



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PLINT
TE 15 Y BALANCE TERMODINÁMICO DEL MOTOR DEL
BANCO PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE MOTORES
DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS
FUERZAS ARMADAS – ESPE**

**AUTORES: MOYA CABEZAS, CARLOS ALBERTO
PINTO JAGUACO, ALEX JAVIER**


**DIRECTOR: ING. VILLAVICENCIO, ÁNGELO
CODIRECTOR: ING. DÍAZ, JUAN**

SANGOLQUÍ

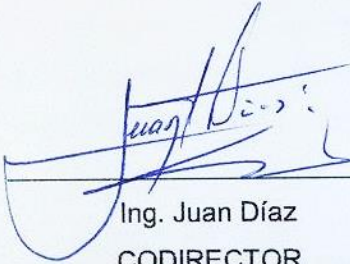
2015

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PLINT TE 15 Y BALANCE TERMODINÁMICO DEL MOTOR DEL BANCO PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**” fue realizado en su totalidad por los señores Carlos Alberto Moya Cabezas y Alex Javier Pinto Jaguaco, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.



Ing. Angelo Villavicencio
DIRECTOR



Ing. Juan Díaz
CODIRECTOR

Sangolquí, Julio de 2015

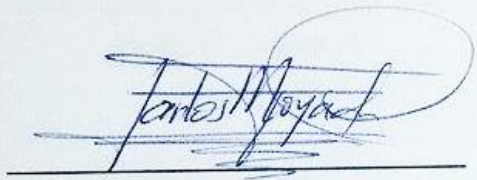
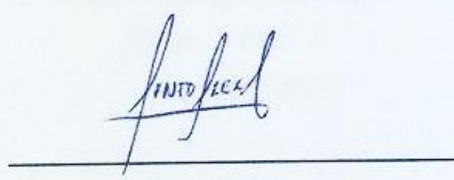
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

**Nosotros, MOYA CABEZAS CARLOS ALBERTO Y PINTO JAGUACO
ALEX JAVIER**

DECLARAMOS QUE:

La tesis/proyecto de grado titulado: **“AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PLINT TE 15 Y BALANCE TERMODINÁMICO DEL MOTOR DEL BANCO PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE”** ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando los derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis/proyecto de grado en mención.

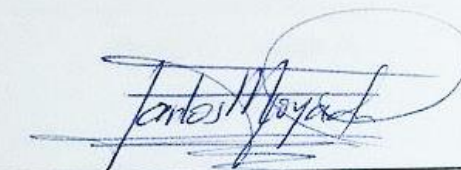
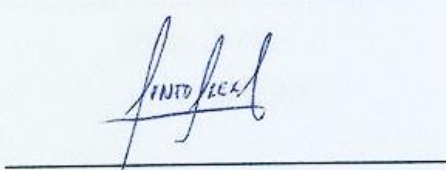
	
Moya C. Carlos A.	Pinto J. Alex J.
1718192782	1721020087

Sangolquí, Julio de 2015

AUTORIZACIÓN

**Nosotros, MOYA CABEZAS CARLOS ALBERTO Y PINTO JAGUACO
ALEX JAVIER**

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” la publicación, en la biblioteca virtual de la institución, el proyecto de grado titulado **“AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PLINT TE 15 Y BALANCE TERMODINÁMICO DEL MOTOR DEL BANCO PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad y autoría.

	
Moya C. Carlos A. 1718192782	Pinto J. Alex J. 1721020087

Sangolquí, Julio de 2015

DEDICATORIA

Dedico este trabajo realizado con gran ímpetu a mis padres, que son un claro ejemplo de constancia, perseverancia y lucha. Agradezco la paciencia y el apoyo incondicional que me brindaron durante toda mi vida y el claro ejemplo de amor y sacrificio, que de forma directa impactó en el transcurso de este camino lleno de sorpresas.

A mis hermanos que me han brindado todo su apoyo, en los buenos y malos momentos, siempre los amaré por ser como son y siempre estaré ahí cuando lo necesiten.

A toda mi familia que se ha preocupado por mí, que me ha brindado sus buenos sentimientos durante el transcurso de esta etapa de mi vida.

A esas personas que compartieron sus vivencias conmigo durante el transcurso de este viaje lleno de grandes experiencias, que de manera directa ayudaron a formar parte de mi personalidad, de todo corazón les digo con son una parte fundamental en este trabajo.

Carlos Alberto Moya Cabezas

DEDICATORIA

Durante todo este tiempo de constante lucha, agradables experiencias, grandes momentos de logros, momentos compartidos con personas que en su tiempo fueron muy importantes y algunos momentos de angustia, los cuales los he podido sobrellevar con el fin de alcanzar uno de mis más grandes anhelos, culminar mi carrera, es por eso que dedico este gran paso en mi vida a quienes compartieron conmigo todos aquellos momentos brindándome su cariño y apoyo.

Dedico este proyecto a Dios por ser quien ha estado en todo momento dándome las fuerzas para poder cumplir con mi sueño a pesar de los problemas y circunstancias que se presentaban durante todos los años de estudio y de mi vida.

Este proyecto lo dedico a mis padres por todo el apoyo brindado durante mi formación tanto profesional como personal, ya que son un gran ejemplo de virtud y fortaleza me han sabido apoyar en todo momento.

A mi hermano que siempre ha sido un apoyo para mí, y ha estado en los buenos y malos momentos, porque ha sido la persona en quien siempre he confiado.

A toda mi familia ya que con sus palabras de aliento me han dado fuerza para seguir adelante y en especial a mi abuelito que desde el cielo me cuida.

Alex Javier Pinto Jaguaco.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias por ese apoyo incondicional que nos brindaron durante este sendero lleno de adversidades y grandes recompensas.

A la Carrera de Ingeniería Mecánica por todas las enseñanzas y las experiencias adquiridas a lo largo de estos años, que ayudaron en la formación de grandes profesionales a lo largo de la historia.

A los Ingenieros Ángelo Villavicencio y Juan Díaz por el apoyo brindado, el conocimiento impartido y la guía en el desarrollo del proyecto de graduación que con grandes esfuerzos se logró realizar.

A todos los señores laboratoristas, en especial a Don Naranjito y Don Carsito, por el apoyo, la amistad y los grandes momentos que se vivieron en la carrera.

A todos nuestros camaradas que conocimos en estas aulas, por todas las vivencias, los festejos y los buenos momentos que llenaron nuestras vidas con grandes recuerdos y experiencias.

C. Moya – A. Pinto

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	3
1.3. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	6
1.4. OBJETIVOS	10
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	10
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.6. ALCANCE	12
CAPÍTULO 2.....	14
MARCO TEÓRICO	14
2.1. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	14
2.2. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO	16
2.3. CICLO DE TRABAJO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO	17

2.4. VARIACIÓN DE LA RELACIÓN DE COMPRESIÓN EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO.....	19
2.5. VARIACIÓN DEL AVANCE DE ENCENDIDO EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO.....	23
2.6. CONCENTRACIÓN DE LA MEZCLA EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	24
2.7. PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	26
2.7.1. TORQUE	26
2.7.2. POTENCIA AL FRENO	26
2.7.3. PRESIÓN MEDIA EFECTIVA AL FRENO.....	27
2.7.4. CONSUMO DE COMBUSTIBLE	27
2.7.5. CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE	28
2.7.6. CONSUMO DE AIRE	28
2.7.7. RELACIÓN AIRE COMBUSTIBLE	29
2.7.8. EFICIENCIA TÉRMICA	29
2.7.9. EFICIENCIA VOLUMÉTRICA	29
2.8. BALANCE TERMODINÁMICO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	30
2.8.1. PÉRDIDAS POR TRANSFERENCIA DE CALOR.....	33
2.8.1.1. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN.....	33
2.8.1.2. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION EL FLUJO INTERNO	35
2.8.1.3. CORRELACIONES DE FLUJO TURBULENTO	36
2.8.1.4. TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN CILINDRO	36
2.9. BANCO DE PRUEBAS PLINT TE-15.....	38
2.9.1. MOTOR MONOCILÍNDRICO	39

2.9.2. SISTEMA DE FRENO	41
2.9.3. SISTEMA DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE.....	42
2.9.4. SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE.....	44
2.9.5. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	44
2.10. AUTOMATIZACIÓN DE EQUIPOS INDUSTRIALES	46
2.10.1. INTERFAZ HUMANO - MÁQUINA	47
2.10.2. sensores.....	48
CAPITULO 3.....	50
DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITOREO Y ADQUISICION DE DATOS	50
3.1. DESCRIPCION DEL PROCESO DE TOMA DE DATOS ACTUAL DEL BANCO DE PRUEBAS PLINT TE-15.....	50
3.1.1. VARIACION DE LA RELACION DE COMPRESION.....	50
3.1.2. VARACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO	53
3.1.3. VARIACION DE LA RELACION AIRE-COMBUSTIBLE	54
3.1.4. OBSERVACIONES	56
3.2. SELECCIÓN DEL HADWARE PARA EL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS	56
3.2.1. SELECCIÓN DE LOS sensores DE TEMPERATURA DEL AGUA DE REFRIGERACION A LA ENTRADA Y SALIDA DEL MOTOR	57
3.2.2. SELECCIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE DEL MOTOR.....	59
3.2.3. SELECCIÓN DEL SENSOR DE FLUJO DE AGUA DEL SISTEMA DE REFRIGERACION DEL MOTOR	60
3.2.4. SELECCIÓN DEL SENSOR DE FUERZA	62
3.2.5. SELECCIÓN DE LOS sensores DE NIVEL DE COMBUSTIBLE.	64
3.2.6. SELECCIÓN DEL SENSOR DE REVOLUCIONES DE MOTOR	66
3.2.7. SELECCIÓN DEL SENSOR DE FLUJO DE AIRE	67

3.2.8. SELECCIÓN DE VOLTIMETRO Y AMPERIMETRO	68
3.2.9. SELECCIÓN DEL SISTEMA HMI	70
3.2.10. SOFTWARE DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE ADQUISICION DE DATOS	72
3.3. DISTRIBUCIÓN FÍSICA DEL HARDWARE SELECCIONADO EN EL BANCO DE PRUEBAS PLINT TE-15.....	72
3.4. INTERFAZ HOMBRE – MÁQUINA DEL SISTEMA IMPLEMENTADO EN EL BANCO DE PRUEBAS	77
3.4.1. PANTALLA DE INICIO	78
3.4.2. PANTALLA INFORMATIVA DE VOLÚMENES DE PRUEBA.....	79
3.4.3. PANTALLA DE SELECCIÓN DE LA PRÁCTICA A REALIZARSE ...	80
3.4.4. PANTALLA DE INGRESO DE VARIABLES.....	81
3.4.5. PANTALLA DE MONITOREO	82
3.4.6. TABLA DE REGISTRO DE DATOS	83
3.4.7. TABLA DE REGISTRO DE CÁLCULOS	84
3.4.8. VENTANAS DE GRÁFICOS	85
CAPITULO 4.....	87
BALANCE TÉRMICO, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS	87
4.1. BALANCE TÉRMICO DEL EQUIPO CON LA INSTRUMENTACION ORIGINAL	87
4.1.1. EJEMPLO DE CÁLCULOS	87
4.1.2. TABULACION DE DATOS Y RESULTADOS.....	93
4.2. BALANCE TÉRMICO DEL EQUIPO CON LA NUEVA INSTRUMENTACION.....	96
4.2.1. EJEMPLO DE CÁLCULOS	97
4.2.2. TABULACION DE DATOS	104

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS DEL BALANCE TÉRMICO DEL MOTOR DEL BANCO DE PRUEBAS PLINT TE-15.....	106
4.4. COMPARACION DE DATOS HISTORICOS CON LOS DATOS DEL SISTEMA IMPLANTADO.	107
4.4.1. VARIACION DE LA RELACION DE COMPRESION.....	108
4.4.2. VARIACIÓN DEL ÁNGULO DE ENCENDIDO	121
4.4.3. VARIACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE LA MEZCLA	131
CAPITULO 5.....	142
ANÁLISIS ECONÓMICO	142
5.1. COSTOS DIRECTOS.....	142
5.1.1. MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN	142
5.1.2. DISEÑO E INGENIERÍA.....	143
5.1.3. MONTAJE	143
5.1.4. ADQUISICIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS	144
5.2. COSTOS INDIRECTOS	145
5.2.1. SUMINISTROS Y SERVICIOS.....	145
5.2.2. ASESORAMIENTO	145
5.2.3. GASTOS GENERALES.....	146
5.3. COSTOS TOTALES.....	146
5.4. BENEFICIOS OBTENIDOS CON EL PROYECTO	147
CAPÍTULO 6.....	151
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	151
6.1. CONCLUSIONES	151
6.2. RECOMENDACIONES	153
BIBLIOGRAFÍA.....	154
ANEXOS.....	156
ANEXO A.....	157
ANEXO B.....	158

ANEXO C.....	159
ANEXO D.....	160
ANEXO E.....	161
ANEXO F.....	162
ANEXO G.....	163
ANEXO H.....	164
ANEXO I.....	165
ANEXO J.....	166
ANEXO K.....	167
ANEXO L.....	168
ANEXO M.....	169
ANEXO N.....	170
ANEXO O.....	171

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Sistema de toma de datos actual.....	7
Tabla 1.2. Sistema de toma de datos a implementar.....	8
Tabla 1.3. Variables de solución.....	9
Tabla 2.1. Formas de calor en un MCI, expresiones y símbolos	32
Tabla 2.2. Datos técnicos motor banco de pruebas PLINT TE-15.....	40
Tabla 2.3. Sensores y modos de detección ordinarios	49
Tabla 3.1. Tabla de datos para la práctica de relación de compresión	52
Tabla 3.2. Tabla de resultados de la práctica de relación de compresión ...	52
Tabla 3.3. Valoración de criterios para selección de sensor de temperatura para agua de refrigeración.....	57
Tabla 3.4. Ponderaciones para selección de sensor de temperatura para agua de refrigeración	57
Tabla 3.5. Resultados de selección de sensor de temperatura para el agua de refrigeración	58
Tabla 3.6. Características técnicas del sensor de temperatura para agua de refrigeración.....	58
Tabla 3.7. Valoración de los criterios para seleccionar el sensor de temperatura de los gases de escape	59
Tabla 3.8. Ponderaciones para selección de sensor de temperatura para gases de escape.....	59
Tabla 3. 9. Resultados de selección de sensor de temperatura para gases de escape	59
Tabla 3.10. Características técnicas del sensor de temperatura para gases de escape	60
Tabla 3.11. Valoración de criterios para seleccionar el sensor de flujo de agua.....	60
Tabla 3.12 Ponderaciones para seleccionar el sensor de flujo de agua	61
Tabla 3.13 Resultados de selección del sensor de flujo de agua	61

Tabla 3.14. Características técnicas del sensor de flujo de agua	62
Tabla 3.15. Valoración de criterios para seleccionar el sensor de fuerza ...	62
Tabla 3.16. Ponderaciones para seleccionar el sensor de fuerza.....	62
Tabla 3.17. Tabla de resultados de la selección del sensor de fuerza.....	63
Tabla 3.18. Tabla de características del sensor de fuerza.....	63
Tabla 3.19. Valoración de los criterios para seleccionar el sensor de nivel de combustible.....	64
Tabla 3.20. Ponderaciones para seleccionar el sensor de nivel de combustible.....	64
Tabla 3.21. Resultados de la selección del sensor de nivel de combustible	65
Tabla 3.22. Características técnicas sensor capacitivo	65
Tabla 3.23. Valoración de los criterios para seleccionar el sensor de revoluciones del motor	66
Tabla 3.24. Ponderaciones para seleccionar el sensor de revoluciones del motor.....	66
Tabla 3.25. Resultados de selección del sensor para revoluciones del motor	67
Tabla 3.26. Características técnicas del sensor Inductivo para las revoluciones del motor.....	67
Tabla 3.27. Características técnicas del sensor MAF para el flujo de aire del motor.....	68
Tabla 3.28. Tabla de características del elemento medidor de amperaje	69
Tabla 3.29. Valoración de criterios para seleccionar el sistema HMI.....	70
Tabla 3.30. Tabla de ponderaciones para seleccionar el sistema HMI.....	70
Tabla 3.31 Tabla de resultados de la selección del sistema HMI	71
Tabla 3.32 Tabla de características del sistema HMI seleccionado.....	71
Tabla 4.1. Parámetros de prueba del balance térmico inicial	87
Tabla 4.2. Datos obtenidos en la prueba inicial	88
Tabla 4.3. Propiedades térmicas y físicas	91
Tabla 4.4. Tabulación de datos obtenidos en el banco de pruebas	94
Tabla 4.5. Tabulación de cálculos obtenidos en el banco de pruebas.....	94

Tabla 4.6. Tabulación de propiedades térmicas y físicas	95
Tabla 4.7. Tabulación de los resultados del balance térmico inicial.....	95
Tabla 4.8. Parámetros de prueba para el balance térmico con la nueva instrumentación.....	96
Tabla 4.9. Datos obtenidos en la prueba con la nueva instrumentación.....	97
Tabla 4.10. Propiedades térmicas y físicas en la nueva prueba.....	100
Tabla 4.11. Tabulación de datos obtenidos en el banco de pruebas con la nueva instrumentación.....	104
Tabla 4.12. Tabulación de cálculos obtenidos en el banco de pruebas con la nueva instrumentación.....	104
Tabla 4.13. Tabulación de propiedades térmicas y físicas en la manguera	105
Tabla 4.14. Tabulación de propiedades térmicas y físicas en el tubo.....	105
Tabla 4.15. Tabulación de los resultados del balance térmico con la nueva instrumentación.....	106
Tabla 4.16. Datos obtenidos en la prueba de variación de la relación de compresión	108
Tabla 4.17. Tabla de datos históricos de la práctica de variación de la relación de compresión (20-03-1996)	112
Tabla 4.18. Tabla de cálculos obtenidos a partir de los datos históricos ...	112
Tabla 4.19. Tabla de datos obtenidos de la variación de la relación de compresión con la nueva instrumentación.....	113
Tabla 4.20. Tabla de cálculos obtenidos a partir de los datos obtenidos con la nueva instrumentación	113
Tabla 4.21. Tabla de datos históricos de la práctica de variación del ángulo de encendido (28-05-1985).....	122
Tabla 4.22. Tabla de cálculos obtenidos a partir de los datos históricos ...	122
Tabla 4.23. Tabla de datos obtenidos de la variación del ángulo de encendido con la nueva instrumentación.....	123
Tabla 4.24. Tabla de cálculos obtenidos a partir de los datos obtenidos con la nueva instrumentación	123
Tabla 4.25. Tabla de datos históricos de la práctica de concentración de mezcla (31-01-2000).....	132

Tabla 4.26. Tabla de cálculos obtenidos a partir de los datos históricos ...	132
Tabla 4.27. Tabla de datos obtenidos de la variación de concentración de la mezcla con la nueva instrumentación	133
Tabla 4.28. Tabla de cálculos obtenidos a partir de los datos obtenidos con la nueva instrumentación	133
Tabla 5.1. Costos de mantenimiento del banco de pruebas	142
Tabla 5.2. Tabla de costos de diseño e ingeniería.....	143
Tabla 5.3. Costos de materiales para remodelación del banco	143
Tabla 5.4. Costos de materiales electrónicos para el banco de pruebas PLINT TE-15.....	144
Tabla 5.5. Costos de suministros y servicios	145
Tabla 5.6. Costos de asesoramiento del proyecto	145
Tabla 5.7. Costos generales del proyecto.....	146
Tabla 5.8. Tabla de costos totales	146
Tabla 5.9. Costos generados por consumo de combustible	147
Tabla 5.10. Ingresos generados por uso del banco de pruebas	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Banco de pruebas PLINT TE-15.....	4
Figura 1.2. Representación de la relación de compresión	5
Figura 2.1. Motor Otto de cuatro tiempos	14
Figura 2.2. Motor Diésel 1893.....	15
Figura 2.3. Esquema de un MCIA de encendido por chispa	16
Figura 2.4. Ciclo de trabajo de un motor de cuatro tiempos	18
Figura 2.5. Ciclo de trabajo de un motor de dos tiempos.....	18
Figura 2.6. Mecanismo de culata integral Saab	21
Figura 2.7. Variación relación de compresión motor Saab	21
Figura 2.8. Sistema MCE-5 VCRI	22
Figura 2.9. Variación relación compresión MCE-5.....	22
Figura 2.10. Representación del avance de encendido en un MCIA	23
Figura 2.11. Relación aire-combustible vs. Potencia	25
Figura 2.12. Diagrama de Sankey de un balance termodinámico.....	30
Figura 2.13. Transferencia de calor por conducción	33
Figura 2.14. Calor por conducción a través de una pared	34
Figura 2.15. Transferencia de calor en un cilindro	37
Figura 2.16. Banco de pruebas PLINT TE-15.....	39
Figura 2.17. Esquema del motor monocilíndrico del banco de pruebas PLINT TE-15	41
Figura 2.18. Tablero de control y resistencias eléctricas del sistema de freno	42
Figura 2.19. Sistema de suministro de combustible.....	42
Figura 2.20. Esquema sistema suministro combustible	43
Figura 2.21. Sistema de admisión de aire.....	44
Figura 2.22. Sistema de refrigeración del banco de pruebas.....	45
Figura 2.23. Esquema de funcionamiento del sistema de refrigeración.....	46
Figura 3.1. Curva de relación de compresión del motor del banco	51

Figura 3.2. Instalación sensores capacitivos para volumen de gasolina.....	73
Figura 3.3. Instalación PT100 en la línea de refrigeración.....	73
Figura 3.4. Instalación PT100 en tubo de escape.....	74
Figura 3.5. Instalación del sensor de flujo de agua.....	74
Figura 3.6. Instalación de celda de carga.....	75
Figura 3.7. Instalación sensor inductivo.....	75
Figura 3.8. Instalación sensor MAF.....	76
Figura 3.9. Conexiones en el tablero de control.....	76
Figura 3.10. Tablero de control Interfaz HMI.....	77
Figura 3.11. Pantalla de bienvenida del programa implantado.....	79
Figura 3.12. Pantalla informativa de volúmenes de prueba.....	80
Figura 3.13. Pantalla de selección de la práctica.....	81
Figura 3.14. Pantalla de ingreso de variables.....	82
Figura 3.15. Pantalla de monitoreo.....	83
Figura 3.16. Tabla de registro de datos.....	84
Figura 3.17. Tabla de registro de cálculos.....	85
Figura 3.18. Ventana de gráficas.....	86
Figura 4.1. Balance térmico, condiciones iniciales.....	106
Figura 4.2. Balance térmico, condiciones finales.....	107
Figura 4.3. Gráfica de comparación: Torque vs Relación de compresión..	114
Figura 4.4. Gráfica de comparación: Potencia al freno vs Relación de compresión.....	114
Figura 4.5. Gráfica de comparación: Presión Media Efectiva vs Relación de compresión.....	115
Figura 4.6. Gráfica de comparación: Relación Aire/Combustible vs Relación de compresión.....	116
Figura 4.7. Gráfica de comparación: Flujo másico de combustible vs Relación de compresión.....	117
Figura 4.8. Gráfica de comparación: Consumo Específico de Combustible vs Relación de compresión.....	118

Figura 4.9. Gráfica de comparación: Temperatura de gases de escape vs Relación de compresión	119
Figura 4.10. Gráfica de comparación: Eficiencia Térmica vs Relación de compresión	120
Figura 4.11. Gráfica de comparación: Eficiencia Volumétrica vs Relación de compresión	121
Figura 4.12. Gráfica de comparación: Torque vs Angulo de encendido	124
Figura 4.13. Gráfica de comparación: Potencia al freno vs Angulo de encendido	124
Figura 4.14. Gráfica de comparación: Presión Media Efectiva vs Angulo de encendido	125
Figura 4.15. Gráfica de comparación: Relación Aire/Combustible vs Angulo de encendido	126
Figura 4.16. Gráfica de comparación: Flujo de Combustible vs Angulo de encendido	127
Figura 4.17. Gráfica de comparación: Consumo Específico de Combustible vs Angulo de encendido.....	128
Figura 4.18. Gráfica de comparación: Temperatura de Gases de Escape vs Angulo de encendido	129
Figura 4.19. Gráfica de comparación: Eficiencia Térmica vs Angulo de encendido	130
Figura 4.20. Gráfica de comparación: Eficiencia Volumétrica vs Angulo de encendido	131
Figura 4.21. Gráfica de comparación: Torque vs Concentración de la mezcla	134
Figura 4.22. Gráfica de comparación: Potencia al Freno vs Concentración de la mezcla.....	134
Figura 4.23. Gráfica de comparación: Presión Media Efectiva vs Concentración de la mezcla.....	135
Figura 4.24. Gráfica de comparación: Relación Aire/Combustible vs Concentración de la mezcla.....	136

Figura 4.25. Gráfica de comparación: Flujo de combustible vs Concentración de la mezcla.....	137
Figura 4.26. Gráfica de comparación: Consumo Específico de Combustible vs Concentración de la mezcla	138
Figura 4.27. Gráfica de comparación: Temperatura de gases de escape vs Concentración de la mezcla.....	139
Figura 4.28. Gráfica de comparación: Eficiencia Térmica vs Concentración de la mezcla.....	140
Figura 4.29. Gráfica de comparación: Eficiencia Volumétrica vs Concentración de la mezcla.....	141
Figura 5.1. Consumo de combustible antes y después	148
Figura 5.2. Ingresos por uso del banco de pruebas antes y después.....	149

RESUMEN

Los bancos de pruebas son una plataforma para la experimentación, que permiten realizar evaluaciones previas y mediciones de distintas variables. La Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” posee un banco de pruebas en el laboratorio de motores de combustión interna, el cual posee un motor de combustión interna monocilíndrico de cuatro tiempos en el cual se puede variar la relación de compresión, el mismo que es utilizado para las prácticas de la cátedra de motores de combustión interna, cuyo objetivo fundamental es complementar el conocimiento teórico adquirido con el conocimiento práctico para una mejor comprensión de los efectos provocados por las variaciones de los parámetros. Tomando en cuenta los avances tecnológicos actuales y la necesidad de mejorar la toma de datos en los bancos de pruebas de laboratorio se planteó implementar un sistema automatizado de adquisición de datos en tiempo real que permita al usuario comprender de mejor manera el proceso que se está experimentando en el motor del banco de pruebas, proyectando datos de forma digital y gráficas de desempeño de acuerdo a las distintas prácticas que se pueden realizar en este equipo. Hoy en día la renovación de equipos industriales es de vital importancia, teniendo presente que la ciencia y la tecnología se desarrollan a pasos agigantados, siendo necesario el mejoramiento de equipos con prestaciones especiales con los que la universidad cuenta para el beneficio de los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica y personal externo que pueda hacer un buen uso del proyecto desarrollado.

Palabras Clave:

- **BANCO DE PRUEBAS**
- **RELACION DE COMPRESION**
- **ADQUISICION DE DATOS**
- **GRAFICOS DE DESEMPEÑO**
- **MOTOR DE COMBUSTION INTERNA**

ABSTRACT

The test benches are platforms for experimentation, which allow assessment and measurement of different variables. The Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” owns a test bench located in the Internal Combustion Engines Laboratory, which has a one cylinder four stroke internal combustion engine in which we can vary the compression ratio. This test bench is used for some practices developed in the course of Internal Combustion Engines, which principal objective is complement the theoretical knowledge acquired with practical for a better understanding of the induced effects for the variation of the engine’s parameters. Considering current technological advances and the need to improve data acquisition on the laboratory’s test benches, was raised to implement a real time automated data acquisition system that allows the user a better understanding of the process that is being experienced on the engine test bench, projecting digital data and performance graphics according to the different practices that can be performed on this equipment. Today the renewal of industrial equipment is vital, considering that science and technology develop rapidly, being necessary the improvement of equipment with special features with which the university has for the benefit of the mechanical engineering students and external personnel who can make good use of the developed project.

Keywords:

- **TEST BENCHES**
- **COMPRESSION RATIO**
- **DATA ACQUISITION**
- **PERFORMANCE GRAPHICS**
- **INTERNAL COMBUSTION ENGINE**

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Desde los orígenes de la civilización, el ser humano ha estado buscando una mejora continua en su estilo de vida tanto en el ámbito personal como en el profesional. Esta búsqueda ha despertado en el hombre una insaciable necesidad de seguir innovando en cuanto a las soluciones de los diversos problemas que se le presentan a lo largo de su evolución.

Con la implementación de soluciones a los tantos problemas que se nos presentan, vamos mejorando el mundo donde vivimos, haciéndolo un lugar más confortable para nuestro desarrollo.

El mejorar nuestro entorno, significa que debemos buscar una manera óptima de utilizar los recursos que están a nuestra disposición para obtener resultados eficientes en cuanto al proceso al que están sometidos.

Una de las formas de optimizar recursos y obtener resultados eficientes es eliminar los errores que se pueden dar por la intervención directa del hombre dentro de la mayoría de los procesos en las distintas áreas que se empleen.

A partir de este concepto es que surge la idea de hacer que en los procesos industriales de cualquier área se vaya eliminando paulatinamente la intervención del ser humano dentro de algunas etapas del proceso, para garantizar que los resultados no se vean afectados por ciertos parámetros, que como seres humanos estamos incluyendo de forma implícita.

Partiendo de esta premisa, la automatización ha sido una de las técnicas que se emplean de manera muy significativa dentro de procesos industriales, sin importar el área en el que sean empleados, permitiendo obtener resultados mucho mejores que cuando en el proceso intervenía directamente la mano del ser humano.

La automatización como un proceso para el mejoramiento en la industria ha permitido que grandes líneas de producción crezcan significativamente desde el momento en que se sustituye la mano de obra por mecanismos especializados en ciertas áreas del mismo.

Se puede decir que la automatización es una serie de sistemas creados a partir de conceptos básicos de las diferentes ciencias que se pueden emplear en cualquier tipo de máquina o conjunto de máquinas, con el propósito de realizar el trabajo de una manera más automática, repetitiva y precisa, evitando errores que con nuestra participación directa es muy complicado eliminarlos.

El uso de la automatización no tiene límites. Se puede emplear dicha técnica, ya sea para procesos en los cuales se necesitan toma de datos y ejecución de secuencias en tiempo real o para mejorar procesos en los cuales los mecanismos existentes pueden ser reemplazados por otros de mejores características, con el afán de mejorar el sistema de manera tal, que podamos obtener resultados notablemente reales, sin tener que emplear suposiciones o aproximaciones que podrían hacer que entremos en zonas de incertidumbre.

La automatización dentro del campo de los laboratorios universitarios tiene un gran impacto al momento de entender el o los procesos que se vayan a analizar de manera tal, que el estudiante no tenga complicaciones en el instante que está ejecutando las prácticas pertinentes.

El propósito de la automatización dentro de equipos de laboratorio universitario es hacer que el proceso de toma de datos y ejecución de secuencias en tiempo real, entreguen valores tan exactos como sea posible, con el fin de realizar un análisis imparcial y minucioso, el cual no tiene que ser afectado por errores de apreciación que se daría por el uso de equipos que no presten este tipo de facilidades al estudiante.

1.2. ANTECEDENTES

Con la tecnología de construcción del año 1980 fueron fabricados en UK los equipos que hoy en día tiene el Laboratorio de Motores de Combustión de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. En el año de 1981 se realizó el montaje del mismo. Para esas fechas la universidad tenía el nombre de “Escuela Politécnica del Ejército”. En el mismo año de 1981 en el mes de Diciembre se inauguró dicho laboratorio, con equipos totalmente nuevos, importados desde Inglaterra, conjuntamente con los otros laboratorios.

Actualmente este laboratorio cuenta con los siguientes equipos:

- Banco de pruebas PLINT TE46 con motores intercambiables.
- Banco de pruebas TecQuipMent TD4 de Motores Multicilíndricos.
- Banco de pruebas PLINT TE16 para un Motor a Diésel.
- Banco de pruebas PLINT TE15 con Motor de relación de compresión variable.



Figura 1.1. Banco de pruebas PLINT TE-15

Todos estos equipos son utilizados para realizar prácticas en las siguientes asignaturas:

- Termodinámica Aplicada,
- Motores de Combustión Interna y
- Tecnología Automotriz.

En la actualidad en el campo de las maquinas térmicas (Motores de combustión interna) como el caso del banco de pruebas PLINT TE-15 se busca una mayor eficiencia del motor así como aprovechar toda la energía que nos entrega el mismo, además la eficiencia es uno de los parámetros más codiciados para muchas industrias y en el ámbito automovilístico. En concreto, el sector de la automoción busca constantemente mejorar los vehículos para que los consumidores ahorren combustible y también con el objetivo de frenar las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.

La relación de compresión determina la eficiencia del motor. De manera que a mayor relación de compresión menos energía necesitará un vehículo para funcionar, en los motores de relación de compresión variable. Si este factor tiene cierta flexibilidad, el coche podrá utilizar una cierta cantidad de combustible según la variación de la relación de compresión, llegando a una potencia deseada.

El banco de pruebas PLINT TE 15 consta de un motor a gasolina en el que se puede variar la relación de compresión, los aspectos más importantes de los motores de relación de compresión variable son: optimiza la eficiencia y permite desplegar toda la potencia del motor. El vehículo podrá escoger entre estos dos niveles dependiendo de su funcionamiento en cada momento. Con esta solución se puede ahorrar un 5,6% del combustible.

La relación de compresión de un motor de combustión se define por la relación entre el volumen del cilindro y el volumen de la cámara de combustión:

$$r_c = \frac{V_U + V_C}{V_C} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: r_c : Relación de compresión
 V_C : Volumen de la cámara combustión
 V_U : Volumen del cilindro

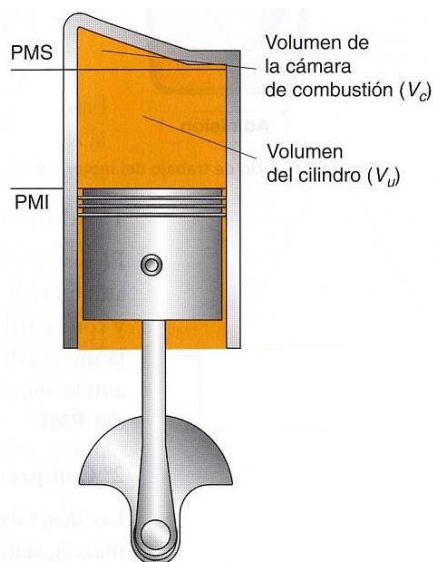


Figura 1.2. Representación de la relación de compresión
Fuente: (Transalper, 2008)

En los motores convencionales, esta relación de compresión es fija, por lo tanto no se puede mejorar. En el sistema VCR (Variable Compression Ratio,

Relación de Compresión Variable) no es fija y por lo tanto se puede optimizar de acuerdo a las condiciones exigidas al motor.

El laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, cuenta con una variedad de equipos, como los detallados anteriormente en los cuales se realizan las prácticas, con una edad de 35 años, en este caso se eligió el banco de pruebas PLINT TE-15.

La investigación y el desarrollo de la relación de compresión variable conllevan altos costes, al igual que la producción de este tipo de motores. Marcas como Saab y Peugeot ya lo han intentado, pero sus prototipos no han llegado a buen puerto por esta última razón. El fabricante sueco presentó su diseño en el año 2000, pero tras la compra por General Motors se decidió paralizar el proyecto por el gasto necesario para llevarlo a cabo. En el 2009, la firma francesa, por su parte, dio a conocer su propio desarrollo, que aún sigue evolucionando con el fin de ponerse a punto para el mercado.

Según la marca Peugeot, el diseño y construcción de este tipo de motor de relación de compresión variable tiene un costo unitario de 1500 dólares, pero debido a su escasa durabilidad y por aspectos de investigación en el campo de estos motores el motor podría llegar a un precio unitario de 3000 dólares, siendo de 1000 a 1500 dólares más costoso que los motores de relación de compresión fija.

1.3. DEFINICION DEL PROBLEMA

El banco de pruebas PLINT TE-15 con el que cuenta el Laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” posee un sistema de toma de datos que se detalla a continuación:

Tabla 1.1. Sistema de toma de datos actual

VARIABLE DE ENTRADA	LIMITACION DE ENTRADA	VARIABLE DE SALIDA	LIMITACION DE SALIDA
I ₁ Temperatura de entrada del agua del sistema de refrigeración del motor.	Se utiliza un termómetro industrial de mercurio con apreciación de 5 °C.	F ₁ Temperatura de salida del agua del sistema de refrigeración del motor.	Se utiliza un termómetro industrial de mercurio con apreciación de 5 °C.
I ₂ Flujo de agua en el sistema de refrigeración.	Rotámetro con apreciación de 1 L/min. El agua de refrigeración se extrae de un reservorio y recircula mediante una bomba.	F ₂ Flujo de agua en el sistema de refrigeración.	El agua sale con una temperatura mayor a la de entrada dependiendo del flujo con el que se trabaje.
I ₃ Velocidad del giro del motor	Se emplea un tacómetro digital de los años 80.	F ₃ Fuerza generada en el motor	Se emplea una balanza de pluma con apreciación de 0.5 N.
I ₄ Volumen de combustible de prueba.	Probeta marcada con discos de bronce. Su control es de forma manual.		
I ₅ Caudal de aire de admisión en el motor.	Se emplea un sistema con placa orificio y manómetro diferencial de agua con apreciación de 5 mm H ₂ O. El cálculo del caudal es de forma indirecta.	F ₄ Temperatura de los gases de escape.	Se utiliza una termocupla tipo K y un pirómetro con apreciación de 20 °C.
I ₆ Numero de resistencias	Aumentan o disminuyen de acuerdo a la velocidad requerida.	F ₆ Voltaje en el banco de pruebas.	Se emplea un voltímetro analógico con apreciación de 20 V.
I ₇ Corriente generada por el dinamómetro en el arranque.	Aumenta o disminuye de acuerdo a la velocidad establecida.	F ₇ Amperaje en el banco de pruebas.	Se emplea un amperímetro analógico con apreciación de 1 A.

Tabla 1.2. Sistema de toma de datos a implementar

	VARIABLE DE ENTRADA	LIMITACION DE ENTRADA	VARIABLE DE SALIDA	LIMITACION DE SALIDA
I ₁	Temperatura de entrada del agua del sistema de refrigeración del motor.	Sensor de temperatura sumergible con facilidad de adaptación a un sistema HMI para obtener valores con apreciación de 0.1 °C.	F ₁ Temperatura de salida del agua del sistema de refrigeración del motor.	Sensor de temperatura sumergible con facilidad de adaptación a un sistema HMI para obtener valores con apreciación de 0.1 °C.
I ₂	Flujo de agua en el sistema de refrigeración a la entrada.	Sensor de flujo con facilidad de adaptación a un sistema HMI para obtener valores con apreciación de 1 L/min.	F ₂ Flujo de agua en el sistema de refrigeración a la salida.	El agua sale con una temperatura mayor a la de entrada.
I ₃	Velocidad del giro del motor	Sensor de presencia acoplado al eje del motor con facilidad de adaptación a un sistema HMI.	F ₃ Fuerza marcada en el dinamómetro.	Sensor de fuerza con facilidad de adaptación a un sistema HMI para obtener valores con apreciación de 1 N.
I ₄	Volumen de combustible de prueba.	Sensores que permitan medir el volumen consumido durante la realización de la práctica.	F ₄ Temperatura de los gases de escape.	Sensor de temperatura con facilidad de adaptación a un sistema HMI para obtener valores con apreciación de 0.1 °C.
I ₅	Caudal de aire de admisión en el motor.	Sensor que mida directamente el caudal másico de aire de admisión con facilidad de adaptación a un sistema HMI para obtener valores con apreciación de 1 Kg/h.		
I ₆	Numero de resistencias	Aumentan o disminuyen de acuerdo a la velocidad requerida.	F ₆ Voltaje en el banco de pruebas.	Medidor de voltaje digital con capacidad de supervisar valores mínimos y máximos adaptable a un sistema HMI.
I ₇	Corriente generada por el dinamómetro en el arranque.	Aumenta o disminuye de acuerdo a la velocidad establecida.	F ₇ Amperaje en el banco de pruebas.	Medidor de amperaje digital con capacidad de supervisar valores mínimos y máximos adaptable a un sistema HMI.

Una vez analizadas las características actuales del banco de pruebas y los requerimientos necesarios para el nuevo sistema, se establecen las variables solución para el proyecto a implementar.

Tabla 1.3. Variables de solución

	VARIABLE DE LA SOLUCION	LIMITACION DE LA SOLUCION
S₁	Sensor de temperatura sumergible	Rango de temperaturas: 20 °C – 80 °C
S₂	Sensor de temperatura sumergible	Rango de temperaturas: 20 °C – 80 °C
S₃	Sensor de flujo de agua	Rango de flujo: 5 - 27 L/min
S₄	Sensor de fuerza	Rango de fuerza: 0 - 60 N
S₅	Sensor Flujo Másico de aire	Rango flujo: 1-14 Kg/h
S₆	Sensor de temperatura	Rango de temperaturas: 0 °C – 650 °C
S₇	Voltímetro digital	Rango de voltaje: 0 - 220 VDC
S₈	Amperímetro digital	Rango de amperaje: 0 - 20 ADC
S₉	Sensor de nivel para combustible	Rango de volumen: 25 y 50 cm ³
S₁₀	Sensor de presencia	Capacidad de detectar vueltas enteras

El propósito de este proyecto es implementar un sistema automatizado de adquisición de datos digital en tiempo real que mejore de manera significativa la toma de datos dentro de las prácticas que se realicen en dicho banco de pruebas, para que en los resultados que se logren obtener, disminuya el porcentaje de error, cumpliendo con los siguientes criterios de aceptación:

- Facilidad de manejo.
- Seguridad para los estudiantes y el laboratorista.
- Confiabilidad.
- Facilidad de mantenimiento y reparación.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema automatizado de adquisición de datos en el banco de pruebas PLINT TE-15 del laboratorio de combustión interna y analizar el estado actual del motor del banco mediante un balance térmico.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Aplicar las leyes de la Termodinámica al motor del equipo PLINT TE-15 en un balance termodinámico para determinar el estado en el que se encuentra.
- Implementar un sistema automatizado de adquisición de datos digitalizados en tiempo real para los distintos parámetros que proporciona el equipo PLINT TE-15.
- Obtener las curvas características del motor de combustión interna del banco de pruebas PLINT TE-15.
- Validar los resultados mediante la comparación de los datos obtenidos con el sistema automatizado y los datos históricos del equipo.
- Evaluar el costo económico del proyecto.

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Viabilidad Técnica:

La implementación de este proyecto en el Laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" tendrá un impacto en cuanto a la tecnología empleada actualmente, ya que se cambiará el sistema de toma de datos existente por un sistema de adquisición

de datos digital en tiempo real, siendo un avance en la tecnología utilizada para este equipo.

Viabilidad Económica:

La universidad no se verá afectada en cuanto a costos, ya que nosotros cubriremos en su totalidad los gastos tanto indirectos como directos que se presente en la realización del proyecto, además este proyecto será para el beneficio propio de la universidad de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica.

Viabilidad Social:

Se verán beneficiados los estudiantes y el personal de laboratorio, ya que se podrán obtener datos con un menor índice de error, lo cual permitirá que se tenga un mejor entendimiento en cuanto al funcionamiento de los motores de combustión interna alternativos con relación de compresión variable, además con la implementación de este proyecto se cubrirá las necesidades o vacíos que los estudiantes tienen al rato de realizar las practicas, ya que implementaremos un sistema digital de datos.

Viabilidad de Seguridad:

El proyecto se lo realizara con criterios de seguridad adecuadas para no tener ningún tipo de inconveniente al momento que los estudiantes realicen las prácticas de laboratorio, además todos los cambios que se realicen en el equipo PLINT TE-15, serán implementados de acuerdo reglas y normas que proporcionen los manuales de los dispositivos a implementarse

Viabilidad Ecológica:

El banco de pruebas PLINT TE-15, emite gases como CO₂ CO, SO₂ y NO_x, que son los gases de escape típicos de un motor de combustión interna a gasolina. Con la implementación del sistema de adquisición de datos, la emisión de gases no se verá afectada, por lo que el impacto ambiental será el mismo que se tiene actualmente, el cual no es muy significativo ya que el banco de pruebas no funciona constantemente.

1.6. ALCANCE

El proyecto a ejecutarse en el Laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" tiene como alcance los siguientes puntos:

Implementar un sistema de adquisición de datos digital en tiempo real, que permitirá obtener valores con un menor índice de error en cuanto a apreciación y exactitud. Para cumplir con esta meta se empleará un sistema en el que existan:

- Sensores de temperatura
- Sensor de fuerza
- Sensores de flujo
- Medidor de voltaje
- Medidor de corriente
- Hardware y software adecuado de acuerdo a los requerimientos del nuevo sistema a implementar.
- Se realizará un balance termodinámico del motor del banco de pruebas para poder comparar el estado actual del banco con el estado posterior a la implementación del sistema mencionado anteriormente.
- Se obtendrán las curvas características de desempeño del motor del banco de pruebas mediante la adquisición de datos en tiempo real.

- Se entregará manuales de funcionamiento del sistema instalado en el banco de pruebas, en el cual constarán todos los parámetros de trabajo y seguridad con los que se debe trabajar.
- Se proporcionará la capacitación al Jefe de laboratorio y Laboratorista.

Todos los detalles mencionados anteriormente serán entregados al finalizar el proyecto dentro del límite de tiempo establecido.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

El origen de los motores de combustión interna se remonta hacia la segunda mitad del siglo XIX, cuando se dio a conocer el primer modelo funcional de un motor de este tipo, cuyo creador fue Otto, quien diseñó un motor de combustión interna de encendido por chispa.

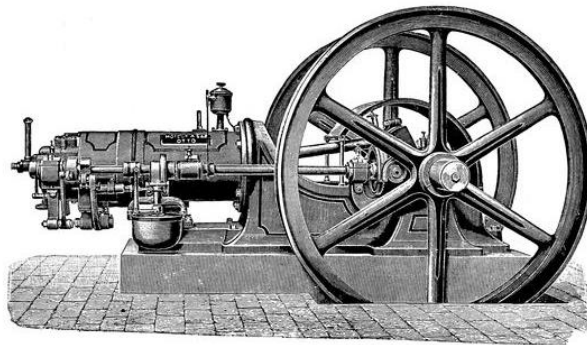


Figura 2.1. Motor Otto de cuatro tiempos

Fuente: (Bhagiratha, 2013)

Años más tarde, se dio otro gran avance, Rudolph Diésel crea un motor de combustión interna casi similar al de Otto, con la gran diferencia que éste era de encendido por compresión. Estos dos grandes avances en la tecnología marcaron una pauta en la historia, que con el paso de los tiempos se seguiría desarrollando de manera tal, que en la actualidad contamos con modelos mucho más sofisticados y que brindan cada vez mejores resultados.

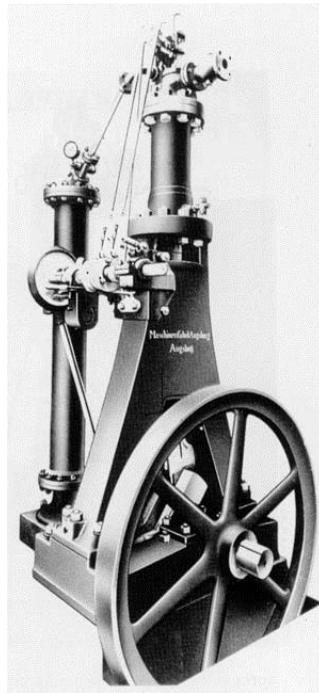


Figura 2.2. Motor Diésel 1893

Fuente: (Leduc, 2013)

El propósito fundamental de la invención del motor de combustión interna fue el de producir trabajo mecánico a partir de la energía química del fluido de trabajo que se emplee en dicho motor. A diferencia de los motores de combustión externa, la energía que se encuentra en el fluido de trabajo es liberada mediante combustión u oxidación de éste en el interior del motor, la cual acciona mecanismos propios de cada tipo de motor para poder generar trabajo mecánico.

El continuo desarrollo de los motores de combustión interna ha sido marcado por el hecho de que las necesidades de la humanidad han ido creciendo y se han vuelto más específicas ya que las condiciones en las que vivimos actualmente cada vez son más condicionadas y se deben cumplir con muchos más parámetros que marcan un estilo de vida más confortable.

Estos constantes cambios en nuestro entorno han hecho que los motores de combustión interna adquieran cualidades tan especiales que se los puede

emplear en cualquier campo que sean requeridos sin limitaciones, ya sea por funcionalidad o por capacidad. Debido a esto, es que existen varios tipos de motores de combustión interna.

La mayor parte de los motores de combustión interna son los conocidos como motores alternativos o reciprocantes, los cuales se caracterizan por tener pistones en el interior de los cilindros que forman parte de la estructura de este tipo de sistemas.

2.2. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO

Los motores de combustión interna alternativos, reciben este nombre porque su funcionamiento está basado en la conversión del movimiento lineal de uno o varios pistones, generado por la liberación de energía del combustible empleado, en movimiento rotatorio a través de sistema biela-manivela, con la finalidad de producir un determinado trabajo.

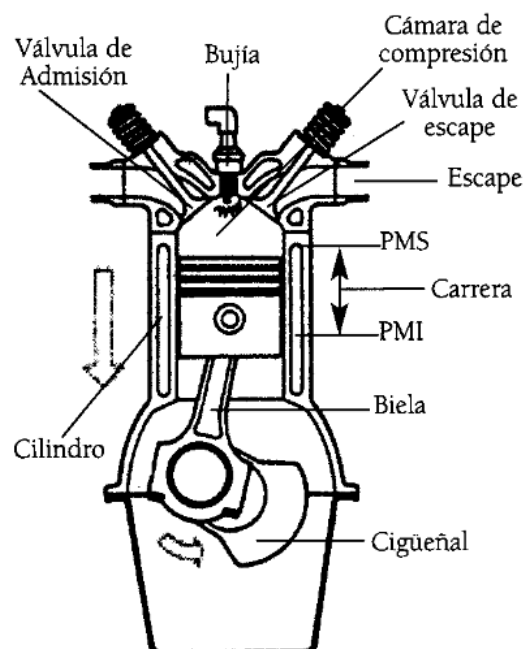


Figura 2.3. Esquema de un MCI de encendido por chispa

Fuente: (Arias-Paz, 2004)

El proceso de liberación de la energía liberada por el combustible empleado es muy simple de explicar, primero ingresa al motor una cantidad determinada de mezcla aire-combustible por medio de la válvula de admisión, la misma que se comprime hasta un punto, en el cual mediante una chispa o por la simple compresión la mezcla combustiona. La combustión crea una gran cantidad de energía que produce una fuerza de empuje sobre el pistón, el cual transmite el movimiento a través de la biela hacia el eje del cigüeñal, transformando el movimiento lineal en movimiento rotatorio, produciéndose un trabajo mecánico. Los residuos de la combustión son evacuados por la válvula de escape, vaciando el cilindro para que una nueva mezcla aire-combustible ingrese y se genere nuevamente el ciclo.

2.3. CICLO DE TRABAJO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO

El ciclo de trabajo de un motor de combustión interna alternativo se define como la sucesión de operaciones que se realizan en el interior del motor con el propósito de generar un trabajo. Estas operaciones son:

- Admisión de la mezcla aire-combustible
- Compresión de la mezcla
- Combustión de la mezcla
- Expansión de los gases de combustión
- Escape de los gases de combustión

En un motor de combustión interna alternativa, este ciclo se repite continuamente durante su funcionamiento, a lo que se conoce como ciclo intermitente de trabajo.

Todo ciclo de trabajo cumple con los ítems antes mencionados, la única diferencia es el número de vueltas que realiza el cigüeñal para cumplir con éste.

Partiendo de esta premisa, se puede tener motores con ciclo de trabajo de dos tiempos y cuatro tiempos. Los motores de dos tiempos cumplen con el ciclo de trabajo explicado en solo una vuelta del cigüeñal, en cambio que los motores de cuatro tiempos cumplen con el ciclo de trabajo en dos vueltas del cigüeñal.

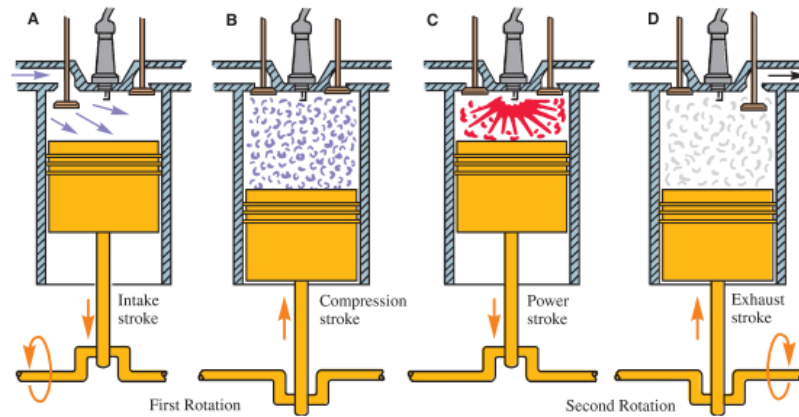


Figura 2.4. Ciclo de trabajo de un motor de cuatro tiempos

Fuente: (The Goodheart-Willcox Co., Inc., 2015)

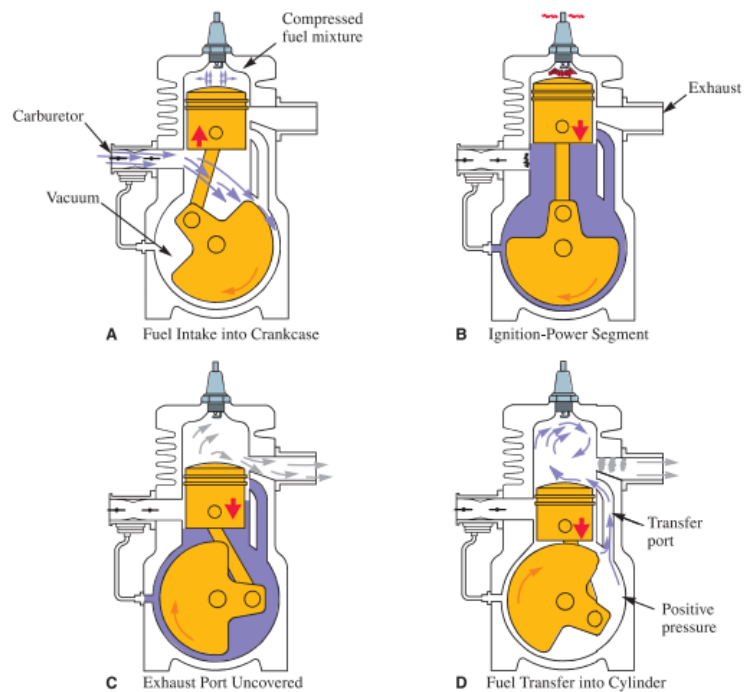


Figura 2.5. Ciclo de trabajo de un motor de dos tiempos

Fuente: (The Goodheart-Willcox Co., Inc., 2015)

2.4. VARIACIÓN DE LA RELACIÓN DE COMPRESIÓN EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO

La relación de compresión de un motor de combustión interna alternativo no es más que la proporción que existe entre el volumen total o máximo que ocupa la mezcla aire-combustible antes de ser comprimido y el volumen de la cámara de combustión (ver la Figura 1.2).

La relación de compresión es uno de los parámetros que influyen directamente sobre la eficiencia general del motor. En los motores de combustión interna alternativos convencionales, la relación de compresión está establecida por el fabricante en función a su geometría, lo cual restringe su desempeño bajo ciertas condiciones de velocidad y carga.

Lo que se busca al poder variar la relación de compresión en este tipo de motores en operación es que el desempeño del motor sea mucho mejor que el de uno con la relación de compresión fija. Por ejemplo: al tener un motor sometido a condiciones de trabajo con cargas muy grandes (acelerado en su totalidad), la relación de compresión disminuiría para evitar problemas de detonación en el interior de los cilindros; en cambio si el motor trabaja a condiciones de carga bajas (acelerado moderado-bajo), la relación de compresión aumentaría para aprovechar las propiedades del combustible con el que se está trabajando.

Un motor de combustión interna alternativo con relación de compresión variable tiene la capacidad de variar su relación de compresión dependiendo de las necesidades de éste cuando esté en funcionamiento. Este tipo de motores están optimizados para trabajar bajo varias condiciones como: aceleración, velocidad y carga.

La relación de compresión óptima que se obtiene con estos motores está determinada como una función entre los parámetros de funcionamiento del

motor como la temperatura del aire a la entrada, la temperatura del refrigerante, la temperatura de los gases de escape, el golpeteo del motor, el tipo de combustible (número de octanos o cetanos según sea el caso), etc.

Para lograr la variación de la relación de compresión en este tipo de motores, se han estudiado minuciosamente todos los elementos mecánicos que conforman el motor. Dentro de los estudios realizados, se analizaron las posibilidades de variar el volumen de la cámara de combustión, la forma del pistón, la longitud de la biela o hacer una modificación notoria al eje del cigüeñal.

La implementación de las ideas antes mencionadas, en la mayoría de los casos resulta demasiado compleja, elevando de manera significativa el costo de estos motores.

A pesar de todos los inconvenientes que se generan al tratar de lograr una variación de la relación de compresión durante el funcionamiento de estos motores, hay algunas empresas automovilísticas que han invertido grandes cantidades de dinero en busca de un mejoramiento notorio en cuanto a la eficiencia térmica que brindan actualmente los motores de combustión interna alternativos.

Una de las empresas pioneras es Saab, que ha diseñado un mecanismo que permite variar el volumen de la cámara de combustión de acuerdo a los parámetros de funcionamiento a los que esté funcionando el motor.



Figura 2.6. Mecanismo de culata integral Saab

Fuente: (Benito, 2000)

Con este dispositivo, el volumen de la cámara de combustión varía mediante un dispositivo hidráulico, que hace rotar la culata integral 4° , logrando que el volumen aumente o disminuya según el trabajo que el motor esté realizando. Este pequeño giro de 4° , hace que la relación de compresión varíe de 8:1 a 14:1.

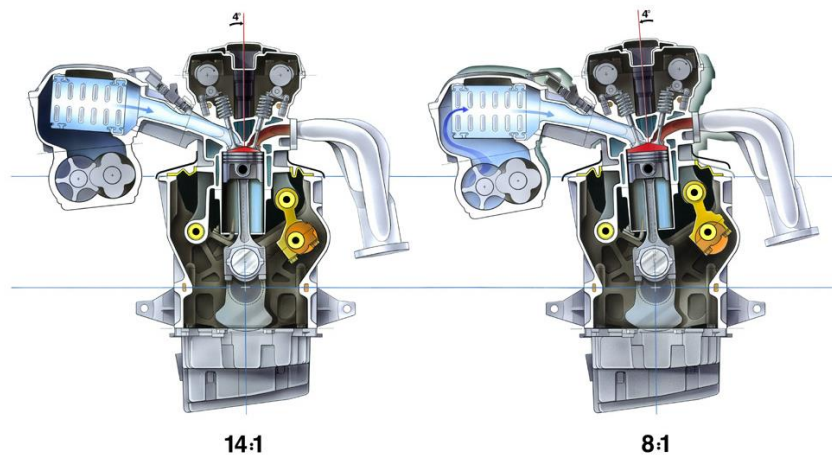


Figura 2.7. Variación relación de compresión motor Saab

Fuente: (Benito, 2000)

La compañía francesa Peugeot tampoco se queda atrás en este campo, ya que tiene su prototipo MCE-5 VCRi, en el que se varía el volumen de la cámara de combustión de una manera innovadora.

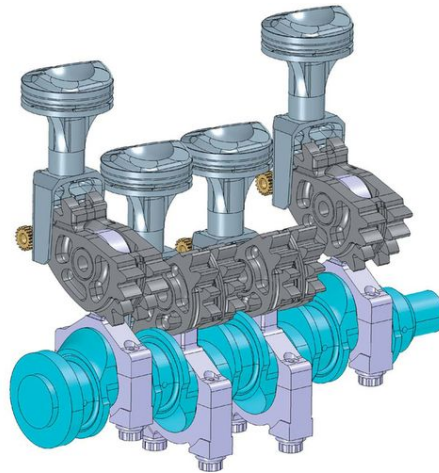


Figura 2.8. Sistema MCE-5 VCRI

Fuente: (Álvarez, 2009)

Como se observa en la figura 2.8., entre la biela y el pistón se encuentra un mecanismo solidario al movimiento, el cual desplaza al pistón por medio de un mecanismo pivoteador con ruedas dentadas, el mismo que se activa por las fuerzas inerciales generadas en el interior del cilindro en el ciclo de trabajo.

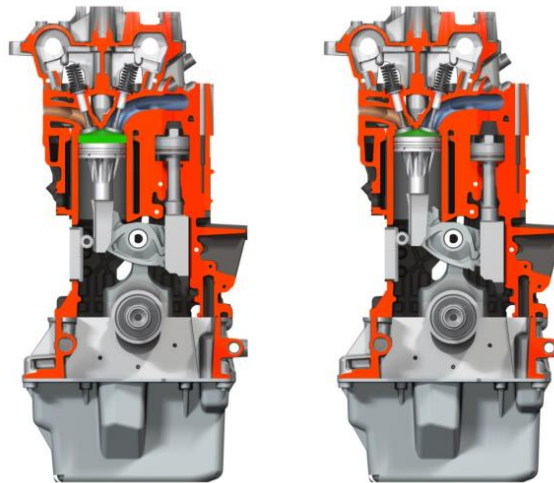


Figura 2.9. Variación relación compresión MCE-5

Fuente: (MCE-5 DEVELOPMENT S.A., 2000-2015)

Mediante el uso de este mecanismo innovador, se logra una variación de la relación de compresión mientras el motor esté funcionando de 7:1 hasta 20:1.

2.5. VARIACIÓN DEL AVANCE DE ENCENDIDO EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO

El avance del encendido en un motor de combustión interna alternativo de encendido por chispa es un aspecto que determina su correcto desempeño, ya que debe ser calibrado de acuerdo a los parámetros de funcionamiento que rigen su adecuada operación.

La chispa que genera la bujía debe saltar con cierto anticipo respecto al punto muerto superior, para que la presión de combustión alcance su valor máximo y genera la suficiente fuerza en la expansión para que el motor continúe trabajando sin pérdidas de potencia.

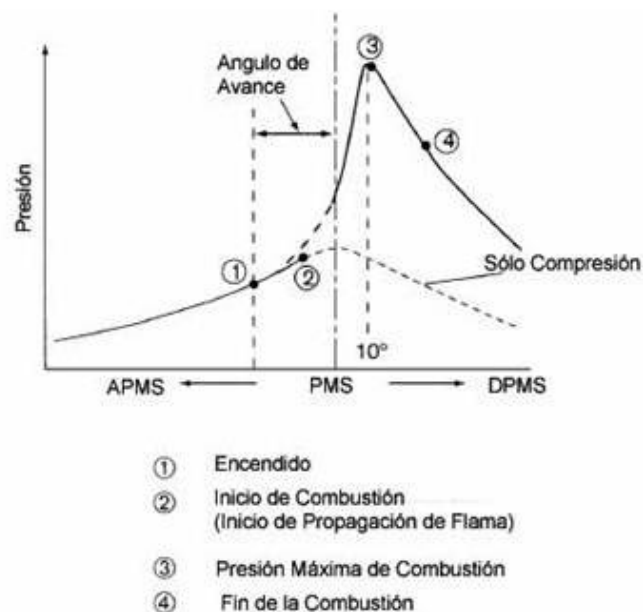


Figura 2.10. Representación del avance de encendido en un MCI

Fuente: (Booster, 2015)

Cuando la chispa de la bujía enciende la mezcla aire-combustible, ésta tarda un tiempo determinado en quemar toda la mezcla y expandir todos los gases producto de la reacción química. Este tiempo varía en función de la

forma de la cámara de combustión, la temperatura de la mezcla, la concentración de la misma y la presión dentro del cilindro y la cámara.

El ángulo recorrido por el motor desde que se produce el salto de la chispa hasta que se produce el punto de encendido varía en función de la velocidad de giro del mismo (además del tamaño de la biela, el diámetro del pistón, la carrera, etc.), por lo que es necesario avanzar el encendido a medida que aumentan las revoluciones del motor.

En los motores de combustión interna empleados en los autos, existen dispositivos que ayudan a regular el avance en función de las revoluciones a las que gira el motor y en función de la carga empleada. Los dispositivos de avance al encendido se construyen de tal manera, que en un determinado motor se obtenga el punto de encendido más adecuado para cada número de revoluciones y cada valor de carga.

El ajuste más favorable significa conseguir la mayor potencia posible del motor con un reducido consumo de combustible, sin que llegue a aparecer el avance excesivo y los gases se quemen bien en el cilindro, reduciendo la emisión de gases contaminantes por el escape.

2.6. CONCENTRACIÓN DE LA MEZCLA EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

La producción de mezclas de aire y combustible homogéneas sólo lo pueden ser las mezclas de gas o gas-vapor, es decir todo el combustible debe ser vaporizado antes del encendido.

La formación de la mezcla debe realizarse de forma que se produzcan variaciones mínimas en la relación aire-combustible, de un cilindro a otro y de un ciclo a otro.

La relación entre aire y combustible varía constantemente en un motor de pistones. Esta proporción se calcula de acuerdo al peso:

$$\text{Relación } \frac{A}{C} = \frac{\text{Aire atmosférico} \text{ [gramos]}}{\text{Consumo combustible} \text{ [gramos]}} \quad \text{Ecuación 2}$$

En condiciones normales, la combustión total de 1 gramo de combustible se consigue con 14.7 gramos de aire (mezcla estequiométrica). Sin embargo, los motores recíprocos no son capaces de crear las condiciones de homogeneidad entre aire y combustible para quemarla el ciento por ciento. Para contrarrestar esta deficiencia los sistemas de alimentación están diseñados de manera que la mezcla contenga un 10% más de aire por gramo de combustible.

El desempeño de un motor varía de acuerdo a la relación de mezcla que utiliza. Si un motor funciona a velocidad constante y variamos la proporción de aire combustible que lo alimenta su potencia varía de acuerdo al gráfico siguiente:

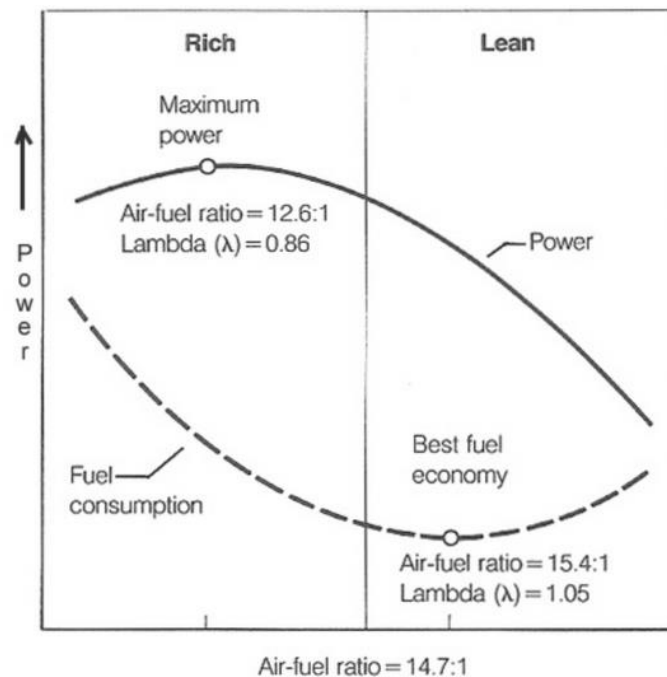


Figura 2.11. Relación aire-combustible vs. Potencia

Fuente: (LASHERAS, 2013)

2.7. PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Los parámetros de desempeño de los motores de combustión interna, se ven ligados con la eficiencia que el motor pueda producir. Estos parámetros de una u otra forma afectan la eficiencia y además se los puede representar o visualizar en diferentes gráficos y curvas características.

2.7.1. TORQUE

El par o torque del motor se refiere a la fuerza que producen los cuerpos en rotación, mide la capacidad del motor para producir un trabajo, además indica la fuerza torsional que es capaz de proporcionar un motor desde su eje principal, hasta el diferencial del vehículo. Se calcula de la siguiente manera:

$$T = F * d \quad [N.m] \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde: F: Fuerza generada por el motor.
d: Brazo de palanca en el motor.

2.7.2. POTENCIA AL FRENO

Es la potencia que se obtiene en el eje del motor, también es denominada potencia en la flecha. Indica la capacidad de cumplir con una determinada cantidad de trabajo producido en la unidad de tiempo. Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$P_f = T * \frac{2\pi N}{60} \quad [Kw] \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde: T: Torque del motor
N: Velocidad del motor [RPM]

2.7.3. PRESIÓN MEDIA EFECTIVA AL FRENO

Es la presión teórica constante que imaginariamente se ejerce durante cada carrera de potencia del motor para producir una potencia igual a la del freno.

$$PMEF = \frac{P_f}{V_D} \left[\frac{KW}{m^2} \right] \quad \text{Ecuación 5}$$

$$V_D = n \pi \frac{D^2}{4} * L * \frac{N}{60K_2} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Donde:

- P_F : Potencia al freno del motor
- V_D : Volumen total de los cilindros del motor
- D : Diámetro del cilindro
- L : Carrera del cilindro
- N : Velocidad del motor [RPM]
- K_2 : Constante, $K_2=1$ para motores de dos tiempos
 $K_2=2$ para motores de cuatro tiempos

2.7.4. CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Este parámetro se lo determina experimentalmente y nos indica la “rapidez de consumo” de un motor, en un determinado período de tiempo.

$$m_c = V_c * \delta_c \left[\frac{Kg}{s} \right] \quad \text{Ecuación 6}$$

$$V_c = \frac{V_{prueba}}{t} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad \text{Ecuación 6.1}$$

Donde:

- V_c : Flujo de combustible de prueba
- V_{prueba} : Volumen de prueba de combustible
- t : Tiempo de consumo del volumen de prueba
- δ : Densidad del combustible

2.7.5. CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE

Es un parámetro comparativo que muestra con cuanta eficiencia convierte un motor el combustible en trabajo.

$$CECF = \frac{m_c}{P_f} \left[\frac{Kg}{KW - h} \right] \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde: m_c : Flujo másico de combustible
 P_f : Potencia al freno

2.7.6. CONSUMO DE AIRE

Masa de aire que ingresa por el sistema de admisión de aire del motor, y que es requerida para una eficiente combustión del combustible. En los motores de automóviles, la cantidad de aire es calculada por la computadora a través del sensor de aire (MAF); mientras que en los motores de bancos de prueba, que están conformados por un sistema que tiene un tanque, una placa orificio y un manómetro de presión diferencial se calcula de la siguiente manera:

$$\dot{m}_a = \frac{\pi D^2}{4} C \sqrt{\frac{2 C_1 h_o Pa}{Ra Ta}} \left[\frac{Kg}{h} \right] \quad \text{Ecuación 8}$$

En motores de encendido por chispa (MECH) la cantidad de aire aumenta conforme se abre la mariposa del carburador, al acelerar, mientras que en motores de encendido por compresión (MEC) se mantiene aproximadamente constante.

2.7.7. RELACIÓN AIRE COMBUSTIBLE

Está dada como la relación entre la cantidad de aire utilizado en la combustión y la cantidad de combustible quemado. Cuando en los productos no existe la presencia de CO ni tampoco de O₂, la combustión es completa y se dice que la relación aire-combustible es la teórica o estequiométrica. En la práctica se requiere de un exceso de aire (O₂ en los productos) para la combustión completa del combustible.

$$A/C_{teorica} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c} \quad \text{Ecuación 9}$$

2.7.8. EFICIENCIA TÉRMICA

Desde el punto de vista de la termodinámica se define a la eficiencia térmica de un motor como el grado de aprovechamiento del poder calórico del combustible, al desarrollar una unidad de potencia.

$$\eta_t = \frac{P_f}{\dot{m}_c Q_{NETO}} \times 100 \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde: P_F: Potencia al freno
 m_C: Flujo másico de combustible
 Q_{NETO}: Poder calórico del combustible empleado

2.7.9. EFICIENCIA VOLUMÉTRICA

Definida como la relación del peso real de aire inducido por el motor, en la carrera de admisión entre el peso teórico de aire que debiera inducirse llenando el volumen de desplazamiento del émbolo con aire a la temperatura y presión atmosféricas.

$$\eta_v = \frac{\text{Consumo de aire real}}{\text{Consumo de aire ideal}} \times 100 \quad \text{Ecuación 11}$$

La eficiencia volumétrica es un factor importante en el proceso de admisión, pues permite analizar la capacidad del motor para admitir carga fresca; y nos indica la capacidad del diseño del sistema de admisión que sobre ella influyen varios factores como son la presión del cilindro, temperatura en el cilindro, velocidad, aceleración, masa de gases residuales, relación de compresión y otros.

2.8. BALANCE TERMODINÁMICO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

En cualquier tipo de motor de combustión interna no es posible aprovechar el 100% de la energía suministrada al sistema durante su funcionamiento, solamente una parte de esta energía es transformada en trabajo mecánico, mientras que el resto de la energía se desperdicia.

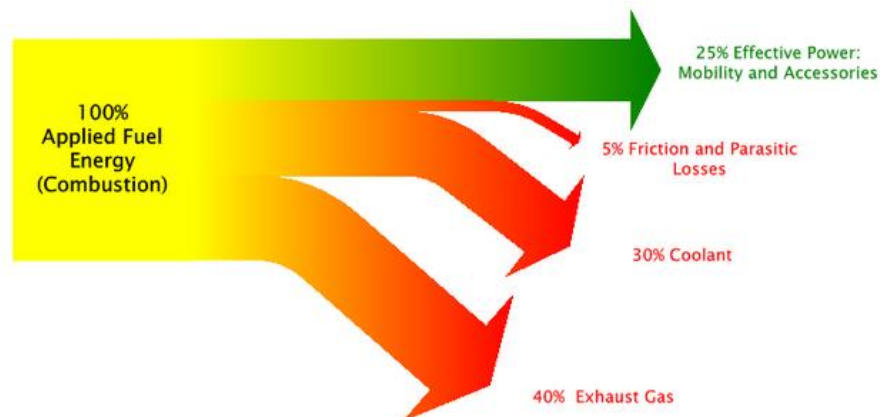


Figura 2.12. Diagrama de Sankey de un balance termodinámico

Fuente: (Phineas, 2007)

Para visualizar de manera más clara los resultados de los balances termodinámicos que se han realizado dentro de los diversos estudios, se emplea el diagrama de Sankey de la figura 2.12, el cual nos detalla de manera

simplificada que de toda la energía que ingresa al motor, un 25% se transforma en trabajo neto mecánico, mientras que el 75% restante se pierde en el sistema de refrigeración, en los gases de escape y por fricción.

Teniendo presente las distintas pérdidas de calor que se tienen en un motor de combustión interna, se puede inferir la siguiente ecuación:

$$Q_{combustible} = Q_E + Q_{enf} + Q_{ge} + Q_{tc} \quad \text{Ecuación 12}$$

- Donde:
- $Q_{combustible}$: Calor liberado por el combustible
 - Q_E : Potencia al freno (Energía transformada en trabajo neto)
 - Q_{enf} : Calor perdido en el refrigerante
 - Q_{ge} : Calor perdido en los gases de escape
 - Q_{tc} : Calor perdido por transferencia de calor en ductos

A continuación se muestra una tabla en la cual se detallan las maneras de calcular las distintas formas de calor en un motor de combustión interna.

Tabla 2.1. Formas de calor en un MCI, expresiones y símbolos

CONCEPTO	FÓRMULA	UNIDADES	SIGNIFICADO
Potencia al freno (P_F)	$P_F = T \cdot 2\pi \cdot N / 60$	[KW]	T: Torque [KN·m] N: Velocidad motor [RPM]
Calor liberado por el combustible (Q_E)	$Q_E = P_C \cdot m_C$	[KW]	P_C : Poder calórico del combustible [KJ/Kg] m_C : Flujo másico combustible [Kg/s]
Calor perdido en el refrigerante (Q_{enf})	$Q_{enf} = m_{agua} \cdot C_{p_{agua}} \cdot (T_2 - T_1)$	[KW]	m_{agua} : Flujo másico agua [Kg/s] $C_{p_{agua}}$: Calor específico del agua [KJ/Kg·°K] T_2 : Temperatura de salida del agua de refrigeración [°K]. T_1 : Temperatura de entrada del agua de refrigeración [°K].
Calor perdido en los gases de escape (Q_{ge})	$Q_{ge} = (m_{aire} + m_C) \cdot C_{p_{aire}} \cdot (T_{ge} - T_{aire})$	[KW]	m_{aire} : Flujo másico de aire [Kg/s] $C_{p_{aire}}$: Calor específico del aire [KJ/Kg·°K] T_{ge} : Temperatura de gases de escape [°K] T_{aire} : Temperatura de entrada de aire [°K]

2.8.1. PÉRDIDAS POR TRANSFERENCIA DE CALOR

Las principales pérdidas por transferencia de calor se tiene en el sistema de refrigeración del banco de pruebas PLINT TE-15, a lo largo de las tuberías del agua de refrigeración antes de ingresar al motor y a la salida del motor. Las formas de transferencia de calor que tenemos en el sistema de refrigeración son:

- Convección de la energía generada por la combustión en el motor hacia el agua de refrigeración.
- Convección del agua que circula en la tubería hacia las paredes de la tubería.
- Conducción desde la pared interior de la tubería hasta la pared exterior de la tubería.
- Convección desde la pared exterior de las tuberías hacia el ambiente.
- Convección desde el agua del reservorio hacia el ambiente

2.8.1.1. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

La transferencia de calor por conducción se da en un medio solido o fluido en presencia de una diferencia de temperatura.

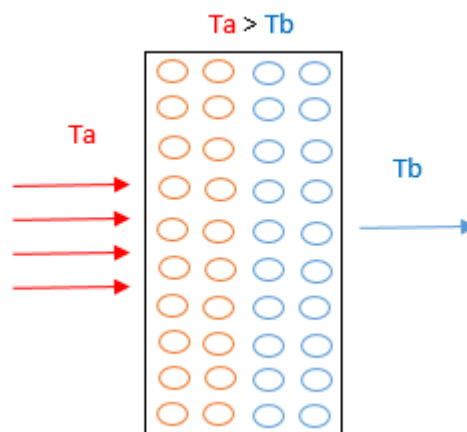


Figura 2. 13. Transferencia de calor por conducción

El coeficiente de conducción se lo representa con la letra K, y sus unidades son:

$$\left[\frac{W}{m^{\circ}K} \right] \quad \left[\frac{W}{m^{\circ}C} \right]$$

Si “K” > 1 entonces el material es conductor

Si “K” < 1 entonces el material es aislante

Es posible cuantificar los procesos de transferencia de calor en términos de las ecuaciones o modelos apropiados. Estas ecuaciones sirven para calcular la cantidad de energía que se transmite por unidad de tiempo, para la conducción utilizamos la ley de Fourier.

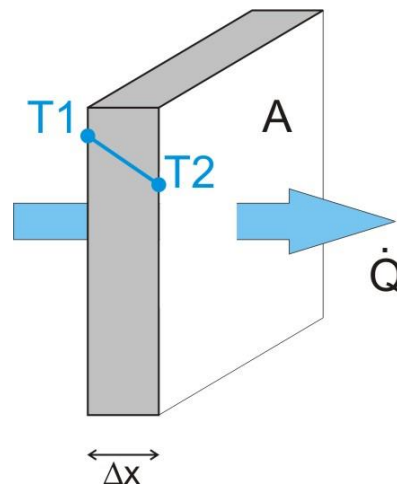


Figura 2.14. Calor por conducción a través de una pared

Fuente: (Martellotta, 2012)

$$q_x = q_x'' * A \quad \text{Ecuación 13}$$

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} ; \quad \text{Ley de Fourier} \quad \text{Ecuación 13.1}$$

$$q_x = \frac{-kA}{L} \frac{dT}{dx} \quad \text{Ecuación 13.2}$$

2.8.1.2. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION EL FLUJO INTERNO

El modo de transferencia de calor por convección se da por dos mecanismos, el primero es el movimiento molecular aleatorio y el segundo es la transferencia de energía mediante el movimiento global o macroscópico del fluido, sin importar la naturaleza particular del proceso de transferencia de calor por convección, la ecuación apropiada para el cálculo tiene la siguiente forma:

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde: $q'' = \text{Flujo de calor por convección}$

$h = \text{Coeficiente de transferencia de calor por convección}$

$T_s = \text{Temperatura de la superficie}$

$T_\infty = \text{Temperatura del fluido}$

A la expresión anterior se la conoce como la ley de enfriamiento de Newton.

Cuando se trata con flujos internos, es importante conocer la extensión de la región de entrada, que depende si el flujo es laminar o turbulento. El número de Reynolds para un flujo incompresible estable en un tubo de sección circular uniforme se define como:

$$Re_D = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu} \quad \text{Ecuación 15}$$

Dependiendo del valor que nos brinde esta ecuación podemos definir el tipo de flujo que se tiene ya sea laminar o turbulento,

Flujo laminar: $Re < 10000$

Flujo Turbulento completamente desarrollado: $Re > 10000$

2.8.1.3. CORRELACIONES DE FLUJO TURBULENTO

El análisis de condiciones en flujo turbulento es complicado, y se hace énfasis en la determinación de correlaciones empíricas. Una expresión clásica para calcular el número de Nusselt local para flujo turbulento completamente desarrollado en un tubo circular es la ecuación de "Dittus-Boelter" que esta expresada de la siguiente forma:

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde $n = 0,4$ para calentamiento y $n = 0,3$ para enfriamiento, esta ecuación se ha confirmado de forma experimental para las siguientes condiciones:

$$0.7 \leq Pr \leq 160$$

$$Re_D \geq 10000$$

$$\frac{L}{D} \geq 10$$

Para obtener el valor del coeficiente de convección igualamos la ecuación anterior (ecuación 16) a la siguiente expresión:

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n = \frac{h D}{k} \quad \text{Ecuación 17}$$

2.8.1.4. TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN CILINDRO

El cilindro hueco, cuyas superficies interna y externa se exponen a fluidos con diferentes temperaturas (figura 2.15), para condiciones de estado estable sin regeneración de calor, la forma apropiada de la ecuación de calor es:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(kr \frac{dT}{dr} \right) = 0 \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde “k” se trata como una variable y “r” es el radio del sistema radial (cilindro). La rapidez a la que se conduce la energía a través de cualquier superficie cilíndrica en el sólido se expresa como:

$$q_r = -kA \frac{dT}{dr} = -k(2\pi rL) \frac{dT}{dr} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde $A = 2\pi rL$ es el área a la dirección de la transferencia de calor, en la siguiente imagen se muestra la dirección de q_r .

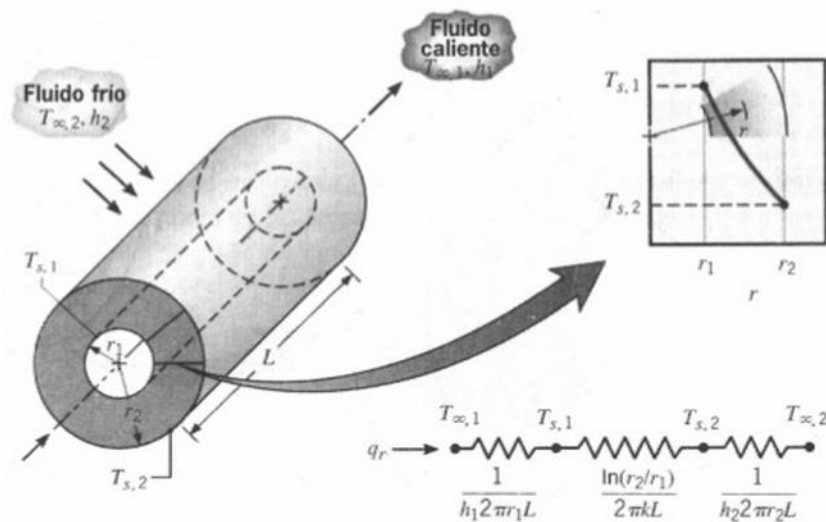


Figura 2.15. Transferencia de calor en un cilindro

Fuente: (Frank P. Incropera, 1999)

Es posible determinar la distribución de temperaturas en el cilindro resolviendo la ecuación 18 y aplicando las condiciones de frontera adecuadas, suponiendo que el valor de “k” es constante. Al integrar dos veces la ecuación 18 se obtiene la siguiente solución general:

$$T(r) = C_1 \ln(r) + C_2 \quad \text{Ecuación 20}$$

Para obtener las constantes de integración C_1 y C_2 se introduce las siguientes condiciones de frontera:

$$T(r_1) = T_{s,1} \quad y \quad T(r_2) = T_{s,2} \quad \text{Ecuación 20.1}$$

$$T_{s,1} = C_1 \ln(r_1) + C_2 \quad y \quad T_{s,2} = C_1 \ln(r_2) + C_2 \quad \text{Ecuación 20.2}$$

Resolviendo para C_1 y C_2 y sustituyendo en la solución general se obtiene:

$$T(r) = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{\ln(r_1/r_2)} \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right) + T_{s,2} \quad \text{Ecuación 21}$$

Debemos tener en cuenta que la distribución de temperatura en un cilindro es de la forma logarítmica tal como se muestra en la figura 2.15 Si la distribución de temperaturas se usa con la ley de Fourier obtenemos la siguiente ecuación:

$$q_r = \frac{(2\pi LK)(T_{s,1} - T_{s,2})}{\ln(r_1/r_2)} \quad \text{Ecuación 22}$$

De este resultado es evidente que para la condición radial en una pared cilíndrica, la resistencia térmica es de la forma:

$$R_{t, \text{ cond}} = \frac{\ln(r_1/r_2)}{2\pi kL} \quad \text{Ecuación 23}$$

2.9. BANCO DE PRUEBAS PLINT TE-15

El propósito de este banco de pruebas es proporcionar una demostración económica pero adecuada de los efectos de variar la relación de compresión, el avance al encendido y la relación aire-combustible en todos los aspectos del rendimiento del motor de gasolina.



Figura 2.16. Banco de pruebas PLINT TE-15

El banco de pruebas está conformado por cinco sistemas que permiten un correcto funcionamiento de todo el conjunto. Estos sistemas son:

- Motor monocilíndrico
- Sistema de freno
- Sistema de suministro de combustible
- Sistema de admisión de aire
- Sistema de refrigeración

2.9.1. MOTOR MONOCILÍNDRICO

El motor monocilíndrico del banco de pruebas tiene la característica especial de que el volumen de la cámara de combustión puede variar mediante la regulación de un mecanismo propio de este motor. Posee también dos tornillos micrométricos laterales que permiten cambiar el avance del encendido y la concentración de la mezcla.

El motor es muy robusto y los cojinetes y el tren de rodaje son adecuados para soportar golpes severos, lo que permite la demostración de pre-ignición

y detonación en el motor de gasolina de acuerdo a los parámetros que se calibren para realizar este estudio.

A continuación se detallan las características técnicas del motor del banco de pruebas PLINT TE-15; y en la figura 2.14 se detallan los elementos que forman parte del motor.

Tabla 2.2. Datos técnicos motor banco de pruebas PLINT TE-15

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA
Diámetro del cilindro	85 milímetros
Carrera	82.5 milímetros
Volumen de desplazamiento	468 centímetros cúbicos
Relación de compresión	4:1 a 10:1
Rango de velocidad	1500 a 2000 RPM
Máxima velocidad	2500 RPM
Potencia nominal de salida	2.3 KW

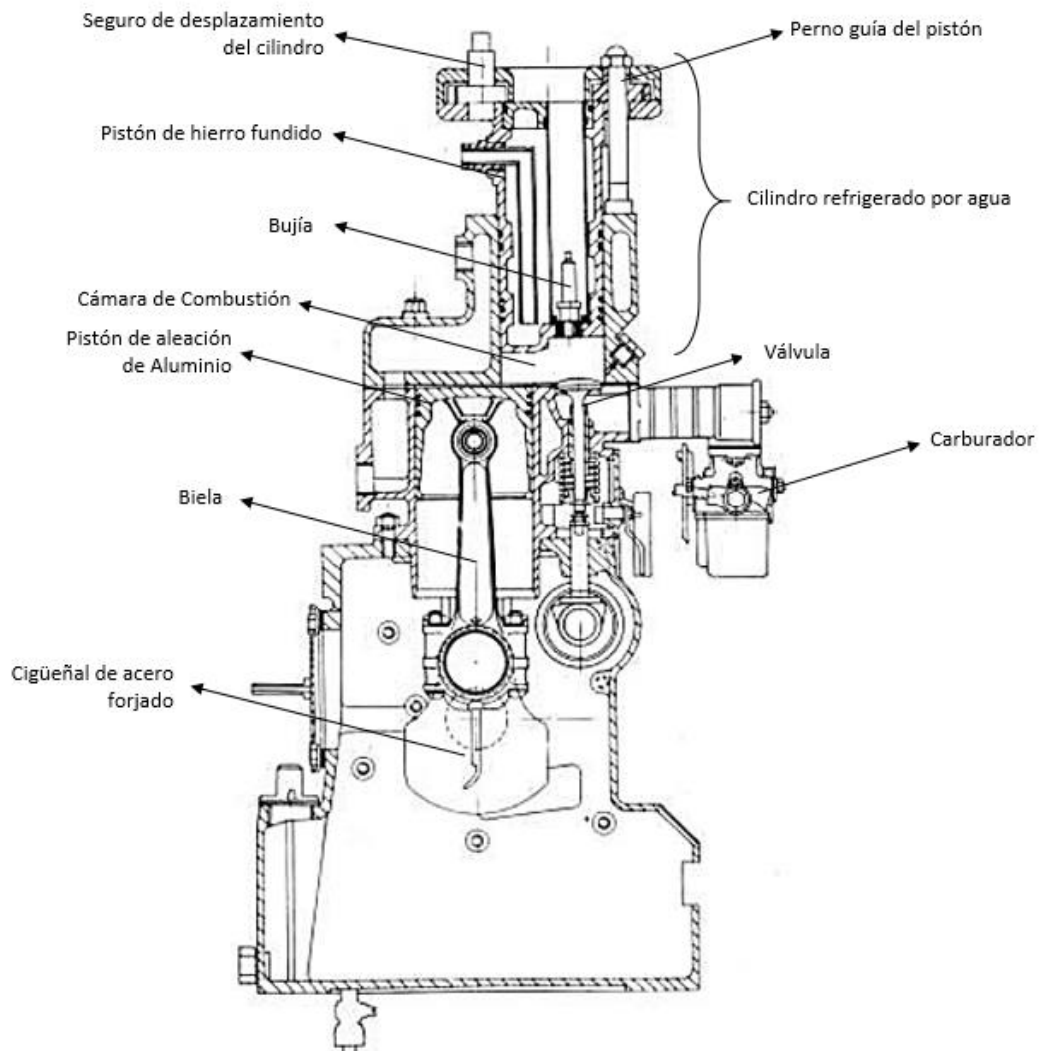


Figura 2.17. Esquema del motor monocilíndrico del banco de pruebas PLINT TE-15

Fuente:

2.9.2. SISTEMA DE FRENO

El banco de pruebas PLINT TE-15 tiene integrado un sistema de freno accionado eléctricamente. La salida eléctrica se absorbe en una unidad de carga montada por separado con diez resistencias eléctricas. La carga eléctrica es controlada por un tablero de control, que permite controlar la velocidad del motor de acuerdo a las necesidades de la práctica a través de un dinamómetro eléctrico.



Figura 2.18. Tablero de control y resistencias eléctricas del sistema de freno

2.9.3. SISTEMA DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE

El sistema de suministro de combustible permite el paso de gasolina hacia el motor desde el reservorio. Para propósitos didácticos, se utiliza una probeta conectada a la línea de combustible que permite calcular la cantidad de combustible consumido durante un periodo de tiempo determinado.



Figura 2.19. Sistema de suministro de combustible

Cuando la válvula 1 y la válvula 2 están abiertas, el combustible llena la probeta al mismo tiempo que está pasando hacia el motor del banco de

pruebas. Cuando la válvula 1 está abierta y la válvula 2 está cerrada, se consume combustible directamente del reservorio, mientras que el de la probeta se encuentra intacto. Si la válvula 1 está cerrada y la válvula 2 está abierta, el combustible que se consume es el de la probeta, y ahí es cuando los estudiantes toman el tiempo en el que el volumen de prueba establecido para la práctica se consume para los cálculos posteriores.

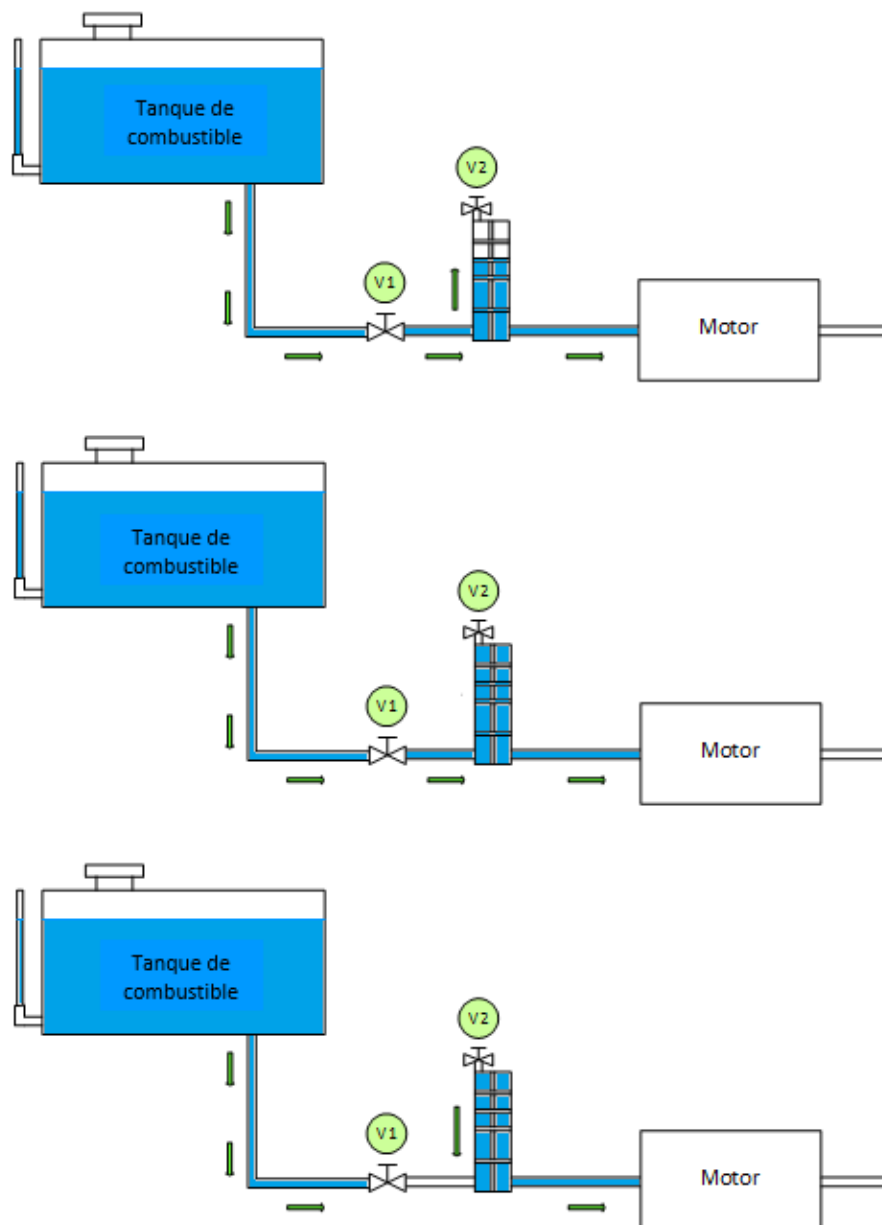


Figura 2.20. Esquema sistema suministro combustible

2.9.4. SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE

El sistema de admisión del banco de pruebas está constituido por los elementos que se muestran en la figura 2.18.

En un extremo del tanque, se encuentra una placa orificio con un diámetro de 18 milímetros, por el cual ingresa el aire en el tiempo de admisión. Conectado al mismo tanque, se encuentra un manómetro de presión diferencial, el mismo que mide la caída de presión en el interior del tanque. El flujo másico de aire se calcula a partir de los datos antes mencionados.



Figura 2.21. Sistema de admisión de aire

2.9.5. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

La refrigeración en el motor del banco de pruebas está dado por un ciclo cerrado de agua, mediante el sistema que se indica en la figura 2.19.



Figura 2.22. Sistema de refrigeración del banco de pruebas.

El sistema está compuesto por un reservorio, en el cual se encuentra el agua que circula por el motor para su enfriamiento; una bomba, que hace circular el agua dentro del circuito, dos termómetros ubicados a la entrada y salida del motor, un rotámetro que permite medir el flujo de agua que está circulando por el sistema. Cuando el motor está en funcionamiento, los estudiantes deben estar atentos a las temperaturas de entrada y salida, ya que el agua que circula por el sistema de refrigeración no debe ser mayor a 80 °C. Cuando las temperaturas alcanzan valores cercanos, el estudiante debe aumentar el flujo de agua cierta cantidad para que la temperatura del agua baje. Siendo el caso de que la temperatura esté por los valores máximos permitidos, y el flujo de la bomba esté al máximo, la alternativa es que el estudiante debe abrir la llave del agua de la red para enfriar el agua de refrigeración y mantenerla dentro de los límites máximos permitidos.

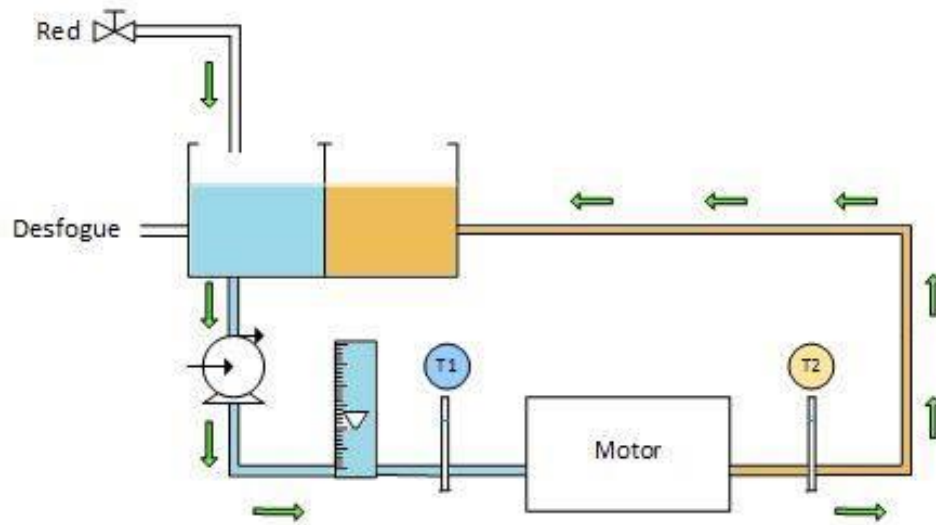


Figura 2.23. Esquema de funcionamiento del sistema de refrigeración

2.10. AUTOMATIZACIÓN DE EQUIPOS INDUSTRIALES

En principio, todos los equipos industriales fueron controlados manualmente por el operador; la labor de este operador consistía en observar lo que está sucediendo (tal es el caso de un descenso en la temperatura, variación de la presión, niveles de los líquidos o refrigerantes, etc.) y hacía algunos ajustes, basado en instrucciones de manejo y en la propia habilidad y conocimiento del proceso por parte del operador.

Por otro lado, la recolección de datos requiere de esfuerzos mayores para un operador, que ya está dedicando tiempo importante en la atención de los procesos observados y que por lo tanto se encuentra muy ocupado como para escribir números y datos, que evidentemente son necesarios para un mejor control sobre el proceso. Todo esto se puede conjugar en tener datos que pueden ser imprecisos, incompletos y difíciles de manejar.

El control automático a diferencia del manual, se basa en dispositivos y equipos que conforman un conjunto capaz de tomar decisiones sobre los cambios o ajustes necesarios en un proceso para conseguir los mismos

objetivos que en el control manual pero con muchas ventajas adicionales. Adicionalmente a esto, existen una serie de elementos que pueden integrarse a este conjunto para lograr cumplir con varias funciones, algo que como se ha comentado, sería imposible de ser logrado por un operador con la precisión y eficiencia deseadas, además con el control automático podemos obtener datos con un rango alto de apreciación y así estos datos son más reales y exactos.

2.10.1. INTERFAZ HUMANO - MÁQUINA

Una interfaz humano-máquina o HMI (Human Machine Interface, por sus siglas en inglés), es un sistema diseñado para mostrar datos de un determinado equipo o proceso a un operador, el cual tiene como función controlar ciertos parámetros para establecer un correcto funcionamiento del o los equipos implicados, para lo cual es indispensable tener presente dos conceptos básicos para su implementación:

- La entrada: el usuario u operador debe tener un medio por el cual indique al equipo ciertas instrucciones, o haga alguna calibración pertinente para ponerlo en marcha.
- La salida: la máquina tiene que mantener al usuario informado del estado actual del proceso que se está monitoreando, la ejecución de ciertos comandos, etc.

Las señales que se están monitorizando, son captadas por los distintos tipos de sensores que se adapten al proceso, y son conducidas a la HMI por medio de tarjetas de entrada/salida, controladores lógicos programables, controladores de automatización programable, etc. Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda la HMI.

Una óptima interfaz humano-máquina busca principalmente obtener en tiempo real la situación del proceso que se está ejecutando, para esto se requiere:

- Captar la situación del proceso de forma rápida.
- Mostrar indicadores que permitan la toma de decisiones de forma óptima.
- Los equipos instalados en el equipo deben estar funcionando de manera adecuada, acorde con el proceso que se está monitoreando.

2.10.2. SENSORES

Un sensor es un dispositivo diseñado para transformar magnitudes físicas o químicas en magnitudes de otra índole, por lo general eléctricas.

El uso de sensores a nivel industrial se ha expandido de manera impresionante gracias a las prestaciones que éstos brindan a nivel industrial. Existen sensores de todo tipo, para medir una infinidad de variables, dependiendo de la complejidad del proceso.

A continuación se detallan los sensores usados en la medición de las variables más frecuentes en la industria de acuerdo a su principio de funcionamiento y a las magnitudes que miden.

Tabla 2.3. Sensores y modos de detección ordinarios

MAGNITUDES								
Sensores	Posición Distancia Desplazamiento	Velocidad	Aceleración Vibración	Temperatura	Presión	Caudal Flujo	Nivel	Fuerza
Resistivos	Potenciómetros Galgas Magnetoresistencia		Galgas + masa-resorte	RTD Termistores	Potenciómetros + tubo Bourdon	Anemómetros de hilo caliente Galgas + voladizo Termistores	Potenciómetro + flotador Termistores LDR	Galgas
Capacitivos	Condensador diferencial				Condensador variable + diafragma		Condensador or variable	Galga capacitiva
Inductivos y electromagnéticos	LVDT Corrientes Foucault Resolver Inductosyn Efecto Hall	Ley Faraday LVT Efecto Hall Corrientes Foucault	LVDT + masa-resorte		LVDT + diafragma Reluctancia variable + diafragma	LVDT + rotámetro Ley Faraday	LVDT + flotador Corrientes Foucault	Magneto- elástico LVDT + célula de carga
Generadores			Piezoeléctrico + masa- resorte	Termopares Piroeléctricos	Piezoeléctricos			Piezoeléctri- cos
Digitales	Codificadores incrementales y absolutos	Codificador incremental		Osciladores de cuarzo	Codificador + tubo Bourdon	Vórtices		
Ultrasonido	Reflexión	Efecto Doppler				Efecto Doppler Vórtices	Reflexión Absorción	

Fuente: (Areny, 2003)

CAPITULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITOREO Y ADQUISICION DE DATOS

3.1. DESCRIPCION DEL PROCESO DE TOMA DE DATOS ACTUAL DEL BANCO DE PRUEBAS PLINT TE-15

En el banco de pruebas PLINT TE-15 se realizan tres prácticas dentro de la programación de la asignatura de Motores de Combustión Interna las cuales son:

- Variación de la relación de compresión
- Variación del ángulo de encendido
- Variación de la relación Aire-Combustible

3.1.1. VARIACION DE LA RELACION DE COMPRESION

Esta práctica consiste en analizar los efectos que produce variar la relación de compresión en el desempeño del motor del banco de pruebas, para esto se establecen ciertos parámetros que deben permanecer constantes durante la realización de toda la práctica. Estos parámetros son:

- Aceleración: 100%
- Velocidad: Constante en el valor indicado por el laboratorista
- Temperatura de salida del agua del motor: 60 a 70°C
- Flujo de refrigeración: 5 a 25 litros/min
- Ángulo de encendido: 20° de adelanto

Una vez que se hayan establecido estos parámetros se procede con la práctica, para lo cual se coloca el contador del motor en la lectura más baja y se va incrementando progresivamente de acuerdo al número de iteraciones que se vaya a realizar.

La medida de la relación de compresión está determinada por la curva característica propia del banco de pruebas.

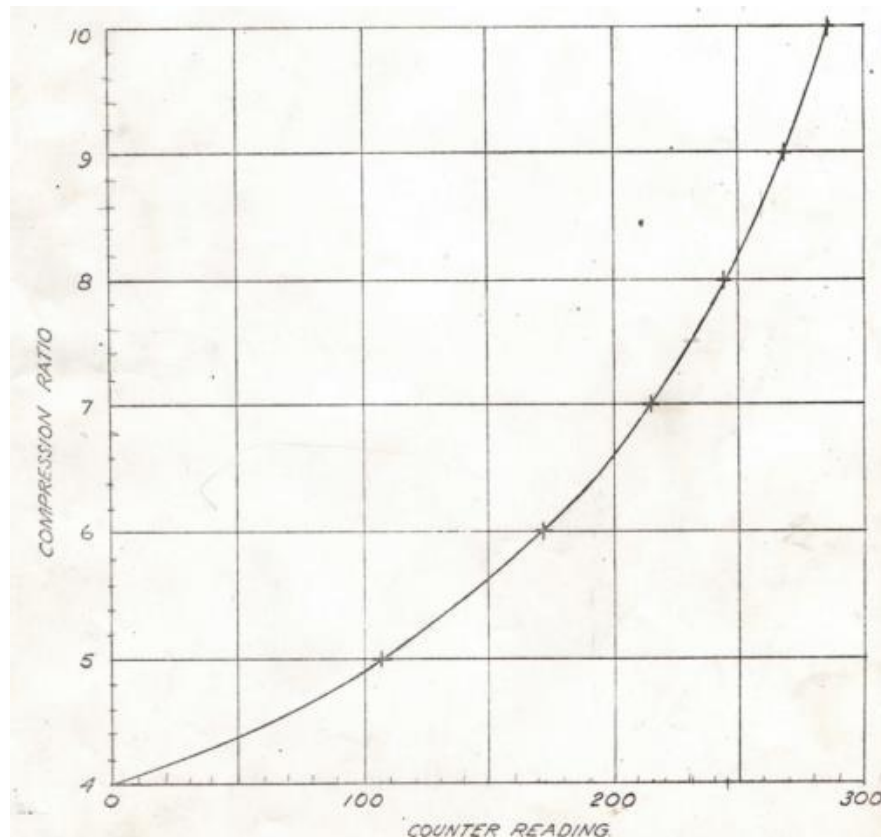


Figura 3.1. Curva de relación de compresión del motor del banco

Fuente:

Con cada valor de relación de compresión se debe tomar los datos que se indican en la tabla 3.1 de acuerdo a las condiciones de la práctica.

Una vez registrados los datos, se procede a realizar los respectivos cálculos de acuerdo a la tabla 3.2, utilizando las ecuaciones mencionadas en el numeral 2.7.

Con los caculos tabulados se procederá a realizar las siguientes graficas de desempeño del motor. En función de la relación de compresión:

- Torque
- Potencia al freno
- Presión Media Efectiva
- Eficiencia térmica
- Consumo másico de combustible
- Temperatura de gases de escape
- Consumo Especifico de Combustible
- Eficiencia volumétrica
- Relación Aire-Combustible

3.1.2. VARACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO

Esta práctica consiste en analizar los efectos que produce variar el ángulo de encendido en el desempeño del motor del banco de pruebas, para esto se establecen ciertos parámetros que deben permanecer constantes durante la realización de toda la práctica. Estos parámetros son:

- Aceleración: 100%
- Velocidad: Constante en el valor indicado por el laboratorista
- Temperatura de salida del agua del motor: 60 a 70°C
- Flujo de refrigeración: 5 a 25 litros/min
- Relación de compresión: Constante en el valor indicado por el laboratorista

Una vez que se hayan establecido estos parámetros se procede con la práctica, para lo cual se incrementa el avance al máximo valor posible y cuando se estabilice el motor se toman las medidas respectivas.

Con cada valor de ángulo de encendido se tabulan los datos de la tabla 3.1 antes mencionada, con la única diferencia que en vez de colocar el valor del contador se coloca el valor de los ángulos que se usen en la práctica.

Los cálculos que se deben hacer son los mismos de la tabla 3.2, utilizando las fórmulas antes mencionadas.

Con estos resultados se procede a realizar las siguientes gráficas de desempeño del motor en función del ángulo de avance:

- Torque
- Potencia al freno
- Presión Media Efectiva
- Eficiencia térmica
- Consumo másico de combustible
- Temperatura de gases de escape
- Consumo Especifico de Combustible
- Eficiencia volumétrica
- Relación Aire-Combustible

3.1.3. VARIACION DE LA RELACION AIRE-COMBUSTIBLE

Esta práctica consiste en analizar los efectos que produce variar la concentración de la mezcla Aire-Combustible en el desempeño del motor del banco de pruebas, para esto se establecen ciertos parámetros que deben permanecer constantes durante la realización de toda la práctica. Estos parámetros son:

- Aceleración: 100%
- Velocidad: Constante en el valor indicado por el laboratorista
- Temperatura de salida del agua del motor: 60 a 70°C
- Flujo de refrigeración: 5 a 25 litros/min

- Relación de compresión: Constante en el valor indicado por el laboratorista
- Angulo de encendido: Constante en el valor indicado por el laboratorista

Una vez que se hayan establecido estos parámetros se procede con la práctica, para lo cual se gira el tornillo micrométrico que controla la admisión de combustible en sentido horario, hasta observar que el motor comience a trabajar inestablemente, mediante el freno del banco se mantiene la velocidad constante.

Con cada valor se llenan los datos de la tabla 3.1 considerando el parámetro del tornillo micrométrico en lugar del contador.

Los cálculos que se deben hacer son los mismos de la tabla 3.2, utilizando las fórmulas antes mencionadas.

Con los cálculos tabulados se procederá a realizar las siguientes gráficas de desempeño del motor en función de la relación Aire-Combustible

- Torque
- Potencia al freno
- Presión Media Efectiva
- Eficiencia térmica
- Consumo másico de combustible
- Temperatura de gases de escape
- Consumo Especifico de Combustible
- Eficiencia volumétrica

3.1.4. OBSERVACIONES

Analizadas las tres prácticas se puede llegar a determinar que existen varias similitudes entre ellas, lo cual ayudará a determinar la mejor alternativa para el sistema de adquisición de datos.

- Uno de las similitudes es que en todas las prácticas se determina el tiempo en el que se consume un volumen de prueba, en las condiciones establecidas para las pruebas, con lo que se puede definir a este parámetro como punto de partida para la toma de datos en todas las prácticas.
- El flujo de agua de refrigeración y la temperatura del agua a la salida del motor se deben mantener en los rangos antes mencionados en todas las practicas
- El volumen de prueba a consumirse en las tres prácticas es de 25cm³ o 50cm³ dependiendo de las indicaciones del laboratorista.

3.2. SELECCIÓN DEL HADWARE PARA EL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

La selección del hardware adecuado para el sistema de adquisición de datos es uno de los factores importantes que se deben considerar, ya que si no se encuentran los dispositivos que se adapten al proceso es muy probable que el sistema que se intenta implementar no cumpla con los requerimientos establecidos. Para la selección del hardware adecuado se partirá de la tabla 1.3, considerando todas las limitaciones de las variables de la solución, para lo cual se planteará una serie de matrices de decisión en las cuales se considerarán todos los parámetros operativos y funcionales necesarios para lograr seleccionar la mejor opción para cada variable tomada en cuenta.

A continuación se presentan las diferentes matrices de decisión para para definir los dispositivos a utilizarse en el sistema de adquisición de datos. Se

tomará parámetros de decisión de acuerdo a especificaciones técnicas de los diferentes sensores siendo 1 el valor de máxima aceptación, y 0 el valor nulo de aceptación en las tablas de valoración de criterios.

3.2.1. SELECCIÓN DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA DEL AGUA DE REFRIGERACION A LA ENTRADA Y SALIDA DEL MOTOR

Tabla 3.3. Valoración de criterios para selección de sensor de temperatura para agua de refrigeración

N°	CRITERIO DE EVALUACIÓN	TERMOCUPLA	PT100	TERMISTOR
1	Precisión	0,5	0,9	0,5
2	Linealidad	0,1	0,9	0,1
3	Estabilidad	0,5	1	0,6
4	Durabilidad	1	0,8	0,5
5	Mantenibilidad	0,7	0,8	0,7
6	Precio	1	0,4	0,8

Tabla 3.4. Ponderaciones para selección de sensor de temperatura para agua de refrigeración

	CRITERIO DE EVALUACION	1	2	3	4	5	6	7	Sum	%	W.F.
1	Precisión	-	0,5	1	1	1	1	4	8,5	0,22	0,22
2	Linealidad	0,5	-	1	1	1	1	4	8,5	0,22	0,22
3	Estabilidad			-	1	1	1	4	7	0,18	0,18
4	Durabilidad				-	1	1	4	6	0,15	0,15
5	Mantenibilidad					-	1	4	5	0,13	0,13
6	Precio						-	4	4	0,10	0,10
								-	39	1,00	1,00

Tabla 3.5. Resultados de selección de sensor de temperatura para el agua de refrigeración

N°	TERMOCUPLA		PT100		TERMISTOR	
	R.F.	Calif.1	R.F.	Calif.2	R.F.	Calif.3
1	5	1,09	9	1,96	5	1,09
2	1	0,22	9	1,96	1	0,22
3	5	0,90	10	1,79	6	1,08
4	10	1,54	8	1,23	5	0,77
5	7	0,90	8	1,03	7	0,90
6	10	1,03	4	0,41	8	0,82
Total		5,67		8,38		4,87

Una vez realizada la matriz de decisión para la selección del sensor adaptable al sistema automatizado de adquisición de datos, es evidente que el PT100 es el sensor más indicado para este proceso. A continuación se detalla algunas características del mencionado sensor.

Tabla 3.6. Características técnicas del sensor de temperatura para agua de refrigeración

N°	Características	Detalle
1	Tipo de sensor	PT100 (Platino)
2	Rango Temperatura	0 – 250°C
3	Material del cuerpo	Incomel 600
4	Exactitud	0.1°C
5	Conexión	3 cables (RTD, RTD, compensación)

Fuente: (GHM-Martens, 2015)

3.2.2. SELECCIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE DEL MOTOR

Tabla 3.7. Valoración de los criterios para seleccionar el sensor de temperatura de los gases de escape

N°	CRITERIO DE EVALUACIÓN	TERMOCUPLA	PT100	TERMISTOR
1	Precisión	0,5	0,9	0,5
2	Linealidad	0,1	0,9	0,1
3	Rango de temperatura	1	1	0
4	Estabilidad	0,5	1	0,6
5	Durabilidad	1	0,8	0,5
6	Mantenibilidad	0,7	0,8	0,7
7	Precio	1	0,4	0,8

Tabla 3.8. Ponderaciones para selección de sensor de temperatura para gases de escape

CRITERIO DE EVALUACION	1	2	3	4	5	6	7	8	Sum	%	W.F.
1 Precisión	-	0,5	1	1	1	1	1	4	9,5	0,19	0,19
2 Linealidad	0,5	-	1	1	1	1	1	4	9,5	0,19	0,19
3 Rango de temperatura			-	1	1	1	1	4	8	0,16	0,16
4 Estabilidad				-	1	1	1	4	7	0,14	0,14
5 Durabilidad					-	1	1	4	6	0,12	0,12
6 Mantenibilidad						-	1	4	5	0,10	0,10
7 Precio							-	4	4	0,08	0,08
								-	49	1,00	1,00

Tabla 3. 9. Resultados de selección de sensor de temperatura para gases de escape

N°	TERMOCUPLA		PT100		TERMISTOR	
	R.F.	Calif.1	R.F.	Calif.2	R.F.	Calif.3
1	5	0,97	9	1,74	5	0,97
2	1	0,19	9	1,74	1	0,19
3	10	1,63	10	1,63	0	0,00
4	5	0,71	10	1,43	6	0,86
5	10	1,22	8	0,98	5	0,61
6	7	0,71	8	0,82	7	0,71
7	10	0,82	4	0,33	8	0,65
Total		6,27		8,67		4,00

Una vez realizada la matriz de decisión para la selección del sensor adaptable al sistema automatizado de adquisición de datos, es evidente que el PT100 es el sensor más indicado para este proceso. A continuación se detalla algunas características del mencionado sensor.

Tabla 3.10. Características técnicas del sensor de temperatura para gases de escape

N°	Características	Detalle
1	Tipo de sensor	PT100 (Platino)
2	Rango Temperatura	0 – 650°C
3	Material del cuerpo	Incomel 600
4	Exactitud	0.1°C
5	Conexión	3 cables (RTD, RTD, compensación)

Fuente: (GHM Martens, PT100, 2015)

3.2.3. SELECCIÓN DEL SENSOR DE FLUJO DE AGUA DEL SISTEMA DE REFRIGERACION DEL MOTOR

Tabla 3.11. Valoración de criterios para seleccionar el sensor de flujo de agua

N°	CRITERIO DE EVALUACIÓN	FLUJOEMTRO EFECTO HALL	FLUJOMETRO PISTON	FLUJOMETRO ULTRASONICO
1	Rango de trabajo	1	0,5	0,7
2	Temperatura fluido de trabajo	1	0,8	0,5
3	Precio	1	0,6	0,2
4	Estabilidad	0,8	1	0,5
5	Precisión en pequeños caudales	0,8	0,5	1
6	Facilidad de montaje	1	1	0,6
7	Durabilidad	0,8	1	0,5
8	Mantenibilidad	1	0,7	0,4

Tabla 3.12 Ponderaciones para seleccionar el sensor de flujo de agua

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sum	%	W.F.
1	-	0,5	1	1	1	1	1	1	4	10,5	0,18	0,18
2	0,5	-	1	1	1	1	1	1	4	10,5	0,18	0,18
3			-	1	1	1	1	1	4	9	0,15	0,15
4				-	1	1	1	1	4	8	0,13	0,13
5					-	1	1	1	4	7	0,12	0,12
6						-	1	1	4	6	0,10	0,10
7							-	1	4	5	0,08	0,08
8								-	4	4	0,07	0,07
									-	60	1,00	1,00

Tabla 3.13 Resultados de selección del sensor de flujo de agua

N°	FLUJOMETRO EFECTO HALL		FLUJOMETRO PISTON		FLUJOMETRO ULTRASONICO	
	R.F.	Calif.1	R.F.	Calif.2	R.F.	Calif.3
1	10	1,75	5	0,88	7	1,23
2	10	1,75	8	1,40	5	0,88
3	10	1,50	6	0,90	2	0,30
4	8	1,07	10	1,33	5	0,67
5	8	0,93	5	0,58	10	1,17
6	10	1,00	10	1,00	6	0,60
7	8	0,67	10	0,83	5	0,42
8	10	0,67	7	0,47	4	0,27
Total		9,33		7,39		5,52

Con los resultados obtenidos, se concluye que el sensor apto para el sistema a implementar es el flujómetro de efecto hall. A continuación se detallan algunas características técnicas.

Tabla 3.14. Características técnicas del sensor de flujo de agua

N°	Característica	Detalle
1	Rango	0 – 30 litros/min
2	Temperatura de trabajo	-25°C a 80°C
3	Modelo	YF - S201
4	Voltaje de trabajo	5 – 18V DC
5	Presión máxima	2.0 Mpa
6	Corriente máxima	15mA @ 5V

Fuente: (Hobby Electronics, 2011)

3.2.4. SELECCIÓN DEL SENSOR DE FUERZA

Tabla 3.15. Valoración de criterios para seleccionar el sensor de fuerza

N°	CELDA DE CARGA TIPO S	CELDA CARGA UNIPUNTO
1	0,5	0,5
2	1	1
3	1	0,5
4	1	0,7
5	0,8	0,5
6	1	0,8
7	1	0,8
8	0,7	1

Tabla 3.16. Ponderaciones para seleccionar el sensor de fuerza

N	CRITERIO DE EVALUACION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sum	%	W.F.
1	Rango de trabajo (0-10 kg)	-	1	1	1	1	1	1	1	4	11	0,18	0,18
2	Sensibilidad		-	1	1	1	1	1	1	4	10	0,17	0,17
3	Facilidad adaptación al sistema			-	1	1	1	1	1	4	9	0,15	0,15
4	Precisión				-	0,5	1	1	1	4	7,5	0,13	0,13
5	Linealidad				0,5	-	1	1	1	4	7,5	0,13	0,13
6	Durabilidad						-	1	1	4	6	0,10	0,10
7	Mantenibilidad							-	1	4	5	0,08	0,08
8	Precio								-	4	4	0,07	0,07
										-	60	1,00	1,00

Tabla 3.17. Tabla de resultados de la selección del sensor de fuerza

CELDA DE CARGA TIPO S			CELDA CARGA UNIPUNTO	
N°	R.F.	Calif.1	R.F.	Calif.2
1	5	0,92	5	0,92
2	10	1,67	10	1,67
3	10	1,50	5	0,75
4	10	1,25	7	0,88
5	8	1,00	5	0,63
6	10	1,00	8	0,80
7	10	0,83	8	0,67
8	7	0,47	10	0,67
Total		8,63		6,97

El sensor para el sistema es la celda de carga tipo “S”, a continuación se detallan algunas características técnicas:

Tabla 3.18. Tabla de características del sensor de fuerza

N°	Característica	Detalle
1	Numero de divisiones	10000
2	Capacidad	1000 lb
3	Tipo de celda	S
4	Mínima carga muerta	20 lb
5	Alimentación	10 V
6	Corriente	3,5mA por cada Voltio

Fuente (Ingelsoft, 2000)

3.2.5. SELECCIÓN DE LOS SENSORES DE NIVEL DE COMBUSTIBLE.

Tabla 3.19. Valoración de los criterios para seleccionar el sensor de nivel de combustible

N°	CRITERIO	CAPACITIVO	FLOTADOR
1	Precio	0,2	1
2	Tiempo de respuesta	1	1
3	Temperatura de trabajo (20 °C)	0,5	1
4	Adaptación al sistema	1	0,5
5	Grado de protección	1	1
6	Durabilidad	0	1
7	Mantenibilidad	0,5	1
8		1	0,5

Tabla 3.20. Ponderaciones para seleccionar el sensor de nivel de combustible

CRITERIO DE EVALUACION	1	2	3	4	5	6	7	8	Sum	%	W.F.
1 Precio	-	1	1	1	1	1	1	5	11	0,20	0,20
2 Tiempo de respuesta		-	1	1	1	1	1	5	10	0,18	0,18
3 Temperatura de trabajo (20 °C)			-	1	1	1	1	5	9	0,16	0,16
4 Adaptación al sistema				-	1	1	1	5	8	0,14	0,14
5 Grado de protección					-	1	1	5	7	0,13	0,13
6 Durabilidad						-	1	5	6	0,11	0,11
7 Mantenibilidad							-	5	5	0,09	0,09
									56	1,00	1,00

Tabla 3.21. Resultados de la selección del sensor de nivel de combustible

Nº	SENSOR NIVEL CAPACITIVO		SENSOR NIVEL FLOTADOR	
	R.F.	Calif.1	R.F.	Calif.2
1	10	1,96	5	0,98
2	9	1,61	8	1,43
3	9	1,45	8	1,29
4	10	1,43	8	1,14
5	8	1,00	10	1,25
6	10	1,07	8	0,86
7	8	0,71	5	0,45
Total		9,23		7,39

El sensor adecuado para el sistema son los sensores capacitivos, cuyas características técnicas se detallan a continuación.

Tabla 3.22. Características técnicas sensor capacitivo

Nº	Característica	Detalle
1	Distancia de detección	0 - 6.4 mm
2	Frecuencia	50 Hz
3	Voltaje alimentación	12 – 24 VDC
4	Corriente máxima	200 mA
5	Modelo	M18 NA
6	Señal	Digital

Fuente: (Hanyoung Nux, 2010)

3.2.6. SELECCIÓN DEL SENSOR DE REVOLUCIONES DE MOTOR

Tabla 3.23. Valoración de los criterios para seleccionar el sensor de revoluciones del motor

N°	CRITERIOS	INDUCTIVO	ENCODER
1	Precio	1	0,2
2	Distancia de censado	1	1
3	Alimentación	1	0,5
4	Adaptación al sistema	1	0,5
5	Resistencia al golpeteo	0,5	1
6	Grado de protección	1	0,5
7	Durabilidad	1	0,5
8	Mantenibilidad	0,5	0,5

Tabla 3.24. Ponderaciones para seleccionar el sensor de revoluciones del motor

N°	CRITERIO DE EVALUACION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sum	%	W.F
1	Precio	-	1	1	1	1	1	1	1	4	11	0,18	0,18
2	Distancia de censado		-	1	1	1	1	1	1	4	10	0,17	0,17
3	Alimentación			-	1	1	1	1	1	4	9	0,15	0,15
4	Adaptación al sistema				-	1	1	1	1	4	8	0,13	0,13
5	Resistencia al golpeteo					-	1	1	1	4	7	0,12	0,12
6	Grado de protección						-	1	1	4	6	0,10	0,10
7	Durabilidad							-	1	4	5	0,08	0,08
8	Mantenibilidad								-	4	4	0,07	0,07
										-	60	1,00	1,00

Tabla 3.25. Resultados de selección del sensor para revoluciones del motor

		SENSOR INDUCTIVO			ENCODER	
N°	R.F.	Calif.1	R.F.	Calif.2		
1	10	1,83	2	0,37		
2	10	1,67	10	1,67		
3	10	1,50	5	0,75		
4	10	1,33	5	0,67		
5	5	0,58	10	1,17		
6	10	1,00	5	0,50		
7	10	0,83	5	0,42		
8	5	0,33	5	0,33		
Total		9,08		5,87		

Con estos resultados, se selecciona el sensor inductivo. A continuación se detallan sus principales características técnicas.

Tabla 3.26. Características técnicas del sensor Inductivo para las revoluciones del motor

N°	Característica	Detalle
1	Modelo	12RD
2	Histéresis	10% Distancia de censado
3	Voltaje de alimentación	12V – 24V DC
4	Corriente	6 mA max
5	Voltaje residual	1.5 V max
6	Temperatura de trabajo	-25°C a 70°C

Fuente (Hanyoung Nux, 2010)

3.2.7. SELECCIÓN DEL SENSOR DE FLUJO DE AIRE

Actualmente el equipo consta de un sistema comprendido por un tanque, en cuya entrada se localiza una placa orificio, además de un manómetro de presión diferencial, con cuyos valores obtenemos indirectamente el flujo másico de aire al aplicar la ecuación 8

Para reemplazar este sistema, se va a emplear un sensor de flujo másico de aire (MAF), el cual es utilizado en los motores modernos de autos que utilizan computadora. Las especificaciones de este sensor son las siguientes:

Tabla 3.27. Características técnicas del sensor MAF para el flujo de aire del motor

N°	Característica	Detalle
1	Modelo	0 280 217 102
2	Alimentación	12 V
3	Rango flujo	10 – 350 Kg/h
4	Temperatura de trabajo	-30 a 110°C
5	Caída de presión	Max 15 mBar.

Fuente: (BOSCH, 2015)

3.2.8. SELECCIÓN DE VOLTÍMETRO Y AMPERÍMETRO

El equipo cuenta con un voltímetro y amperímetro de pluma de los años 80. Debido a los requerimientos de seguridad del equipo, estos instrumentos no permiten realizar un control adecuado en cuanto a valores máximos permitidos de voltaje y amperaje los cuales son 220V y 20Amp respectivamente.

Por esta razón se realizó la selección de un voltímetro y amperímetro digital, que nos permite la supervisión de voltajes y amperajes mínimos y máximos, los cuales permiten una conexión a un sistema HMI. A continuación se detallan algunas características técnicas.

Amperímetro:

Para el caso del amperímetro utilizaremos una resistencia shunt, la cual es colocada en paralelo al circuito principal de medición o toma de datos, cuyo valor es varias veces más pequeño que la impedancia original del circuito, y que sirve como multiplicadora. Así, el efecto es poder medir grandes corrientes con el mismo circuito.

Tabla 3.28. Tabla de características del elemento medidor de amperaje

N°	Característica	Detalle
1	Modelo	MP3_4-DV-1-A
2	Alimentación	100 – 240 V AC
3	Rango	75 Amp
4	Frecuencia	50 – 60 Hz
5	Temperatura de trabajo	-10 a 55°C
6	Display	Max 4 dígitos
7	Apreciación	Decimas

Fuente: (Hanyoung Nux, 2010)

Voltímetro:

Para el caso del voltímetro emplearemos el mismo elemento anterior, sin la resistencia shunt, ya que en este caso solamente se medirá voltaje, por lo que las características son las mismas de la tabla 3.28.

3.2.9. SELECCIÓN DEL SISTEMA HMI

Tabla 3.29. Valoración de criterios para seleccionar el sistema HMI

Nº	CRITERIO DE EVALUACIÓN	PLC	DAQ
1	Adaptable al proceso	1	0,9
2	Nivel de programación	0,9	0,7
3	Interfaz hombre máquina	0,9	0,8
4	Acondicionamiento de señal	1	0,7
5	Número de entradas A/D	1	0,6
6	Registro de datos	0,8	1
7	Mantenibilidad	1	0,8
8	Precio	1	0,8

Tabla 3.30. Tabla de ponderaciones para seleccionar el sistema HMI

CRITERIO DE EVALUACION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sum	%	W.F.
1 Adaptable al proceso	-	1	1	1	1	1	1	1	4	11	0,18	0,18
2 Nivel de programación		-	1	1	1	1	1	1	4	10	0,17	0,17
3 Interfaz hombre máquina			-	1	1	1	1	1	4	9	0,15	0,15
4 Acondicionamiento de señal				-	1	1	1	1	4	8	0,13	0,13
5 Número de entradas A/D					-	1	1	1	4	7	0,12	0,12
6 Registro de datos						-	1	1	4	6	0,10	0,10
7 Mantenibilidad							-	1	4	5	0,08	0,08
8 Precio								-	4	4	0,07	0,07
									-	60	1,00	1,00

Tabla 3.31 Tabla de resultados de la selección del sistema HMI

		PLC		TARJETA DAQ	
N°	R.F.	Calif.1	R.F.	Calif.2	
1	10	1,83	9	1,65	
2	9	1,50	7	1,17	
3	9	1,35	8	1,20	
4	10	1,33	7	0,93	
5	10	1,17	6	0,70	
6	8	0,80	10	1,00	
7	10	0,83	8	0,67	
8	10	0,67	8	0,53	
Total		9,48		7,85	

Una vez analizada la matriz de decisión para la selección del sistema HMI más adaptable al sistema automatizado de adquisición de datos, se tiene como resultado que un PLC es el adecuado. A continuación se presenta una tabla con las principales características del dispositivo seleccionado

Tabla 3.32 Tabla de características del sistema HMI seleccionado

N°	Característica	Detalle
1	Modelo	XC3 24rte
2	Alimentación	110 V
3	Rango voltaje	0 – 10 V
4	Rango Amperaje	4 – 20 mA
5	Temperatura de trabajo	-10 a 55°C
6	Entradas	14 digitales
7	Salidas	10 Digitales
8	Adaptaciones	Módulo PT100 Módulo Celda de carga

Fuente: (Xinje, 2008)

3.2.10. SOFTWARE DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE ADQUISICION DE DATOS

En la tabla 3.31 se definió el sistema HMI a utilizarse dando como resultado el empleo de un PLC para el sistema.

A partir de la selección anterior, se puede definir el software a utilizarse, el cual es: XCPpro v3.3f, el mismo es propio del PLC seleccionado, y tiene su propia licencia de activación, evitando así problemas de piratería.

Para una correcta implementación de un sistema HMI, se debe establecer el medio por el cual el usuario va a monitorear el proceso en las prácticas de laboratorio, para lo cual se seleccionó un panel táctil compatible con el PLC seleccionado, con su propio software para configuración y edición de la pantalla de control.

3.3. DISTRIBUCIÓN FÍSICA DEL HARDWARE SELECCIONADO EN EL BANCO DE PRUEBAS PLINT TE-15

Una vez realizada la selección del hardware adecuado para el banco de pruebas PLINT TE-15, se procede a su respectiva instalación, tomando en cuenta las características técnicas de cada uno de los sensores seleccionados.

Para poder determinar el flujo de combustible consumido en cierto tiempo, se instalaron los tres sensores capacitivos junto a la probeta original del equipo como se indica en la figura 3.2.



Figura 3.2. Instalación sensores capacitivos para volumen de gasolina

Para la medición de las temperaturas, tanto en el sistema de refrigeración como en los gases de escape, se instalaron las PT100 en la línea de agua de refrigeración y en el tubo de escape directamente como se indica en la figura 3.3 y figura 3.4 respectivamente.



Figura 3.3. Instalación PT100 en la línea de refrigeración



Figura 3.4. Instalación PT100 en tubo de escape

Para la medición del flujo de refrigeración, se instaló un sensor de efecto hall que se conecta directamente en la línea de agua como se indica en la siguiente figura.

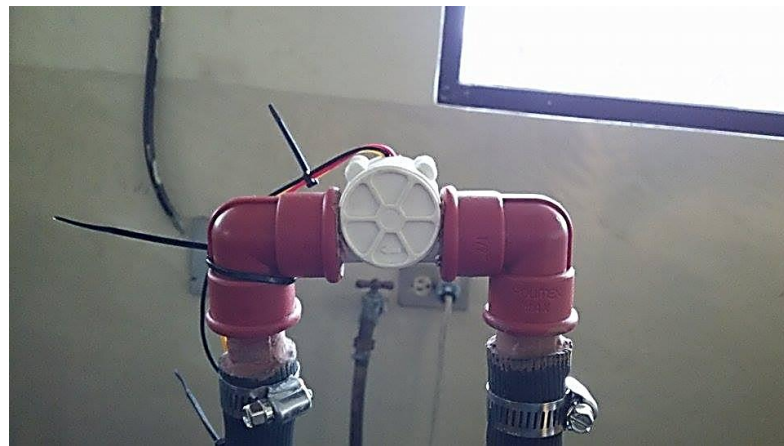


Figura 3.5. Instalación del sensor de flujo de agua

Para poder medir la fuerza se instaló una celda de carga tipo “S” en la bancada del motor, así como el sensor inductivo para la medición del número de revoluciones para los cálculos respectivos. Todo esto se puede verificar en las siguientes figuras.

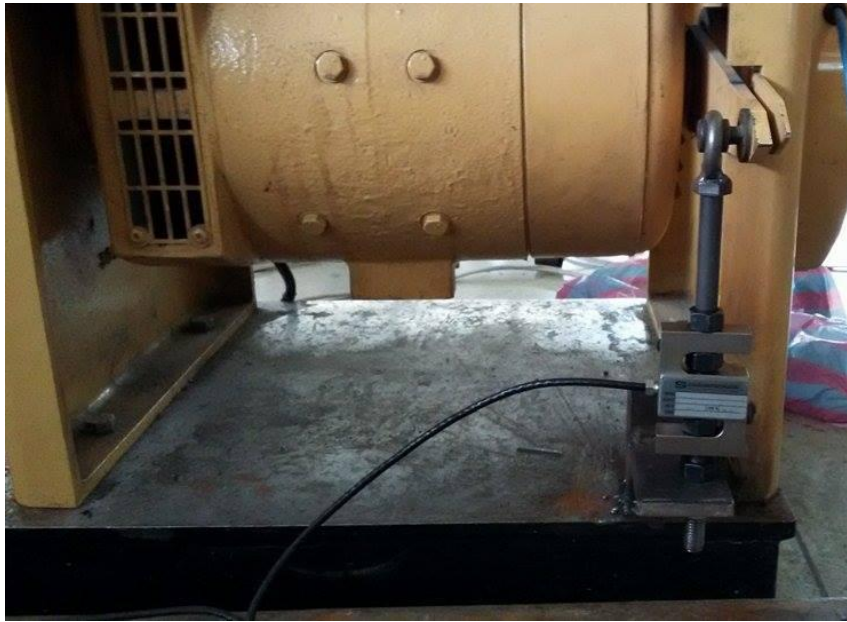


Figura 3.6. Instalación de celda de carga



Figura 3.7. Instalación sensor inductivo

Para el flujo de aire, se reemplazó el sistema anterior por un sensor MAF, conectado en la línea de aire de admisión del motor, tal como se indica en la siguiente figura.



Figura 3.8. Instalación sensor MAF

Una vez instalados todos los sensores adquiridos para el proyecto, se hacen las conexiones requeridas al PLC y sus módulos, para lo cual se utilizó una caja metálica, en el cual se encuentran localizados los respectivos terminales. En la misma caja metálica, está localizada la interfaz hombre-máquina, que permite al usuario interactuar con el proceso en tiempo real. En la figura 3.9 y 3.10 se ilustran las conexiones y el tablero de control.

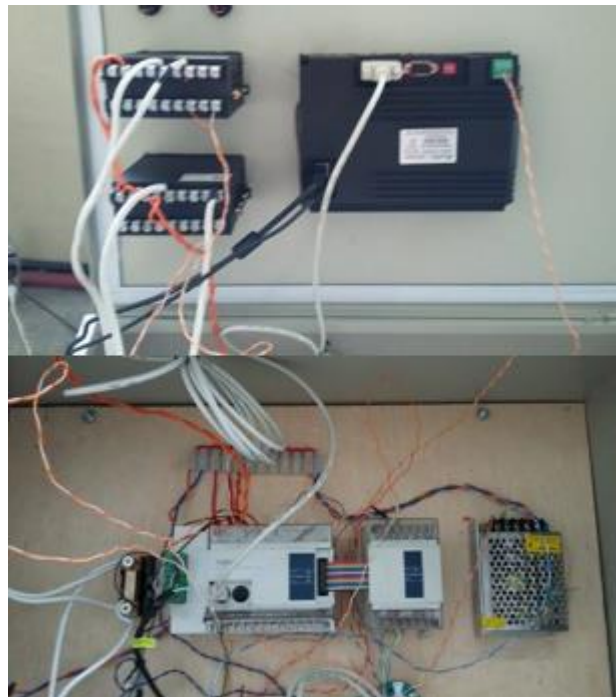


Figura 3.9. Conexiones en el tablero de control



Figura 3.10. Tablero de control Interfaz HMI

3.4. INTERFAZ HOMBRE – MÁQUINA DEL SISTEMA IMPLEMENTADO EN EL BANCO DE PRUEBAS

El programa está diseñado para que el usuario (estudiante o docente) no tenga conflictos durante la realización de las prácticas. Los comandos utilizados en la pantalla táctil están vinculados directamente a las entradas del PLC, que registran los valores marcados por los sensores instalados en el banco de pruebas.

El programa permite monitorear y visualizar en tiempo real las distintas variables del proceso como la temperatura de entrada y salida del sistema de refrigeración, la temperatura de los gases de escape, el flujo de agua del sistema de refrigeración, el nivel de combustible de acuerdo al volumen de prueba establecido para la prueba, el flujo de aire que ingresa al motor, etc., sin que el estudiante tenga que verificar estos datos de forma directa trasladándose de un lado al otro alrededor del banco de pruebas.

A parte de monitorear y visualizar las variables, el programa ofrece la opción de registrar cada uno de los datos antes mencionados en tablas previamente diseñadas, para mostrar de manera estructurada los datos

necesarios para los posteriores cálculos. Estos datos registrados se exportan a un dispositivo USB que el estudiante debe conectar al tablero, guardándolos en un archivo de Excel con formato csv.

En el programa implementado, también existe una ventana destinada a la proyección de los respectivos cálculos que se realizan en las prácticas. Estos valores sólo se pueden visualizar.

Por último, para identificar la influencia de las variables del proceso en el rendimiento del motor, existen tres ventanas en las cuales se aprecian los gráficos de desempeño del motor del banco de pruebas en función de los datos de la práctica seleccionada, con lo cual el usuario tiene una idea más clara de la relación que existe entre variables antes mencionadas.

A continuación se detallan claramente cada una de las pantallas y opciones que el programa ofrece al usuario para la visualización y monitoreo de las variables de las distintas prácticas.

3.4.1. PANTALLA DE INICIO

Cuando se enciende el tablero de control del banco de pruebas, la primera pantalla que aparece es la que se muestra en la figura 3.2, la cual muestra información general de la institución, del equipo y de los autores del programa implementado.



Figura 3.11. Pantalla de bienvenida del programa implantado

En la parte inferior se encuentra el botón “START”, el mismo que está relacionado con una variable propia del PLC, que permite iniciar toda la secuencia del algoritmo creado para esta aplicación. También permite dar paso a la siguiente pantalla.

3.4.2. PANTALLA INFORMATIVA DE VOLÚMENES DE PRUEBA

Como se mencionó anteriormente, para realizar cualquiera de las tres prácticas destinadas al banco de pruebas se debe seleccionar un volumen de prueba, el cual puede ser 25 cm^3 o 50 cm^3 , dependiendo de las instrucciones del laboratorista.

Teniendo en cuenta esta consideración, la segunda pantalla en aparecer (figura 3.3) muestra al usuario la forma en la cual el programa toma como referencia el volumen de prueba para las prácticas.

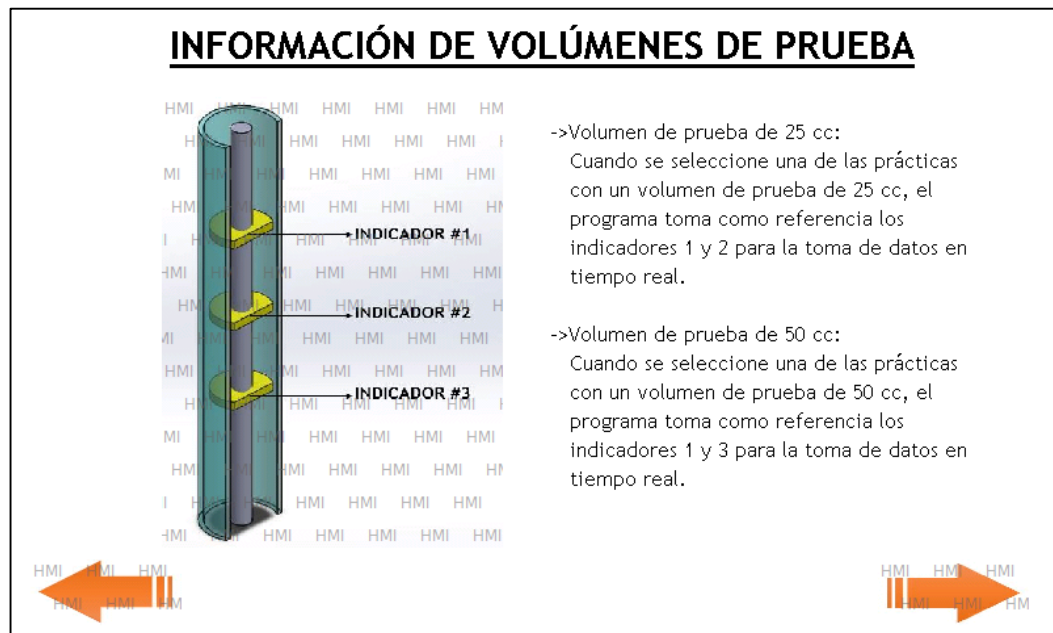


Figura 3.12. Pantalla informativa de volúmenes de prueba

En esta pantalla se ilustra la posición de los indicadores propios de la probeta de medición del sistema de suministro de combustible del banco de pruebas, los mismos que están relacionados a unos sensores de presencia que detectan el paso de combustible al ser éste consumido en el transcurso de las prácticas y la forma en que el programa define los dos volúmenes de prueba que se pueden seleccionar.

3.4.3. PANTALLA DE SELECCIÓN DE LA PRÁCTICA A REALIZARSE

En esta pantalla (figura 3.4) se muestran las tres prácticas que se pueden realizar en el banco de pruebas, diferenciándose cada una por el volumen de prueba que se puede emplear para la toma de datos en tiempo real.



Figura 3.13. Pantalla de selección de la práctica

Como ya se mencionó en los capítulos anteriores, en el banco de pruebas se pueden realizar tres prácticas, las cuales son: variación de la relación de compresión, variación del ángulo de avance al encendido y variación de la relación aire-combustible. El usuario podrá escoger cualquiera de estas tres prácticas dependiendo del volumen de prueba que se desea emplear para la toma de los datos en tiempo real.

3.4.4. PANTALLA DE INGRESO DE VARIABLES

Una vez elegida la práctica deseada con el correspondiente volumen de prueba, el usuario debe ingresar las variables del proceso de acuerdo a la selección previa, para lo cual se ha destinado una pantalla en la que se debe ingresar diez valores relacionados directamente con la práctica a ejecutarse. Esto se puede observar en la figura 3.5.



Figura 3.14. Pantalla de ingreso de variables

Estos valores se ingresan de acuerdo a las indicaciones del docente encargado de la práctica, teniendo en cuenta los mecanismos propios del banco de pruebas destinados para la variación de estos parámetros.

3.4.5. PANTALLA DE MONITOREO

Una vez ya realizados la selección de la práctica correspondiente y el ingreso de las variables necesarias, se muestra una pantalla de monitoreo, en la cual se proyectan en tiempo real todas las variables que se miden en el banco de pruebas como se indica en la figura 3.6.

En esta pantalla se puede observar cómo van variando los distintos parámetros de funcionamiento del banco de pruebas en tiempo real, permitiendo al usuario la observación del proceso sin la necesidad de trasladarse a diferentes partes del banco de pruebas para verificar las medidas de los instrumentos.



Figura 3.15. Pantalla de monitoreo

Esta pantalla trae consigo varios botones que cumplen funciones específicas programadas como son el almacenamiento de las variables en las tablas de datos, el reseteo del tiempo cronometrado y las revoluciones detectadas y el traslado de una ventana a otra.

3.4.6. TABLA DE REGISTRO DE DATOS

En esta pantalla se observan los datos almacenados de la práctica que se está realizando, permitiendo una toma de datos didáctica directamente en la pantalla táctil con el propósito de que el estudiante esté netamente concentrado en el proceso.

Las variables que se van almacenando tienen relación directa con la pantalla anterior, ya que en ésta existe el botón que permite guardar las variables de manera directa de acuerdo a la programación interna que se encuentra cargada en los dispositivos.

En la figura 3.7 se observan las celdas destinadas para el almacenamiento de los distintos parámetros del proceso, con sus respectivas unidades.

TABLA DE REGISTRO DE DATOS									
Relación compresión	#Rev [rev]	Tiempo [s]	Velocidad [RPM]	Fuerza [N]	Flujo Agua [L/min]	Ti H2O [°C]	To H2O [°C]	Tg [°C]	Flujo Aire [Kg/h]
4.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Figura 3.16. Tabla de registro de datos

3.4.7. TABLA DE REGISTRO DE CÁLCULOS

En esta ventana, se muestran los distintos cálculos que se realizan para determinar los parámetros de desempeño del motor del banco de pruebas. Cada uno de los parámetros que se muestran en la ventana, se encuentran calculados dentro del programa implementado, con el propósito de mostrar al usuario en tiempo real la influencia de las variables en el proceso.

Estos cálculos no se pueden exportar a un dispositivo USB como los datos almacenados que se explicaron anteriormente, ya que el estudiante debe obtener estos valores en sus respectivas guías de laboratorio entregadas por el docente a cargo de la práctica de laboratorio.

TABLA DE REGISTRO DE CÁLCULOS									
Relación compresión	Velocidad Calculada [RPM]	Torque [N.m]	Pf [KW]	PMEF [KPa]	A/C	Flujo Combustible [Kg/h]	CEC [Kg/KW-h]	nt [%]	nv [%]
4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00




Figura 3.17. Tabla de registro de cálculos

3.4.8. VENTANAS DE GRÁFICOS

Para que el usuario tenga clara la influencia de ciertos parámetros en el desempeño del motor del banco de pruebas, se ha diseñado unas ventanas que permiten ver de forma gráfica los distintos parámetros de desempeño en función de la práctica seleccionada y los datos almacenados.

En la figura 3.9 se puede observar la ventana de gráficas que se han diseñado para el programa implementado en el banco de pruebas PLIMT TE-15.

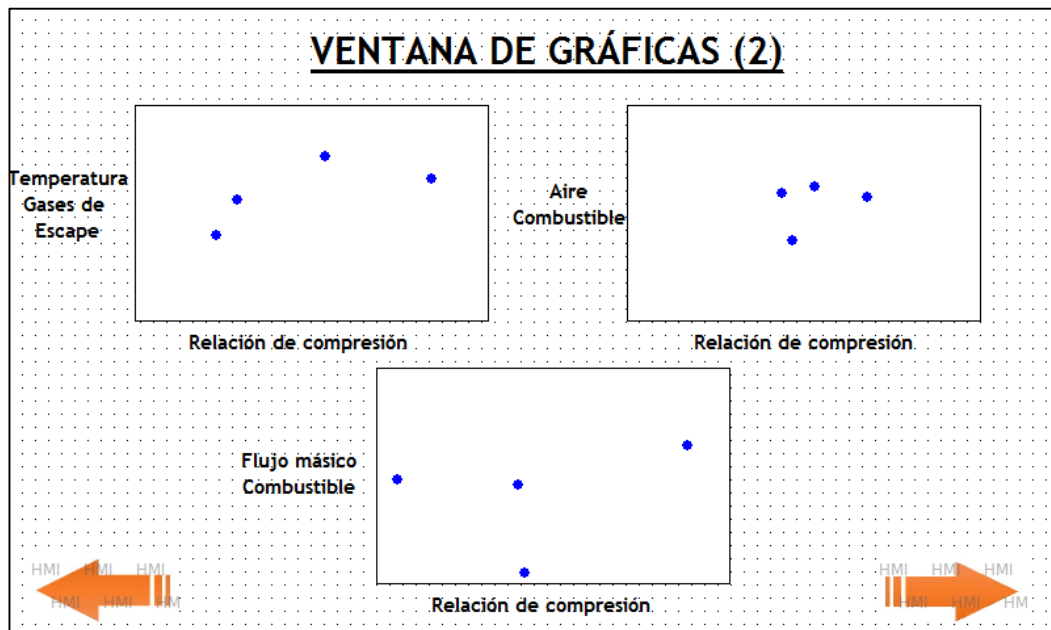


Figura 3.18. Ventana de gráficas

El algoritmo creado para el funcionamiento de la interfaz hombre-máquina se encuentra detallado en el Anexo XX, el mismo que muestra el código en lenguaje de escalera y la denominación de cada variable utilizada en la programación.

CAPITULO 4

BALANCE TÉRMICO, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

4.1. BALANCE TÉRMICO DEL EQUIPO CON LA INSTRUMENTACION ORIGINAL

El balance térmico se lo realizó en las condiciones en las que se encontraba el equipo, teniendo en cuenta que el equipo tiene 35 años de uso, y que no se había realizado un mantenimiento rutinario. Los parámetros bajo los cuales realizamos el balance térmico al motor del equipo son los siguientes:

Tabla 4.1. Parámetros de prueba del balance térmico inicial

Parámetro	Valor
Aceleración	100%
Relación de compresión	8,5
Ángulo de encendido	20
Concentración de mezcla	5.5
Velocidad	1800
Volumen de prueba	25 cc
Diámetro de placa orificio	18 mm
Brazo de palanca	265 mm

4.1.1. EJEMPLO DE CÁLCULOS

Los datos obtenidos y necesarios para realizar el balance térmico del motor del equipo son los siguientes:

Tabla 4.2. Datos obtenidos en la prueba inicial

Variable	Valor
Número de revoluciones	1106 [rev]
Tiempo	36.8 [s]
Fuerza	37.5 [N]
Flujo Agua	5 [L/min]
Temperatura Entrada Refrigeración	57 [°C]
Temperatura Salida Refrigeración	65 [°C]
Temperatura Gases Escape	280 [°C]
Caída Presión	21 [mmH ₂ O]

A continuación se realiza un ejemplo de cálculo empleando las formulas detalladas en las secciones 2.8.

Cálculo del Torque:

$$T = F * d$$

$$T = 37.5 * 0.265$$

$$T = 9.94 \text{ N}$$

Cálculo de la Potencia al freno:

$$Pf = \frac{T * 2\pi * RPM}{60000}$$

$$Pf = \frac{9.94 * 2\pi * 1803,26}{60000}$$

$$Pf = 1,88 \text{ KW}$$

Cálculo del Flujo de aire:

$$\dot{m}_a = \left(\frac{\pi D^2}{4} C \sqrt{\frac{2 * C1 * h_o * Pa}{Ra * Ta}} \right) * 3600 \quad [Kg/h]$$

$$\dot{m}_a = \left(\frac{\pi(0.018)^2}{4} * 0,62 * \sqrt{\frac{2 * 9.81 * 21 * 75000}{287 * 293}} \right) * 3600$$

$$\dot{m}_a = 10.89 \quad [Kg/h]$$

Cálculo del Flujo de combustible:

$$\dot{m}_c = \frac{V_{prueba} * \delta_{gasolina}}{t} * 3600$$

$$\dot{m}_c = \frac{25 * 0.00075}{36.8} * 3600$$

$$\dot{m}_c = 1,83 \quad [Kg/h]$$

Cálculo Eficiencia Térmica:

$$\eta_T = \left(\frac{3600 * Pf}{44186 * \dot{m}_c} \right) * 100$$

$$\eta_T = \left(\frac{3600 * 1,88}{44186 * 1,83} \right) * 100$$

$$\eta_T = 8.34 \%$$

A continuación se realiza el balance de energías presentes en el motor durante su funcionamiento

$$E_{Ent} = E_{Sal}$$

$$Q_{Comb} = Q_E + Q_{enf} + Q_{ge} + Q_{TC} + Q_{AD}$$

Cálculo de la Energía suministrada:

$$Q_{Comb} = P_c * \dot{m}_c$$

$$Q_{comb} = \frac{44186 * \dot{m}_c}{3600}$$

$$Q_{Comb} = 22,51 \text{ [KJ/s]}$$

Cálculo de la Energía Efectiva:

$$Q_E = Pf$$

$$Q_E = 1,88 \text{ [KJ/s]}$$

Cálculo del Calor perdido por refrigeración:

$$Q_{enf} = \frac{\text{Flujo}_{agua} * C_{p_{agua}} * (T_o - T_i)}{60}$$

$$Q_{enf} = \frac{5 * 4,187 * (65 - 57)}{60}$$

$$Q_{enf} = 2,79 \text{ [KJ/s]}$$

Cálculo del Calor en los gases de escape:

$$Q_{ge} = \frac{Cp_{aire}(\dot{m}_c + \dot{m}_a)(T_g - T_{amb})}{3600}$$

$$Q_{ge} = \frac{1.04 * (1.83 + 10.89)(280 - 18)}{3600}$$

$$Q_{ge} = 0.96 \text{ [KJ/s]}$$

Para realizar el cálculo de pérdidas de calor por transferencia de calor, se debe tener en cuenta algunos parámetros como las propiedades térmicas y dimensiones de los materiales involucrados en la transferencia de calor, los cuales se indican en la siguiente tabla:

Tabla 4.3. Propiedades térmicas y físicas

Parámetro	Valor
Viscosidad dinámica del agua, μ	$4.53 \cdot 10^{-4} \left[\frac{N \cdot s}{m^2} \right]$
Diámetro interior de la tubería, D	0.019 [m]
Número de Prandtl, Pr	2.880
Coefficiente de conducción del agua, K_{agua}	$0,658 \left[\frac{W}{mK} \right]$
Coefficiente de convección del aire, h_{aire}	$25 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$
Coefficiente de conducción de la manguera, K_{mgr}	$0.160 \left[\frac{W}{mK} \right]$
Radio interno de la manguera, r_{m1}	0.0095 [m]
Radio externo de la manguera, r_{m2}	0.0135 [m]
Longitud de la manguera, L_{mgr}	4 [m]

Cálculo del Número de Reynolds:

$$Re_D = \frac{4\dot{m}_{agua}}{\pi D \mu}$$

$$Re_D = \frac{4(5/60)}{\pi(0.019)(4.53 \cdot 10^{-4})}$$

$$Re_D = 12327,56 \quad \therefore \text{Flujo Turbulento}$$

Cálculo del Número de Nusselt:

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n \quad n = 0.3 \rightarrow \text{Enfriamiento}$$

$$Nu_D = 0.023(12327,56)^{4/5} 2.880^{0.3}$$

$$Nu_D = 59,190$$

Cálculo del Coeficiente de convección del agua:

$$h_{agua} = \frac{Nu_D * K_{agua}}{D}$$

$$h_{agua} = \frac{59.190 * 0.658}{0.019}$$

$$h_{agua} = 2051.084 \quad \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Cálculo del Calor por transferencia de calor:

$$Q_{TC} = \left(\frac{T_0 - T_{amb}}{\frac{1}{2\pi r_{m1} L_{mgr} h_{agua}} + \frac{\ln(r_{m2}/r_{m1})}{2\pi k_{mgr} L_{mgr}} + \frac{1}{2\pi r_{m2} L_{mgr} h_{aire}}} \right) * \frac{1}{1000}$$

$$Q_{TC} = \left(\frac{\frac{65 - 20}{1000}}{\frac{1}{2\pi(0.0095)(4)(2051.084)} + \frac{\ln(0.0135/0.095)}{2\pi(0.160)(4)} + \frac{1}{2\pi(0.0135)(4)(25)}} \right)$$

$$Q_{TC} = 0.2191 \quad [KJ/s]$$

Cálculo de las Pérdidas de calor adicionales:

$$Q_{AD} = Q_{comb} - Q_E - Q_{enf} - Q_{TC} - Q_{ge}$$

$$Q_{AD} = (22.51 - 1.88 - 2.79 - 0.2191 - 0.96) [KJ/s]$$

$$Q_{AD} = 16.66 [KJ/s]$$

4.1.2. TABULACION DE DATOS Y RESULTADOS

A continuación se muestran las tablas de datos, cálculos, propiedades térmicas, dimensiones de los materiales y calores de todas las pruebas que se realizaron en las condiciones iniciales.

Tabla 4.4. Tabulación de datos obtenidos en el banco de pruebas

N°	# REV	TIEMPO [s]	FUERZA [N]	FLUJO H2O [L/min]	Ti [°C]	To [°C]	Tg [°C]	ho [mmH2O]	VD [m ³ /s]
1	1106	36,8	37,5	5	57	65	280	21	0,007
2	1105	36,8	37,5	10	62	67	280	20,5	0,007
3	1105	36,7	37,5	10	63	67	280	21	0,007
4	1123	37,4	37	15	65	68	280	20,5	0,007
5	1116	37,1	37	20	68	70	280	20,5	0,007
6	1119	37,1	37,5	20	68	71	285	20,5	0,007

Tabla 4.5. Tabulación de cálculos obtenidos en el banco de pruebas

RC	RPM CALCULADA	TORQUE [N.m]	Pf [KW]	FLUJO AIRE [Kg/h]	mc [Kg/h]	η_T [%]
8,5	1803,26	9,94	1,88	10,89	1,83	8,34
8,5	1801,63	9,94	1,87	10,76	1,83	8,33
8,5	1806,54	9,94	1,88	10,89	1,84	8,33
8,5	1801,60	9,81	1,85	10,76	1,80	8,35
8,5	1804,85	9,81	1,85	10,76	1,82	8,30
8,5	1809,70	9,94	1,88	10,76	1,82	8,43

Tabla 4.6. Tabulación de propiedades térmicas y físicas

U [N.s/m ²]	Re	Pr	Nu	k agua [W/m K]	h agua [W/m ² K]	h aire [W/m ² K]	k manguera [W/m K]	r1 [m]	r2 [m]
4,53E-04	12327,56	2,880	59,190	0,658	2051,08	25,000	0,160	0,0095	0,0135
4,37E-04	25587,10	2,770	104,927	0,660	3644,8	25,000	0,160	0,0095	0,0135
4,33E-04	25782,01	2,748	105,314	0,660	3658,27	25,000	0,160	0,0095	0,0135
4,20E-04	39888,46	2,660	147,867	0,662	5148,87	25,000	0,160	0,0095	0,0135
4,08E-04	54802,59	2,576	188,822	0,665	6606,78	25,000	0,160	0,0095	0,0135
4,05E-04	55222,59	2,555	189,513	0,666	6646,91	25,000	0,160	0,0095	0,0135

Tabla 4.7. Tabulación de los resultados del balance térmico inicial

Q_{COMB} [KJ/s]	Q_E [KJ/s]	Q_{ENF} [KJ/s]	Q_{GE} [KJ/s]	Q_{CONV} [KJ/s]	Q_{AD} [KJ/s]
22,51	1,88	2,79	0,96	0,21919417	16,66
22,51	1,87	3,49	0,95	0,22894559	15,97
22,57	1,88	2,79	0,96	0,22894563	16,71
22,15	1,85	3,14	0,95	0,2338204	15,98
22,33	1,85	2,79	0,95	0,24356494	16,49
22,33	1,88	4,19	0,97	0,24843629	15,04

4.2. BALANCE TÉRMICO DEL EQUIPO CON LA NUEVA INSTRUMENTACION

Una vez implementada la nueva instrumentación en el equipo, la cual se detalla en el capítulo 3 sección 3.3, se realizó el balance térmico del motor del banco de pruebas, tomando en cuenta que al equipo se realizó un mantenimiento preventivo:

- Cambio de aceite (Havoline 20w50)
- Limpieza de carburador
- Cambio de bujía
- Aditivo para motor Bardahl

Los parámetros bajo los cuales se realizó el balance térmico del equipo son los siguientes:

Tabla 4.8. Parámetros de prueba para el balance térmico con la nueva instrumentación

Parámetro	Valor
Aceleración	100%
Relación de compresión	8,5
Ángulo de encendido	20
Concentración de mezcla	1
Velocidad	1800
Volumen de prueba	25 cc
Brazo de palanca	265 mm

4.2.1. EJEMPLO DE CÁLCULOS

Los datos obtenidos y necesarios para realizar el balance térmico del motor del equipo son los siguientes:

Tabla 4.9. Datos obtenidos en la prueba con la nueva instrumentación

Variable	Valor
Número de revoluciones	1271 [rev]
Tiempo	41.8 [s]
Fuerza	40.56 [N]
Flujo Agua	4.67 [L/min]
Temperatura Entrada Refrigeración	51 [°C]
Temperatura Salida Refrigeración	60.1 [°C]
Temperatura Gases Escape	391.3 [°C]
Flujo de aire	14.24 [Kg/h]

A continuación se realiza un ejemplo de cálculo empleando las fórmulas utilizadas en el ítem anterior.

Cálculo del Torque:

$$T = F * d$$

$$T = 40.56 * 0.265$$

$$T = 10.75 [N]$$

Cálculo de la Potencia al freno:

$$Pf = \frac{T * 2\pi * RPM}{60000}$$

$$Pf = \frac{10.75 * 2\pi * 1800}{60000}$$

$$Pf = 2.03 \text{ [KW]}$$

Cálculo del Flujo de combustible:

$$\dot{m}_c = \frac{V_{prueba} * \delta_{gasolina}}{t} * 3600$$

$$\dot{m}_c = \frac{25 * 0.00075}{41.8} * 3600$$

$$\dot{m}_c = 1,61 \text{ [Kg/h]}$$

Cálculo de la Eficiencia Térmica:

$$\eta_T = \left(\frac{3600 * Pf}{44186 * \dot{m}_c} \right) * 100$$

$$\eta_T = \left(\frac{3600 * 2.03}{44186 * 1,61} \right) * 100$$

$$\eta_T = 10.22 \%$$

A continuación se realiza el balance de energías presentes en el motor durante su funcionamiento con la nueva instrumentación

$$E_{Ent} = E_{Sal}$$

$$Q_{Comb} = Q_E + Q_{enf} + Q_{ge} + Q_{TC} + Q_{AD}$$

Cálculo de la Energía suministrada:

$$Q_{comb} = P_c * \frac{\dot{m}_c}{3600}$$

$$Q_{comb} = \frac{44186 * 1.61}{3600}$$

$$Q_{comb} = 19.82 \text{ [KJ/s]}$$

Cálculo de la Energía Efectiva:

$$Q_E = Pf$$

$$Q_E = 2.03 \text{ [KJ/s]}$$

Calor perdido por refrigeración:

$$Q_{enf} = \frac{Flujo_{agua} * Cp_{agua} * (T_o - T_i)}{60}$$

$$Q_{enf} = \frac{4.67 * 4,187 * (60.1 - 51)}{60}$$

$$Q_{enf} = 2.97 \text{ [KJ/s]}$$

Pérdidas por gases de escape:

$$Q_{ge} = \frac{Cp_{aire}(\dot{m}_c + \dot{m}_a)(T_g - T_{amb})}{3600}$$

$$Q_{ge} = \frac{1.04 * (1.61 + 14.24)(391.3 - 18)}{3600}$$

$$Q_{ge} = 1.71 \quad [KJ/s]$$

Para realizar el cálculo de pérdidas por transferencia de calor, se debe tener en cuenta algunos parámetros como las propiedades térmicas y dimensiones de los materiales involucrados en la transferencia de calor, los cuales se indican en la siguiente tabla:

Tabla 4.10. Propiedades térmicas y físicas en la nueva prueba

Parámetro	Valor
Viscosidad dinámica del agua, μ	$4.89 \cdot 10^{-4} \left[N \cdot \frac{s}{m^2} \right]$
Diámetro interior de la manguera, D_{mgr}	0.019 [m]
Número de Prandtl, Pr	3.15
Coefficiente de conducción del agua, K_{agua}	0,65 $\left[\frac{W}{mK} \right]$
Coefficiente de convección del aire, h_{aire}	25 $\left[\frac{W}{m^2K} \right]$
Coefficiente de conducción de la manguera, K_{mgr}	0.160 $\left[\frac{W}{mK} \right]$
Radio interno de la manguera, r_{m1}	0.0095 [m]
Radio externo de la manguera, r_{m2}	0.0135 [m]
Longitud de la manguera, L_{mgr}	2 [m]
Diámetro interior del tubo, D_{tub}	0.0127 [m]
Coefficiente de conducción del tubo, K_{tubo}	0.2 $\left[\frac{W}{mK} \right]$
Radio interno del tubo, r_{t1}	0.00635 [m]
Radio externo del tubo, r_{t2}	0.0105 [m]
Longitud del tubo, L_{tub}	1.75 [m]

Cálculo del Número de Reynolds en la manguera:

$$Re_D = \frac{4\dot{m}_{agua}}{\pi D_{mgr} \mu}$$

$$Re_D = \frac{4(4.4/60)}{\pi(0.019)(4.89 \cdot 10^{-4})}$$

$$Re_D = 10049.61 \quad \therefore \text{Flujo Turbulento}$$

Cálculo del Número de Nusselt en la manguera:

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n \quad n = 0.3 \rightarrow \text{Enfriamiento}$$

$$Nu_D = 0.023(10049.61)^{4/5} 3.15^{0.3}$$

$$Nu_D = 51.635$$

Cálculo del Coeficiente de convección del agua en la manguera:

$$h_{agua} = \frac{Nu_{D_{mgr}} * K_{agua}}{D_{mgr}}$$

$$h_{agua} = \frac{51.635 * 0.65}{0.019}$$

$$h_{agua} = 1766.445 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Cálculo del Calor por transferencia de calor en la manguera:

$$Q_{TC1} = \left(\frac{T_0 - T_{amb}}{\frac{1}{2\pi r_{m1} L_{mgr} h_{agua}} + \frac{\ln(r_{m2}/r_{m1})}{2\pi k_{mgr} L_{mgr}} + \frac{1}{2\pi r_{m2} L_{mgr} h_{aire}}} \right) * \frac{1}{1000}$$

$$Q_{TC1} = \left(\frac{\frac{62.5 - 20}{1000}}{\frac{1}{2\pi(0.0095)(2)(2051.084)} + \frac{\ln(0.0135/0.0095)}{2\pi(0.160)(2)} + \frac{1}{2\pi(0.0135)(2)(25)}} \right)$$

$$Q_{TC1} = 0.102 \quad [KJ/s]$$

Cálculo del Número de Reynolds en la tubería:

$$Re_D = \frac{4\dot{m}_{agua}}{\pi D_{tub} \mu}$$

$$Re_D = \frac{4(4.4/60)}{\pi(0.0127)(4.89 \cdot 10^{-4})}$$

$$Re_D = 15034.85 \quad \therefore \text{Flujo Turbulento}$$

Cálculo del Número de Nusselt en la tubería:

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n \quad n = 0.3 \rightarrow \text{Enfriamiento}$$

$$Nu_D = 0.023(15304.85)^{4/5} 3.15^{0.3}$$

$$Nu_D = 71.286$$

Cálculo del Coeficiente de convección del agua en la tubería:

$$h_{agua} = \frac{Nu_{D_{tub}} * K_{agua}}{D_{tub}}$$

$$h_{agua} = \frac{71.286 * 0.65}{0.0127}$$

$$h_{agua} = 3647.6219 \quad \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

Cálculo del Calor por transferencia de calor en la tubería:

$$Q_{TC2} = \left(\frac{T_0 - T_{amb}}{\frac{1}{2\pi r_{t1} L_{tub} h_{agua}} + \frac{\ln(r_{m2}/r_{m1})}{2\pi k_{tub} L_{tub}} + \frac{1}{2\pi r_{t2} L_{tub} h_{aire}}} \right) * \frac{1}{1000}$$

$$Q_{TC2} = \left(\frac{\frac{62.5 - 20}{1000}}{\frac{1}{2\pi(0.0064)(1.75)(3647.62)} + \frac{\ln(0.0105/0.064)}{2\pi(0.2)(1.75)} + \frac{1}{2\pi(0.0105)(1.75)(25)}} \right)$$

$$Q_{TC2} = 0.073 \quad [KJ/s]$$

Cálculo de las pérdidas de calor adicionales:

$$Q_{AD} = Q_{comb} - Q_E - Q_{enf} - Q_{TC1} - Q_{TC2} - Q_{ge}$$

$$Q_{AD} = 19.77 - 2.17 - 3.01 - 0.102 - 0.073 - 1.57$$

$$Q_{AD} = 12.84 \quad [KJ/S]$$

4.2.2. TABULACION DE DATOS

A continuación se muestran las tablas de datos, cálculos, propiedades térmicas, dimensiones de los materiales y calores de todas las pruebas que se realizaron con la nueva instrumentación.

Tabla 4.11. Tabulación de datos obtenidos en el banco de pruebas con la nueva instrumentación

Nº	# REV	TIEMPO [s]	FUERZA [N]	FLUJO H2O [L/min]	Ti [°C]	To [°C]	Tg [°C]	FLUJO AIRE [Kg/h]	VD [m³/s]
1	1271	42	40,71	5,47	46	56	361,75	12,99	0,007
2	1250	41,5	41,01	5,47	46,1	55,6	387,78	13,69	0,007
3	1242	41,3	39,5	4,8	48,9	58,5	381,01	14,24	0,007
4	1254	41,8	40,56	4,67	51	60,1	391,27	14,24	0,007
5	1264	41,9	43,27	4,4	52,7	62,5	387,2	13,11	0,007
6	1271	42,4	41,76	13,2	54,4	59,1	390,21	13,68	0,007

Tabla 4.12. Tabulación de cálculos obtenidos en el banco de pruebas con la nueva instrumentación

RC	RPM CALCULADA	TORQUE [N.m]	Pf [KW]	mc [Kg/h]	η_T [%]
8,5	1815,71	10,79	2,05	1,61	10,40
8,5	1807,23	10,87	2,06	1,63	10,30
8,5	1804,36	10,47	1,98	1,63	9,86
8,5	1800,00	10,75	2,03	1,61	10,22
8,5	1810,02	11,47	2,17	1,61	10,99
8,5	1798,58	11,07	2,08	1,59	10,67

Tabla 4.13. Tabulación de propiedades térmicas y físicas en la manguera

μ [N.s/m ²]	Re	Pr	Nu	k agua [W/m K]	h agua [W/m ² K]	h aire [W/m ² K]	k manguera [W/m K]	r1 [m]	r2 [m]
5,39E-04	11339,17	3,49	58,64	0,6418	1981,009	25,0	0,160	0,0095	0,0135
5,39E-04	11339,17	3,49	58,64	0,6439	1987,491	25,0	0,160	0,0095	0,0135
5,15E-04	10414,98	3,32	53,97	0,6467	1837,153	25,0	0,160	0,0095	0,0135
5,00E-04	10433,30	3,22	53,55	0,6486	1828,291	25,0	0,160	0,0095	0,0135
4,89E-04	10049,61	3,15	51,63	0,6500	1766,445	25,0	0,160	0,0095	0,0135
4,91E-04	30052,95	3,16	124,14	0,6498	4245,900	25,0	0,160	0,0095	0,0135

Tabla 4.14. Tabulación de propiedades térmicas y físicas en el tubo

μ [N.s/m ²]	Re	Pr	Nu	k agua [W/m K]	h agua [W/m ² K]	h aire [W/m ² K]	k tubo [W/m K]	r1	r2
5,39E-04	16964,11	3,49	80,94	0,6418	4090,687	25,0	0,2	0,0063	0,0105
5,39E-04	16964,11	3,49	80,94	0,6439	4104,072	25,0	0,2	0,0063	0,0105
5,15E-04	15581,47	3,32	74,49	0,6467	3793,631	25,0	0,2	0,0063	0,0105
5,00E-04	15608,87	3,22	73,92	0,6486	3775,331	25,0	0,2	0,0063	0,0105
4,89E-04	15034,85	3,15	71,26	0,6500	3647,621	25,0	0,2	0,0063	0,0105
4,91E-04	44961,10	3,16	171,35	0,6498	8767,575	25,0	0,2	0,0063	0,0105

Tabla 4.15. Tabulación de los resultados del balance térmico con la nueva instrumentación

Q_{COMB} [KJ/s]	Q_{E} [KJ/s]	Q_{ENF} [KJ/s]	Q_{GE} [KJ/s]	$Q_{\text{CONV 1}}$ [KJ/s]	$Q_{\text{CONV 2}}$ [KJ/s]	Q_{AD} [KJ/s]
19,73	2,05	3,82	1,45	0,0867	0,0622	12,26
19,96	2,06	3,63	1,64	0,0858	0,0615	12,50
20,06	1,98	3,22	1,66	0,0927	0,0665	13,04
19,82	2,03	2,97	1,71	0,0965	0,0692	12,95
19,77	2,17	3,01	1,57	0,1023	0,0733	12,84
19,54	2,08	4,33	1,64	0,0947	0,0677	11,32

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS DEL BALANCE TÉRMICO DEL MOTOR DEL BANCO DE PRUEBAS PLINT TE-15

Como se puede observar en la tabla 4.7 y en la tabla 4.15, se tienen las cantidades de energéticas que se dispersan por cada sistema del motor que se consideraron. A continuación se muestran en diagramas de pastel los porcentajes de energía obtenidos en el balance térmico:

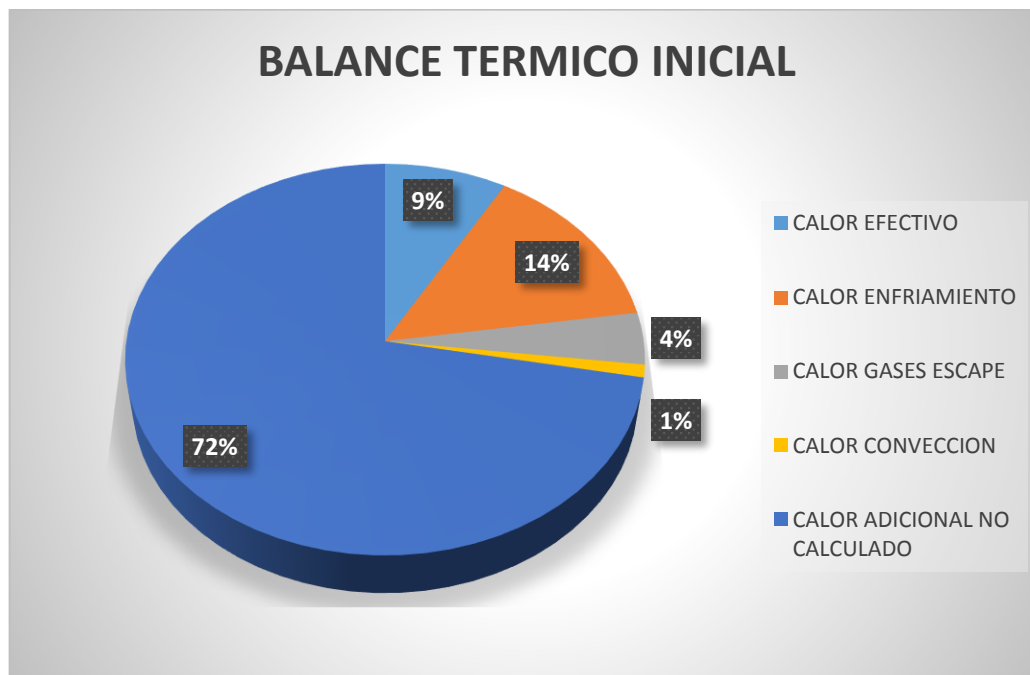


Figura 4.1. Balance térmico, condiciones iniciales

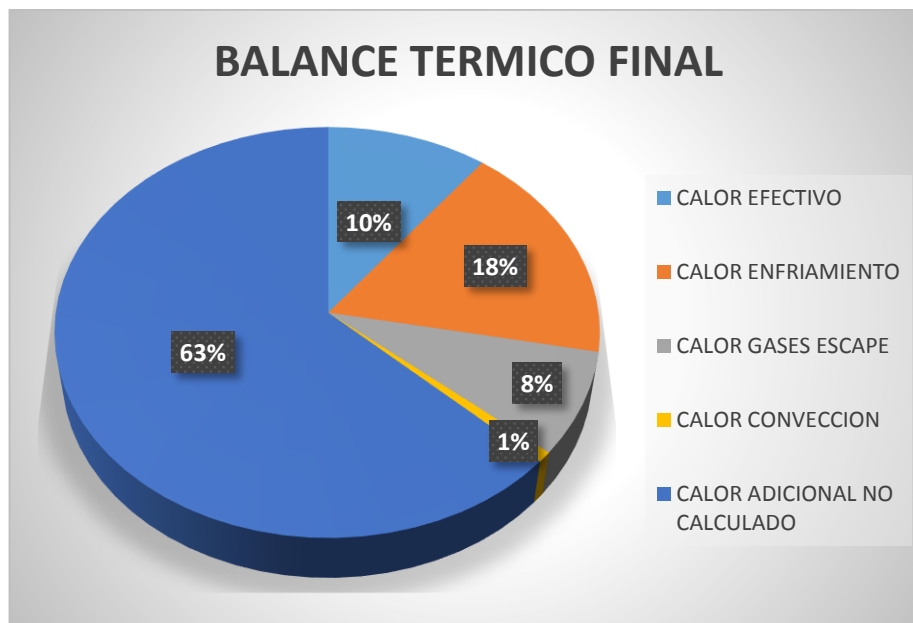


Figura 4.2. Balance térmico, condiciones finales.

Como se puede observar en la figura 4.1 y en la figura 4.2, se tiene en condiciones iniciales un calor efectivo equivalente al 9% del total suministrado por el combustible, mientras que el calor efectivo en el balance térmico final el calor efectivo es del 10%. Otra de las principales características de estas gráficas es el calor adicional no calculado, en el balance inicial representa un 72% del total de energía suministrada, mientras que en el nuevo balance este porcentaje es igual al 63%, con lo que existe una reducción en el desperdicio de energía.

4.4. COMPARACION DE DATOS HISTORICOS CON LOS DATOS DEL SISTEMA IMPLANTADO.

Los datos históricos de prácticas realizadas en el motor son de los años 2000 (Variación de la concentración de la mezcla), 1996 (Variación de la relación de compresión), 1985 (Variación del ángulo de encendido), los cuales serán objeto de comparación con pruebas realizadas en el presente año y con el sistema de adquisición de datos implementado.

4.4.1. VARIACION DE LA RELACION DE COMPRESION

El ejemplo de cálculo que se muestra a continuación es igual tanto para los datos históricos como para los datos obtenidos en el presente año con la implementación del sistema de adquisición de datos.

Cabe mencionar que el ejemplo de cálculo que se muestra a continuación es el cálculo de la práctica de variación de la relación de compresión con datos obtenidos en el año de 1996. Para el presente año el valor de "ho" no se muestra en la tabla de datos ya que con la implementación del sensor "MAF" se obtiene de forma directa el valor del flujo másico de aire

Tabla 4.16. Datos obtenidos en la prueba de variación de la relación de compresión

Variable	Valor
Relación de compresión	4.13
Número de revoluciones	1629 [rev]
Tiempo	57.4 [s]
Fuerza	38 [N]
Flujo Agua	25 [L/min]
Temperatura Entrada Refrigeración	66 [°C]
Temperatura Salida Refrigeración	68 [°C]
Temperatura Gases Escape	420 [°C]
Presión diferencial	33.5 [mmH ₂ O]

Cálculo del Torque:

$$T = F * d$$

$$T = 38 * 0.265$$

$$T = 10.07 [N]$$

Cálculo de la Potencia al freno:

$$Pf = \frac{T * 2\pi * RPM}{60000}$$

$$Pf = \frac{10.07 * 2\pi * 1702.79}{60000}$$

$$Pf = 1.80 \text{ [KW]}$$

Cálculo de la PMEF:

$$PMEF = \frac{Pf}{V_D}$$

$$PMEF = \frac{1,80 \text{ KW}}{\frac{4.68 * 10^{-4} (RPM)}{K_2 * 60}}$$

$$PMEF = \frac{1,80 \text{ KW}}{\frac{4.68 * 10^{-4} (1702,79)}{2 * 60}}$$

$$PMEF = 270.39 \text{ [KPa]}$$

Cálculo del Flujo de aire:

$$\dot{m}_a = \left(\frac{\pi D^2}{4} C \sqrt{\frac{2 * C1 * h_o * Pa}{Ra * Ta}} \right) * 3600 \quad \text{[Kg/h]}$$

$$\dot{m}_a = \left(\frac{\pi (0.018)^2}{4} * 0,62 * \sqrt{\frac{2 * 9.81 * 33.5 * 75000}{287 * 293}} \right) * 3600$$

$$\dot{m}_a = 13.75 \text{ [Kg/h]}$$

Cálculo del Flujo de combustible:

$$\dot{m}_c = \frac{V_{prueba} * \delta_{gasolina}}{t} * 3600$$

$$\dot{m}_c = \frac{25 * 0.00075}{54.7} * 3600$$

$$\dot{m}_c = 1,18 \text{ [Kg/h]}$$

Cálculo de la Relación aire-combustible A/C

$$R_{A/C} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c}$$

$$R_{A/C} = \frac{13.75}{1.18}$$

$$R_{A/C} = 11.69$$

Cálculo del Consumo Específico de Combustible:

$$CEC = \frac{\dot{m}_c}{Pf}$$

$$CEC = \frac{1.18}{1.80}$$

$$CEC = 0.65 \text{ [Kg/KW - h]}$$

Cálculo de la Eficiencia Térmica:

$$\eta_T = \left(\frac{3600 * Pf}{44186 * \dot{m}_c} \right) * 100$$

$$\eta_T = \left(\frac{3600 * 1,80}{44186 * 1,18} \right) * 100$$

$$\eta_T = 12.44 \%$$

Eficiencia Volumétrica:

$$\eta_V = \left(\frac{\dot{m}_a}{V_D * 3600 * 1.21} \right) * 100$$

$$\eta_V = \left(\frac{13.75}{0.007 * 3600 * 1.21} \right) * 100$$

$$\eta_V = 47.54 \%$$

Tabla 4.17. Tabla de datos históricos de la práctica de variación de la relación de compresión (20-03-1996)

N°	Rc	# REV	TIEMPO [s]	FUERZA [N]	FLUJO H2O [L/min]	Ti [°C]	To [°C]	Tg [°C]	ho [mmH2O]	VD [m³/s]
1	4,13	1629	57,4	38	25	66	68	420	33,5	0,007
2	4,46	1635	57,7	40	25	62	70	415	33,5	0,007
3	4,79	1645	58	42	20	68	70	410	33	0,007
4	5,2	1650	58,4	44	10	55	60	410	32	0,007
5	5,73	1663	58,6	46	25	65	67	405	31,5	0,007
6	6,42	1672	59	43	25	66	68	395	32	0,007
7	7,3	1691	59,4	43	25	67	69	385	31	0,007
8	8,65	1793	63,3	42	25	68	70	340	28	0,007

Tabla 4.18. Tabla de cálculos obtenidos a partir de los datos históricos

RC	RPM	TORQUE [N.m]	Pf [KW]	PMEF [KPa]	FLUJO AIRE [Kg/h]	mc [Kg/h]	A/C	CEC [Kg/KW-h]	η_T [%]	η_V [%]
4,13	1702,79	10,07	1,80	270,39	13,75	1,18	11,69	0,65	12,44	47,54
4,46	1700,17	10,60	1,89	284,62	13,75	1,17	11,76	0,62	13,14	47,61
4,79	1701,72	11,13	1,98	298,85	13,65	1,16	11,73	0,59	13,89	47,21
5,2	1695,21	11,66	2,07	313,09	13,44	1,16	11,63	0,56	14,59	46,67
5,73	1702,73	12,19	2,17	327,32	13,33	1,15	11,58	0,53	15,37	46,10
6,42	1700,34	11,40	2,03	305,97	13,44	1,14	11,75	0,56	14,45	46,53
7,3	1708,08	11,40	2,04	305,97	13,23	1,14	11,64	0,56	14,61	45,59
8,65	1699,53	11,13	1,98	298,85	12,57	1,07	11,79	0,54	15,13	43,54

Tabla 4.19. Tabla de datos obtenidos de la variación de la relación de compresión con la nueva instrumentación

N°	Rc	# REV	TIEMPO [s]	FUERZA [N]	FLUJO H2O [L/min]	Ti [°C]	To [°C]	Tg [°C]	VD [m³/s]
1	4,13	1163	40,7	27,12	21,07	54,4	57,7	485,13	0,007
2	4,46	1177	41,4	27,27	18,13	56,8	60	477,83	0,007
3	4,79	1170	41,3	32,09	16,8	58,5	62	456,14	0,007
4	5,2	1170	41,2	34,05	16,8	60,2	64,2	435,82	0,007
5	5,73	1184	41,6	36,01	16,93	57,8	63,4	424,71	0,007
6	6,42	1178	41,5	36,50	21,47	61	65	408,15	0,007
7	7,3	1193	42,2	37,22	16,8	63,4	66,8	401,85	0,007
8	8,65	1225	42,9	36,46	16,93	65,1	68,5	374,66	0,007

Tabla 4.20. Tabla de cálculos obtenidos a partir de los datos obtenidos con la nueva instrumentación

RC	RPM	TORQUE [N.m]	Pf [KW]	PMEF [KPa]	FLUJO AIRE [Kg/h]	mc [Kg/h]	A/C	CEC [Kg/KW-h]	η_T [%]	η_V [%]
4,13	1714,50	7,19	1,29	192,97	13,36	1,66	8,06	1,29	6,34	45,87
4,46	1705,80	7,23	1,29	194,04	14,02	1,63	8,60	1,26	6,45	48,39
4,79	1699,76	8,50	1,51	228,34	14,34	1,63	8,78	1,08	7,55	49,68
5,2	1703,88	9,02	1,61	242,29	14,17	1,64	8,65	1,02	8,01	48,94
5,73	1707,69	9,54	1,71	256,23	13,78	1,62	8,49	0,95	8,57	47,51
6,42	1703,13	9,67	1,73	259,72	13,44	1,63	8,27	0,94	8,64	46,47
7,3	1696,21	9,86	1,75	264,84	14,53	1,60	9,09	0,91	8,92	50,44
8,65	1713,29	9,66	1,73	259,43	13,47	1,57	8,56	0,91	8,98	46,27

Los gráficos mostrados son la comparación de los resultados obtenidos a partir de los datos históricos y los datos del presente año realizados con el nuevo sistema de adquisición de datos en tiempo real.

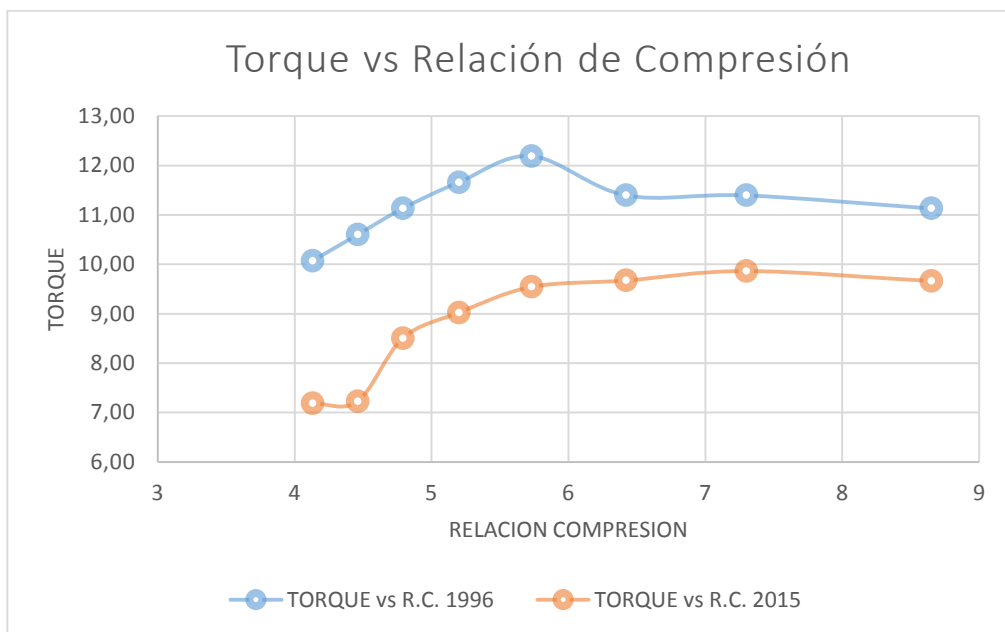


Figura 4.3. Gráfica de comparación: Torque vs Relación de compresión

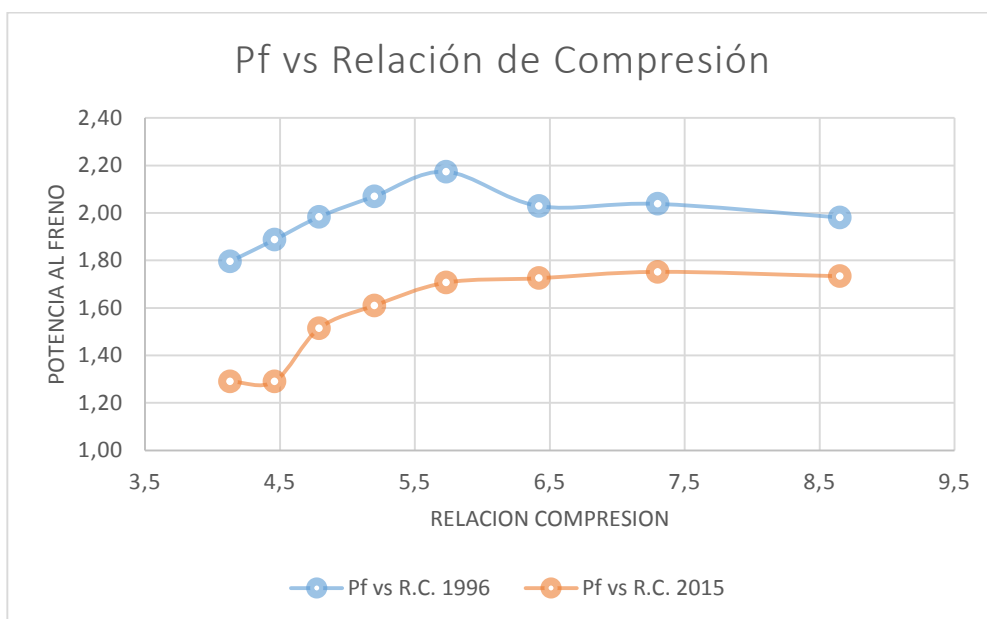


Figura 4.4. Gráfica de comparación: Potencia al freno vs Relación de compresión

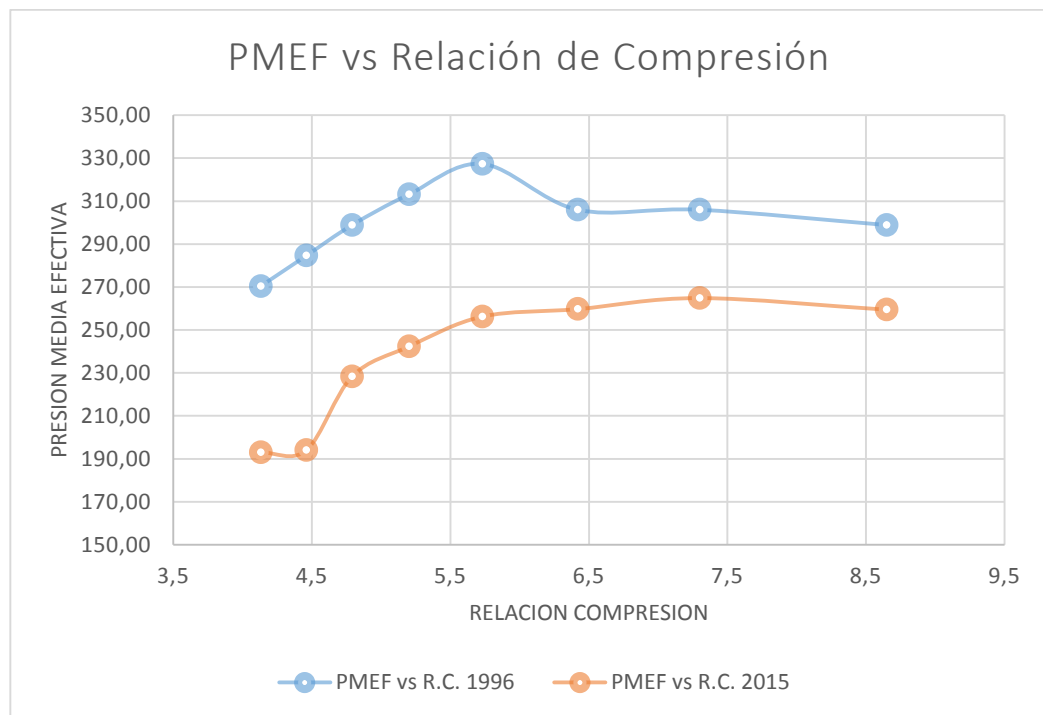


Figura 4.5. Gráfica de comparación: Presión Media Efectiva vs Relación de compresión

Como se observa en las figuras 4.3, 4.4 y 4.5, el torque, la potencia al freno y la presión media efectiva son variables que mantienen la misma tendencia en función de la variación de la relación de compresión.

Comparando las gráficas de los datos históricos con los nuevos datos, mantienen entre sí la misma tendencia. Lo que sí se puede observar claramente es que las gráficas con los datos históricos muestran valores mayores a los obtenidos recientemente, lo que es una clara señal de que el estado del motor actual influye directamente en los valores obtenidos en las pruebas realizadas con la nueva instrumentación.

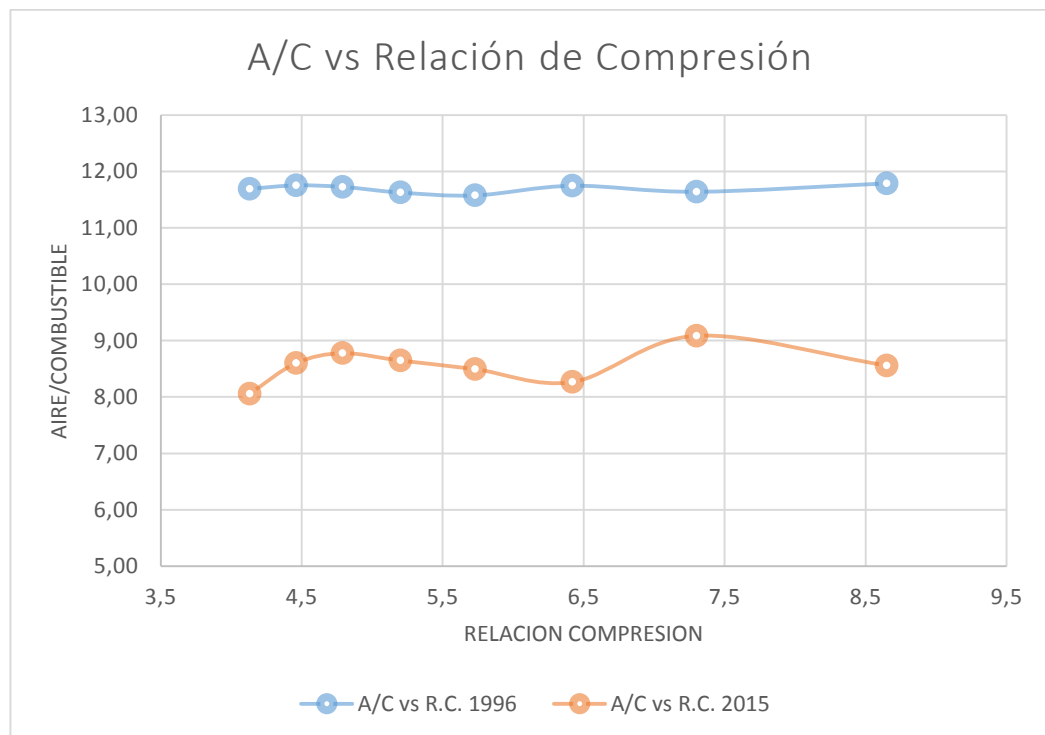


Figura 4.6. Gráfica de comparación: Relación Aire/Combustible vs Relación de compresión

En la figura 4.6 se puede observar la variación de la relación aire combustible en función de la variación de la relación de compresión, tanto de datos históricos como de datos obtenidos recientemente. Se puede observar que la gráfica de los datos históricos tiende a ser una línea recta, en cambio que la gráfica generada a partir de los datos actuales tiene más dispersión, sin embargo mantiene la misma tendencia.

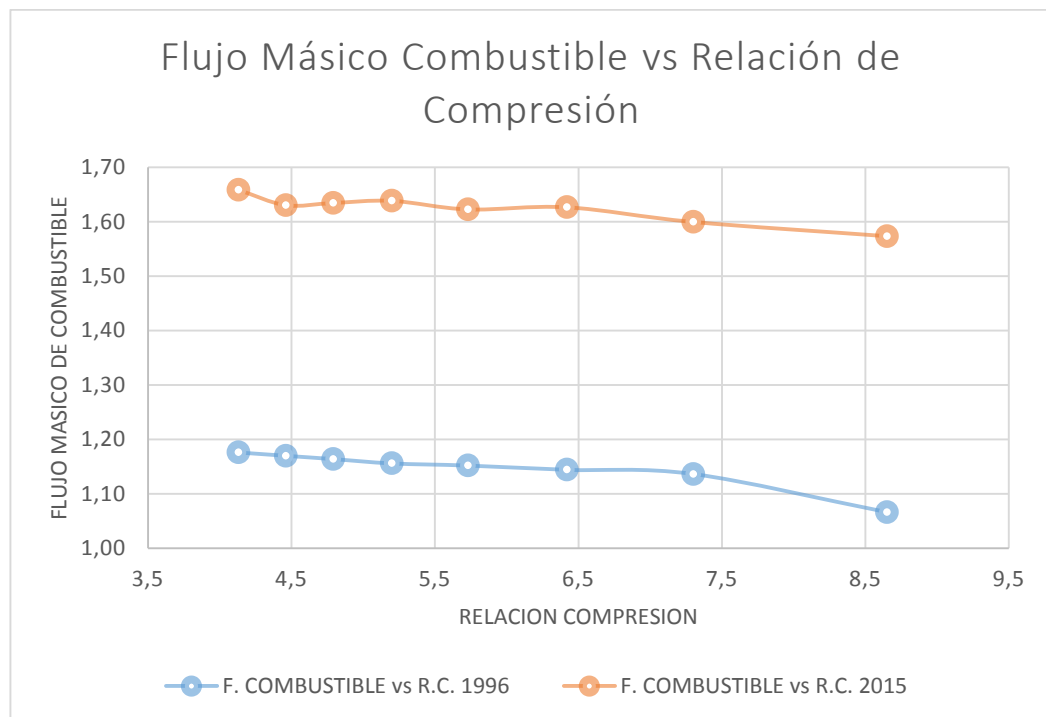


Figura 4.7. Gráfica de comparación: Flujo másico de combustible vs Relación de compresión

En la figura 4.7 se puede observar las gráficas generadas a partir de los datos históricos y los datos actuales del flujo másico de combustible en función de la variación de la relación de compresión, observando claramente que mantienen la misma tendencia. Lo que se destaca en esta gráfica es la diferencia en el consumo de combustible, ya que la gráfica obtenida de los datos actuales muestra un aumento en el flujo másico de combustible en comparación con los datos históricos.

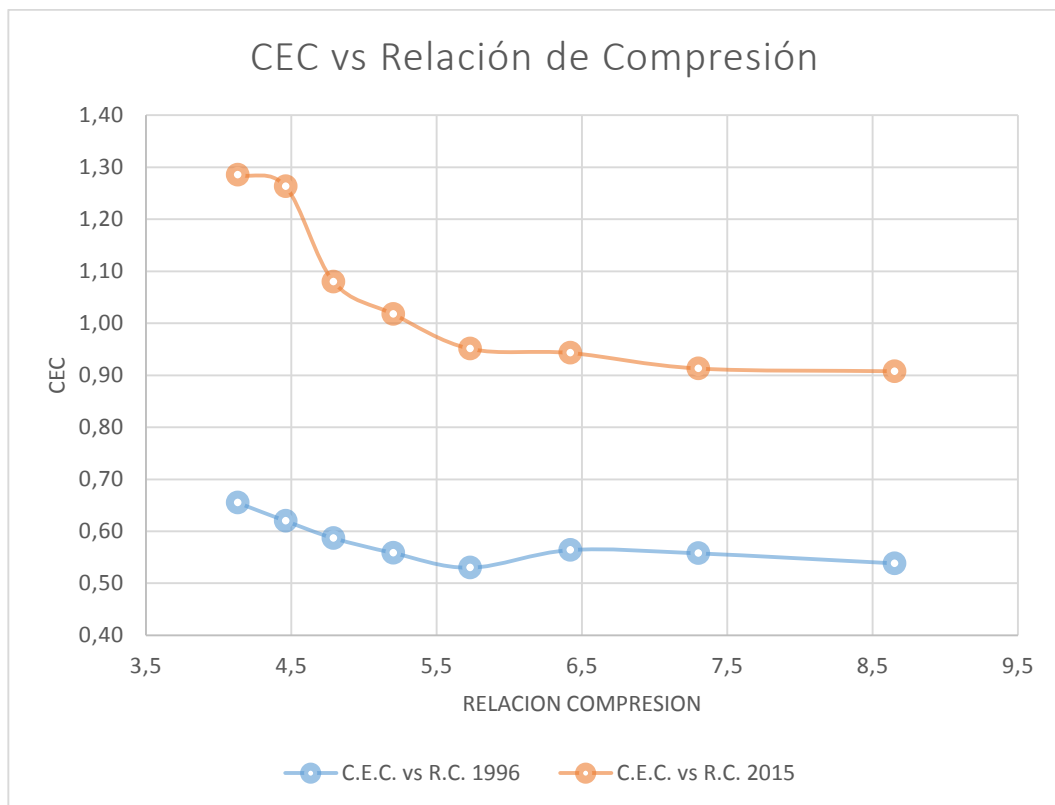


Figura 4.8. Gráfica de comparación: Consumo Específico de Combustible vs Relación de compresión

En la figura 4.8 se observa claramente que las gráficas obtenidas a partir de los datos históricos y los datos actuales mantienen la misma tendencia. Lo que se destaca en esta gráfica es que el consumo específico de combustible actual es mayor en comparación con el histórico. Esto indica que el motor para mantener un rendimiento aproximado al de hace 35 años necesita una mayor cantidad de combustible.

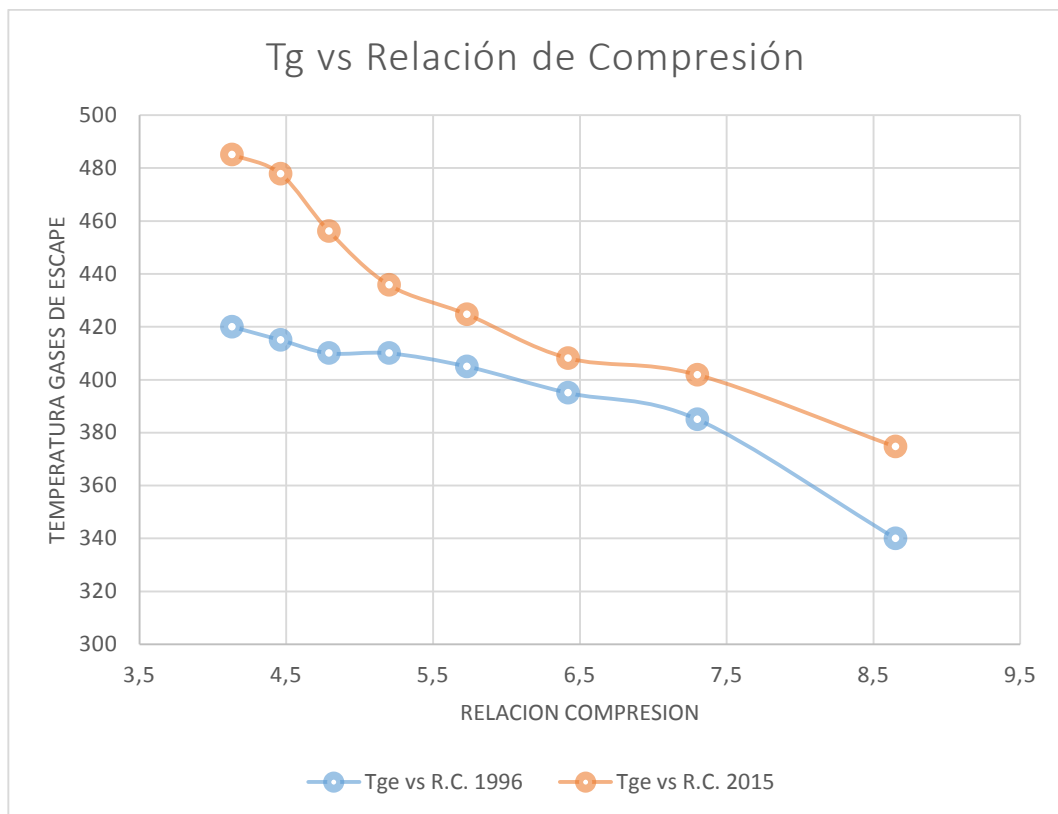


Figura 4.9. Gráfica de comparación: Temperatura de gases de escape vs Relación de compresión

En la figura 4.9 se observa claramente la variación de la temperatura de los gases de escape en función de la variación de la relación de compresión. Ambas gráficas mantienen la misma tendencia, con la diferencia que la gráfica generada a partir de los datos actuales indica un aumento en la temperatura de los gases de escape en comparación con la gráfica de los datos históricos.

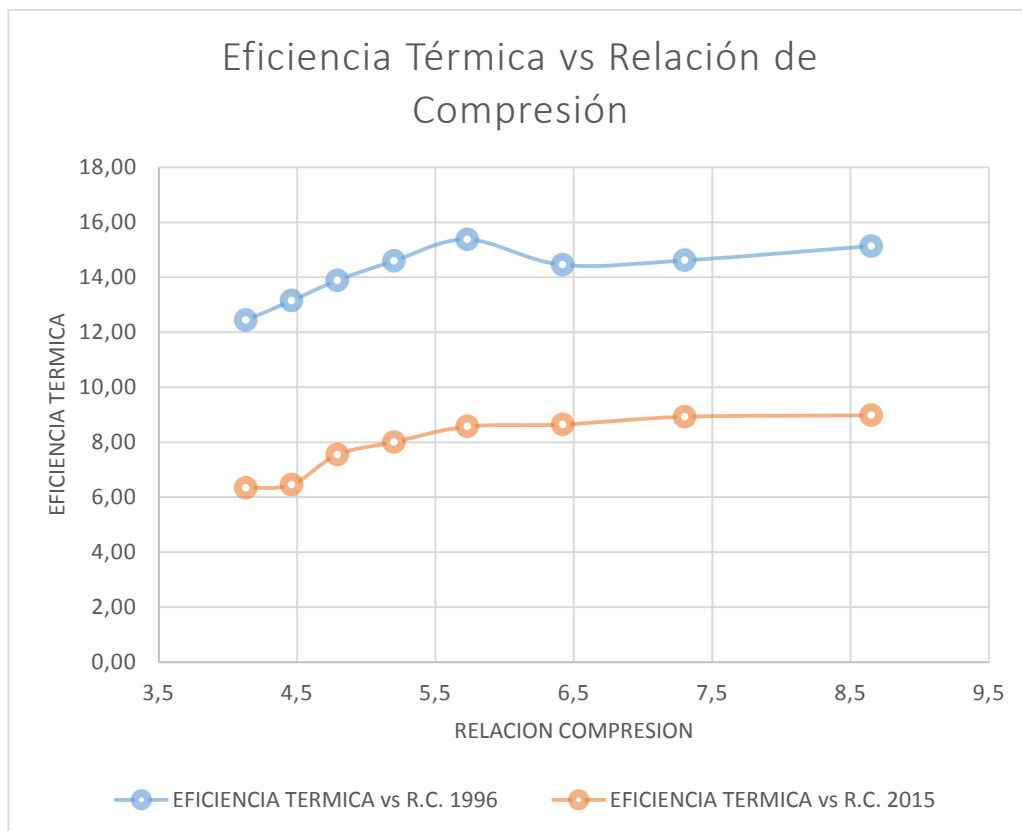


Figura 4.10. Gráfica de comparación: Eficiencia Térmica vs Relación de compresión

En la figura 4.10 se observa que ambas gráficas mantienen la misma tendencia en cuanto a la variación de la eficiencia térmica en función de la variación de la relación de compresión. La gráfica obtenida a partir de los datos actuales indica una disminución de la eficiencia térmica en comparación con la gráfica de los datos históricos.

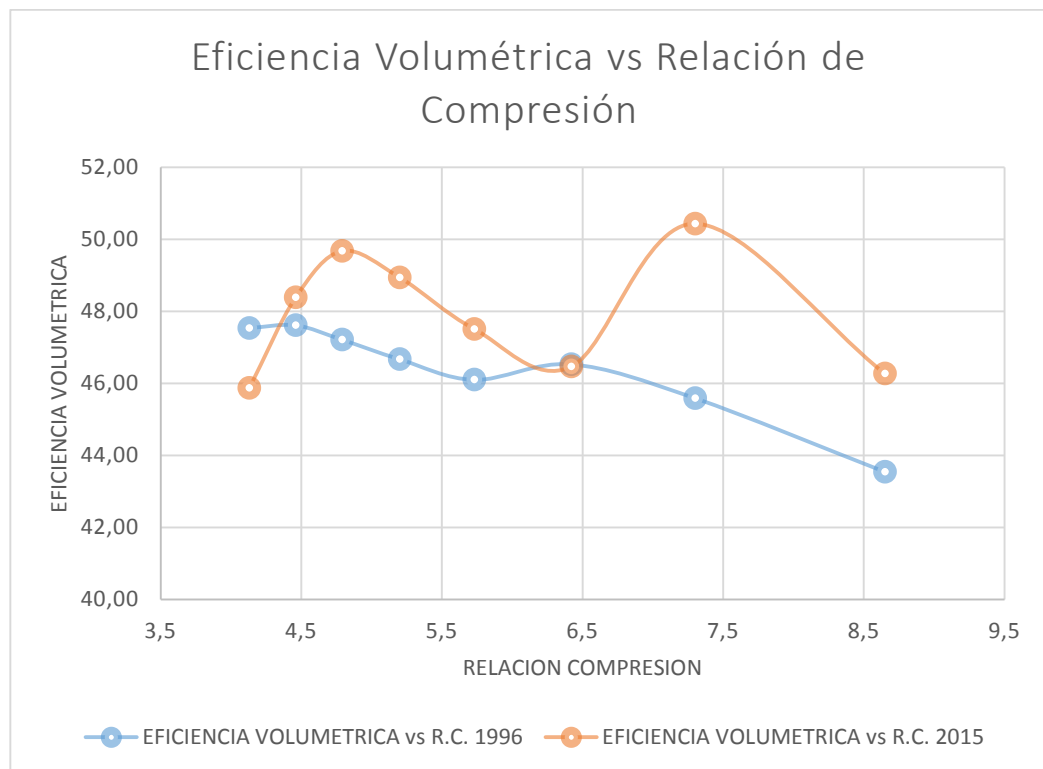


Figura 4.11. Gráfica de comparación: Eficiencia Volumétrica vs Relación de compresión

En la figura 4.11 se observa claramente la variación de la eficiencia volumétrica en función de la relación de compresión, observando la tendencia de las gráficas obtenidas a partir de los datos históricos y los datos actuales. Se nota en la gráfica de los datos actuales que existe mayor dispersión en comparación con la gráfica de los datos históricos, esto se debe a que en la instrumentación antigua se calculaba el flujo másico de aire de forma indirecta y ahora se tienen un sensor que mide el flujo másico de aire directamente, por lo tanto tiende a detectar la mínima variación.

4.4.2. VARIACIÓN DEL ÁNGULO DE ENCENDIDO

A continuación se tabula los datos y cálculos obtenidos tanto de las pruebas históricas como de las pruebas realizadas en el presente año.

Tabla 4.21. Tabla de datos históricos de la práctica de variación del ángulo de encendido (28-05-1985)

N°	ANGULO	# REV	TIEMPO [s]	FUERZA [N]	FLUJO H2O [L/min]	Ti [°C]	To [°C]	Tg [°C]	ho [mmH2O]
1	24	1343	46,1	37,5	10	48	53	425	33
2	20	1333	45,7	39	10	60	65	425	33
3	16	1329	45,6	37,5	10	44	49	430	33
4	12	1290	44,2	37	10	63	68	440	33
5	8	1314	45	36	20	66	68	500	33,5
6	4	1280	44	32	24	68	70	520	33,5
7	0	1251	42,9	27,5	27	68	70	540	34

Tabla 4.22. Tabla de cálculos obtenidos a partir de los datos históricos

ANG	RPM CALC	TORQUE [N.m]	Pf [KW]	PMEF [KPa]	FLUJO AIRE [Kg/h]	mc [Kg/h]	A/C	CEC [Kg/KW-h]	η_T [%]	η_V [%]
24	1747,94	9,94	1,82	266,83	13,65	1,46	9,32	0,80	10,12	45,96
20	1750,11	10,34	1,89	277,51	13,65	1,48	9,24	0,78	10,45	45,91
16	1748,68	9,94	1,82	266,83	13,65	1,48	9,22	0,81	10,02	45,94
12	1751,13	9,81	1,80	263,28	13,65	1,53	8,94	0,85	9,59	45,88
8	1752,00	9,54	1,75	256,16	13,75	1,50	9,17	0,86	9,51	46,20
4	1745,45	8,48	1,55	227,70	13,75	1,53	8,96	0,99	8,23	46,38
0	1749,65	7,29	1,34	195,68	13,85	1,57	8,80	1,18	6,91	46,61

Tabla 4.23. Tabla de datos obtenidos de la variación del ángulo de encendido con la nueva instrumentación

N°	ANGULO	# REV	TIEMPO [s]	FUERZA [N]	FLUJO H2O [L/min]	Ti [°C]	To [°C]	Tg [°C]
1	24	1270	42,3	40,54	8,4	45	51,8	382,43
2	20	1270	42,1	40,69	6,8	47	53,5	396,93
3	16	1276	42,4	36,62	6,8	49,4	55,1	425,4
4	12	1264	42	32,55	10,53	51,6	55,8	449,52
5	8	1246	41,2	24,42	11,47	54,3	58,5	485,24
6	4	1233	41,1	15,98	10,8	56,1	61	503,07
7	0	1213	41,8	14,47	10,8	57,6	62,6	523,92

Tabla 4.24. Tabla de cálculos obtenidos a partir de los datos obtenidos con la nueva instrumentación

ANG	RPM CALC	TORQUE [N.m]	Pf [KW]	PMEF [KPa]	FLUJO AIRE [Kg/h]	mc [Kg/h]	A/C	CEC [Kg/KW-h]	η_T [%]	η_v [%]
24	1801,42	10,74	2,03	288,47	13,23	1,60	8,29	0,79	10,35	43,22
20	1809,98	10,78	2,04	289,53	13,68	1,60	8,53	0,78	10,39	44,48
16	1805,66	9,70	1,83	260,57	13,31	1,59	8,36	0,87	9,39	43,39
12	1805,71	8,63	1,63	231,61	14,34	1,61	8,93	0,99	8,27	46,76
8	1814,56	6,47	1,23	173,76	14,57	1,64	8,89	1,33	6,12	47,25
4	1800,00	4,23	0,80	113,71	13,30	1,64	8,10	2,06	3,96	43,49
0	1741,15	3,83	0,70	102,96	13,95	1,61	8,64	2,31	3,53	47,16

Los gráficos mostrados son la comparación de los resultados obtenidos con los datos históricos y los datos del presente año obtenidos con la nueva instrumentación.

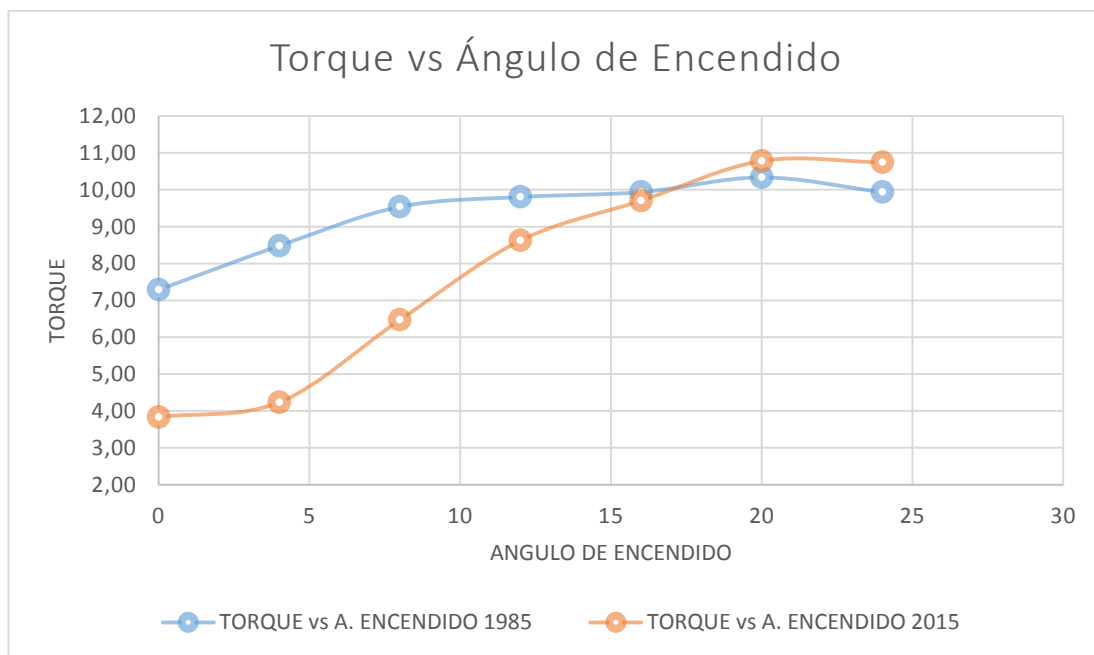


Figura 4.12. Gráfica de comparación: Torque vs Angulo de encendido

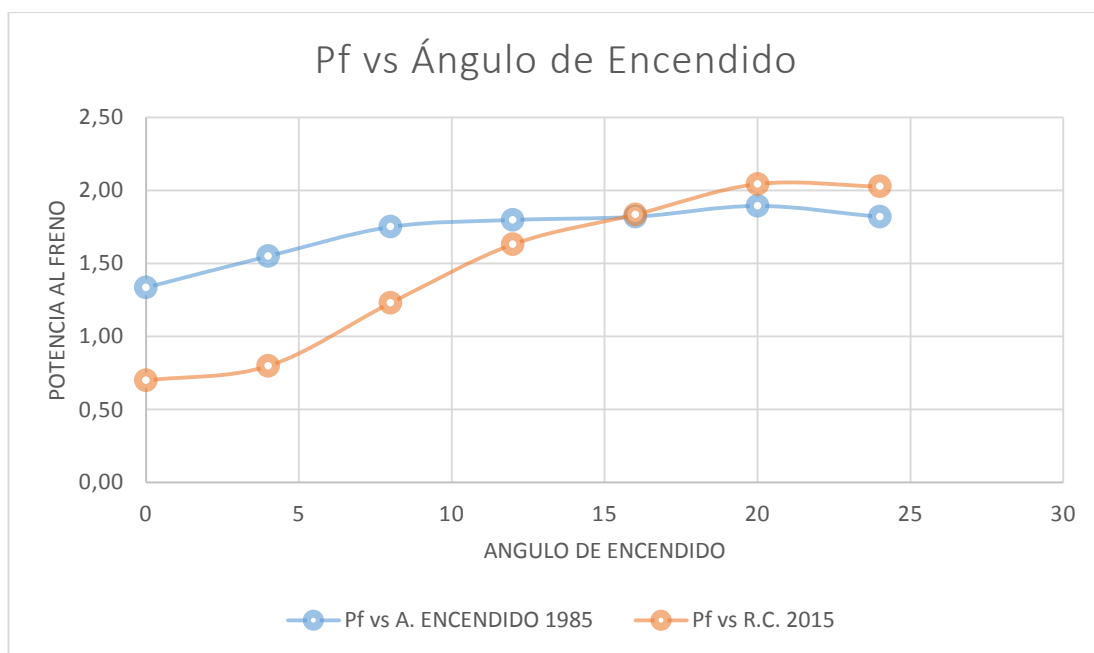


Figura 4.13. Gráfica de comparación: Potencia al freno vs Angulo de encendido

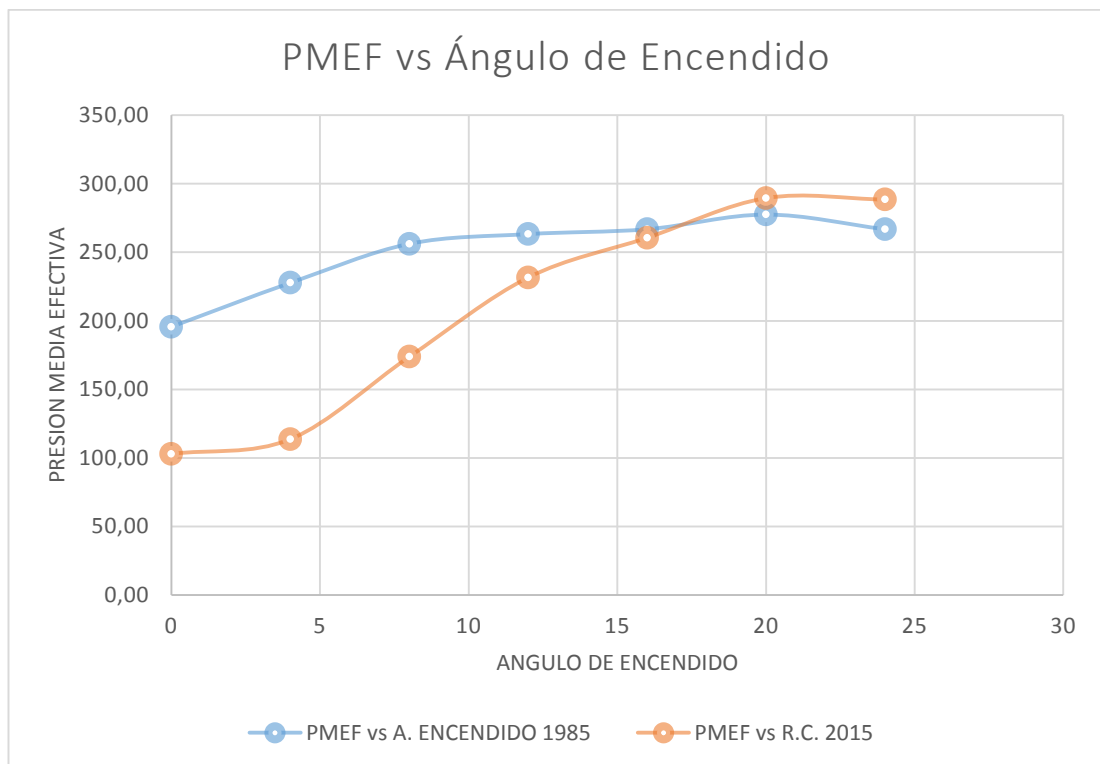


Figura 4.14. Gráfica de comparación: Presión Media Efectiva vs Ángulo de encendido

Como se observa en las figuras 4.12, 4.13 y 4.14, el torque, la potencia al freno y la presión media efectiva son variables que mantienen la misma tendencia en función de la variación del ángulo de encendido.

Comparando las gráficas de los datos históricos con los nuevos datos, mantienen entre sí la misma tendencia. Lo que sí se puede observar claramente es que las gráficas con los datos históricos muestran valores mayores a los obtenidos recientemente, lo que es una clara señal de que el estado del motor actual influye directamente en los valores obtenidos en las pruebas realizadas con la nueva instrumentación.

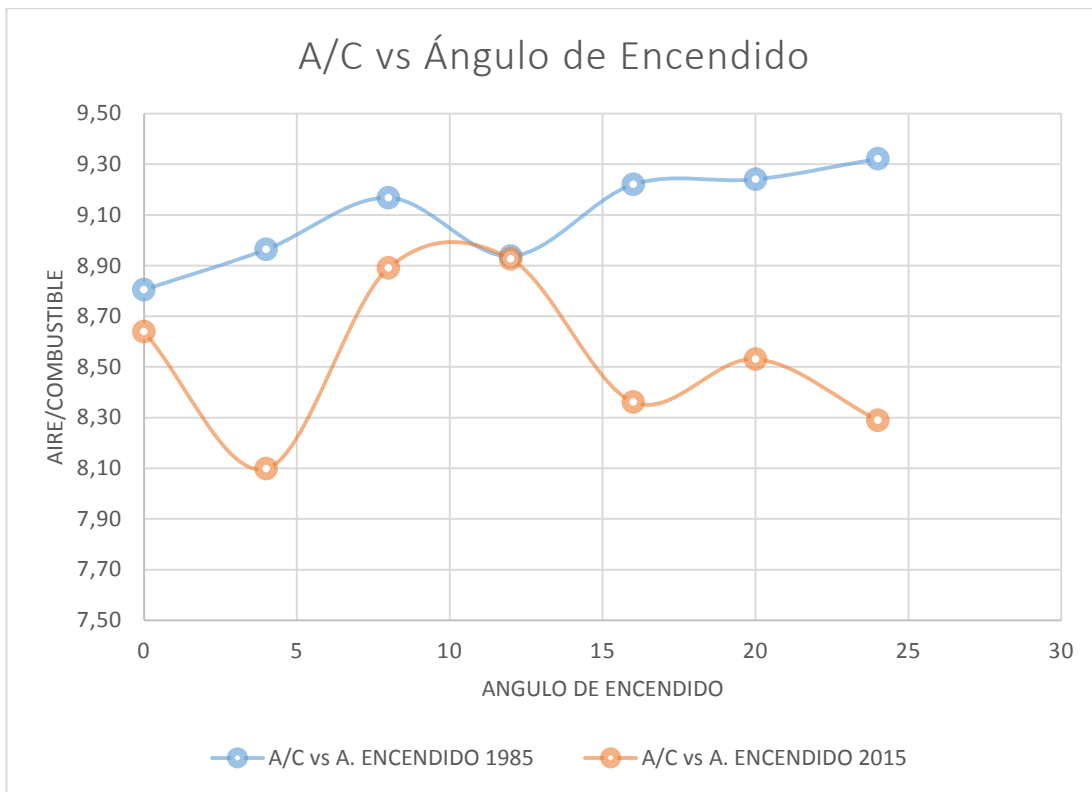


Figura 4.15. Gráfica de comparación: Relación Aire/Combustible vs Ángulo de encendido

Comparando las dos gráficas de la figura 4.15, se puede observar que la tendencia de los datos históricos varía de la tendencia de los datos actuales en máximo 1 unidad, con algunos puntos intermedios. Las variaciones que se presentan en la gráfica actual reflejan el estado actual del motor. Estas variaciones se deben a inestabilidades que se presentan en el momento de realizar la práctica y también al sensor de flujo másico de aire que detecta la mínima variación en el momento de la admisión.

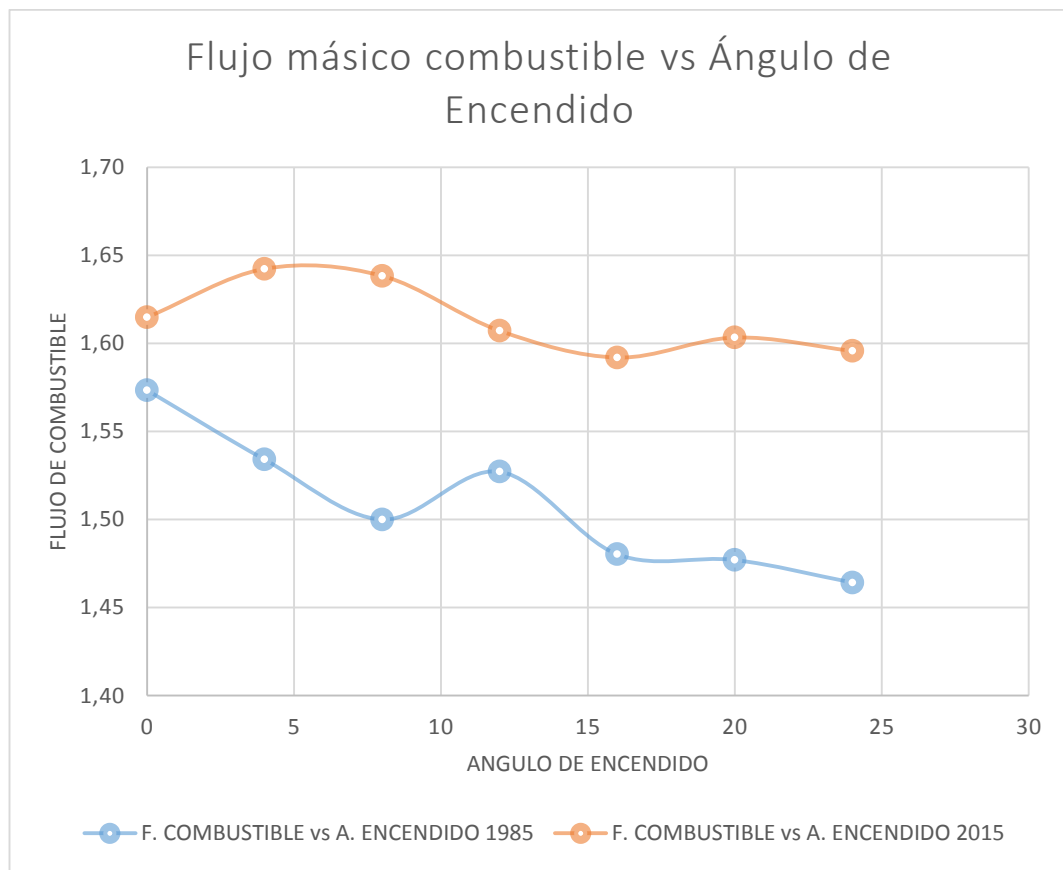


Figura 4.16. Gráfica de comparación: Flujo de Combustible vs Angulo de encendido

En la figura 4.16 se aprecia las formas de las gráficas obtenidas con los datos históricos y los datos con la nueva instrumentación, viendo claramente que mantienen la misma tendencia, con la diferencia que la gráfica actual muestra un consumo mayor de combustible, indicando que se necesita mayor cantidad de combustible para poder obtener un rendimiento aproximado al del motor hace 35 años.

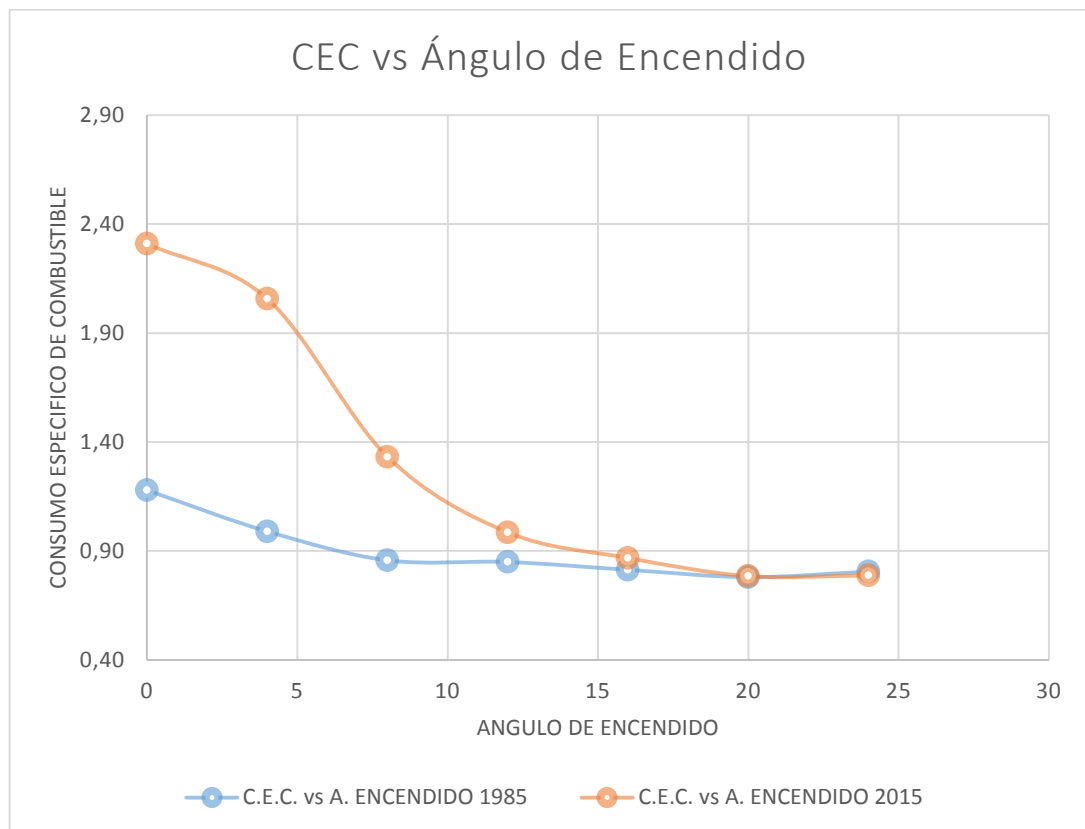


Figura 4.17. Gráfica de comparación: Consumo Específico de Combustible vs Ángulo de encendido

En la figura 4.17 se puede observar que las gráficas obtenidas a partir de los datos históricos y actuales muestran la misma tendencia, con la diferencia que con un ángulo de adelanto igual a cero, el consumo específico de combustible actual es mucho mayor, mientras que con un ángulo de adelanto de 20° , el consumo específico de combustible se iguala.

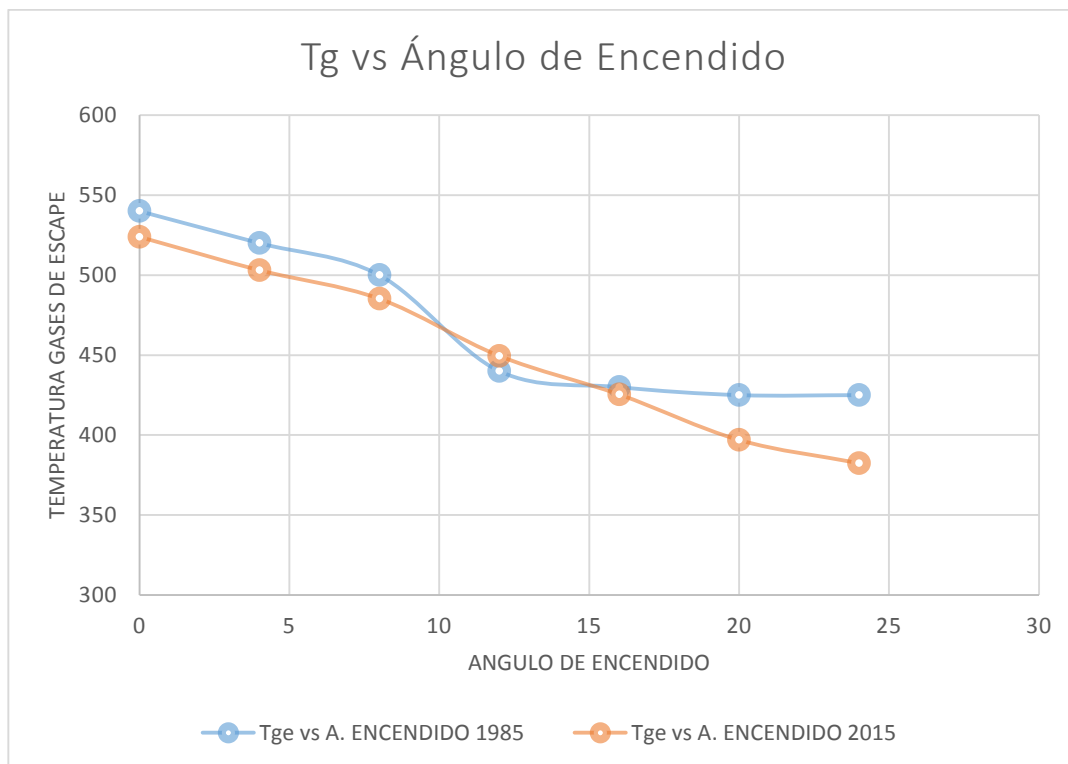


Figura 4.18. Gráfica de comparación: Temperatura de Gases de Escape vs Ángulo de encendido

En la figura 4.18 se observa que ambas gráficas mantienen la misma tendencia y sus valores no se diferencian en gran magnitud, tanto con los datos históricos como con los datos obtenidos con la nueva instrumentación. En la gráfica de los datos históricos existe un punto que distorsiona la tendencia entre los 5° y 10° de adelanto al encendido, esto puede ser causa de alguna inestabilidad en el momento de realizar la práctica.

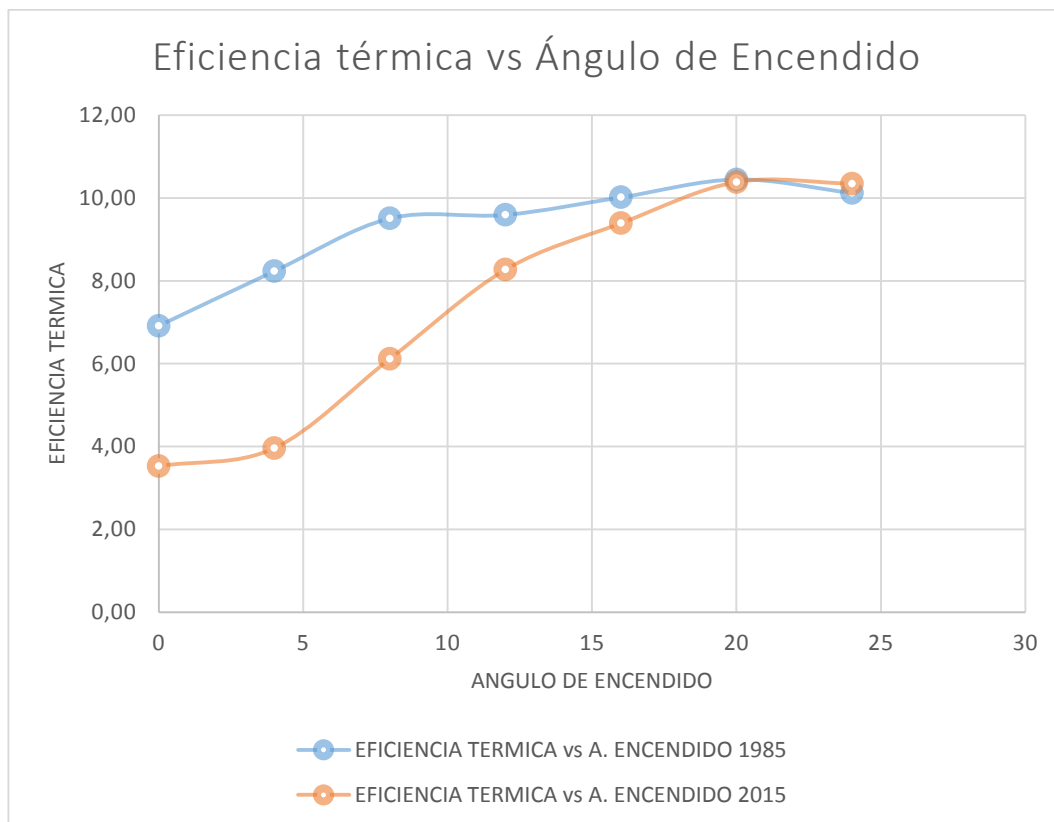


Figura 4.19. Gráfica de comparación: Eficiencia Térmica vs Angulo de encendido

En la figura 4.19 claramente se observa que ambas gráficas mantienen la tendencia. Con un ángulo de adelanto igual a 0° , la eficiencia térmica obtenida con los datos actuales es menor, mientras que con un ángulo de 20° las eficiencias tienden a igualarse, indicando un punto óptimo de funcionamiento entre 20° y 25° de adelanto al encendido.

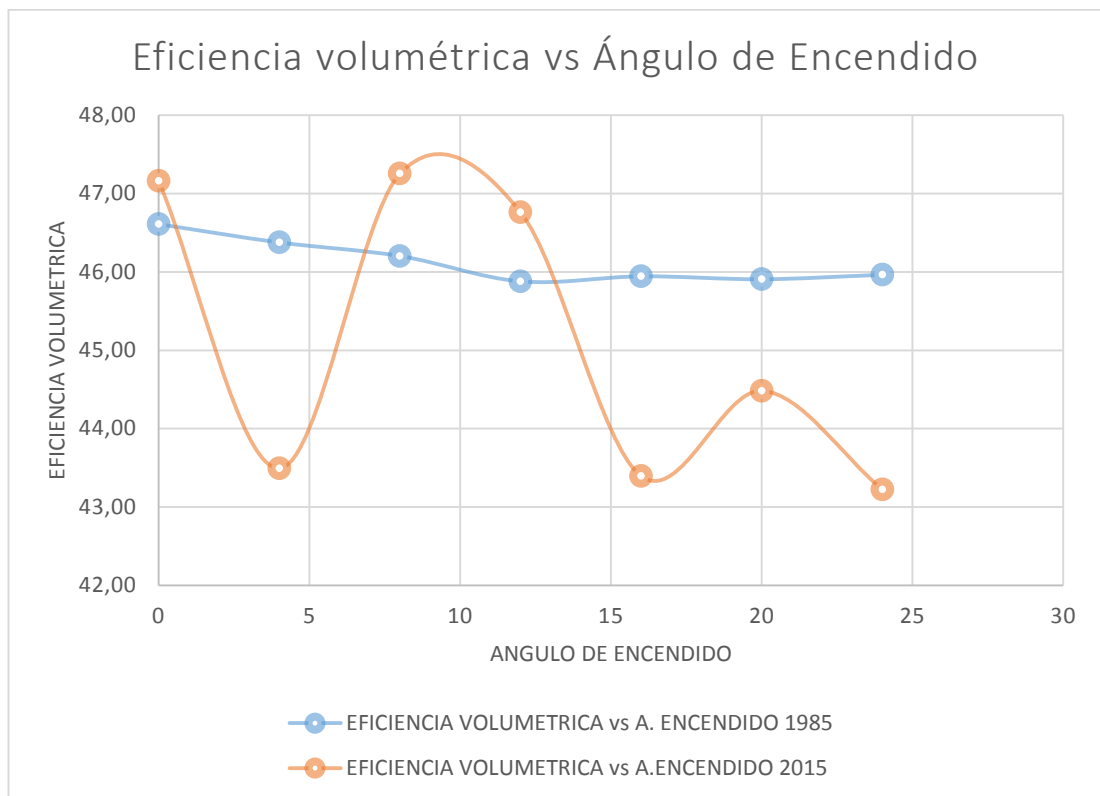


Figura 4.20. Gráfica de comparación: Eficiencia Volumétrica vs Angulo de encendido

En la figura 4.20 se observa las tendencias de las gráficas obtenidas de los datos históricos y los datos actuales, observando una gran variación en la gráfica actual, lo que indica una inestabilidad en la admisión de aire al momento de hacer la práctica, reflejando el estado del motor de manera indirecta.

4.4.3. VARIACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE LA MEZCLA

A continuación se tabula los datos y cálculos obtenidos tanto de las pruebas históricas como de las pruebas realizadas en el presente año

Tabla 4.25. Tabla de datos históricos de la práctica de concentración de mezcla (31-01-2000)

N°	A/C	# REV	TIEMPO [s]	FUERZA [N]	FLUJO H2O [L/min]	Ti [°C]	To [°C]	Tg [°C]	Ho [mmH2O]
1	1	2228	74,7	40	10	50	56	440	35
2	1,5	1805	60	41,5	9,5	45	52	400	35
3	2	1571	52,2	40	9,5	42	48	380	36
4	2,5	1343	44,5	40,5	9	39	45	350	37,5

Tabla 4.26. Tabla de cálculos obtenidos a partir de los datos históricos

A/C	RPM	TORQUE [N.m]	Pf [KW]	PMEF [KPa]	FLUJO AIRE [Kg/h]	mc [Kg/h]	A/C	CEC [Kg/KW-h]	η_T [%]	η_v [%]
1	1789,56	10,60	1,99	284,62	14,06	0,90	15,56	0,45	17,91	46,23
1,5	1805,00	11,00	2,08	295,30	14,06	1,13	12,49	0,54	15,05	45,84
2	1805,75	10,60	2,00	284,62	14,26	1,29	11,02	0,65	12,63	46,47
2,5	1810,79	10,73	2,04	288,18	14,55	1,52	9,59	0,75	10,93	47,30

Tabla 4.27. Tabla de datos obtenidos de la variación de concentración de la mezcla con la nueva instrumentación

N°	A/C	# REV	TIEMPO [s]	FUERZA [N]	FLUJO H2O [L/min]	Ti [°C]	To [°C]	Tg [°C]
1	1	1194	39,6	30,38	16,53	61,2	64,8	374,81
2	1,5	1115	36,9	28,27	22,13	62,6	66,1	397,67
3	2	1023	33,8	25	17,07	64,4	66,8	302,96
4	2,5	967	33,8	23	16,8	64,7	67,3	271,38

Tabla 4.28. Tabla de cálculos obtenidos a partir de los datos obtenidos con la nueva instrumentación

A/C	RPM CALC	TORQUE [N.m]	Pf [KW]	PMEF [KPa]	FLUJO AIRE [Kg/h]	mc [Kg/h]	A/C	CEC [Kg/KW-h]	η_T [%]	η_V [%]
1	1809,09	8,05	1,53	216,17	13,26	1,70	7,78	1,12	7,29	43,13
1,5	1813,01	7,49	1,42	201,16	13,91	1,83	7,60	1,29	6,33	45,15
2	1815,98	6,63	1,26	177,89	13,42	2,00	6,72	1,59	5,14	43,49
2,5	1716,57	6,10	1,10	163,66	13,46	2,00	6,74	1,82	4,47	46,14

Los gráficos mostrados son la comparación de los resultados obtenidos con los datos históricos y los datos del presente año obtenidos con la nueva instrumentación implementada.

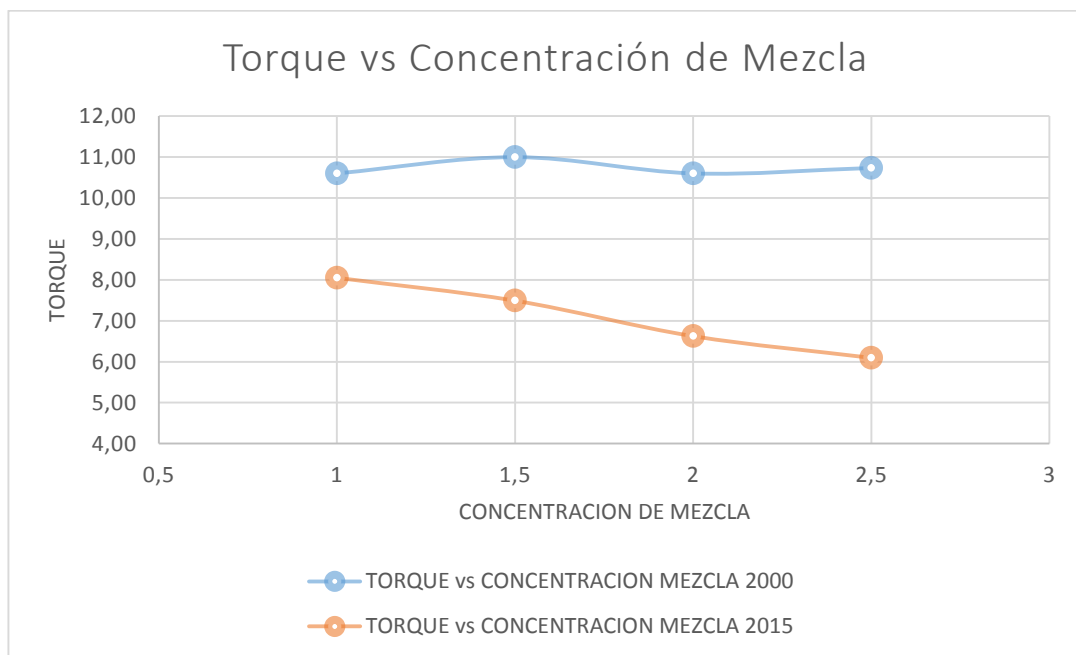


Figura 4.21. Gráfica de comparación: Torque vs Concentración de la mezcla

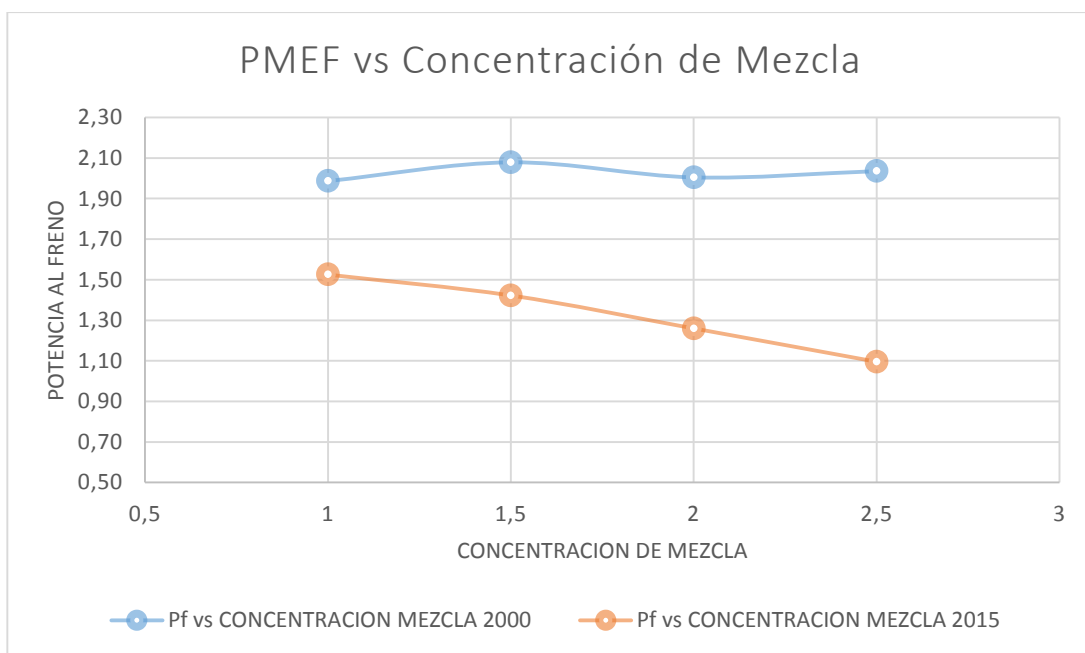


Figura 4.22. Gráfica de comparación: Potencia al Freno vs Concentración de la mezcla

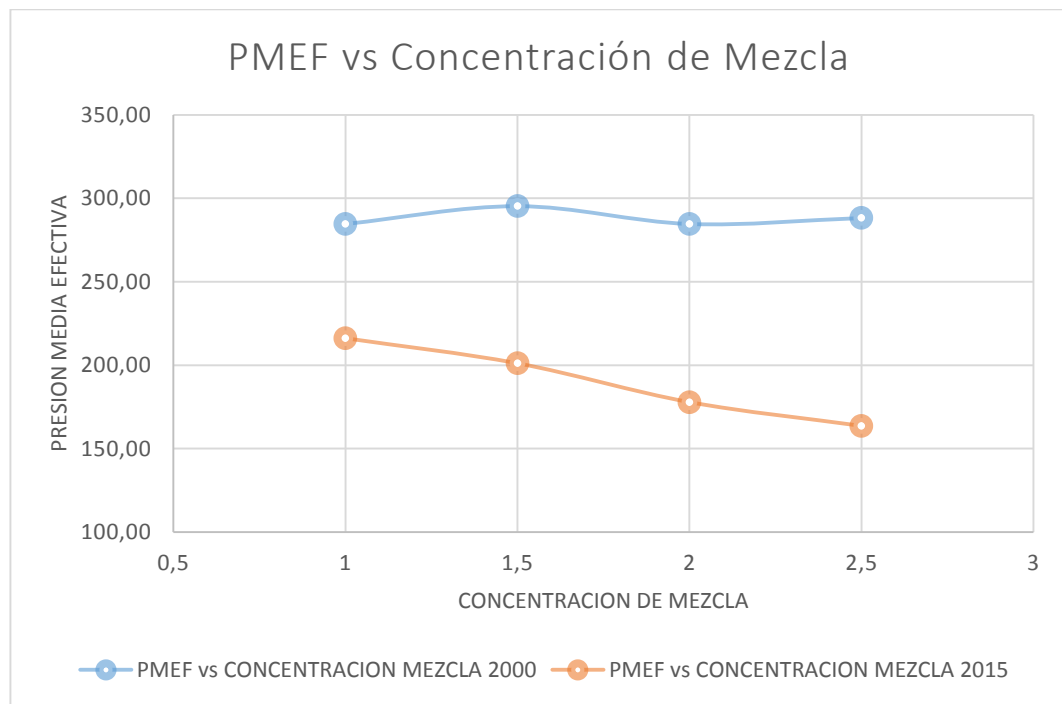


Figura 4.23. Gráfica de comparación: Presión Media Efectiva vs Concentración de la mezcla

Como se observa en las figuras 4.21, 4.22 y 4.23, la tendencia de las gráficas obtenidas con los datos históricos se aproxima a una línea recta, en cambio que con los datos actuales, tiende a ser una línea recta de pendiente negativa, aproximándose más a las curvas teóricas, ya que cuando se aumenta la cantidad de combustible en la mezcla, el torque, la potencia al freno y la presión media efectiva tienden a disminuir.

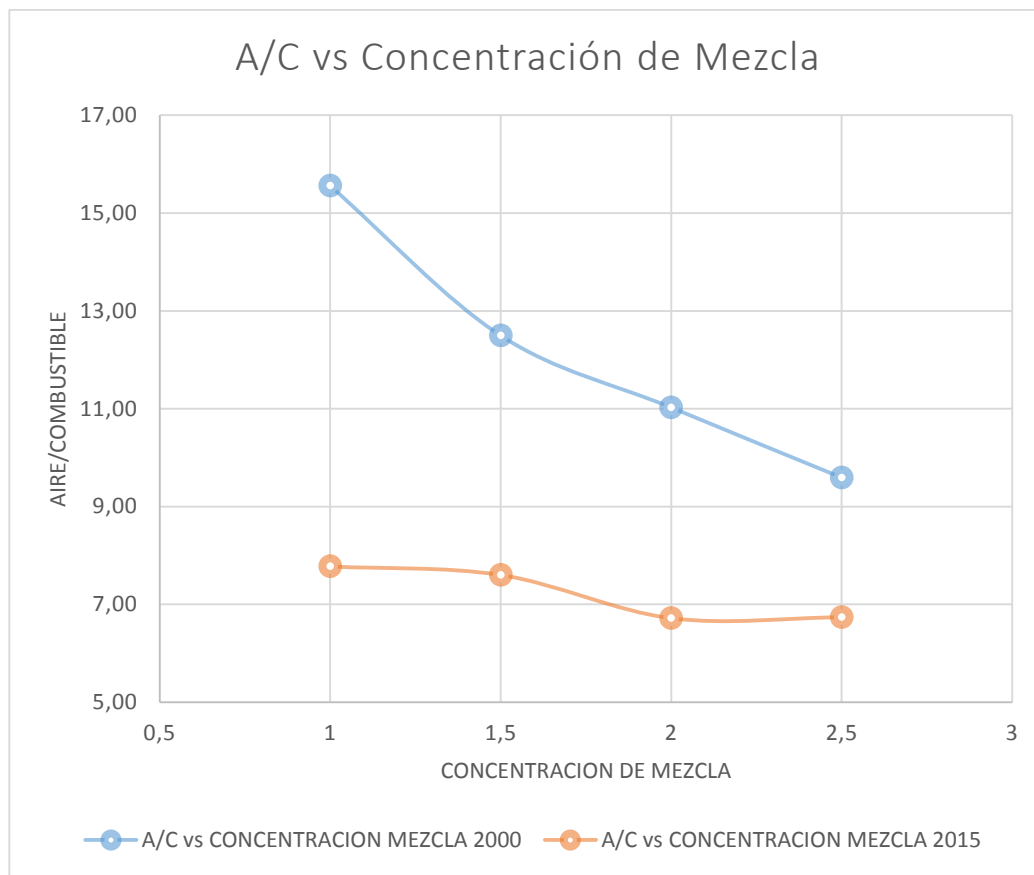


Figura 4.24. Gráfica de comparación: Relación Aire/Combustible vs Concentración de la mezcla

En la figura 4.24 se puede apreciar que la línea que se obtiene a partir de los datos históricos nos indica una disminución de la relación aire-combustible al momento de ir aumentando la cantidad de combustible en la mezcla, mientras que en la gráfica obtenida a partir de los datos actuales mantiene la tendencia, con la diferencia que los valores que se obtienen están muy por debajo de la mezcla aire-combustible recomendada, indicando un posible daño en el carburador del motor, específicamente en el tornillo micrométrico que permite ajustar la relación aire combustible.

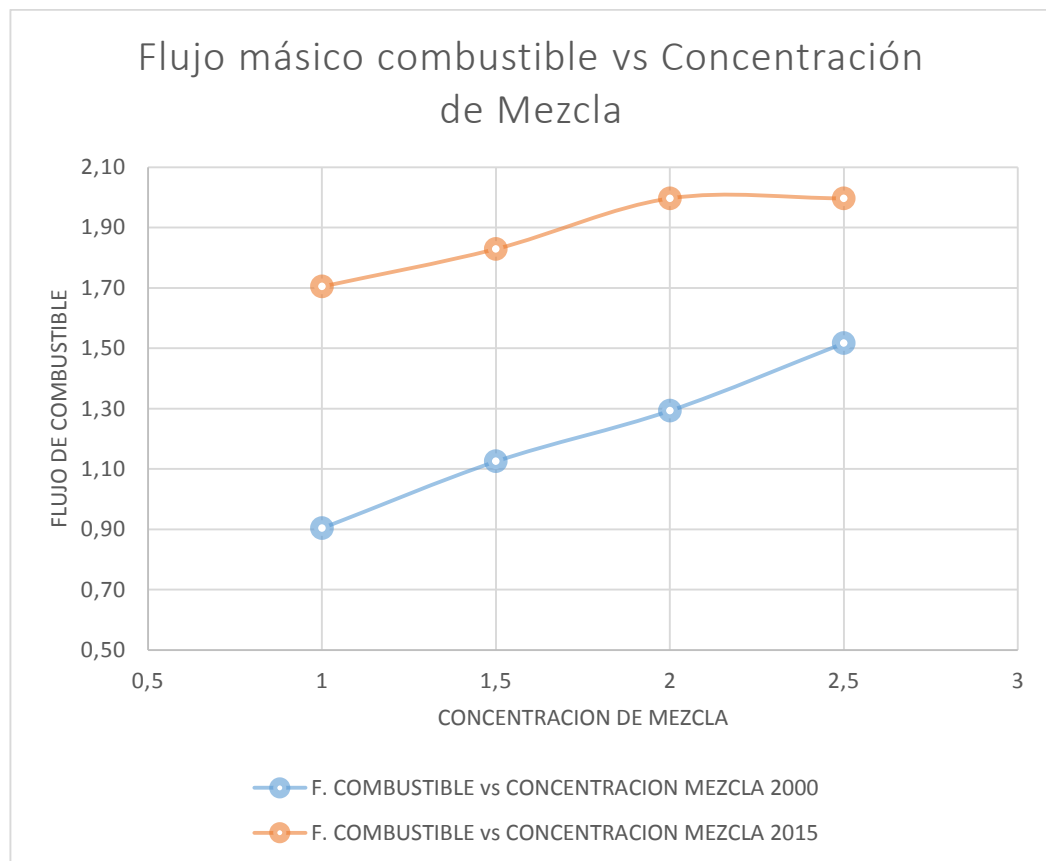


Figura 4.25. Gráfica de comparación: Flujo de combustible vs Concentración de la mezcla

En la figura 4.25 se observa que ambas gráficas mantienen la misma tendencia, aumenta el consumo conforme la mezcla que va haciendo rica en combustible, con la diferencia que el consumo de combustible actual es mucho mayor que el que se calculó con los datos históricos. Esto es un indicativo del estado actual del motor, ya que necesita una mayor cantidad de combustible para poder funcionar aproximadamente de la misma manera que cuando se realizaron las primeras pruebas de concentración de la mezcla.

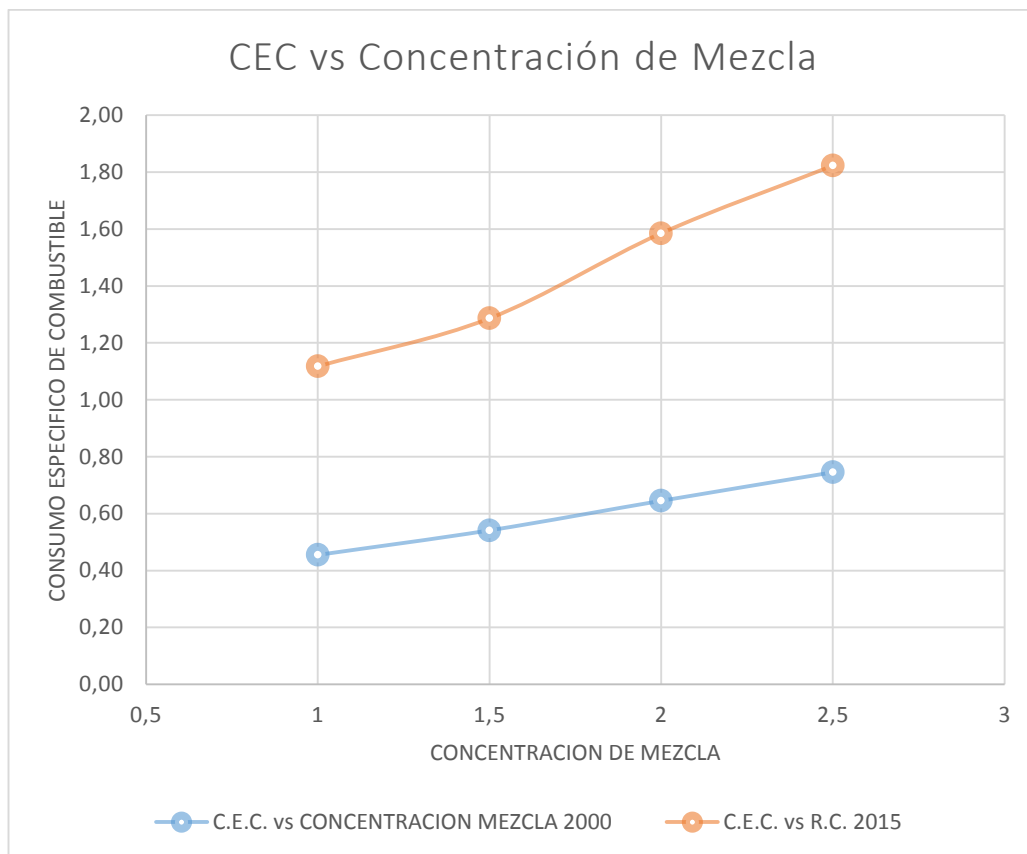


Figura 4.26. Gráfica de comparación: Consumo Específico de Combustible vs Concentración de la mezcla

La figura 4.26 está directamente relacionada con la figura 4.23, ya que el consumo específico de combustible mide la eficiencia del motor al convertir una cantidad determinada de combustible en trabajo mecánico efectivo, por lo tanto se puede observar que actualmente el motor necesita una mayor cantidad de combustible para poder generar aproximadamente el mismo trabajo mecánico efectivo que cuando se hicieron las pruebas hace 15 años.

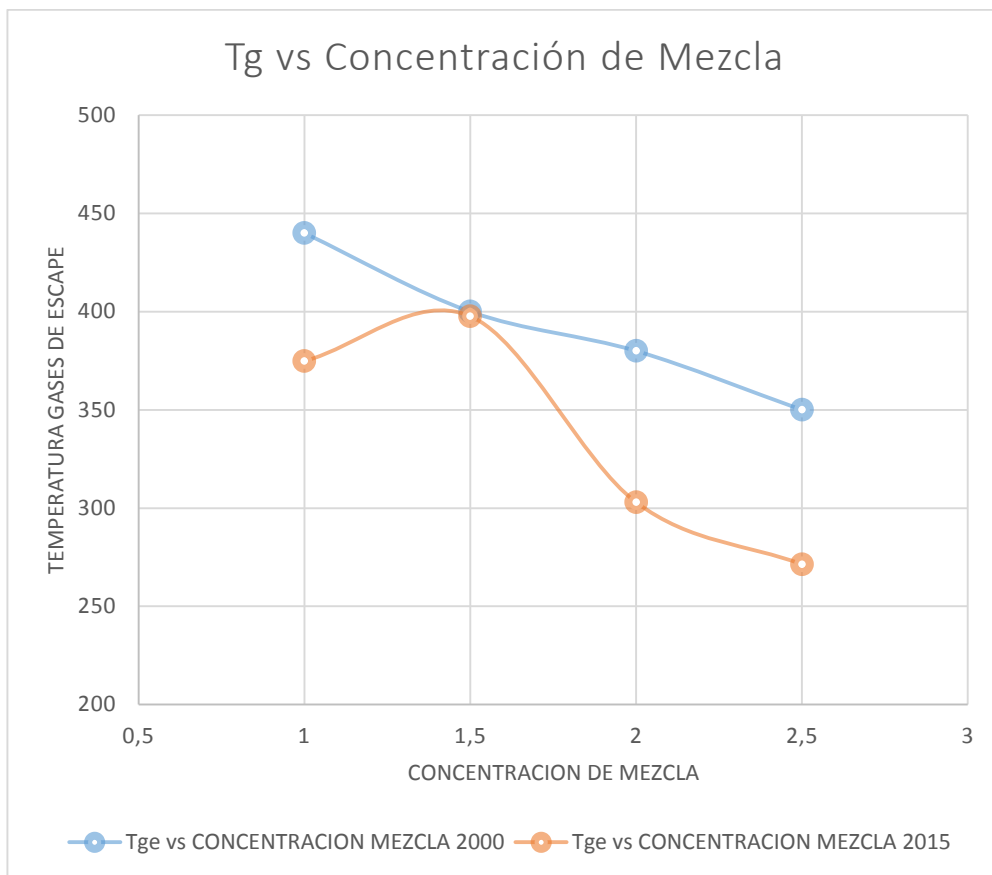


Figura 4.27. Gráfica de comparación: Temperatura de gases de escape vs Concentración de la mezcla

Se observa claramente en esta figura que la temperatura de los gases de escape, durante la realización de la práctica, tiende a disminuir conforme se va incrementando la cantidad de combustible en la mezcla. En la gráfica que se obtiene a partir de los datos actuales se observa claramente que hay un punto que distorsiona de manera notable la tendencia de la gráfica; este punto puede deberse a cierta inestabilidad que se presentó al momento del registro de datos.

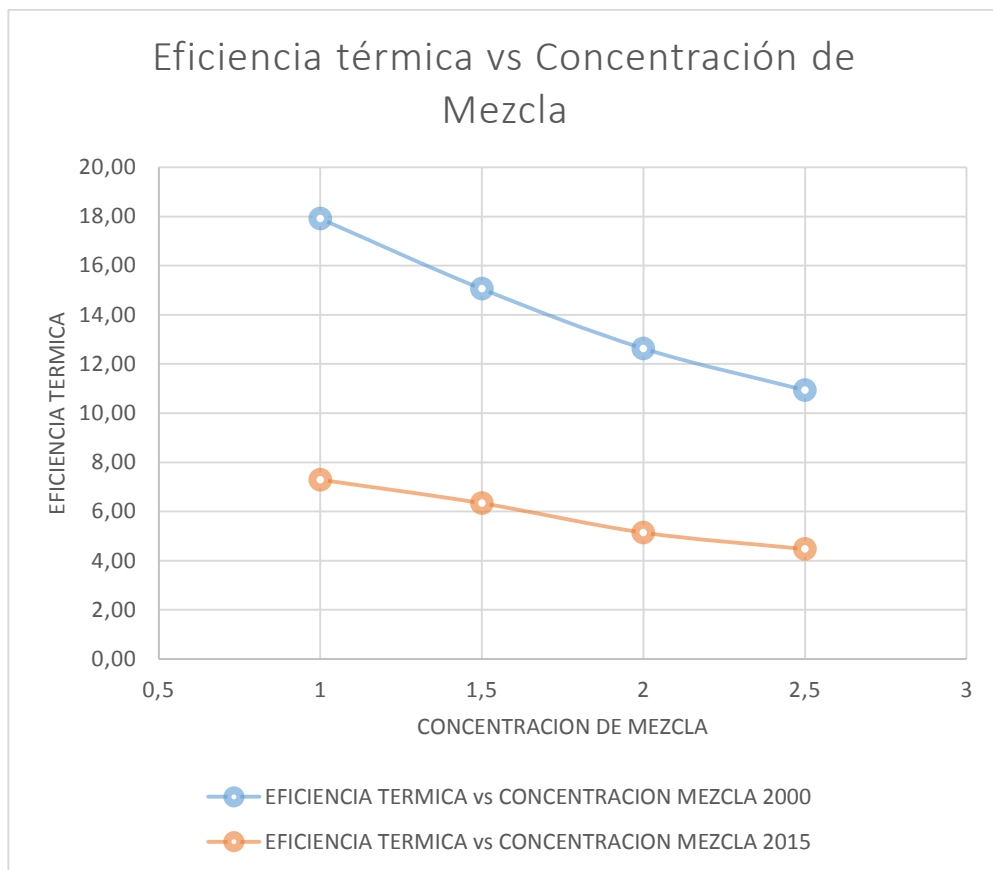


Figura 4.28. Gráfica de comparación: Eficiencia Térmica vs Concentración de la mezcla

En esta figura se puede observar que las tendencias se mantienen en ambos casos, la eficiencia térmica disminuye mientras la cantidad de combustible aumenta en la mezcla. La gráfica que se obtiene a partir de los datos históricos indica una eficiencia máxima de 18%, en cambio que en la obtenida recientemente se tiene una eficiencia máxima de 7%, lo que significa que el estado del motor actual es bastante crítico.

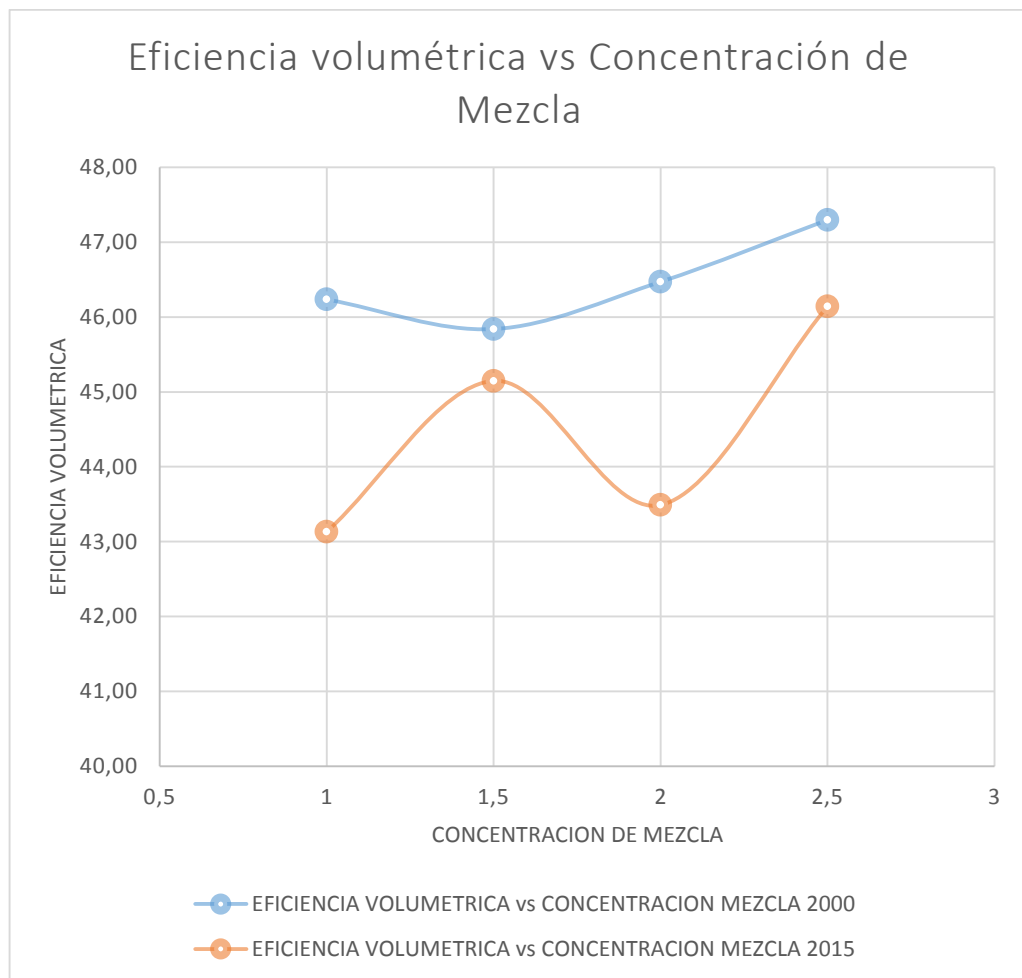


Figura 4.29. Gráfica de comparación: Eficiencia Volumétrica vs Concentración de la mezcla

En esta figura se nota claramente que la tendencia entre la gráfica obtenida a partir de los datos históricos difiere de la gráfica obtenida a partir de los datos actuales. Por la escala de la gráfica se nota una gran diferencia, pero si se observa detalladamente, la diferencia está alrededor del 3%, lo que significa que no es una gran variación. Lo que si hay que destacar es que la eficiencia volumétrica actual es menor que la que se calcula con los datos históricos, lo que indica un problema, puede ser en la admisión o en el cilindro del motor.

CAPITULO 5

ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1. COSTOS DIRECTOS

Mediante el análisis económico se podrá establecer un estudio para determinar la factibilidad y rentabilidad del proyecto. Primeramente se realizó una estimación económica del costo total del proyecto, que se detalla a continuación:

5.1.1. MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN

Tabla 5.1. Costos de mantenimiento del banco de pruebas

Ítem	Cant.	Materiales	V Unitario [USD]	V. Total [USD]
1	2	Fusibles 16 Amp.	1,43	2,86
2	2	Portafusibles	2,23	4,46
3	1	Silicón	2,50	2,50
4	1	Aceite 20W50	12,70	12,70
5	1	Aditivo para motor	6,68	6,68
6	1	Revisión por parte de un mecánico	80	80
7	1	Mantenimiento	120	120
8	1	Mano de obra	300	300
Total				529,20

5.1.2. DISEÑO E INGENIERÍA

Tabla 5.2. Tabla de costos de diseño e ingeniería

Nombres	Horas	SHI	Total [USD]
Carlos Alberto Moya Cabezas	80	5	400
Alex Javier Pinto Jaguaco	80	5	400
Ing. Ángelo Villavicencio	10	25	250
Ing. Juan Díaz	15	25	375
Contrato de mano de obra	10	10	100
Revisión electrónica del equipo	4	10	40
Total			1565

5.1.3. MONTAJE

Tabla 5.3. Costos de materiales para remodelación del banco

Ítem	Cant.	Materiales	V Unitario [USD]	V. Total [USD]
1	1	Tablero de control	60	60
2	1	Soporte para la celda de carga	12	12
3	1	Soporte para los sensores capacitivos	10	10
4	1	Soporte para sensor inductivo	15	15
5	1	Leva de detección del sensor inductivo	30	30
6	1	Tubería para colocar los PT100	8,50	8,50
7	1	Accesorios de la tubería	12,30	12,30
8	1	Reducción de 1½" a ½"	3,50	3,50
9	1	Paquete de amarras	1	1
10	10	Metros de cable UTP	0,43	4,30
11	2	Borneras	1,52	3,04

CONTINÚA 

12	3	Switch para control	1,75	5,25
13	1	Metro cable solido #16	0,58	0,58
14	4	Terminales para el sensor MAF	1,20	4,80
15	2	Metros de manguera de admisión para el MAF	4,70	9,40
16	1	Soporte para el tablero de control	35	35
17	1	Otros Gastos	50	50
Total				264,67

5.1.4. ADQUISICIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS

Tabla 5.4. Costos de materiales electrónicos para el banco de pruebas PLINT TE-15

MATERIALES Y EQUIPOS				
Ítem	Cant.	Materiales	V Unitario [USD]	V. Total [USD]
1	1	Cable conversor serial-USB	37,78	37,78
2	1	Celda de carga tipo S	238	238
3	2	Sensor PT100 con cabezal	59,50	119
4	1	Sensor PT100 tipo bayoneta	216,75	216,75
5	1	Sensor inductivo M12	40,80	40,80
6	1	Modulo para pesaje	184,80	184,80
7	1	PLC xce-24RT-E	231	231
8	1	Touch Panel TH-765 UN	577,70	577,70
9	2	Cable XVP, PLC / Pantallas	26,95	53,90
10	1	Modulo expansión del PLC	346,50	346,50
11	2	Voltímetro Digital con salida de RELE	144,50	289
12	1	Resistencia Shunt	42,50	42,50
13	1	Sensor MAF	75	75
14	3	Sensores capacitivos M18	55	165
15	1	Transmisor de temperatura	160	160
16	1	Fuente de 12V y 3 Amp.	24,80	24,80
Total				2802,53

5.2. COSTOS INDIRECTOS

Son aquellos costos que afectan al proceso productivo en general de uno o más productos, por lo que no se puede asignar directamente a un solo producto sin usar algún criterio de asignación.

5.2.1. SUMINISTROS Y SERVICIOS

Tabla 5.5. Costos de suministros y servicios

SUMINISTROS Y SERVICIOS			
Ítem	Cant.	V. Unitario [USD]	Total [USD]
Transporte	10	10	100
Internet	500	0,10	50
Impresiones	800	0,10	80
Copias	400	0,05	20
Combustible para pruebas	4	10	40
Total			290

5.2.2. ASESORAMIENTO

Tabla 5.6. Costos de asesoramiento del proyecto

ASESORAMIENTO			
Ítem	Horas	HSI	Total [USD]
Asesoramiento Técnico	10	25	250
Horas de tutoría	10	12	120
Ing. Vanesa Places	25	8	200
Total			570

5.2.3. GASTOS GENERALES

Tabla 5.7. Costos generales del proyecto

COSTOS GENERALES	
Ítem	Total [USD]
Servicios básicos	40
Depreciación	0
Seguros	0
Total	40

5.3. COSTOS TOTALES

Tabla 5.8. Tabla de costos totales

COSTOS TOTALES	
COSTOS DIRECTOS	
Ítem	Total [USD]
Diseño e Ingeniería	1565
Mantenimiento y reparación	529,20
Montaje	264,67
Adquisición de materiales y equipos	2802,53
COSTOS INDIRECTOS	
Suministros y servicios	290
Asesoramiento	570
Gastos Generales	40
Total	6061,40

5.4. BENEFICIOS OBTENIDOS CON EL PROYECTO

Con la nueva instrumentación montada en el Banco de pruebas PLINT TE–15 perteneciente al laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se logran alcanzar beneficios que incluyen tanto al estudiantado como al personal del Laboratorio, los cuales se detallan a continuación.

- Menor tiempo en realizar las prácticas y mayor confort en la toma de datos.
- Mayor precisión en los valores registrados en las prácticas que se realizan en este Banco de pruebas.
- Menor tiempo de respuesta de los Instrumentos.
- Menor consumo de combustible

A continuación se muestran los datos obtenidos antes y después, en los cuales podemos apreciar el ahorro del combustible y tiempo empleado en la práctica.

Tabla 5.9. Costos generados por consumo de combustible

	ANTES DE LA IMPLEMENTACION	DESPUES DE LA IMPLEMENTACION
FLUJO GASOLINA POR PRACTICA [Kg/h]	1,83	1,61
VOLUMEN GASOLINA POR PRACTICA [GALONES]	1,25	0,69
PRACTICAS POR SEMESTRE	3,00	3,00
GRUPOS DE LABORATORIO	7	7
VOLUMEN GASOLINA SEMESTRE [GALONES]	26,34	14,49
COSTO GASOLINA SEMESTRE [USD]	38,99	21,44

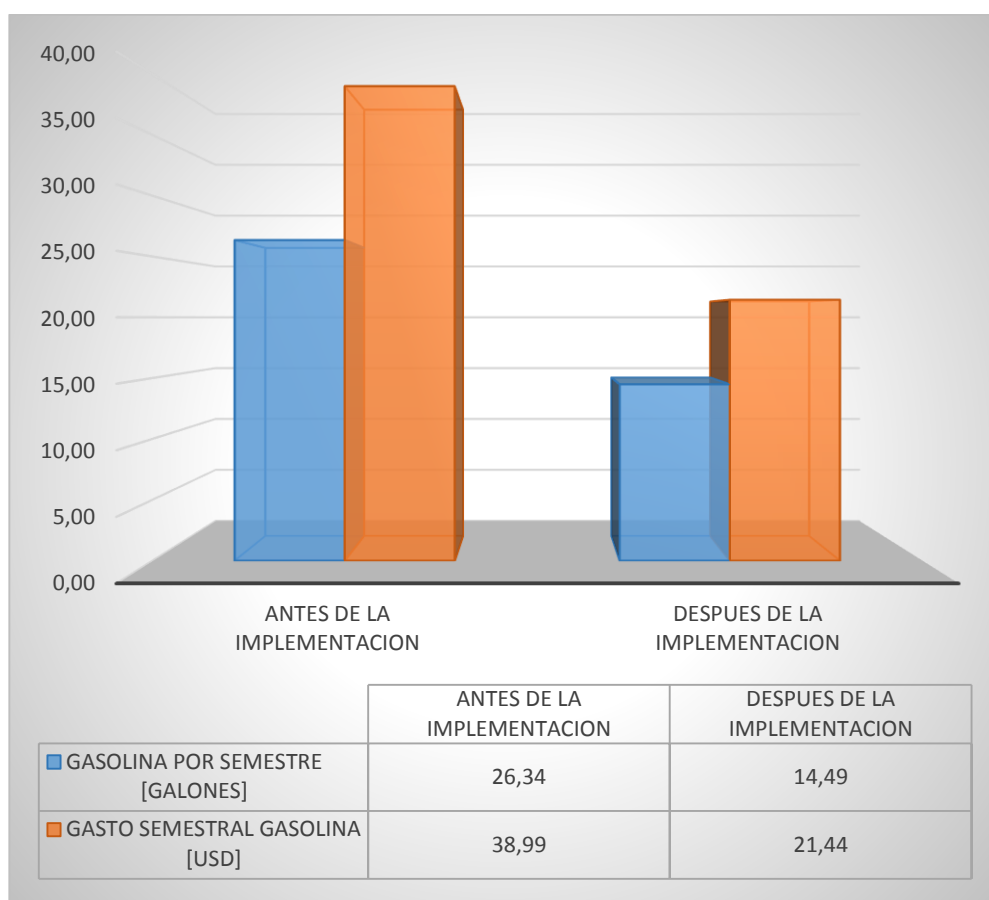


Figura 5.1. Consumo de combustible antes y después

Tabla 5.10. Ingresos generados por uso del banco de pruebas

	ANTES DE LA IMPLEMENTACION	DESPUES DE LA IMPLEMENTACION
TIEMPO DE USO POR PRACTICA [HORAS]	2	1,25
PRACTICAS POR SEMESTRE	3,00	3,00
GRUPOS DE LABORATORIO	7	7
TIEMPO DE USO POR SEMESTRE [HORAS]	42,00	26,25
INGRESO POR SEMESTRE [USD]	840	1312,5

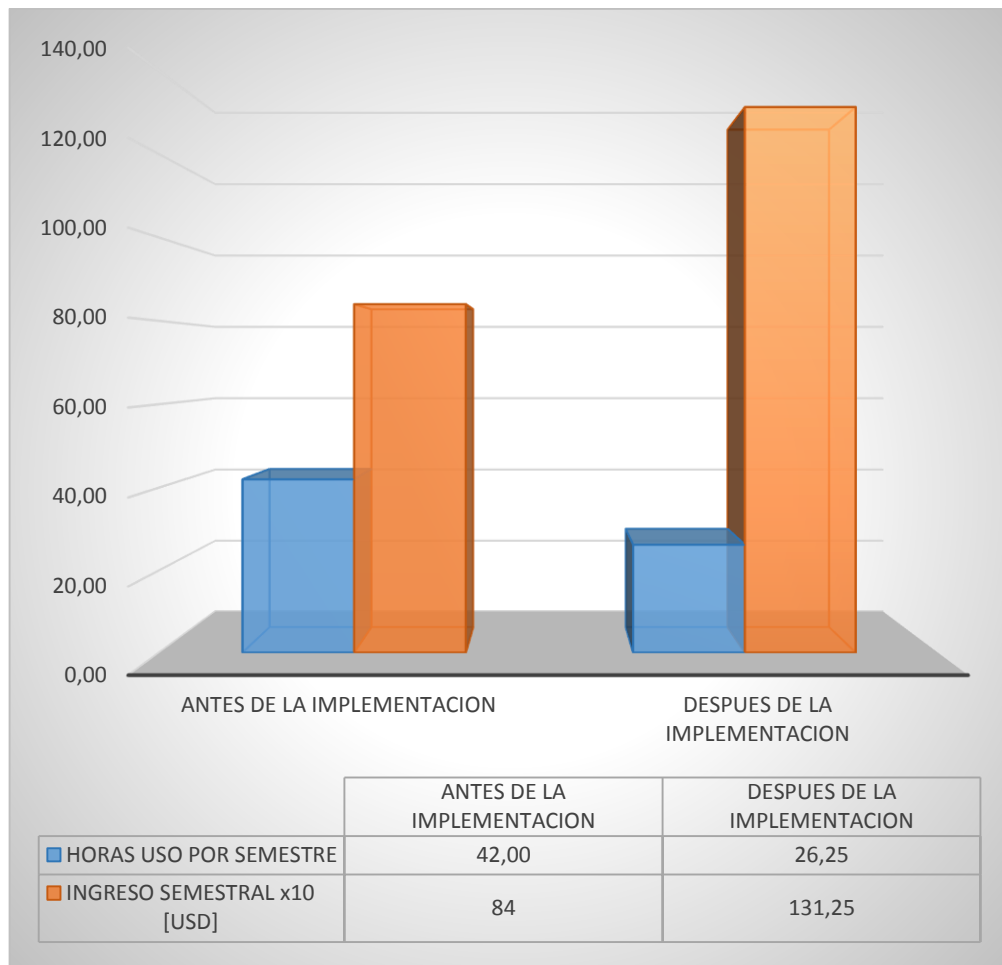


Figura 5.2. Ingresos por uso del banco de pruebas antes y después

Con los valores detallados en las tablas anteriores, se puede determinar el tiempo en el cual se estaría recuperando la inversión.

Cálculo del ahorro en costos de combustible:

$$AHORRO_{COMBUSTIBLE} = GASTO_{COMBUSTIBLE-ANTES} - GASTO_{COMBUSTIBLE-ACTUAL}$$

$$AHORRO_{COMBUSTIBLE} = 38.99 - 21.44$$

$$AHORRO_{COMBUSTIBLE} = 17.55 \text{ [USD]}$$

Cálculo de ingresos extra:

$$INGRESO_{EXTRA} = INGRESO_{ACTUAL} - INGRESO_{ANTERIOR}$$

$$INGRESO_{EXTRA} = 1312.5 - 840$$

$$INGRESO_{EXTRA} = 472.5 \text{ [USD]}$$

Cálculo del ingreso neto por semestre:

$$INGRESO \text{ NETO}_{SEMESTRAL} = AHORRO_{COMBUSTIBLE} + INGRESO_{EXTRA}$$

$$INGRESO \text{ NETO}_{SEMESTRAL} = 17.55 + 472.5$$

$$INGRESO \text{ NETO}_{SEMESTRAL} = 490.05 \text{ [USD]}$$

Recuperación de la inversión [años]:

$$Tiempo = \frac{GASTO \text{ TOTAL}}{INGRESO \text{ NETO}_{SEMESTRAL}}$$

$$Tiempo = \frac{6061.4}{490.05} * \frac{1}{2}$$

$$Tiempo = 6.18 \text{ [años]}$$

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Al momento de realizar el balance térmico inicial en el motor del banco de pruebas PLINT TE-15, se logró determinar que la cantidad de calor que se transforma en trabajo neto mecánico es de 1.87 [KJ/s], lo que representa 8.35% de la energía suministrada por el combustible.
- Al realizar el balance térmico después de realizar el mantenimiento básico al motor y la implementación del nuevo sistema de toma de datos se obtuvo que el trabajo neto mecánico es de 2.06 [KJ/s], lo que representa 10.40% de la energía suministrada por el combustible.
- La cantidad de energía que se desperdicia a través de los diferentes sistemas del motor en sus condiciones iniciales es:
 - Sistema de refrigeración: 3.2 [KJ/s] = 14.28 [%]
 - Gases de escape: 0.96 [KJ/s] = 4.28 [%]
 - Calor perdido por convección en la tubería: 0.23 [KJ/s] = 1.04 [%]
 - Perdidas de calor adicionales: 16.14 [KJ/s] = 72.06 [%]
- La cantidad de energía que se desperdicia a través de los diferentes sistemas del motor en las condiciones finales es:
 - Sistema de refrigeración: 3.49 [KJ/s] = 17.63 [%]
 - Gases de escape: 1.61 [KJ/s] = 8.14 [%]
 - Calor perdido por convección en la tubería: 0.16 [KJ/s] = 0.81 [%]
 - Perdidas de calor adicionales: 12.49 [KJ/s] = 63.02 [%]

- Las pérdidas de calor adicionales presentes en el motor, tanto en el primer balance como en el segundo, indican una cantidad de energía que se desperdicia a través de la carcasa del motor, debido a que el sistema de refrigeración tiene agua a temperatura ambiente en un reservorio, la cual se va calentando mientras el motor está en funcionamiento, limitando la refrigeración óptima del mismo.
- Al implementar el nuevo sistema de adquisición de datos, se logra obtener una reducción notable del tiempo de realización de las prácticas, de 2 horas a 1 hora y 15 minutos, con la facilidad de la visualización, registro y exportación de datos en tiempo real, facilitando el trabajo dentro de las prácticas de laboratorio.
- Con la implementación del nuevo sistema en el banco de pruebas, se logra visualizar en tiempo real las principales gráficas de desempeño del motor de acuerdo a la práctica que se esté realizando, indicando la tendencia que se obtiene por variar los parámetros característicos del motor del banco de pruebas.
- Al comparar los valores obtenidos a partir del nuevo sistema y los valores registrados en los históricos del banco de pruebas, se observa claramente el grado de desgaste del motor, ya que existen desfases entre las gráficas, obteniendo valores de torque, potencia y eficiencia térmica menores y un consumo elevado de combustible, por lo tanto esto indica que el motor del banco de pruebas necesita de un mantenimiento correctivo por parte de técnicos especialistas en motores con este tipo de características.
- Para la implementación del proyecto, se realizaron matrices de decisiones, con las cuales se seleccionaron las mejores opciones de acuerdo a los parámetros técnicos y económicos, con lo que se obtuvo un costo total dentro del valor presupuestado.

6.2. RECOMENDACIONES

- Una vez realizado un mantenimiento correctivo al motor del banco de pruebas, se recomienda realizar un mantenimiento periódico, de manera que se aprovechen las características del motor del banco de manera óptima, debido a que es un dispositivo que permite identificar de manera clara el desempeño de un motor en condiciones especiales.
- Seguir de manera estricta el manual de operación entregado en conjunto con el equipo nuevo, ya que está diseñado exclusivamente para el correcto funcionamiento del sistema en conjunto en conjunto.
- Mantener el sistema de suministro de combustible con la cantidad necesaria para realizar la práctica, ya que si se deja de alimentar el motor del banco con combustible, existe la posibilidad de que se pierda la estabilidad al momento de realizar la práctica, ocasionando problemas al tratar de arrancarlo nuevamente.
- Verificar continuamente el estado de los tomacorrientes que se usan para la alimentación del tablero de control, ya que es un equipo que trabaja con voltajes determinados, y si existe algún desperfecto podría ocasionar grandes daños en las conexiones internas, dañándolas permanentemente.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, S. (24 de Febrero de 2009). *DIARIOMOTOR*. Recuperado el 15 de Enero de 2014, de <http://www.diariomotor.com/2009/02/24/peugeot-presenta-un-revolucionario-motor-15-mce-5-vcrl/>
- Areny, R. P. (2003). *SENSORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL*. Barcelona: MARCOMBO S.A. Recuperado el 15 de Enero de 2015
- Arias-Paz, M. (2004). *Manual de Automóviles*. Madrid: Inversiones Editoriales Dossat. Recuperado el 20 de Enero de 2015
- Benito, G. (24 de 11 de 2000). *Km77*. Recuperado el 20 de Enero de 2015, de <http://www.km77.com/tecnica/motor/motorsaabsvc/t02.asp>
- Bhagiratha. (Febrero de 2013). *Meditation Time*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2014, de <http://meditationtime.grou.ps/talks/7071620>
- Booster, B. (2015). *Monografías.com* S.A. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos77/sistemas-encendido-electronico/sistemas-encendido-electronico.shtml>
- BOSCH. (2015, 01). *Farnell*. Retrieved from <http://www.farnell.com/datasheets/69647.pdf>
- Frank P. Incropera, D. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Naucalpan, Edo. de México: PRENTICE HALL. Recuperado el 16 de Enero de 2015
- GHM Martens, PT100. (2015, 04). *Datasheet*. Retrieved from http://www.ghm-messtechnik.de/fileadmin/user_upload/redakteur/PI-Ordner/PIs_ENGLISCH/pi-gr-temperature_e.pdf
- GHM-Martens. (2015, 04). *Datasheet. Temperature Sensor*. Retrieved from http://www.ghm-messtechnik.de/fileadmin/user_upload/redakteur/PI-Ordner/PIs_ENGLISCH/pi-gr-temperature_e.pdf

Hanyoung Nux. (2010, 04). *Datasheet*. Retrieved from http://eng.hynux.com/sub01_01_01.php?lcode=05&mcode=0501

Hanyoung Nux. (2010). *Panel Meter*. Retrieved from http://eng.hynux.com/sub01_01_01.php?lcode=04&mcode=0401

Hobby Electronics. (2011, 02). *Datasheet*. Retrieved from <http://www.hobbytronics.co.uk/yf-s201-water-flow-meter>

Ingelsoft. (2000, 04). *Datasheet. Celda de carga*. Quito. Retrieved from <http://www.ingelsoft.com/celdas.html>

LASHERAS. (19 de Marzo de 2013). *8000 vueltas*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2014, de <http://8000vueltas.com/2013/03/19/chips-repros-y-centralitas-el-arte-oscuro-de-la-potenciacion>

Leduc, M. (2013). *Maine Engineering Page*. Recuperado el 5 de Enero de 2015, de http://www.dieselduck.info/historical/01%20diesel%20engine/rudolph_diesel.html#.VSkoNfmG-0w

Martellotta, F. (2012). *Wikidispense di Fisica Tecnica*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2014, de <http://fisicatecnica.pbworks.com/w/page/13977812/05%20Conduzione%20del%20calore%20in%20regime%20stazionario>

MCE-5 DEVELOPMENT S.A. (2000-2015). *MCE-5 VCRI*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2014, de http://vcr-i.com/english/mce-5_vcri_technology.html

Phineas. (21 de Enero de 2007). *Sankey Diagrams*. Recuperado el 20 de Enero de 2015, de <http://www.sankey-diagrams.com/tag/engine/>

The Goodheart-Willcox Co., Inc. (2015). *GoodHeart-Willcox Publisher*. Recuperado el 20 de Enero de 2015, de http://www.g-w.com/pdf/sampchap/9781590709702_ch05.pdf

Transalper. (21 de Febrero de 2008). *Transalp Foro Mecánica*. Obtenido de <http://transalp.mforos.com/567349/7309059-relacion-de-compresion/>

Xinje. (2008, 04). *PLC*. Retrieved from <http://www.xinje-support-centre-listo.com/>

ANEXOS

ANEXO A

Programa implementado para el sistema

ANEXO B

Especificaciones del Controlador Lógico Programable

ANEXO C

Especificaciones del Panel Táctil

ANEXO D

Especificaciones de la Celda de Carga

ANEXO E

Especificaciones de los Sensores Capacitivos

ANEXO F

Especificaciones del Sensor Inductivo

ANEXO G

Especificaciones del Sensor de Flujo Másico de Aire

ANEXO H

Especificaciones del Sensor de Flujo de Agua

ANEXO I

Especificaciones del Voltímetro – Amperímetro

ANEXO J

Especificaciones del Sensor de Temperatura

ANEXO K

Especificaciones del Transmisor para el sensor de Temperatura

ANEXO L

Planos Eléctricos

ANEXO M

Manual de Usuario

ANEXO N

Guías de Laboratorio

ANEXO O

Facturas