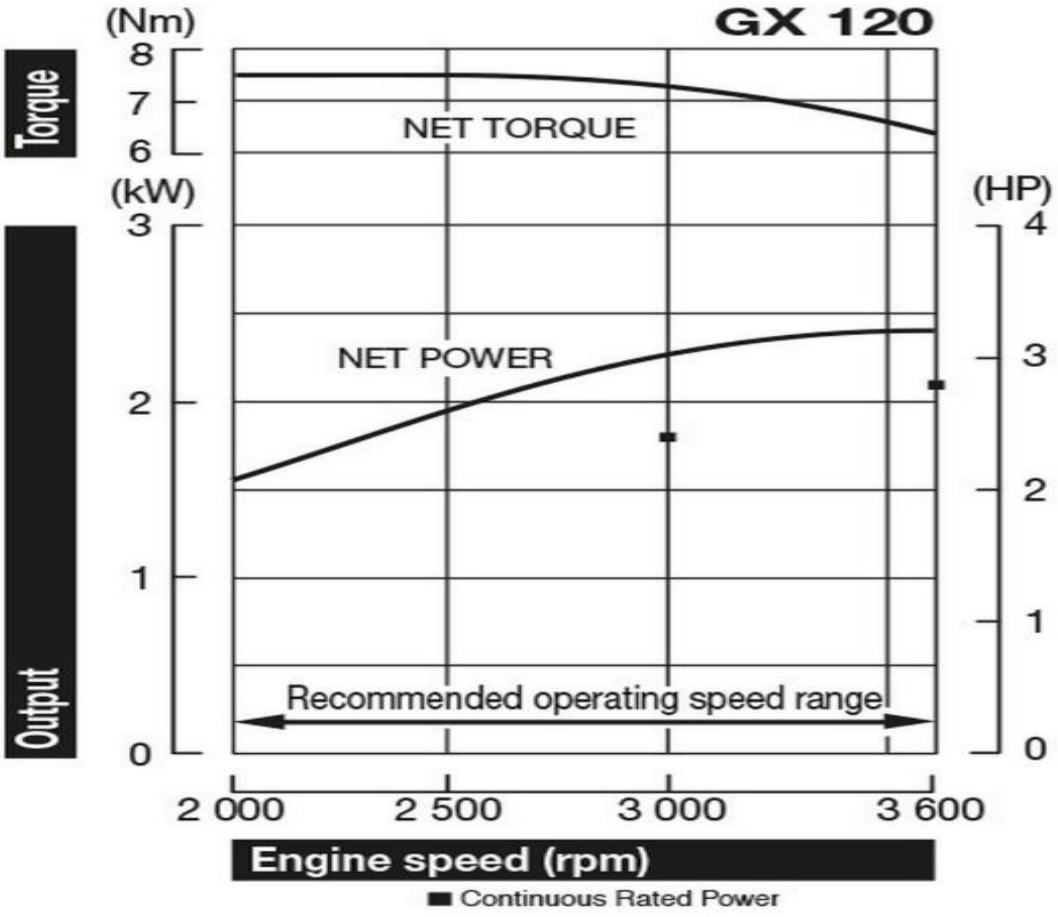
2.7.2 Curvas características del motor Honda GX120

La potencia de este motor es la potencia neta probada en un motor de producción de este modelo y se mide de acuerdo con la norma SAE J1349 a las revoluciones especificadas. En los motores de fabricación en serie este valor puede variar. El valor real de potencia de salida del motor instalado en la maquina final variara dependiendo de numerosos factores como la velocidad de funcionamiento del motor en la aplicación, condiciones ambientales, mantenimiento y otras variables.

(Motores GX120, 2020)

Figura 2.8

Clasificación de los motores



Nota. Tomado de Motores GX120, por Honda Engines Europe, s.f. [***https://www.honda-engines-eu.com/es/productos/motores/gx120***](https://www.honda-engines-eu.com/es/productos/motores/gx120)

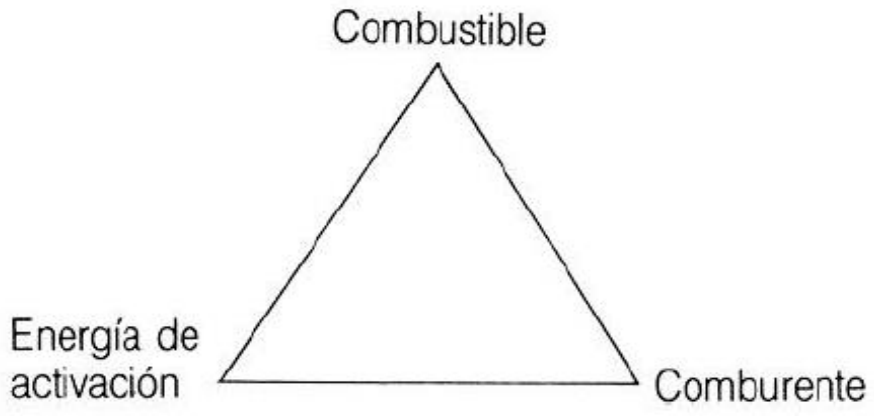
2.8 COMBUSTIÓN

La combustión en lo motores de encendido por chispa (MEP) se caracteriza por una deflagración de la mezcla aire-combustible premezclada durante la fase de admisión. Para tener una mezcla homogénea, es esencial que el combustible sea inyectado en estado líquido y posteriormente se volatilice en la cámara de combustión. Esta propiedad es inherente a combustibles como la gasolina, los alcoholes y el gas licuado de petróleo (glp).

El proceso de combustión se inicia justo antes de alcanzar el punto muerto superior, en la cámara de combustión, un volumen reducido donde ocurren las reacciones químicas de oxidación. La ignición de la mezcla se produce mediante un sistema de encendido externo, generalmente una chispa eléctrica proveniente de la bujía, que inicia frente de llama que se propaga hacia las zonas de mezcla fresca ubicadas en las regiones periféricas de la cámara de combustión. Esta propagación del frente de llama ocurre a una velocidad subsónica, lo que asegura una combustión eficiente y controlada dentro de los límites del diseño del motor. Para que se realice la combustión deben existir tres factores:

Figura 2.9

Triangulo de la combustión



Nota. Tomado de Teoría de la combustión (p. 3), por R. García, 2001.

2.8.1 Estequiometria de la combustión

La estequiometria de la combustión hace referencia a la relación cuantitativa entre los reactivos (combustible y oxigeno) y los productos resultantes (principalmente dióxido de carbono, agua y compuestos secundarios), tanto de términos de masa como de volumen. La finalidad de este análisis es determinar:

- Cantidad de oxígeno necesario para una combustión completa.
- Composición de los productos de la combustión

Para este análisis es necesario situarnos en tres posibles tipos de combustión que se pueden presentar:

Combustión completa: Se produce la oxidación total de todos los componentes del combustible. en este tipo de combustión, los productos principales son dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O), sin formación de subproductos no deseados.

Combustión incompleta: No se lleva a cabo la oxidación total del combustible, resultando en productos como monóxido de carbono (CO), hidrogeno (H_2), compuestos orgánicos incompletos y, en algunos casos, hollín o carbono no quemado (C). este tipo de combustión ocurre cuando hay una cantidad insuficiente de oxígeno para oxidar completamente todos los elementos presentes en el combustible.

Combustión estequiométrica: También conocida como combustión ideal, es aquella en la que el combustible se quema completamente utilizando la cantidad exacto de oxígeno necesario para oxidar completamente los componentes del combustible, sin exceso ni déficit de oxígeno. En este régimen, la relación de aire-combustible esta optimizada, es decir, se emplea el mínimo de aire necesario para proporcionar las moléculas de oxígeno suficientes para la oxidación total del combustible.

$$CxHy + \lambda Aire(O_2 + N_2) \rightarrow CO_2 + \left(\frac{y}{2}\right) H_2O + 0{,}79\lambda N_2 + Calor(Q)$$

2.8.2 Coeficiente de exceso de aire

La combustión completa y estequiométrica en la práctica no se presenta por lo que hay un exceso de aire o un defecto de la misma para el quemado del combustible. la cantidad necesario para la combustión de un 1 kg de combustible se le conoce como "coeficiente de exceso de aire".

- $\lambda = 1$; combustión estequiométrica.
- $\lambda < 1$; defecto de aire, conocida también como mezcla rica.
- $\lambda > 1$; exceso de aire, conocida también como mezcla pobre.

Combustión con defecto de aire (λ < 1): no se presenta el aire que contenga el oxígeno necesario para poder quemar completamente el combustible. consecuencia de ello se presentan CO, H2, entre otros.

$$CxHy + \lambda Aire(O_2 + N_2) \rightarrow CO_2 + CO + H_2 + H_2O + 0{,}79\lambda N_2 + Calor(Q)$$

Combustión con exceso de aire (λ > 1): existe un exceso de oxígeno esto puede llevar a una combustión incompleta por la no homogeneidad de la carga.

$$CxHy + \lambda Aire(O_2 + N_2) \rightarrow CO_2 + CO + H_2 + H_2O + O_2 + 0{,}79\lambda N_2 + Calor(Q)$$

2.8.3 Constante de equilibrio $K_{(T)}$

Existe una relación definida entre las presiones parciales de los reactivos y productos en el estado de equilibrio químico de la reacción de agua-gas, lo cual está determinado por la temperatura del sistema. La constante de equilibrio permite cuantificar el grado de avance de la reacción en condiciones de equilibrio y clave para estimar la conversión teórica del monóxido de carbono (CO) a dióxido de carbono (CO2) e hidrogeno (H2). También es esencial para el análisis y control termodinámico del proceso, ya que su valor está relacionado directamente con la energía libre de Gibbs de la reacción a temperatura constante.

$$K_{(T)} = \frac{M_{H_2O}\, M_{CO}}{M_{CO_2}\, M_{H_2}} = \frac{c\ d}{b\ e}$$

2.8.4 Poder calorífico

El calor de combustión o poder calorífico de un combustible se define como la energía térmica transferida fuera de un sistema por unidad de masa o mol de combustible cuando los estados inicial y final se encuentran a la temperatura y presión de referencia, $T_0 = 298{,}15\ K$ y $P_0 = 101\ KPa$. El número de moles en el sistema no es constante durante un cambio de estado de combustión. Por convención, el calor transferido fuera de un sistema es negativo y el calor de combustión es un numero positivo, es decir, $q_c = -Q$, por lo que:

$$q_c = H_r - H_p$$

(Ferguson & Kirkpatrick, 2016)

2.8.4.1 Poder calorífico superior

Es la energía total liberada durante el proceso de combustión, incluye la energía que se genera por la combustión del hidrogeno contenido en los combustibles. Parte del hidrogeno se transforma en agua en su estado gaseoso, quiere decir, el poder calorífico superior incluye la energía que se podría recuperar si el vapor de agua se condensara.

2.8.4.2 Poder calorífico inferior

También conocido como poder calorífico neto, ya que representa la energía disponible para el proceso térmico, sacando el calor latente del vapor de agua que se genera durante la combustión del combustible. Este poder calorífico usaremos en nuestro balance energético de nuestra investigación, dado que, ese vapor de agua suele salir por los gases de escape y no se recupera en condiciones operativas reales.

2.8.5 Gases productos de la combustión

En la actualidad, el diseño de equipos que operan con combustibles está restringido por los límites de emisiones establecidos por las normativas ambientales. Los entandares regulatorios exigen que las emisiones de estos equipos se encuentran dentro de márgenes permitidos, lo que impulsa la investigación y el desarrollo de nuevas alternativas de combustibles más sostenibles. El objetivo es minimizar los impactos negativos sobre el efecto invernadero, la degradación de la capa de ozono, la salud humana y las alteraciones climáticas.

La combustión de los hidrocarburos produce principalmente dióxido de carbono (CO2) en procesos de oxidación completa. Sin embargo, en condiciones reales de operación, la oxidación no siempre es total, lo que da lugar a productos de combustión incompleta. En particular, el monóxido de carbono (CO) es un gas toxico que se genera cuando el oxígeno disponible es insuficiente para completar la oxidación del carbono. A concentraciones elevadas,

el CO puede ser letal para los organismos vivos, ya que infiere con el transporte de oxígeno en la sangre.

2.8.5.1 Descripción de los gases productos de la combustión

Los principales gases emitidos provenientes de los motores de combustión interna son:

Monóxido de carbono (CO): Como ya se había descrito en la presente investigación el monóxido de carbono es un gas toxico e incoloro**,** producido directamente por la combustión incompleta de los combustibles. Su presencia es más pronunciada cuando hay falta de oxígeno o una mezcla de aire combustible pobre. El CO se une a la hemoglobina en la sangre, disminuyendo el transporte de oxígeno en la sangre, provocando intoxicación, daños en el organismo y, en concentraciones altas, la muerte.

Dióxido de carbono (CO_2): este gas se presenta cuando se quema completamente los hidrocarburos, es un gas de efecto invernadero. Aunque no es toxico, su acumulación en la atmosfera afecta en el cambio climático, al ser uno los principales responsables del calentamiento global. Es un subproducto que aparece de la combustión completa de los combustibles.

Óxidos de nitrógeno (NO_x): los óxidos de nitrógeno, que comprenden el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2), se forman a altas temperaturas en los motores de combustión interna, cuando el nitrógeno reacciona con el oxígeno. los NO_x son precursores de la formación del ozono a nivel del suelo (un contaminante secundario), y están asociados con problemas respiratorios, como el asma, además de contribuir con la lluvia ácida.

Dióxido de azufre (SO_2): el dióxido de azufre se presenta cuando los componentes que contienen azufre, presentes en el combustible, se queman. Aun que es más común en los combustibles fósiles como el petróleo y el carbón, también pueden estar presentes en las mezclas de etanol-gasolina cuando existen impurezas. El SO_2 contribuye a la lluvia acida, lo que puede dañar el ecosistema acuatice.

Hidrocarburos (HC): los hidrocarburos no quemados (HC), son compuestos orgánicos formados principalmente por el carbono e hidrogeno. De la misma manera que el CO se presenta cuando existe una combustión incompleta o ineficiente. Los HC pueden ser precursores del ozono troposférico y pueden ser perjudiciales para la salud humana, especialmente a niveles elevados, al contribuir a problemas respiratorios y cardiovasculares.

Material particulado (PM): El material particulado de la misma manera se presenta por una combustión incompleta del combustible. afecta directamente a los pulmones al presentar partículas microscópicas, provocando afecciones respiratorias, cardiovasculares y aumentar el riesgo del cáncer al pulmón. Además, presente efectos ambientales, como la reducción de la visibilidad y la alteración del ecosistema.

Agua (H_2O): El agua es un subproducto de la combustión completo de los hidrocarburos. Cuando se queman los combustibles, el hidrogeno presente en la reacción del combustible con el oxígeno da como resultado agua (H_2O).

Nitrógeno (N_2): El nitrógeno es el gas más abundante en la atmosfera terrestre (aproximadamente el 78% de la atmosfera) y no participa directamente en las reacciones de la combustión. El nitrógeno no es tóxico en sí mismo, pero su reacción con el oxígeno en los motores contribuye a la formación de NO_x, que son contaminantes significantes.

2.8.6 Eficiencia de la combustión

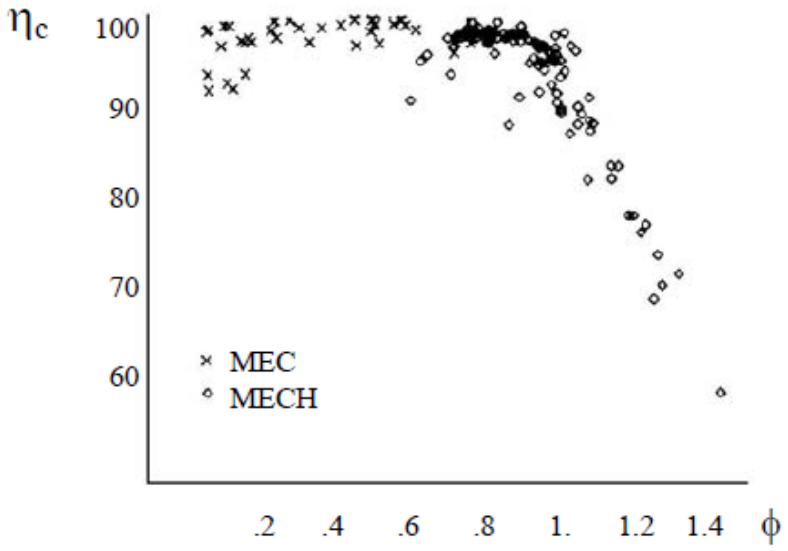
En los motores gasolineros la combustión no es ideal, por lo que aparecen productos como monóxido de carbono, hidrogeno e hidrocarburos no quemados. Estos productos se generan independientemente de que la mezcla (aire-combustible) sea rica o pobre.

En motores de encendido por chispa, la eficiencia de la combustión típica se encuentra en rangos de 95.5 % y 98.5% dependiendo de las condiciones operativas, sin embargo, a medida que se enriquece la mezcla la eficiencia de la combustión tiende a disminuir debido al

combustible no oxidado. Para los motores a compresión se presentan unas eficiencias cercanas o mayores al 98% que trabajan con mezclas pobres.

Figura 2.10

Eficiencia de la combustión en MCIA vs la riqueza de la mezcla



Nota. Tomado de El proceso de combustión en motores de combustión interna (p. 32), por J. Fygueroa y O. Araque, año, Mérida.

$$n_{comb} = \frac{(\Delta H)_{Tamb}}{m_c * H_i}$$

$$(\Delta H)_{Tamb} = (H_p - H_{r)_{Tamb}}$$

Para valores de riqueza: $1.0 \leq \Phi \leq 1.5$

$$\eta_{comb} = 2.594 - 2.173\Phi + 0.546\Phi^2$$

La eficiencia de la combustión depende de múltiples variables operativas, entre los más importantes se citan:

Ajuste de la riqueza de la mezcla: Durante el funcionamiento del motor, uno de los factores que más influye en la eficiencia del motor es la variación en la riqueza de la mezcla aire-combustible. En este contexto, el factor ∅ representa la relación entre la mezcla real y al estequiométrica, y tiene mayor influencia sobre el comportamiento de la combustión, como se

muestra en la figura 10. Se observa que los motores gasolineros presente una mayor sensibilidad en su rendimiento de combustión cuando operan con mezclas ricas $\emptyset > 1.0$. El funcionamiento fuera de los rangos convencionales de $\emptyset$ provoca deficiencias significativas debido a una combustión incompleta. En consecuencia, operar con mezclas excesivamente pobres o ricas puede generar inestabilidad en el motor, manifestadas como dispersión cíclica de la opresión en la cámara de combustión, mayor emisión de gases contaminantes y una operación inestable.

Relación de compresión: Como bien se sabe la relación de compresión determina el grado en la que la mezcla aire – combustible puede ser comprimida en el cilindro antes de la combustión, está dado por:

$$r_c = \frac{V_{cilindro} + V_{camara}}{V_{camara}}$$

En motores gasolineros puede ir desde (8:1 a 12:1).

En ese sentido, aumentar la relación en los motores mejora la eficiencia térmica y un aumento en la presión de combustión y una mejor propagación de la mezcla, sin embargo, una excesiva relación de compresión puede generar ineficiencia en la combustión debido a una detonación y provocar fallas en el motor.

Variación de carga del motor: A cargas bajas la mariposa de admisión esta parcialmente cerradas provocando perdidas en el bombeo y reduce la turbulencia en el cilindro generando una baja eficiencia en la combustión. Por otro lado, a carga alta existe una mayor presión y temperatura al inicio de la combustión lo que mejora la llama de la combustión.

Angulo de avance en el encendido: Si la chispa se produce demasiado temprano puede generar una detonación y si es demasiado tarde se pierde el potencial de expansión de los gases afectando en la eficiencia. Un avance optimo permite que la presión del pico ocurra justo después del PMS, maximizando el trabajo útil.

Régimen de revoluciones (RPM): En revoluciones menores hay mayor tiempo en la combustión, pero menor turbulencia lo que provoca menor tiempo en la propagación de la llama. A revoluciones altas se tiene menos tiempo de combustión generando combustión incompleta.

2.9 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES CONTAMINANTES

La normativa vigente que establece los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes en el Perú es el Decreto Supremo N° 029-2021-MINAN, el cual modifica el Decreto Supremo N° 010-2017-MINAN. Esta modificación se aplica tanto a vehículos nuevos como usados que se incorporen al Sistema Nacional de Trasporte Terrestre, con el objetivo de regular las emisiones de contaminantes atmosféricos en conformidad con los estándares ambientales establecidos.

Figura 2.11

Límites máximos permisibles de emisiones

"I.3 Vehículos livianos de pasajeros

I.3.1 Vehículos de pasajeros con PBV ≤ 2,5 toneladas								
Año aplicación (*)	Norma	Directiva/ Reglamento	Tipo de Motor / encendido	CO [g/km]	HC+NOx [g/km]	HC [g/km]	NOx [g/km]	PM [g/km]
Desde Abril 2018 hasta Septiembre 2024	EURO 4 o de mayor exigencia	98/69/EC(B)(1) y 2002/80/EC(1)	Chispa Compresión	1,00 0,50	- 0,30	0,10 -	0,08 0,25	- 0,025

I.3.2 Vehículos de pasajeros con PBV ≤ 3,5 toneladas										
Año aplicación (*)	Norma	Directiva/ Reglamento	Tipo de Motor / encendido	CO [g/km]	HCT+NOx [g/km]	HCT [g/km]	HCNM [g/km]	NOx [g/km]	PM [g/km]	NP [#/km]
Desde Octubre 2024 en adelante	EURO 6b o de mayor exigencia	(UE) 459/2012 (1)(2) y (UE) 2017/1154 (1) (2)	Chispa(3) Compresión	1,00 0,50	- 0,17	0,10 -	0,068 -	0,060 0,080	0,0045 0,0045	6,0 × 1011 6,0 × 1011

Nota. Adaptado de El Peruano, 2021.

2.9.1 Limites permisibles para los gases de escape en motores estacionarios

Los gases contaminantes provenientes de los motores de combustión interno, y su monitoreo y control son cruciales tanto para salud pública como para la protección del medio ambiente.

No existe una norma vigente que regule los niveles de emisiones contaminantes en motores de estacionarios de combustión interna en el Perú.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DEL PROCESO DE LA COMBUSTIÓN

3.1 DATOS INICIALES DE LOS COMBUSTIBLES

Densidad de gasolina: ρ_g = 0.720 – 0.780 kg/L = 720 – 780 kg/m3

Formula química de la gasolina: C_7H_{17}

Densidad del etanol: ρ_e = 0.790 kg/L = 790 kg/m3

Formula química del etanol: C_2H_6O

Considerando los siguientes pesos atómicos:

- C = 12.01 kg/kg mol
- H = 1.01 kg/kg mol
- O = 16 kg/kg mol

Los pesos moleculares de los combustibles son:

- Peso molecular de la gasolina: 101.24 kg/kg mol
- Peso molecular del etanol: 46.08 kg/kg mol

El contenido de etanol en la gasolina es de 7.8% en volumen como alcohol carburante, ahora se usarán las siguientes mezclas de gasolina con etanol E20, E30, E40 y E50. Todas estas concentraciones son en volumen.

3.2 COMBUSTIÓN ESTEQUIOMÉTRICA

3.2.1 Combustión estequiométrica para la gasolina 90 (E7.8)

El porcentaje en volumen debe convertirse a porcentaje en masa para la realización de los cálculos.

Para 100 ml de combustible:

$$\%V_E = 7.8\ ml$$

$$\%M_E = 7.8\ ml \times 790\ \frac{kg}{m^3} \times \frac{m^3}{1000\ l} \times \frac{l}{1000\ ml}$$

$$\%M_E = 6.162 \times 10^{-3}\ kg$$

$$\%V_G = 92.2\ ml$$

$$\%M_G = 92.2\ ml \times 750\ \frac{kg}{m^3} \times \frac{m^3}{1000\ l} \times \frac{l}{1000\ ml}$$

$$\%M_G = 69.15 \times 10^{-3}\ kg$$

Con esta proporción en masa para 100 ml de combustible se calculará la masa para la mezcla de 1 kg de combustible E7.8.

$$n(6.162 \times 10^{-3}\ kg) + n(69.15 \times 10^{-3}\ kg) = 1\ kg$$

$$n = \frac{1\ kg}{6.162 \times 10^{-3} + 69.15 \times 10^{-3}\ kg}$$

$$n = 13.278$$

Cálculo de los porcentajes en masa de la mezcla E7.8 para 1kg de combustible.

$$m_E = n \times \%M_E$$

$$m_E = 13.278 \times 6.162 \times 10^{-3}\ kg$$

$$m_E = 0.0818\ kg$$

$$m_G = n \times \%M_G$$

$$m_G = 13.278 \times 69.15 \times 10^{-3}\ kg$$

$$m_G = 0.9182\ kg$$

Determinando las fracciones molares para el combustible E7.8 para un 1 kg de combustible.

Tabla 3.1

Fracciones molares para el combustible E7.8

Combustible	Masa, m (kg)	Peso Molecular, M	Moles N=m/M (kg moles)	Fracción Molar
C_2H_6O	0.0818	46.08	0.0017756	0.164
C_7H_{17}	0.9182	101.24	0.009069344	0.836
	1		0.010844943	1

Nota. Elaboración propia.

Para un kg mol de combustible E7.8 en condiciones estequiométricas.

$$0.836\ C_7H_{17} + 0.164\ C_2H_6O + a(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow b\ CO_2 + c\ H_2O + d\ N_2$$

$$C: 7 \times 0.836 + 2 \times 0.164 = b \rightarrow b = 6.181$$

$$H: 17 \times 0.836 + 6 \times 0.164 = 2c \rightarrow c = 7.600$$

$$O: 1 \times 0.164 + 2a = 2b + c \rightarrow a = 9.899$$

$$N: 2a \times 3.76 = 2d \rightarrow d = 37.221$$

Relación AF estequiométrica

$$AF_{esteq} = \frac{A}{F} = \frac{N_a M_a}{N_f M_f}$$

Donde: El valor de M_a = 28.85 kg/kg mol.

$$AF_{esteq} = \frac{9.899 \times 4.76 \times 28.85}{0.164 \times 46.08 + 0.836 \times 101.24}$$

$$AF_{esteq}(E7.8) = 14.743$$

Obtenemos la siguiente ecuación:

$$0.836\ C_7H_{17} + 0.164\ C_2H_6O + 9.899(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow 6.181\ CO_2 + 7.6\ H_2O + 37.221\ N_2$$

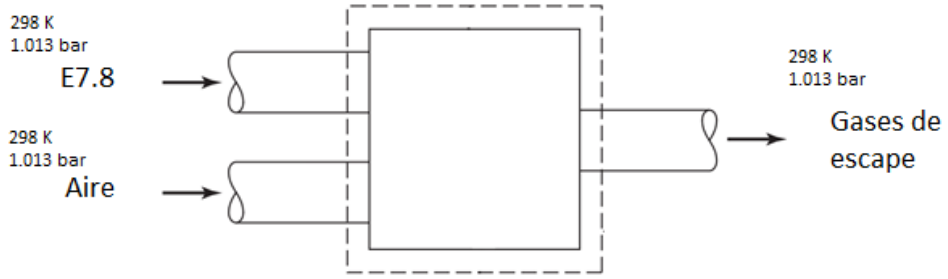
Calculando el poder calorífico inferior

Por convención, el calor transferido fuera de un sistema es negativo, y el calor de combustión es un número positivo, es decir:

$$\bar{q}_c = -Q$$

Figura 3.1

Combustión ideal para cálculo del poder calorífico – E7.8



Nota. Elaboración propia.

$$\bar{q}_c = \sum_i n_{r,i}\bar{h}_{r,i} - \sum_i n_{p,i}\bar{h}_{p,i}$$

$$\bar{q}_c = n_g \times \bar{h}_{\,g} + n_e \times \bar{h}_{\,e} - n_{CO_2} \times \bar{h}_{\,CO_2} - n_{H_2O}\left(\bar{h}_{\,H_2O} - (1-X)\bar{h}_{\,fg,H_2O}\right)$$

Además, considerando la calidad de agua $X = 1$, por lo tanto, la ecuación queda:

$$\bar{q}_c = n_g \times \bar{h}_{\,g} + n_e \times \bar{h}_{\,e} - n_{CO_2} \times \bar{h}_{\,CO_2} - n_{H_2O} \times \bar{h}_{\,H_2O}$$

$$\bar{q}_c = 0.836 \times -305.6 + 0.164 \times -277.2 - 6.181 \times -393.52 - 7.6 \times -241.83$$

$$\bar{q}_c = 3969.331\ MJ/Kmol$$

$$Q_{LHV} = \frac{3969.331}{0.164 \times 46.08 + 0.836 \times 101.24} = 43.05\ MJ/Kg$$

3.2.2 Combustión estequiométrica para la mezcla de gasolina con etanol al 20% en volumen (E20)

El porcentaje en volumen debe convertirse a porcentaje en masa para la realización de los cálculos.

Para 100 ml de combustible:

$$\%V_E = 20\ ml$$

$$\%M_E = 20\ ml \times 790\ \frac{kg}{m^3} \times \frac{m^3}{1000\ l} \times \frac{l}{1000\ ml}$$

$$\%M_E = 15.8 \times 10^{-3}\ kg$$

$$\%V_G = 80\ ml$$

$$\%M_G = 80\ ml \times 750\ \frac{kg}{m^3} \times \frac{m^3}{1000\ l} \times \frac{l}{1000\ ml}$$

$$\%M_G = 60 \times 10^{-3}\ kg$$

Con esta proporción en masa para 100 ml de combustible se calculará la masa para la mezcla de 1 kg de combustible E20.

$$n(15.8 \times 10^{-3}\ kg) + n(60 \times 10^{-3}\ kg) = 1\ kg$$

$$n = \frac{1\ kg}{15.8 \times 10^{-3} + 60 \times 10^{-3}\ kg}$$

$$n = 13.193$$

Cálculo de los porcentajes en masa de la mezcla E20 para 1kg de combustible.

$$\boldsymbol{m_E = n \times \%M_E}$$

$$m_E = 13.198 \times 15.8 \times 10^{-3}\ kg$$

$$m_E = 0.208\ kg$$

$$\boldsymbol{m_G = n \times \%M_G}$$

$$m_G = 13.198 \times 60 \times 10^{-3}\ kg$$

$$m_G = 0.792\ kg$$

Determinando las fracciones molares para el combustible E20 para un 1 kg de combustible.

Tabla 3.2

Fracciones molares para el combustible E20

Combustible	Masa, m (kg)	Peso Molecular, M	Moles N=m/M (kg moles)	Fracción Molar
C_2H_6O	0.208	46.08	0.004523509	0.367
C_7H_{17}	0.792	101.24	0.007818616	0.633
	1		0.012342125	1

Nota. Elaboración propia.

Para un kg mol de combustible E20 en condiciones estequiométricas.

$$0.633\ C_7H_{17} + 0.367\ C_2H_6O + a(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow b\ CO_2 + c\ H_2O + d\ N_2$$

$$C: 7 \times 0.633 + 2 \times 0.367 = b \rightarrow b = 5.167$$

$$H: 17 \times 0.633 + 6 \times 0.367 = 2c \rightarrow c = 6.484$$

$$O: 1 \times 0.367 + 2a = 2b + c \rightarrow a = 8.226$$

$$N: 2a \times 3.76 = 2d \rightarrow d = 30.931$$

Relación AF estequiométrica

$$AF_{esteq} = \frac{A}{F} = \frac{N_a M_a}{N_f M_f}$$

$$AF_{esteq} = \frac{8.226 \times 4.76 \times 28.85}{0.367 \times 46.08 + 0.633 \times 101.24}$$

$$AF_{esteq}(E20) = 13.943$$

Obtenemos la siguiente ecuación:

$$0.633\ C_7H_{17} + 0.367\ C_2H_6O + 8.226(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow 5.167\ CO_2 + 6.484\ H_2O + 30.931\ N_2$$

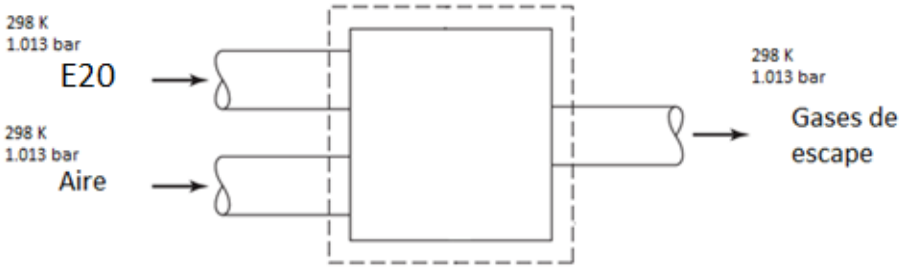
Calculando el poder calorífico inferior

Por convención, el calor transferido fuera de un sistema es negativo, y el calor de combustión es un número positivo, es decir:

$$\bar{q}_c = -Q$$

Figura 3.2

Combustión ideal para cálculo del poder calorífico – E20



Nota. Elaboración propia.

$$\bar{q}_c = \sum_i n_{r,i}\bar{h}_{r,i} - \sum_i n_{p,i}\bar{h}_{p,i}$$

$$\bar{q}_c = n_g \times \bar{h}_{\,g} + n_e \times \bar{h}_{\,e} - n_{CO_2} \times \bar{h}_{\,CO_2} - n_{H_2O}\left(\bar{h}_{\,H_2O} - (1-X)\bar{h}_{\,fg,H_2O}\right)$$

Además, considerando la calidad de agua X = 1, por lo tanto, la ecuación queda:

$$\bar{q}_c = n_g \times \bar{h}_{\,g} + n_e \times \bar{h}_{\,e} - n_{CO_2} \times \bar{h}_{\,CO_2} - n_{H_2O} \times \bar{h}_{\,H_2O}$$

$$\bar{q}_c = 0.633 \times -305.6 + 0.367 \times -277.2 - 5.167 \times -393.52 - 6.484 \times -241.83$$

$$\bar{q}_c = 3303.378\ MJ/Kmol$$

$$Q_{LHV} = \frac{3303.378}{0.367 \times 46.08 + 0.633 \times 101.24} = 40.81\ MJ/Kg$$

3.2.3 Combustión estequiométrica para la mezcla de gasolina con etanol al 30% en volumen (E30)

El porcentaje en volumen debe convertirse a porcentaje en masa para la realización de los cálculos.

Para 100 ml de combustible:

$$\%V_E = 30\ ml$$

$$\%M_E = 30\ ml \times 790\ \frac{kg}{m^3} \times \frac{m^3}{1000\ l} \times \frac{l}{1000\ ml}$$

$$\%M_E = 23.7 \times 10^{-3}\ kg$$

$$\%V_G = 70\ ml$$

$$\%M_G = 70\ ml \times 750\ \frac{kg}{m^3} \times \frac{m^3}{1000\ l} \times \frac{l}{1000\ ml}$$

$$\%M_G = 52.5 \times 10^{-3}\ kg$$

Con esta proporción en masa para 100 ml de combustible se calculará la masa para la mezcla de 1 kg de combustible E30.

$$n(23.7 \times 10^{-3}\ kg) + n(52.5 \times 10^{-3}\ kg) = 1\ kg$$

$$n = \frac{1\ kg}{23.7 \times 10^{-3} + 52.5 \times 10^{-3}\ kg}$$

$$n = 13.123$$

Cálculo de los porcentajes en masa de la mezcla E30 para 1kg de combustible.

$$\boldsymbol{m_E = n \times \%M_E}$$

$$m_E = 13.123 \times 23.7 \times 10^{-3}\ kg$$

$$m_E = 0.3110\ kg$$

$$m_G = n \times \%M_G$$

$$m_G = 13.123 \times 52.5 \times 10^{-3}\ kg$$

$$m_G = 0.6890\ kg$$

Determinando las fracciones molares para el combustible E30 para un 1 kg de combustible.

Tabla 3.3

Fracciones molares para el combustible E30

Combustible	Masa, m (kg)	Peso Molecular, M	Moles N=m/M (kg moles)	Fracción Molar
C_2H_6O	0.3110	46.08	0.006749645	0.498
C_7H_{17}	0.6890	101.24	0.006805377	0.502
	1		0.013555022	1

Nota. Elaboración propia.

Para un kg mol de combustible E30 en condiciones estequiométricas.

$$0.502\ C_7H_{17} + 0.498\ C_2H_6O + a(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow b\ CO_2 + c\ H_2O + d\ N_2$$

$$C: 7 \times 0.502 + 2 \times 0.498 = b \rightarrow b = 4.510$$

$$H: 17 \times 0.502 + 6 \times 0.498 = 2c \rightarrow c = 5.761$$

$$O: 1 \times 0.498 + 2a = 2b + c \rightarrow a = 7.142$$

$$N: 2a \times 3.76 = 2d \rightarrow d = 26.854$$

Relación AF estequiométrica

$$AF_{esteq} = \frac{A}{F} = \frac{N_a M_a}{N_f M_f}$$

$$AF_{esteq} = \frac{7.142 \times 4.76 \times 28.85}{0.498 \times 46.08 + 0.502 \times 101.24}$$

$$AF_{esteq}(E30) = 13.294$$

Obtenemos la siguiente ecuación:

$$0.502\ C_7H_{17} + 0.498\ C_2H_6O + 7.142(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow 4.510\ CO_2 + 5.761\ H_2O + 26.854\ N_2$$

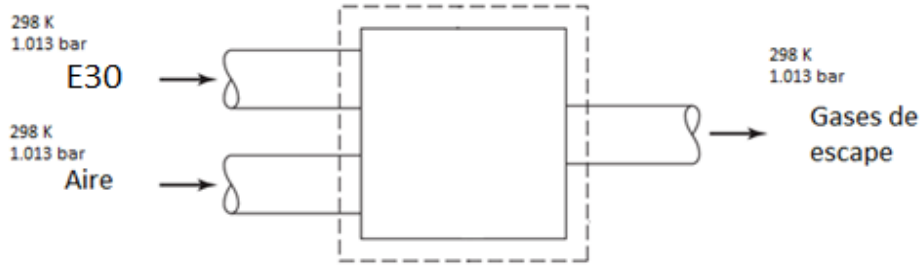
Calculando el poder calorífico inferior

Por convención, el calor transferido fuera de un sistema es negativo, y el calor de combustión es un número positivo, es decir:

$$\bar{q}_c = -Q$$

Figura 3.3

Combustión ideal para cálculo del poder calorífico – E30



Nota. Elaboración propia

.

$$\bar{q}_c = \sum_i n_{r,i}\bar{h}_{r,i} - \sum_i n_{p,i}\bar{h}_{p,i}$$

$$\bar{q}_c = n_g \times \bar{h}_{\,g} + n_e \times \bar{h}_{\,e} - n_{CO_2} \times \bar{h}_{\,CO_2} - n_{H_2O}\left(\bar{h}_{\,H_2O} - (1-X)\bar{h}_{\,fg,H_2O}\right)$$

Además, considerando la calidad de agua X = 1, por lo tanto, la ecuación queda:

$$\bar{q}_c = n_g \times \bar{h}_{\,g} + n_e \times \bar{h}_{\,e} - n_{CO_2} \times \bar{h}_{\,CO_2} - n_{H_2O} \times \bar{h}_{\,H_2O}$$

$$\bar{q}_c = 0.502 \times -305.6 + 0.498 \times -277.2 - 4.510 \times -393.52 - 5.761 \times -241.83$$

$$\bar{q}_c = 2876.683\ MJ/Kmol$$

$$Q_{LHV} = \frac{2876.683}{0.498 \times 46.08 + 0.502 \times 101.24} = 38.99\ MJ/Kg$$

3.2.4 Combustión estequiométrica para la mezcla de gasolina con etanol al 40% en volumen (E40)

El porcentaje en volumen debe convertirse a porcentaje en masa para la realización de los cálculos.

Para 100 ml de combustible:

$$\%V_E = 40\ ml$$

$$\%M_E = 40\ ml \times 790\ \frac{kg}{m^3} \times \frac{m^3}{1000\ l} \times \frac{l}{1000\ ml}$$

$$\%M_E = 31.6 \times 10^{-3}\ kg$$

$$\%V_G = 60\ ml$$

$$\%M_G = 60\ ml \times 750\ \frac{kg}{m^3} \times \frac{m^3}{1000\ l} \times \frac{l}{1000\ ml}$$

$$\%M_G = 45 \times 10^{-3}\ kg$$

Con esta proporción en masa para 100 ml de combustible se calculará la masa para la mezcla de 1 kg de combustible E30.

$$n(31.6 \times 10^{-3}\ kg) + n(45 \times 10^{-3}\ kg) = 1\ kg$$

$$n = \frac{1\ kg}{31.6 \times 10^{-3} + 45 \times 10^{-3}\ kg}$$

$$n = 13.055$$

Cálculo de los porcentajes en masa de la mezcla E40 para 1kg de combustible.

$$m_E = n \times \%M_E$$

$$m_E = 13.055 \times 31.6 \times 10^{-3}\ kg$$

$$m_E = 0.4124\ kg$$

$$m_G = n \times \%M_G$$

$$m_G = 13.055 \times 45 \times 10^{-3}\ kg$$

$$m_G = 0.5875\ kg$$

Determinando las fracciones molares para el combustible E40 para un 1 kg de combustible.

Tabla 3.4

Fracciones molares para el combustible E40

Combustible	Masa, m (kg)	Peso Molecular, M	Moles N=m/M (kg moles)	Fracción Molar
C_2H_6O	0.4125	46.08	0.008952531	0.607
C_7H_{17}	0.5875	101.24	0.00580272	0.393
	1		0.014755251	1

Nota. Elaboración propia.

Para un kg mol de combustible E40 en condiciones estequiométricas.

$$0.393\ C_7H_{17} + 0.607\ C_2H_6O + a(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow b\ CO_2 + c\ H_2O + d\ N_2$$

$$C: 7 \times 0.393 + 2 \times 0.607 = b \rightarrow b = 3.966$$

$$H: 17 \times 0.393 + 6 \times 0.607 = 2c \rightarrow c = 5.163$$

$$O: 1 \times 0.607 + 2a = 2b + c \rightarrow a = 6.244$$

$$N: 2a \times 3.76 = 2d \rightarrow d = 23.479$$

Relación AF estequiométrica

$$AF_{esteq} = \frac{A}{F} = \frac{N_a M_a}{N_f M_f}$$

$$AF_{esteq} = \frac{6.244 \times 4.76 \times 28.85}{0.607 \times 46.08 + 0.393 \times 111.23}$$

$$AF_{esteq}(E40) = 12.653$$

Obtenemos la siguiente ecuación:

$$0.393\ C_7H_{17} + 0.607\ C_2H_6O + 6.244(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow 3.966\ CO_2 + 5.163\ H_2O + 23.479\ N_2$$

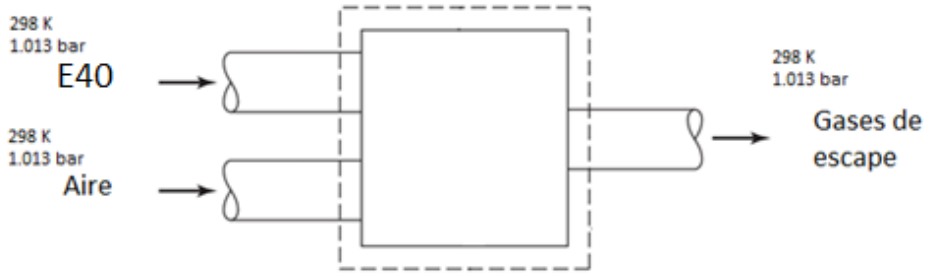
Calculando el poder calorífico inferior

Por convención, el calor transferido fuera de un sistema es negativo, y el calor de combustión es un número positivo, es decir:

$$\bar{q}_c = -Q$$

Figura 3.4

Combustión ideal para cálculo del poder calorífico – E40



Nota. Elaboración propia.

$$\bar{q}_c = \sum_i n_{r,i}\bar{h}_{r,i} - \sum_i n_{p,i}\bar{h}_{p,i}$$

$$\bar{q}_c = n_g \times \bar{h}_{\,g} + n_e \times \bar{h}_{\,e} - n_{CO_2} \times \bar{h}_{\,CO_2} - n_{H_2O}\left(\bar{h}_{\,H_2O} - (1-X)\bar{h}_{\,fg,H_2O}\right)$$

Además, considerando la calidad de agua X = 1, por lo tanto, la ecuación queda:

$$\bar{q}_c = n_g \times \bar{h}_{\,g} + n_e \times \bar{h}_{\,e} - n_{CO_2} \times \bar{h}_{\,CO_2} - n_{H_2O} \times \bar{h}_{\,H_2O}$$

$$\bar{q}_c = 0.393 \times -305.6 + 0.607 \times -277.2 - 3.966 \times -393.52 - 5.163 \times -241.83$$

$$\bar{q}_c = 2521.017\ MJ/Kmol$$

$$Q_{LHV} = \frac{2521.017}{0.607 \times 46.08 + 0.393 \times 101.24} = 37.20\ MJ/Kg$$

3.2.5 Combustión estequiométrica para la mezcla de gasolina con etanol al 50% en volumen (E50)

El porcentaje en volumen debe convertirse a porcentaje en masa para la realización de los cálculos.

Para 100 ml de combustible:

$$\%V_E = 50\ ml$$

$$\%M_E = 50\ ml \times 790\ \frac{kg}{m^3} \times \frac{m^3}{1000\ l} \times \frac{l}{1000\ ml}$$

$$\%M_E = 39.5 \times 10^{-3}\ kg$$

$$\%V_G = 50\ ml$$

$$\%M_G = 50\ ml \times 750\ \frac{kg}{m^3} \times \frac{m^3}{1000\ l} \times \frac{l}{1000\ ml}$$

$$\%M_G = 37.5 \times 10^{-3}\ kg$$

Con esta proporción en masa para 100 ml de combustible se calculará la masa para la mezcla de 1 kg de combustible E50.

$$n(39.5 \times 10^{-3}\ kg) + n(37.5 \times 10^{-3}\ kg) = 1\ kg$$

$$n = \frac{1\ kg}{39.5 \times 10^{-3} + 37.5 \times 10^{-3}\ kg}$$

$$n = 12.987$$

Cálculo de los porcentajes en masa de la mezcla E40 para 1kg de combustible.

$$m_E = n \times \%M_E$$

$$m_E = 12.987 \times 39.5 \times 10^{-3}\ kg$$

$$m_E = 0.5130\ kg$$

$$\boldsymbol{m_G = n \times \%M_G}$$

$$m_G = 12.987 \times 37.5 \times 10^{-3}\ kg$$

$$m_G = 0.4870\ kg$$

Determinando las fracciones molares para el combustible E50 para un 1 kg de combustible.

Tabla 3.5

Fracciones molares para el combustible E50

Combustible	Masa, m (kg)	Peso Molecular, M	Moles N=m/M (kg moles)	Fracción Molar
C_2H_6O	0.5130	46.08	0.011132531	0.698
C_7H_{17}	0.4870	101.24	0.004810480	0.302
	1		0.015943011	1

Nota. Elaboración propia.

Para un kg mol de combustible E50 en condiciones estequiométricas.

$$0.302\ C_7H_{17} + 0.698\ C_2H_6O + a(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow b\ CO_2 + c\ H_2O + d\ N_2$$

$$C: 7 \times 0.302 + 2 \times 0.698 = b \rightarrow b = 3.509$$

$$H: 17 \times 0.302 + 6 \times 0.698 = 2c \rightarrow c = 4.660$$

$$O: 1 \times 0.698 + 2a = 2b + c \rightarrow a = 5.489$$

$$N: 2a \times 3.76 = 2d \rightarrow d = 20.640$$

Relación AF estequiométrica

$$AF_{esteq} = \frac{A}{F} = \frac{N_a M_a}{N_f M_f}$$

$$AF_{esteq} = \frac{5.489 \times 4.76 \times 28.85}{0.698 \times 46.08 + 0.302 \times 101.24}$$

$$AF_{esteq}(E50) = 12.018$$

Obtenemos la siguiente ecuación:

$$0.302\ C_7H_{17} + 0.698\ C_2H_6O + 5.489(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow 3.509\ CO_2 + 4.660\ H_2O + 20.640\ N_2$$

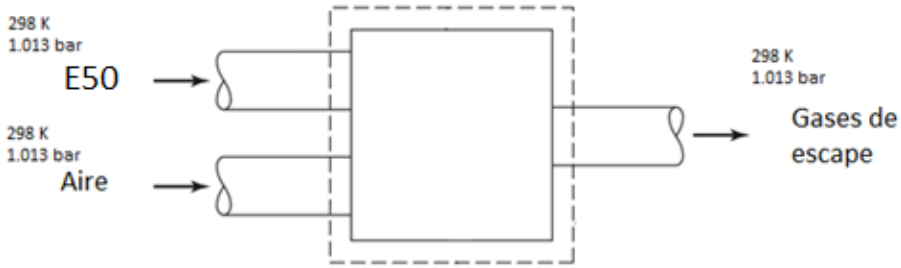
Calculando el poder calorífico inferior

Por convención, el calor transferido fuera de un sistema es negativo, y el calor de combustión es un número positivo, es decir:

$$\bar{q}_c = -Q$$

Figura 3.5

Combustión ideal para cálculo del poder calorífico – E50



Nota. Elaboración propia.

$$\bar{q}_c = \sum_i n_{r,i}\bar{h}_{r,i} - \sum_i n_{p,i}\bar{h}_{p,i}$$

$$\bar{q}_c = n_g \times \bar{h}_{\,g} + n_e \times \bar{h}_{\,e} - n_{CO_2} \times \bar{h}_{\,CO_2} - n_{H_2O}\left(\bar{h}_{\,H_2O} - (1-X)\bar{h}_{\,fg,H_2O}\right)$$

Además, considerando la calidad de agua X = 1, por lo tanto, la ecuación queda:

$$\bar{q}_c = n_g \times \bar{h}_{\,g} + n_e \times \bar{h}_{\,e} - n_{CO_2} \times \bar{h}_{\,CO_2} - n_{H_2O} \times \bar{h}_{\,H_2O}$$

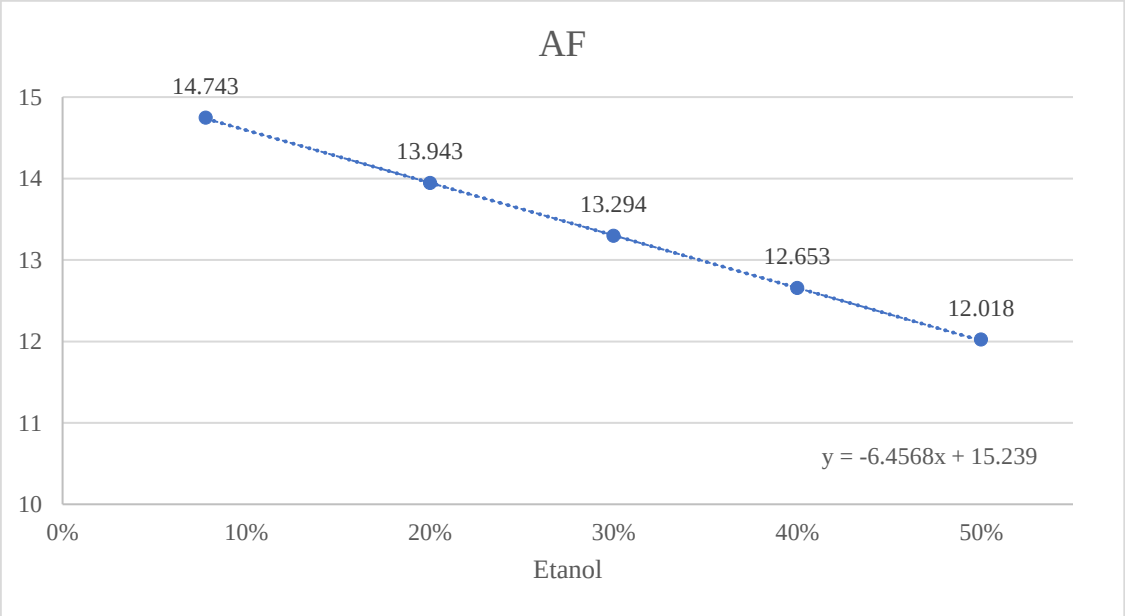
$$\bar{q}_c = 0.302 \times -305.6 + 0.698 \times -277.2 - 3.509 \times -393.52 - 4.660 \times -241.83$$

$$\bar{q}_c = 2221.764\ MJ/Kmol$$

$$Q_{LHV} = \frac{2221.764}{0.698 \times 46.08 + 0.302 \times 101.24} = 35.42\ MJ/Kg$$

Figura 3.6

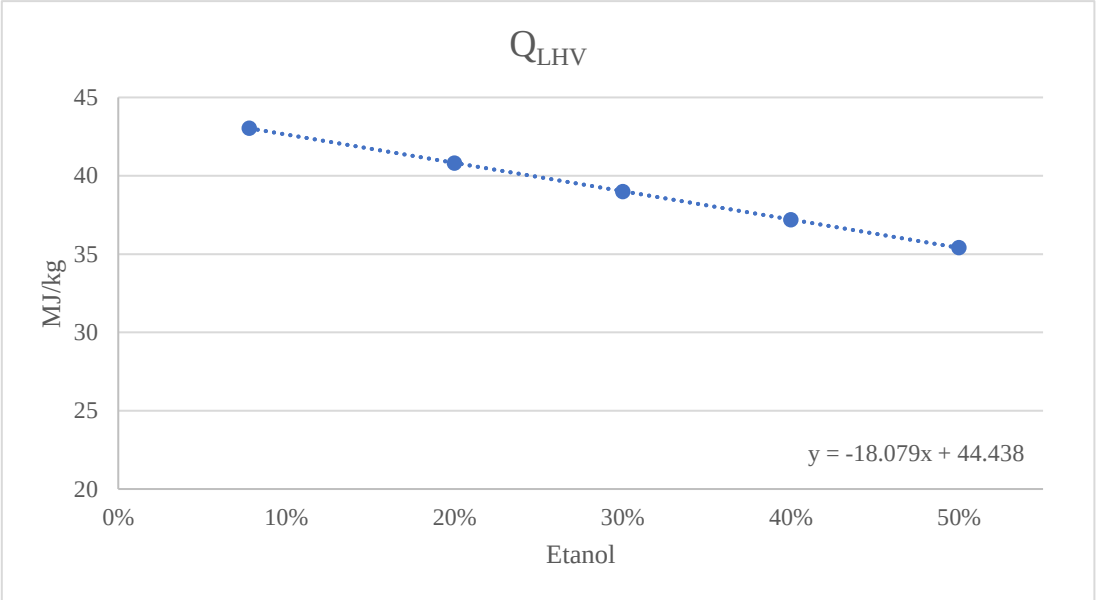
Relación aire-combustible Estequiométrica



Nota. Elaboración propia.

Figura 3.7

Poder calorífico inferior - Q_{LHV}



Nota. Elaboración propia.

3.3 Cálculo de coeficiente de exceso de aire λ

También se debe analizar el peso del combustible para las siguientes reacciones y que de esta manera el valor de AF_{real} se mantenga constante.

Tabla 3.6

Pesos moleculares de los componentes de las mezclas gasolina-etanol

% de Etanol		7.8%	20%	30%	40%	50%
Peso (g)	Gasolina	84.664	64.135	50.828	39.814	30.547
	Etanol	7.544	16.889	22.945	27.958	32.176
Total		92.209	81.023	73.773	67.772	62.723

Nota. Elaboración propia.

Con estos valores de la masa de combustible podemos obtener la cantidad de moles de aire para las posteriores reacciones de combustión.

Tabla 3.7

Moles de aire para las mezclas gasolina-etanol

% de Etanol	7.8%	20%	30%	40%	50%
Moles de aire	9.899	8.698	7.920	7.276	6.734

Nota. Elaboración propia.

3.4 Combustión incompleta para la altura de la ciudad del Cusco

3.4.1 Cálculo de coeficiente de exceso de aire λ

Considerando un coeficiente de exceso de aire a nivel del mar λ_{nm} = 1.05 para un funcionamiento normal.

Para un mismo volumen a nivel del mar y en la ciudad del Cusco.

$$n = \frac{P\,V}{R\,T}$$

$$\frac{n'}{n} = \frac{\frac{P_c\, V}{R\, T_c}}{\frac{P\, V}{R\, T}}$$

$$\frac{n'}{n} = \frac{\frac{P_c}{T_c}}{\frac{P}{T}} = \frac{P_c\, T}{P\, T_c}$$

$$n' = \frac{P_c\, T}{P\, T_c}\ n$$

Entonces la masa de aire que ingresa al cilindro en la ciudad del Cusco se verá afectada por la variación de los moles de aire en Cusco y a nivel del mar. Considerando el valor de la temperatura T = 298 K y la presión atmosférica de 101.3 Kpa.

Para la ciudad del Cusco considerando el valor de la temperatura T_c = 283 K y la presión atmosférica de P_c = 66.63 Kpa.

Se puede modificar los moles de aire.

$$a' = \frac{P_c\, T}{P\, T_c}\ a$$

También se puede modificar el coeficiente de exceso de aire.

$$\lambda' = \frac{P_c\, T}{P\, T_c} \times \lambda$$

$$\lambda' = \frac{66.63 \times\ 298}{101.3 \times 283} \times \lambda$$

$$\lambda' = 0.693\ \lambda$$

$$\lambda' = 0.693 \times 1.05$$

Por lo tanto, el valor del coeficiente de exceso de aire para la ciudad del Cusco seria:

$$\lambda' = 0.727$$

Con los valores de moles de aire y el coeficiente de exceso de aire se realizarán las reacciones para las diferentes mezclas E7.8, E20, E30, E40 y E50.

3.4.2 Combustión incompleta para la gasolina 90 (E7.8), para la altura de la ciudad del Cusco

Moles de aire a utilizar:

$$a' = \lambda' \times a$$

$$a' = 0.727 \times 9.899$$

$$a' = 7.197$$

$$AF_{real} = \frac{A}{F} = \frac{N'_a M_a}{N_f M_f}$$

Donde: El valor de M_a = 28.85 kg/kg mol.

$$AF_{real} = \frac{7.197 \times 4.76 \times 28.85}{0.164 \times 46.08 + 0.836 \times 101.24}$$

$$AF_{real}(E7.8) = 10.718$$

Del cálculo anterior:

$$AF_{esteq}(E7.8) = 14.743$$

$$\lambda'(E7.8) = \frac{AF_{real}}{AF_{estq}} = \frac{10.718}{14.743}$$

El coeficiente de exceso de aire de la mezcla E7.8, para la altura de la ciudad del Cusco

$$\lambda'(E7.8) = 0.727$$

Y respectivamente su riqueza de mezcla

$$\Phi'(E7.8) = 1.376$$

Eficiencia de la combustión

Para valores de riqueza: $1.0 \leq \Phi \leq 1.5$

$$\eta_{comb} = 2.594 - 2.173\Phi + 0.546\Phi^2$$

$$\eta_{comb} = 0.638$$

Para hallar en calor entrante del ciclo

$$m\ c_v\ (T_3 - T_2) = m_f\ Q_{LHV}$$

$$Q^* = \frac{m_f\ Q_{LHV}}{m}$$

Si

$$\frac{m}{m_f} = \frac{m_a + m_f}{mf} = \frac{m_a}{m_f} + 1$$

$$\frac{m}{m_f} = AF + 1$$

$$Q^* = \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

Por la combustión incompleta

$$\eta_{comb}\ Q^* = \eta_{comb}\ \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

$$q_{in} = \eta_{comb}\ \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

$$q_{in} = 0.638 \times \frac{43.05\ MJ/KG}{14.743 + 1}$$

$$q_{in} = 1744.70\ KJ/KG$$

Con este valor podemos utilizar un Matlab para hallar las presiones, temperaturas, eficiencias y fracción residual.

Datos iniciales:

Figura 3.8

Datos iniciales MATLAB – E7.8

```
clear
clc
% Four stroke Otto cycle model
% input parameters
Ti = 283; % inlet temperature, K
Pi = 66.63; % inlet pressure, kPa
Pe = 74; % exhaust pressure, kPa(0.3<Pi/Pe<1.5)
r =8.3; % compression ratio
qin = 1744.70; % heat input, kJ/kg (mixture)
gamma = 1.2922; % ideal gas specific heat ratio
R = 0.283; % gas constant kJ/kg K
cv= R/(gamma-1); %const vol specific heat, kJ/kg K
f=0.022;%guess value of residual fraction f (VARÍA 0.03 a 0.12)asumido
Te =500; % guess value of exhaust temp, K (valor asumido)
tol=0.001; % tolerance for convergence
err = 2*tol; %error initialization
```

Nota. Elaboración propia.

Resultados:

Figura 3.9

Resultados MATLAB – E7.8

```
Four Stroke Otto Cycle
State              1     2      3      4
Pressure (kPa):   66.6 1026.4 4086.5  265.3
Temperature (K):  311.0  577.1 2297.8 1238.1
Ideal Thermal Eff.=  0.461 Net Thermal Eff.=  0.456
Exhaust Temp. (K)=  927.6 Volumetric Eff.=   0.99
Residual Fraction  0.045 Net Imep (bar)=   6.54
```

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3.8

Resultados del ciclo Otto para la mezcla E7.8 para la altura del Cusco

Estado	1	2	3	4
Presión (kPa)	66.6	1026	4086.5	265.3
Temperatura (K)	311	577.1	2297.8	1238.1
Eficiencia térmica ideal			0.461	

Eficiencia térmica neta	0.456
Temperatura de escape (K)	927.6
Eficiencia volumétrica	0.99
Fracción residual	0.045
Imep neta (bar)	6.54

Nota. Elaboración propia.

Ecuación de la reacción de combustión incompleta (E7.8), para la altura de la ciudad del Cusco

$$0.836\ C_7H_{17} + 0.164\ C_2H_6O + 7.197(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow b\ CO_2 + c\ H_2O + d\ CO + e\ H_2 + f\ N_2$$

$$C: 7 \times 0.836 + 2 \times 0.164 = b + d \rightarrow b + d = 6.180$$

$$H: 17 \times 0.836 + 6 \times 0.164 = 2c + 2e \rightarrow c + e = 7.598$$

$$O: 1 \times 0.164 + 2 \times 7.197 = 2b + c + d \rightarrow 2b + c + d = 14.558$$

$$N: 2 \times 7.197 \times 3.76 = 2f \rightarrow f = 27.06$$

A falta de una ecuación para la resolución del sistema se usará la reacción agua-gas y considerando una temperatura en la cámara de combustión de 2297.8 K.

$$CO_2 + H_2 = CO + H_2O$$

Cuya constante de equilibrio es:

$$K_{(T)} = \frac{M_{H_2O}\ M_{CO}}{M_{CO_2}\ M_{H_2}} = \frac{c\ d}{b\ e}$$

$$LnK_{(T)} = 2.743 - \frac{1.761 \times 10^3}{T} - \frac{1.611 \times 10^6}{T^2} + \frac{0.2803 \times 10^9}{T^3}$$

$$LnK_{(2297.8)} = 2.743 - \frac{1.761 \times 10^3}{2297.8} - \frac{1.611 \times 10^6}{2297.8^2} + \frac{0.2803 \times 10^9}{2297.8^3}$$

$$LnK_{(2297.8)} = 1.695$$

$$K_{(2297.8)} = 5.444$$

$$K_{(2297.8)} = 5.444 = \frac{c\ d}{b\ e}$$

Poniendo las ecuaciones en función de c:

$$e = 7.598 - c$$

$$d = c - 2.198$$

$$b = 8.378 - c$$

$$5.444 = \frac{c\ (c - 2.198)}{(8.378 - c)\ (7.598 - c)}$$

$$5.444(8.378 - c)\ (7.598 - c) = c\ (c - 2.198)$$

$$346.573 - 86.981c + 5.444c^2 = c^2 - 2.198c$$

$$4.444c^2 - 84.783c + 346.573 = 0$$

$$c = 13.143$$

$$c = 5.933$$

Resolviendo la ecuación se obtienes 2 resultados siendo el más adecuado 5.933 para que los demás valores tengan valor positivo.

$$e = 7.598 - 5.933$$

$$e = 1.665$$

$$d = 5.933 - 2.198$$

$$d = 3.735$$

$$b = 8.378 - 5.933$$

$$b = 2.445$$

Se obtuvo la siguiente ecuación de combustión incompleta (E7.8), para la altura de la ciudad del Cusco

$$0.836\ C_7H_{17} + 0.164\ C_2H_6O + 7.197(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow 2.445\ CO_2 + 5.933\ H_2O$$

$$+ 3.735\ CO + 1.665\ H_2 + 27.06\ N_2$$

Fracciones molares de los productos de la combustión

$$Y_{CO_2} = 5.99\%, Y_{H_2O} = 14.53\%, Y_{CO} = 9.15\%, Y_{H_2} = 4.08\%, Y_{N_2} = 66.26\%$$

3.4.3 Combustión incompleta para la mezcla de gasolina con etanol al 20% en volumen (E20)

$$a' = \lambda_c \times a$$

$$a' = 0.727 \times 8.698$$

$$a' = 6.324$$

$$AF_{real} = \frac{A}{F} = \frac{N'_a M_a}{N_f M_f}$$

Donde: El valor de M_a = 28.85 kg/kg mol.

$$AF_{real} = \frac{6.234 \times 4.76 \times 28.85}{0.367 \times 46.08 + 0.633 \times 101.24}$$

$$AF_{real}(E20) = 10.718$$

Del cálculo anterior:

$$AF_{esteq}(E20) = 13.943$$

$$\lambda'(E20) = \frac{AF_{real}}{AF_{estq}} = \frac{10.718}{13.943}$$

El coeficiente de exceso de aire de la mezcla E20, para la altura de la ciudad del Cusco

$$\lambda'(E20) = 0.769$$

Y respectivamente su riqueza de mezcla

$$\Phi'(E20) = 1.301$$

Eficiencia de la combustión

Para valores de riqueza: $1.0 \leq \Phi \leq 1.5$

$$\eta_{comb} = 2.594 - 2.173\Phi + 0.546\Phi^2$$

$$\eta_{comb} = 0.691$$

Para hallar en calor entrante del ciclo

$$m\ c_v\ (T_3 - T_2) = m_f\ Q_{LHV}$$

$$Q^* = \frac{m_f \, Q_{LHV}}{m}$$

Si

$$\frac{m}{m_f} = \frac{m_a + m_f}{mf} = \frac{m_a}{m_f} + 1$$

$$\frac{m}{m_f} = AF + 1$$

$$Q^* = \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

Por la combustión incompleta

$$\eta_{comb} \, Q^* = \eta_{comb} \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

$$q_{in} = \eta_{comb} \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

$$q_{in} = 0.691 \times \frac{40.81 \, MJ/KG}{14.743 + 1}$$

$$q_{in} = 1791.67 \, KJ/KG$$

Con este valor podemos utilizar un Matlab para hallar las presiones, temperaturas, eficiencias y fracción residual.

Datos iniciales:

Figura 3.10

Datos iniciales MATLAB – E20

```
clear
clc
% Four stroke Otto cycle model
% input parameters
Ti = 283; % inlet temperature, K
Pi = 66.63; % inlet pressure, kPa
Pe = 74; % exhaust pressure, kPa(0.3<Pi/Pe<1.5)
r =8.3; % compression ratio
qin = 1791.67; % heat input, kJ/kg (mixture)
gamma = 1.28; % ideal gas specific heat ratio
R = 0.283; % gas constant kJ/kg K
cv= R/(gamma-1); %const vol specific heat, kJ/kg K
f=0.022;%guess value of residual fraction f (VARÍA 0.03 a 0.12)asumido
Te =500; % guess value of exhaust temp, K (valor asumido)
tol=0.001; % tolerance for convergence
err = 2*tol; %error initialization
```

Nota. Elaboración propia.

Resultados:

Figura 3.11

Resultados MATLAB – E20

```
Four Stroke Otto Cycle
State              1     2      3      4
Pressure (kPa):   66.6 1000.2 4011.2  267.2
Temperature (K):  311.2  562.9 2257.2 1248.1
Ideal Thermal Eff.=  0.447 Net Thermal Eff.=  0.442
Exhaust Temp. (K)=  942.4 Volumetric Eff.=   0.99
Residual Fraction  0.044 Net Imep (bar)=   6.51
```

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3.9

Resultados del ciclo Otto para la mezcla E20 para la altura del Cusco

Estado	1	2	3	4
Presión (kPa)	66.6	1000.2	4011.2	267.2
Temperatura (K)	311	562.9	2257.2	1248.1
Eficiencia térmica ideal		0.447		

Eficiencia térmica neta	0.442
Temperatura de escape (K)	942.4
Eficiencia volumétrica	0.99
Fracción residual	0.044
Imep neta (bar)	6.51

Nota. Elaboración propia.

Ecuación de la reacción de combustión incompleta (E20), para la altura de la ciudad del Cusco

$$0.633\ C_7H_{17} + 0.367\ C_2H_6O + 6.324(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow b\ CO_2 + c\ H_2O + d\ CO + e\ H_2 + f\ N_2$$

$$C: 7 \times 0.633 + 2 \times 0.367 = b + d \rightarrow b + d = 5.165$$

$$H: 17 \times 0.633 + 6 \times 0.367 = 2c + 2e \rightarrow c + e = 6.482$$

$$O: 1 \times 0.367 + 2 \times 6.324 = 2b + c + d \rightarrow 2b + c + d = 13.015$$

$$N: 2 \times 6.324 \times 3.76 = 2f \rightarrow f = 23.778$$

A falta de una ecuación para la resolución del sistema se usará la reacción agua-gas y considerando una temperatura en la cámara de combustión de 2257.2 K.

$$CO_2 + H_2 = CO + H_2O$$

Cuya constante de equilibrio es:

$$K_{(T)} = \frac{M_{H_2O}\ M_{CO}}{M_{CO_2}\ M_{H_2}} = \frac{c\ d}{b\ e}$$

$$LnK_{(T)} = 2.743 - \frac{1.761 \times 10^3}{T} - \frac{1.611 \times 10^6}{T^2} + \frac{0.2803 \times 10^9}{T^3}$$

$$LnK_{(2257.2)} = 2.743 - \frac{1.761 \times 10^3}{2257.2} - \frac{1.611 \times 10^6}{2257.2^2} + \frac{0.2803 \times 10^9}{2257.2^3}$$

$$LnK_{(2257.2)} = 1.671$$

$$K_{(2257.2)} = 5.318$$

$$K_{(2257.2)} = 5.318 = \frac{c\ d}{b\ e}$$

Poniendo las ecuaciones en función de c:

$$e = 6.482 - c$$

$$d = c - 2.685$$

$$b = 7.85 - c$$

$$5.318 = \frac{c\ (c - 2.685)}{(7.85 - c)\ (6.482 - c)}$$

$$5.318(7.85 - c)\ (6.482 - c) = c\ (c - 2.685)$$

$$270.554 - 76.208c + 5.318c^2 = c^2 - 2.685c$$

$$4.318c^2 - 73.523c + 270.554 = 0$$

$$c = 11.650$$

$$c = 5.379$$

Resolviendo la ecuación se obtienes 2 resultados siendo el más adecuado 5.379 para que los demás valores tengan valor positivo.

$$e = 6.482 - 5.379$$

$$e = 1.103$$

$$d = 5.379 - 2.685$$

$$d = 2.694$$

$$b = 7.85 - 5.379$$

$$b = 2.471$$

Se obtuvo la siguiente ecuación de combustión incompleta (E20), para la altura de la ciudad del Cusco

$$0.836\ C_7H_{17} + 0.164\ C_2H_6O + 6.324(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow 2.471\ CO_2 + 5.379\ H_2O$$

$$+ 2.694\ CO + 1.103\ H_2 + 23.778\ N_2$$

Fracciones molares de los productos de la combustión

$$Y_{CO_2} = 6.98\%, Y_{H_2O} = 15.18\%, Y_{CO} = 7.60\%, Y_{H_2} = 3.11\%, Y_{N_2} = 67.12\%$$

3.4.4 Combustión incompleta para la mezcla de gasolina con etanol al 30% en volumen (E30)

$$a' = \lambda_c \times a$$

$$a' = 0.727 \times 7.920$$

$$a' = 5.758$$

$$AF_{real} = \frac{A}{F} = \frac{N'_a M_a}{N_f M_f}$$

Donde: El valor de M_a = 28.85 kg/kg mol.

$$AF_{real} = \frac{5.758 \times 4.76 \times 28.85}{0.498 \times 46.08 + 0.502 \times 101.24}$$

$$AF_{real}(E30) = 10.718$$

Del cálculo anterior:

$$AF_{esteq}(E30) = 13.294$$

$$\lambda'(E30) = \frac{AF_{real}}{AF_{estq}} = \frac{10.718}{13.294}$$

El coeficiente de exceso de aire de la mezcla E7.8, para la altura de la ciudad del Cusco

$$\lambda'(E30) = 0.806$$

Y respectivamente su riqueza de mezcla

$$\Phi'(E30) = 1.240$$

Eficiencia de la combustión

Para valores de riqueza: $1.0 \leq \Phi \leq 1.5$

$$\eta_{comb} = 2.594 - 2.173\Phi + 0.546\Phi^2$$

$$\eta_{comb} = 0.739$$

Para hallar en calor entrante del ciclo

$$m\ c_v\ (T_3 - T_2) = m_f\ Q_{LHV}$$

$$Q^* = \frac{m_f\ Q_{LHV}}{m}$$

Si

$$\frac{m}{m_f} = \frac{m_a + m_f}{mf} = \frac{m_a}{m_f} + 1$$

$$\frac{m}{m_f} = AF + 1$$

$$Q^* = \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

Por la combustión incompleta

$$\eta_{comb}\ Q^* = \eta_{comb}\ \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

$$q_{in} = \eta_{comb}\ \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

$$q_{in} = 0.739 \times \frac{40.81\ MJ/KG}{14.743 + 1}$$

$$q_{in} = 1829.69\ KJ/KG$$

Con este valor podemos utilizar un Matlab para hallar las presiones, temperaturas, eficiencias y fracción residual.

Datos iniciales:

Figura 3.12

Datos iniciales MATLAB – E30

```
clear
clc
% Four stroke Otto cycle model
% input parameters
Ti = 283; % inlet temperature, K
Pi = 66.63; % inlet pressure, kPa
Pe = 74; % exhaust pressure, kPa(0.3<Pi/Pe<1.5)
r =8.3; % compression ratio
qin = 1829.69; % heat input, kJ/kg (mixture)
gamma = 1.27; % ideal gas specific heat ratio
R = 0.283; % gas constant kJ/kg K
cv= R/(gamma-1); %const vol specific heat, kJ/kg K
f=0.022;%guess value of residual fraction f (VARÍA 0.03 a 0.12)asumido
Te =500; % guess value of exhaust temp, K (valor asumido)
tol=0.001; % tolerance for convergence
err = 2*tol; %error initialization
```

Nota. Elaboración propia.

Resultados:

Figura 3.13

Resultados MATLAB – E30

```
Four Stroke Otto Cycle
State              1     2      3      4
Pressure (kPa):   66.6  979.3 3944.0  268.4
Temperature (K):  311.4  551.4 2220.8 1254.2
Ideal Thermal Eff.=  0.435 Net Thermal Eff.=  0.430
Exhaust Temp. (K)=  953.7 Volumetric Eff.=   0.99
Residual Fraction  0.044 Net Imep (bar)=   6.47
```

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3.10

Resultados del ciclo Otto para la mezcla E30 para la altura del Cusco

Estado	1	2	3	4
Presión (kPa)	66.6	979.3	3944.0	268.4
Temperatura (K)	311.4	551.4	2220.8	1254.2
Eficiencia térmica ideal		0.435		

Eficiencia térmica neta	0.430
Temperatura de escape (K)	953.7
Eficiencia volumétrica	0.99
Fracción residual	0.044
Imep neta (bar)	6.47

Nota. Elaboración propia.

Ecuación de la reacción de combustión incompleta (E30), para la altura de la ciudad del Cusco

$$0.502\ C_7H_{17} + 0.498\ C_2H_6O + 5.758(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow b\ CO_2 + c\ H_2O + d\ CO + e\ H_2 + f\ N_2$$

$$C: 7 \times 0.502 + 2 \times 0.498 = b + d \rightarrow b + d = 4.51$$

$$H: 17 \times 0.502 + 6 \times 0.498 = 2c + 2e \rightarrow c + e = 5.761$$

$$O: 1 \times 0.498 + 2 \times 5.758 = 2b + c + d \rightarrow 2b + c + d = 12.014$$

$$N: 2 \times 5.758 \times 3.76 = 2f \rightarrow f = 21.65$$

A falta de una ecuación para la resolución del sistema se usará la reacción agua-gas y considerando una temperatura en la cámara de combustión de 2220.8 K.

$$CO_2 + H_2 = CO + H_2O$$

Cuya constante de equilibrio es:

$$K_{(T)} = \frac{M_{H_2O}\ M_{CO}}{M_{CO_2}\ M_{H_2}} = \frac{c\ d}{b\ e}$$

$$LnK_{(T)} = 2.743 - \frac{1.761 \times 10^3}{T} - \frac{1.611 \times 10^6}{T^2} + \frac{0.2803 \times 10^9}{T^3}$$

$$LnK_{(2220.8)} = 2.743 - \frac{1.761 \times 10^3}{2220.8} - \frac{1.611 \times 10^6}{2220.8^2} + \frac{0.2803 \times 10^9}{2220.8^3}$$

$$LnK_{(2220.8)} = 1.649$$

$$K_{(2220.8)} = 5.202$$

$$K_{(2220.8)} = 5.202 = \frac{c\ d}{b\ e}$$

Poniendo las ecuaciones en función de c:

$$e = 5.761 - c$$

$$d = c - 2.994$$

$$b = 7.504 - c$$

$$5.202 = \frac{c\ (c - 2.994)}{(7.504 - c)\ (5.761 - c)}$$

$$5.202(7.504 - c)\ (5.761 - c) = c\ (c - 2.994)$$

$$224.873 - 69.001c + 5.202c^2 = c^2 - 2.994c$$

$$4.202c^2 - 66.007c + 224.873 = 0$$

$$c = 10.714$$

$$c = 4.995$$

Resolviendo la ecuación se obtienes 2 resultados siendo el más adecuado 4.995 para que los demás valores tengan valor positivo.

$$e = 5.761 - 4.995$$

$$e = 0.766$$

$$d = 4.995 - 2.994$$

$$d = 2.001$$

$$b = 7.504 - 4.995$$

$$b = 2.509$$

Se obtuvo la siguiente ecuación de combustión incompleta (E30), para la altura de la ciudad del Cusco

$$0.836\ C_7H_{17} + 0.164\ C_2H_6O + 5.758(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow 2.509\ CO_2 + 4.995\ H_2O$$

$$+ 2.001\ CO + 0.766\ H_2 + 21.65\ N_2$$

Fracciones molares de los productos de la combustión

$$Y_{CO_2} = 7.86\%, Y_{H_2O} = 15.65\%, Y_{CO} = 6.27\%, Y_{H_2} = 2.40\%, Y_{N_2} = 67.82\%$$

3.4.5 Combustión incompleta para la mezcla de gasolina con etanol al 40% en volumen (E40)

$$a' = \lambda_c \times a$$

$$a' = 0.727 \times 7.276$$

$$a' = 5.290$$

$$AF_{real} = \frac{A}{F} = \frac{N'_a M_a}{N_f M_f}$$

Donde: El valor de M_a = 28.85 kg/kg mol.

$$AF_{real} = \frac{5.290 \times 4.76 \times 28.85}{0.607 \times 46.08 + 0.393 \times 101.24}$$

$$AF_{real}(E40) = 10.718$$

Del cálculo anterior:

$$AF_{esteq}(E40) = 12.653$$

$$\lambda'(E40) = \frac{AF_{real}}{AF_{estq}} = \frac{10.718}{12.653}$$

El coeficiente de exceso de aire de la mezcla E40, para la altura de la ciudad del Cusco

$$\lambda'(E40) = 0.847$$

Y respectivamente su riqueza de mezcla

$$\Phi'(E40) = 1.181$$

Eficiencia de la combustión

Para valores de riqueza: $1.0 \leq \Phi \leq 1.5$

$$\eta_{comb} = 2.594 - 2.173\Phi + 0.546\Phi^2$$

$$\eta_{comb} = 0.790$$

Para hallar en calor entrante del ciclo

$$m\ c_v\ (T_3 - T_2) = m_f\ Q_{LHV}$$

$$Q^* = \frac{m_f\ Q_{LHV}}{m}$$

Si

$$\frac{m}{m_f} = \frac{m_a + m_f}{mf} = \frac{m_a}{m_f} + 1$$

$$\frac{m}{m_f} = AF + 1$$

$$Q^* = \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

Por la combustión incompleta

$$\eta_{comb}\ Q^* = \eta_{comb}\ \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

$$q_{in} = \eta_{comb}\ \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

$$q_{in} = 0.790 \times \frac{37.20\ MJ/KG}{14.743 + 1}$$

$$q_{in} = 1865.82\ KJ/KG$$

Con este valor podemos utilizar un Matlab para hallar las presiones, temperaturas, eficiencias y fracción residual.

Datos iniciales:

Figura 3.14

Datos iniciales MATLAB – E40

```
clear
clc
% Four stroke Otto cycle model
% input parameters
Ti = 283; % inlet temperature, K
Pi = 66.63; % inlet pressure, kPa
Pe = 74; % exhaust pressure, kPa(0.3<Pi/Pe<1.5)
r =8.3; % compression ratio
qin = 1865.82; % heat input, kJ/kg (mixture)
gamma = 1.26; % ideal gas specific heat ratio
R = 0.283; % gas constant kJ/kg K
cv= R/(gamma-1); %const vol specific heat, kJ/kg K
f=0.022;%guess value of residual fraction f (VARÍA 0.03 a 0.12)asumido
Te =500; % guess value of exhaust temp, K (valor asumido)
tol=0.001; % tolerance for convergence
err = 2*tol; %error initialization
```

Nota. Elaboración propia.

Resultados:

Figura 3.15

Resultados MATLAB – E40

```
Four Stroke Otto Cycle
State              1     2      3      4
Pressure (kPa):   66.6  958.8 3869.8  268.9
Temperature (K):  311.6  540.1 2180.2 1257.6
Ideal Thermal Eff.=  0.423 Net Thermal Eff.=  0.418
Exhaust Temp. (K)=  963.6 Volumetric Eff.=   0.99
Residual Fraction  0.043 Net Imep (bar)=   6.42
```

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3.11

Resultados del ciclo Otto para la mezcla E40 para la altura del Cusco

Estado	1	2	3	4
Presión (kPa)	66.6	958.8	3869.8	268.9
Temperatura (K)	311.6	540.1	2180.2	1257.6

Eficiencia térmica ideal	0.423
Eficiencia térmica neta	0.418
Temperatura de escape (K)	963.6
Eficiencia volumétrica	0.99
Fracción residual	0.043
Imep neta (bar)	6.42

Nota. Elaboración propia.

Ecuación de la reacción de combustión incompleta (E40), para la altura de la ciudad del Cusco

$$0.393\ C_7H_{17} + 0.607\ C_2H_6O + 5.290(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow b\ CO_2 + c\ H_2O + d\ CO + e\ H_2 + f\ N_2$$

$$C: 7 \times 0.393 + 2 \times 0.607 = b + d \rightarrow b + d = 3.965$$

$$H: 17 \times 0.393 + 6 \times 0.607 = 2c + 2e \rightarrow c + e = 5.162$$

$$O: 1 \times 0.607 + 2 \times 5.290 = 2b + c + d \rightarrow 2b + c + d = 11.187$$

$$N: 2 \times 5.290 \times 3.76 = 2f \rightarrow f = 19.89$$

A falta de una ecuación para la resolución del sistema se usará la reacción agua-gas y considerando una temperatura en la cámara de combustión de 2180.2 K.

$$CO_2 + H_2 = CO + H_2O$$

Cuya constante de equilibrio es:

$$K_{(T)} = \frac{M_{H_2O}\ M_{CO}}{M_{CO_2}\ M_{H_2}} = \frac{c\ d}{b\ e}$$

$$LnK_{(T)} = 2.743 - \frac{1.761 \times 10^3}{T} - \frac{1.611 \times 10^6}{T^2} + \frac{0.2803 \times 10^9}{T^3}$$

$$LnK_{(2180.2)} = 2.743 - \frac{1.761 \times 10^3}{2180.2} - \frac{1.611 \times 10^6}{2180.2^2} + \frac{0.2803 \times 10^9}{2180.2^3}$$

$$LnK_{(2180.2)} = 1.623$$

$$K_{(2180.2)} = 5.070$$

$$K_{(2180.2)} = 5.070 = \frac{c\ d}{b\ e}$$

Poniendo las ecuaciones en función de c:

$$e = 5.162 - c$$

$$d = c - 3.257$$

$$b = 7.222 - c$$

$$5.070 = \frac{c\ (c - 3.257)}{(7.222 - c)\ (5.162 - c)}$$

$$5.070(7.222 - c)\ (5.162 - c) = c\ (c - 3.257)$$

$$189.002 - 62.788c + 5.070c^2 = c^2 - 3.257c$$

$$4.070c^2 - 59.531c + 189.002 = 0$$

$$c = 9.967$$

$$c = 4.659$$

Resolviendo la ecuación se obtienes 2 resultados siendo el más adecuado 3.476 para que los demás valores tengan valor positivo.

$$e = 5.162 - 4.659$$

$$e = 0.503$$

$$d = 4.659 - 3.257$$

$$d = 1.402$$

$$b = 7.222 - 4.659$$

$$b = 2.563$$

Se obtuvo la siguiente ecuación de combustión incompleta (E40), para la altura de la ciudad del Cusco

$$0.836\ C_7H_{17} + 0.164\ C_2H_6O + 5.758(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow 2.563\ CO_2 + 4.659\ H_2O$$

$$+ 1.402\ CO + 0.503\ H_2 + 19.89\ N_2$$

Fracciones molares de los productos de la combustión

$$Y_{CO_2} = 8.83\%, Y_{H_2O} = 16.06\%, Y_{CO} = 4.83\%, Y_{H_2} = 1.73\%, Y_{N_2} = 68.55\%$$

3.4.6 Combustión incompleta para la mezcla de gasolina con etanol al 50% en volumen (E50)

$$a' = \lambda_c \times a$$

$$a' = 0.727 \times 6.734$$

$$a' = 4.895$$

$$AF_{real} = \frac{A}{F} = \frac{N'_a M_a}{N_f M_f}$$

Donde: El valor de M_a = 28.85 kg/kg mol.

$$AF_{real} = \frac{4.895 \times 4.76 \times 28.85}{0.698 \times 46.08 + 0.302 \times 101.24}$$

$$AF_{real}(E50) = 10.718$$

Del cálculo anterior:

$$AF_{esteq}(E50) = 12.081$$

$$\lambda'(E50) = \frac{AF_{real}}{AF_{estq}} = \frac{10.718}{12.081}$$

El coeficiente de exceso de aire de la mezcla E50, para la altura de la ciudad del Cusco

$$\lambda'(E50) = 0.892$$

Y respectivamente su riqueza de mezcla

$$\Phi'(E50) = 1.121$$

Eficiencia de la combustión

Para valores de riqueza: $1.0 \leq \Phi \leq 1.5$

$$\eta_{comb} = 2.594 - 2.173\Phi + 0.546\Phi^2$$

$$\eta_{comb} = 0.844$$

Para hallar en calor entrante del ciclo

$$m\ c_v\ (T_3 - T_2) = m_f\ Q_{LHV}$$

$$Q^* = \frac{m_f\ Q_{LHV}}{m}$$

Si

$$\frac{m}{m_f} = \frac{m_a + m_f}{mf} = \frac{m_a}{m_f} + 1$$

$$\frac{m}{m_f} = AF + 1$$

$$Q^* = \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

Por la combustión incompleta

$$\eta_{comb}\ Q^* = \eta_{comb}\ \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

$$q_{in} = \eta_{comb}\ \frac{Q_{LHV}}{AF + 1}$$

$$q_{in} = 0.844 \times \frac{35.42\ MJ/KG}{14.743 + 1}$$

$$q_{in} = 1898.81\ KJ/KG$$

Con este valor podemos utilizar un Matlab para hallar las presiones, temperaturas, eficiencias y fracción residual.

Datos iniciales:

Figura 3.16

Datos iniciales MATLAB – E50

```
clear
clc
% Four stroke Otto cycle model
% input parameters
Ti = 283; % inlet temperature, K
Pi = 66.63; % inlet pressure, kPa
Pe = 74; % exhaust pressure, kPa(0.3<Pi/Pe<1.5)
r =8.3; % compression ratio
qin = 1898.81; % heat input, kJ/kg (mixture)
gamma = 1.25; % ideal gas specific heat ratio
R = 0.283; % gas constant kJ/kg K
cv= R/(gamma-1); %const vol specific heat, kJ/kg K
f=0.022;%guess value of residual fraction f (VARÍA 0.03 a 0.12)asumido
Te =500; % guess value of exhaust temp, K (valor asumido)
tol=0.001; % tolerance for convergence
err = 2*tol; %error initialization
```

Nota. Elaboración propia.

Resultados:

Figura 3.17

Resultados MATLAB – E50

```
Four Stroke Otto Cycle
State              1     2      3      4
Pressure (kPa):   66.6  938.7 3787.0  268.8
Temperature (K):  311.7  529.1 2134.5 1257.6
Ideal Thermal Eff.=  0.411 Net Thermal Eff.=  0.406
Exhaust Temp. (K)=  971.6 Volumetric Eff.=   0.99
Residual Fraction  0.043 Net Imep (bar)=   6.34
```

Nota. Elaboración propia

.

Tabla 3.12

Resultados del ciclo Otto para la mezcla E50 para la altura del Cusco

Estado	1	2	3	4
Presión (kPa)	66.6	938.7	3787.0	268.8
Temperatura (K)	311.7	529.1	2134.5	1257.6

Eficiencia térmica ideal	0.411
Eficiencia térmica neta	0.406
Temperatura de escape (K)	971.6
Eficiencia volumétrica	0.99
Fracción residual	0.043
Imep neta (bar)	6.34

Nota. Elaboración propia.

Ecuación de la reacción de combustión incompleta (E50), para la altura de la ciudad del Cusco

$$0.302\ C_7H_{17} + 0.698\ C_2H_6O + 4.895(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow b\ CO_2 + c\ H_2O + d\ CO + e\ H_2 + f\ N_2$$

$$C: 7 \times 0.302 + 2 \times 0.698 = b + d \rightarrow b + d = 3.51$$

$$H: 17 \times 0.302 + 6 \times 0.698 = 2c + 2e \rightarrow c + e = 4.661$$

$$O: 1 \times 0.698 + 2 \times 4.895 = 2b + c + d \rightarrow 2b + c + d = 10.488$$

$$N: 2 \times 4.895 \times 3.76 = 2f \rightarrow f = 18.405$$

A falta de una ecuación para la resolución del sistema se usará la reacción agua-gas y considerando una temperatura en la cámara de combustión de 2134.5 K.

$$CO_2 + H_2 = CO + H_2O$$

Cuya constante de equilibrio es:

$$K_{(T)} = \frac{M_{H_2O}\ M_{CO}}{M_{CO_2}\ M_{H_2}} = \frac{c\ d}{b\ e}$$

$$LnK_{(T)} = 2.743 - \frac{1.761 \times 10^3}{T} - \frac{1.611 \times 10^6}{T^2} + \frac{0.2803 \times 10^9}{T^3}$$

$$LnK_{(2134.5)} = 2.743 - \frac{1.761 \times 10^3}{2134.5} - \frac{1.611 \times 10^6}{2134.5^2} + \frac{0.2803 \times 10^9}{2134.5^3}$$

$$LnK_{(2134.5)} = 1.593$$

$$K_{(2134.5)} = 4.920$$

$$K_{(2134.5)} = 4.920 = \frac{c\ d}{b\ e}$$

Poniendo las ecuaciones en función de c:

$$e = 4.661 - c$$

$$d = c - 3.468$$

$$b = 6.978 - c$$

$$4.920 = \frac{c\ (c - 3.468)}{(6.978 - c)\ (4.661 - c)}$$

$$4.920(6.978 - c)\ (4.661 - c) = c\ (c - 3.468)$$

$$160.005 - 57.258c + 4.920c^2 = c^2 - 3.468c$$

$$3.920c^2 - 53.790c + 160.005 = 0$$

$$c = 9.364$$

$$c = 4.359$$

Resolviendo la ecuación se obtienes 2 resultados siendo el más adecuado 3.476 para que los demás valores tengan valor positivo.

$$e = 4.661 - 4.359$$

$$e = 0.302$$

$$d = 4.359 - 3.468$$

$$d = 0.891$$

$$b = 6.978 - 4.359$$

$$b = 2.619$$

Se obtuvo la siguiente ecuación de combustión incompleta (E50), para la altura de la ciudad del Cusco

$$0.836\ C_7H_{17} + 0.164\ C_2H_6O + 5.758(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow 2.619\ CO_2 + 4.359\ H_2O$$

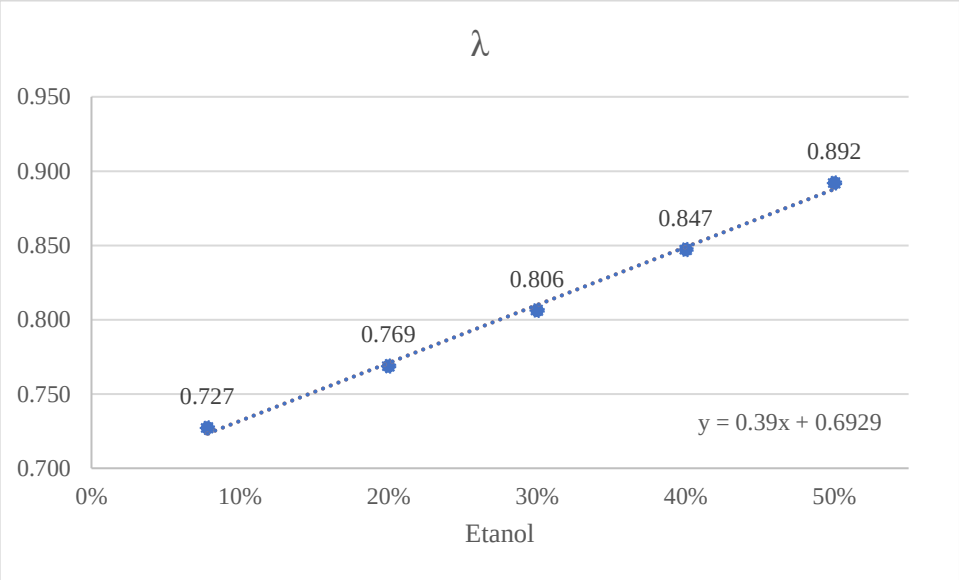
$$+ 0.891\ CO + 0.302\ H_2 + 18.405\ N_2$$

Fracciones molares de los productos de la combustión

$$Y_{CO_2} = 9.85\%, Y_{H_2O} = 16.40\%, Y_{CO} = 3.35\%, Y_{H_2} = 1.13\%, Y_{N_2} = 69.25\%$$

Figura 3.18

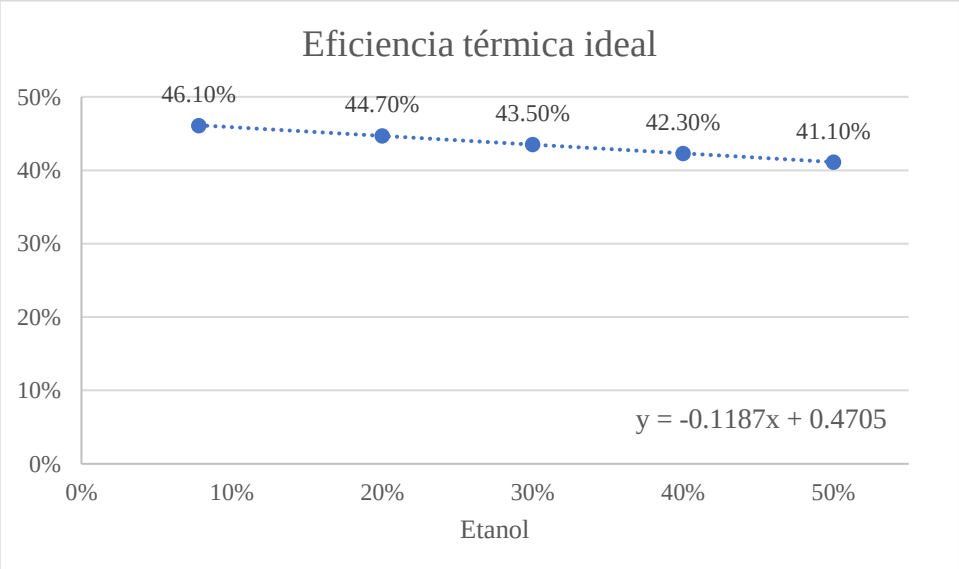
Coeficiente de exceso de aire en la ciudad de Cusco



Nota. Elaboración propia.

Figura 3.19

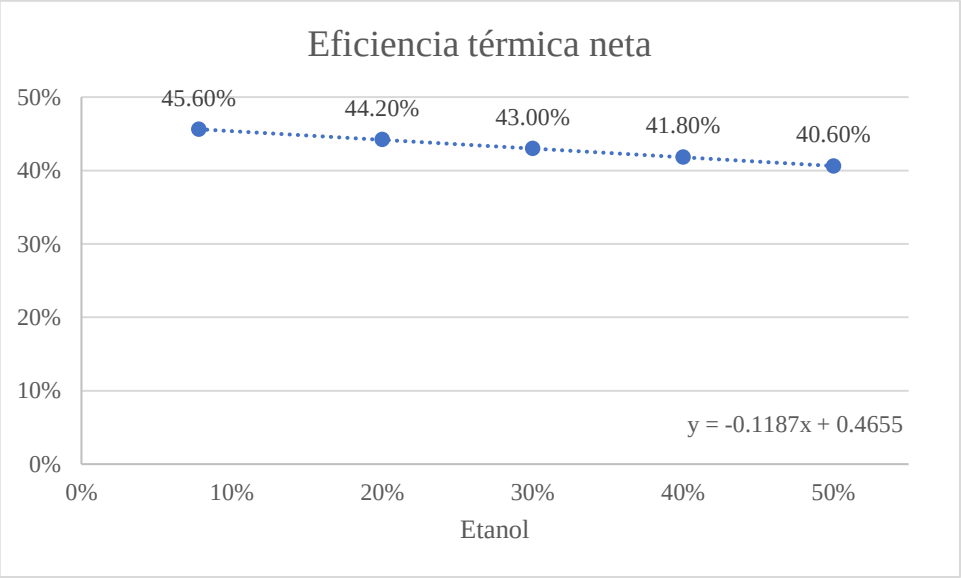
Eficiencia térmica ideal



Nota. Elaboración propia.

Figura 3.20

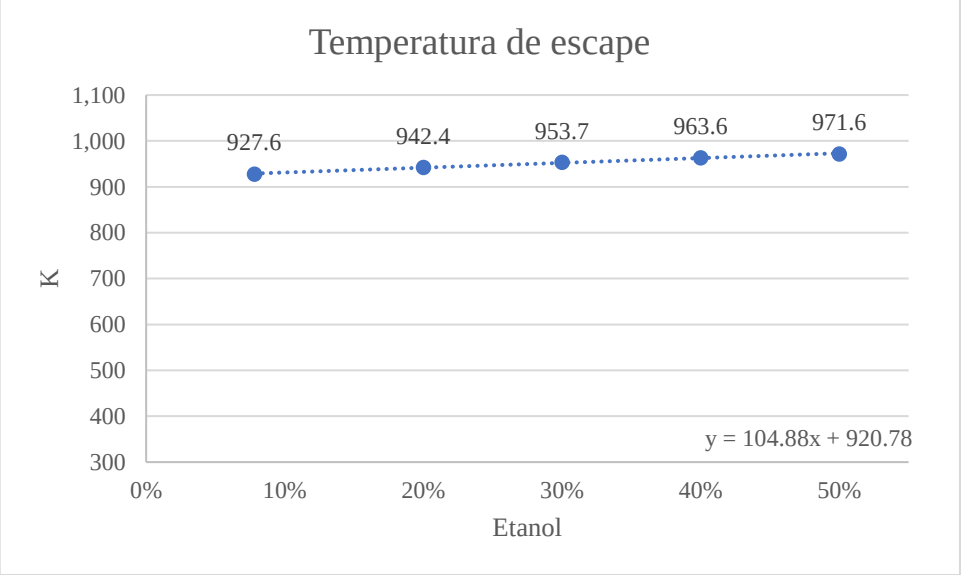
Eficiencia térmica neta



Nota. Elaboración propia.

Figura 3.21

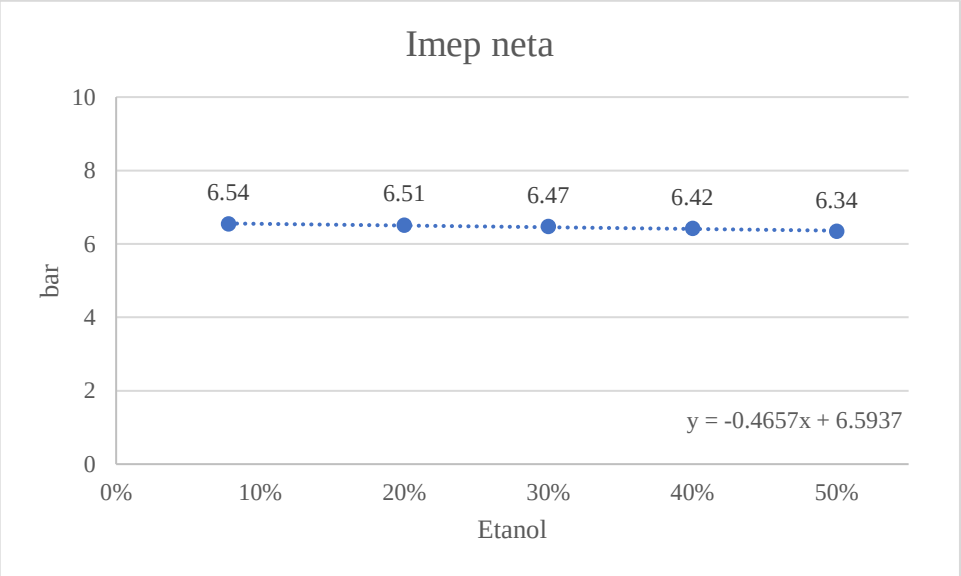
Temperatura de escape



Nota. Elaboración propia.

Figura 3.22

Presión efectiva media indicada



Nota. Elaboración propia.

3.5 CALCULO LAS FRACCIONES MOLARES DE LOS PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN DE LAS REACCIONES

Tabla 3.13

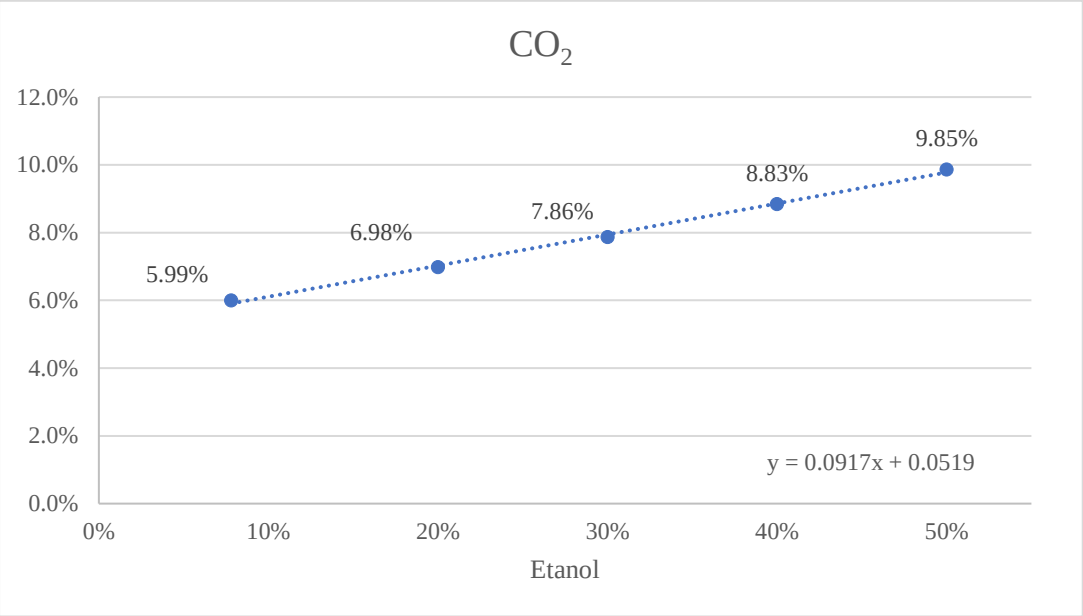
Fracciones molares de los productos de combustión

Productos	% de Etanol				
	7.8%	20%	30%	40%	50%
CO_2	5.99%	6.98%	7.86%	8.83%	9.85%
H_2O	14.53%	15.18%	15.65%	16.06%	16.40%
CO	9.15%	7.60%	6.27%	4.83%	3.35%
H_2	4.08%	3.11%	2.40%	1.73%	1.14%
N_2	66.26%	67.12%	67.82%	68.55%	69.25%

Nota. Elaboración propia.

Figura 3.23

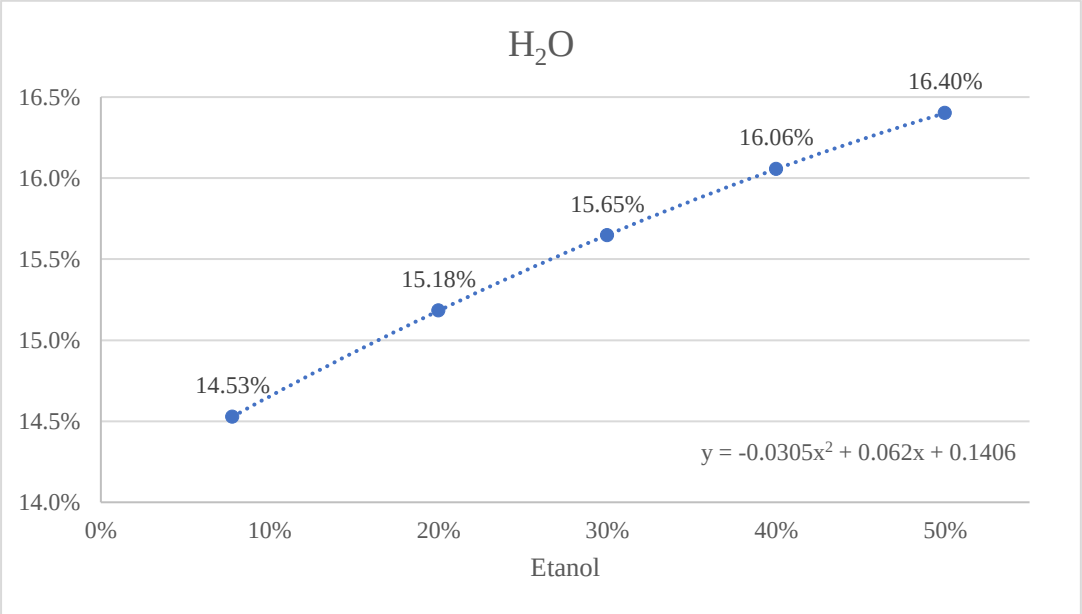
Fracción molar de dióxido de carbono



Nota. Elaboración propia.

Figura 3.24

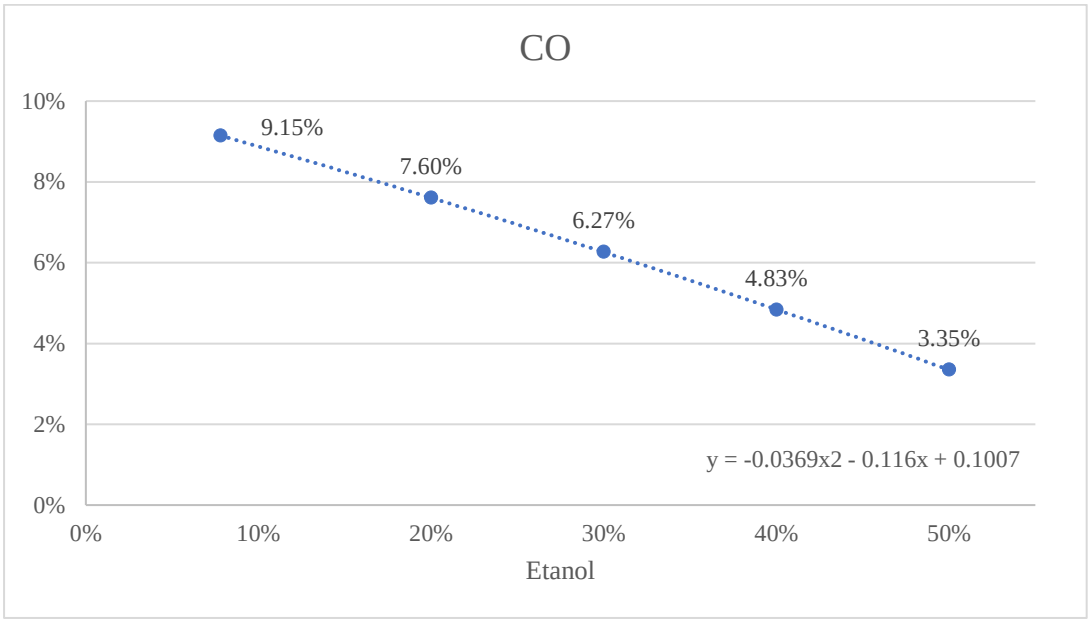
Fracción molar de dióxido de carbono



Nota. Elaboración propia.

Figura 3.25

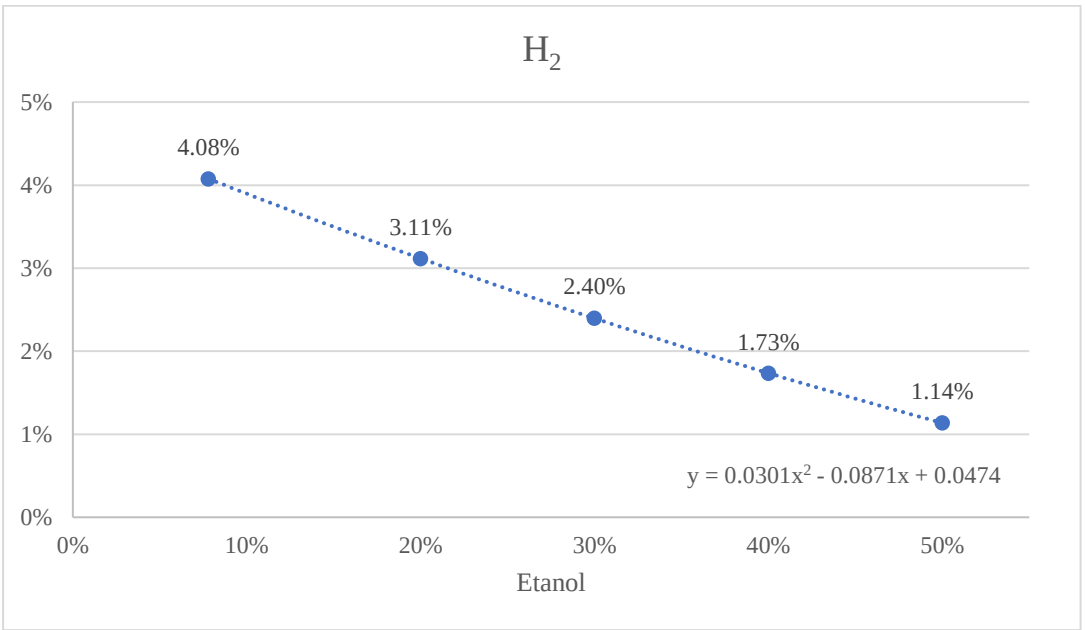
Fracción molar de dióxido de carbono



Nota. Elaboración propia.

Figura 3.26

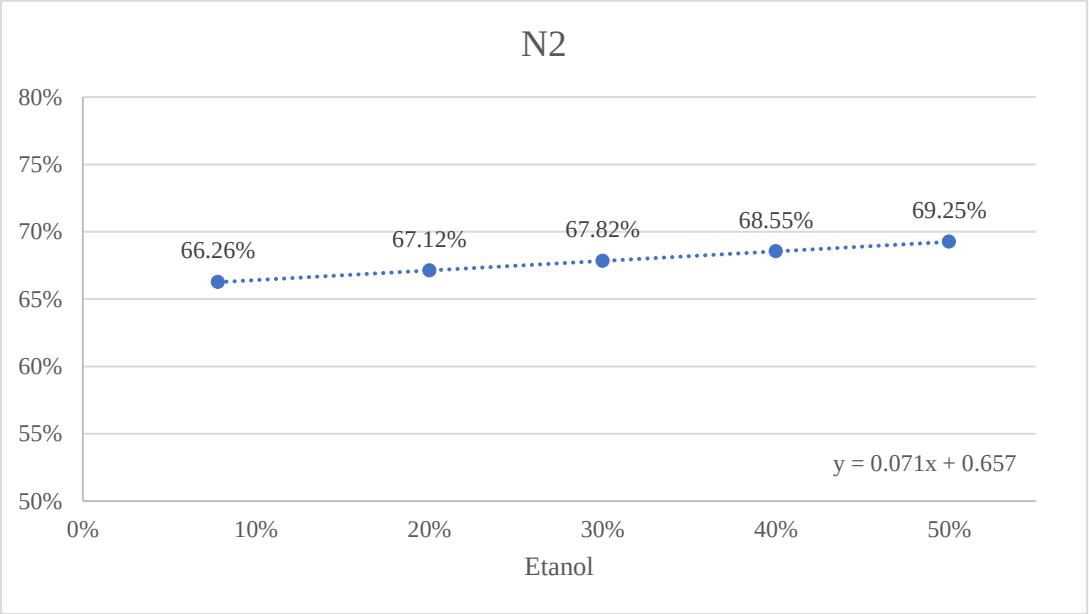
Fracción molar de hidrógeno



Nota. Elaboración propia.

Figura 3.27

Fracción molar de nitrógeno



Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

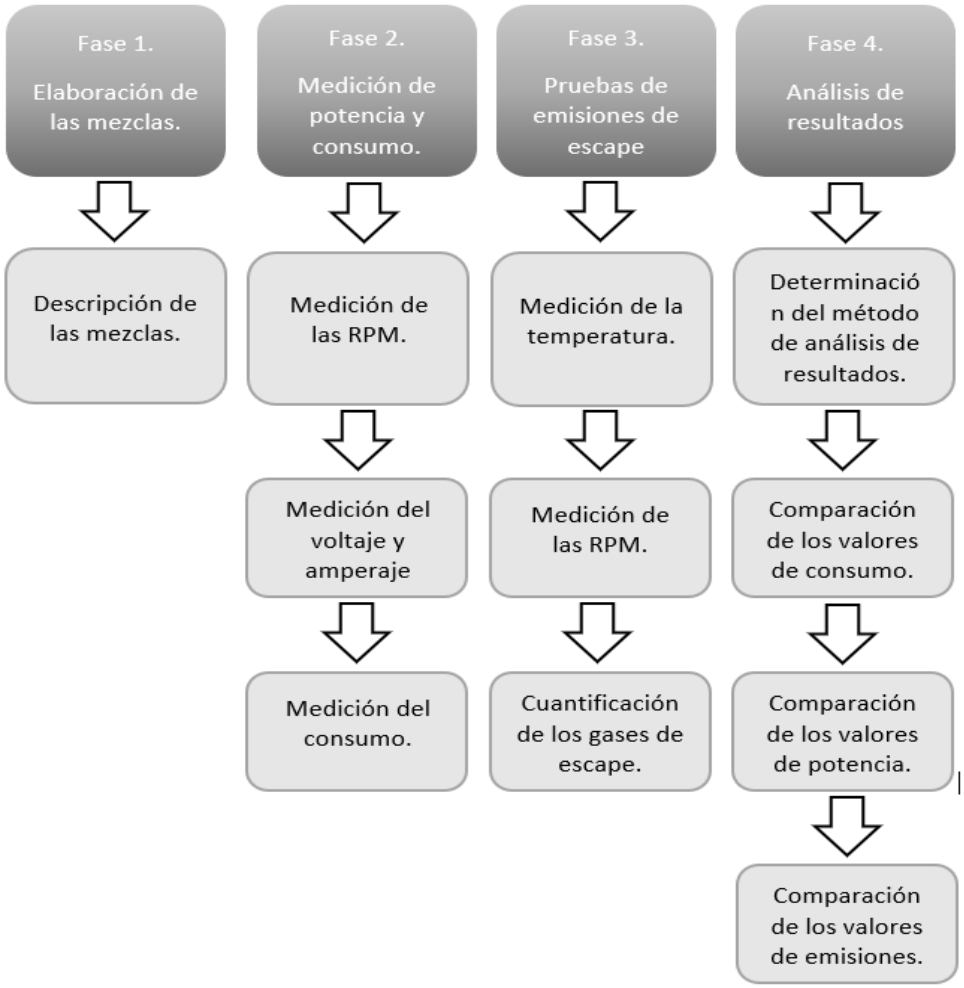
DESARROLLO DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

4.1 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de las pruebas de investigación se elaboró un diagrama de metodología, que abarca cuatro fases fundamentales de análisis y estudio. Este enfoque metodológico se establece con el propósito de proporcionar una guía clara y sistemática para el proceso de investigación., permitiendo la recolección, análisis e interpretación de los datos de manera precisa y eficiente.

Figura 4.1

Diagrama de metodología



Nota. Elaboración propia.

4.2 ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS ETANOL-GASOLINA

Para realizar nuestras pruebas utilizamos diferentes tipos de mezclas etanol-gasolina, se utilizó una probeta graduada. El combustible base fue la gasohol regular el que se comercializa en los abastecimientos locales, el cual comprende 7.8% de etanol según lo indicado en la ficha técnica de Petro Perú el alcohol utilizado fue el etanol anhidrido 99.9% o también conocido como etanol absoluto.

Describiremos a nuestros 5 tipos de mezcla de la forma siguiente:

E7.8: 7.8% de etanol y 92.2% de gasolina.

E20: 20% de etanol y 80% de gasolina.

E30: 30% de etanol y 70%de gasolina.

E40: 40% de etanol y 60% de gasolina.

E50: 50% de gasolina y 50% de gasolina.

Tabla 4.1

Volumen y porcentaje utilizado en las mezclas para 1000 ml

Mezcla	Gasolina		Etanol	
	Volumen(ml)	Porcentaje	Volumen(ml)	Porcentaje
Mezcla E7.8	922.0	92.2%	78.0	7.8%
Mezcla E20	867.7	80%	132.3	20%
Mezcla E30	759.2	70%	240.8	30%
Mezcla E40	650.8	60%	349.2	40%
Mezcla E50	542.3	50%	457.7	50%

Nota. Elaboración propia.

Figura 4.2

Mezclas gasolina-etanol

Mezcla E7.8

Mezcla E20

Mezcla E30

Mezcla E40

Mezcla E50

Nota. Elaboración propia.

Figura 4.3

Probeta 250 ml

Nota. Elaboración propia.

4.3 PRUEBAS Y EVALUACIÓN PARA LOS DIFERENTES COMBUSTIBLES

4.3.1 Ubicación

Con las mezclas previamente realizados en el taller AUTO PRIME ubicado en Av. De evitamiento B-12-A-3 Urb. San Antonio, distrito de San Sebastián, provincia y departamento de Cusco. Es aquí donde se realizó las pruebas para medir la potencia eléctrica y consumo de combustible.

- Altura: 3399 msnm.
- Temperatura: 10 °C-20 °C.
- Presión :68 kpa.

En las revisiones técnicas C.I.T.V. AUTOMOTRIZ DEL SUR S.A.C. ubicado Av. Prolongación Av. La cultura 197, distrito de San Jerónimo, provincia y departamento de Cusco; se realizaron las pruebas de emisiones de gases.

- Altura: 3399 msnm.
- Temperatura: 10 °C-20 °C.
- Presión :68 kpa.

4.3.2 Ensayos para potencia eléctrica

Se prendió el motor a plena carga, operando a un régimen de giro promedio de 3600 RPM, que corresponde al régimen de giro estandarizado por el generador, con el objetivo de suministrar potencia activa en vatios (W) al sistema de iluminación instalado. Posteriormente, se monitorearon y registraron las variables eléctricas de voltaje (V) y amperaje (A), a fin de analizar el comportamiento del motor en función de la demanda de potencia.

Este procedimiento se repitió para cada una de las cinco mezclas de combustible, E7.8, E20, E30, E40, E50; realizando cinco mediciones por cada tipo de mezcla, para obtener un análisis detallado del comportamiento del motor.

4.3.3 Ensayo para consumo de combustible

Se controlo la autonomía en cada mezcla para un volumen de 25 ml en cada repetición, obteniendo los siguientes resultados:

4.3.4 Ensayo para emisiones

La medición de las emisiones se realizó sin el acople del generador, a regímenes de giro de 2500 RPM y 900 RPM en promedio, debido a las limitaciones del equipo usado en las “revisiones técnicas”. Se uso un analizador de gases PIERBURG INSTRUMENTS modelo HGA 400 4 GR número de serie 1012 calibrado según AST-137724-08. Este equipo es capaz de cuantificar concentraciones de gases de combustión, tales como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC). una vez encendido el motor, se esperó las

condiciones de operación del motor, específicamente, que la temperatura del motor este en 80 grados °C en promedio, lo que indicaba que se podía empezar el ensayo. El sensor de emisiones fue ubicado en el conducto de escape del motor, junto con el sensor paramagnético.

4.4 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN EL ENSAYO

Para la realización de los ensayos de potencia efectiva, consumo especifico y la cuantificación de los gases de escape, nos respaldamos en una serie de instrumentos de medición y equipos, que permiten asegurar la precisión y fiabilidad de los datos obtenidos.

Tabla 4.2

Instrumentos y equipos utilizados

Instrumento o equipo	Marca	Unidad de medida
Tacómetro digital	Lutron-DT-2230	RPM
Multímetro digital	Truper	Voltios (v)
Cronometro	-	Segundos (s)
Analizador de gases	Pierburg I.	%v/v, ppm

Nota. Elaboración propia.

Figura 4.4

Instrumentos y equipos utilizados

Multímetro digital | Analizador de gases

Tacómetro digital | Cronometro digital

Nota. Elaboración propia.

4.5 ESTRATEGIA DE EXPERIMENTACIÓN

4.5.1 Potencia y consumo

4.5.1.1 Factores de estudio

- Porcentaje de etanol

4.5.1.2 Variables de respuesta

- Voltaje
- Amperaje
- Consumo de combustible

4.5.1.3 Niveles de los factores de estudio

- 7.8% de etanol en volumen (E7.8)
- 20% de etanol en volumen (E20)
- 30% de etanol en volumen (E30)
- 40% de etanol en volumen (E40)
- 50% de etanol en volumen (E50)

4.5.1.4 Aleatorización para la toma de datos de potencia y consumo.

Tabla 4.3

Aleatorización de las pruebas de potencia y consumo

Porcentaje de etanol	Orden de Prueba	Porcentaje de etanol	Orden de Prueba
E7.8	14°	E40	8°
E7.8	23°	E40	2°
E7.8	3°	E40	22°
E7.8	7°	E40	15°
E7.8	25°	E40	9°
E20	10°	E50	18°
E20	19°	E50	1°
E20	5°	E50	11°
E20	16°	E50	24°
E20	21°	E50	6°
E30	4°		
E30	13°		
E30	12°		
E30	20°		
E30	17°		

Nota. Elaboración propia.

4.5.2 Emisiones contaminantes

4.5.2.1 Factores de estudio

- Porcentaje de etanol
- Régimen

4.5.2.2 Variables de respuesta

- Emisiones de CO
- Emisiones de CO_2
- Emisiones de HC

4.5.2.3 Niveles de los factores de estudio

Para el porcentaje de etanol

- 7.8% de etanol en volumen (E7.8)
- 20% de etanol en volumen (E20)
- 30% de etanol en volumen (E30)
- 40% de etanol en volumen (E40)
- 50% de etanol en volumen (E50)

Para el régimen

- 2500 rpm
- 930 rpm

4.5.2.4 Aleatorización para la toma de datos de emisiones contaminantes

Tabla 4.4

Aleatorización de las pruebas de emisiones contaminantes

Porcentaje de etanol	Régimen	Orden de Prueba	Porcentaje de etanol	Régimen	Orden de Prueba
E7.8	2500	47°	E30	930	15°
E7.8	2500	8°	E30	930	9°
E7.8	2500	39°	E30	930	41°
E7.8	2500	5°	E30	930	25°
E7.8	2500	14°	E30	930	37°
E7.8	930	33°	E40	2500	48°
E7.8	930	19°	E40	2500	35°
E7.8	930	50°	E40	2500	49°
E7.8	930	21°	E40	2500	40°

E7.8	930	22°	E40	2500	2°
E20	2500	43°	E40	930	4°
E20	2500	16°	E40	930	26°
E20	2500	28°	E40	930	11°
E20	2500	23°	E40	930	32°
E20	2500	6°	E40	930	34°
E20	930	13°	E50	2500	12°
E20	930	3°	E50	2500	30°
E20	930	1°	E50	2500	10°
E20	930	31°	E50	2500	7°
E20	930	38°	E50	2500	20°
E30	2500	24°	E50	930	42°
E30	2500	18°	E50	930	27°
E30	2500	29°	E50	930	45°
E30	2500	36°	E50	930	46°
E30	2500	44°	E50	930	17°

Nota. Elaboración propia.

4.6 DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DURANTE LAS PRUEBAS DE POTENCIA

Tabla 4.5

Datos experimentales de las pruebas de potencia con E7.8

	RPM (inicial)	RPM (final)	Focos (W)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
1°	3604	3217	940	228	3.9	889.2
2°	3601	3364	941	229	3.9	893.1
3°	3637	3227	950	228	4.1	934.8
4°	3656	3328	970	228	4.1	934.8
5°	3650	3328	970	227	4.1	930.7

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4.6

Datos experimentales de las pruebas de potencia con E20

	RPM (inicial)	RPM (final)	Focos (W)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
1°	3621	3257	980	228	4.1	934.8
2°	3606	3286	985	227	4.1	930.7
3°	3628	3374	960	229	4.1	938.9
4°	3626	3364	961	228	4.0	912.0
5°	3640	3487	960	228	4.0	912.0

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4.7

Datos experimentales de las pruebas de potencia con E30

	RPM (inicial)	RPM (final)	Focos (W)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
1°	3625	3252	960	228	4.0	912.0
2°	3623	3235	960	229	4.1	938.9
3°	3619	3407	970	228	4.1	934.8
4°	3608	3321	971	229	4.1	938.9
5°	3607	3438	970	228	4.1	934.8

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4.8

Datos experimentales de las pruebas de potencia con E40

	RPM (inicial)	RPM (final)	Focos (W)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
1°	3668	3260	960	228	4.0	912.0
2°	3612	3184	950	229	4.0	916.0
3°	3606	3383	960	228	4.1	934.8
4°	3606	3331	960	228	4.0	912.0
5°	3636	3392	960	228	4.1	934.8

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4.9

Datos experimentales de las pruebas de potencia con E50

	RPM (inicial)	RPM (final)	Focos (W)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
1°	3633	3361	940	228	3.8	866.4
2°	2640	3363	900	228	3.8	866.4
3°	3641	3374	925	228	3.9	889.2
4°	3620	3358	915	228	3.9	889.2
5°	3680	3380	900	228	3.8	866.4

Nota. Elaboración propia.

4.7 DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DURANTE LAS PRUEBAS DE CONSUMO

Tabla 4.10

Datos experimentales de las pruebas de consumo con E7.8

	RPM	V(ml)	t (min:s)	t (s)	ml/s	L/h
1°	3604	25	04:36.5	276.5	0.0904	0.3255
2°	3601	25	03:47.9	227.9	0.1097	0.3949
3°	3637	25	04:20.9	260.9	0.0958	0.3450
4°	3656	25	04:06.3	246.3	0.1015	0.3654
5°	3650	25	04:31.1	271.1	0.0922	0.3320

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4.11

Datos experimentales de las pruebas de consumo con E20

	RPM	V(ml)	t (min:s)	t (s)	ml/s	L/h
1°	3621	25	04:10.9	250.9	0.0996	0.3587
2°	3606	25	04:06.3	246.3	0.1015	0.3654
3°	3628	25	04:19.2	259.2	0.0965	0.3472
4°	3626	25	04:16.1	256.1	0.0976	0.3514
5°	3640	25	04:02.6	242.6	0.1031	0.3710

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4.12

Datos experimentales de las pruebas de consumo con E30

	RPM	V(ml)	t (min:s)	t (s)	ml/s	L/h
1°	3625	25	04:00.6	240.6	0.1039	0.3741
2°	3623	25	04:04.5	244.5	0.1022	0.3681
3°	3619	25	04:22.2	262.2	0.0953	0.3432
4°	3608	25	04:10.4	250.4	0.0998	0.3594
5°	3607	25	04:23.0	263.0	0.0951	0.3422

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4.13

Datos experimentales de las pruebas de consumo con E40

	RPM	V(ml)	t (min:s)	t (s)	ml/s	L/h
1°	3668	25	04:01.8	241.8	0.1034	0.3722
2°	3612	25	03:43.6	223.6	0.1118	0.4025
3°	3606	25	03:54.4	234.4	0.1067	0.3840
4°	3606	25	03:57.7	237.7	0.1052	0.3786
5°	3636	25	03:58.8	238.8	0.1047	0.3769

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4.14

Datos experimentales de las pruebas de consumo con E50

	RPM	V(ml)	t (min:s)	t (s)	ml/s	L/h
1°	3633	25	03:56.1	236.1	0.1059	0.3812
2°	3640	25	03:34.4	214.4	0.1166	0.4198
3°	3641	25	04:04.7	244.8	0.1021	0.3677
4°	3620	25	03:56.1	236.1	0.1059	0.3813
5°	3680	25	03:58.6	238.6	0.1048	0.3772

Nota. Elaboración propia.

4.8 DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DURANTE LAS PRUENAS DE EMISIONES

Tabla 4.15

Datos experimentales de las emisiones con E7.8

2500 RPM					
	1°	2°	3°	4°	5°
RPM	2540	2590	2420	2420	2490
CO,%	2.52	2.61	2.04	1.36	2.02
CO_2,%	3.6	3.2	3.2	3.6	2.5
HC,PPM	239	217	263	146	194
T°	79	79	88	88	84
930 RPM					
	1°	2°	3°	4°	5°
RPM	980	980	980	970	990
CO,%	2.38	2.43	2.49	2.48	2.38
CO_2,%	4.1	4.1	4	4	4.1
HC,PPM	182	184	179	185	178
T°	96	96	96	92	94

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4.16

Datos experimentales de las emisiones con E20

2500 RPM					
	1°	2°	3°	4°	5°
RPM	2500	2460	2590	2590	2540
CO,%	1.45	0.87	0.99	1.39	1.02
CO_2,%	3	2.8	3.8	3.3	2.9
HC,PPM	96	245	106	136	128
T°	79	72	86	86	86
930 RPM					
	1°	2°	3°	4°	5°
RPM	970	980	970	970	930
CO,%	2.12	2.08	2.04	1.97	1.38
CO_2,%	4.6	4.5	4.4	4.1	3.7
HC,PPM	174	175	189	286	143
T°	72	72	72	72	86

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4.17

Datos experimentales de las emisiones con E30

2500 RPM					
	1°	2°	3°	4°	5°
RPM	2590	2500	2460	2420	2310
CO,%	1.06	1.19	1.04	0.98	0.73
CO_2,%	4.2	3.3	3	3.4	3.5
HC,PPM	255	165	229	222	274
T°	74	74	72	86	86
930 RPM					
	1°	2°	3°	4°	5°
RPM	900	900	880	960	960
CO,%	0.86	1.23	0.68	0.94	1
CO_2,%	4.5	5.2	5.2	3.7	3.9
HC,PPM	158	174	193	134	134
T°	74	74	74	86	86

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4.18

Datos experimentales de las emisiones con E40

2500 RPM					
	1°	2°	3°	4°	5°
RPM	2540	2540	2530	2590	2380
CO,%	0.72	0.64	0.81	0.69	0.79
CO_2,%	5.4	3.8	2.8	3.8	5.8
HC,PPM	318	229	134	250	150
T°	92	92	94	94	94
930 RPM					
	1°	2°	3°	4°	5°
RPM	920	920	910	850	870
CO,%	0.88	0.64	0.98	0.57	0.47
CO_2,%	5.6	5.5	4.3	5.7	5.2
HC,PPM	199	182	180	182	211
T°	92	92	92	94	94

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4.19

Datos experimentales de las emisiones con E50

2500 RPM					
	1°	2°	3°	4°	5°
RPM	2500	2500	2460	2500	2590
CO,%	0.27	0.25	0.22	0.25	0.23
CO_2,%	5.1	4.1	4.2	6	5.3
HC,PPM	171	210	100	163	152
T°	74	74	71	71	71
930 RPM					
	1°	2°	3°	4°	5°
RPM	990	850	840	860	810
CO,%	0.35	0.35	0.35	0.24	0.3
CO_2,%	4.2	4.2	4.2	5	3.8
HC,PPM	156	298	143	188	184
T°	74	74	74	71	71

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO V

ANALISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1 DISEÑO CON UN SOLO FACTOR PARA EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA POTENCIA.

5.1.1 Análisis ANOVA

El objetivo de la prueba ANOVA es probar la hipótesis de igualdad de los tratamientos respecto a la media de la correspondiente variable:

H_o: No hay diferencia en la potencia promedio para ningún par de mezclas gasolina-etanol

$$\boldsymbol{H_o: \mu_1 = \mu_2 = \cdots = \mu_k = \mu}$$

H_A: Se acepta que hay por lo menos un par de mezclas gasolina-etanol que tengan una potencia promedio diferente.

$$\boldsymbol{H_A: \mu_i \neq \mu_j \ para\ algún\ i \neq j}$$

Tabla 5.1

Datos de potencia del experimento para el análisis ANOVA

Porcentaje del etanol				
7.8%	20%	30%	40%	50%
889.2	934.8	912	912	866.4
893.1	930.7	938.9	916	866.4
934.8	938.9	934.8	934.8	889.2
934.8	912	938.9	912	889.2
930.7	912	934.8	934.8	866.4

Nota. Elaboración propia.

Análisis de varianza

$$\boldsymbol{SC_T = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{c} y_{ij}^2 - \frac{y_{...}^2}{N}}$$

$$SC_T = 889.2^2 + 893.1^2 + 934.8^2 + \cdots + 866.4^2 - \frac{22857.6^2}{25} = 14547.19$$

$$\boldsymbol{SC_{Trat} = \sum_{i=1}^{k} \frac{y_{i\cdots}^2}{n_i} - \frac{y_{\cdots}^2}{N}}$$

$$SC_{Etanol} = \frac{[4582.6^2 + \cdots + 4377.6^2]}{5} - \frac{22857.6^2}{25} = 10027.2096$$

$$\boldsymbol{SC_E = SC_T - SC_{Etanol}}$$

$$SS_E = 14547.19 - 10027.21 = 4519.98$$

Tabla 5.2

Análisis de varianza de los datos de la potencia

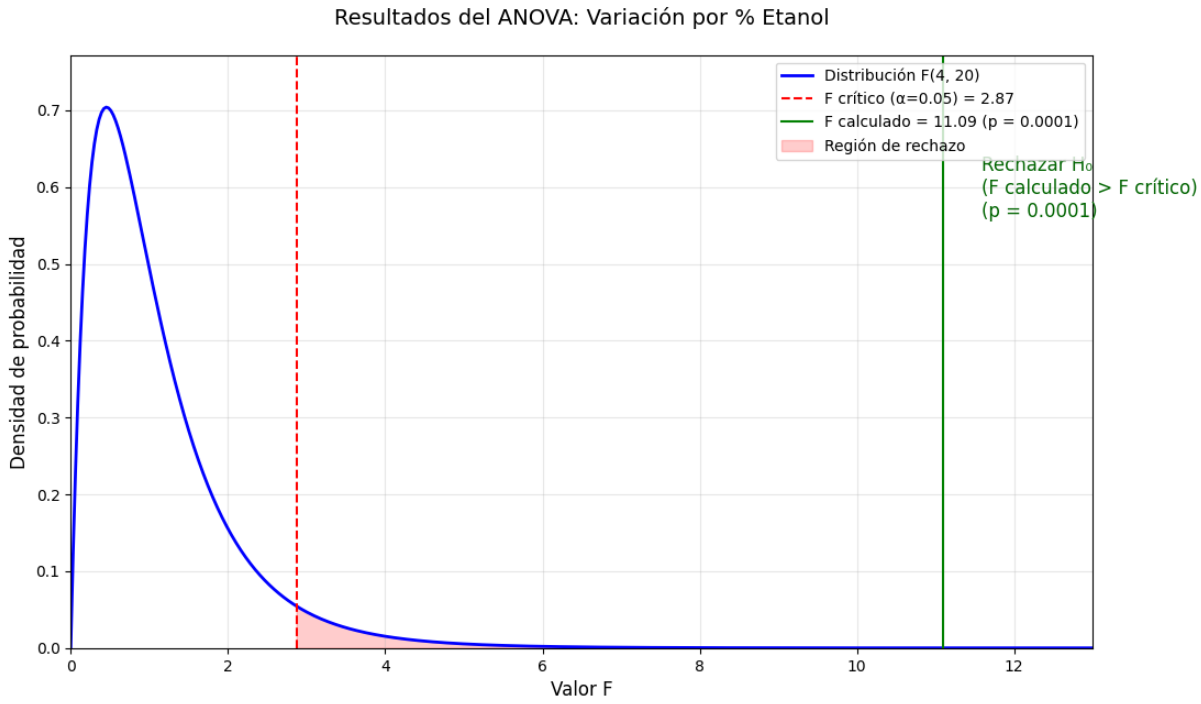
Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo	F Critico	Valor p
% Etanol	10027.21	4	2506.80	11.09	2.87	0.0001
Error	4519.98	20	226.00			
Total	14547.19	24				

Nota. Elaboración propia.

En la tabla del análisis de varianza, como el valor de p = 0.0001 es menor que la significancia prefijada α = 0.05, se rechaza H_o y se acepta que al menos un par de mezclas tienen una potencia promedio diferente.

Figura 5.1

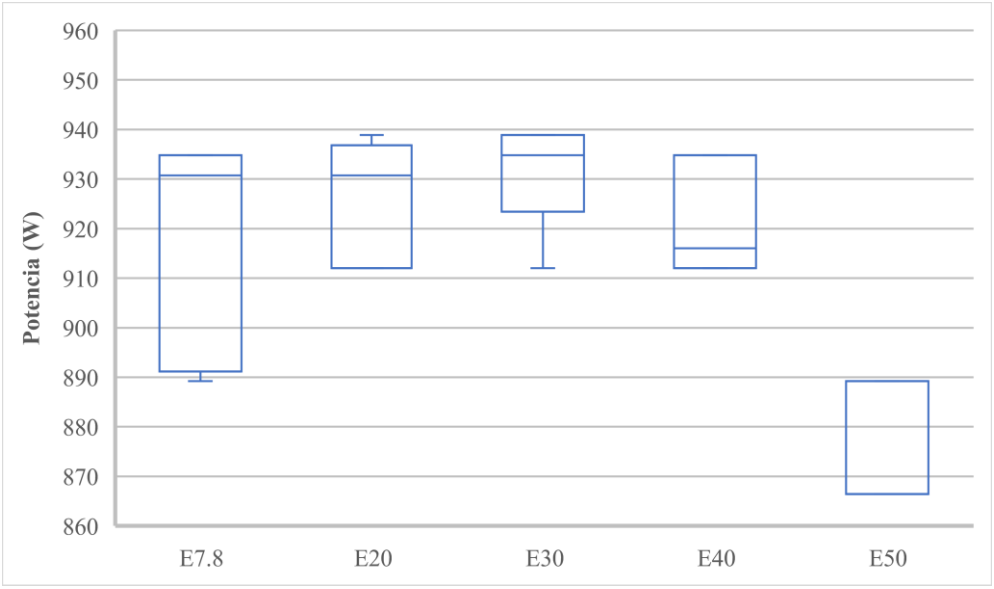
Distribución F para la potencia



Nota. Elaboración propia.

Figura 5.2

Diagrama simultaneo de potencia



Nota. Elaboración propia.

Se puede observar del grafico que la mezcla E50 es la que más se diferencia de las demás, lo que sigue es corroborar lo observado en el grafico mediante pruebas estadísticas.

Comparaciones o pruebas de rango múltiples

Tabla 5.3

Medias de las potencias

% Etanol	
E7.8	916.52
E20	925.68
E30	931.88
E40	921.92
E50	875.52

Nota. Elaboración propia.

Analizando las medias de las potencias.

$$\mu_1 = 916.52 \quad (E7.8)$$

$$\mu_2 = 925.68 \quad (E20)$$

$$\mu_3 = 931.88 \quad (E30)$$

$$\mu_4 = 921.92 \quad (E40)$$

$$\mu_5 = 875.52 \quad (E50)$$

5.1.2 Prueba de Tukey

$$\boldsymbol{T_{0.05} = q_{0.05}(5, 20)\sqrt{\frac{CM_E}{n_i}}}$$

$$T_{0.05} = 4.24\sqrt{\frac{226.00}{5}}$$

$$T_{0.05} = 28.51$$

Tabla 5.4

Aplicación de la prueba Tukey para las medias de potencia

Diferencia poblacional	Diferencia Muestral			Decisión
μ_1 *vs* μ_2	9.16	<	28.51	No significativa
μ_1 *vs* μ_3	15.36	<	28.51	No significativa
μ_1 *vs* μ_4	5.4	<	28.51	No significativa
μ_1 *vs* μ_5	41	>	28.51	Significativa
μ_2 *vs* μ_3	6.2	<	28.51	No significativa
μ_2 *vs* μ_4	3.76	<	28.51	No significativa
μ_2 *vs* μ_5	50.16	>	28.51	Significativa
μ_3 *vs* μ_4	9.96	<	28.51	No significativa
μ_3 *vs* μ_5	56.36	>	28.51	Significativa
μ_4 *vs* μ_5	46.4	>	28.51	Significativa

Nota. Elaboración propia.

5.1.3 Prueba LSD

$$\boldsymbol{LSD = t_{0.025,20}\sqrt{\frac{2CM_E}{n}}}$$

$$LSD = 2.09\sqrt{\frac{2 \times 226.00}{5}}$$

$$LSD = 19.87$$

Tabla 5.5

Aplicación de la prueba LSD para las medias de potencia

Diferencia poblacional	Diferencia Muestral			Decisión
μ_1 *vs* μ_2	9.16	<	19.87	No significativa
μ_1 *vs* μ_3	15.36	<	19.87	No significativa
μ_1 *vs* μ_4	5.4	<	19.87	No significativa
μ_1 *vs* μ_5	41	>	19.87	Significativa
μ_2 *vs* μ_3	6.2	<	19.87	No significativa
μ_2 *vs* μ_4	3.76	<	19.87	No significativa
μ_2 *vs* μ_5	50.16	>	19.87	Significativa
μ_3 *vs* μ_4	9.96	<	19.87	No significativa

μ_3 vs μ_5	56.36	>	19.87	Significativa
μ_4 vs μ_5	46.4	>	19.87	Significativa

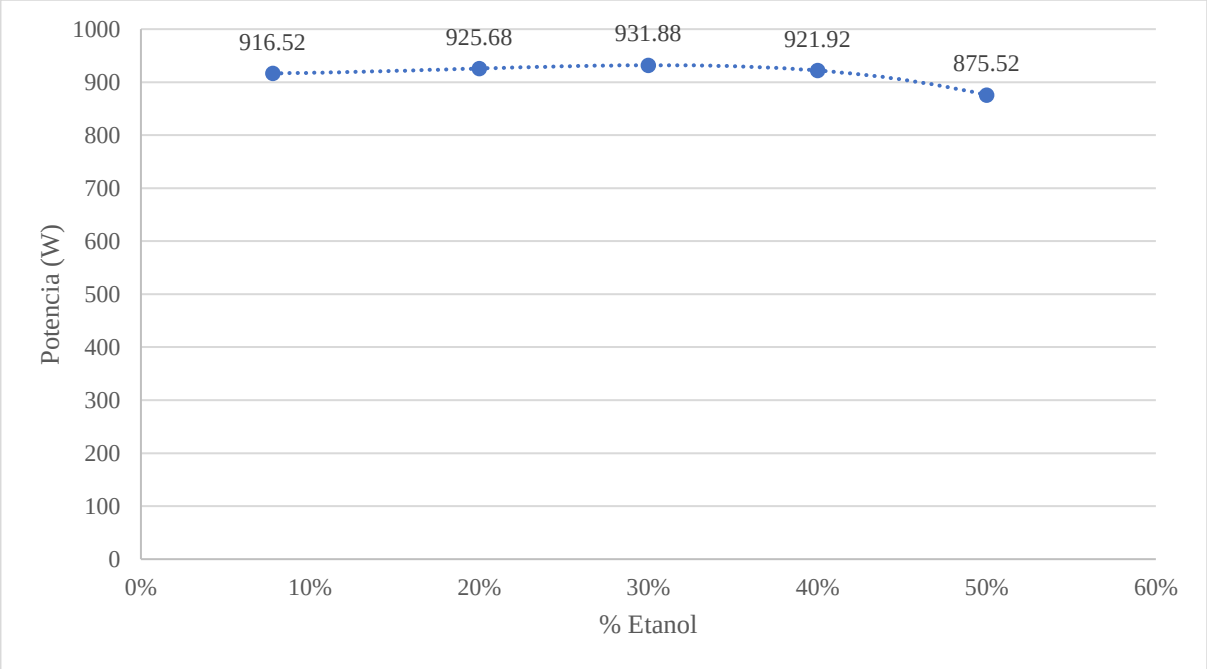
Nota. Elaboración propia.

Como ambos métodos coincidieron en los resultados se puede decir de las diferencias entre las potencias es clara.

De las tablas se concluye que $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$, $\mu_1 \neq \mu_5$, $\mu_2 \neq \mu_5$, $\mu_3 \neq \mu_5$, $\mu_4 \neq \mu_5$; por lo tanto, para las mezclas E7.8, E20, E30 y E40 no se encontró una diferencia significativa en la potencia, pero para la mezcla E50 el valor de la potencia es significativamente menor en comparación con el resto de mezclas.

Figura 5.3

Potencia-porcentaje de etanol



Nota. Elaboración propia.

5.2 DISEÑO DE UN SOLO FACTOR PARA EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL CONSUMO.

5.2.1 Análisis ANOVA

El objetivo de la prueba ANOVA es probar la hipótesis de igualdad de los tratamientos respecto a la media de la correspondiente variable:

H_o: No hay diferencia en el consumo promedio para ningún par de mezclas gasolina-etanol

$$\boldsymbol{H_o: \mu_1 = \mu_2 = \cdots = \mu_k = \mu}$$

H_A: Se acepta que hay por lo menos un par de mezclas gasolina-etanol que tengan un consumo promedio diferente.

$$\boldsymbol{H_A: \mu_i \neq \mu_j \ para\ algún\ i \neq j}$$

Tabla 5.6

Datos de consumo del experimento para el análisis ANOVA

Porcentaje del etanol				
7.8%	20%	30%	40%	50%
0.3255	0.3587	0.3741	0.3722	0.3812
0.3949	0.3654	0.3681	0.4025	0.4198
0.3450	0.3472	0.3432	0.3840	0.3677
0.3654	0.3514	0.3594	0.3786	0.3813
0.3320	0.3710	0.3422	0.3769	0.3772

Nota. Elaboración propia.

Análisis de varianza

$$\boldsymbol{SC_T = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{c} y_{ij}^2 - \frac{y_{...}^2}{N}}$$

$$SC_T = 0.3288^2 + 0.3949^2 + 0.3450^2 + \cdots + 0.3772^2 - \frac{9.1849^2}{25} = 0.01132378$$

$$\boldsymbol{SC_{Trat} = \sum_{i=1}^{k} \frac{y_{i\cdots}^2}{n_i} - \frac{y_{\cdots}^2}{N}}$$

$$SC_{etanol} = \frac{[1.7628^2 + \cdots + 1.9272^2]}{5} - \frac{9.1849^2}{25} = 0.00479334$$

$$SC_E = SC_T - SC_{Trat}$$

$$SS_E = 0.01132378 - 0.00479334 = 0.00653044$$

Tabla 5.7

Análisis de varianza de los datos del consumo

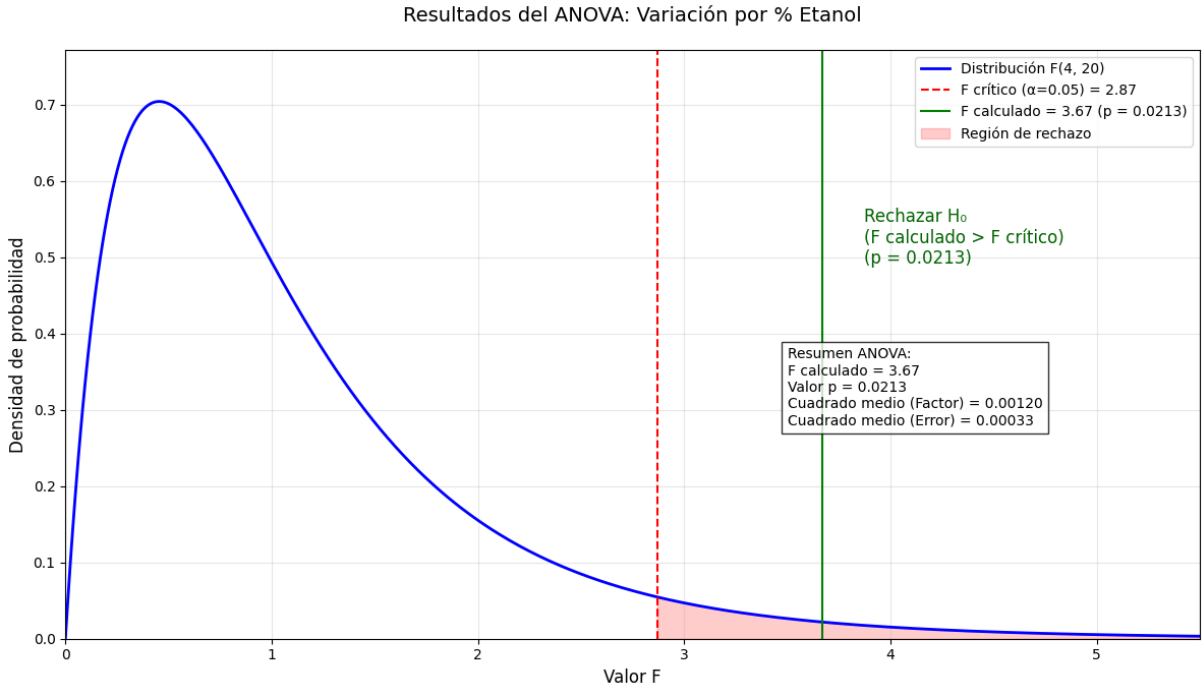
Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo	F Critico	Valor P
% Etanol	0.00479334	4	0.001198335	3.67	2.87	0.0213
Error	0.006530444	20	0.000326522			
Total	0.011323784	24				

Nota. Elaboración propia.

En la tabla del análisis de varianza, como el valor de p = 0.0213 es menor que la significancia prefijada α = 0.05, se rechaza H_o y se acepta que al menos un par de mezclas tienen un consumo promedio diferente.

Figura 5.4

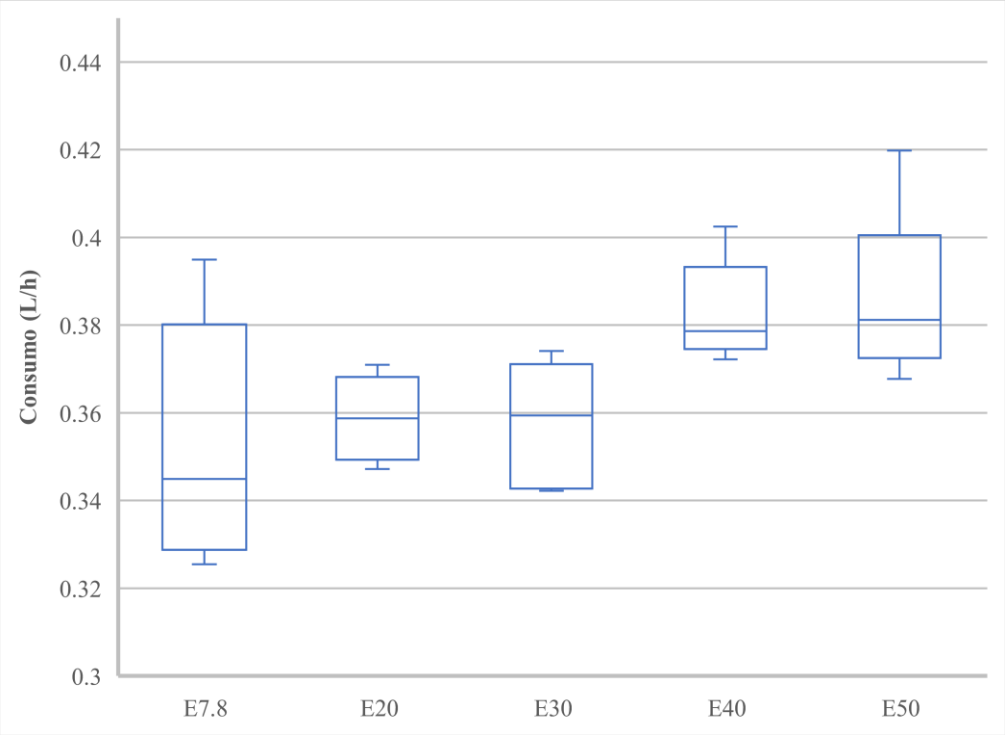
Distribución F para el consumo



Nota. Elaboración propia.

Figura 5.5

Diagrama de cajas simultáneo de consumo



Nota. Elaboración propia.

Se puede observar del grafico que las mezclas E40 y E50 son las que más se diferencian de las demás, lo que sigue es corroborar lo observado en el grafico mediante pruebas estadísticas.

Comparaciones o pruebas de rango múltiples

Tabla 5.8

Medias de los consumos

% Etanol	
E7.8	0.3526
E20	0.3587
E30	0.3574
E40	0.3828
E50	0.3854

Nota. Elaboración propia.

Analizando las medias de los consumos.

$$\mu_1 = 0.3526 \quad (E7.8)$$

$$\mu_2 = 0.3587 \quad (E20)$$

$$\mu_3 = 0.3574 \quad (E30)$$

$$\mu_4 = 0.3828 \quad (E40)$$

$$\mu_5 = 0.3854 \quad (E50)$$

5.2.2 Prueba de Tukey

$$\boldsymbol{T_{0.05} = q_{0.05}(5, 20)\sqrt{\frac{CM_E}{n_i}}}$$

$$T_{0.05} = 4.24\sqrt{\frac{0.000326522}{5}}$$

$$T_{0.05} = 0.0343$$

Tabla 5.9

Aplicación de la prueba Tukey para las medias de consumo

Diferencia poblacional	Diferencia Muestral			Decisión
μ_1 *vs* μ_2	0.0062	<	0.0343	No significativa
μ_1 *vs* μ_3	0.0049	<	0.0343	No significativa
μ_1 *vs* μ_4	0.0303	<	0.0343	No significativa
μ_1 *vs* μ_5	0.0329	<	0.0343	No significativa
μ_2 *vs* μ_3	0.0013	<	0.0343	No significativa
μ_2 *vs* μ_4	0.0241	<	0.0343	No significativa
μ_2 *vs* μ_5	0.0267	<	0.0343	No significativa
μ_3 *vs* μ_4	0.0254	<	0.0343	No significativa
μ_3 *vs* μ_5	0.0280	<	0.0343	No significativa
μ_4 *vs* μ_5	0.0026	<	0.0343	No significativa

Nota. Elaboración propia.

5.2.3 Prueba LSD

$$\boldsymbol{LSD = t_{0.025,20}\sqrt{\frac{2CM_E}{n}}}$$

$$LSD = 2.09\sqrt{\frac{2 \times 0.000326522}{5}}$$

$$LSD = 0.0239$$

Tabla 5.10

Aplicación de la prueba LSD para las medias de consumo

Diferencia poblacional	Diferencia Muestral			Decisión
μ_1 *vs* μ_2	0.0062	<	0.0239	No significativa
μ_1 *vs* μ_3	0.0049	<	0.0239	No significativa
μ_1 *vs* μ_4	0.0303	>	0.0239	Significativa
μ_1 *vs* μ_5	0.0329	>	0.0239	Significativa
μ_2 *vs* μ_3	0.0013	<	0.0239	No significativa
μ_2 *vs* μ_4	0.0241	>	0.0239	Significativa
μ_2 *vs* μ_5	0.0267	>	0.0239	Significativa
μ_3 *vs* μ_4	0.0254	>	0.0239	Significativa
μ_3 *vs* μ_5	0.0280	>	0.0239	Significativa
μ_4 *vs* μ_5	0.0026	<	0.0239	No significativa

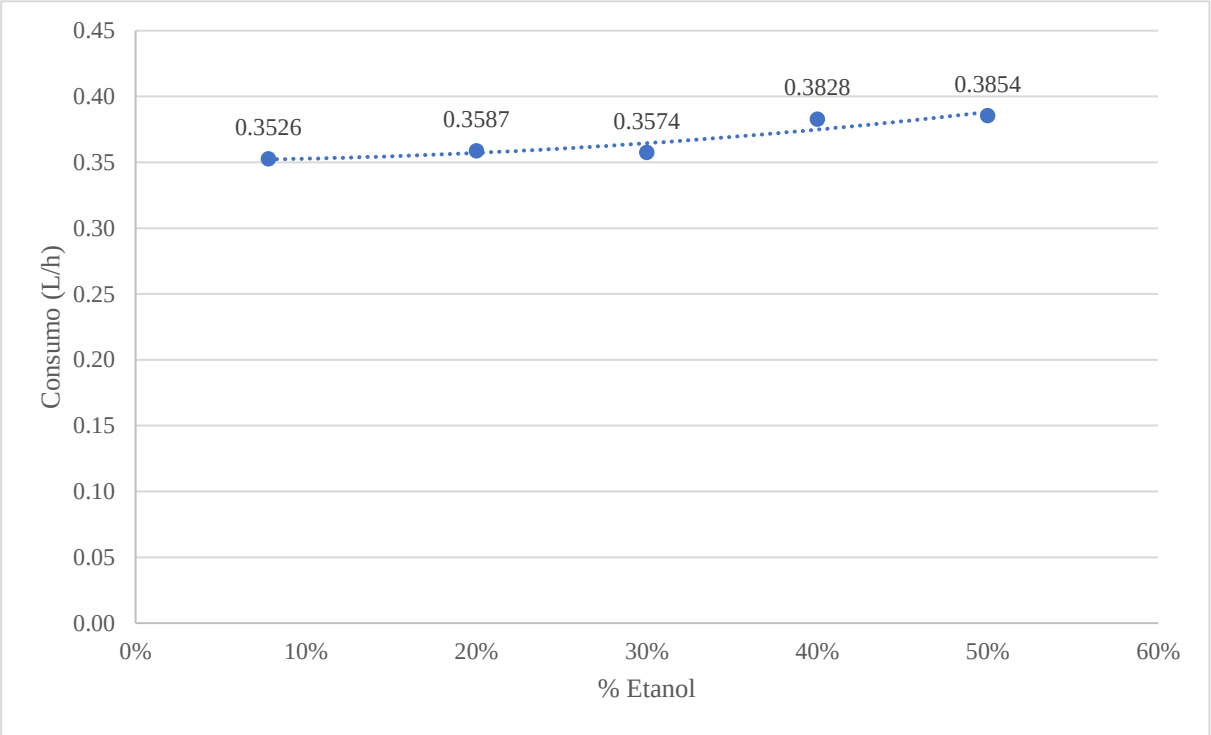
Nota. Elaboración propia.

Los métodos no coincidieron con los resultados, pero con el método LSD se lograron detectar algunas diferencias.

De la tabla de análisis LSD se concluye que $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$, $\mu_1 \neq \mu_4 \neq \mu_5$, $\mu_2 \neq \mu_4 \neq \mu_5$, $\mu_3 \neq \mu_5$, $\mu_3 \neq \mu_4$; por lo tanto, para las mezclas E7.8, E20y E30 no se encontró una diferencia significativa en consumo, pero para las mezclas E40 y E50 el consumo es significativamente mayor en comparación con las mezclas E7.8, E20 y E30.

Figura 5.6

Consumo-porcentaje de etanol



Nota. Elaboración propia.

5.3 DISEÑO FACTORIAL DE DOS FACTORES PARA EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LAS EMISIONES.

5.3.1 Análisis ANOVA para las emisiones de CO

El objetivo de la prueba ANOVA es probar la hipótesis de igualdad de los tratamientos respecto a la media de la correspondiente variable:

H_o: No hay diferencia en las emisiones promedio de CO para ningún par de mezclas gasolina-etanol

H_A: Se acepta que hay por lo menos un par de mezclas gasolina-etanol que tengan las emisiones promedio de CO diferentes.

$$H_o: Efecto\ del\ porcentaje\ de\ etanol\ (A) = 0$$

$$H_A: Efecto\ del\ porcentaje\ de\ etanol\ (A) \neq 0$$

$$H_o: Efecto\ del\ régimen\ (B) = 0$$

$$H_A: Efecto\ del\ régimen\ (B) \neq 0$$

$$H_o: Etanol \times régimen\ (B) = 0$$

$$H_A: Etanol \times régimen\ (B) \neq 0$$

También se pueden plantear así:

$$\boldsymbol{H_o: \alpha_1 = \alpha_2 = \cdots = \alpha_a = \alpha}$$

$$\boldsymbol{H_A: \alpha_i \neq 0\ \ para\ algún\ i}$$

$$\boldsymbol{H_o: \beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_b = \beta}$$

$$\boldsymbol{H_A: \beta_j \neq 0\ \ para\ algún\ j}$$

$$\boldsymbol{H_o: (\alpha\beta)_{ij} = 0\ \ para\ todo\ ij}$$

$$\boldsymbol{H_A: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0\ \ para\ todo\ ij}$$

Tabla 5.11

Datos de emisiones CO del experimento

Régimen (Rpm)	Porcentaje de Etanol														y_i…
	7.8%			20%			30%			40%			50%			
2500	2.52	2.61	10.55	1.45	0.87	5.72	1.06	1.19	5	0.72	0.64	3.65	0.27	0.25	1.22	26.14
	2.04	1.36		0.99	1.39		1.04	0.98		0.81	0.69		0.22	0.25		
	2.02			1.02			0.73			0.79			0.23			
930	2.38	2.43	12.16	2.12	2.08	9.59	0.86	1.23	4.71	0.88	0.64	3.54	0.35	0.35	1.59	31.59
	2.49	2.48		2.04	1.97		0.68	0.94		0.98	0.57		0.35	0.24		
	2.38			1.38			1			0.47			0.30			
y_j…		22.71			15.31			9.71			7.19			2.81		57.73

Nota. Elaboración propia.

Análisis de varianza

$$\boldsymbol{SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}}$$

$$SC_T = 2.52^2 + 2.61^2 + 2.04^2 + \cdots + 0.30^2 - \frac{57.73^2}{50} = 27.665$$

$$\boldsymbol{SS_{Régimen} = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a} y_{...}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}}$$

$$SC_{Régimen} = \frac{1}{5(5)}[26.14^2 + 31.59^2] - \frac{57.73^2}{50} = 0.594$$

$$\boldsymbol{SS_{Etanol} = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b} y_{...}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}}$$

$$SC_{Etanol} = \frac{1}{2(5)}[22.71^2 + \cdots + 2.81^2] - \frac{57.73^2}{50} = 23.747$$

$$\boldsymbol{SC_{Interacción} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} - SC_{Régimen} - SC_{Etanol}}$$

$$SC_{Interacción} = \frac{1}{5}[10.55^2 + \cdots + 1.59^2] - \frac{57.73^2}{50} - 0.594 - 23.747 = 1.186$$

$$\boldsymbol{SC_E = SC_T - SC_{Régimen} - SC_{Etanol} - SC_{Interacción}}$$

$$SC_E = 27.665 - 0.594 - 23.747 - 1.186 = 2.138$$

Tabla 5.12

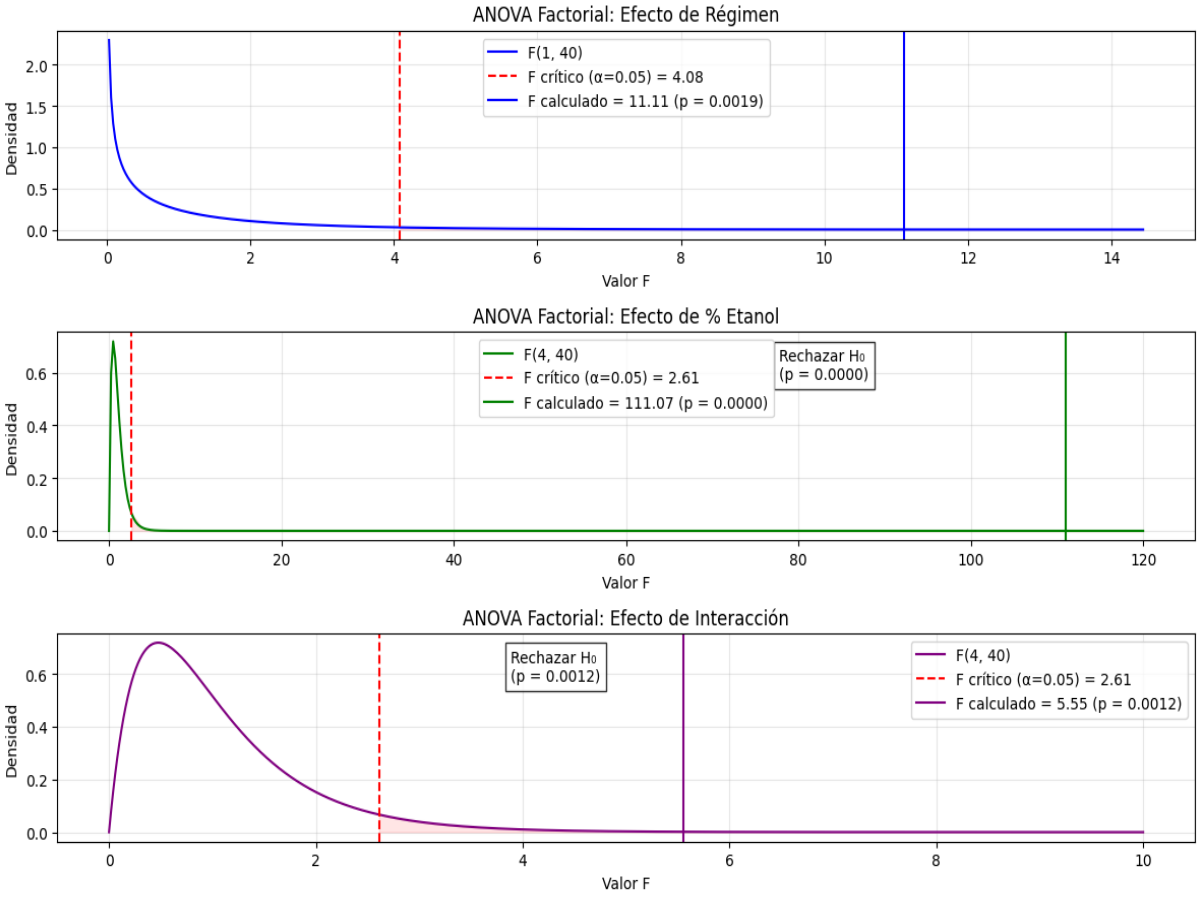
Análisis de varianza de los datos de emisiones de CO

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo	F Critico	Valor P
Régimen	0.594	1	0.5940	11.11	4.08	0.0019
% Etanol	23.747	4	5.9366	111.07	2.61	0.0000
Interacción	1.186	4	0.2965	5.55	2.61	0.0012
Error	2.138	40	0.0535			
Total	27.665	49				

Nota. Elaboración propia.

Figura 5.7

Distribución F para las emisiones de CO



Nota. Elaboración propia.

En la tabla del análisis de varianza, como los valores de p son menores que la significancia prefijada $\alpha = 0.05$, se rechazan todas las H_o y se aceptan las hipótesis alternativas.

Del análisis de los efectos sobre las emisiones de CO, el efecto del porcentaje de etanol es el mayor sobre las emisiones de CO, seguido del efecto del régimen y finalmente el efecto de la interacción (régimen - porcentaje de etanol).

Comparaciones múltiples

Tabla 5.13

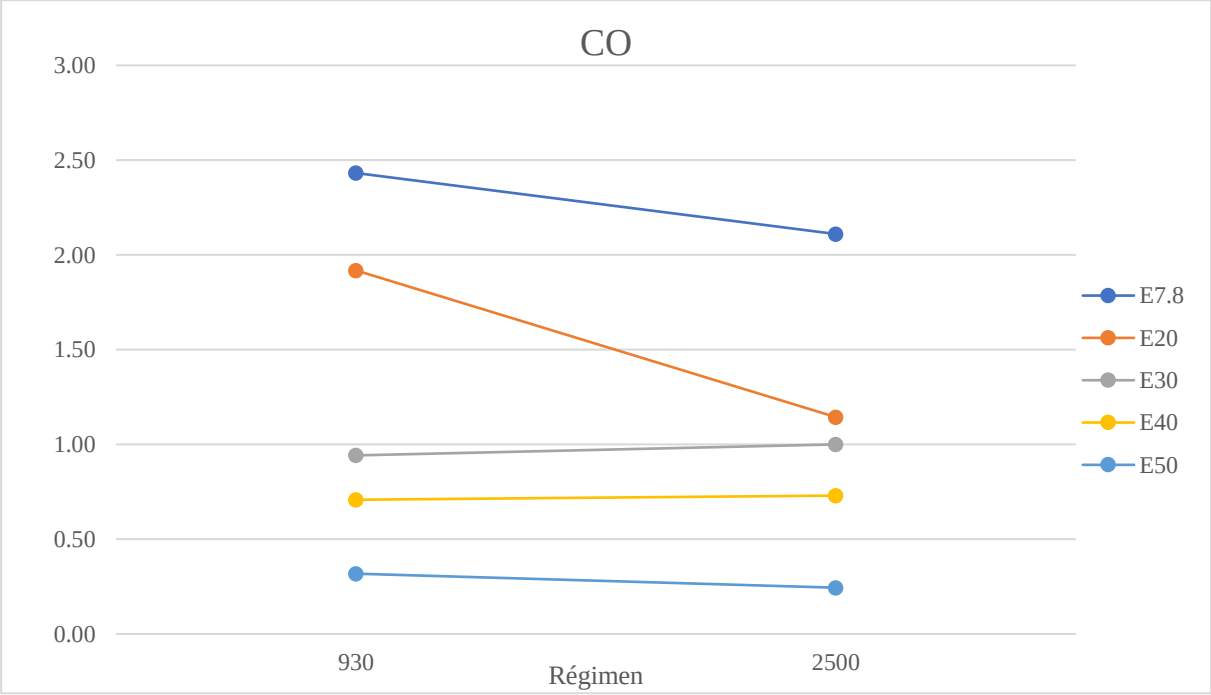
Medias de las emisiones de CO a diferente rpm

% Etanol	Régimen	
	930	2500
E7.8	2.432	2.110
E20	1.918	1.144
E30	0.942	1.000
E40	0.708	0.730
E50	0.318	0.244

Nota. Elaboración propia.

Figura 5.8

Gráfica monóxido de carbono-régimen



Nota. Elaboración propia.

Analizando las medias de las emisiones de CO a 930 rpm.

$$\bar{y}_{11} = 2.432 \quad (E7.8)$$

$$\bar{y}_{21} = 1.918 \quad (E20)$$

$$\bar{y}_{31} = 0.942 \quad (E30)$$

$$\bar{y}_{41} = 0.708 \quad (E40)$$

$$\bar{y}_{51} = 0.318 \quad (E50)$$

5.3.2 Prueba Tukey para 930 rpm

$$\boldsymbol{T_{0.05} = q_{0.05}(2, 50)\sqrt{\frac{CM_e}{n}}}$$

$$T_{0.05} = 2.85\sqrt{\frac{0.0535}{5}}$$

$$T_{0.05} = 0.2942$$

Tabla 5.14

Aplicación de la prueba Tukey para las emisiones de CO a 930 rpm

Diferencia poblacional	Diferencia Muestral			Decisión
$\bar{y}_{11}$ vs $\bar{y}_{21}$	0.5140	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{11}$ vs $\bar{y}_{31}$	1.4900	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{11}$ vs $\bar{y}_{41}$	1.7240	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{11}$ vs $\bar{y}_{51}$	2.1140	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{21}$ vs $\bar{y}_{31}$	0.9760	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{21}$ vs $\bar{y}_{41}$	1.2100	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{21}$ vs $\bar{y}_{51}$	1.6000	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{31}$ vs $\bar{y}_{41}$	0.2340	<	0.2942	No significativa
$\bar{y}_{31}$ vs $\bar{y}_{51}$	0.6240	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{41}$ vs $\bar{y}_{51}$	0.3900	>	0.2942	Significativa

Nota. Elaboración propia.

Este análisis indica que, con el régimen de 930 rpm:

La media de las emisiones de CO para la mezcla E7.8 es significativamente mayor respecto al resto de mezclas.

La media de las emisiones de CO para la mezcla E20 es significativamente mayor respecto a las mezclas E30, E40 y E50.

la media de las emisiones de CO es la misma para las mezclas E30 y E40. Además, la media de emisiones de CO de las mezclas E30 y E40 son significativamente mayor es respecto a la mezcla E50.

Analizando las medias de las emisiones de CO a 2500 rpm.

$$\bar{y}_{12} = 2.110 \quad (E7.8)$$

$$\bar{y}_{22} = 1.144 \quad (E20)$$

$$\bar{y}_{32} = 1.000 \quad (E30)$$

$$\bar{y}_{42} = 0.730 \quad (E40)$$

$$\bar{y}_{52} = 0.244 \quad (E50)$$

5.3.3 Prueba Tukey para 2500 rpm

$$\boldsymbol{T_{0.05} = q_{0.05}(2, 50)\sqrt{\frac{CM_e}{n}}}$$

$$T_{0.05} = 2.85\sqrt{\frac{0.0535}{5}}$$

$$T_{0.05} = 0.2942$$

Tabla 5.15

Aplicación de la prueba Tukey para las emisiones de CO a 2500 rpm

Diferencia poblacional	Diferencia Muestral			Decisión
$\bar{y}_{12}$ vs $\bar{y}_{22}$	0.9660	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{12}$ vs $\bar{y}_{32}$	1.1100	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{12}$ vs $\bar{y}_{42}$	1.3800	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{12}$ vs $\bar{y}_{52}$	1.8660	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{22}$ vs $\bar{y}_{32}$	0.1440	<	0.2942	No significativa
$\bar{y}_{22}$ vs $\bar{y}_{42}$	0.4140	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{22}$ vs $\bar{y}_{52}$	0.9000	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{32}$ vs $\bar{y}_{42}$	0.2700	<	0.2942	No significativa
$\bar{y}_{32}$ vs $\bar{y}_{52}$	0.7560	>	0.2942	Significativa
$\bar{y}_{42}$ vs $\bar{y}_{52}$	0.4860	>	0.2942	Significativa

Nota. Elaboración propia.

Este análisis indica que, con el régimen de 2500 rpm:

La media de las emisiones de CO para las mezclas E7.8 es significativamente mayor respecto al resto de mezclas.

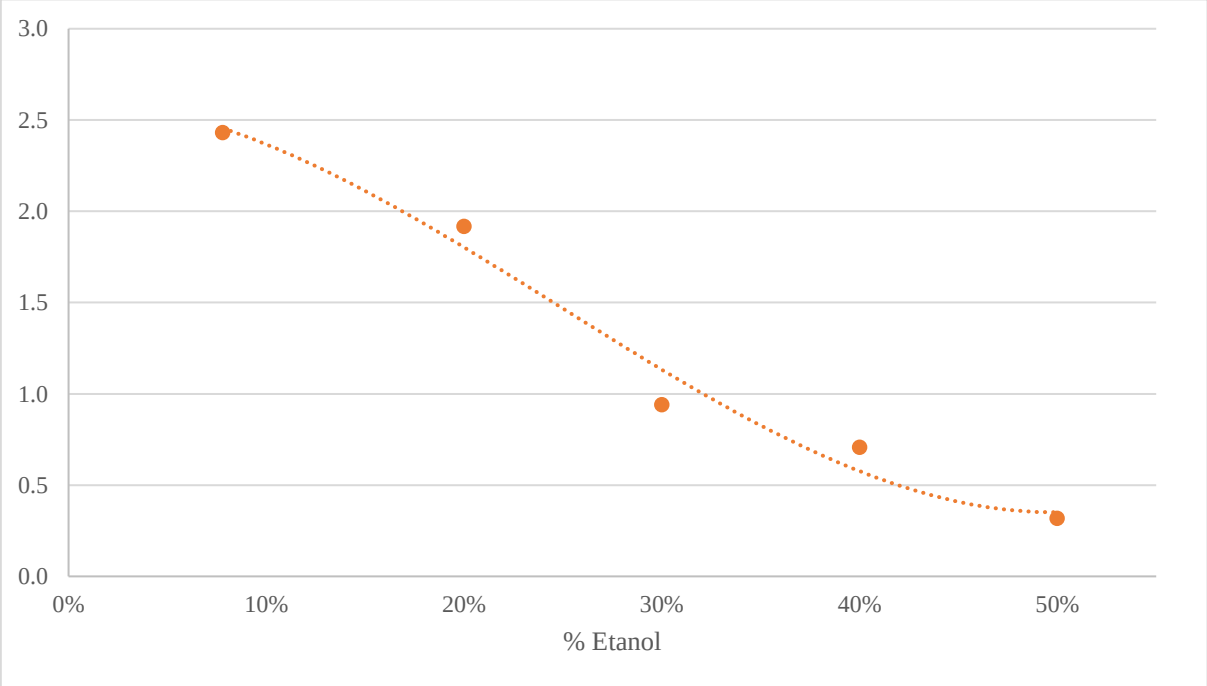
la media de las emisiones de CO es la misma para las mezclas E20 y E30.

La media de las emisiones de CO para las mezclas E20 es significativamente mayor respecto a las de mezclas E40 y E50.

Además, la media de emisiones de CO de las mezclas E30 y E40 son significativamente mayor es respecto a la mezcla E50.

Figura 5.9

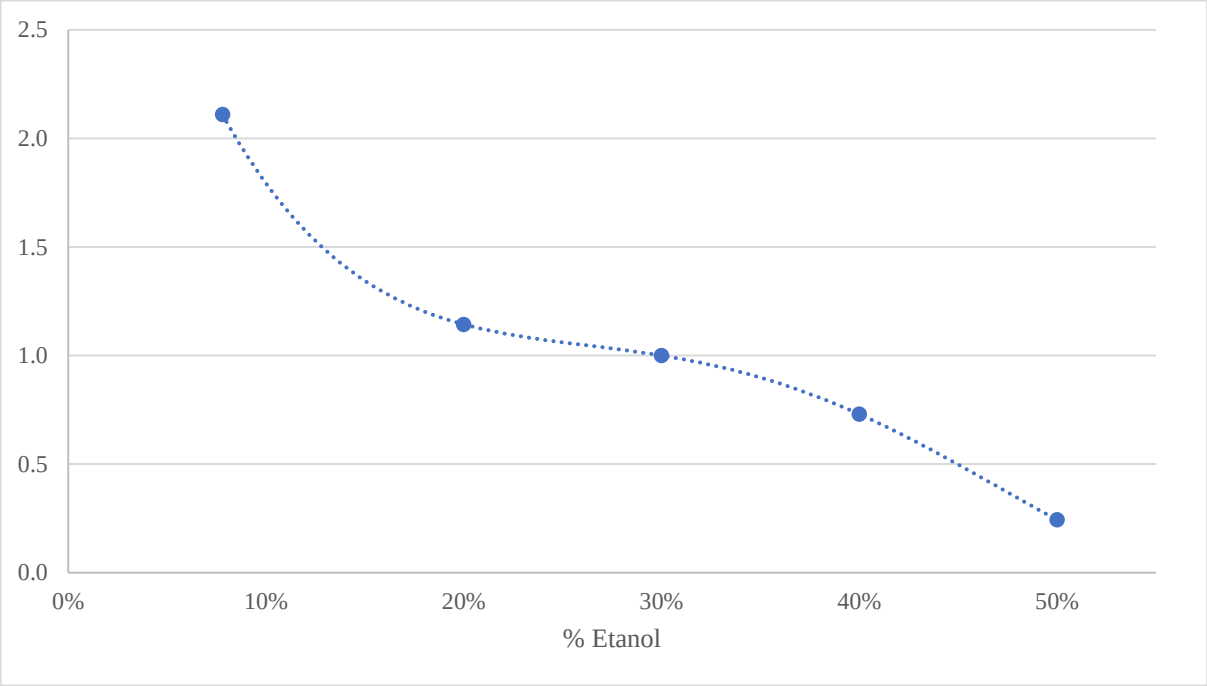
Emisiones de CO-porcentaje de etanol a 930 rpm



Nota. Elaboración propia.

Figura 5.10

Emisiones de CO-porcentaje de etanol a 2500 rpm



Nota. Elaboración propia.

5.3.4 Análisis ANOVA para las emisiones de CO_2

El objetivo de la prueba ANOVA es probar la hipótesis de igualdad de los tratamientos respecto a la media de la correspondiente variable:

H_o: No hay diferencia en las emisiones promedio de CO_2 para ningún par de mezclas gasolina-etanol

H_A: Se acepta que hay por lo menos un par de mezclas gasolina-etanol que tengan las emisiones promedio de CO_2 diferentes.

$$H_o: Efecto\ del\ porcentaje\ de\ etanol\ (A) = 0$$

$$H_A: Efecto\ del\ porcentaje\ de\ etanol\ (A) \neq 0$$

$$H_o: Efecto\ del\ régimen\ (B) = 0$$

$$H_A: Efecto\ del\ régimen\ (B) \neq 0$$

$$H_o: Etanol \times régimen\ (B) = 0$$

$$H_A: Etanol \times régimen\ (B) \neq 0$$

También se pueden plantear así:

$$\boldsymbol{H_o: \alpha_1 = \alpha_2 = \cdots = \alpha_a = \alpha}$$

$$\boldsymbol{H_A: \alpha_i \neq 0\ \ para\ algún\ i}$$

$$\boldsymbol{H_o: \beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_b = \beta}$$

$$\boldsymbol{H_A: \beta_j \neq 0\ \ para\ algún\ j}$$

$$\boldsymbol{H_o: (\alpha\beta)_{ij} = 0\ \ para\ todo\ ij}$$

$$\boldsymbol{H_A: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0\ \ para\ todo\ ij}$$

Tabla 5.16

Datos de emisiones CO_2 del experimento

Régimen (Rpm)	Porcentaje de Etanol															y_i…
	7.8%			20%			30%			40%			50%			
2500	3.60	3.20		3.00	2.80		4.20	3.30		5.40	3.80		5.10	4.10		
	3.20	3.60	16.10	3.80	3.30	15.80	3.00	3.40	17.40	2.80	3.80	21.60	4.20	6.00	24.70	95.6
	2.50			2.90			3.50			5.80			5.30			
930	4.10	4.10		4.60	4.50		4.50	5.20		5.60	5.50		4.20	4.20		
	4.00	4.00	20.30	4.40	4.10	21.30	5.20	3.70	22.50	4.30	5.70	26.30	4.20	5.00	21.40	111.8
	4.10			3.70			3.90			5.20			3.80			
y_j…		36.4			37.1			39.9			47.9			46.1		207.4

Nota. Elaboración propia.

Análisis de varianza

$$\boldsymbol{SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}}$$

$$SC_T = 3.60^2 + 3.20^2 + 3.20^2 + \cdots + 3.80^2 - \frac{207.4^2}{50} = 37.265$$

$$\boldsymbol{SS_{Régimen} = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a} y_{...}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}}$$

$$SC_{Régimen} = \frac{1}{5(5)}[95.6^2 + 111.8^2] - \frac{207.4^2}{50} = 5.249$$

$$\boldsymbol{SS_{Etanol} = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b} y_{...}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}}$$

$$SC_{Etanol} = \frac{1}{2(5)}[36.4^2 + \cdots + 46.1^2] - \frac{207.4^2}{50} = 11.005$$

$$\boldsymbol{SC_{Interacción} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} - SS_{Régimen} - SS_{Etanol}}$$

$$SC_{Interacción} = \frac{1}{5}[16.10^2 + \cdots + 21.40^2] - \frac{207.4^2}{50} - 5.249 - 11.005 = 5.439$$

$$\boldsymbol{SC_E = SC_T - SC_{Régimen} - SC_{Etanol} - SC_{Interacción}}$$

$$SC_E = 37.265 - 5.249 - 11.005 - 5.439 = 15.572$$

Tabla 5.17

Análisis de varianza de los datos de emisiones de CO_2

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo	F Critico	Valor P
Régimen	5.249	1	5.2488	13.48	4.08	0.0007
% Etanol	11.005	4	2.7512	7.07	2.61	0.0002
Interacción	5.439	4	1.3598	3.49	2.61	0.0154
Error	15.572	40	0.3893			
Total	37.265	49				

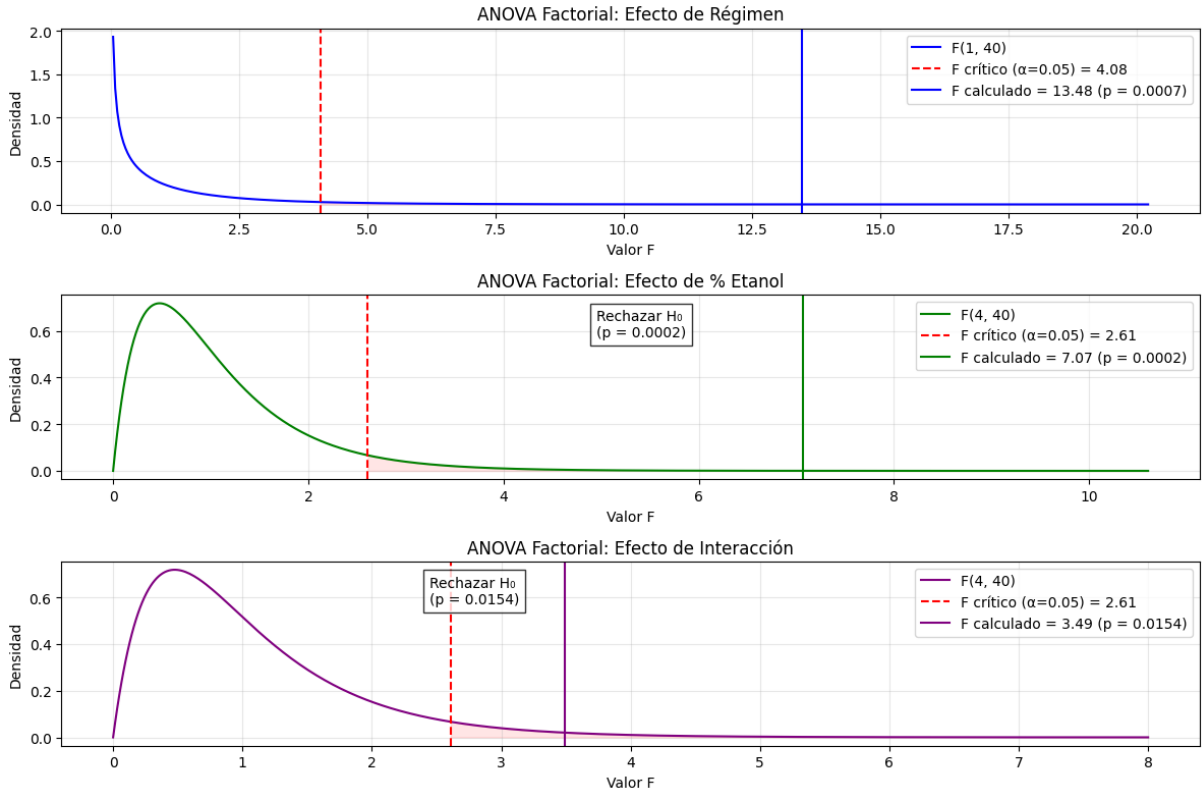
Nota. Elaboración propia.

En la tabla del análisis de varianza, como los valores de p son menores que la significancia prefijada $\alpha = 0.05$, se rechazan todas las H_o y se aceptan las hipótesis alternativas.

Del análisis de los efectos sobre las emisiones de CO_2, el efecto del régimen es el mayor sobre las emisiones de CO_2, seguido del efecto del porcentaje de etanol y finalmente el efecto de la interacción (régimen - porcentaje de etanol).

Figura 5.11

Distribución F para las emisiones de CO_2



Nota. Elaboración propia.

Comparaciones múltiples

Tabla 5.18

Medias de las emisiones de CO_2 a diferente rpm

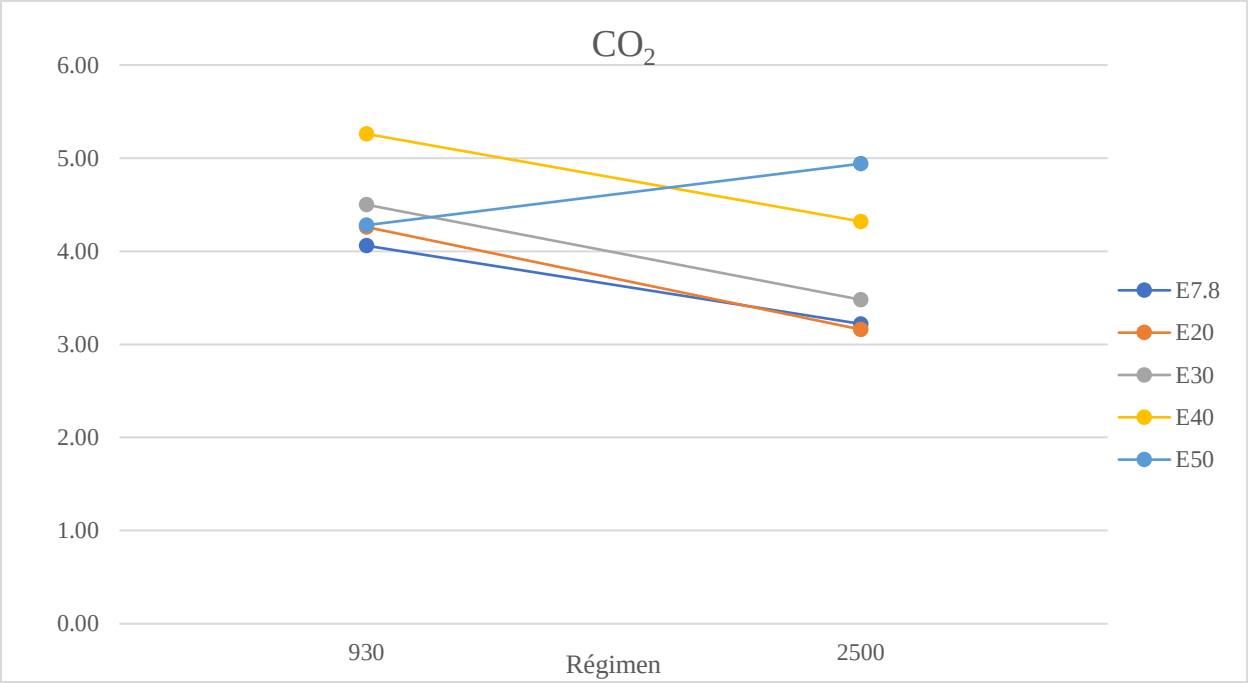
% Etanol	Régimen	
	930	2500
E7.8	4.060	3.220

E20	4.260	3.160
E30	4.500	3.480
E40	5.260	4.320
E50	4.280	4.940

Nota. Elaboración propia.

Figura 5.12

Gráfica dióxido de carbono-régimen



Nota. Elaboración propia.

Analizando las medias de las emisiones de CO_2 a 930 rpm.

$$\bar{y}_{11} = 4.060 \quad (E7.8)$$

$$\bar{y}_{21} = 4.260 \quad (E20)$$

$$\bar{y}_{31} = 4.500 \quad (E30)$$

$$\bar{y}_{41} = 5.260 \quad (E40)$$

$$\bar{y}_{51} = 4.280 \quad (E50)$$

5.3.5 Prueba Tukey para 930 rpm

$$\boldsymbol{T_{0.05} = q_{0.05}(2, 50)\sqrt{\frac{CM_e}{n}}}$$

$$T_{0.05} = 2.845\sqrt{\frac{0.3893}{5}}$$

$$T_{0.05} = 0.7939$$

Tabla 5.19

Aplicación de la prueba Tukey para las emisiones de CO_2 a 930 rpm

Diferencia poblacional	Diferencia Muestral			Decisión
$\bar{y}_{11}$ vs $\bar{y}_{21}$	0.2000	<	0.7939	No significativa
$\bar{y}_{11}$ vs $\bar{y}_{31}$	0.4400	<	0.7939	No significativa
$\bar{y}_{11}$ vs $\bar{y}_{41}$	1.2000	>	0.7939	Significativa
$\bar{y}_{11}$ vs $\bar{y}_{51}$	0.2200	<	0.7939	No significativa
$\bar{y}_{21}$ vs $\bar{y}_{31}$	0.2400	<	0.7939	No significativa
$\bar{y}_{21}$ vs $\bar{y}_{41}$	1.0000	>	0.7939	Significativa
$\bar{y}_{21}$ vs $\bar{y}_{51}$	0.0200	<	0.7939	No significativa
$\bar{y}_{31}$ vs $\bar{y}_{41}$	0.7600	<	0.7939	No significativa
$\bar{y}_{31}$ vs $\bar{y}_{51}$	0.2200	<	0.7939	No significativa
$\bar{y}_{41}$ vs $\bar{y}_{51}$	0.9800	>	0.7939	Significativa

Nota. Elaboración propia.

Este análisis indica que, con el régimen para 930 rpm:

La media de las emisiones de CO_2 para la mezcla E7.8, E20, E30 y E50 es la misma y la media de emisiones de CO_2 significativamente menor para la mezcla E7.8 respecto a la E40.

La media de las emisiones de CO_2 para la mezcla E20, E30 y E50 es la misma y la media de emisiones de CO_2 es significativamente menor para las mezclas E20 respecto a la mezcla E40.

La media de emisiones de CO_2 es significativamente menor para la mezcla E50 respecto a la E40.

Analizando las medias de las emisiones de CO_2 a 2500 rpm.

$$\bar{y}_{12} = 3.220 \quad (E7.8)$$

$$\bar{y}_{22} = 3.160 \quad (E20)$$

$$\bar{y}_{32} = 3.480 \quad (E30)$$

$$\bar{y}_{42} = 4.320 \quad (E40)$$

$$\bar{y}_{52} = 4.940 \quad (E50)$$

5.3.6 Prueba de Tukey para 2500 rpm

$$\boldsymbol{T_{0.05} = q_{0.05}(2, 50)\sqrt{\frac{CM_e}{n}}}$$

$$T_{0.05} = 2.845\sqrt{\frac{0.3893}{5}}$$

$$T_{0.05} = 0.7939$$

Tabla 5.20

Aplicación de la prueba Tukey para las emisiones de CO_2 a 2500 rpm

Diferencia poblacional	Diferencia Muestral			Decisión
$\bar{y}_{12}$ vs $\bar{y}_{22}$	0.0600	<	0.7939	No significativa
$\bar{y}_{12}$ vs $\bar{y}_{32}$	0.2600	<	0.7939	No significativa
$\bar{y}_{12}$ vs $\bar{y}_{42}$	1.1000	>	0.7939	Significativa
$\bar{y}_{12}$ vs $\bar{y}_{52}$	1.7200	>	0.7939	Significativa
$\bar{y}_{22}$ vs $\bar{y}_{32}$	0.3200	<	0.7939	No significativa
$\bar{y}_{22}$ vs $\bar{y}_{42}$	1.1600	>	0.7939	Significativa
$\bar{y}_{22}$ vs $\bar{y}_{52}$	1.7800	>	0.7939	Significativa
$\bar{y}_{32}$ vs $\bar{y}_{42}$	0.8400	>	0.7939	Significativa
$\bar{y}_{32}$ vs $\bar{y}_{52}$	1.4600	>	0.7939	Significativa
$\bar{y}_{42}$ vs $\bar{y}_{52}$	0.6200	<	0.7939	No significativa

Nota. Elaboración propia.

Este análisis indica que, con el régimen de 2500 rpm:

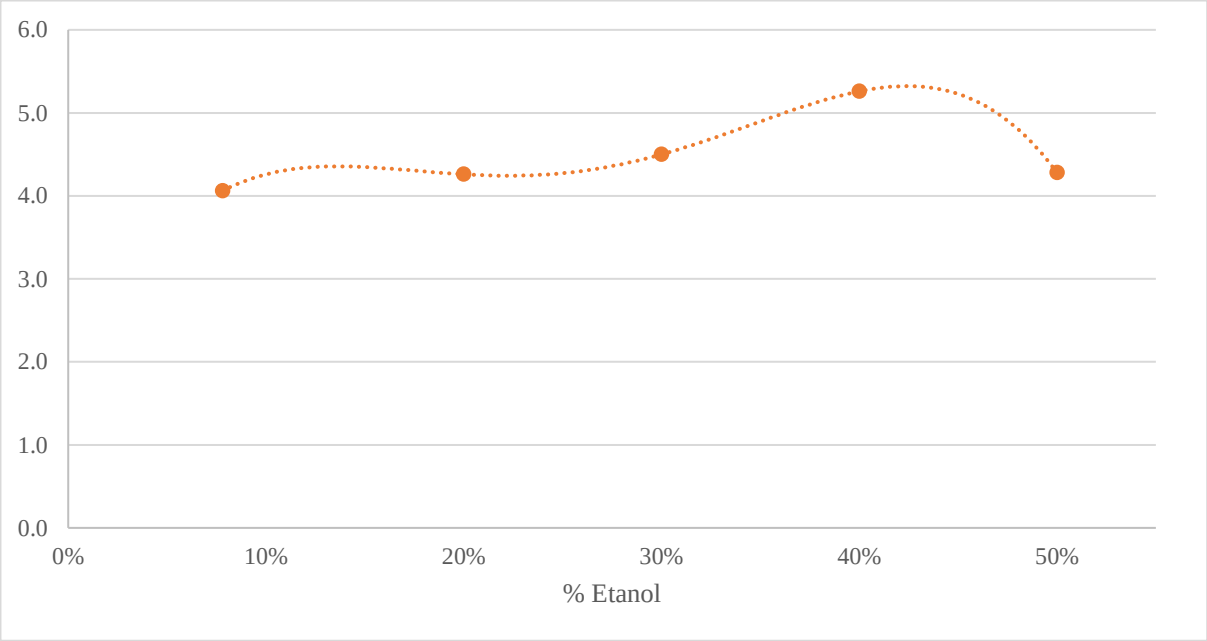
La media de las emisiones de CO_2 para las mezclas E7.8, E20 y E30 es la misma, la media de emisiones de CO_2 significativamente menor para la mezcla E7.8 respecto a las mezclas E40 y E50.

La media de emisiones de CO_2 son significativamente menores para la mezcla E20 respecto a las mezclas E40 y E50.

La media de emisiones de CO_2 para las mezclas de E40 y E50 es la misma.

Figura 5.13

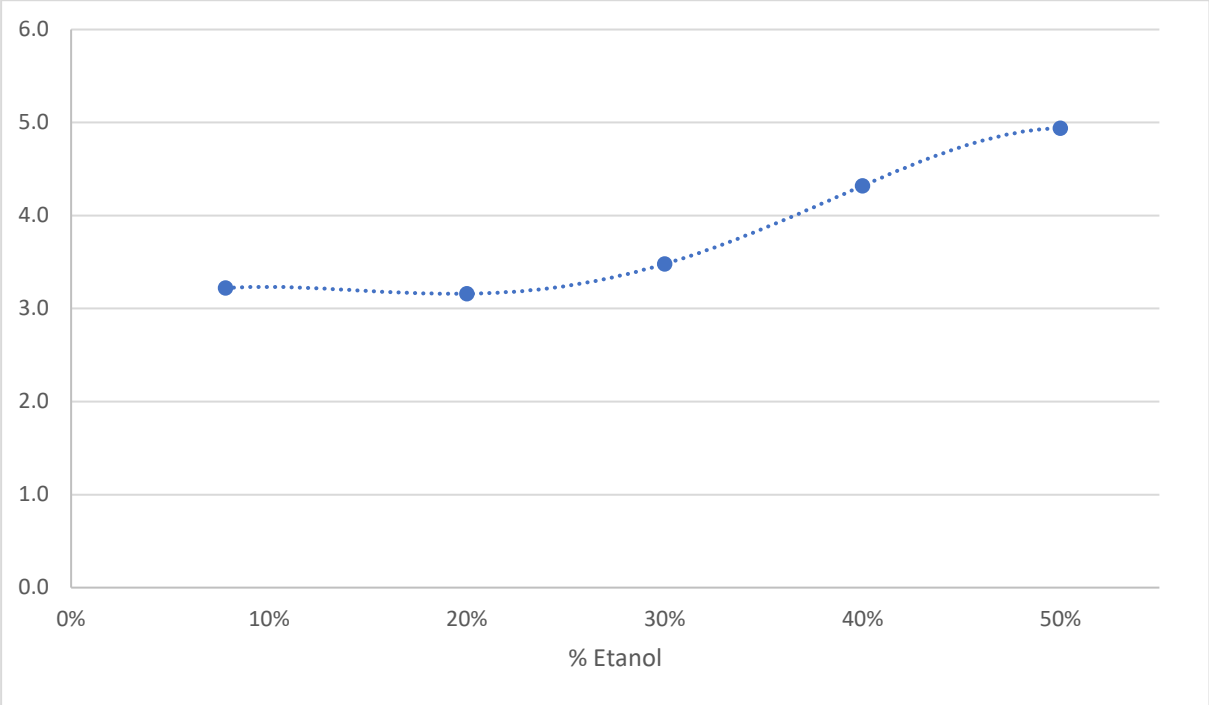
Emisiones de CO_2-porcentaje de etanol a 930 rpm



Nota. Elaboración propia.

Figura 5.14

Emisiones de CO_2-porcentaje de etanol a 2500 rpm



Nota. Elaboración propia.

5.3.7 Análisis ANOVA para las emisiones de HC

El objetivo de la prueba ANOVA es probar la hipótesis de igualdad de los tratamientos respecto a la media de la correspondiente variable:

H_o: No hay diferencia en las emisiones promedio de HC para ningún par de mezclas gasolina-etanol

H_A: Se acepta que hay por lo menos un par de mezclas gasolina-etanol que tengan las emisiones promedio de HC diferentes.

$$H_o: Efecto\ del\ porcentaje\ de\ etanol\ (A) = 0$$

$$H_A: Efecto\ del\ porcentaje\ de\ etanol\ (A) \neq 0$$

$$H_o: Efecto\ del\ régimen\ (B) = 0$$

$$H_A: Efecto\ del\ régimen\ (B) \neq 0$$

$$H_o: Etanol \times régimen\ (B) = 0$$

$$H_A: Etanol \times régimen\ (B) \neq 0$$

También se pueden plantear así:

$$\boldsymbol{H_o: \alpha_1 = \alpha_2 = \cdots = \alpha_a = \alpha}$$

$$\boldsymbol{H_A: \alpha_i \neq 0\ \ para\ algún\ i}$$

$$\boldsymbol{H_o: \beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_b = \beta}$$

$$\boldsymbol{H_A: \beta_j \neq 0\ \ para\ algún\ j}$$

$$\boldsymbol{H_o: (\alpha\beta)_{ij} = 0\ \ para\ todo\ ij}$$

$$\boldsymbol{H_A: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0\ \ para\ todo\ ij}$$

Tabla 5.21

Datos de emisiones HC del experimento

Régimen (Rpm)	Porcentaje de Etanol															y_i…
	7.8%			20%			30%			40%			50%			
2500	239	217		174	175		255	165		318	229		171	210		
	263	146	1059	189	286	952	229	222	1145	134	250	1081	100	163	796	5033.0
	194			128			274			150			152			
930	182	184		174	175		158	174		199	182		156	298		
	179	185	908	189	286	967	193	134	793	180	182	954	143	188	969	4591.0
	178			143			134			211			184			
y_j…	1967.0			1919.0			1938.0			2035.0			1765.0			9624.0

Nota. Elaboración propia.

Análisis de varianza

$$\boldsymbol{SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}}$$

$$SC_T = 239^2 + 217^2 + 263^2 + \cdots + 184^2 - \frac{9624^2}{50} = 111048.48$$

$$\boldsymbol{SS_{Régimen} = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a} y_{...}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}}$$

$$SC_{Régimen} = \frac{1}{5(5)}[5033^2 + 4591] - \frac{9624^2}{50} = 3907.28$$

$$\boldsymbol{SS_{Etanol} = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b} y_{...}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}}$$

$$SC_{Etanol} = \frac{1}{2(5)}[1967^2 + \cdots + 1765^2] - \frac{9624^2}{50} = 3966.88$$

$$\boldsymbol{SC_{Interacción} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} - SS_{Régimen} - SS_{Etanol}}$$

$$SC_{Interacción} = \frac{1}{5}[1059^2 + \cdots + 969^2] - \frac{9624.0^2}{50} - 3907.28 - 3966.88 = 15391.52$$

$$\boldsymbol{SC_E = SC_T - SC_{Régimen} - SC_{Etanol} - SC_{Interacción}}$$

$$SC_E = 111048.48 - 3907.28 - 3966.88 - 15391.52 = 87782.8$$

Tabla 5.22

Análisis de varianza de los datos de emisiones de HC

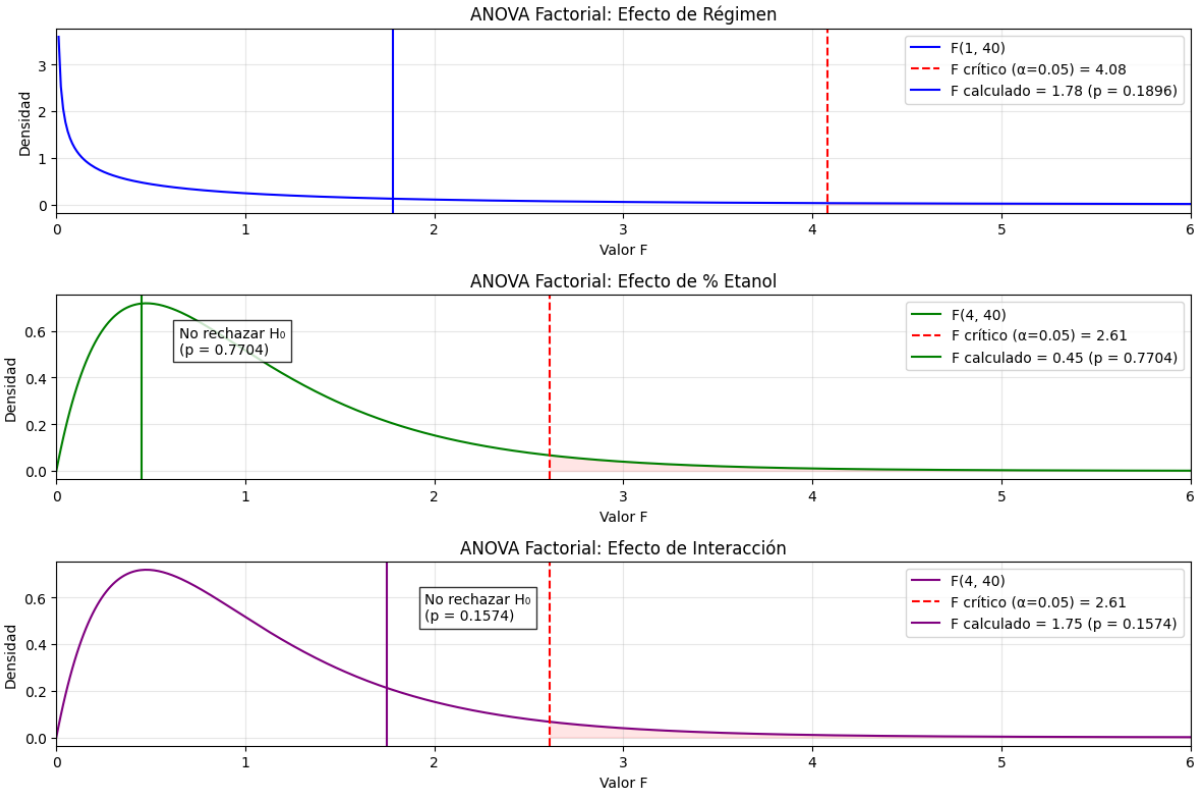
Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo	F Critico	Valor P
Régimen	3907.28	1	3907.28	1.78	4.08	0.1896
% Etanol	3966.88	4	991.72	0.45	2.61	0.7704
Interacción	15391.52	4	3847.88	1.75	2.61	0.1574
Error	87782.80	40	2194.57			
Total	111048.48	49				

Nota. Elaboración propia.

En la tabla del análisis de varianza, ningún valor de p es menor que la significancia prefijada $\alpha = 0.05$, por lo tanto, solo se aceptan todas las hipótesis nulas H_o.

Figura 5.15

Distribución F para las emisiones de HC



Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA

6.1 GENERALIDADES

Para la evaluación económica del proyecto, hemos dividido los costos en dos secciones principales; la fabricación y adaptación del módulo experimental y la ejecución de los ensayos y los costos asociados con los equipos e insumos utilizados en dichas pruebas.

6.2 COSTOS DE FABRICACIÓN Y ADAPTACIÓN DEL MÓDULO EXPERIMENTAL

Esta parte abarca todos los gastos ocasionados con el diseño, construcción y personalización del módulo experimental, asegurando que cumpla con algunos aspectos técnicos para las pruebas. Incluye costos de materiales, mano de obra y herramientas utilizados en la construcción.

Tabla VI.1

Costos totales del módulo experimental

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Motor Honda GX120	Und	1	2480.00	2480.00
Filtro de aire	Und	1	20.00	20.00
Dinamo	Und	1	430.00	430.00
Acople flexible	Und	1	110.00	110.00
Goma	Und	2	35.00	70.00
Manguera de 1/4	M	1	3.50	1.40
Estructura Metálica	Und	1	650.00	650.00
Pernos M12	Und	8	1.50	12.00
Tuerca para M12	Und	8	1.00	8.00
Arandela para M12	Und	8	0.20	1.60
Pernos M10	Und	6	1.00	6.00
Tuerca para M10	Und	6	1.00	6.00
Arandela para M10	Und	6	0.20	1.20
Cable	M	8	0.50	4.00
Melamina 1.2X1m	Und	15	0.14	2.08
Sockets	Und	16	1.50	24.00
Interruptor	Und	16	2.00	32.00

Foco 200w	Und	4	25.00	100.00
Foco 100w	Und	4	20.00	80.00
Foco 50w	Und	2	20.00	40.00
Foco 25w	Und	2	17.00	34.00
Foco 15w	Und	2	15.00	30.00
Foco 10w	Und	2	15.00	30.00
Cinta aislante	Und	1	3.50	3.50
Tornillos perforantes	Und	50	0.30	15.00
			TOTAL	S/ 4,190.78

Nota. Elaboración propia.

6.3 COSTOS ASOCIADOS A LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS Y LOS EQUIPOS UTILIZADOS

Esta sección de la evolución incluye los costos de los equipos de medición y los insumos de para los ensayos como son los combustibles. también incluye los costos de las pruebas preliminares y calibración de equipos.

Tabla 6.2

Costos totales en los ensayos

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Multímetro Digital	Und	1	70.00	70.00
Tacómetro Digital	Und	1	120.00	120.00
Embaces	Und	5	3.50	17.50
Gasohol Regular	Gl	4	15.00	60.00
Alcohol Etílico 99.9%	L	5	90.00	450.00
Embudo	Und	1	6.50	6.50
Probeta	Und	1	125.00	125.00
			Total	S/ 849.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 6.3

Precio detallado de un litro de mezcla de combustible gasolina-etanol

Mezcla	Gasohol		Etanol		Mezcla
	V(ml)	Precio	V(ml)	Precio	Precio
E20	867.679	S/ 3.70	132.321	S/ 11.91	S/ 15.612
E30	759.219	S/ 3.24	240.781	S/ 21.67	S/ 24.910
E40	650.759	S/ 2.78	349.241	S/ 31.43	S/ 34.209
E50	542.299	S/ 2.31	457.701	S/ 41.19	S/ 43.507

Nota. Elaboración propia.

Tabla VI.4

Resumen de los promedios obtenidos durante la experimentación

	E7.8	E20	E30	E40	E50
Potencia (KW)	0.917	0.926	0.932	0.922	0.876
Consumo (L/h)	0.353	0.359	0.357	0.383	0.385
Precio (PEN/L)	S/ 4.27	S/ 15.61	S/ 24.91	S/ 34.21	S/ 43.51
P/C(kw-h/L)	2.60	2.58	2.61	2.41	2.27
P/C(Kw-h/PEN)	11.09	40.28	64.95	82.38	98.83

Nota. Elaboración propia.

6.4 COSTOS FIJOS Y COSTOS VARIABLES

Los costos de producción de energía eléctrica se dividen en un componente fijo y otro variable, este último determinado por la carga siniestrada.

6.4.1 Costos fijos

Corresponden directamente a los costos asociados a la construcción y el equipamiento, considerando los siguientes aspectos:

- Costos de equipo
- Gastos de manteamiento preventivo y correctivo

Se tendrá las mismas consideraciones para los diferentes tipos de combustibles utilizados.

6.4.2 Costos variables

6.4.2.1 Gastos por combustibles utilizados

Varía según el combustible utilizado y según el número de horas utilizado, esto servirá para determinar el costo del KWh generado.

6.4.2.2 Consumo específico del combustible

Este valor está determinado por la eficiencia del grupo generador y el tipo de combustible utilizado, lo que permite calcular el costo del combustible por cada KWh producido.

6.4.3 Costos totales

La evaluación se realizará para 1 año es decir para (8760 horas).

Los costos totales son la suma de gastos fijos y gastos variables.

Tabla 6.5

Costos fijos para las mezclas gasolina-etanol

Combustible	Costo Unitario (PEN/kW)	Factor de Anualidad (PEN/kW-Año)	Anualidad (PEN/kW-Año)	COyM(%)	Costo Fijo Anual (PEN/kW-Año)
E7.8	3493.98	1.150	4018	3.0%	4122.90
E20	3493.98	1.150	4018	3.0%	4122.90
E30	3493.98	1.150	4018	3.0%	4122.90
E40	3493.98	1.150	4018	3.0%	4122.90
E50	3493.98	1.150	4018	3.0%	4122.90

Nota. Elaboración propia.

Tabla 6.6

Costos variables para las mezclas gasolina-etanol

Combustible	Costo Unitario (PEN/Combustible)	Consumo Especifico por kWh	Costo Variable Combustible (PEN/kWh)	Costo Variable (PEN/kWh)
E7.8	4.27	0.385	1.6	1.6

E20	15.61	0.388	6.1	6.1
E30	24.91	0.383	9.5	9.5
E40	34.21	0.415	14.2	14.2
E50	43.51	0.439	19.1	19.1

Nota. Elaboración propia.

Tabla 6.7

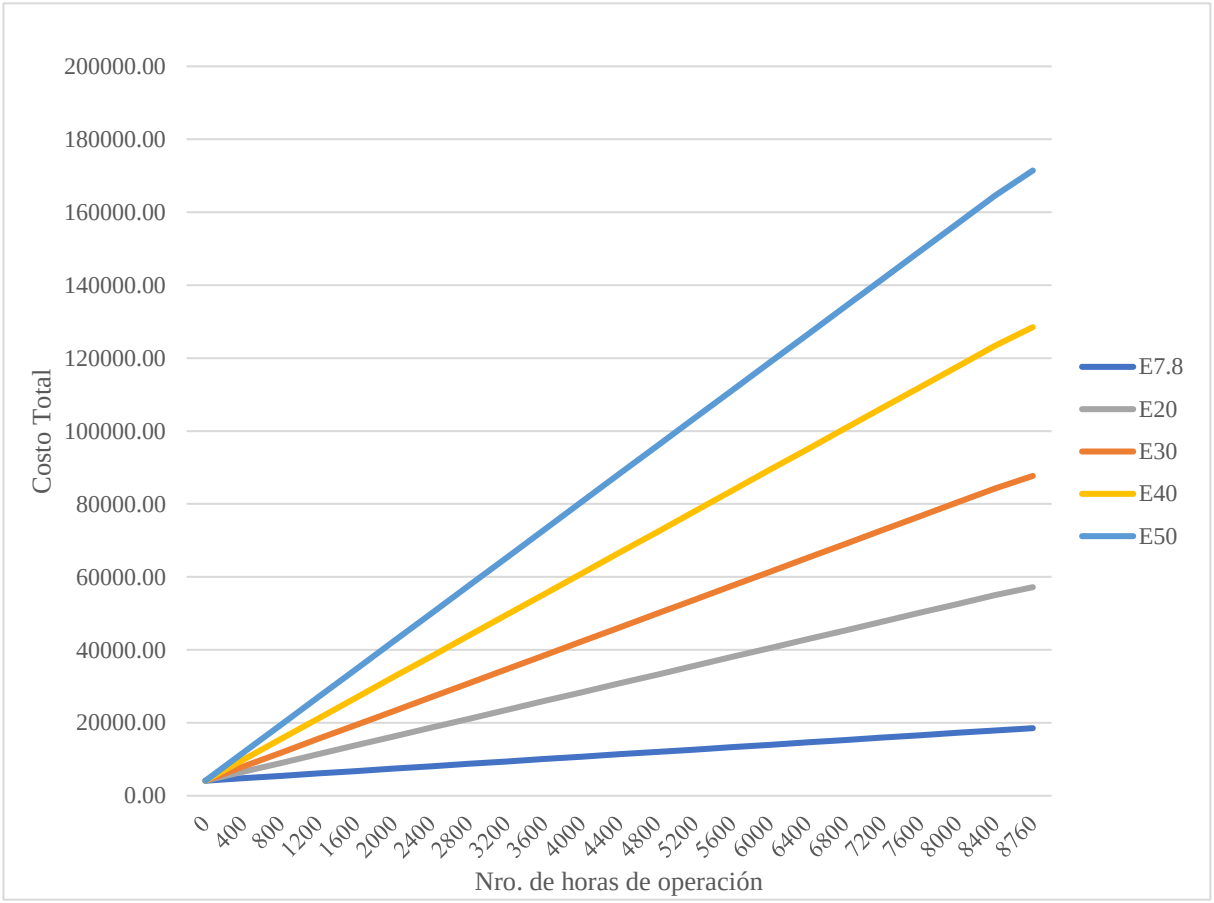
Costo total para las mezclas gasolina-etanol

Nro. Horas Operación	E7.8	E20	E30	E40	E50
0	4122.90	4122.90	4122.90	4122.90	4122.90
400	4780.48	6545.57	7939.11	9801.76	11763.26
800	5438.06	8968.24	11755.32	15480.62	19403.61
1200	6095.64	11390.92	15571.54	21159.48	27043.97
1600	6753.22	13813.59	19387.75	26838.34	34684.32
2000	7410.80	16236.26	23203.96	32517.20	42324.68
2400	8068.38	18658.93	27020.17	38196.06	49965.04
2800	8725.96	21081.60	30836.38	43874.92	57605.39
3200	9383.54	23504.28	34652.60	49553.78	65245.75
3600	10041.12	25926.95	38468.81	55232.64	72886.10
4000	10698.70	28349.62	42285.02	60911.50	80526.46
4400	11356.28	30772.29	46101.23	66590.36	88166.82
4800	12013.86	33194.96	49917.44	72269.22	95807.17
5200	12671.44	35617.64	53733.66	77948.08	103447.53
5600	13329.02	38040.31	57549.87	83626.94	111087.88
6000	13986.60	40462.98	61366.08	89305.80	118728.24
6400	14644.18	42885.65	65182.29	94984.66	126368.60
6800	15301.76	45308.32	68998.50	100663.52	134008.95
7200	15959.34	47731.00	72814.72	106342.38	141649.31
7600	16616.92	50153.67	76630.93	112021.24	149289.66
8000	17274.50	52576.34	80447.14	117700.10	156930.02
8400	17932.08	54999.01	84263.35	123378.96	164570.38
8760	18523.90	57179.42	87697.94	128489.93	171446.70

Nota. Elaboración propia.

Figura 6.1

Costo total de generación



Nota. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Del análisis teórico de la combustión, utilizando como referencia el combustible comercial (E7.8), revelo que la concentración de monóxido de carbono (CO) disminuyo en un **18%, 33%, 49% y 65%** para las mezclas de etanol E20, E30, E40 y E50 respectivamente. Por otro lado, la emisión de dióxido de carbono (CO_2) experimento un incremento de: **12%, 28%, 33% y 44%** para las mezclas E20, E30, E40 y E50 respectivamente.
- Se establecieron los factores de estudio, sus niveles correspondientes y las variables de respuesta asociadas, además de planificar la aleatorización en el orden de las pruebas experimentales. Para el análisis de la potencia y el consumo de combustible, se seleccionó un diseño experimental de un solo factor. En cambio, para la evaluación de emisiones, se optó un diseño factorial, con el fin de evaluar de manera simultánea los efectos de múltiples factores y sus interacciones.
- En el análisis experimental a 3600 rpm, se obtuvo una potencia promedio de 916.52 W para el combustible comercial (E7.8), y para las mezclas E20, E30 y E40 no se detectaron diferencias significativas en comparación con el combustible base, según el análisis estadístico. Sin embargo, la mezcla E50 presenta una disminución significativa de **4.47%.** En cuanto al consumo de combustible a 3600 rpm, se registró un valor de **0.3526 L/h** para el combustible comercial, y para las mezclas E20 y E30 no se observó diferencia significativa en el consumo en comparación con el combustible base. no obstante, para las mezclas E40 y E50 se evidencio un incremento de **8.6% y 9.3%** respectivamente. en lo que respecta para las emisiones a 2500 rpm, se observó una disminución significativa del monóxido de carbono (CO) a medida que aumenta la concentración de etanol, con reducciones de **46%, 53%, 65% y 88%** para las mezclas E20, E30, E40 y E50 respectivamente. Para las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) a 2500 rpm, no se encontraron diferencias significativas para las mezclas E7.8, E20 y E30. En cambio, se

registraron incrementos del **34% y 53%** para las mezclas E40 y E50 respectivamente. Finalmente, el análisis de varianza **(ANOVA)** para las emisiones de hidrocarburos (HC) indico que el efecto del porcentaje de etanol no fue significativo, lo que permitió aceptar la hipótesis nula (H_o).

- El combustible comercial (E7.8) resulta ser el más económico en términos de costo-beneficio. A futuro, la adopción de mezclas con mayores porcentajes de etanol, como E20. E30, E40 y E50 dependerá de gran medida del estado, si llegase a implementar políticas orientadas a reducir los costos asociados con la incorporación de etanol en la gasolina, así como las estrategias para garantizar el abastecimiento eficiente y competitivo del etanol para tener un combustible más amigable con el medio ambiente.

RECOMENDACIONES

- Efectuar las mediciones de potencia con un dinamómetro para obtener datos que posibiliten el diseño experimental factorial y poder estudiar la interacción entre el porcentaje de etanol y el régimen de funcionamiento, además de poder obtener las curvas características con uso de mezclas gasolina-etanol.
- Dado al alto costo del etanol al 99,9% en pureza, se recomienda realizar un estudio con etanol al 96% para reducir los costos que se centre principalmente en la corrosión de los componentes.
- Se recomienda llevar a cabo un estudio sobre la evolución de la producción de etanol en la región y el país, con el objetivo de poder evaluar el impacto en la reducción de costos en la producción de etanol y analizar su viabilidad económica y sostenibilidad en un corto plazo. Este análisis podría determinar la factibilidad de su implementación como una fuente de energía sostenible o competitiva en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Aguilar Rivera, N. (2007). *Bioetanol de la caña de azúcar*. Universidad de Colima.

Andersen, V. F., Anderson, J. E., Wallington, T. J., Mueller, S. A., & Nielsen, O. J. (2010). Vapor pressures of alcohol-gasoline blends. Energy & Fuels, 24(6), 3647-3654.

Andia Vargas, J.M., Salinas Rojas, M., Orellana Lafuente, R., Sempértegui Tapia, D.F. (2023). *Estado del arte sobre la influencia de mezclas etanol-gasolina en el desempeño.* Investigación & Desarrollo (vol. 23).

Álvarez, S., Evelson, P., Boveris, A. (2008). *Etanol: El combustible del futuro*. Universidad de Buenos Aires.

BP Company. (2011). *60 years BP Statistical review of world energy*. bp.

BP Company. (2022). *Bp Statistical review of world energy (71st ed.).* bp.

Caton, J. A. (2011). An analysis of thermodynamic losses in spark-ignition engines [Paper presentation]. SAE Technical Paper Series. Society of Automotive Engineers.

Domínguez, F. (2014). *La agroindustria de la caña de azúcar en Cuba*. Centro de Investigaciones de Economía Internacional.

Fygueroa S., S. J., Araque M., J. O. (2005). El proceso de combustión en motores de combustión interna (1st ed). Universidad de los Andes.

Gutiérrez Pulido, H., De la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y Diseño de experimentos*. Mc-Graw Hill.

Heywood, J. B. (1988). Internal combustion engine fundamentals. McGraw-Hill Education.

Jeuland, N. (2004). *Potentiality of Ethanol As a Fuel for Dedicated Engine*. Oil & Gas Science and Technology - Revue del IFP.

Jovak, M.S. (1982). *Motores de automóvil*. MIR.

Macedo Silva, A. (s.f.). *Diseño de motores de combustion interna*.

Marín Quemada, J.M., San Martín González, E. (2012). *El futuro de los combustibles fósiles*. Universidad Nacional de Educación a Distancia – UNED.

Ministerio de Energía y Minas. (2021). *Balance Nacional de Energía*. Dirección General de Eficiencia Energética Área de planeamiento Energético.

Montgomery, D.C. (2004). *Diseño y Análisis de Experimentos*. Limusa.

Muñiz Ramirez, N.B., Rua Mojica, L.F., Ley Tomas S., Hernández Altamirano, R., Mederos Nieto, F.S., Martínez, S. (2021). *Estudio experimental de emisiones contaminantes generadas en un motor de relación de compresión variable tipo CFR alimentado con mezclas gasolina-etanol*. Memorias del XXVII Congreso Internacional Anual de la SOMIM.

Nakata, K., Utsumi, S., Ota, A., Kawatake, K., & Kawai, T. (2006). The effect of ethanol fuel on a spark ignition engine (SAE Technical Paper 2006-01-3380). SAE International.

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2023). *Boletín estadístico – 1°semestre*. OSINERGMIN.

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

Rua Mojica, L.F. (2021). *Uso de los alcoholes en motores de combustión interna: una perspectiva experimental y numérica de sus comportamientos*. Universidad Autónoma de nuevo león.

Sadeghbeigi, R. (2012). *Fluid Catalytic Cracking Handbook (2da ed.)*. Gulf Profesional Publishing.

Tipían, J.C. (2015). *Análisis experimental del uso de mezclas*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Turns, S. R. (2012). An introduction to combustion: Concepts and applications (3rd ed.). McGraw-Hill.

Vladan, M., Milovan, J. (2015). *Bioethanol as fuel for internal combustion engines*. University of East Sarajevo.

Westbrook, C. K., Pitz, W. J., & Curran, H. J. (2005). Chemical kinetic modeling study of the effects of oxygenated hydrocarbons on soot emissions from diesel engines. Combustion Science and Technology.

ANEXOS

Anexo A

Matriz de consistencia

"ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO EN UN MOTOR HONDA GX120 DE ENCENDIDO POR CHISPA, UTILIZANDO ETANOL A DIFERENTES CONCENTRACIONES EN LA CIUDAD DEL CUSCO",			
PROBLEMAS	OBJETIVOS	VARIABLES	HIPÓTESIS
Problema Principal: ¿Cuáles son los parámetros de funcionamiento de un motor de encendido por chispa Honda GX120 utilizando etanol a diferentes concentraciones, bajo los factores ambientales de la ciudad del Cusco? Problemas Específicos: • ¿Cómo influyen las diferentes concentraciones de etanol que contiene el combustible en el proceso de combustión? • ¿Es posible efectuar el desarrollo de las pruebas experimentales y la recolección de datos utilizando diferentes concentraciones de etanol? • ¿Se pueden analizar los resultados experimentales de las pruebas experimentales realizadas con las diferentes mezclas de gasolina y etanol? • ¿Es factible realizar la comparación de costos del consumo de mezclas de gasolina y etanol?	Objetivo General: Analizar experimentalmente los parámetros de funcionamiento de un motor de encendido por chispa Honda GX120 utilizando etanol a diferentes concentraciones; Cusco, 2023. Objetivos Específicos: • Analizar el proceso de combustión utilizando diferentes concentraciones de etanol. • Efectuar el desarrollo de las pruebas experimentales y la recolección de datos utilizando diferentes concentraciones de etanol. • Analizar los resultados de las pruebas experimentales realizadas con las diferentes mezclas de gasolina y etanol • Determinar y comparar los costos en los consumos de mezclas de gasolina y etanol.	Variable Independiente: • Concentración de etanol • RPM del motor Variables Dependientes: • Potencia efectiva • Consumo de Combustible • Nivel de emisiones contaminantes	Hipótesis General: El análisis experimental permitirá conocer algún cambio en el comportamiento de los parámetros de funcionamiento con el uso de etanol. • El análisis del proceso de combustión mostrará el comportamiento de las relaciones de aire combustible y coeficientes de exceso de aire. • El desarrollo de las pruebas experimentales nos brindará los datos de los parámetros de funcionamiento. • El análisis los resultados de las pruebas experimentales permitirá analizar el impacto del porcentaje de etanol sobre los parámetros de funcionamiento • El análisis de los costos en los consumos nos permitirá ver la viabilidad del uso de las mezclas ahora o posteriormente.

Anexo B

Precios de los combustibles comerciales

Figura B1

Petroperú

LISTA DE PRECIOS DE COMBUSTIBLES CON IMPUESTOS

LISTA COMB-64-2024
VIGENCIA A PARTIR DEL 10.12.2024

PRECIOS CON IMPUESTOS NO INCLUYEN DESCUENTOS Y FISE

SOLES/GLN

PLANTAS	G L P SOLES/KG	GASOLINA PREMIUM	GASOLINA REGULAR	GASOLINA 84	DIESEL B5 UV	DIESEL B5	PETROLEO INDUSTRIAL N° 6	PETROLEO INDUSTRIAL 500
TALARA	3.1152	15.5264	12.2729				10.9622	
PIURA		15.7303	12.4768					
ETEN			12.7317					
SALAVERRY		15.8196	12.6935					
CHIMBOTE			12.7445				11.2749	11.1687
SUPE		15.6539	12.5915					
CALLAO	3.2568	15.5264	12.2729					
CONCHAN		15.5137	12.2602				10.6908	10.5610
C. DE PASCO			13.3307		13.4874	15.4580		
PISCO		15.8960	12.6680					
MOLLENDO		16.3293	13.0758					11.1805
JULIACA			13.8405					
CUSCO			14.0571					
ILO		16.4631						
EL MILAGRO			13.6748					
TARAPOTO			13.8022		13.2455	16.5023		
IMPUESTOS APLICADOS A ESTAS PLANTAS								
RODAJE % (*)		8%	8%	8%				
I S C (Soles/Galón) (**)		1.1700	1.2100	1.2700	1.7000	1.7000	0.9200	1.0000
I G V %	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%

LEY DE PROMOCION DE LA INVERSION EN LA AMAZONIA - Nº 27037

PLANTAS		GASOLINA PREMIUM	GASOLINA REGULAR	GASOLINA 84 SP	DIESEL B5 UV	DIESEL B5	PETROLEO INDUSTRIAL Nº 6	
YURIMAGUAS				10.9728	10.2700	12.6000		
IQUITOS			12.1932	11.4750	10.5400	12.1800	9.5500	
PUCALLPA			11.1780		10.0800	12.1700		
PTO. MALDONADO		15.9192	13.1004					
IMPUESTOS APLICADOS A ESTAS PLANTAS								
RODAJE % (*)		8%	8%	8%				

GERENCIA CORPORATIVA PLANEAMIENTO Y GESTIÓN

LISTA COMB-63-2024
VIGENCIA A PARTIR DEL 03.12.2024

(*) El Impuesto del rodaje se aplica sobre el valor de venta de las gasolinas sin incluir el ISC y el IGV.
(**) Impuesto Selectivo al Consumo en aplicación del D.S. N° 094-2018-EF del 09.05.2018.

Figura B2

Petroperú

LISTA DE PRECIOS DE COMBUSTIBLES CON IMPUESTOS

ADDENDUM N° 1

LISTA COMB-64-2024
VIGENCIA A PARTIR DEL 10.12.2024

PRECIOS CON IMPUESTOS NO INCLUYEN DESCUENTOS Y FISE

	PLANTAS	DIESEL B5 UV S-50	DIESEL B5 S-50	GASOHOL PREMIUM	GASOHOL REGULAR
	TALARA	12.8266	15.4462	15.1479	14.3932
	PIURA	13.0272	15.6468	15.3518	14.5079
	ETEN	13.1216	15.7412		14.7882
	SALAVERRY	13.1452	15.7648	15.4155	14.7245
	CHIMBOTE	13.0154	15.7294		14.8137
	SUPE	12.8856	15.5996	15.2753	14.6735
	CALLAO	12.8266	15.4462	15.1479	14.3932
	CONCHAN	12.8266	15.4462	15.1479	14.3932
	C. DE PASCO				15.3745
	PISCO	13.0626	15.8002	15.4538	14.7373
	MOLLENDO	13.3812	16.1188	15.9253	15.1706
	JULIACA	13.6998	16.6026		15.9352
	CUSCO	13.6408	16.7088		16.1518
	ILO	13.4284	16.2958	16.0145	
	EL MILAGRO	13.1570	16.9802		15.9734
	TARAPOTO	13.3517	17.3755		

IMPUESTOS APLICADOS A ESTAS PLANTAS

RODAJE %			8%	8%
*I S C (Soles/Galón) **	1.49	1.49	1.13	1.16
I G V %	18%	18%	18%	18%

LEY DE PROMOCION DE LA INVERSION EN LA AMAZONIA - Nº 27037

	PLANTAS	DIESEL B5 UV S-50	DIESEL B5 S-50
	YURIMAGUAS		
	IQUITOS		
	PUCALLPA		
	PTO. MALDONADO	11.4300	14.4000

(*) Impuesto Selectivo al Consumo en aplicación del D.S. Nº 094-2018-EF del 09.05.2018.

Figura B3

Petroperú

LISTA DE PRECIOS DE COMBUSTIBLES CON IMPUESTOS

ADDENDUM N° 2

LISTA COMB-64-2024
VIGENCIA A PARTIR DEL 10.12.2024

PRECIOS CON IMPUESTOS NO INCLUYEN DESCUENTOS Y FISE
COMBUSTIBLES ELÉCTRICOS

	PLANTAS	DIESEL B5 G. E.	DIESEL B5 S-50 G. E.	PETRÓLEO INDUSTRIAL 6 G. E.
	TALARA	14.5730	15.4462	10.7852
	PIURA	14.7736	15.6468	
	ETEN	14.8680	15.7412	10.8324
	SALAVERRY	14.8916	15.7648	10.8678
	CHIMBOTE	14.8562	15.7294	
	SUPE	14.7854	15.5996	10.7734
	CALLAO	14.5730	15.4462	10.6790
	CONCHAN	14.5730	15.4462	10.6554
	C. DE PASCO	15.4580		
	PISCO	14.9860	15.8002	
	MOLLENDO		16.1188	10.8442
	JULIACA		16.6026	
	CUSCO		16.7088	
	ILO	15.4226	16.2958	10.8560
	EL MILAGRO		16.9802	11.1038
	TARAPOTO	16.5023	17.3755	

IMPUESTOS APLICADOS A ESTAS PLANTAS

RODAJE %			
*I S C (Soles/Galón) **	1.70	1.49	0.92
I G V %	18%	18%	18%

LEY DE PROMOCION DE LA INVERSION EN LA AMAZONIA - Nº 27037

NO HAY IMPUESTOS APLICABLES A ESTAS PLANTAS

	PLANTAS	DIESEL B5 G. E.	DIESEL B5 S-50 G. E.	PETRÓLEO INDUSTRIAL 6 G. E.
	YURIMAGUAS	12.6000		9.0300
	IQUITOS	12.1800		9.0500
	PUCALLPA	12.1700		
	PTO. MALDONADO		14.4000	

NOTA: De acuerdo al D.U. N° 005-2012 del 22.02.2012, el Precio de Lista del Petróleo Industrial 6 para las Generadoras Eléctricas, será aplicado al Sistema Aislado.
Asimismo en aplicación de la Resolución OSINERGMIN N° 010-2012-OS/GART del 22.02.2012, el precio de lista del Diesel B5 GE corresponde al Sistema Aislado.

Con Oficio N° 0024-2016-GART del 11 de enero del 2016, OSINERGMIN solicita la publicación de los precios en diversas Plantas de Venta para la fijación de las tarifas eléctricas (precios en barra), según Ley N° 28832.

Cabe precisar que el Diesel B5 GE SEA sólo se comercializa en Callao, Conchán e Iquitos; el Diesel B5 S-50 GE SEA sólo se comercializa en Callao, Conchán y Mollendo, y el Petróleo Industrial N°6 GE SEA desde Talara, Salaverry, Callao, Conchán, Mollendo, Ilo, El Milagro, Yurimaguas e Iquitos.

Anexo C

Calibra

LABORATORIO DE METROLOGÍA Y SERVICIO INTEGRAL
TECNOLÓGICO DESDE 2007

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° AST-137724-08

SOLICITUD DE SERVICIO: SS-1377-24

1. DATOS DEL CLIENTE

SOLICITANTE (NOMBRE LEGAL)	
C.I.T.V. AUTOMOTRIZ DEL SUR S.A.C.	
REGISTRO ÚNICO DEL CONTRIBUYENTE RUC N°	
20564518035	
DIRECCIÓN	
AV. PROLONGACIÓN AV. LA CULTURA 197, SAN JERONIMO - CUSCO - CUSCO	
PERSONA DE CONTACTO	
-	
CORREO	TELÉFONO
-	-

2. DATOS DEL EQUIPO/INSTRUMENTO

NOMBRE DEL EQUIPO/INSTRUMENTO	NÚMERO DE SERIE
Analizador de Gases	1012
MARCA	RANGO
Pierburg Instruments	CO:0-10%vol CO2:0-20%vol HC:0-20000ppm
MODELO	RESOLUCIÓN
HGA 400 4 GR	CO:0,01%vol CO2:0,1%vol HC:1ppm

3. LUGAR DE CALIBRACIÓN

C.I.T.V. AUTOMOTRIZ DEL SUR S.A.C. - CUSCO

4. FECHA DE CALIBRACIÓN

18/08/2024

Los resultados consignados en el presente Certificado de Calibración, se refieren únicamente al objeto sometido a calibración, al momento y condiciones en las que se realizaron las mediciones. CALIBRA S.A.C. no se responsabiliza por los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los objetos calibrados o del presente Certificado de Calibración.

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la gerencia de CALIBRA S.A.C.

Este certificado carece de validez sin el sello y la firma digital.

En referencia al DS-N° 009-2012 MINAM, se recomienda al usuario recalibrar sus equipos/instrumentos cada 6 meses.

El presente Certificado de Calibración, el logotipo y nombre de CALIBRA S.A.C. no pueden ser utilizados para fines publicitarios. Salvo previa autorización escrita de la gerencia de CALIBRA S.A.C.

5. RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

GAS PATRÓN	VALOR DEL GAS	LECTURA	ERROR		INCERTIDUMBRE
			ABSOLUTO	RELATIVO [%]	
CO [% Vol]	3,5	3,5	0	0	0,035
CO_2 [% Vol]	14,05	14,1	0,05	0,36	0,16
HC [ppm]	969	957	-12	-1,24	9,7

VERIFICACIONES EFECTUADAS	RESULTADO*
Prueba de encendido	A
Prueba de estanqueidad con sonda	A
Prueba de residuos de HC	A
Ajuste a cero	A
Medición de temperatura	A
Captador RPM	A
Medición con gas patrón	A
Comunicación con PC	A
Tiempo de respuesta de O2 (< 60 seg)	A
Tiempo de respuesta de CO (< 15 seg)	A
Aviso de flujo bajo	A

*A=Aprobado, D=Desaprobado

TEMPERATURA [°C]	HUMEDAD RELATIVA [% HR]
-	-

Calibra S.A.C. Servicio Técnico

EMISIÓN: 19/08/2024

DONATO ESPARTA
Jefe del Área de Servicio Técnico

PERCY MEJICO
Técnico Inspector

Anexo D

Petróleos del Perú - PETROPERÚ S.A.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ

CLASE DE PRODUCTO	*Fecha efectiva:*
COMBUSTIBLE	01.01.2023
TIPO DE PRODUCTO	*Reemplaza edición de:*
COMBUSTIBLE USO MOTOR	-

NOMBRE DE PRODUCTO

GASOHOL REGULAR

ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO	
	MÍN.	MÁX.	ASTM	OTROS
APARIENCIA	Claro/Brillante, libre de agua y partículas			Visual
Color comercial	Rojo (b)			Visual
VOLATILIDAD				
Gravedad API a 60°F	Reportar		D-1298, D-4052	
Densidad a 60°F, g/cc	Reportar		D-1298, D-4052	
Destilación, a 760 mm Hg, °C			D-86, D-7096, D-7345	ISO-3405
Punto inicial de ebullición	Reportar			
5 %V recuperado	Reportar			
10 %V recuperado		65		
20 %V recuperado	Reportar			
50 %V recuperado	77	118		
90 %V recuperado		190		
95 %V recuperado	Reportar			
Punto final de ebullición		225		
Recuperado, %V	Reportar			
Residuo, %V		2.0		
Pérdida, %V	Reportar			
Relación vapor/líquido = 20, °C	47 (c)		D-5188, D-4814	
Presión de vapor, psi (KPa)		11 (76)	D-4953, D-5191, D-5482, D-6378	ISO 3007, UNE EN 13016-1
Índice de manejabilidad		640	D-4814	
CORROSIVIDAD				
Corrosión lámina de cobre, 3h, 50°C, N°		1	D-130	ISO 2160
Azufre total, mg/Kg		50	D-3120,D-5453, D-6920,D-7039, D-7220	ISO-13032, ISO 20846, ISO 20884, ISO 8754
ANTIDETONANCIA				
Número de octano Research	91.0		D-2699	ISO 5164
COMPOSICIÓN				
Aromáticos, % Vol.		45	D-1319, D-5580, D-6839	ISO 22854, UNE EN 15553
Olefinas, % Vol.		25	D-1319, D-6839	ISO 22854, UNE EN 15553
Benceno, % Vol.		2	D-3606, D-5580, D-6839	ISO 22854, UNE EN 238, UNE EN 12177
Oxígeno, % masa		3.45	D-4814, D-4815, D5599, D-5845	ISO 22854, UNE EN 13132
ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN				
Periodo de inducción, minutos	240		D-525	ISO 7536, UNE 51203
CONTAMINANTES				
Gomas lavadas, mg/100mL		5.0	D-381	ISO 6246
Plomo, g/L		0.013	Reportar	
Manganeso, mg/L		0.25	D-3831	UNE EN 16136
CONTENIDO DE ETANOL, % vol	(d)		D-4815, D-5845	

OBSERVACIONES:

(a) En concordancia con la Resolución Ministerial N° 469-2021-MINEM/DM.

(b) Contiene colorante.

(c) Si no se dispone del equipo, calcular mediante el Apéndice X2 del ASTM D-4814.

(d) Conforme al D.S. 021-2007-EM, corresponde el 7.8% vol. de Alcohol Carburante y se reportará el contenido de etanol bajo uno de los métodos indicados.

NOTA: El Gasohol Regular es el resultado de la mezcla de Gasolina Regular con 7.8% vol. Alcohol Carburante, durante el despacho en las Plantas de Ventas.

Anexo E

Tabla E1

Propiedades de los combustibles

Table 4.1 Enthalpy of Formation, Entropy, Lower/Higher Heat of Combustion, and Maximum Available Energy of Combustion[1]

Fuel		$\bar{h}_f^o$ (MJ/kmol)	$\bar{s}_{298}^o$ (kJ/(kmol K))	q_{lhc} (MJ/kg)	q_{hhc} (MJ/kg)	a_o (MJ/kg)
CH_4 (g)	Methane	−74.9	186.2	50.01	55.5	52.42
C_3H_8 (g)	Propane	−103.9	269.9	46.36	50.3	49.16
C_7H_{17} (l)	Gasoline[2]	−305.6	345.8	44.51		47.87
C_8H_{18} (l)	Octane	−249.96	360.8	44.43	47.9	47.67
$C_{14.4}H_{24.9}$(l)	Diesel[2]	−174.0	525.9	42.94		45.73
$C_{15}H_{32}$ (l)	Pentadecane	−428.9	587.5	43.99	47.3	47.22
CH_4O (l)	Methanol	−239.1	126.8	19.91	22.7	22.68
C_2H_6O (l)	Ethanol	−277.2	160.7	26.82	29.7	29.71
CH_3NO_2 (l)	Nitromethane	−113.1	171.8	10.54	11.6	12.43
H_2 (g)	Hydrogen	0.0	130.6	119.95	141.6	119.52
C_2H_2 (g)	Acetylene	226.7	200.8	48.22	49.9	48.58
C_2N_2 (g)	Cyanogen	309.1	241.5	21.06	21.0	21.29
NH_3 (g)	Ammonia	−45.7	192.6	18.61	22.5	20.29
C_6H_6 (l)	Benzene	48.91	173.0	40.14		42.14
$C_{10}H_8$ (s)	Naphthalene	78.1	166.9	38.86	40.3	40.84
C (s)	Graphite	0.0	5.7	32.76		33.70
$C_{176}H_{144}O_8N_3$ (s)	Coal[2]	−10,000.0	3000.0	31.57		33.57

[1]Based on equilibrium water quality, lean combustion at $\phi = 0.01$, $T_o = 298$ K, $P_o = 1.013$ bar and unmixed reactants.
[2]Estimated for typical fuel.

Tabla E2

Relación de calores específicos para las mezclas gasolina-etanol

Combustible	Coeficiente adiabático (γ)	Fuente
Gasolina (E0)	1.30 – 1.35	Heywood (1988), *Internal Combustion Engine Fundamentals* (Tabla 4.3)
E10	1.29 – 1.33	Caton (2011), *SAE Technical Paper 2011-01-0347* (Figura 6)
E20	1.28 – 1.32	Turns (2012), *Introduction to Combustion* (Cap. 5, pp. 180–185)
E30	1.27 – 1.31	Andersen et al. (2010), *Energy & Fuels* (DOI: 10.1021/ef100423c)
E40	1.26 – 1.30	Nakata et al. (2006), *SAE Technical Paper 2006-01-3380* (Resultados en Tabla 2)
E50	1.25 – 1.29	Westbrook et al. (2005), *Combustion Science and Technology* (DOI: 10.1080/00102200590917242)

Anexo F

TABLA A-27

Propiedades de algunos combustibles e hidrocarburos comunes

Combustible (fase)	Fórmula	Masa molar, kg/kmol	Densidad,[1] kg/L	Entalpía de vaporización,[2] kJ/kg	Calor específico,[1] c_p kJ/kg · K	Poder calorífico superior,[3] kJ/kg	Poder calorífico inferior,[3] kJ/kg
Acetileno (*g*)	C_2H_2	26.038	—	—	1.69	49,970	48,280
Benceno (ℓ)	C_6H_6	78.114	0.877	433	1.72	41,800	40,100
Butano (ℓ)	C_4H_{10}	58.123	0.579	362	2.42	49,150	45,370
Carbono (*s*)	C	12.011	2	—	0.708	32,800	32,800
Decano (ℓ)	$C_{10}H_{22}$	142.285	0.730	361	2.21	47,640	44,240
Diesel ligero (ℓ)	$C_nH_{1.8n}$	170	0.78–0.84	270	2.2	46,100	43,200
Diesel pesado (ℓ)	$C_nH_{1.7n}$	200	0.82–0.88	230	1.9	45,500	42,800
Etano (*g*)	C_2H_6	30.070	—	172	1.75	51,900	47,520
Etanol (ℓ)	C_2H_6O	46.069	0.790	919	2.44	29,670	26,810
Gas natural (*g*)	$C_nH_{3.8n}N_{0.1n}$	18	—	—	2	50,000	45,000
Gasolina (ℓ)	$C_nH_{1.87n}$	100–110	0.72–0.78	350	2.4	47,300	44,000
Heptano (ℓ)	C_7H_{16}	100.204	0.684	365	2.24	48,100	44,600
Hexano (ℓ)	C_6H_{12}	84.161	0.673	392	1.84	47,500	44,400
Hexeno (ℓ)	C_5H_{14}	86.177	0.660	366	2.27	48,310	44,740
Hidrógeno (*g*)	H_2	2.016	—	—	14.4	141,800	120,000
Isopentano (ℓ)	C_5H_{12}	72.150	0.626	—	2.32	48,570	44,910
Metano (*g*)	CH_4	16.043	—	509	2.20	55,530	50,050
Metanol (ℓ)	CH_4O	32.042	0.790	1168	2.53	22,660	19,920
Monóx. de carbono (*g*)	CO	28.013	—	—	1.05	10,100	10,100
Octano (ℓ)	C_8H_{18}	114.231	0.703	363	2.23	47,890	44,430
1-Penteno (ℓ)	C_5H_{10}	70.134	0.641	363	2.20	47,760	44,630
Propano (ℓ)	C_3H_8	44.097	0.500	335	2.77	50,330	46,340
Tolueno (ℓ)	C_7H_8	92.141	0.867	412	1.71	42,400	40,500

[1]A 1 atm y 20°C.

[2]A 25°C para combustibles líquidos, y 1 atm y temperatura normal de ebullición para combustibles gaseosos.

[3]A 25°C. Multiplique por la masa molar para obtener los valores caloríficos en kJ/kmol.

Anexo G

TABLA A-16

Propiedades de la atmósfera a gran altitud

Altitud, m	Temperatura, °C	Presión, kPa	Gravedad g, m/s^2	Velocidad del sonido, m/s	Densidad, kg/m^3	Viscosidad μ, kg/m · s	Conductividad térmica, W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	1.789×10^{-5}	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	1.783×10^{-5}	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	1.777×10^{-5}	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	1.771×10^{-5}	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	1.764×10^{-5}	0.0250
1000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	1.758×10^{-5}	0.0249
1200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	1.752×10^{-5}	0.0248
1400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	1.745×10^{-5}	0.0247
1600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	1.739×10^{-5}	0.0245
1800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	1.732×10^{-5}	0.0244
2000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	1.726×10^{-5}	0.0243
2200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	1.720×10^{-5}	0.0242
2400	−0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	1.713×10^{-5}	0.0241
2600	−1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	1.707×10^{-5}	0.0240
2800	−3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	1.700×10^{-5}	0.0239
3000	−4.49	70.12	9.797	328.6	0.909	1.694×10^{-5}	0.0238
3200	−5.79	68.36	9.797	327.8	0.891	1.687×10^{-5}	0.0237
3400	−7.09	66.63	9.796	327.0	0.872	1.681×10^{-5}	0.0236
3600	−8.39	64.94	9.796	326.2	0.854	1.674×10^{-5}	0.0235
3800	−9.69	63.28	9.795	325.4	0.837	1.668×10^{-5}	0.0234
4000	−10.98	61.66	9.794	324.6	0.819	1.661×10^{-5}	0.0233
4200	−12.3	60.07	9.794	323.8	0.802	1.655×10^{-5}	0.0232
4400	−13.6	58.52	9.793	323.0	0.785	1.648×10^{-5}	0.0231
4600	−14.9	57.00	9.793	322.2	0.769	1.642×10^{-5}	0.0230
4800	−16.2	55.51	9.792	321.4	0.752	1.635×10^{-5}	0.0229
5000	−17.5	54.05	9.791	320.5	0.736	1.628×10^{-5}	0.0228
5200	−18.8	52.62	9.791	319.7	0.721	1.622×10^{-5}	0.0227
5400	−20.1	51.23	9.790	318.9	0.705	1.615×10^{-5}	0.0226
5600	−21.4	49.86	9.789	318.1	0.690	1.608×10^{-5}	0.0224
5800	−22.7	48.52	9.785	317.3	0.675	1.602×10^{-5}	0.0223
6000	−24.0	47.22	9.788	316.5	0.660	1.595×10^{-5}	0.0222
6200	−25.3	45.94	9.788	315.6	0.646	1.588×10^{-5}	0.0221
6400	−26.6	44.69	9.787	314.8	0.631	1.582×10^{-5}	0.0220
6600	−27.9	43.47	9.786	314.0	0.617	1.575×10^{-5}	0.0219
6800	−29.2	42.27	9.785	313.1	0.604	1.568×10^{-5}	0.0218
7000	−30.5	41.11	9.785	312.3	0.590	1.561×10^{-5}	0.0217
8000	−36.9	35.65	9.782	308.1	0.526	1.527×10^{-5}	0.0212
9000	−43.4	30.80	9.779	303.8	0.467	1.493×10^{-5}	0.0206
10,000	−49.9	26.50	9.776	299.5	0.414	1.458×10^{-5}	0.0201
12,000	−56.5	19.40	9.770	295.1	0.312	1.422×10^{-5}	0.0195
14,000	−56.5	14.17	9.764	295.1	0.228	1.422×10^{-5}	0.0195
16,000	−56.5	10.53	9.758	295.1	0.166	1.422×10^{-5}	0.0195
18,000	−56.5	7.57	9.751	295.1	0.122	1.422×10^{-5}	0.0195

Fuente: U.S. Standard Atmosphere Supplements. Oficina de Impresiones del Gobierno de Estados Unidos, 1966. Basadas en las condiciones medias anuales a una latitud de 45° y una variación de acuerdo con la época del año y con los patrones del clima. Las condiciones al nivel del mar ($z = 0$) se consideran como $P = 101.325$ kPa, $T = 15$°C, $\rho = 1.2250$ kg/m^3, $g = 9.80665$ m/s^2.

Anexo H

MATLAB – Ciclo Otto

```
clear
clc
% Four stroke Otto cycle model
% input parameters
Ti =    ; % inlet temperature, K
Pi =    ; % inlet pressure, kPa
Pe =    ; % exhaust pressure, kPa(0.3<Pi/Pe<1.5)
r =8.3; % compression ratio
qin =    ; % heat input, kJ/kg (mixture)
gamma = 1.30; % ideal gas specific heat ratio
R = 0.283; % gas constant kJ/kg K
cv= R/(gamma-1); %const vol specific heat, kJ/kg K
f=0.022;%guess value of residual fraction f (VARÍA 0.03 a 0.12)asumido
Te =500; % guess value of exhaust temp, K (valor asumido)
tol=0.001; % tolerance for convergence
err = 2*tol; %error initialization
gam=(gamma -1)/gamma;
ff=0.049;
Tee=1086.1;
%T11=(1-ff)*Ti + ff*(1-((gamma-1)/gamma)*(1- Pi/Pe))*Tee
T12=(1-ff)*Ti + ff*(1 - (1- Pi/Pe)*gam)*Tee;
while (err > tol) %while loop for cycle calc
%intake stroke
T1=(1-f)*Ti + f*(1 - (1- Pi/Pe)*gam)*Te
P1=Pi;
%isentropic compression
P2=P1*r^gamma;
T2=T1*r^(gamma-1);
```

```
%const v heat addition
T3=T2 + qin*(1-f)/cv;
P3=P2*(T3/T2);
%isentropic expansion
P4=P3*(1/r)^gamma;
T4=T3*(1/r)^(gamma-1);
%isentropic blowdown
P5=Pe;
T5=T4*(P4/Pe)^(-gam);
%const p exhaust stroke
Te=T5;
fnew=(1/r)*(Pe/P4)^(1/gamma); %new residual fraction
err=abs(fnew-f)/fnew;
f=fnew; %valor definitivo de la fracción residual
end
%cycle parameters
eta= 1 - 1/r^(gamma-1);
imep = P1*(qin*(1-f)/(R*T1))/(1-(1/r))*eta;
pmep=Pe-Pi;
etanet= eta*(1-pmep/imep);
imepnet= (imep-pmep)/100.;
voleff=1-(Pe/Pi -1)/(gamma*(r-1));
%output calcs
fprintf(' \nFour Stroke Otto Cycle \n')
fprintf('State            1     2      3      4 \n');
fprintf('Pressure (kPa): %6.1f %6.1f %6.1f %6.1f \n',P1,P2,P3,P4);
fprintf('Temperature (K): %6.1f %6.1f %6.1f %6.1f \n',T1,T2,T3,T4);
fprintf('Ideal Thermal Eff.= %6.3f Net Thermal Eff.= %6.3f \n',eta, etanet);
fprintf('Exhaust Temp. (K)= %6.1f Volumetric Eff.= %6.2f \n',Te, voleff);
fprintf('Residual Fraction %6.3f Net Imep (bar)= %6.2f \n',f, imepnet);
```

Anexo I

Tablas de distribución estadística

Tabla I1

Tabla A3 Puntos críticos para la distribución *T* de Student.

	Área a la derecha de los puntos, $P(X > x)$			
Grados de libertad	**0.10**	**0.05**	**0.025**	**0.015**
1	3.0776835	6.3137515	12.706205	21.204949
2	1.8856181	2.9199856	4.3026527	5.6427784
3	1.6377444	2.3533634	3.1824463	3.8960459
4	1.5332063	2.1318468	2.7764451	3.2976297
5	1.475884	2.0150484	2.5705818	3.002875
6	1.4397557	1.9431803	2.4469119	2.8289279
7	1.4149239	1.8945786	2.3646243	2.714573
8	1.3968153	1.859548	2.3060041	2.6338144
9	1.3830287	1.8331129	2.2621572	2.573804
10	1.3721836	1.8124611	2.2281389	2.5274842
11	1.3634303	1.7958848	2.2009852	2.4906639
12	1.3562173	1.7822876	2.1788128	2.4607002
13	1.3501713	1.7709334	2.1603687	2.4358452
14	1.3450304	1.7613101	2.1447867	2.4148977
15	1.3406056	1.7530504	2.1314495	2.397005
16	1.3367572	1.7458837	2.1199053	2.3815454
17	1.3333794	1.7396067	2.1098156	2.3680548
18	1.3303909	1.7340636	2.100922	2.35618
19	1.3277282	1.7291328	2.0930241	2.3456475
20	1.3253407	1.7247182	2.0859634	2.3362422
21	1.3231879	1.7207429	2.0796138	2.3277923
22	1.3212367	1.7171444	2.0738731	2.3201596
23	1.3194602	1.7138715	2.0686576	2.313231
24	1.3178359	1.7108821	2.0638986	2.3069134
25	1.3163451	1.7081408	2.0595386	2.3011295
26	1.3149719	1.7056179	2.0555294	2.2958145
27	1.3137029	1.7032884	2.0518305	2.2909136
28	1.3125268	1.7011309	2.0484071	2.2863802
29	1.3114336	1.699127	2.0452296	2.2821746
30	1.310415	1.6972609	2.0422725	2.2782623

Tabla I2

Tabla A4 Puntos críticos al 5% de la distribución F, $P(X > x) = 0.05$.

Grados de libertad en el denominador	Grados de libertad en el numerador																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40	50	75	100	∞
1	**161**	**199**	**216**	**225**	**230**	**234**	**237**	**239**	**241**	**242**	**243**	**244**	**245**	**245**	**246**	**248**	**249**	**250**	**251**	**252**	**253**	**253**	**254**
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	91.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70	8.66	8.63	8.62	8.59	8.58	8.56	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.70	5.68	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.56	4.52	4.50	4.46	4.44	4.42	4.41	4.37
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.87	3.83	3.81	3.77	3.75	3.73	3.71	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.44	3.40	3.38	3.34	3.32	3.29	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.15	3.11	3.08	3.04	3.02	2.99	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.94	2.89	2.86	2.83	2.80	2.77	2.76	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.77	2.73	2.70	2.66	2.64	2.60	2.59	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.47	2.46	2.41
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.54	2.50	2.47	2.43	2.40	2.37	2.35	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.46	2.41	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.39	2.34	2.31	2.27	2.24	2.21	2.19	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.33	2.28	2.25	2.20	2.18	2.14	2.12	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.28	2.23	2.19	2.15	2.12	2.09	2.07	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.23	2.18	2.15	2.10	2.08	2.04	2.02	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.19	2.14	2.11	2.06	2.04	2.00	1.98	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	2.00	1.96	1.94	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20	2.12	2.07	2.04	1.99	1.97	1.93	1.91	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.90	1.88	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15	2.07	2.02	1.98	1.94	1.91	1.87	1.85	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13	2.05	2.00	1.96	1.91	1.88	1.84	1.82	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.03	1.97	1.94	1.89	1.86	1.82	1.80	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.84	1.80	1.78	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07	1.99	1.94	1.90	1.85	1.82	1.78	1.76	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.76	1.74	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.79	1.75	1.73	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03	1.94	1.89	1.85	1.81	1.77	1.73	1.71	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	1.93	1.88	1.84	1.79	1.76	1.72	1.70	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.84	1.78	1.74	1.69	1.66	1.61	1.59	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84	1.75	1.69	1.65	1.59	1.56	1.51	1.48	1.39
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77	1.68	1.62	1.57	1.52	1.48	1.42	1.39	1.28
∞	3.84	3.00	2.61	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.79	1.75	1.72	1.69	1.67	1.57	1.51	1.46	1.40	1.35	1.28	1.25	1.03

Tabla I3

Tabla A5 Puntos porcentuales del estadístico rango estudentizado (5%).

$q_{.05}(p, f)$

	p														
f	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	18.10	26.70	32.8	37.20	40.50	43.10	45.40	47.30	49.10	50.60	51.90	53.20	54.30	55.40	56.30
2	6.09	8.28	9.80	10.89	11.73	12.43	13.03	13.54	13.99	14.39	14.75	15.08	15.38	15.65	15.90
3	4.50	5.88	6.83	7.51	8.04	8.47	8.85	9.18	9.46	9.72	9.95	10.16	10.35	10.52	10.60
4	3.93	5.00	5.76	6.31	6.73	7.06	7.35	7.60	7.83	8.03	8.21	8.37	8.52	8.67	8.80
5	3.61	4.54	5.18	5.64	5.99	6.28	6.52	6.74	6.93	7.10	7.25	7.39	7.52	7.64	7.75
6	3.46	4.34	4.90	5.31	5.63	5.89	6.12	6.32	6.49	6.65	6.79	6.92	7.04	7.14	7.24
7	3.34	4.16	4.68	5.06	5.35	5.59	5.80	5.99	6.15	6.29	6.42	6.54	6.65	6.75	6.84
8	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48	6.57
9	3.20	3.95	4.42	4.76	5.02	5.24	5.43	5.60	5.74	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28	6.36
10	3.15	3.88	4.33	4.66	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	5.72	5.83	5.93	6.03	6.12	6.20
11	3.11	3.82	4.26	4.58	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	5.61	5.71	5.81	5.90	5.98	6.06
12	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.40	5.51	5.61	5.71	5.80	5.88	5.95
13	3.06	3.73	4.15	4.46	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79	5.86
14	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36	5.46	5.56	5.64	5.72	5.79
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.20	5.31	5.40	5.49	5.57	5.65	5.72
16	3.00	3.65	4.05	4.34	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59	5.66
17	2.98	3.62	4.02	4.31	4.52	4.70	4.86	4.99	5.11	5.21	5.31	5.39	5.47	5.55	5.61
18	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.83	4.96	5.07	5.17	5.27	5.35	5.43	5.50	5.57
19	2.96	3.59	3.98	4.26	4.47	4.64	4.79	4.92	5.04	5.14	5.23	5.32	5.39	5.46	5.53
20	2.95	3.58	3.96	4.24	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01	5.11	5.20	5.28	5.36	5.43	5.50
24	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.10	5.18	5.25	5.32	5.38
30	2.89	3.48	3.84	4.11	4.30	4.46	4.60	4.72	4.83	4.92	5.00	5.08	5.15	5.21	5.27
40	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.74	4.82	4.90	4.98	5.05	5.11	5.17
60	2.83	3.40	3.74	3.98	4.16	4.31	4.44	4.55	4.65	4.73	4.81	4.88	4.94	5.00	5.06
120	2.80	3.36	3.69	3.92	4.10	4.24	7.36	4.47	4.56	4.64	4.71	4.78	4.84	4.90	4.95
∞	2.77	3.32	3.63	3.86	4.03	4.17	4.29	4.39	4.47	4.55	4.62	4.68	4.74	4.80	4.84

Anexo J

Protocolos de registro

Figura J1

PROTOCOLO DE REGISTRO EXPERIMENTAL - EMISIONES

I. Datos Generales

Fecha:	
Ejecutor:	
Ubicación:	

II. Datos Técnicos

Motor:		Marca:	
Cilindrada:		Combustible base:	

III. Instrumentos

Instrumento	Descripción	Observación

IV. Mediciones Obtenidas

N° prueba	% Etanol	RPM	CO_2	CO	HCC	T°C

N° prueba	% Etanol	RPM	CO_2	CO	HCC	T°C

V. Observaciones Diversas

Figura J2

PROTOCOLO DE REGISTRO EXPERIMENTAL - CONSUMO

I. Datos Generales

Fecha:	
Ejecutor:	
Ubicación:	

II. Datos Técnicos

Motor:		Marca:	
Cilindrada:		Combustible base:	

III. Instrumentos

Instrumento	Descripción	Observación

IV. Mediciones Obtenidas

Volumen de combustible consumido (ml):	

N° prueba	% Etanol	RPM incial	RPM final	Tiempo (mm:ss)

N° prueba	% Etanol	RPM incial	RPM final	Tiempo (mm:ss)

V. Observaciones Diversas

Figura J3

PROTOCOLO DE REGISTRO EXPERIMENTAL - EMISIONES

I. Datos Generales

Fecha:	
Ejecutor:	
Ubicación:	

II. Datos Técnicos

Motor:		Marca:	
Cilindrada:		Combustible base:	

III. Instrumentos

Instrumento	Descripción	Observación

IV. Mediciones Obtenidas

N° prueba	% Etanol	RPM	CO_2	CO	HCC	T°C

N° prueba	% Etanol	RPM	CO_2	CO	HCC	T°C

V. Observaciones Diversas

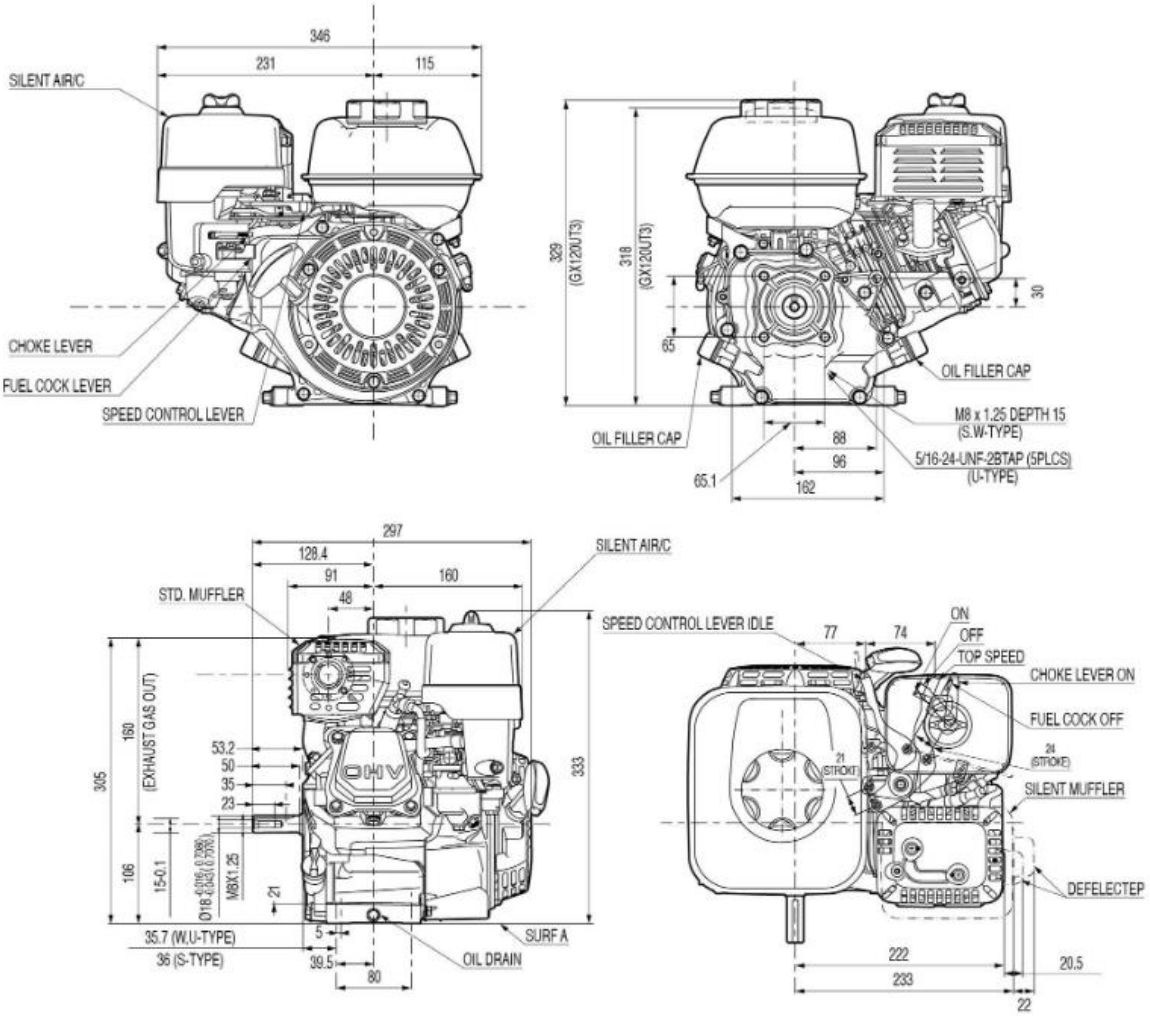
Anexo K

Especificaciones Técnicas

TIPO DE MOTOR	Cilindro individual – 4 tiempos Motor gasolina OHV, cilindro inclinado 25° eje horizontal
TIPO DE CAMISA DE CILINDRO	Camisa de acero
CALIBRE X CARRERA	60 x 43.5 mm
CILINDRADA	122 cm^3
RELACIÓN DE COMPRESIÓN	8.3 : 1
POTENCIA NETA	2.4 kW (3.2 HP) / 3600 rpm
POTENCIA NOMINAL	1.8 kW (2.4 HP) / 3000 rpm 2.1 kW (2.8 HP) / 3600 rpm
PAR MÁXIMO NETO	7.5 Nm (0.76 kgfm) / 2500 rpm
SISTEMA DE ENCENDIDO	Transistorizado
MOTOR DE ARRANQUE	Tirador de arranque
CAPACIDAD DEL DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE	2.0 Litro
CONSUMO DE COMBUSTIBLE A POTENCIA NOMINAL	1.0 L/H - 3600 rpm
CAPACIDAD DE ACEITE	0.56 Litro
DIMENSIONES (L X A X A)	305 x 346 x 333 mm
PESO EN SECO	13.2 kg

Anexo L

Dimensiones



Anexo M

Figura M1

Componentes

Motor sin modificar

Motor modificado

Mandibula

Elemento flexible

Generador

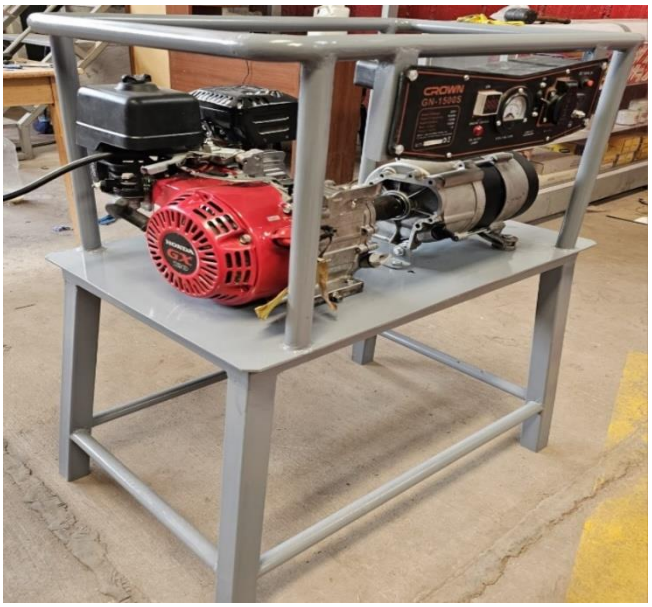
Tablero del generador

Figura M2

Estructura metálica

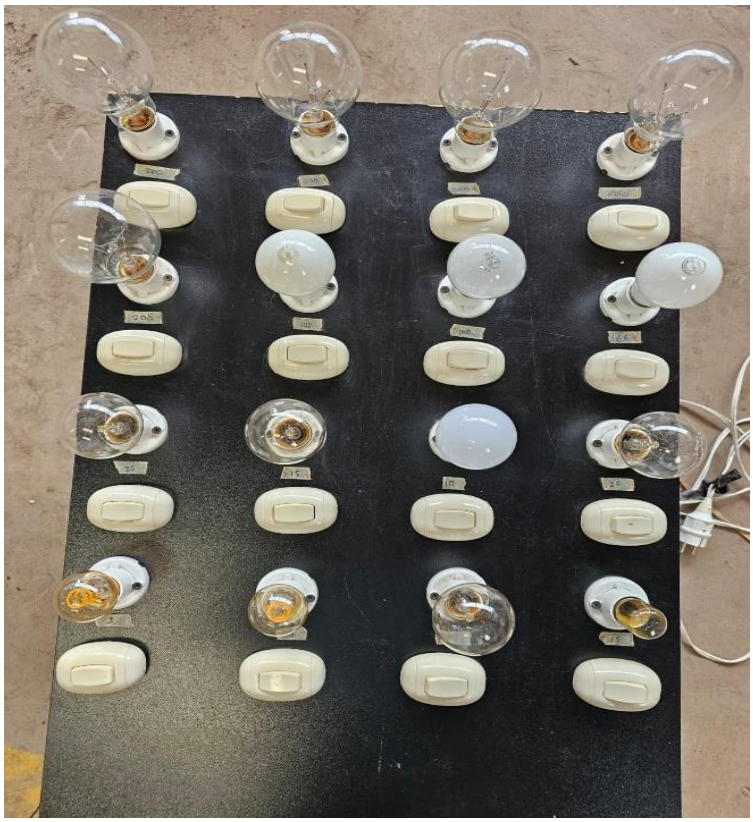
Figura M3

Modulo experimental



Anexo M4

Sistema de iluminación



Anexo O

Figura O1

Datos experimentales – Voltajes

TRUPER
MUT-10S
0228
0229
0228

TRUPER
MUT-10S
0228
0228
0228

TRUPER
MUT-10S
0228
0228
0227

TRUPER
MUT-105
0228
0228
TRUPER
MUT-105
0228

TRUPER
MUT-105
0228
TRUPER
MUT-105
0228
TRUPER
MUT-105
0227

TRUPER
MUT-105
0229

Figura O2

Datos experimentales – Amperajes

ON
ON
ON
ON
ENGINE SWITCH
ON
OFF
ENGINE SWITCH
ON
OFF
ENGINE SWITCH
ON
OFF
ENGINE SWITCH
ON
ON
ENGINE SWITCH

ON
A
OFF

ON
A

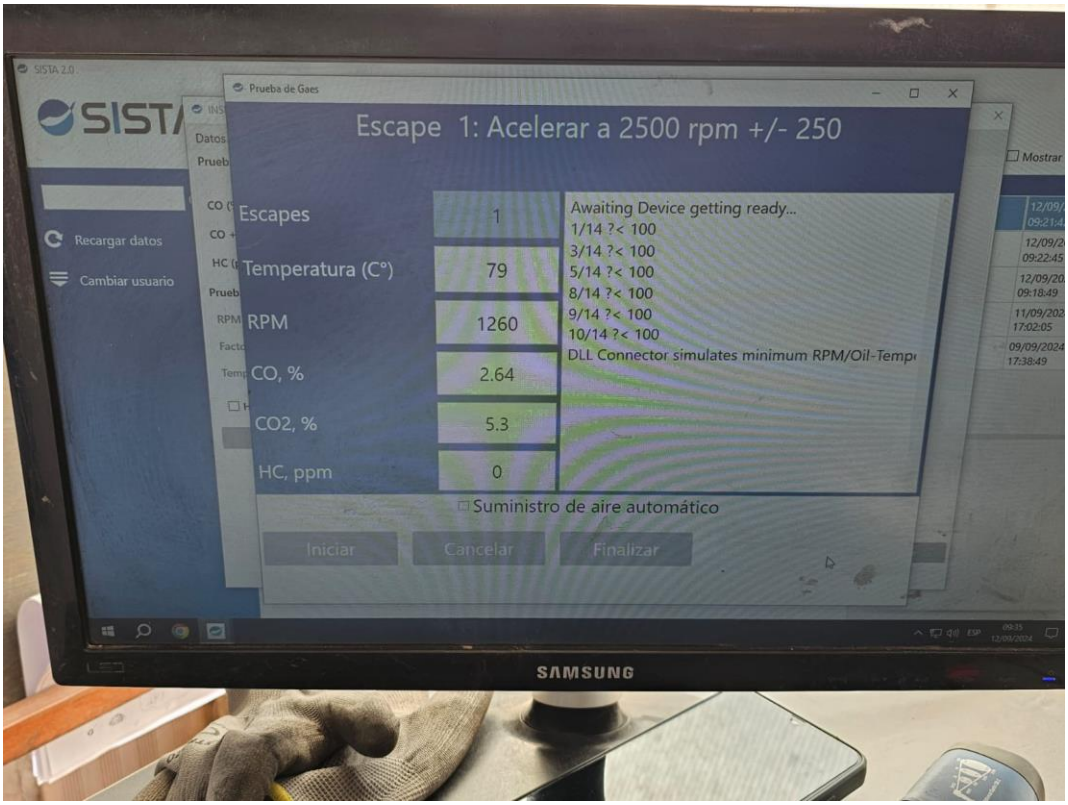
Anexo P

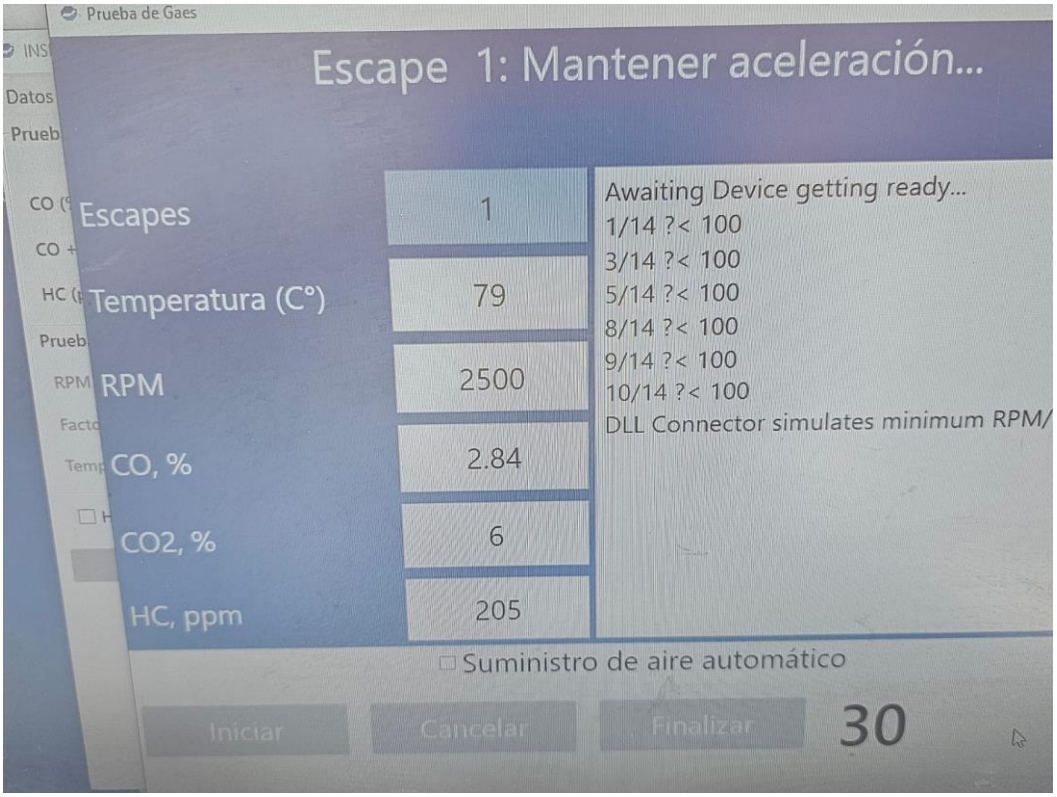
Figura P1

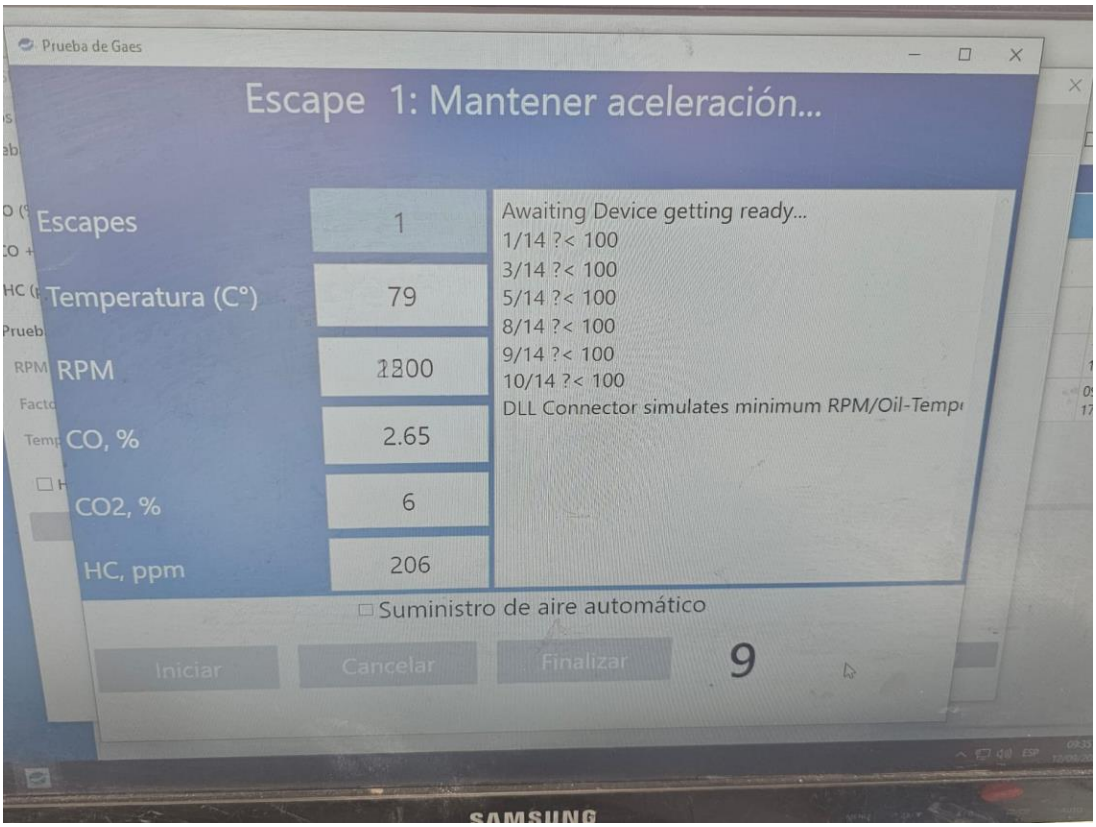
Equipos de análisis de emisiones

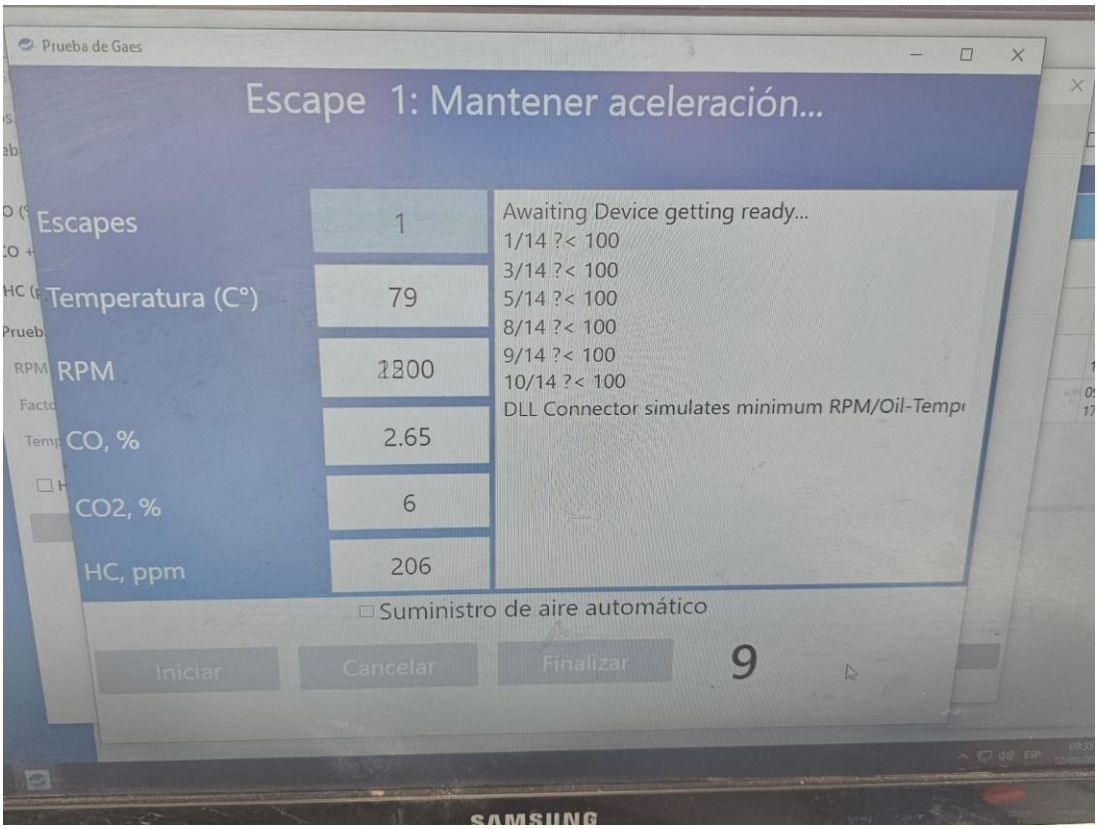
Figura P2

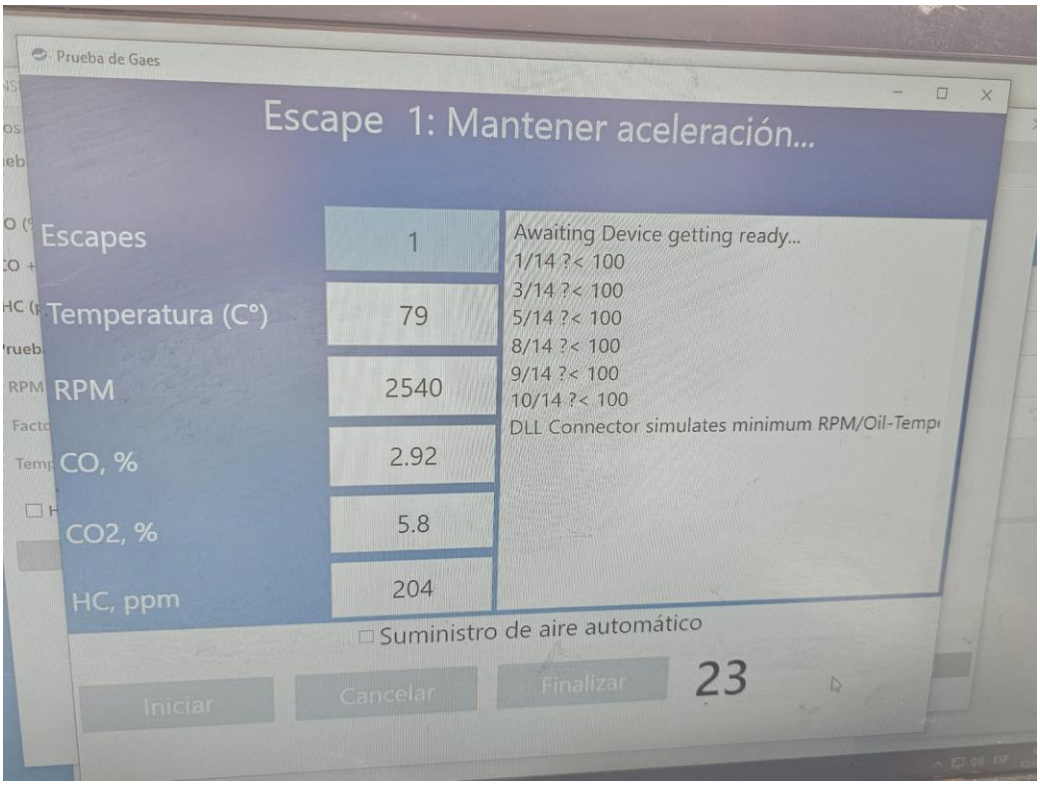
Datos experimentales – Emisiones E7.8

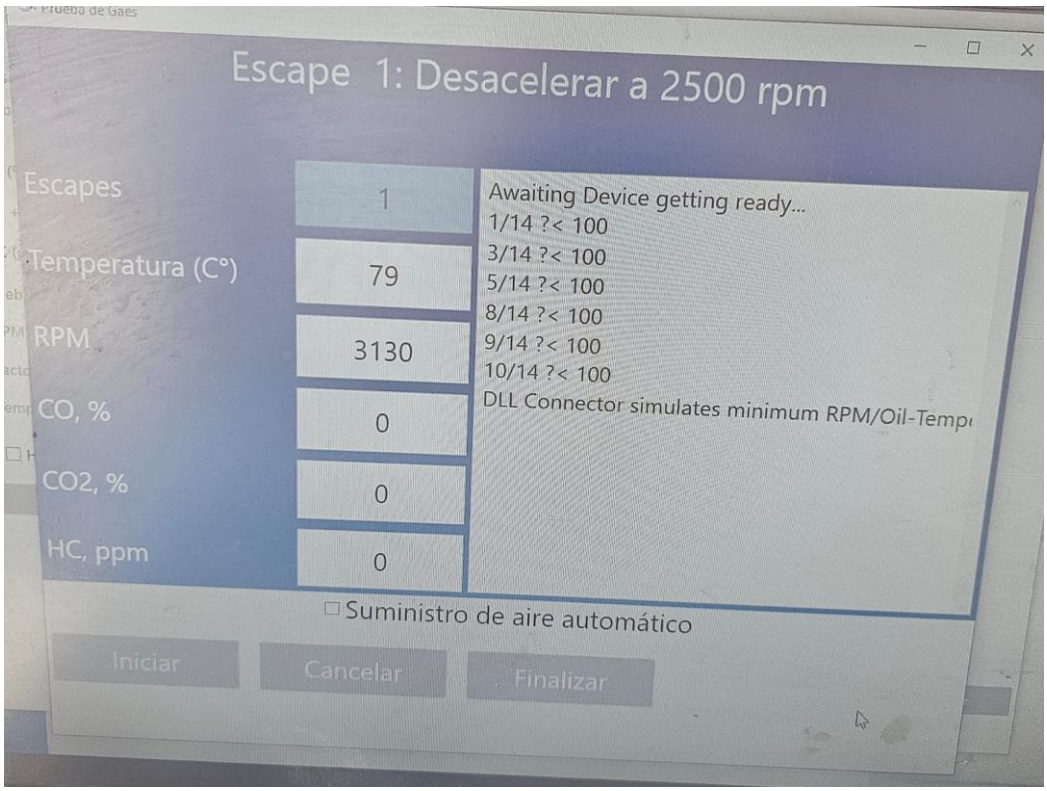


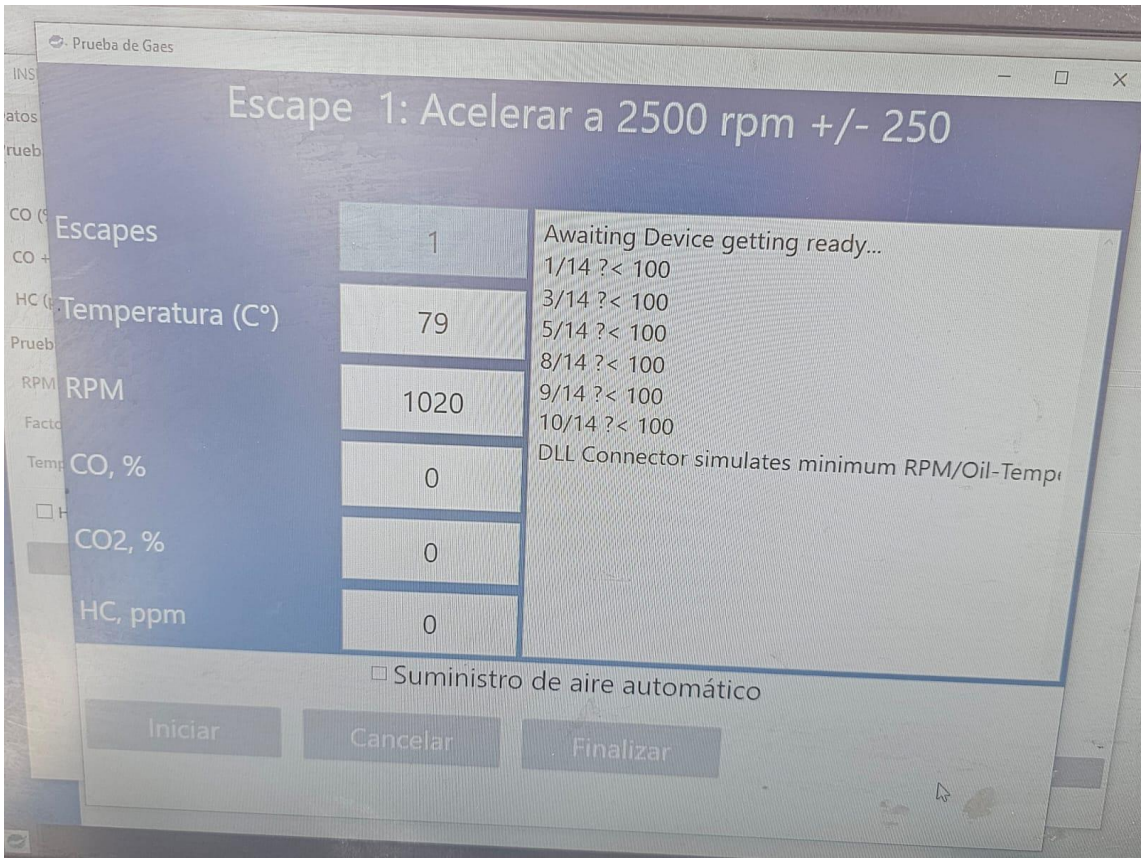


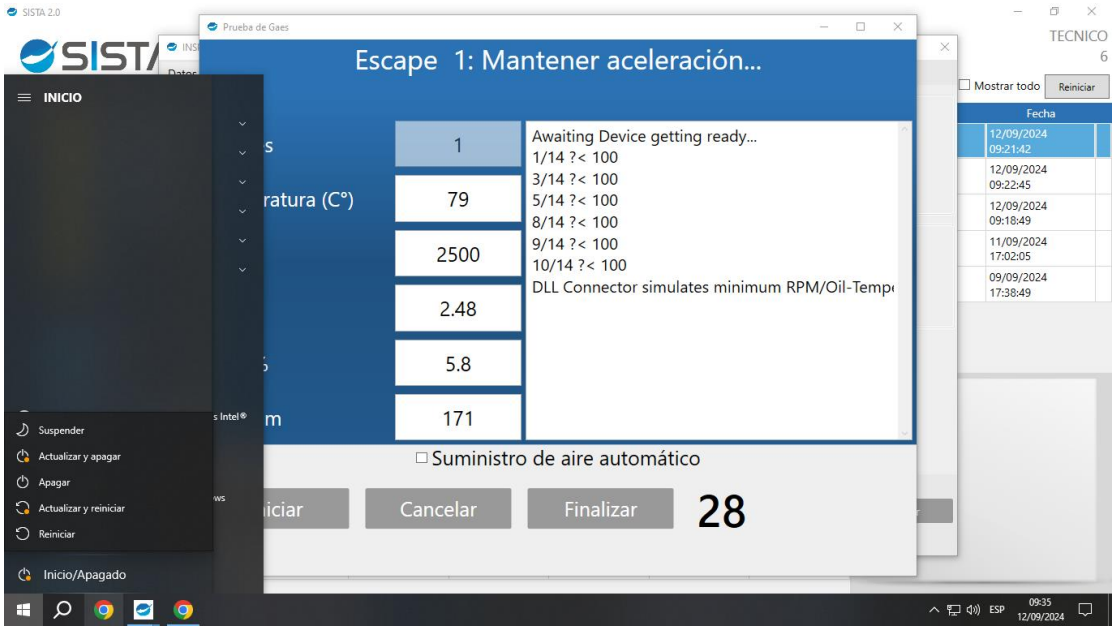

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
79
RPM
1200
CO, %
2.65
CO2, %
6
HC, ppm
206
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
9
SAMSUNG

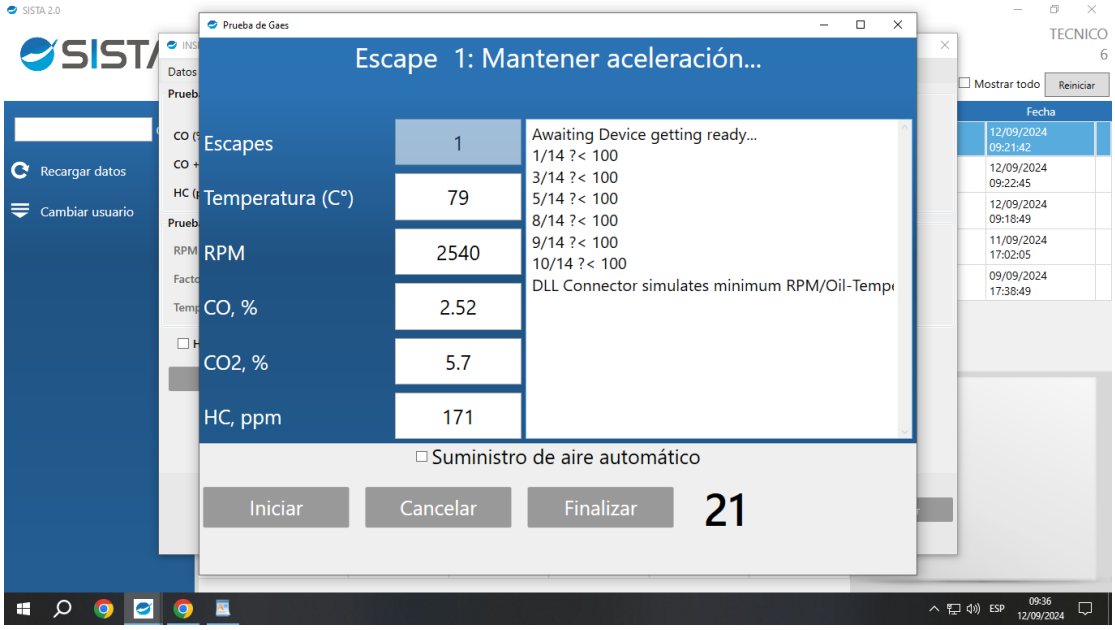

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
79
RPM
1200
CO, %
2.65
CO2, %
6
HC, ppm
206
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
9
SAMSUNG

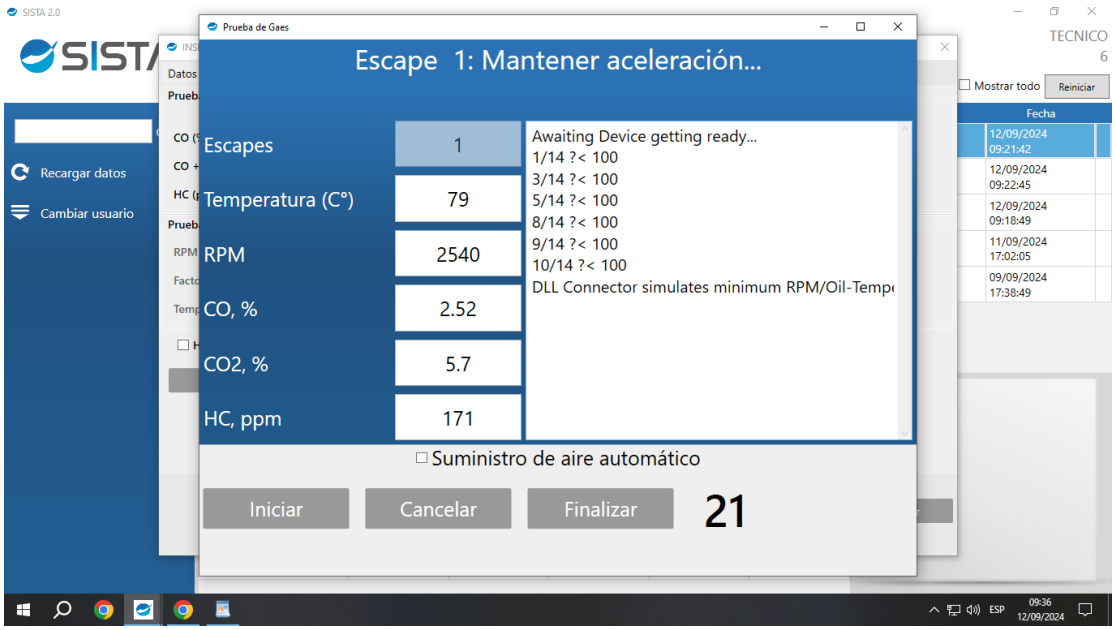

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
79
RPM
2540
CO, %
2.92
CO2, %
5.8
HC, ppm
204
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
23

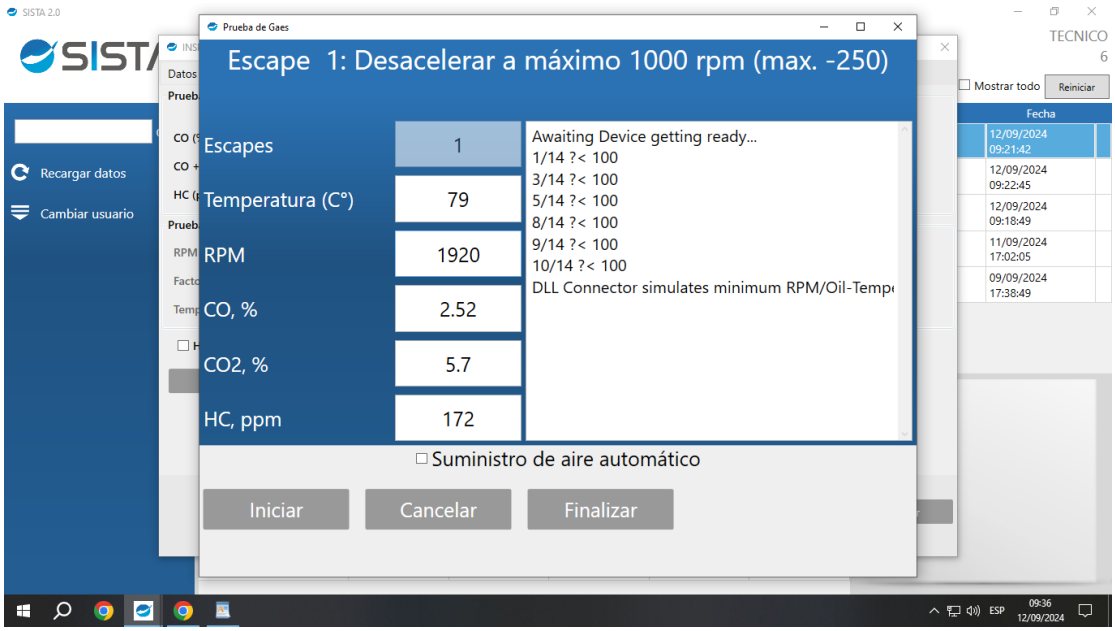

Escape 1: Desacelerar a 2500 rpm
Escapes
1
Temperatura (C°)
79
RPM
3130
CO, %
0
CO2, %
0
HC, ppm
0
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar

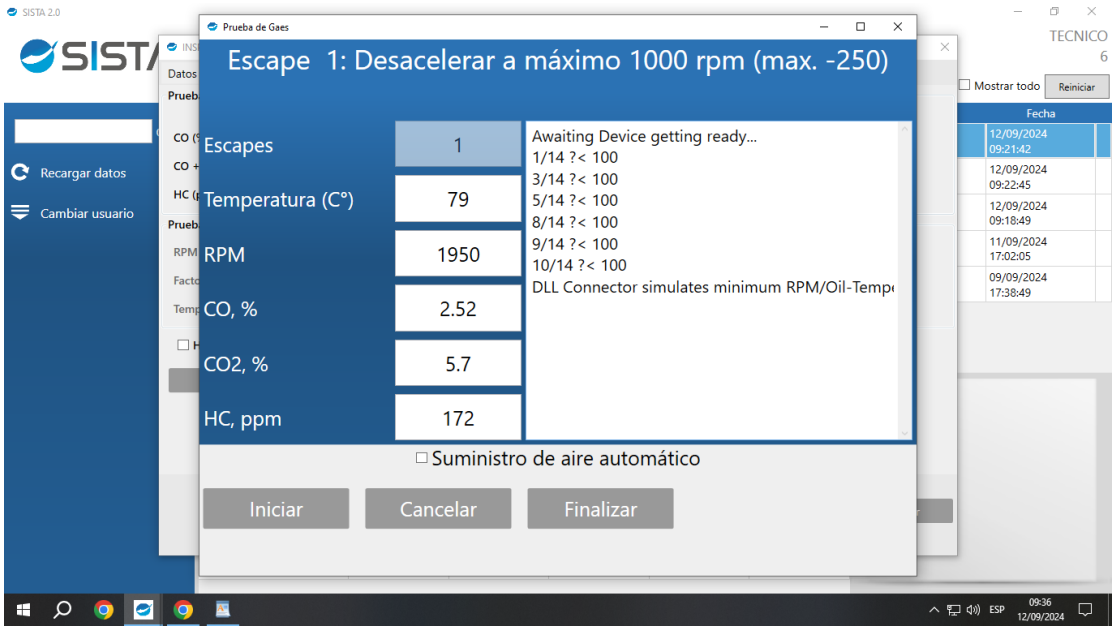

Prueba de Gaes
Escape 1: Acelerar a 2500 rpm +/- 250
Escapes
1
Temperatura (C°)
79
RPM
1020
CO, %
0
CO2, %
0
HC, ppm
0
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar

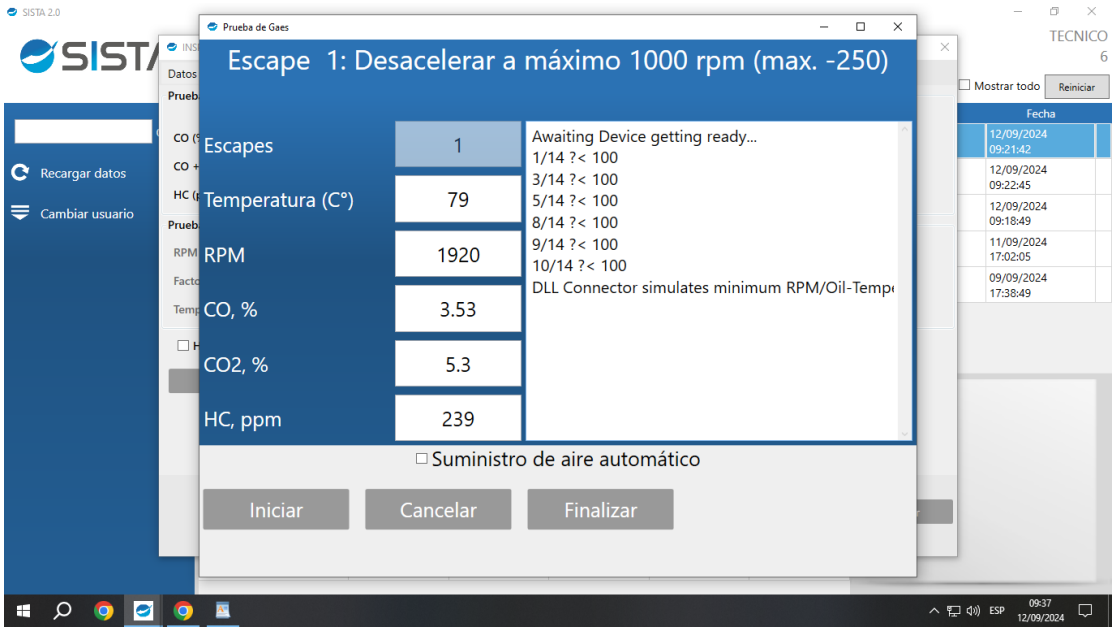

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
1
79
2500
2.48
5.8
171
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Cancelar
Finalizar
28
INICIO
Suspender
Actualizar y apagar
Apagar
Actualizar y reiniciar
Reiniciar
Inicio/Apagado
TECNICO
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
12/09/2024 09:21:42
12/09/2024 09:22:45
12/09/2024 09:18:49
11/09/2024 17:02:05
09/09/2024 17:38:49
ESP
09:35
12/09/2024

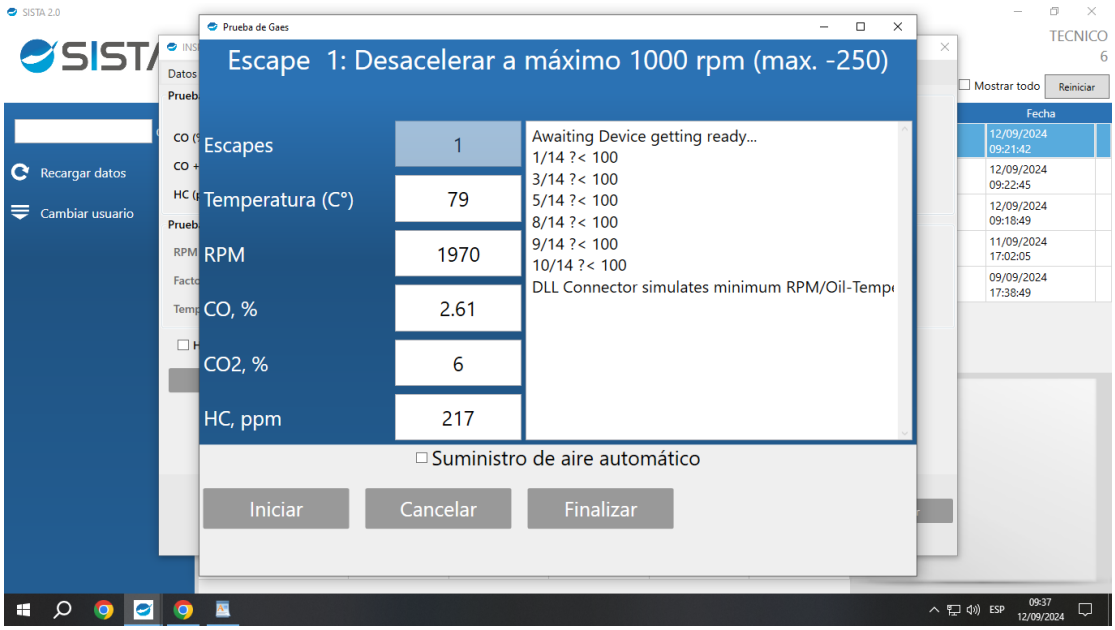

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes 1
Temperatura (C°) 79
RPM 2540
CO, % 2.52
CO2, % 5.7
HC, ppm 171
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
21
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
12/09/2024 09:21:42
12/09/2024 09:22:45
12/09/2024 09:18:49
11/09/2024 17:02:05
09/09/2024 17:38:49
ESP
09:36
12/09/2024

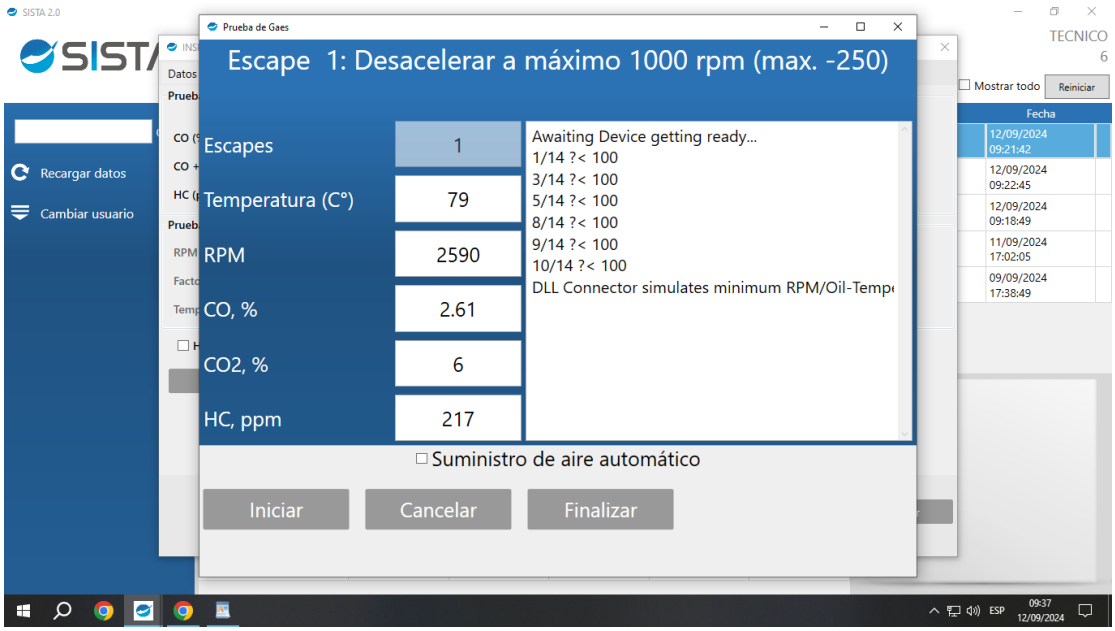

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
79
RPM
2540
CO, %
2.52
CO2, %
5.7
HC, ppm
171
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
21
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
12/09/2024 09:21:42
12/09/2024 09:22:45
12/09/2024 09:18:49
11/09/2024 17:02:05
09/09/2024 17:38:49


Prueba de Gaes
Escape 1: Desacelerar a máximo 1000 rpm (max. -250)
Escapes
1
Temperatura (C°)
79
RPM
1920
CO, %
2.52
CO2, %
5.7
HC, ppm
172
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
12/09/2024 09:21:42
12/09/2024 09:22:45
12/09/2024 09:18:49
11/09/2024 17:02:05
09/09/2024 17:38:49


Prueba de Gaes
Escape 1: Desacelerar a máximo 1000 rpm (max. -250)
Escapes
1
Temperatura (C°)
79
RPM
1950
CO, %
2.52
CO2, %
5.7
HC, ppm
172
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
12/09/2024 09:21:42
12/09/2024 09:22:45
12/09/2024 09:18:49
11/09/2024 17:02:05
09/09/2024 17:38:49
ESP
09:36
12/09/2024


Prueba de Gaes
Escape 1: Desacelerar a máximo 1000 rpm (max. -250)
Escapes
1
Temperatura (C°)
79
RPM
1920
CO, %
3.53
CO2, %
5.3
HC, ppm
239
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
12/09/2024 09:21:42
12/09/2024 09:22:45
12/09/2024 09:18:49
11/09/2024 17:02:05
09/09/2024 17:38:49
ESP
09:37
12/09/2024


Prueba de Gaes
Escape 1: Desacelerar a máximo 1000 rpm (max. -250)
Escapes
1
Temperatura (C°)
79
RPM
1970
CO, %
2.61
CO2, %
6
HC, ppm
217
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
TECNICO
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
12/09/2024 09:21:42
12/09/2024 09:22:45
12/09/2024 09:18:49
11/09/2024 17:02:05
09/09/2024 17:38:49
Recargar datos
Cambiar usuario


Prueba de Gaes
Escape 1: Desacelerar a máximo 1000 rpm (max. -250)
Escapes
1
Temperatura (C°)
79
RPM
2590
CO, %
2.61
CO2, %
6
HC, ppm
217
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
TECNICO
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
12/09/2024 09:21:42
12/09/2024 09:22:45
12/09/2024 09:18:49
11/09/2024 17:02:05
09/09/2024 17:38:49
Recargar datos
Cambiar usuario

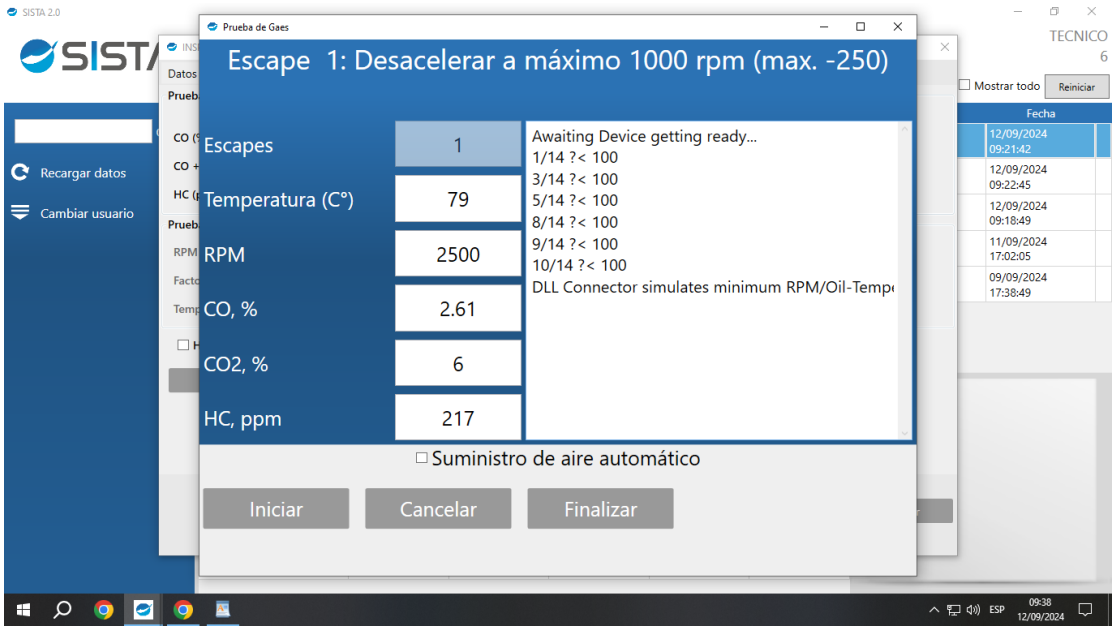
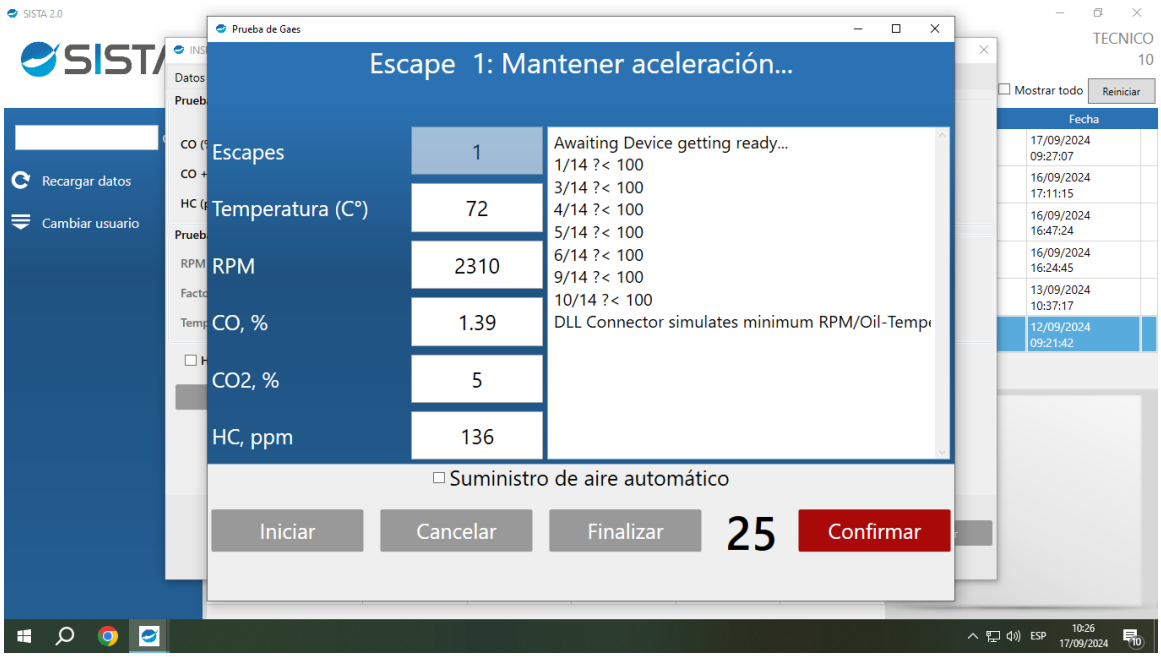
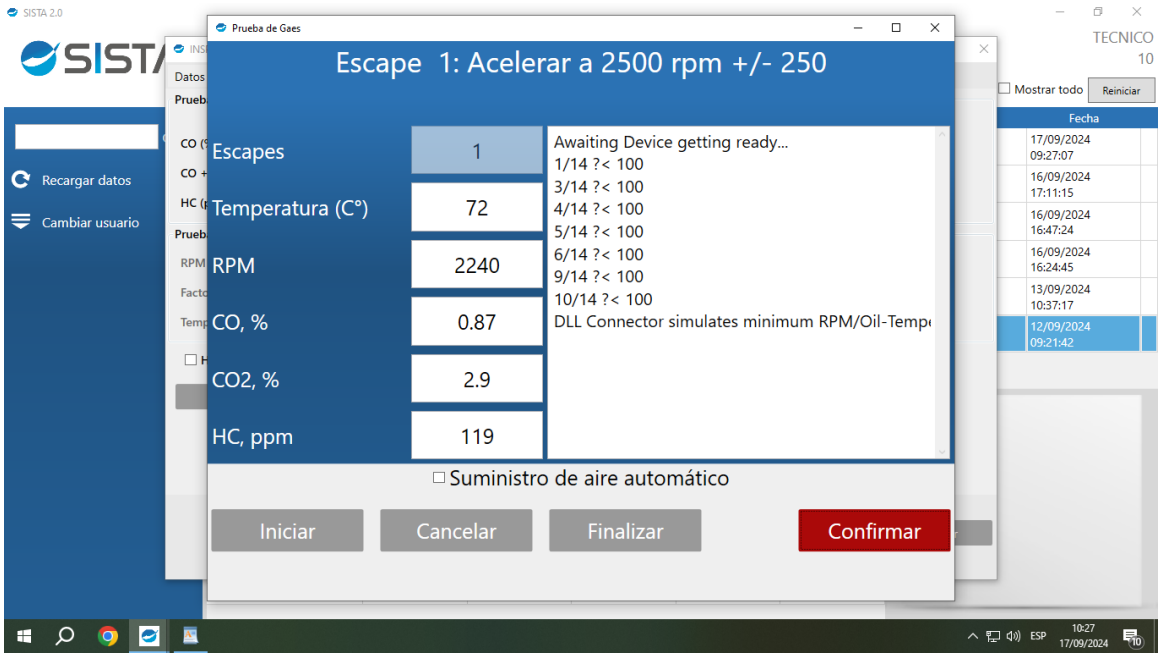
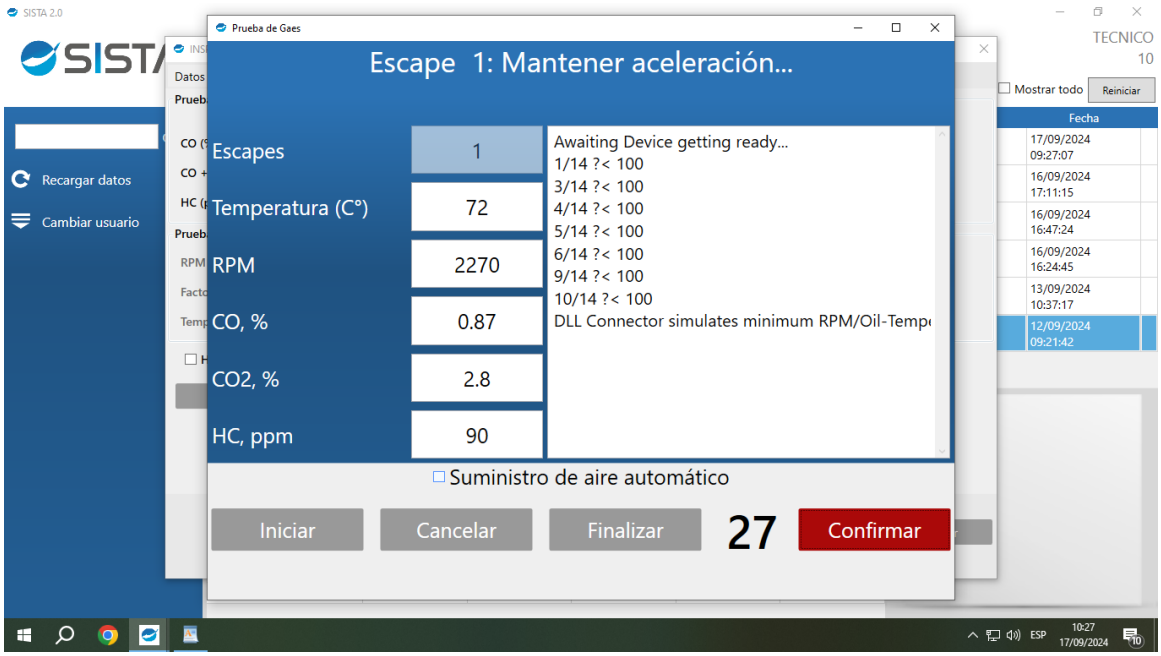

SISTA 2.0
SISTA
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
6
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
12/09/2024 09:21:42
12/09/2024 09:22:45
12/09/2024 09:18:49
11/09/2024 17:02:05
09/09/2024 17:38:49
Prueba de Gaes
Escape 1: Desacelerar a máximo 1000 rpm (max. -250)
Escapes
1
Temperatura (C°)
79
RPM
2500
CO, %
2.61
CO2, %
6
HC, ppm
217
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
ESP
09:38
12/09/2024

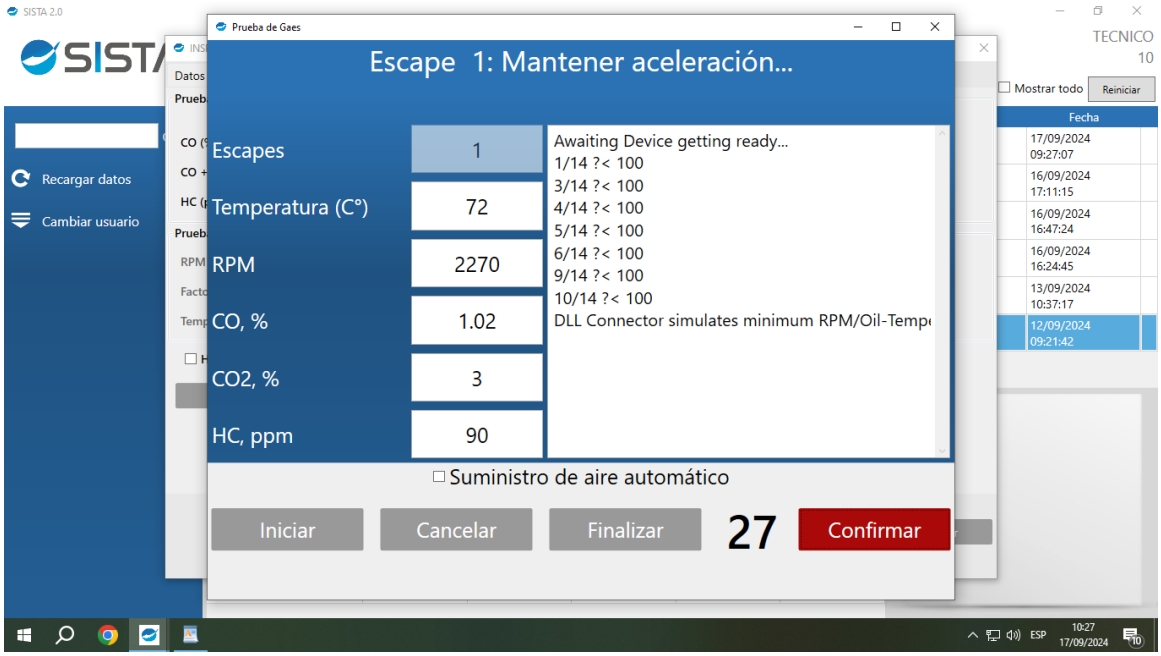
Figura P3

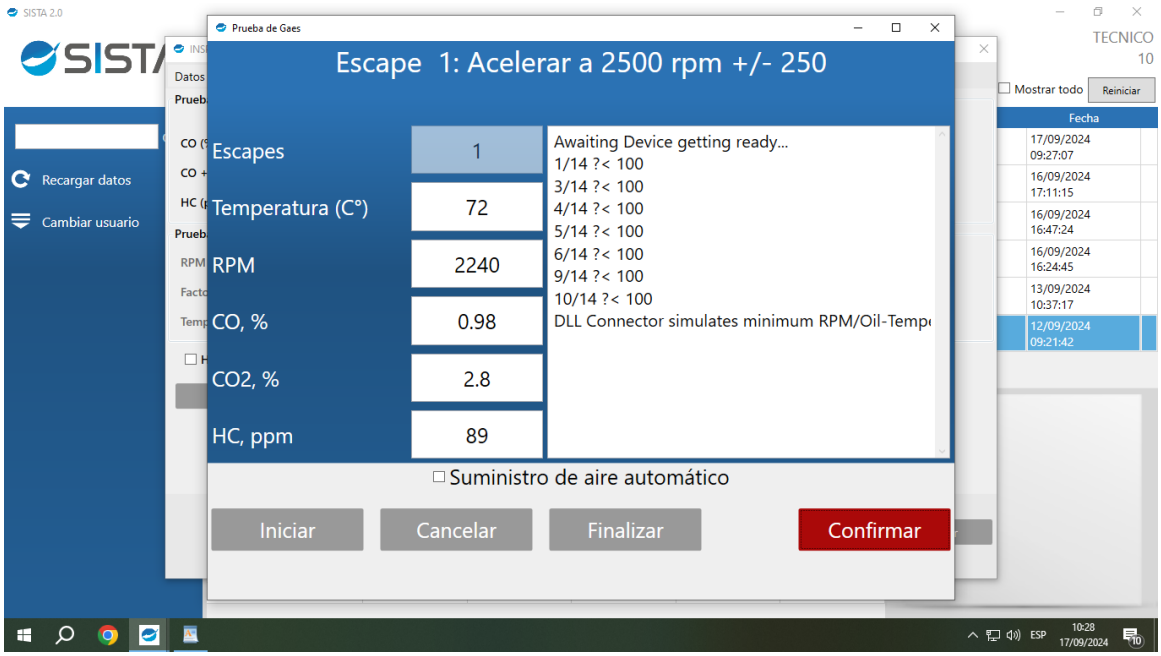
Datos experimentales – Emisiones E20

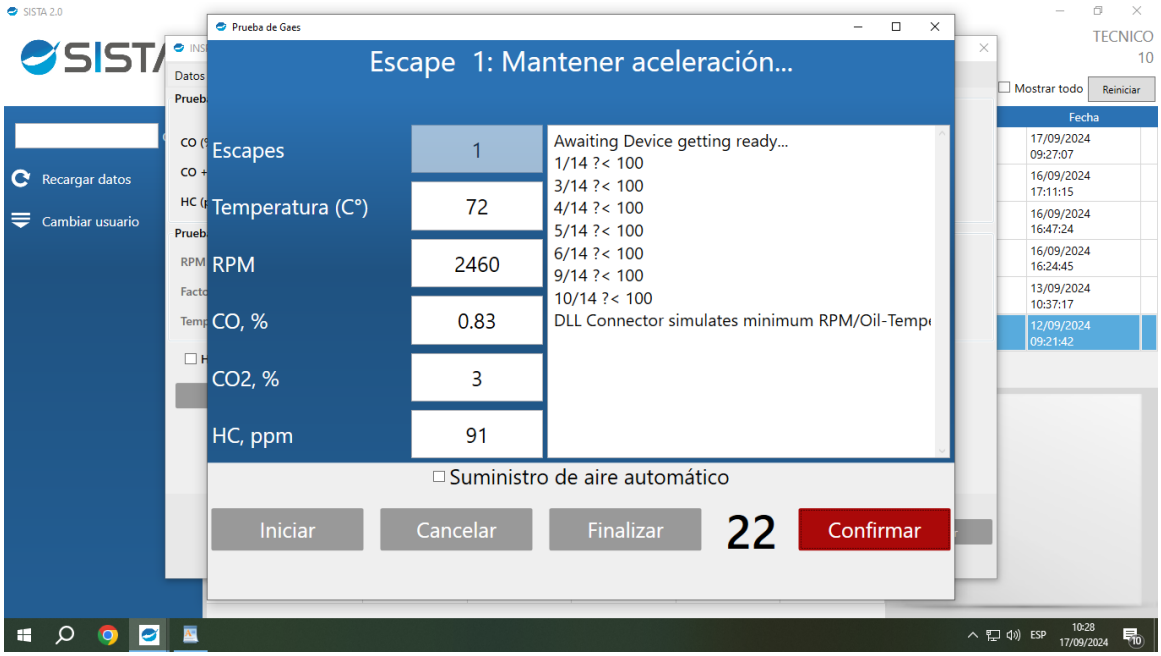


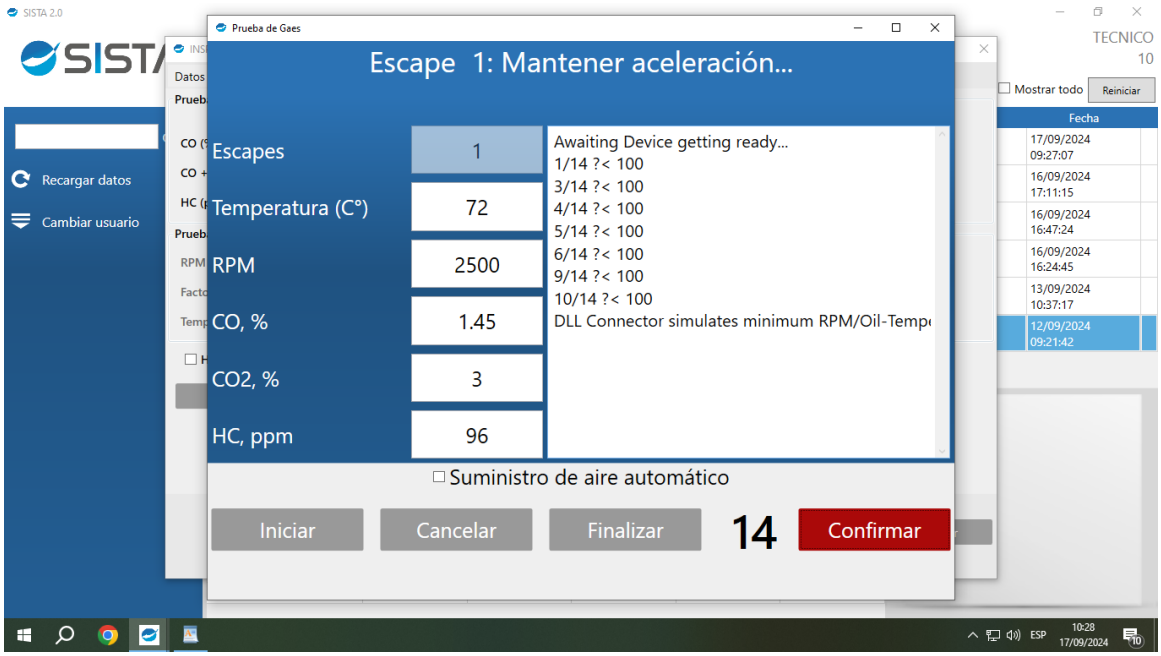


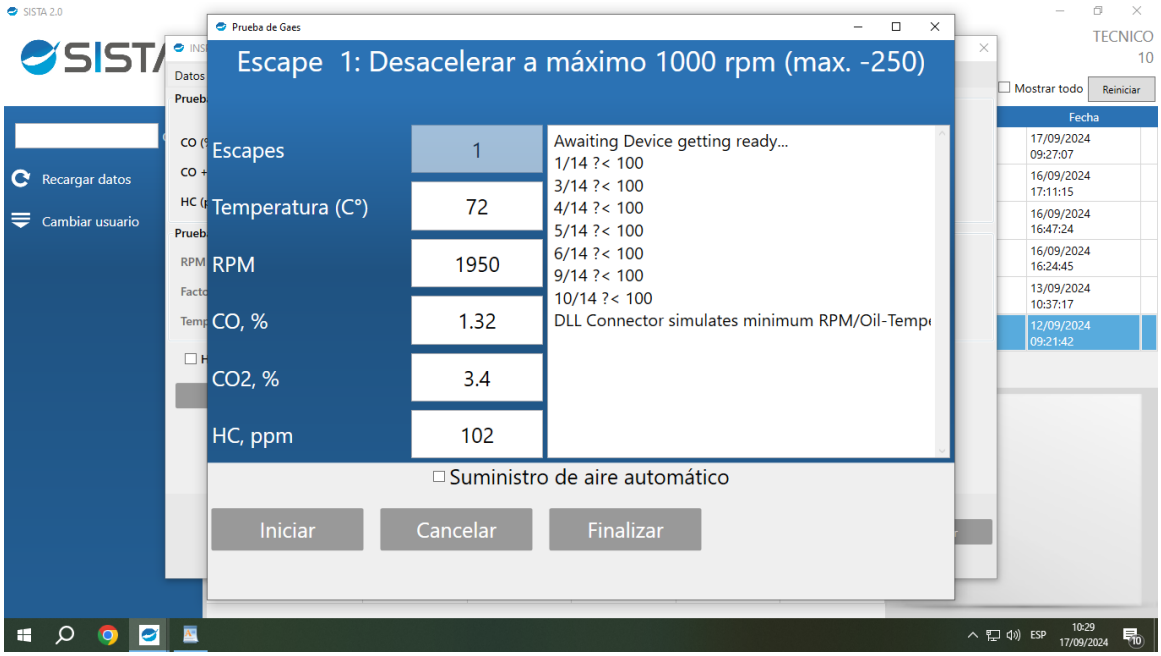

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
72
RPM
2270
CO, %
0.87
CO2, %
2.8
HC, ppm
90
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
4/14 ?< 100
5/14 ?< 100
6/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
27
Confirmar
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
10
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42

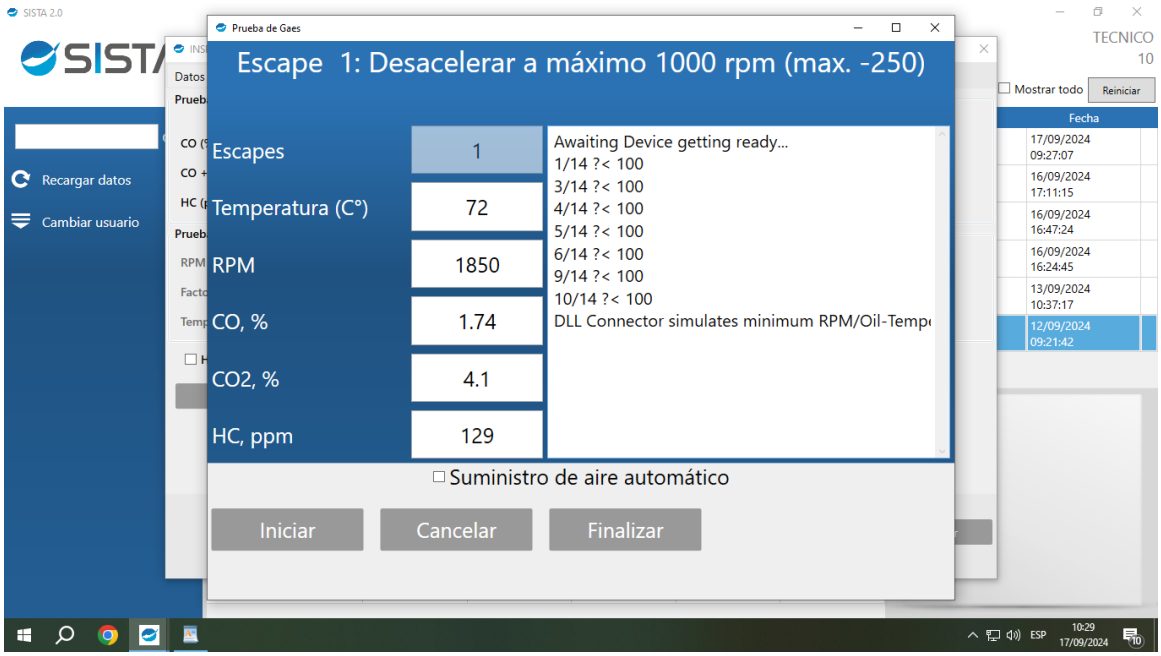

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
72
RPM
2270
CO, %
1.02
CO2, %
3
HC, ppm
90
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
4/14 ?< 100
5/14 ?< 100
6/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
27
Confirmar
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
10
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42

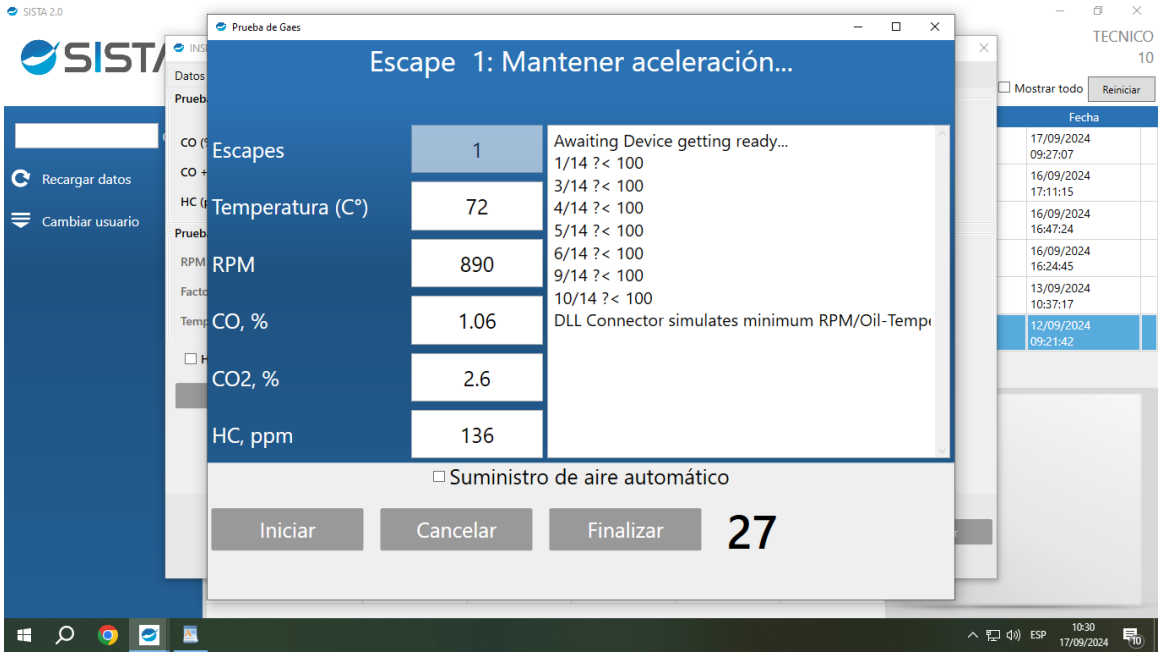

Prueba de Gaes
Escape 1: Acelerar a 2500 rpm +/- 250
Escapes 1
Temperatura (C°) 72
RPM 2240
CO, % 0.98
CO2, % 2.8
HC, ppm 89
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
4/14 ?< 100
5/14 ?< 100
6/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
Confirmar
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
10
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
ESP
10:28
17/09/2024

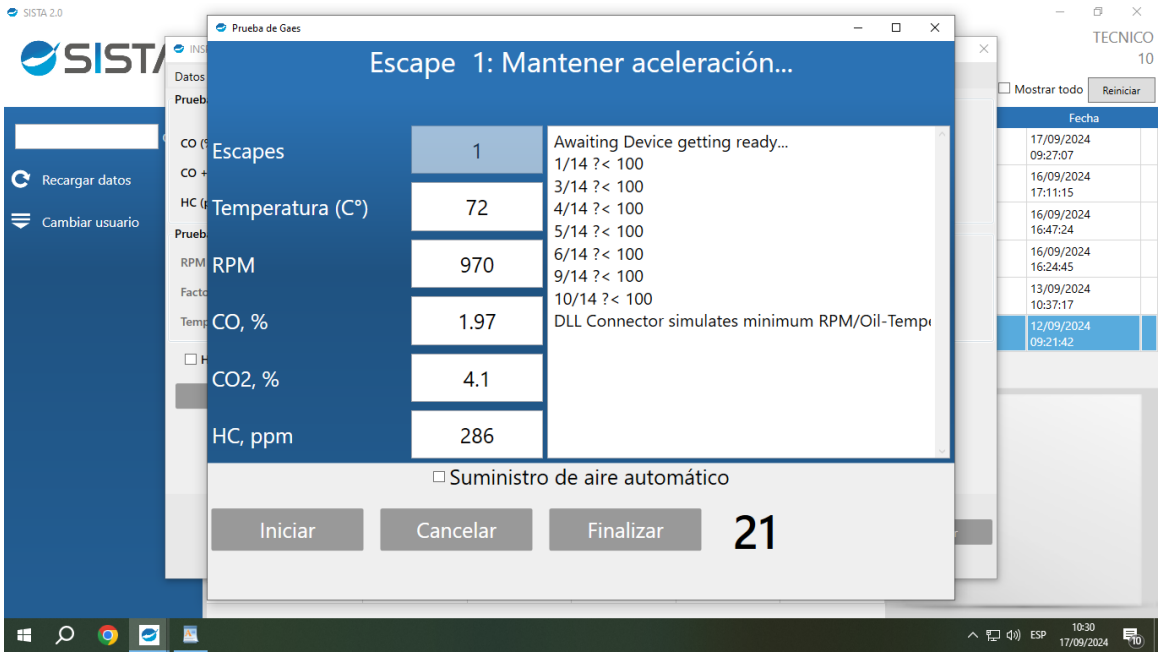

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes 1
Temperatura (C°) 72
RPM 2460
CO, % 0.83
CO2, % 3
HC, ppm 91
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
4/14 ?< 100
5/14 ?< 100
6/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
22
Confirmar
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
10
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
ESP
10:28
17/09/2024

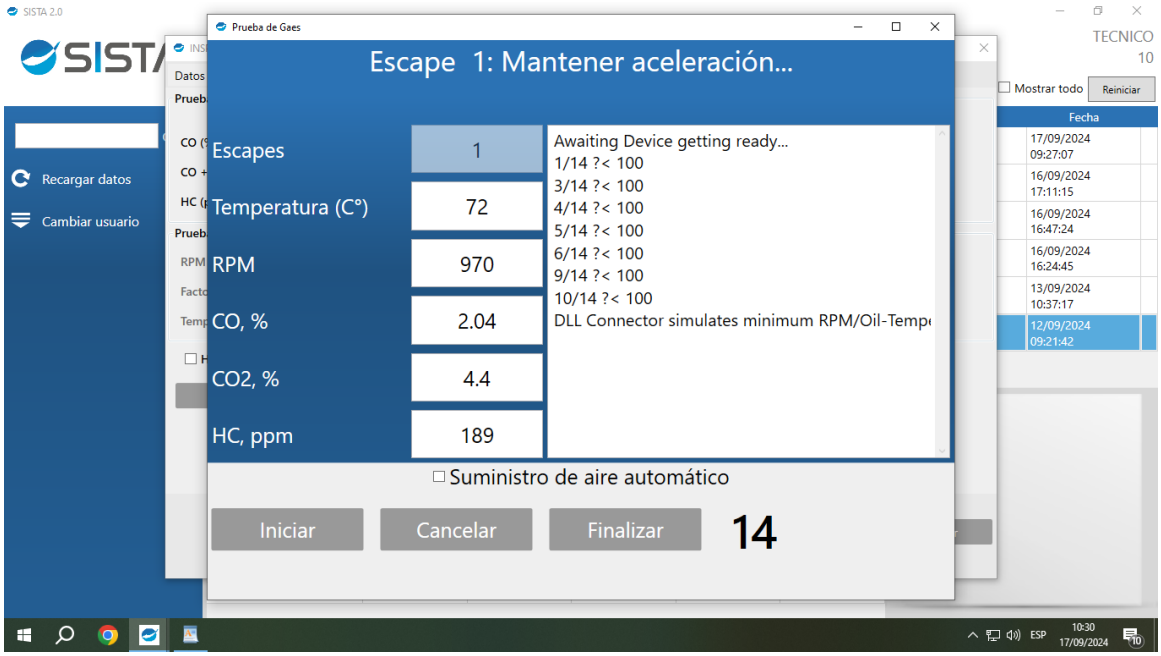

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes 1
Temperatura (C°) 72
RPM 2500
CO, % 1.45
CO2, % 3
HC, ppm 96
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
4/14 ?< 100
5/14 ?< 100
6/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
14
Confirmar
SISTA 2.0
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
10
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
ESP
10:28
17/09/2024

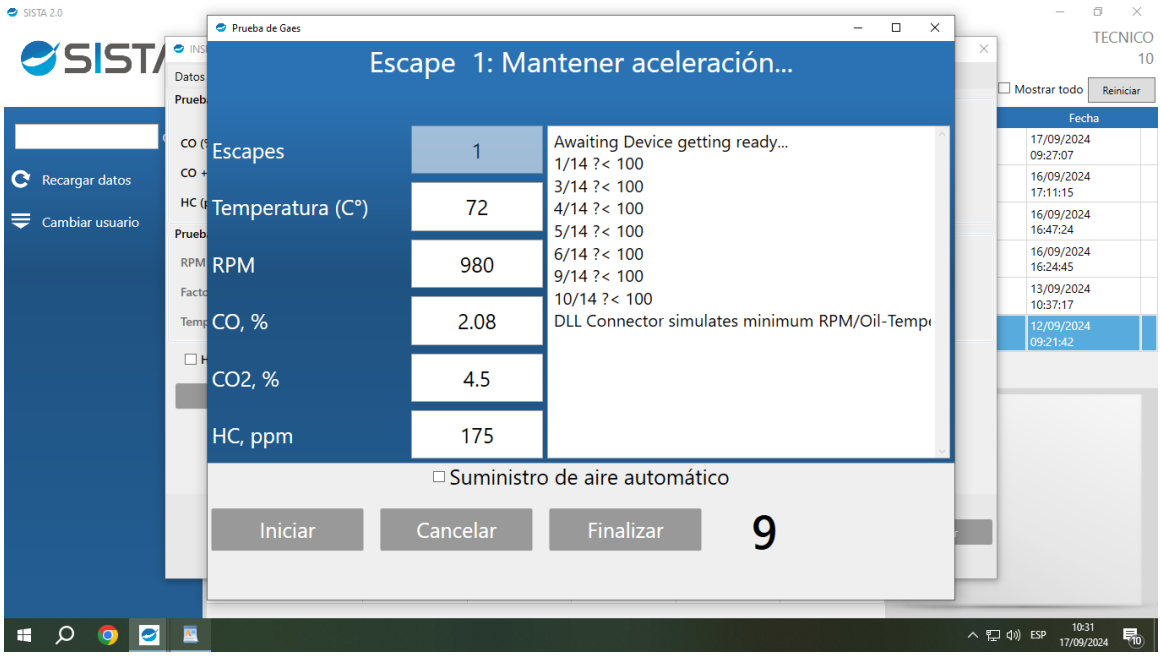

Prueba de Gaes
Escape 1: Desacelerar a máximo 1000 rpm (max. -250)
Escapes 1
Temperatura (C°) 72
RPM 1950
CO, % 1.32
CO2, % 3.4
HC, ppm 102
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
4/14 ?< 100
5/14 ?< 100
6/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
SISTA 2.0
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
10
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
ESP
10:29
17/09/2024

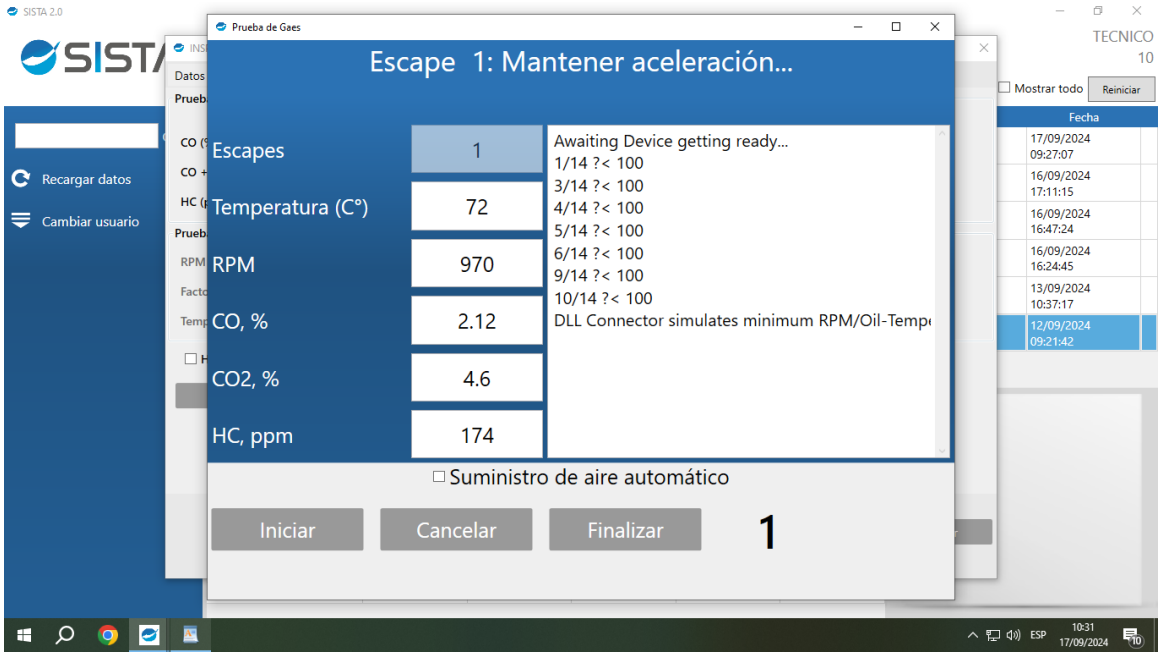

Prueba de Gaes
Escape 1: Desacelerar a máximo 1000 rpm (max. -250)
Escapes
1
Temperatura (C°)
72
RPM
1850
CO, %
1.74
CO2, %
4.1
HC, ppm
129
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
4/14 ?< 100
5/14 ?< 100
6/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
10
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
ESP
10:29
17/09/2024

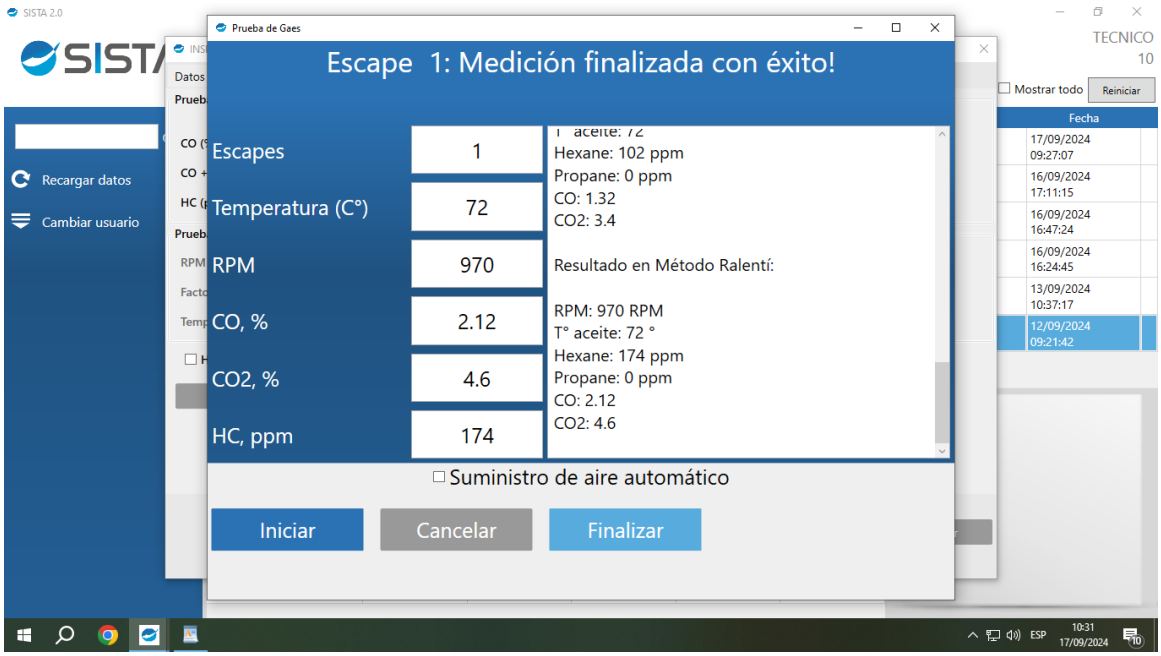

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
72
RPM
890
CO, %
1.06
CO2, %
2.6
HC, ppm
136
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
4/14 ?< 100
5/14 ?< 100
6/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
27
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
10
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
ESP
10:30
17/09/2024


Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
72
RPM
970
CO, %
1.97
CO2, %
4.1
HC, ppm
286
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
4/14 ?< 100
5/14 ?< 100
6/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
21
SISTA 2.0
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
10
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
ESP
10:30
17/09/2024


Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
72
RPM
970
CO, %
2.04
CO2, %
4.4
HC, ppm
189
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
4/14 ?< 100
5/14 ?< 100
6/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
14
SISTA 2.0
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
10
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
ESP
10:30
17/09/2024


Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
72
RPM
980
CO, %
2.08
CO2, %
4.5
HC, ppm
175
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
4/14 ?< 100
5/14 ?< 100
6/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
9
SISTA 2.0
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
10
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
ESP
10:31
17/09/2024


Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
72
RPM
970
CO, %
2.12
CO2, %
4.6
HC, ppm
174
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
4/14 ?< 100
5/14 ?< 100
6/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
1
SISTA 2.0
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
10
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
ESP
10:31
17/09/2024


Prueba de Gaes
Escape 1: Medición finalizada con éxito!
Escapes
1
Temperatura (C°)
72
RPM
970
CO, %
2.12
CO2, %
4.6
HC, ppm
174
Hexane: 102 ppm
Propane: 0 ppm
CO: 1.32
CO2: 3.4
Resultado en Método Ralentí:
RPM: 970 RPM
T° aceite: 72 °
Hexane: 174 ppm
Propane: 0 ppm
CO: 2.12
CO2: 4.6
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
10
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
ESP
10:31
17/09/2024

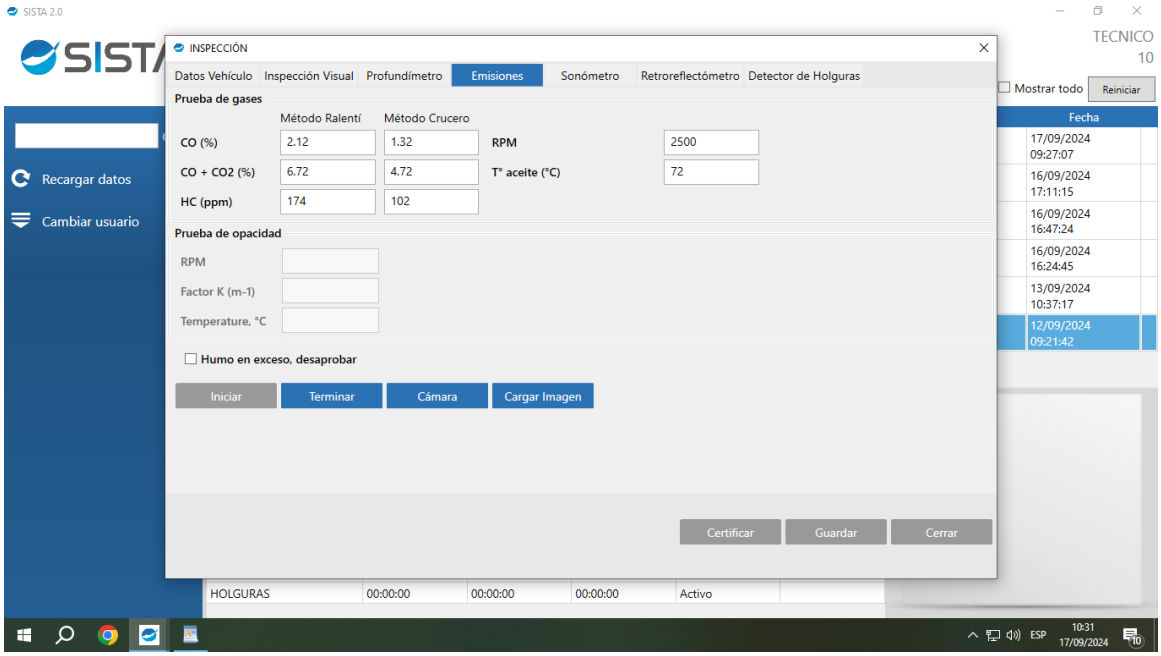
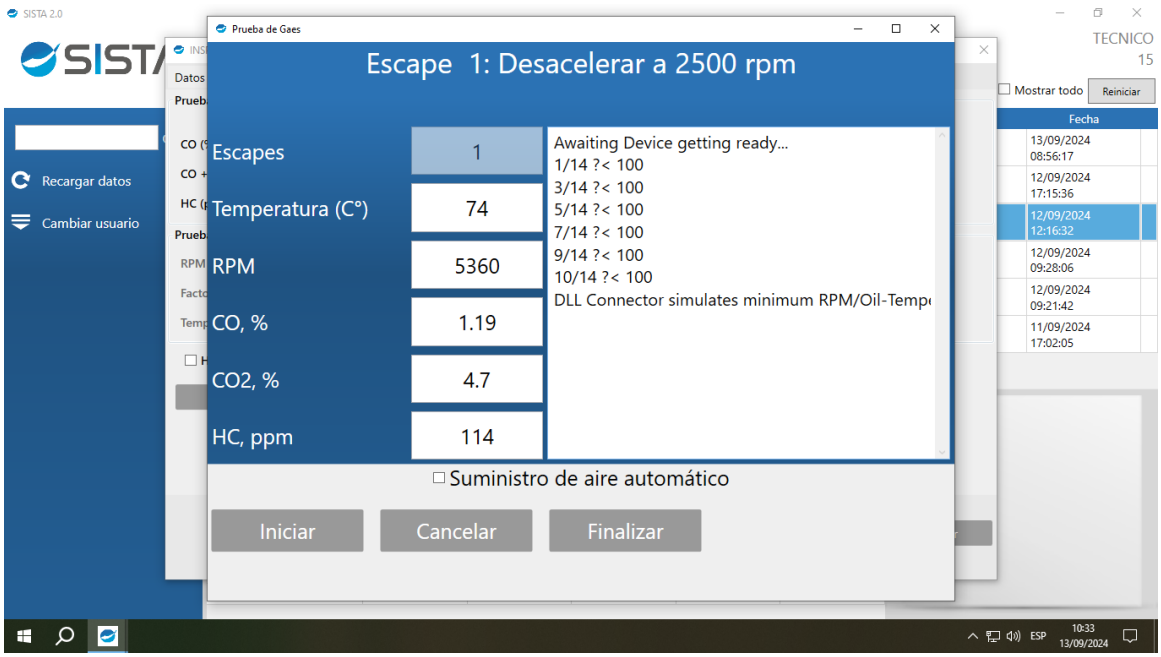
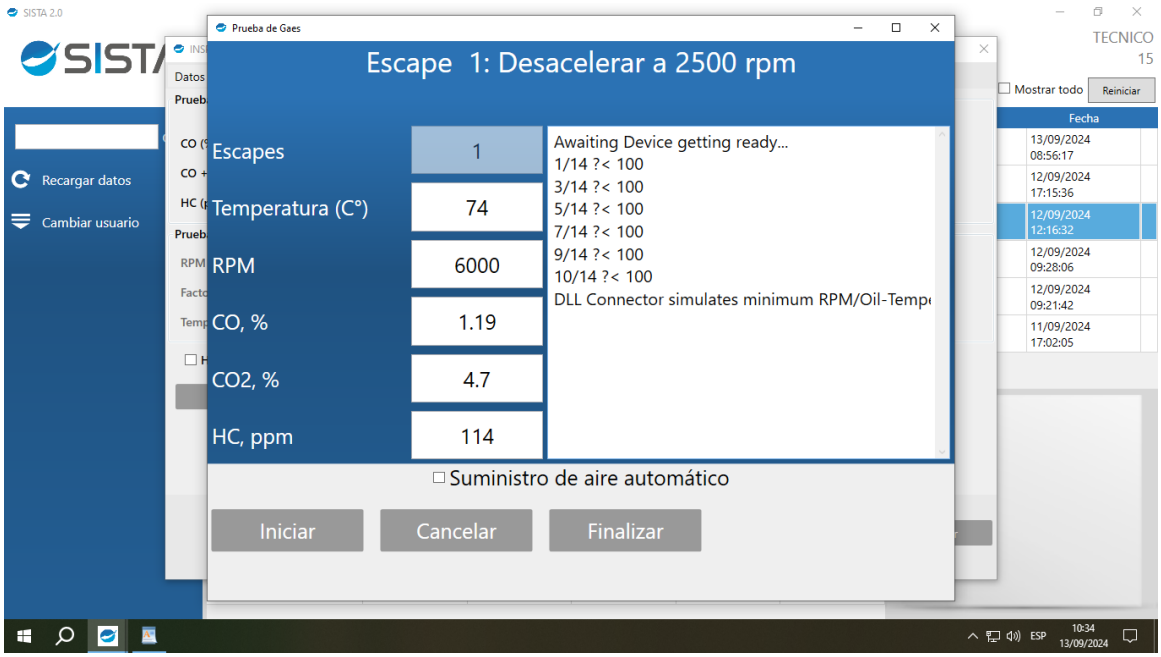
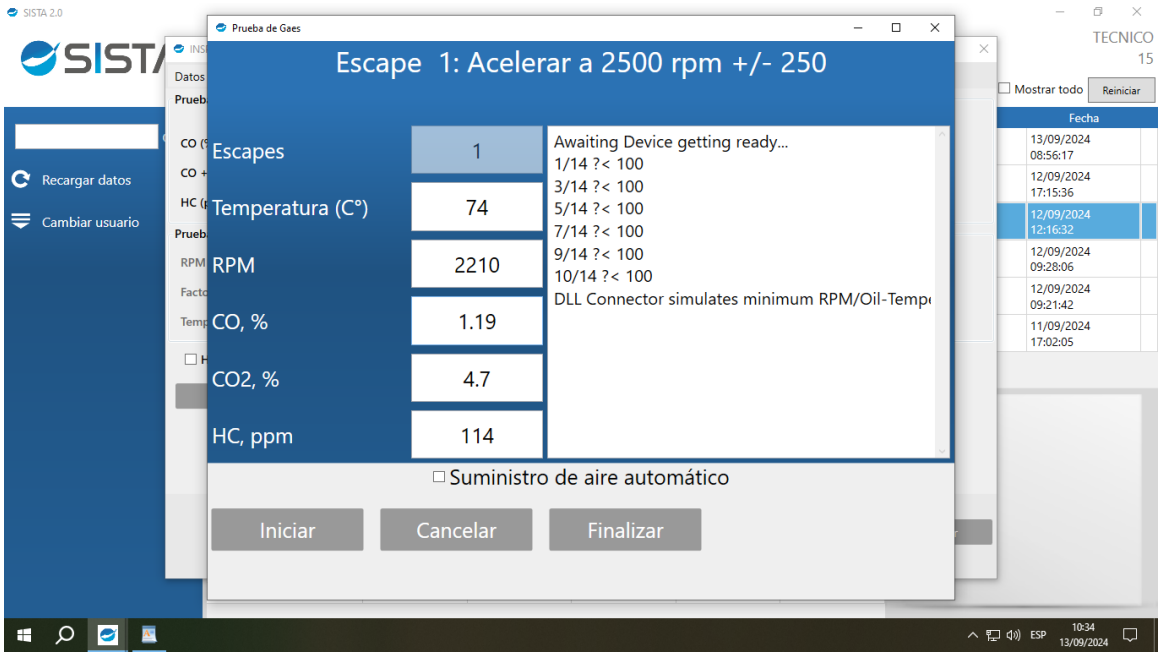

INSPECCIÓN
Datos Vehículo
Inspección Visual
Profundímetro
Emisiones
Sonómetro
Retroreflectómetro
Detector de Holguras
Prueba de gases
Método Ralentí
Método Crucero
CO (%)
2.12
1.32
CO + CO2 (%)
6.72
4.72
HC (ppm)
174
102
RPM
2500
T° aceite (°C)
72
Prueba de opacidad
RPM
Factor K (m-1)
Temperature, °C
Humo en exceso, desaprobar
Iniciar
Terminar
Cámara
Cargar Imagen
Certificar
Guardar
Cerrar
HOLGURAS
00:00:00
00:00:00
00:00:00
Activo
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
10
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
ESP
10:31
17/09/2024

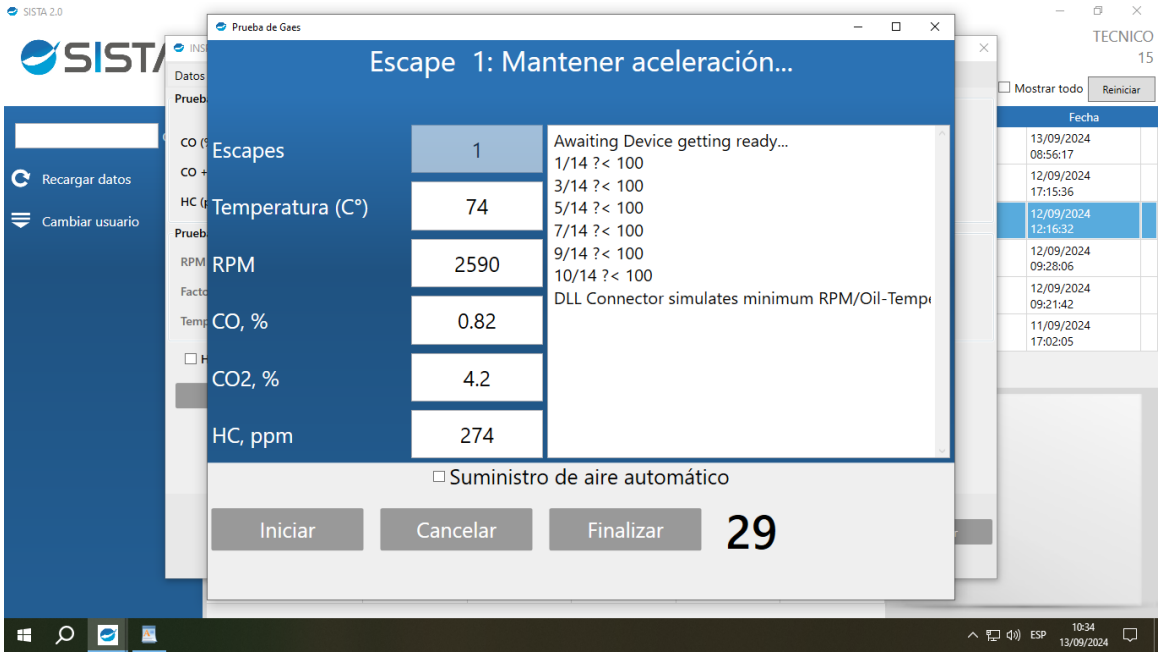
Figura P4

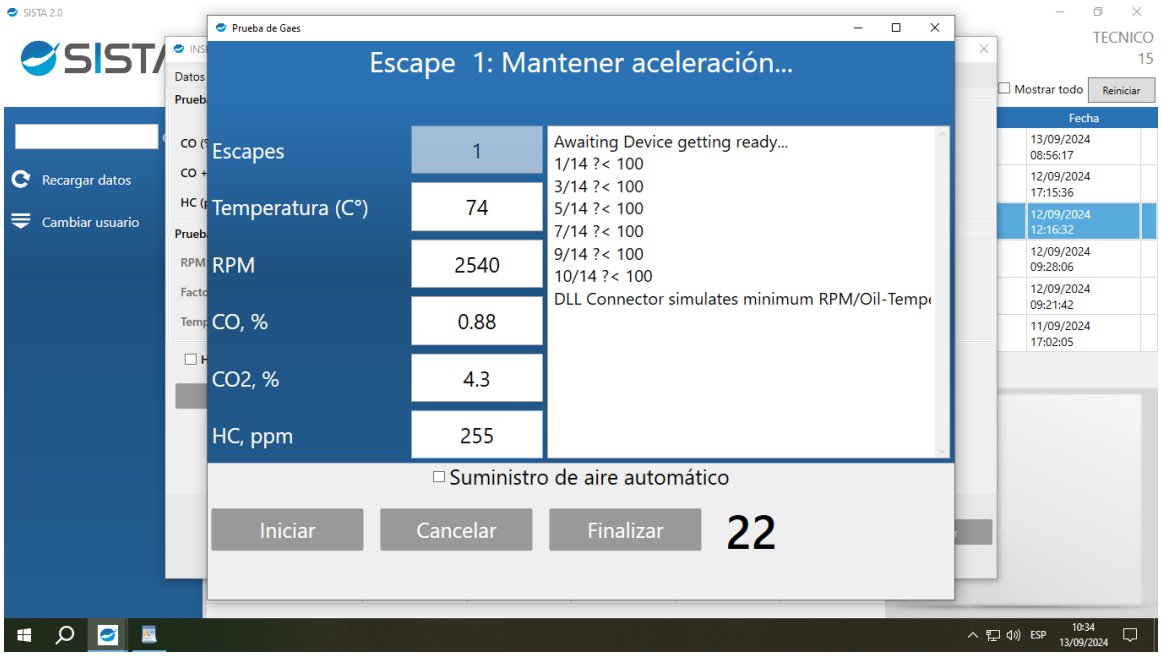
Datos experimentales – Emisiones E30

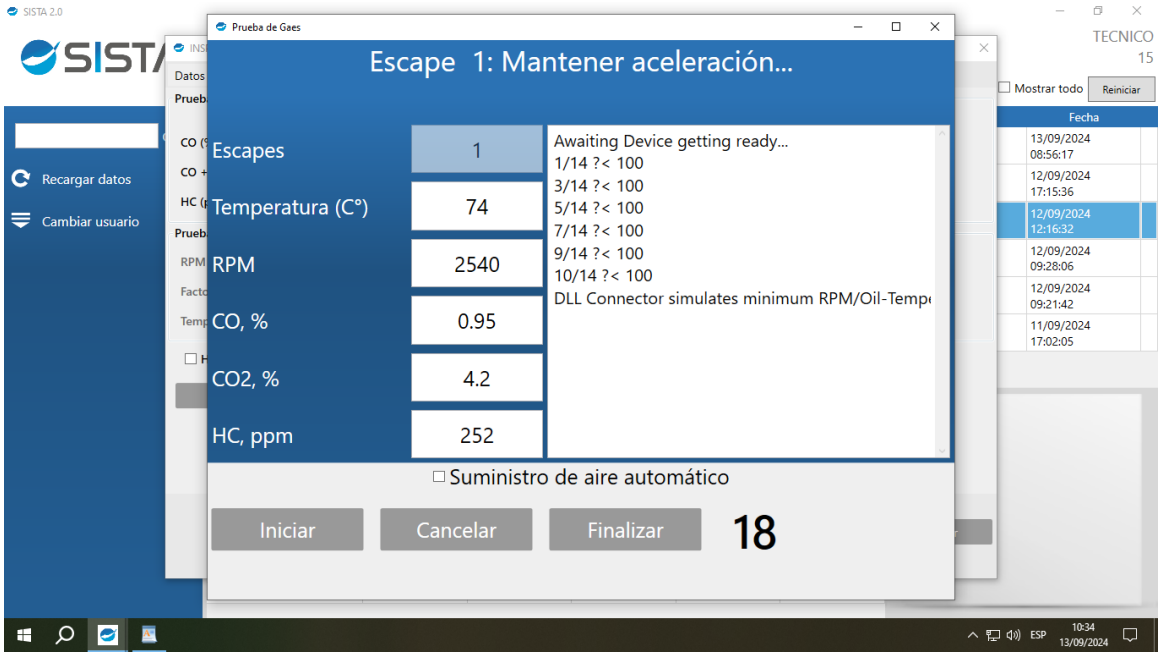


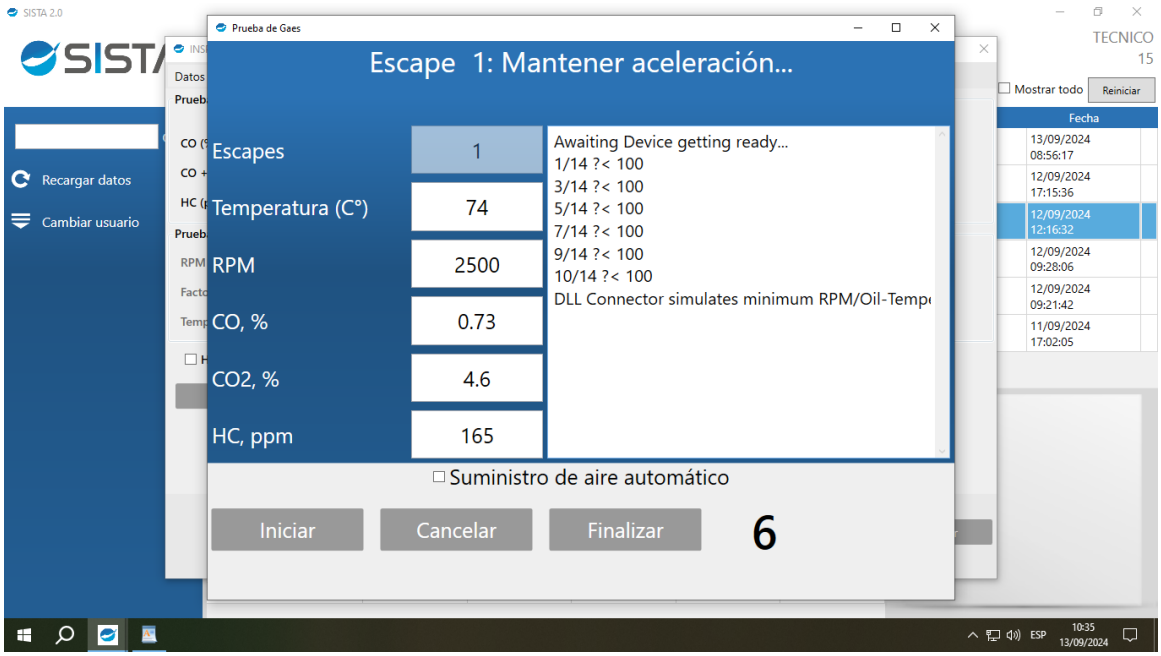


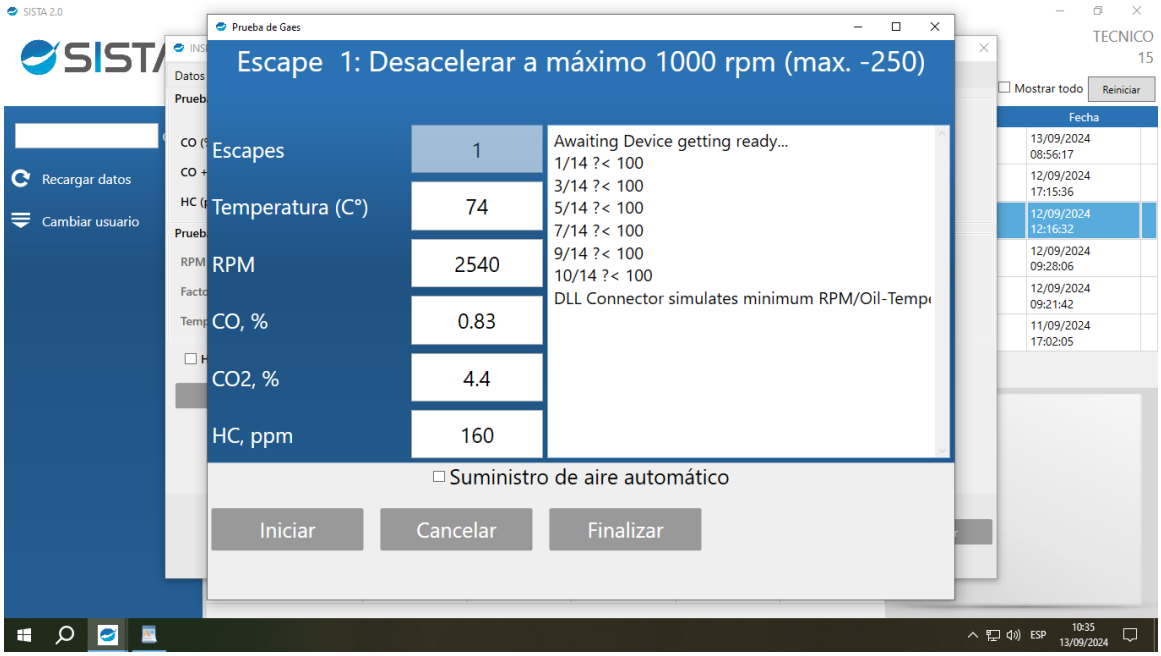

Prueba de Gaes
Escape 1: Acelerar a 2500 rpm +/- 250
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
2210
CO, %
1.19
CO2, %
4.7
HC, ppm
114
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
7/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
Recargar datos
Cambiar usuario
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
12/09/2024 12:16:32
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05
TECNICO
15
ESP
10:34
13/09/2024

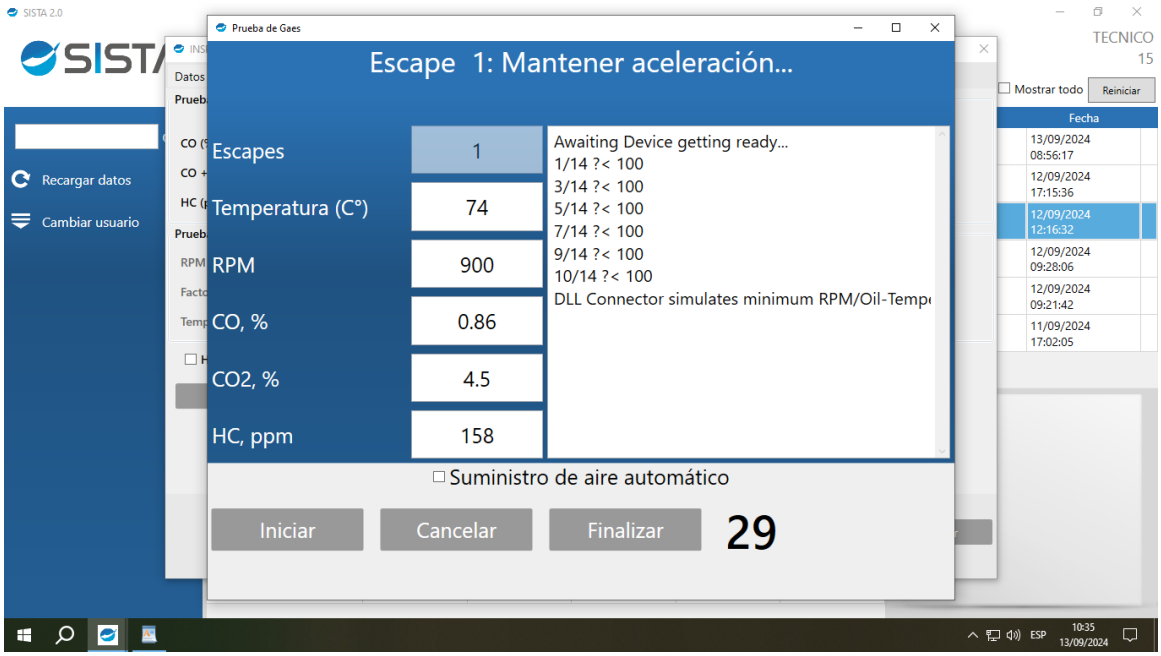

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
2590
CO, %
0.82
CO2, %
4.2
HC, ppm
274
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
7/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
29
Recargar datos
Cambiar usuario
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
12/09/2024 12:16:32
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05
TECNICO
15
ESP
10:34
13/09/2024

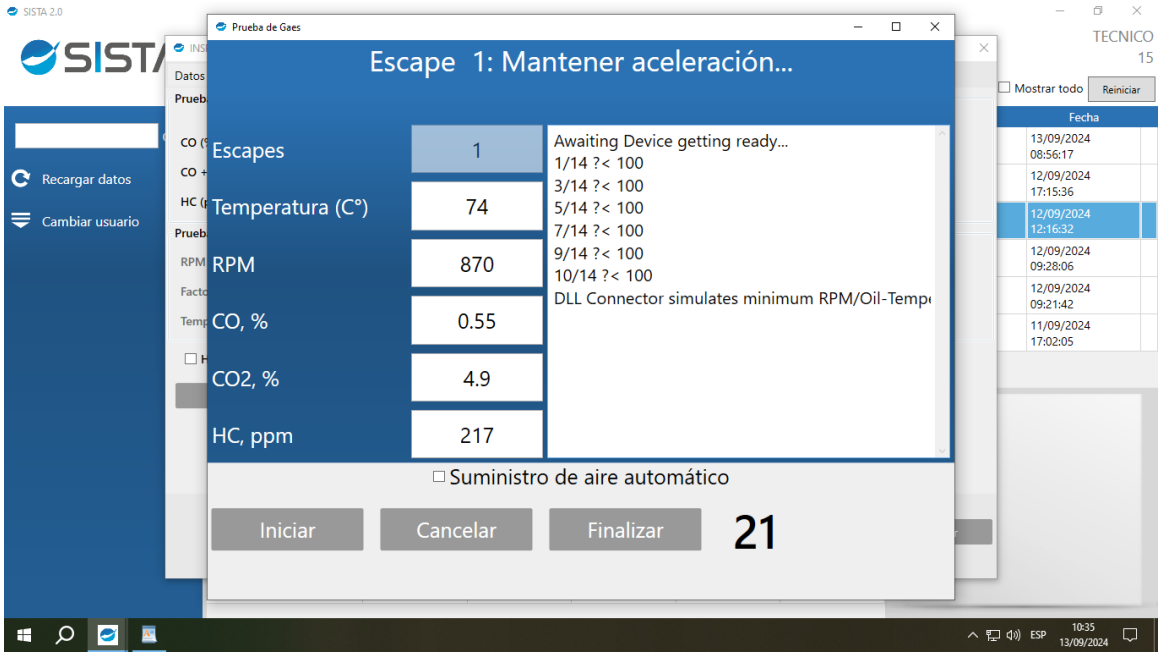

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
2540
CO, %
0.88
CO2, %
4.3
HC, ppm
255
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
7/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
22
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
15
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
12/09/2024 12:16:32
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05

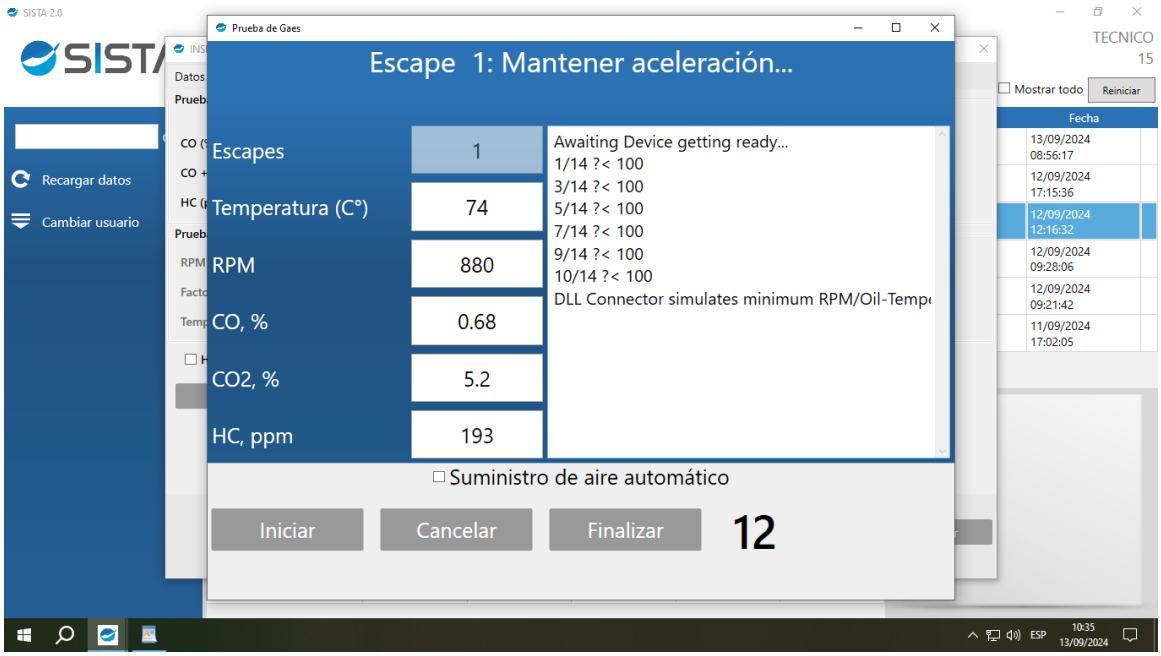

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
2540
CO, %
0.95
CO2, %
4.2
HC, ppm
252
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
7/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
18
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
15
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
12/09/2024 12:16:32
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05


Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
2500
CO, %
0.73
CO2, %
4.6
HC, ppm
165
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
7/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
6
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
15
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
12/09/2024 12:16:32
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05


Prueba de Gaes
Escape 1: Desacelerar a máximo 1000 rpm (max. -250)
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
2540
CO, %
0.83
CO2, %
4.4
HC, ppm
160
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
7/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
15
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
12/09/2024 12:16:32
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05


Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
900
CO, %
0.86
CO2, %
4.5
HC, ppm
158
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
7/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
29
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
15
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
12/09/2024 12:16:32
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05


Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
870
CO, %
0.55
CO2, %
4.9
HC, ppm
217
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
7/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
21
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
15
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
12/09/2024 12:16:32
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05


Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
880
CO, %
0.68
CO2, %
5.2
HC, ppm
193
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
3/14 ?< 100
5/14 ?< 100
7/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
12
Recargar datos
Cambiar usuario
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
12/09/2024 12:16:32
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05
TECNICO
15
ESP
10:35
13/09/2024

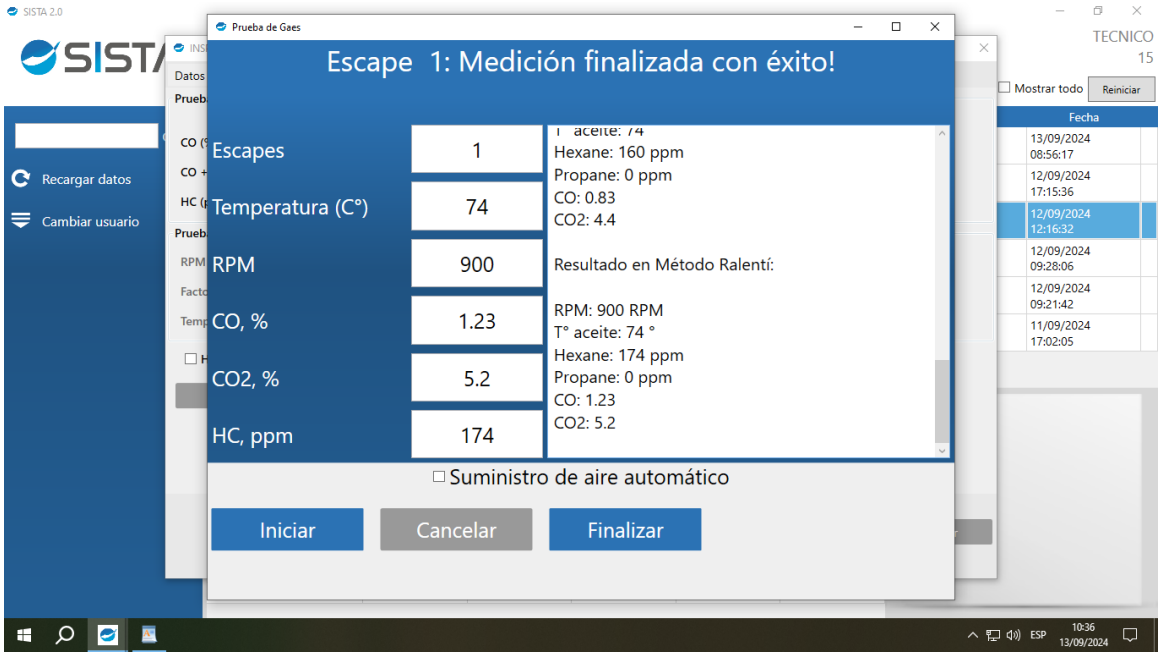
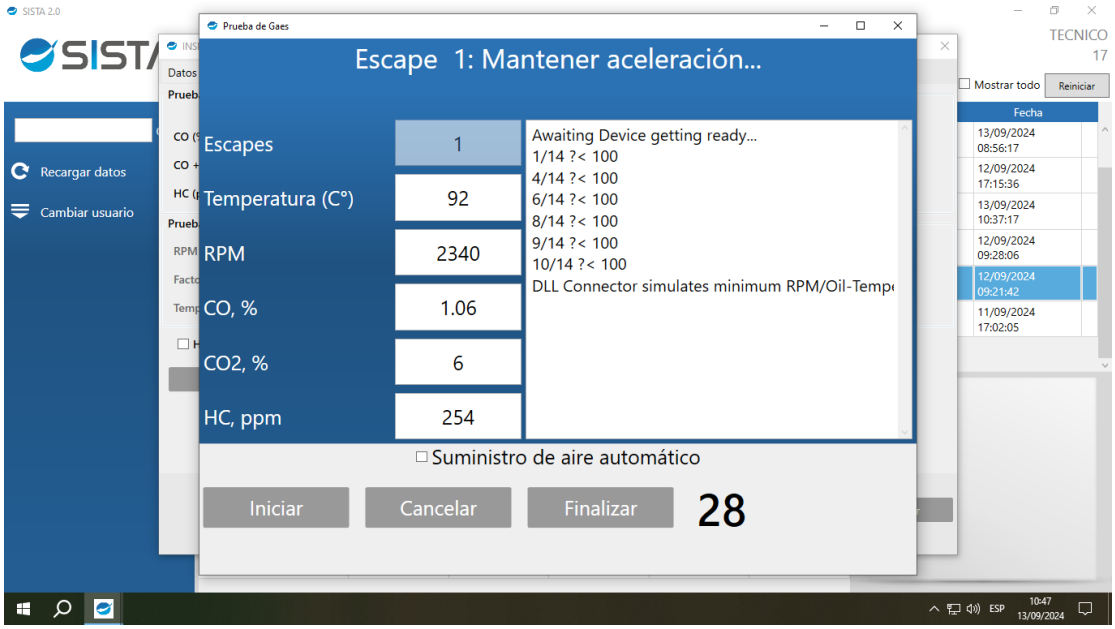
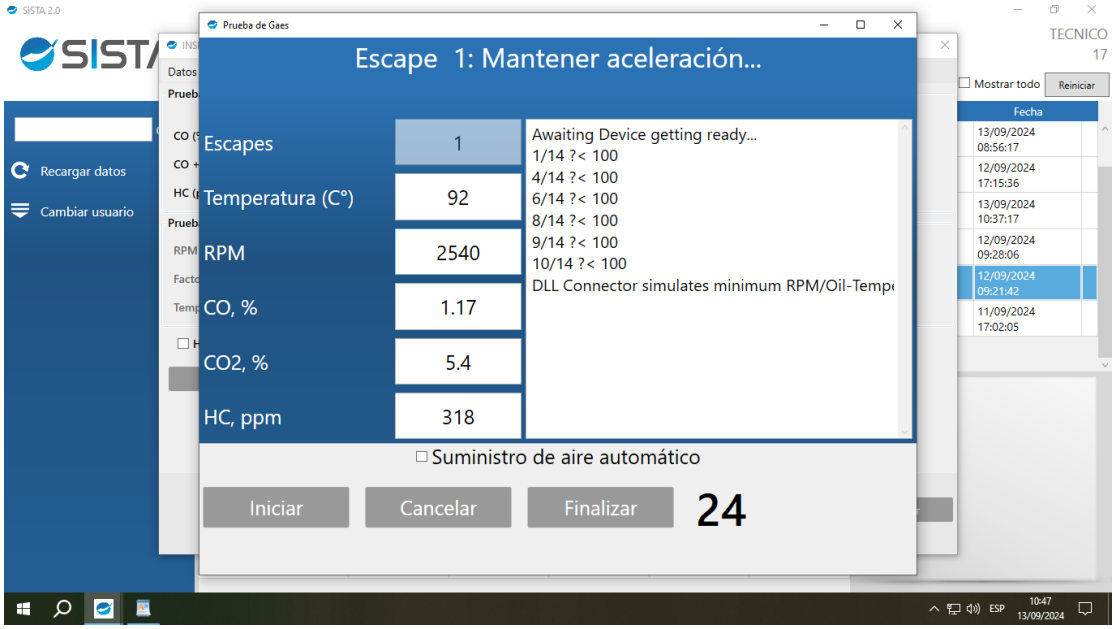
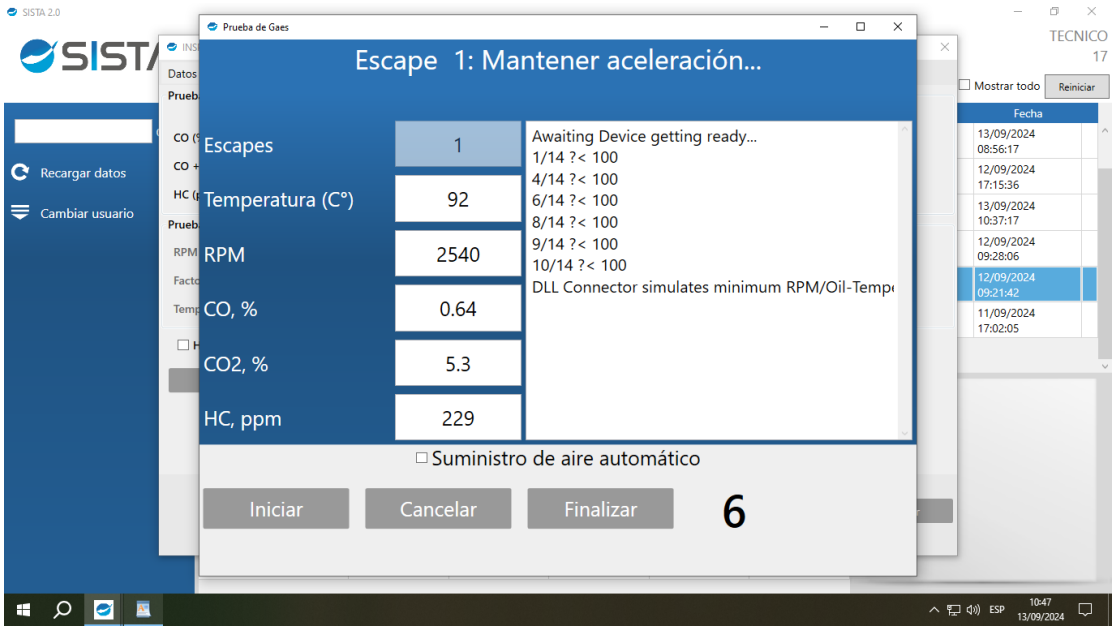

Prueba de Gaes
Escape 1: Medición finalizada con éxito!
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
900
CO, %
1.23
CO2, %
5.2
HC, ppm
174
Hexane: 160 ppm
Propane: 0 ppm
CO: 0.83
CO2: 4.4
Resultado en Método Ralentí:
RPM: 900 RPM
T° aceite: 74 °
Hexane: 174 ppm
Propane: 0 ppm
CO: 1.23
CO2: 5.2
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
Recargar datos
Cambiar usuario
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
12/09/2024 12:16:32
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05
TECNICO
15
ESP
10:36
13/09/2024

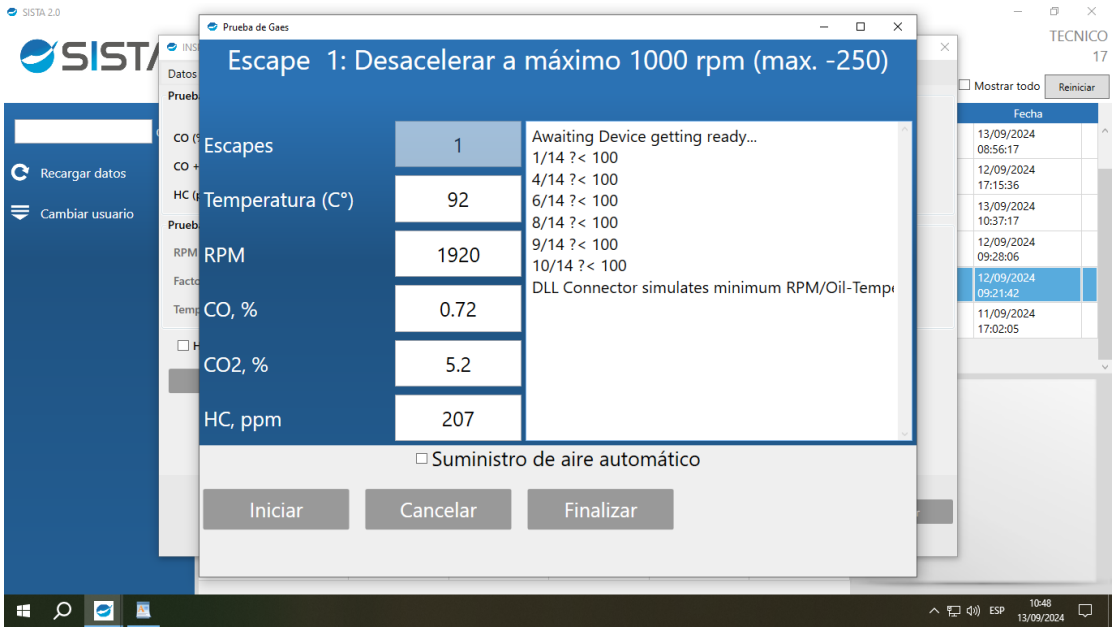
Figura P5

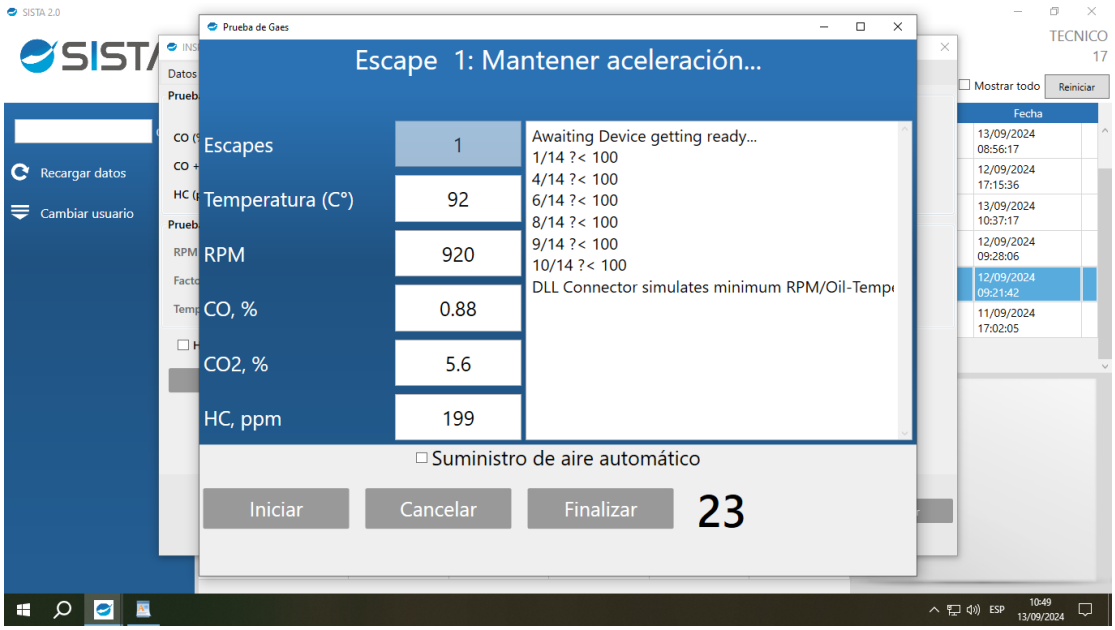
Datos experimentales – Emisiones E40

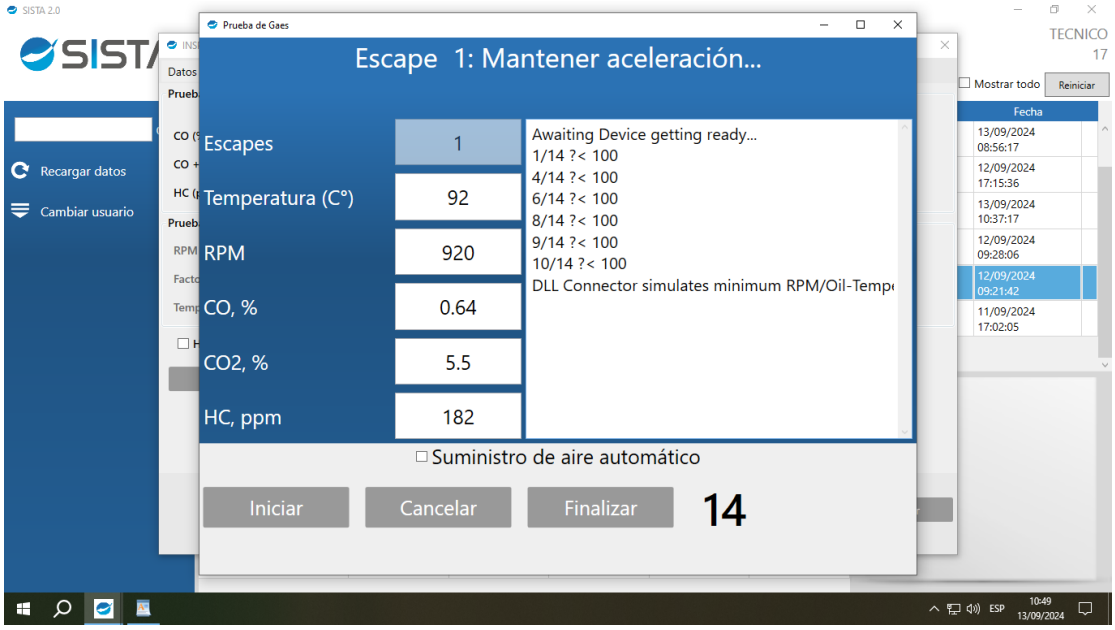


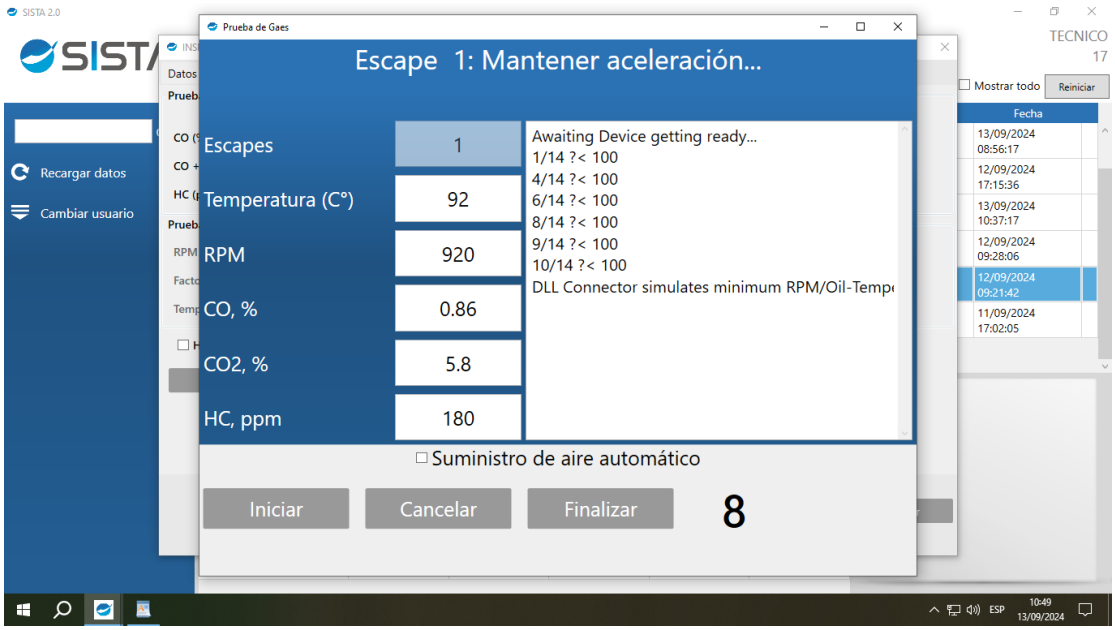


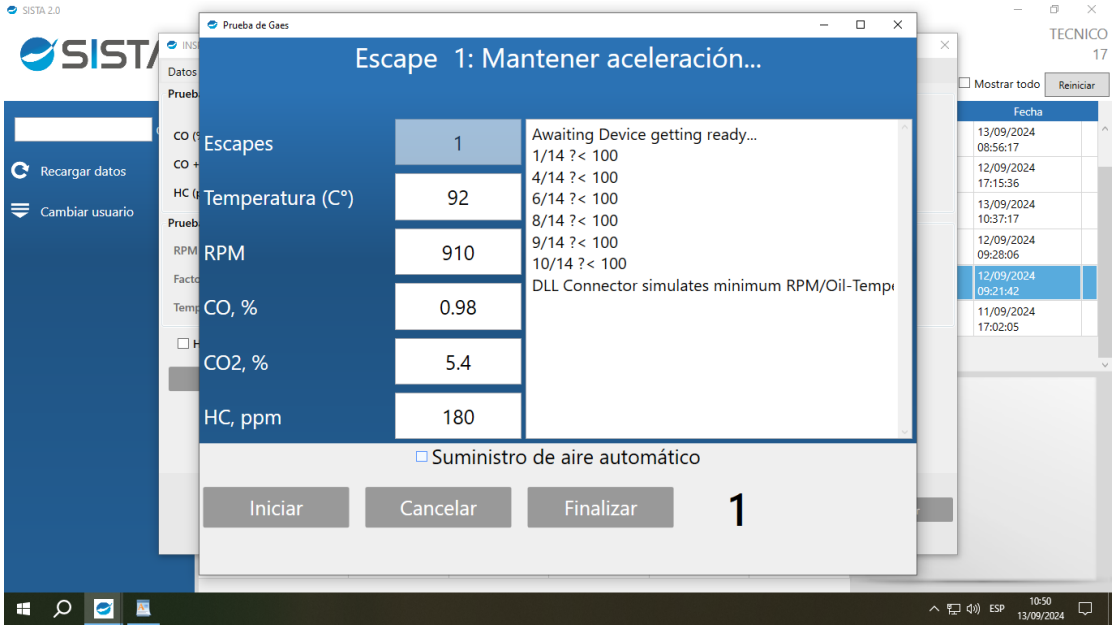

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
92
RPM
2540
CO, %
0.64
CO2, %
5.3
HC, ppm
229
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
6
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
17
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05


Prueba de Gaes
Escape 1: Desacelerar a máximo 1000 rpm (max. -250)
Escapes
1
Temperatura (C°)
92
RPM
1920
CO, %
0.72
CO2, %
5.2
HC, ppm
207
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
17
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05


Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
92
RPM
920
CO, %
0.88
CO2, %
5.6
HC, ppm
199
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
23
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
17
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05


Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
92
RPM
920
CO, %
0.64
CO2, %
5.5
HC, ppm
182
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
14
Recargar datos
Cambiar usuario
TECNICO
17
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05


Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
92
RPM
920
CO, %
0.86
CO2, %
5.8
HC, ppm
180
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
8
TECNICO
17
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05
Recargar datos
Cambiar usuario


Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
92
RPM
910
CO, %
0.98
CO2, %
5.4
HC, ppm
180
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Temp
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
1
TECNICO
17
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05
Recargar datos
Cambiar usuario

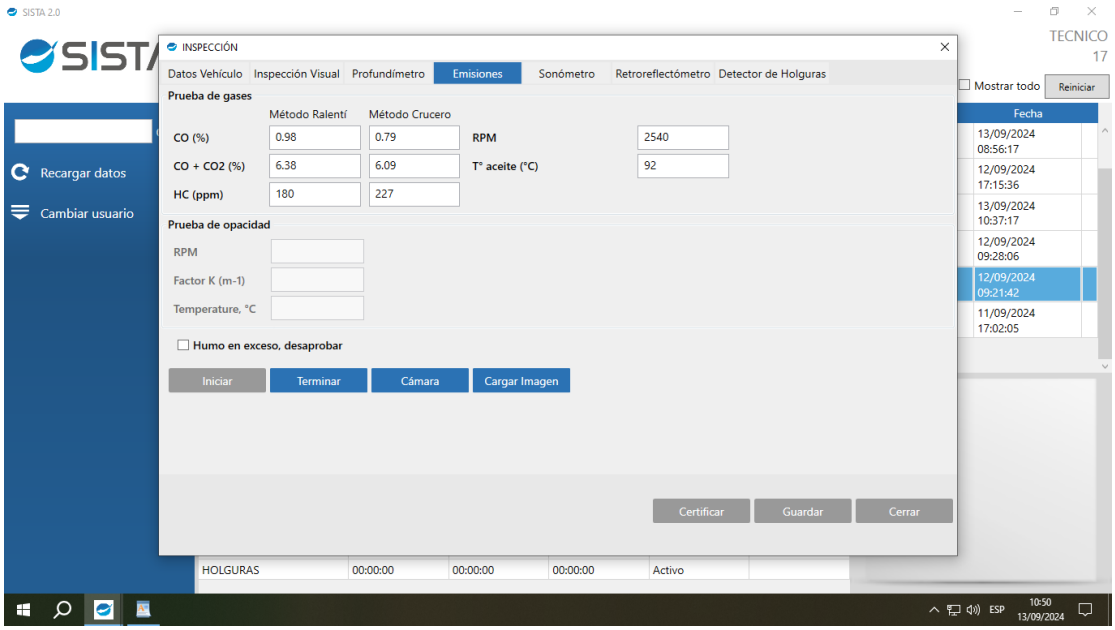
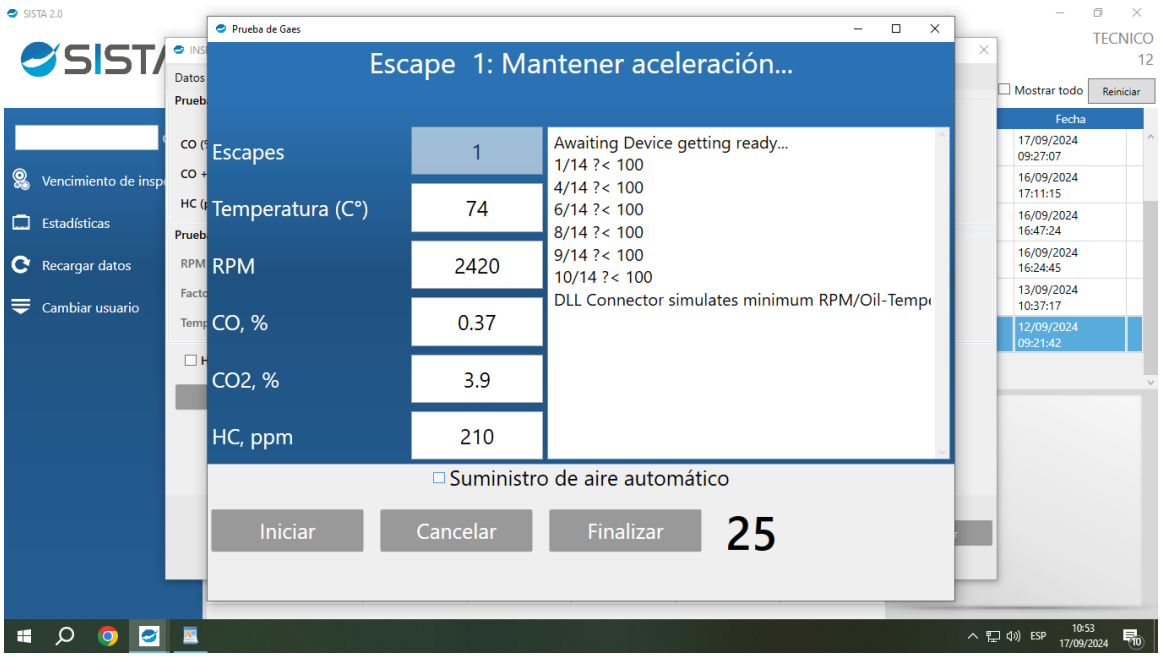
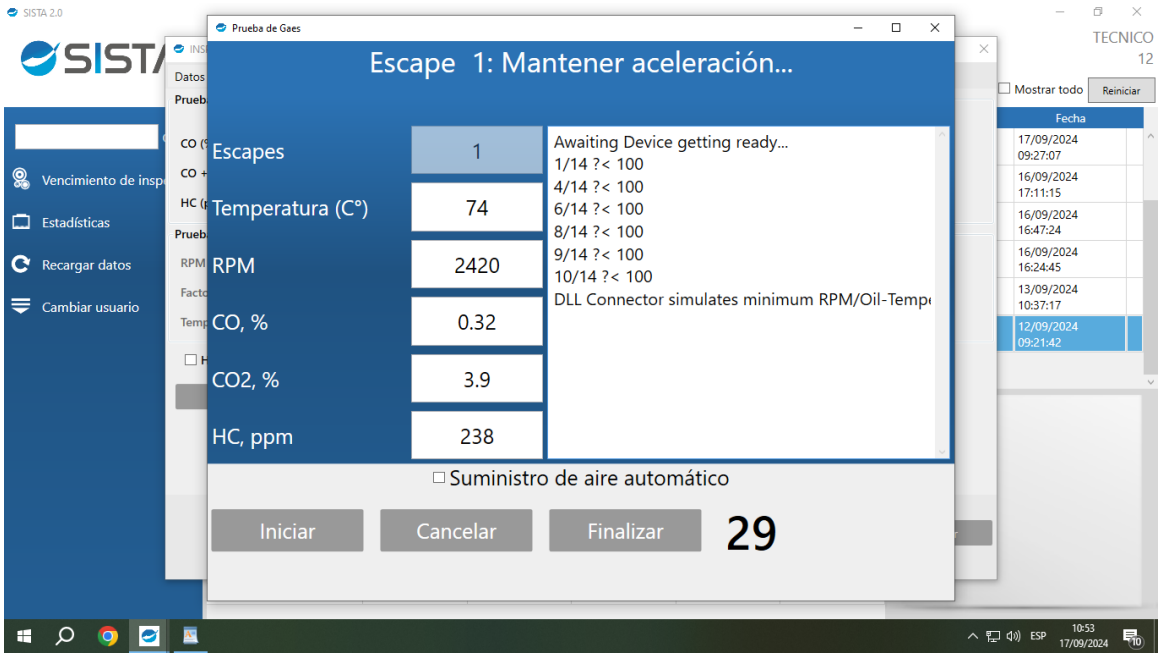
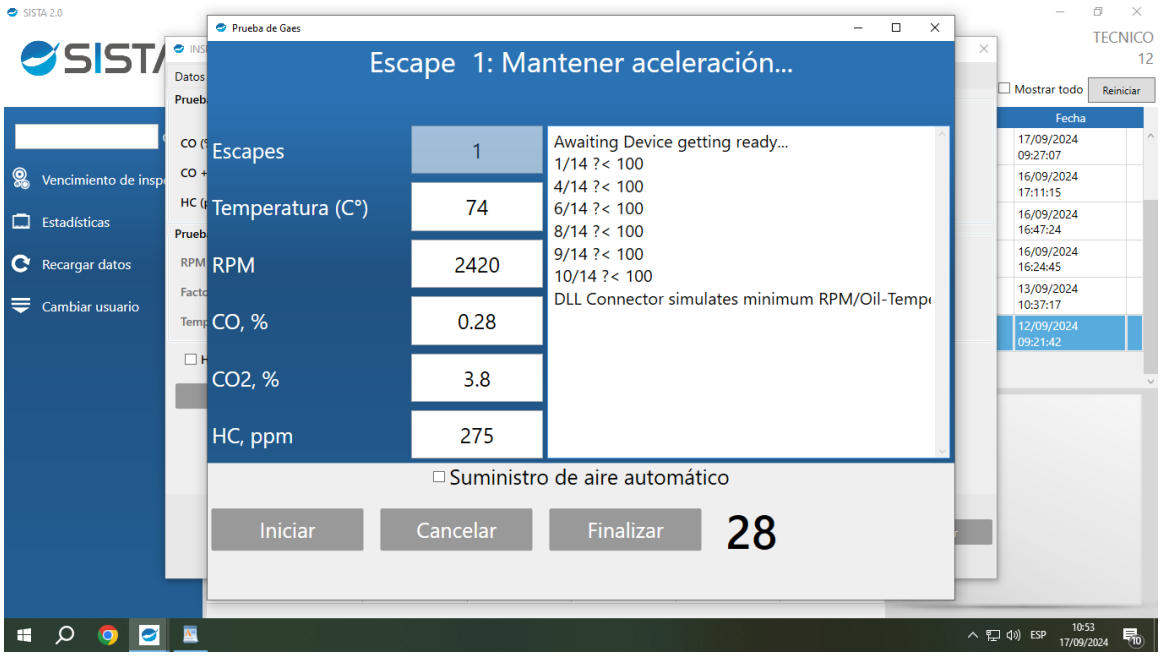

SISTA 2.0
SISTA
TECNICO
17
Recargar datos
Cambiar usuario
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
13/09/2024 08:56:17
12/09/2024 17:15:36
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:28:06
12/09/2024 09:21:42
11/09/2024 17:02:05
INSPECCIÓN
Datos Vehículo
Inspección Visual
Profundímetro
Emisiones
Sonómetro
Retroreflectómetro
Detector de Holguras
Prueba de gases
Método Ralentí
Método Crucero
CO (%)
0.98
0.79
RPM
2540
CO + CO2 (%)
6.38
6.09
T° aceite (°C)
92
HC (ppm)
180
227
Prueba de opacidad
RPM
Factor K (m-1)
Temperature, °C
Humo en exceso, desaprobar
Iniciar
Terminar
Cámara
Cargar Imagen
Certificar
Guardar
Cerrar
HOLGURAS
00:00:00
00:00:00
00:00:00
Activo
ESP
10:50
13/09/2024

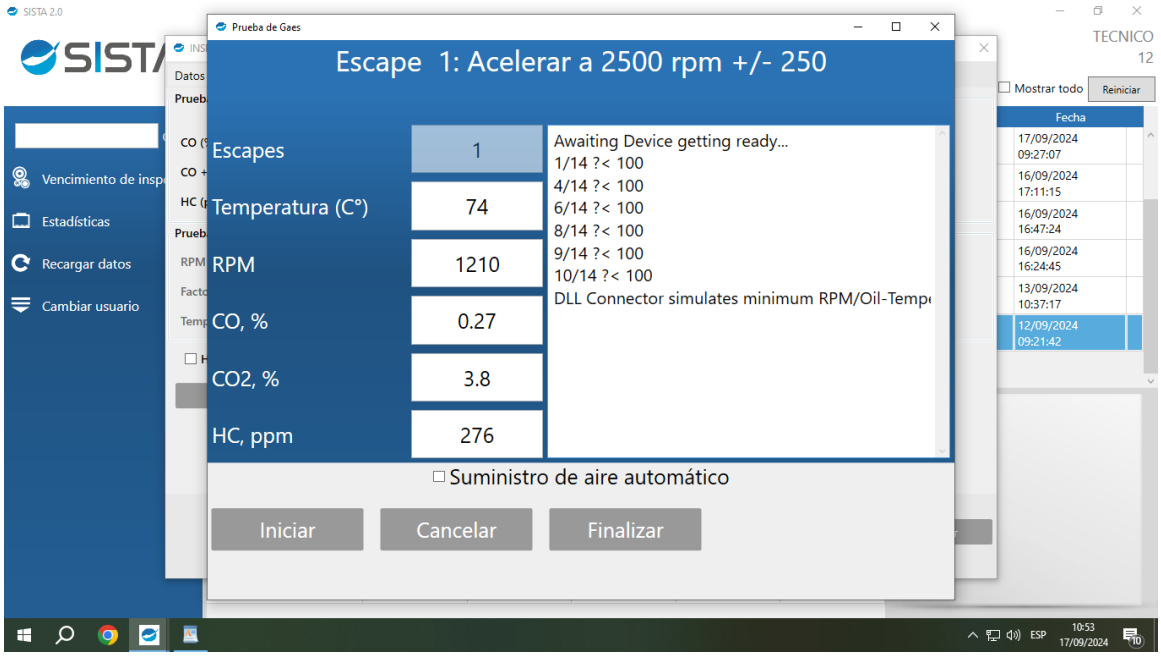
Figura P6

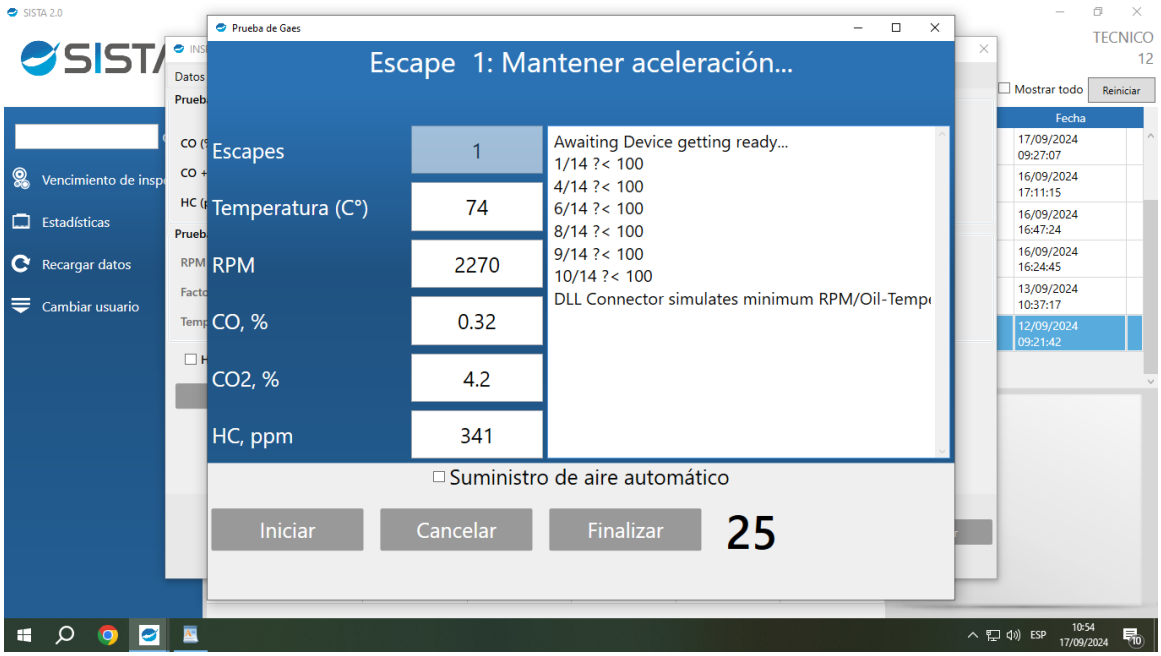
Datos experimentales – Emisiones E50

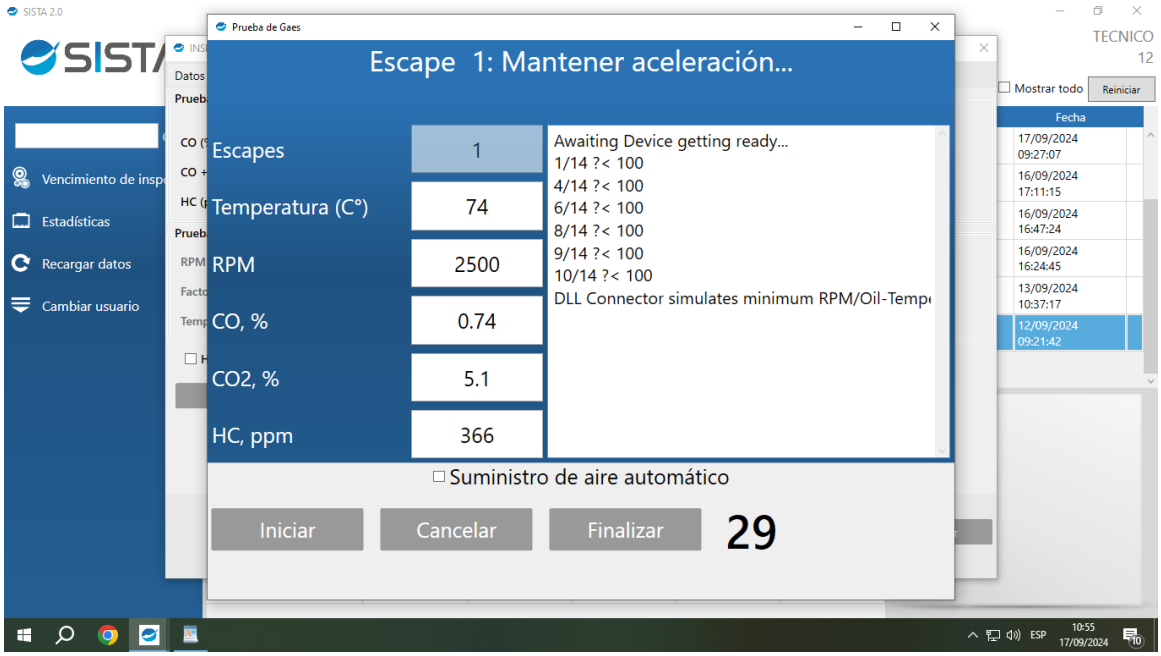


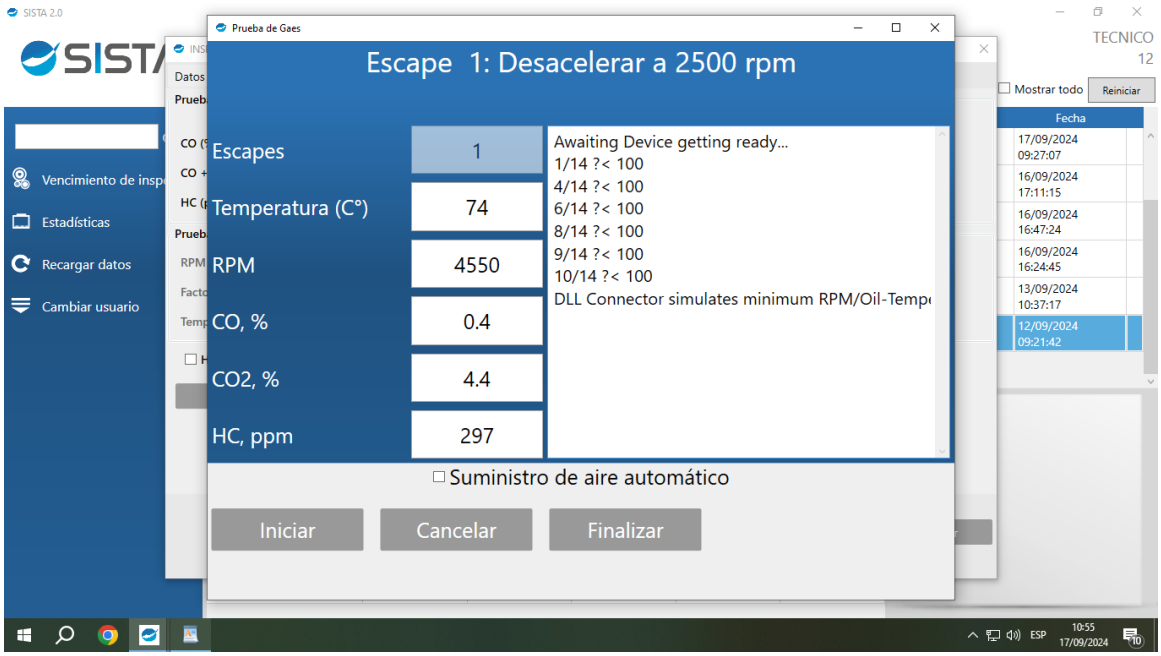


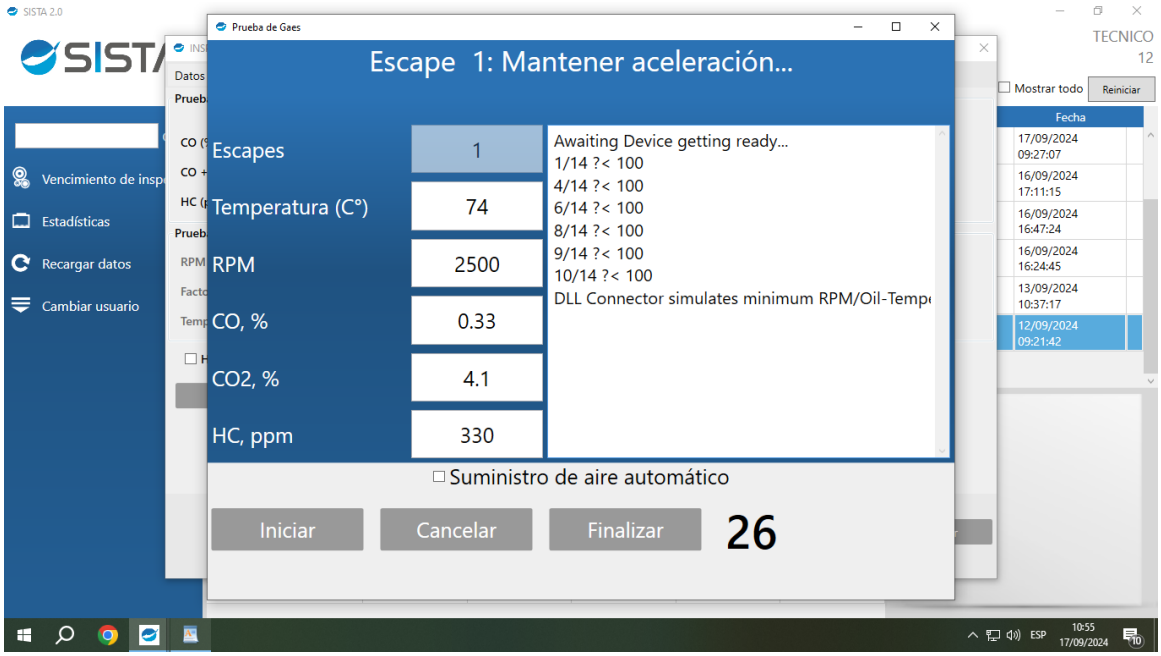

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
2420
CO, %
0.28
CO2, %
3.8
HC, ppm
275
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
28
TECNICO
12
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
Vencimiento de inspe
Estadísticas
Recargar datos
Cambiar usuario
ESP
10:53
17/09/2024

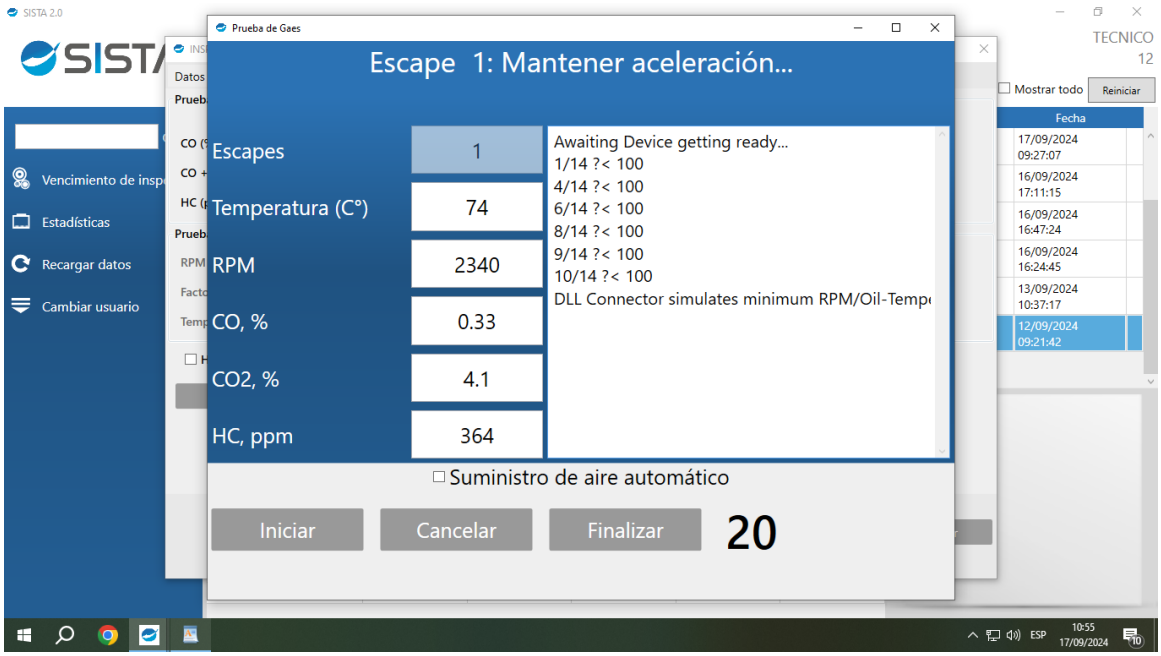

Prueba de Gaes
Escape 1: Acelerar a 2500 rpm +/- 250
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
1210
CO, %
0.27
CO2, %
3.8
HC, ppm
276
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
TECNICO
12
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
Vencimiento de inspe
Estadísticas
Recargar datos
Cambiar usuario
ESP
10:53
17/09/2024

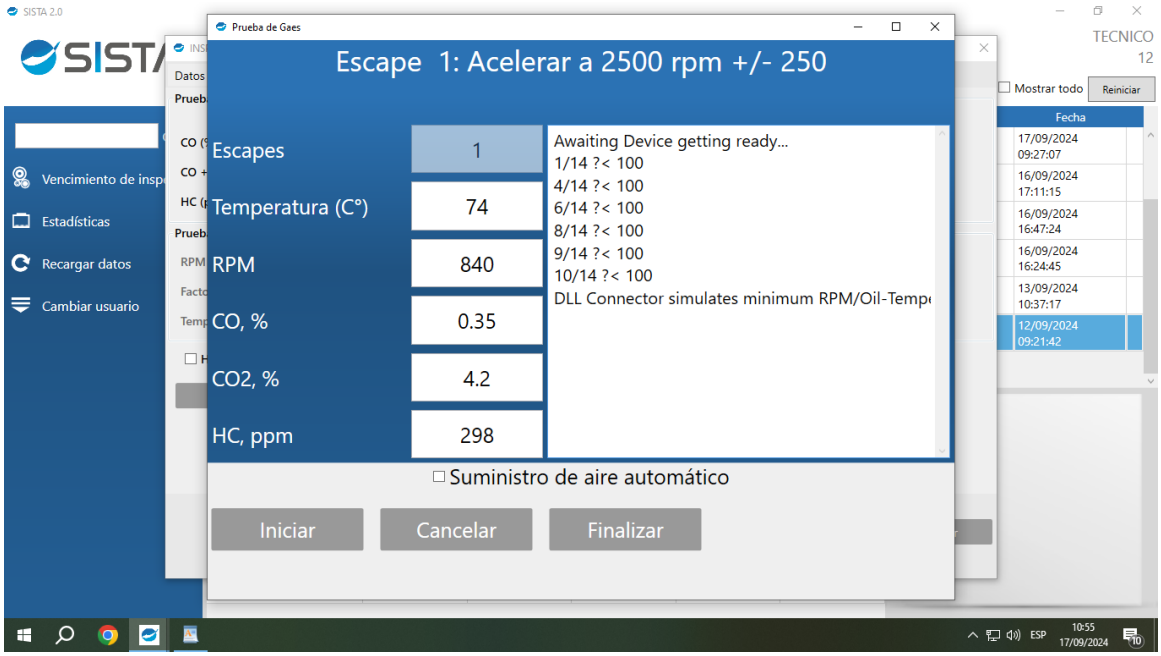

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
2270
CO, %
0.32
CO2, %
4.2
HC, ppm
341
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
25
TECNICO
12
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
Vencimiento de inspe
Estadísticas
Recargar datos
Cambiar usuario
ESP
10:54
17/09/2024

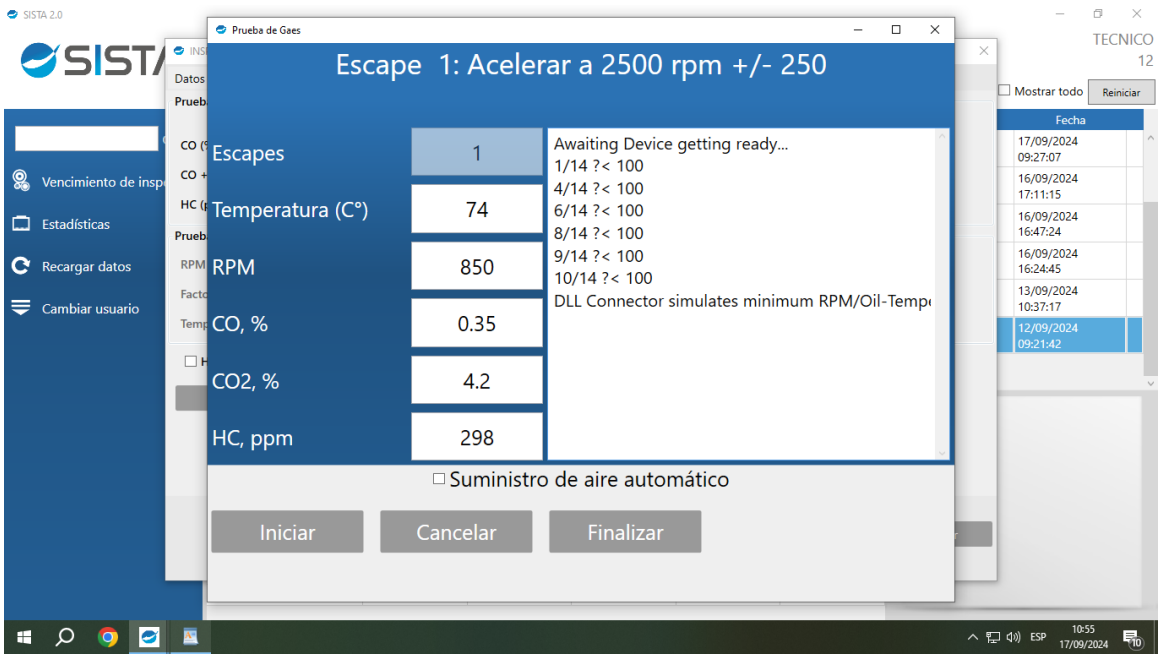

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
2500
CO, %
0.74
CO2, %
5.1
HC, ppm
366
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
29
TECNICO
12
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
Vencimiento de inspe
Estadísticas
Recargar datos
Cambiar usuario
ESP
10:55
17/09/2024

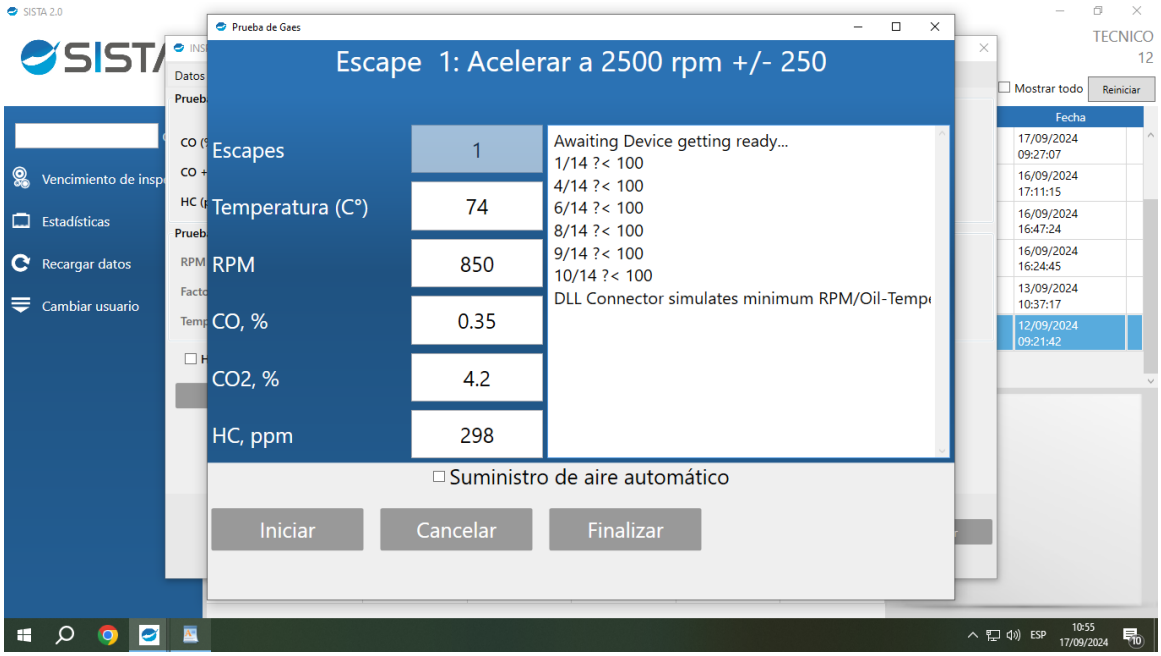

Prueba de Gaes
Escape 1: Desacelerar a 2500 rpm
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
4550
CO, %
0.4
CO2, %
4.4
HC, ppm
297
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
TECNICO
12
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
Vencimiento de inspe
Estadísticas
Recargar datos
Cambiar usuario
ESP
10:55
17/09/2024

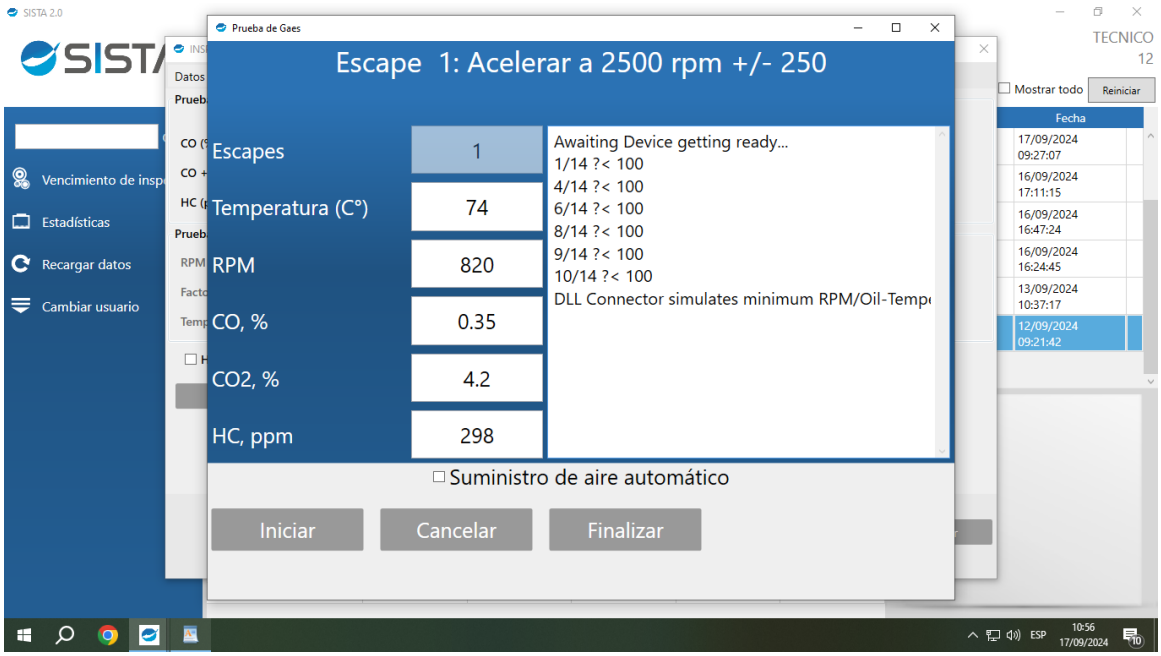

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
2500
CO, %
0.33
CO2, %
4.1
HC, ppm
330
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
26
TECNICO
12
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
Vencimiento de inspe
Estadísticas
Recargar datos
Cambiar usuario
ESP
10:55
17/09/2024

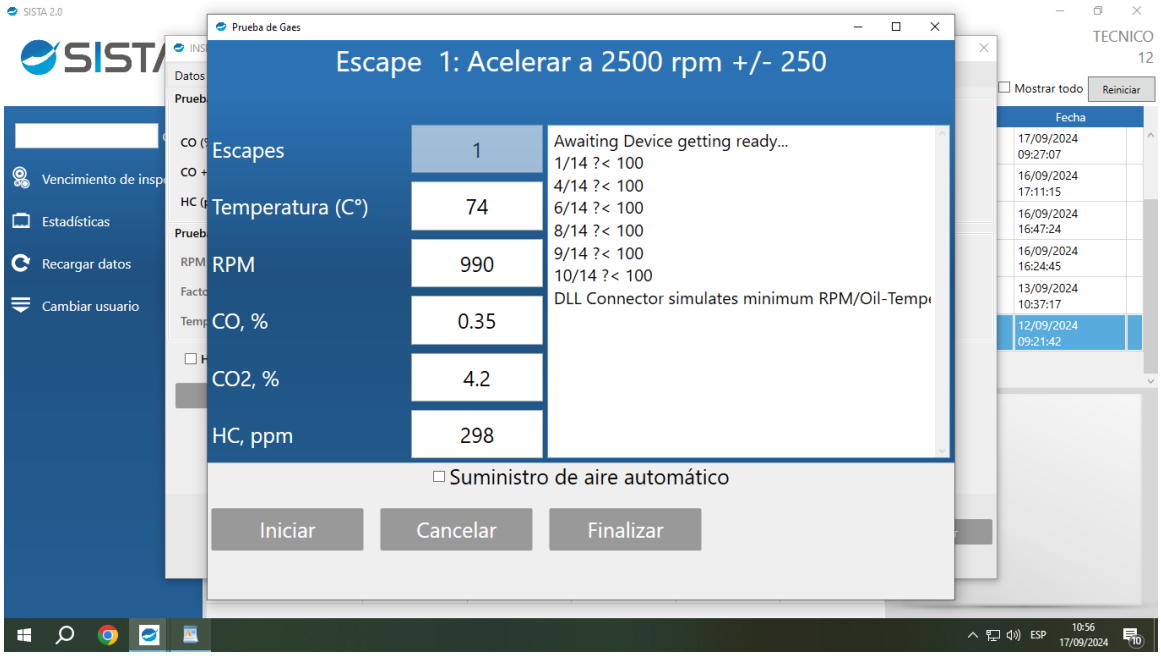

Prueba de Gaes
Escape 1: Mantener aceleración...
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
2340
CO, %
0.33
CO2, %
4.1
HC, ppm
364
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
20
TECNICO
12
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
Vencimiento de inspe
Estadísticas
Recargar datos
Cambiar usuario
ESP
10:55
17/09/2024


Prueba de Gaes
Escape 1: Acelerar a 2500 rpm +/- 250
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
840
CO, %
0.35
CO2, %
4.2
HC, ppm
298
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
TECNICO
12
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
Vencimiento de inspe
Estadísticas
Recargar datos
Cambiar usuario
ESP
10:55
17/09/2024

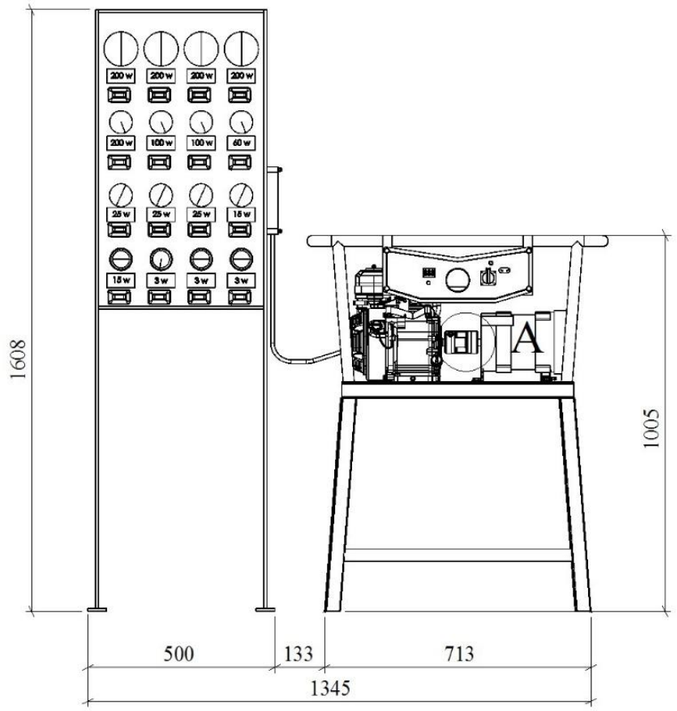

Prueba de Gaes
Escape 1: Acelerar a 2500 rpm +/- 250
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
850
CO, %
0.35
CO2, %
4.2
HC, ppm
298
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
TECNICO
12
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
Vencimiento de inspe
Estadísticas
Recargar datos
Cambiar usuario
ESP
10:55
17/09/2024


Prueba de Gaes
Escape 1: Acelerar a 2500 rpm +/- 250
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
850
CO, %
0.35
CO2, %
4.2
HC, ppm
298
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
TECNICO
12
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
Vencimiento de inspe
Estadísticas
Recargar datos
Cambiar usuario
ESP
10:55
17/09/2024

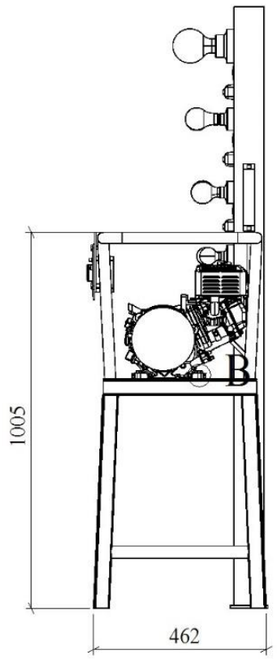

Prueba de Gaes
Escape 1: Acelerar a 2500 rpm +/- 250
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
820
CO, %
0.35
CO2, %
4.2
HC, ppm
298
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
SISTA 2.0
TECNICO
12
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
Vencimiento de inspe
Estadísticas
Recargar datos
Cambiar usuario
ESP
10:56
17/09/2024


Prueba de Gaes
Escape 1: Acelerar a 2500 rpm +/- 250
Escapes
1
Temperatura (C°)
74
RPM
990
CO, %
0.35
CO2, %
4.2
HC, ppm
298
Awaiting Device getting ready...
1/14 ?< 100
4/14 ?< 100
6/14 ?< 100
8/14 ?< 100
9/14 ?< 100
10/14 ?< 100
DLL Connector simulates minimum RPM/Oil-Tempe
Suministro de aire automático
Iniciar
Cancelar
Finalizar
SISTA 2.0
TECNICO
12
Mostrar todo
Reiniciar
Fecha
17/09/2024 09:27:07
16/09/2024 17:11:15
16/09/2024 16:47:24
16/09/2024 16:24:45
13/09/2024 10:37:17
12/09/2024 09:21:42
Vencimiento de inspe
Estadísticas
Recargar datos
Cambiar usuario
ESP
10:56
17/09/2024

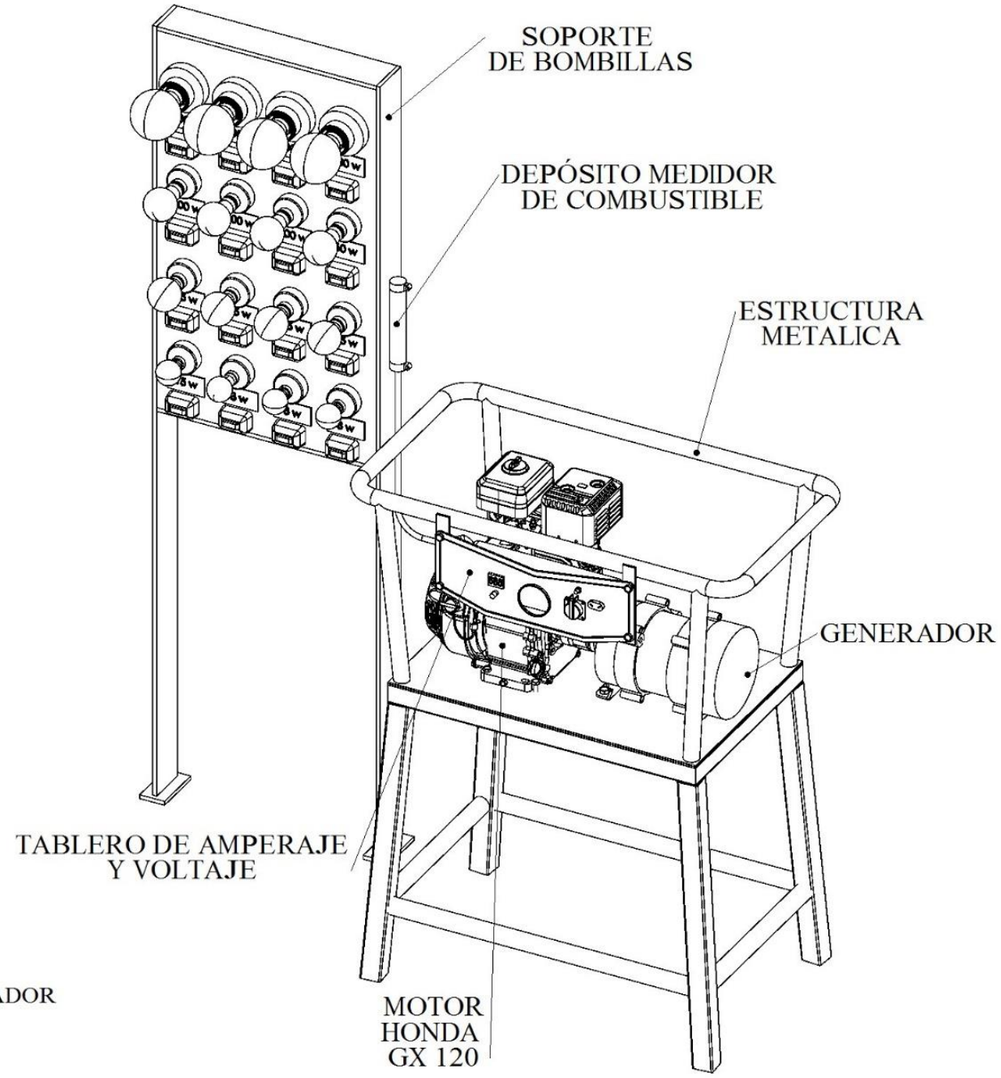
PLANOS



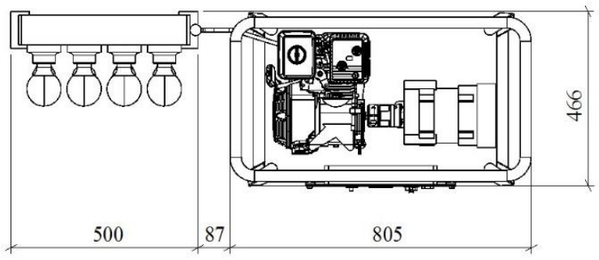
MAQUINA ENSAMBLADA
VISTA FRONTAL
ESCALA 1:10



MAQUINA ENSAMBLADA
VISTA DE PERFIL
ESCALA 1:10

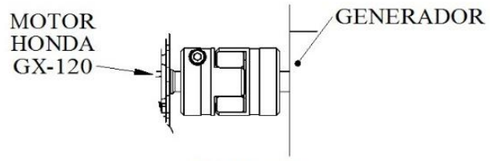


MAQUINA ENSAMBLADA
VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:10

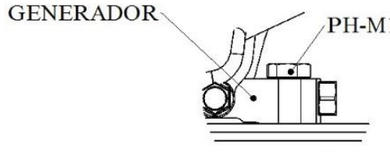


MAQUINA ENSAMBLADA
VISTA DE PLANTA
ESCALA 1:10

DETALLE DE
ACOPLE



DETALLE A
ESCALA 1 : 5

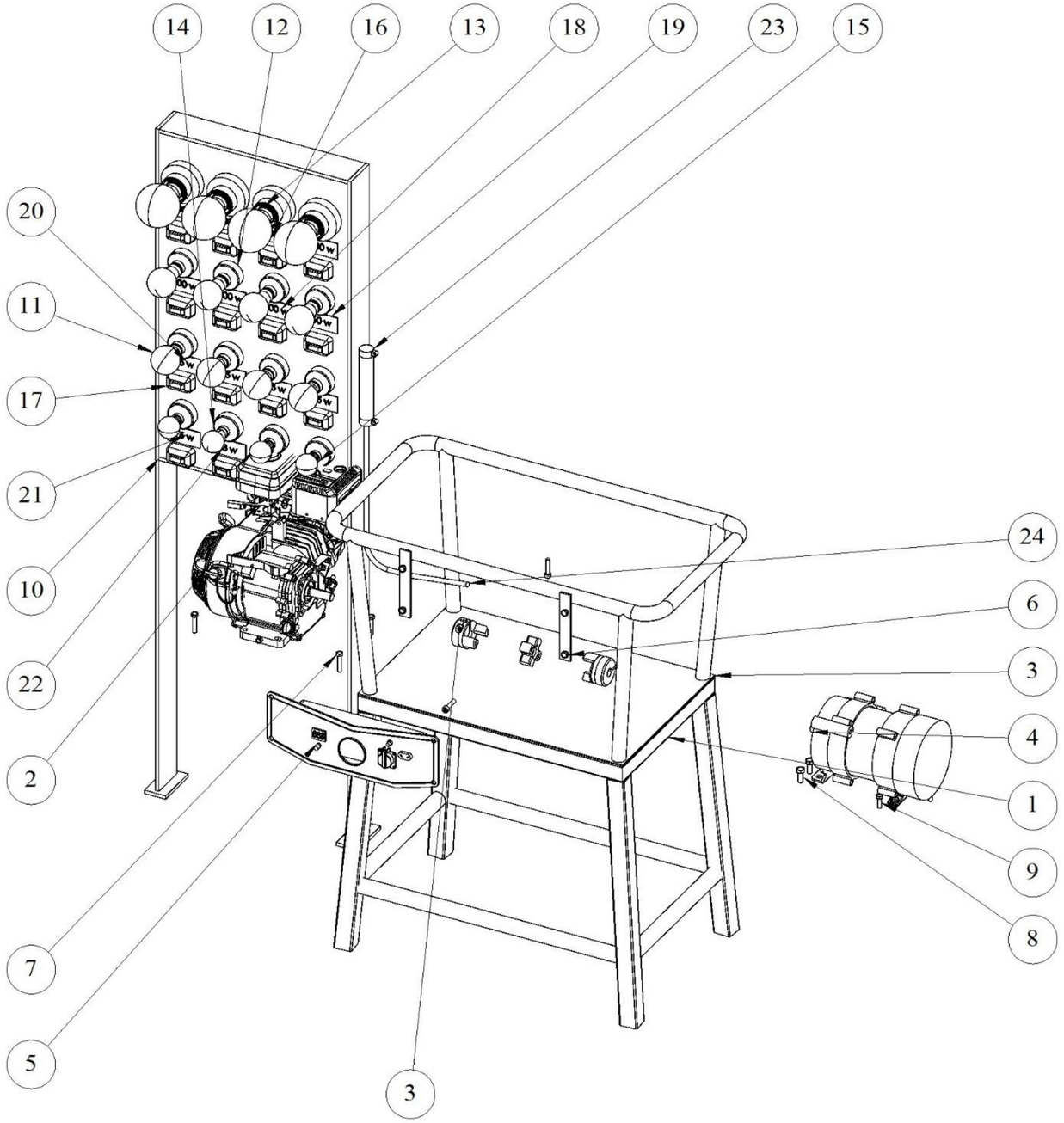


DETALLE B
ESCALA 1 : 2

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	PLANO DE VISTAS PRINCIPALES DE LA MAQUINA ENSAMBLADA	ESCALA: INDICADAS
DIBUJADO POR: BACH. BAGNER GENARO GUTIERREZ BOCANGEL; BACH. FRANCIS BRYAN RIVERA SUAREZ	FECHA: 07/08/25	FORMATO: A-3
REVISADO POR: ING. MGTR. ARTURO MACEDO SILVA	FECHA DE REVISIÓN: 11/08/25	LAMINA: LAMINA 1



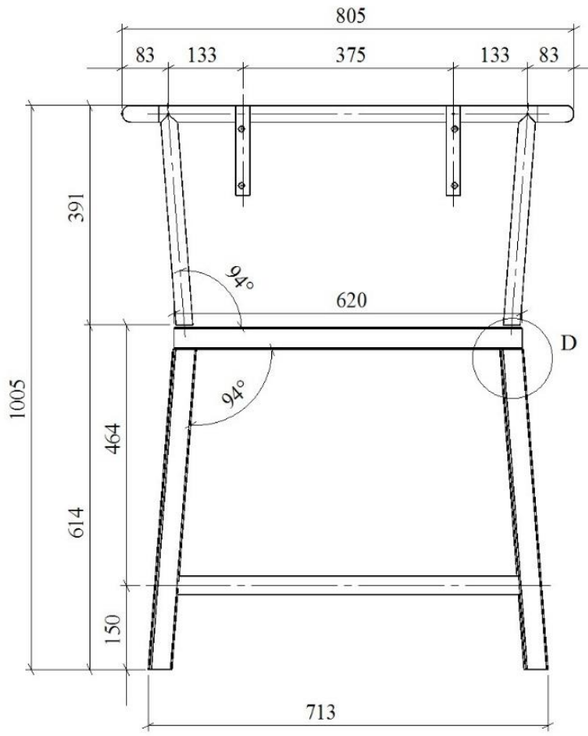
VISTA ISOMETRICA
DE EXPLOSION
ESCALA 1:10

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	ESTRUCTURA	ESTRUCTURA METALICA EN ACERO - ASTM A-36	1
2	MOTOR HONDA GX 120	MOTOR A GASOLINA 4 TIEMPOS, MONOCILÍNDRICO, 118 CM³, 3,5 HP A 3 600 RPM, REFRIGERADO POR AIRE, ARRANQUE MANUAL, EJE HORIZONTAL, HONDA GX120.	1
3	PLACA DE MOTOR	PLANCHA METALICA ESPESOR =3 mm	1
4	DINAMO DE 1.3 KW	GENERADOR ELÉCTRICO MONOFASICO, POTENCIA NOMINAL 1.3 KW, TENSIÓN 220 V, FRECUENCIA 60 Hz, ACCIONADO POR MOTOR HONDA GX120, GASOLINA, ARRANQUE MANUAL.	1
5	TABLERO DE MEDICIÓN ELÉCTRICA	TABLERO DE MEDICIÓN CON AMPERÍMETRO Y VOLTÍMETRO, PARA MONITOREO DE CORRIENTE Y TENSIÓN DEL SISTEMA	1
6	PERNO DE CABEZA HEXAGONAL M10X20	GRADO 8.8, ACERO AL CARBONO, RESISTENCIA A LA TRACCION 800 MPA.	4
7	PERNO DE CABEZA HEXAGONAL M12X40	GRADO 8.8, ACERO AL CARBONO, RESISTENCIA A LA TRACCION 800 MPA.	4
8	PERNO CABEZA HEXAGONAL M10X25	GRADO 8.8, ACERO AL CARBONO, RESISTENCIA A LA TRACCION 800 MPA.	2
9	PERNO CABEZA HEXAGONAL M12X20	GRADO 8.8, ACERO AL CARBONO, RESISTENCIA A LA TRACCION 800 MPA.	2
10	SOPORTE DE BOMBILLAS	SOPORTE DE BOMBILLAS FABRICADO EN MADERA, DISEÑADO PARA FIJAR Y SOSTENER LA BOMBILLA, CON AISLANTE ELÉCTRICO Y CONEXIÓN SEGURA.	1
11	BOMBILLA 25W		4
12	BOMBILLA DE 100 W		4
13	BOMBILLA 200 W		4
14	BOMBILLA 15 W		1
15	BOMBILLA 3W		3
17	INTERRUPTOR		16
23	VALVULA DE ALIMENTACION		1
25	ACOPLE ARMADO	ACOPLE FLEXIBLE, COMPUESTO POR DOS CUBOS METALICOS CON GARRAS RADIALES Y UN INSERTO ELASTICO (SPIDER) DE POLIURETANO	1

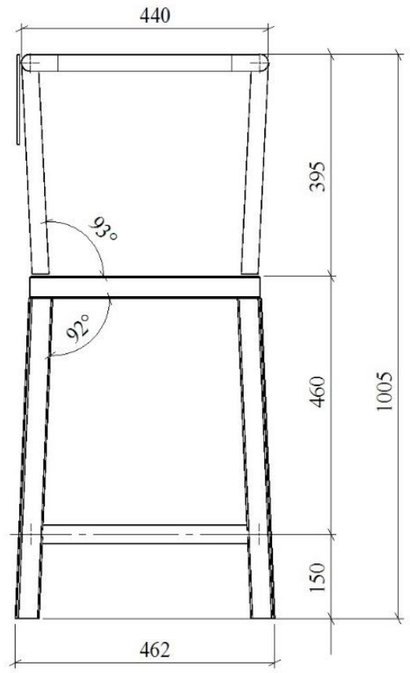
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

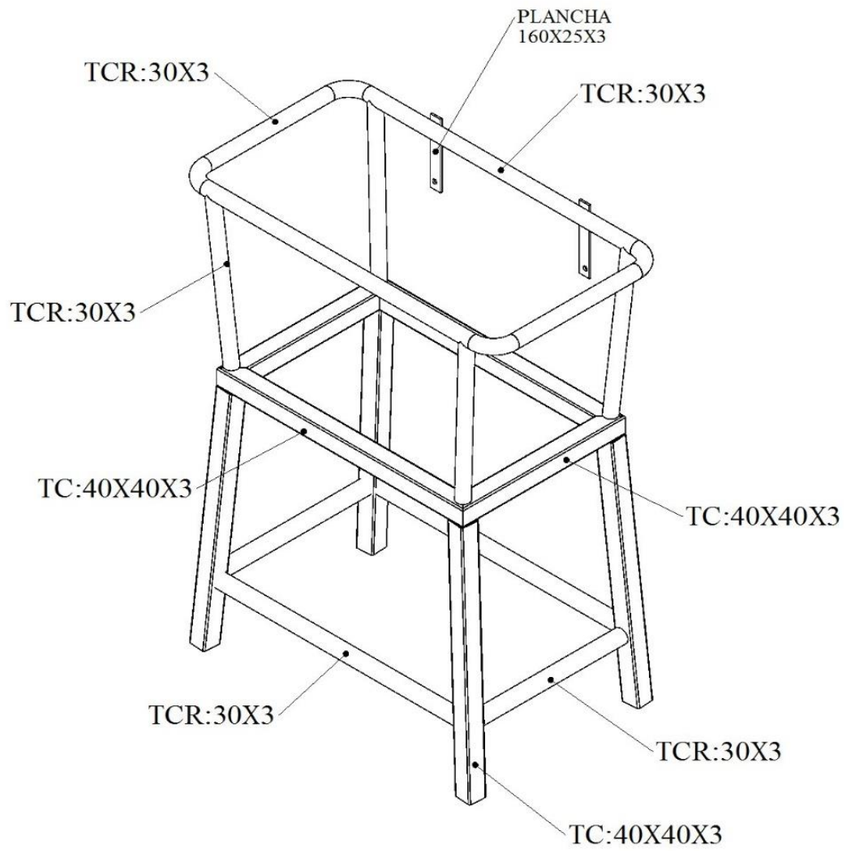
MÉTODO DE PROYECCIÓN	PLANO DE EXPLOSIÓN DE LA MAQUINA ENSAMBLADA	ESCALA: INDICADAS
DIBUJADO POR: BACH. BAGNER GENARO GUTIERREZ BOCANGEL; BACH. FRANCIS BRYAN RIVERA SUAREZ	FECHA: 07/08/25	FORMATO: A-3
REVISADO POR: ING. MGTR. ARTURO MACEDO SILVA	FECHA DE REVISIÓN: 11/08/25	LAMINA: LAMINA 2



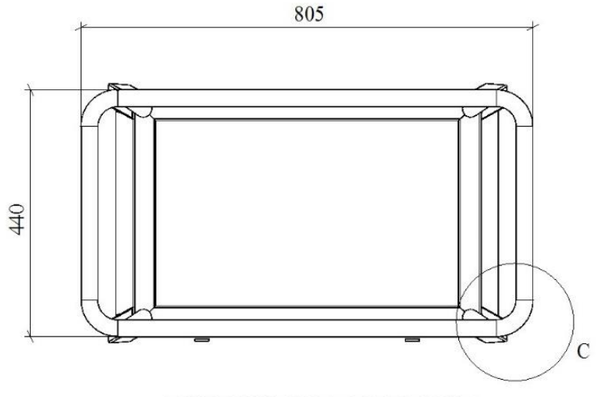
ESTRUCTURA METALICA
VISTA FRONTAL
ESCALA 1:10



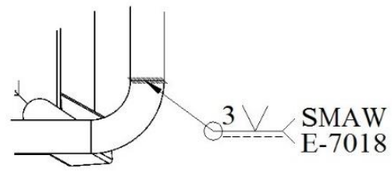
ESTRUCTURA METALICA
VISTA LATERAL
ESCALA 1:10



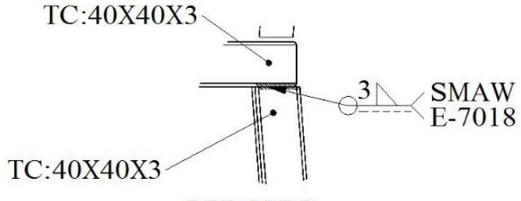
ESTRUCTURA METALICA
VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:10



ESTRUCTURA METALICA
VISTA DE PLANTA
ESCALA 1:10



DETALLE C
ESCALA 1 : 5

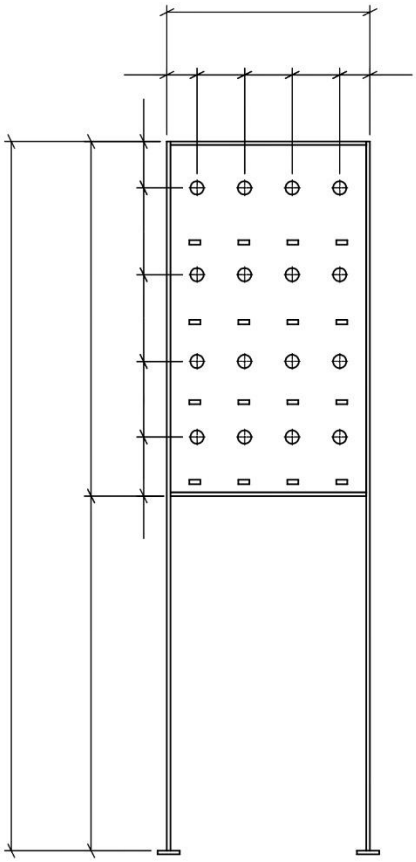


DETALLE D
ESCALA 1 : 5

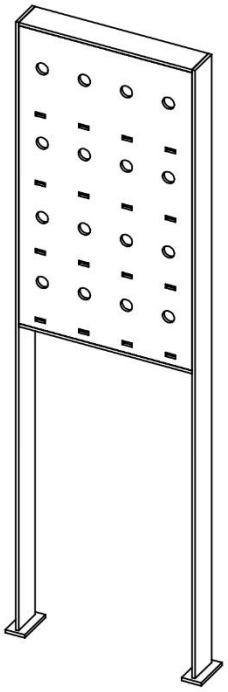
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	PLANO DE VISTAS PRINCIPALES DETALLES DE LA ESTRUCTURA	ESCALA INDICADAS
DIBUJADO POR: BACH. BAGNER GENARO GUTIERREZ BOCANGEL BACH. FRANCIS BRYAN RIVERA SUAREZ	FECHA 07/08/25	FORMATO A-3
REVISADO POR: ING. MGTR. ARTURO MACEDO SILVA	FECHA DE REVISIÓN 11/08/25	LAMINA LAMINA 3

NOTA:
Soporte de madera destinado a fijar y organizar las bombillas del sistema de iluminación alimentado por el generador del motor Honda GX120. Su función es mantener la posición correcta de las lámparas, asegurar la seguridad eléctrica mediante aislamiento dieléctrico, minimizar vibraciones y permitir una disipación de calor adecuada, facilitando al mismo tiempo el mantenimiento y reemplazo de las bombillas

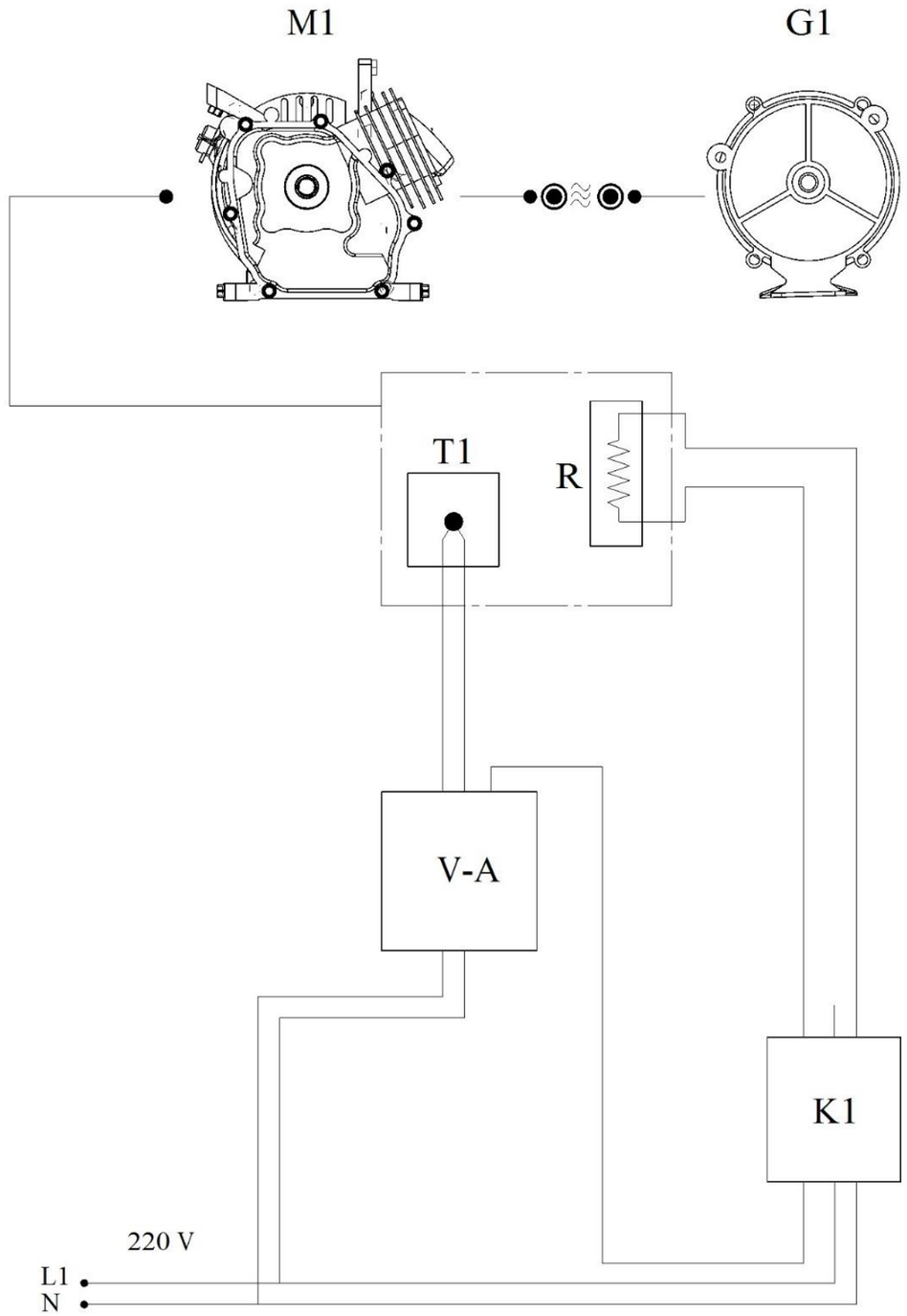


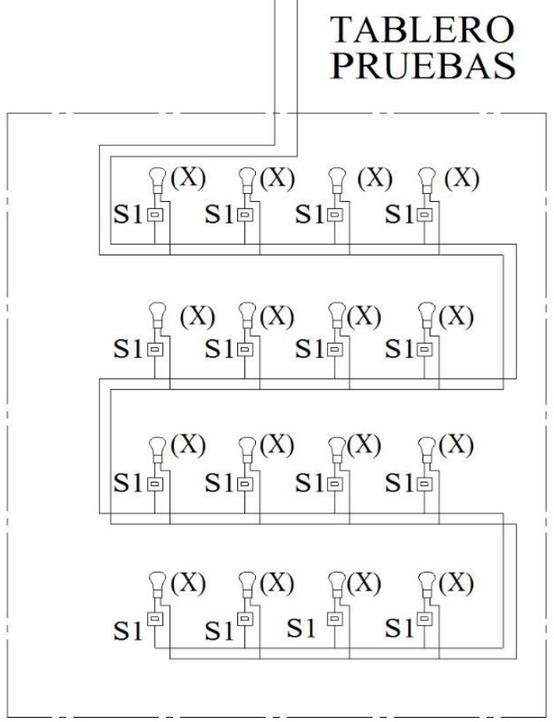
SOPORTE DE BOMBILLAS
VISTA FRONTAL
ESCALA 1:15



SOPORTE DE BOMBILLAS
VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:15

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE DE BOMBILLAS	ESCALA INDICADAS
DIBUJADO POR: BACH. BAGNER GENARO GUTIERREZ BOCANGEL BACH. FRANCIS BRYAN RIVERA SUAREZ	FECHA 07/08/25	FORMATO A-4
REVISADO POR: ING. MGTR. ARTURO MACEDO SILVA	FECHA DE REVISIÓN 11/08/25	LAMINA LAMINA 4





TABAL DE IDENTIFICACION DE COMPNETES EELCTRICOS		
SIMBOLO	DENOMINACION	DESCRIPCIÓN
G1	GENERADOR DINAMO	GENERADOR ELÉCTRICO 1.3 KW, CONVIERTE ENERGÍA MECÁNICA EN ELÉCTRICA MEDIANTE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.
A-V	TABLERO DE MEDICIÓN ELÉCTRICA	TABLERO DE MEDICIÓN CON AMPERÍMETRO Y VOLTÍMETRO, PARA MONITOREO DE CORRIENTE Y TENSIÓN DEL SISTEMA
R	RESISTENCIA	ELEMENTO ELÉCTRICO QUE CONVIERTE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CALOR, ESPECIFICADO PARA DISIPAR 1000 W EN ESTE CASO.
K1	CONTACTOR	DISPOSITIVO ELECTROMECÁNICO QUE PERMITE LA CONEXIÓN Y DESCONEXIÓN REMOTA DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE POTENCIA MEDIANTE BOBINA DE CONTROL.
M1	MOTOR	MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE GASOLINA, MONOFÁSICO, 4 TIEMPOS, REFRIGERADO POR AIRE, CON POTENCIA NOMINAL APROXIMADA DE 3.5 HP (2.6 KW) A 3600 RPM. UTILIZADO COMÚNMENTE PARA APLICACIONES INDUSTRIALES LIGERAS, GENERADORES ELÉCTRICOS Y EQUIPOS PORTÁTILES.
S1	INTERRUPTOR	DISPOSITIVO MANUAL DE APERTURA Y CIERRE DE UN CIRCUITO ELÉCTRICO.
(X)	BOMBILLA	DISPOSITIVO ELÉCTRICO QUE CONVIERTE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LUZ VISIBLE

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DIAGRAMA ELECTRICO	ESCALA
		INDICADAS

DIBUJADO POR:	FECHA	FORMATO
BACH. BAGNER GENARO GUTIERREZ BOCANGEL BACH. FRANCIS BRYAN RIVERA SUAREZ	07/08/25	A-3
REVISADO POR:	FECHA DE REVISIÓN	LAMINA
ING. MGTR. ARTURO MACEDO SILVA	11/08/25	LAMINA 5