



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 DE TÍTULO DE INGENIERO

MECÁNICO

**TEMA: AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS Y
CONTROL DE ENCENDIDO DEL BANCO DE PRUEBAS MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA A DIÉSEL PLINT TE-16 DEL LABORATORIO
DE MOTORES DEL DECEM**

AUTORES:

AYALA MÍGUEZ GERMÁN EDUARDO

TOTOY ESPÍN RICARDO FERNANDO

DIRECTOR: ING. GUTIÉRREZ ROBERTO

CODIRECTOR: ING. ECHEVERRÍA LUIS

SANGOLQUÍ – ECUADOR

MARZO DEL 2015

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto: **“AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE ENCENDIDO DEL BANCO DE PRUEBAS MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A DIÉSEL PLINT TE-16 DEL LABORATORIO DE MOTORES DEL DECEM”** fue realizado en su totalidad por los señores **Ayala Míguez Germán Eduardo** y **Totoy Espín Ricardo Fernando**, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.



Ing. Gutiérrez Roberto

DIRECTOR



Ing. Echeverría Luis

CODIRECTOR

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **AYALA MÍGUEZ GERMÁN EDUARDO Y**
TOTOY ESPÍN RICARDO FERNANDO

DECLARAMOS QUE:

La tesis/proyecto de grado titulado **“AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE ENCENDIDO DEL BANCO DE PRUEBAS MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A DIÉSEL PLINT TE-16 DEL LABORATORIO DE MOTORES DEL DECEM”**, ha sido desarrollada con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas y notas al pie de las paginas correspondientes, 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.

Sangolquí, 31 de marzo de 2015



Ayala Míguez Germán Eduardo

CI: 1714569314



Totoy Espín Ricardo Fernando

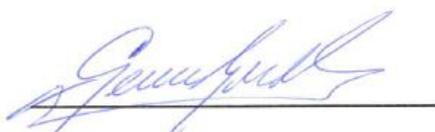
CI: 1718815218

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **AYALA MÍGUEZ GERMÁN EDUARDO Y**
TOTOY ESPÍN RICARDO FERNANDO

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE La publicación en la biblioteca virtual de la tesis/proyecto de grado titulado **“AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE ENCENDIDO DEL BANCO DE PRUEBAS MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A DIÉSEL PLINT TE-16 DEL LABORATORIO DE MOTORES DEL DECEM”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 31 de marzo de 2015



Ayala Míguez Germán Eduardo

CI: 1714569314



Totoy Espín Ricardo Fernando

CI: 1718815218

DEDICATORIAS

El presente proyecto de grado va dedicado a mi pequeña hija Victoria que ha sido la fuente de mi motivación y la fuerza que me ha empujado a seguir adelante, a mi esposa que con su apoyo incondicional supo darme fortaleza y dedicación y a mi familia que siempre han sido el principal pilar de mi educación y formación personal.

Germán Ayala M.

Dedico este trabajo a mi familia fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida y más aún en mis duros años de carrera profesional, y en especial a mi madre que sin su ayuda hubiera sido imposible culminar mi profesión.

Ricardo Totoy E.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis profesores y tutores; el Ing. Roberto Gutiérrez e Ing. Luis Echeverría que con su buena orientación nos encaminaron de la mejor manera y poder cumplir con nuestros objetivos, a nuestro gran amigo el Ingeniero Carlos Naranjo que siempre estuvo dispuesto a dar su colaboración e impartirnos su conocimiento.

Agradezco profundamente a mi padre y a mi madre que gracias a su apoyo incondicional, sus consejos y ayuda las metas trazadas en este proyecto se cumplieron satisfactoriamente.

Germán Ayala M.

A mis directores de tesis el Ing. Roberto Gutiérrez e Ing. Luis Echeverría, que supieron encaminarnos en este trabajo, que gracias a sus conocimientos y experiencia laboral supimos salir adelante en cada dificultad encontrada a lo largo de este tiempo. Al Ing. Naranjo que siempre tuvo las puertas abiertas del laboratorio y nos brindó sus conocimientos de la manera más desinteresada.

También y de manera muy especial a mi tío Wilson que fue un apoyo constante en todo momento de mi vida universitaria, con sus consejos y enseñanzas nunca dejó de apoyarme y creer en mí, gracias a sus palabras de aliento supe salir adelante en los momentos más difíciles no solo de la vida universidad sino también lecciones de vida para salir adelante.

Ricardo Totoy E.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIAS	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
INDICE DE TABLAS	xviii
INDICE DE CUADROS.....	xx
NOMENCLATURA.....	xxi
RESUMEN	xxii
SUMMARY.....	xxiii
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Definición del Problema	3
1.4 Justificación e Importancia.....	3
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivos específicos.	4
1.6 Metodología y Equipamiento.....	4
1.7 Equipamiento y Fuentes de Información.....	5
1.8 Alcance	5

1.9 Meta.....	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1 Bancos de Prueba para Motores de Combustión Interna	7
2.2 Tipos de motores de combustión interna.....	7
2.2.1 El motor cíclico Otto.....	8
2.2.2 El motor rotativo.....	8
2.2.3 El motor diésel.....	10
2.3 Sistemas Involucrados de un motor diésel	13
2.3.1 Sistema de Encendido del motor.....	13
2.3.2 Sistema de refrigeración del motor.....	16
2.3.3 Sistema de Suministro de combustible (Diésel).....	20
2.3.4 Sistema de admisión de aire.....	23
2.3.4 Sistema de escape de gases de combustión.....	24
2.4 Parámetros de desempeño de un motor a diésel	24
2.4.1 Torque.....	24
2.4.2 Potencia al freno.....	25
2.4.3 Presión media efectiva al freno.....	27
2.4.4 Presión media efectiva indicada.....	29
2.4.5 Potencia Indicada.....	30
2.4.6 Consumo de combustible.....	30
2.4.7 Consumo específico de combustible.....	32
2.4.8 Consumo de aire.....	33
2.4.9 Relación aire combustible.....	34
2.4.10 Potencia al freno.....	35
2.4.11 Eficiencia mecánica.....	36
2.4.12 Eficiencia térmica.....	37

2.4.13 Eficiencia relativa.....	38
2.4.14 Eficiencia volumétrica.....	38
2.5 Automatización de adquisición de datos.....	39
2.5.1 Señales.....	39
2.5.2 Característica Estática.....	40
2.5.3 Característica dinámica.....	44
2.5.4 Impedancia.....	44
2.5.5 Sensores.....	45
2.5.6 Acondicionamiento de señales.....	55
2.5.7 Adquisición de datos (DAQ).....	58
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....	62
3.1 Estado actual del banco de pruebas PLINT TE-16.....	62
3.1.1 Levantamiento Técnico Mecánico.....	63
3.1.2 Levantamiento Técnico Térmico.....	74
3.1.3 Levantamiento técnico eléctrico.....	76
3.2 Instrumentación instalada.....	78
3.2.1 Termómetros de Mercurio:.....	78
3.2.2 Fluviómetro:.....	79
3.2.3 Manómetro inclinado.....	79
3.2.4 Termocupla tipo K.....	79
3.2.5 Sensor inductivo.....	80
3.2.6 Balanza de resorte.....	80
3.2.7 Aceleración manual.....	80
3.2.8 Voltímetro.....	80
3.2.9 Amperímetro:.....	80
3.3 Procedimiento para el encendido y toma de datos.....	81

3.3.1 Encendido del equipo	81
3.3.2 Configuración inicial	82
3.3.3 Procedimiento de la toma de datos.....	82
3.4 Curvas de desempeño	83
3.4.1 Ejemplo de Cálculos	84
3.4.2 Resultados	87
3.4.3 Gráficas características de desempeño	87
CAPÍTULO IV: SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE ENCENDIDO	92
4.1 Consideraciones iniciales.....	92
4.2 Determinación de la instrumentación a utilizarse	93
4.2.1 Flujo de agua	94
4.2.2 Admisión de aire	95
4.2.3. Medición de Fuerza	97
4.2.4 Medición de revoluciones.....	99
4.2.5 Porcentaje de Aceleración	100
4.2.6 Temperatura de salida de gases de escape	102
4.2.7 Temperatura del agua a la entrada y salida.....	103
4.2.8 Medición de voltaje	104
4.2.9 Medición de corriente.....	106
4.2.10 Resumen de selección.....	107
4.3 Selección del dispositivo de adquisición de datos	107
4.3.1 Cálculo de la resolución mínima	108
4.3.2 Dispositivos DAQ.....	108
4.4 Selección de la interfaz HMI	110
4.4.1 Tarjeta DAQ NI USB 6210	110

4.4.2 Software Controlador	112
4.4.3 Software de Aplicación.....	112
4.5 Control de encendido	112
4.6 Instalación de los elementos y acondicionamiento de señales	113
4.6.1 Transductor de flujo de agua	113
4.6.2 Transductor de caída de presión	114
4.6.3 Sensor de medición de fuerza	117
4.6.4 Sensor de medición de velocidad	120
4.6.5 Sensor del porcentaje de aceleración	121
4.6.6 Sensor de temperatura de gases de escape	122
4.6.7 Sensor de temperatura de entrada y salida de agua	125
4.6.8 Transductor de medición de voltaje	126
4.6.9 Transductor de medición de corriente.....	127
4.6.10 Tarjeta de recolección de señales	128
4.7 Programación de la interfaz HMI.....	128
4.7.1 Procedimiento de adquisición de señales usando LabVIEW	129
CAPITULO V: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	133
5.1 Calibración del sistema de adquisición de datos	133
5.1.1 Calibración de la tarjeta de adquisición de datos.....	133
5.1.2 Algoritmos de programación de las señales adquiridas	134
5.2 Pruebas en vacío	140
5.3 Pruebas con carga.....	140
5.3.1 Medición del caudal de Agua	141
5.3.2 Medición de la caída de presión	142
5.3.3 Medición de Fuerza del motor.....	142
5.3.4 Medición de la velocidad del eje del motor	143

5.3.5 Medición del porcentaje de aceleración	144
5.3.6 Medición de la temperatura de gases	146
5.3.7 Medición de las temperaturas de entrada y salida de agua	146
5.3.8 Medición del voltaje generado	147
5.3.9 Medición de la corriente generada.....	148
5.4 Comparación de curvas obtenidas.....	149
5.4.1 Curva comparativa de la P _{MEF} en función de la potencia al freno....	150
5.4.2 Curva comparativa de la P _{MEF} en función del consumo másico de combustible.....	150
5.4.3 Curva comparativa de la P _{MEF} en función del consumo específico de combustible.....	151
5.4.4 Curva comparativa de la P _{MEF} en función de la eficiencia volumétrica.....	151
5.4.5 Curva comparativa de la P _{MEF} en función de la eficiencia térmica ..	152
5.4.6 Curva comparativa de la P _{MEF} efectiva en función de la relación aire combustible.....	152
5.4.7 Curva comparativa de la P _{MEF} en función de la temperatura de gases de escape	153
5.4.8 Curva comparativa de la P _F en función del consumo específico de combustible.....	153
5.4.9 Curva comparativa de la P _F en función del consumo específico de combustible.....	154
5.4.10 Curva comparativa de la eficiencia térmica en función de la eficiencia volumétrica.....	154
CAPITULO VI: ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....	155
6.1 Análisis Económico.....	155
6.1.1 Costos directos	155
6.1.2 Costos indirectos de fabricación	156

6.1.3 Costo de mano de obra	156
6.2 Análisis financiero	157
6.2.1 Consumo del servicio.....	157
6.2.2 Precio de la prestación de servicio	157
6.2.3 Oferta y Demanda.....	159
6.2.4 Proyección de ingresos.....	159
6.2.5 Utilidad neta.	160
6.2.6 TIR Y VAN	161
CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	163
7.1 Conclusiones	163
7.2 Recomendaciones	164
BIBLIOGRAFÍA.....	166
APÉNDICES	174

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Banco de Pruebas PLINT TE-16	2
Figura 2 Principales elementos de un motor a gasolina	8
Figura 3 Motor radial o tipo estrella.....	9
Figura 4 Motor diésel de dos tiempos	10
Figura 5 Motor 4 tiempos Diésel	11
Figura 6 Sistema de encendido por motor de arranque	14
Figura 7 Arranque	16
Figura 8 Esquema de refrigeración por bomba de agua.....	18
Figura 9 Esquema de refrigeración por termo fisión	18
Figura 10 Esquema interno del motor y su refrigeración	19
Figura 11 Bomba de inyección.....	20
Figura 12 Culata con cámara de pre-combustión	21
Figura 13 Despiece completo de un inyector	22
Figura 14 Elementos principales de la admisión de aire.....	23
Figura 15 Diagrama de bloques de un sistema de escape	24
Figura 16 Torque-Carga	25
Figura 17 Potencia al freno – Revoluciones	26
Figura 18 Potencia al freno-Relación aire combustible.....	26
Figura 19 Potencia al freno – aceleración.....	26
Figura 20 PMEF-Relación aire Combustible	28
Figura 21 PMEF – Ángulo de avance	28
Figura 22 PMEF- Relación de compresión	29
Figura 23 Diagrama presión vs volumen	29
Figura 24 Relación A/C en función de PME.....	30
Figura 25 Caudal másico – Revoluciones.....	31
Figura 26 Potencia-Mezcla aire combustible	32
Figura 27 Consumo específico – revoluciones	33
Figura 28 CEC-A/C	33
Figura 29 Consumo aire – PMEF.....	34
Figura 30 Potencia de la Fricción – A/C.....	35

Figura 31 Potencia – Embalamiento	36
Figura 32 Eficiencias térmicas	36
Figura 33 Rendimiento térmico según la relación de compresión.....	37
Figura 34 Rendimiento térmico según la relación de compresión.....	38
Figura 35 Diagrama de un sistema de adquisición de datos	39
Figura 36 Tipos de señales.....	40
Figura 37 Rango de medición de un instrumento	40
Figura 38 Relación lineal	41
Figura 39 Relación no Lineal	41
Figura 40 Histéresis de un instrumento	42
Figura 41 Sensibilidad de un instrumento.....	42
Figura 42 Efectos medioambientales en los instrumentos.....	43
Figura 43 Error de medición en los instrumentos.....	43
Figura 44 Característica dinámica de los instrumentos	44
Figura 45 Parámetros para elección de un sensor	45
Figura 46 Clasificación de sensores	46
Figura 47 Tipos de sensores	46
Figura 48 Potenciómetro.....	47
Figura 49 Medición de corriente con sensor de efecto Hall	48
Figura 50 Parámetros de una galga impresa	50
Figura 51 Puente de medida con una galga	51
Figura 52 Relación tensión – corriente de un termistor NTC	52
Figura 53 Termopar Tipo J	53
Figura 54 Partes sensor inductivo.....	54
Figura 55 Circuito interno NPN y PNP	55
Figura 56 Conversión Analógica/Digital	56
Figura 57 Muestra analógica.....	57
Figura 58 Clasificación de filtros electrónicos	57
Figura 59 Ubicación Banco de Pruebas PLINT TE-16.....	62
Figura 60 Levantamiento Técnico.....	63
Figura 61 Sistema de refrigeración	64
Figura 62 Tanque de combustible.....	66

Figura 63 Sistema de admisión de aire.....	68
Figura 64 Sensor de revoluciones	72
Figura 65 Acelerador manual.....	72
Figura 66 Dinamómetro	73
Figura 67 Motor de arranque	76
Figura 68 Sistema de arranque deshabilitado	77
Figura 69 Generador eléctrico	77
Figura 70 Instrumentación instalada	78
Figura 71 Termómetro de Mercurio	78
Figura 72 Flujómetro.....	79
Figura 73 Manómetro inclinado TYPE 504	79
Figura 74 Voltímetro y amperímetro	81
Figura 75 Gráfica de PMEF vs Pf	87
Figura 76 Gráfica de PMEF vs CMC.....	87
Figura 77 Gráfica de la PMEF vs CEC	88
Figura 78 Gráfica de la PMEF vs Eficiencia volumétrica	88
Figura 79 Gráfica de la PMEF vs la Eficiencia Térmica	89
Figura 80 Gráfica de la PMEF vs Relación A/C	89
Figura 81 Gráfica de la PMEF vs Temperatura de escape	90
Figura 82 Gráfica de la Potencia al freno vs CEC.....	90
Figura 83 Gráfica de la Relación A/C vs Eficiencia térmica	91
Figura 84 Gráfica de la Ef. Térmica Vs Ef. Volumétrica	91
Figura 85 Pines de conexión tarjeta 6210.....	111
Figura 86 Descripción de sensor de flujo.....	113
Figura 87 Sensor de flujo YF-S201 instalado	114
Figura 88 Diagrama de bloques sensor SDP2018R	114
Figura 89 Características de la señal de salida SDP2018R	115
Figura 90 Factores de corrección de altitud SDP2108R	116
Figura 91 Filtro pasa bajos	117
Figura 92 Arreglo tipo puente de Wheatstone.....	118
Figura 93 Descripción SENSORTRONICS 60001	118
Figura 94 Acondicionamiento de señal celda de carga.....	120

Figura 95 Circuito Acondicionador de señal celda de carga	120
Figura 96 Instalación sensor inductivo al eje del motor	121
Figura 97 Acondicionamiento de señal sensor inductivo	121
Figura 98 Regulador de tensión a 5 voltios.....	122
Figura 99 Acoplamiento del potenciómetro al acelerador manual	122
Figura 100 Tabla de equivalencias termocupla tipo k.....	123
Figura 101 Acondicionamiento de señal termocupla tipo k.....	124
Figura 102 Acondicionador de señal termocupla tipo k	125
Figura 103 Encapsulado sensor LM35	125
Figura 104 Acondicionamiento señal sensor de temperatura de agua ..	126
Figura 105 Acondicionador y recolector de señales LM35 DZ.....	126
Figura 106 Diagrama de conexiones transductor de voltaje	127
Figura 107 Diagrama de conexión transductor de corriente D100-SD-5V .	128
Figura 108 Tarjeta de recolección de señales	128
Figura 109 Pantalla principal LabVIEW	129
Figura 110 Pantalla de configuración de entrada del DAQ Assintant	130
Figura 111 Panel frontal V1.0	131
Figura 112 Panel frontal Versión final.....	132
Figura 113 Panel de calibración DAQ NI USB 6210.....	133
Figura 114 Asignación de entrada digital sensor de caudal.....	134
Figura 115 Curva de calibración celda de carga.....	135
Figura 116 VI señal de revoluciones por pulso	136
Figura 117 Curva de calibración señal porcentaje de aceleración.....	136
Figura 118 Curva de calibración termocupla tipo k.....	137
Figura 119 Curva de calibración sensor LM35DZ.....	138
Figura 120 Curva de calibración Transductor de voltaje.....	139
Figura 121 Curva de calibración transductor de corriente	139
Figura 122 Señales iniciales del motor sin carga.....	140
Figura 123 Medición con osciloscopio digital sensor inductivo	144
Figura 124 Comparación sistema ANALÓGICO-DAQ de PMEF VS PF	150
Figura 125 Comparación sistema ANALÓGICO-DAQ de PMEF VS CMC	150
Figura 126 Comparación sistema ANALÓGICO-DAQ de PMEF VS CEC.	151

Figura 127 Comparación sistema ANALÓGICO-DAQ de PMEF VS Nv ...	151
Figura 128 Comparación sistema ANALÓGICO-DAQ de PMEF VS Nt.....	152
Figura 129 Comparación sistema ANALÓGICO-DAQ de PMEF VS A/C .	152
Figura 130 Comparación sistema ANALÓGICO-DAQ de PMEF VS T.E..	153
Figura 131 Comparación sistema ANALÓGICO-DAQ de PF VS CEC	153
Figura 132 Comparación sistema ANALÓGICO-DAQ de A/C VS Nt.....	154
Figura 133 Comparación sistema ANALÓGICO-DAQ de Nt VS Nv	154

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Flujo másico ideal del sistema de admisión aire	69
Tabla 2 Caída de presión.....	70
Tabla 3 Valores referenciales para la caída de presión	70
Tabla 4 Temperatura de gases de escape	75
Tabla 5 Temperatura de gases de escape	75
Tabla 6 Valores obtenidos directamente en laboratorio.....	83
Tabla 7 Transductores de flujo de agua.....	94
Tabla 8 Transductores de presión diferencial	96
Tabla 9 Transductores o celdas de carga.....	98
Tabla 10 Transductores para la medición de revoluciones por minuto	99
Tabla 11 Sensores para la medición del porcentaje de aceleración	101
Tabla 12 Transductores de temperatura de gases de escape	102
Tabla 13 Transductores de temperatura	103
Tabla 14 Transductores para la medición de voltaje.....	105
Tabla 15 Transductores para la medición de corriente	106
Tabla 16 Resumen de selección de alternativas	107
Tabla 17 Dispositivos de adquisición de datos	109
Tabla 18 Matriz de decisión del dispositivo DAQ.....	110
Tabla 19 Prueba de medición transductor de caudal.....	141
Tabla 20 Prueba de medición transductor de caída de presión.....	142
Tabla 21 Prueba de medición del sensor de carga.....	143
Tabla 22 Medición de sensor de velocidad.....	144
Tabla 23 Medición porcentaje de aceleración.....	145
Tabla 24 Medición de la temperatura de gases de escape.....	146
Tabla 25 Medición de temperatura de entrada y salida de agua	147
Tabla 26 Medición de Voltaje.....	148
Tabla 27 Medición de corriente.....	148
Tabla 28 Resumen de datos sistema ANALÓGICO-DAQ	149
Tabla 29 Costos de la instrumentación.....	155
Tabla 30 Costos indirectos de fabricación.	156

Tabla 31 Costo de mano de obra.....	156
Tabla 32 Oferta y demanda.	159
Tabla 33 Proyección de ingresos durante 5 años.	159
Tabla 34 Estado de resultados.	160
Tabla 35 Utilidad neta y depreciación.	161
Tabla 36 Inversión inicial por años.....	162

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Descripción del equipo	63
Cuadro 2 Datos técnicos Bomba Hidráulica	65
Cuadro 3 Datos Técnicos motor diésel	71
Cuadro 4 Constantes relacionadas al equipo	83
Cuadro 5 Valoración de Tendencias.....	93
Cuadro 6 Matriz de decisión del sensor de flujo	95
Cuadro 7 Matriz de decisión del sensor de presión diferencial.....	97
Cuadro 8 Matriz de decisión del transductor de fuerza.....	98
Cuadro 9 Matriz de decisión del Transductor de proximidad	99
Cuadro 10 Matriz de decisión del Transductor de aceleración	101
Cuadro 11 Matriz de decisión del sensor de temperatura de gases	103
Cuadro 12 Matriz de decisión del transductor de temperatura	104
Cuadro 13 Matriz de decisión del Transductor de medición de voltaje	105
Cuadro 14 Matriz de decisión del Transductor de rpm.....	106
Cuadro 15 Requisitos mínimos del dispositivo DAQ.....	109
Cuadro 16 Mínimos requerimientos del sistema	112
Cuadro 17 Horas de trabajo del banco de pruebas	157
Cuadro 18 Costo del material usado durante las pruebas	157
Cuadro 19 Costo indirecto de fabricación.	157
Cuadro 20 Sueldo de mano obra.....	157
Cuadro 21 Capacidad total de horas laborables.....	158
Cuadro 22 TIR y VAN.	162

NOMENCLATURA

PMS	Punto muerto superior
PMI	Punto muerto inferior
N	Newton
M	Metro
KW	Kilovatio
Rad/s	Radianes sobre segundo
Pf	Potencia al freno
A	Perdidas mecánicas
A/C	Relación aire combustible
N	Revoluciones
PME	Presión media efectiva
PMEF	Presión media efectiva al freno
Rc	Relación de compresión
mmH2O	Presión en milímetros de agua
Pa	Pascales
°K	Grados Kelvin
J	Julios
MECH	Motor de encendido por chispa
MEC	Motor de encendido por compresión
CEC	Consumo específico de combustible
Kg	Kilogramos
DAQ	Data Acquisition System
A	amperios
NTC	coeficiente de temperatura negativo
ADC	analog-to-digital converter
Hz	Hertzio
HMI	Human Machine Interface
Hp	HORSEPOWER
kS/s	Kilo samples per second
GND	Ground

RESUMEN

El desarrollo del proyecto de tesis para el control de encendido y la adquisición de datos del banco de pruebas PLINT TE-16, ha sido realizado mediante un proceso secuencial detallado a continuación. El motor a diésel empieza a funcionar mediante el control de encendido que lo realizamos por medio de la habilitación del sistema de arranque eléctrico con que cuenta el banco, una vez puesto en marcha, la combustión se produce por el autoencendido del combustible debido a altas temperaturas derivadas de la compresión del aire en el interior del cilindro, durante el proceso obtendremos distintos rangos de funcionamiento de la temperatura de entrada y salida del agua, caídas de presión de aire, fuerza, revoluciones por minuto, temperatura de gases de escape, etc. las cuales son medidas mediante sensores y/o transductores específicos para cada fenómeno físico involucrado, el sistema es alimentado por una fuente de corriente continua y las señales obtenidas son acondicionadas mediante electrónica básica y luego procesadas por una tarjeta de adquisición de datos. La plataforma de programación LabVIEW 2014 versión estudiantil nos permite manipular las señales obtenidas para posteriormente interpretarlas mediante indicadores numéricos y/o gráficos y así realizar un análisis de los parámetros y curvas de desempeño del banco de pruebas. El resultado del proyecto elaborado es la implementación de un sistema didáctico para el estudio de los parámetros de desempeño de un motor a diésel y visualización de datos en tiempo real, registro de datos de la práctica de laboratorio y comparación de las curvas obtenidas.

PALABRAS CLAVE:

CONTROL

ADQUISICIÓN

SENSOR

ACONDICIONAMIENTO

PARÁMETROS

SUMMARY

The development of the thesis project for the ignition control and the acquisition of data from the test bead PLINT TE-16, has been made by a sequential process detailed below. The diesel engine starts through the ignition control that make it through the empowerment of the starting system electric with testing bench, once set up, the combustion produced by self-ignition of the fuel due to high temperatures resulting from the compression of the air inside the cylinder, during the process will get different ranges of input and output water temperatura, air pressure drop , strength, RPM , exhaust gas temperature , etc. which are measured by sensors and/or specific transducers for each physical phenomenon involved, the system is powered by a DC power supply and the obtained signals are conditioned by basic electronics and then processed by a data acquisition card. LabVIEW 2014 student version software platform allows us to manipulate signals for later interpreted by numerical or graphical indicators and thus an analysis of the parameters and performance of test curves. The result of the elaborate project is the implementation of a training system for the study of the parameters of performance of an engine to diesel and display data in real time, lab datalog and comparison of the curves obtained

KEYWORDS:

CONTROL

ACQUISITION

CONDITIONING

SENSOR

PARAMETERS

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 Introducción

Los bancos de pruebas para motores a diésel como a gasolina del laboratorio de motores del DECEM son de suma importancia ya nos permiten realizar prácticas en un ambiente controlado, permitiendo así al estudiante comprender de mejor forma como se comportan los ciclos termodinámicos en un motor de combustión interna, siendo el Banco de Pruebas un complemento para aprendizaje y análisis del comportamiento de los diferentes parámetros de desempeño. Al digitalizar la adquisición de datos del banco de pruebas PLINT TE-16 se podrá optimizar el tiempo de lectura y la exactitud de los valores registrados.

Este proyecto de grado trata de la “AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE ENCENDIDO DEL BANCO DE PRUEBAS MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A DIÉSEL PLINT TE-16 DEL LABORATORIO DE MOTORES DEL DECEM” está conformado por las siguientes etapas: El levantamiento técnico mecánico del estado inicial del banco, la selección de la instrumentación más apropiada para nuestro proyecto, el montaje de la instrumentación en el banco, puesta en marcha del equipo aquí realizaremos pruebas de calibración, funcionamiento y operación del mismo, la recolección de los datos para su análisis y una evaluación de estos para la comparación de eficiencias térmica y mecánica que se solicita en las diferentes prácticas que se utiliza el banco de pruebas.

Por lo tanto la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) en su camino a la excelencia necesita contar con un laboratorio de motores que cumpla con la función de ser una guía experimental para el estudiante, el mismo que tiene que estar acorde a los actuales cambios tecnológicos.

1.2 Antecedentes

El banco de pruebas de motor de combustión interna a diésel PLINT TE-16 es un equipo didáctico que sirve como instrumento práctico para que la teoría que se imparte a los alumnos de la Carrera de Ingeniería Mecánica en el Laboratorio de Motores vaya en concordancia con las prácticas y sus respectivas variaciones a fin de obtener un conocimiento complementario que valide lo aprendido.



Figura 1 Banco de Pruebas PLINT TE-16

Hoy en día la sociedad nos exige una preparación de calidad con lo último en avances tecnológicos en los que se pueda no solo tener conocimientos teóricos sino tener la aplicación de dichos conocimientos con ejemplos reales y prácticos, siendo la Universidad De las Fuerzas Armadas ESPE una de las pocas instituciones educativas del Ecuador que promueven el desarrollo de implementación tecnológica en sus laboratorios y adopta políticas para el apoyo en proyectos de modernización de sus equipos que signifiquen el mejoramiento de la calidad en su educación.

El equipo como tal se encuentra operativo, posee instrumentación que por los años de vida sobrepasa el $\pm 5\%$ de error en sus lecturas que para fines prácticos y de aprendizaje son considerables al momento de realizar los cálculos en las prácticas de laboratorio respectivas, así como la vigencia de sus repuestos en el mercado ya no está disponible y ocasiona problemas al momento de realizar los mantenimientos respectivos.

Según estos antecedentes se ve necesario realizar la automatización en la adquisición de datos del banco de pruebas PLINT TE-16.

1.3 Definición del Problema

El Banco de Pruebas PLINT TE-16 del laboratorio de Motores del DECEM no tiene un sistema digital de adquisición de datos y control de encendido que permita a los estudiantes analizar y visualizar en tiempo real los datos obtenidos durante la realización de las prácticas.

1.4 Justificación e Importancia

Es de conocimiento general de la comunidad que la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE posee un proyecto estratégico comprometido con el cumplimiento de la misión y la visión de la institución, basándose en tres ejes fundamentales Docencia, Investigación y Extensión.

La automatización del banco de pruebas PLINT TE-16 se encuentra inmerso y colaborará de una manera significativa con dicho plan.

En el eje de Docencia, la automatización de la adquisición de datos del banco de pruebas PLINT TE-16 permitirá que los docentes del área de energías y automatización tengan a su alcance un equipo que permita ejecutar prácticas de una manera mucho más didáctica y aplicar los conocimientos adquiridos en las aulas, en el eje de Investigación, la automatización de la adquisición de datos del banco de pruebas PLINT TE-16 permitirá que la comunidad estudiantil realicen investigaciones sobre repotenciones de equipos antiguos y su aplicación en futuros proyectos, y en el eje de Extensión la automatización de la adquisición de datos del banco de pruebas PLINT TE-16 permitirá que la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE esté a la vanguardia de las mejores universidades del país y continúe mejorando sus laboratorios para poder ofrecer servicios y/o charlas técnicas en sus instalaciones.

El beneficio en el aspecto económico es indudable ya que el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica ahorrara

aproximadamente 42000 y no procederá con inversión innecesaria al adquirir nuevos equipos para la actualización del Laboratorio de Motores, es decir la inversión de un equipo de similares características sobrepasa los 55000 USD que con la aprobación del proyecto de grado tendrá un ahorro significativo según el presupuesto detallado en los anexos.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general.

Realizar la Automatización de la adquisición de datos y control de encendido del banco de pruebas motor de combustión interna a diésel PLINTTE-16 del laboratorio de motores del DECEM.

1.5.2 Objetivos específicos.

- Definir las características principales de equipo a partir de las curvas actuales de desempeño.
- Diseñar el sistema de adquisición de datos.
- Diseñar el sistema de control de encendido del equipo.
- Diseñar una interfaz hombre-máquina que facilite la lectura de datos.

1.6 Metodología y Equipamiento

La metodología correspondiente para desarrollar el presente proyecto será la siguiente:

- Búsqueda y estudio de material bibliográfico sobre eficiencia energética y automatización industrial.
- Investigación de equipos repotenciados que se encuentren operativos, obteniendo información sobre su funcionamiento y precisión en la toma de datos.
- Selección de controladores adecuados con bajo costo y fácil configuración así como su disponibilidad en el mercado.

- Selección del software adecuado para la configuración de los instrumentos de medición seleccionados.
- Instalación de la instrumentación.
- Pruebas de funcionamiento.
- Análisis de Resultados finales.

1.7 Equipamiento y Fuentes de Información

Para la realización del presente proyecto de tesis se estimará el siguiente equipamiento:

- Laboratorio de Motores de combustión interna, Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE, Carrera de Ingeniería Mecánica.
- Laboratorio de Automatización Y Control, Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE, Carrera de Ingeniería Mecánica.
- Asesoramiento técnico de los docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

1.8 Alcance

Se modernizará la adquisición de datos y control de encendido del Banco de Pruebas PLINT TE -16, con el objetivo de continuar con la actualización de los equipos del laboratorio de motores y proveer a los estudiantes un equipo repotenciado en su toma de datos.

Se realizará la adquisición de datos desde un sistema HMI el cual nos permitirá observar y verificar en tiempo real las curvas de desempeño del motor a diésel dependiendo de las variaciones en las prácticas de laboratorio.

Al modernizar el Banco de Pruebas PLINT T-16 se podrán realizar las prácticas que con la ayuda de sensores, actuadores y accesorios necesarios se podrá obtener una adquisición de datos eficaz y precisa.

1.9 Meta

Dotar al equipo banco de pruebas PLINT TE-16 en su totalidad un sistema de adquisición datos y un control de encendido efectivo al cien por ciento.

Brindar al estudiante los medios necesarios que permitan la recopilación de los datos obtenidos del banco de pruebas PLINT TE-16, para posteriormente realizar las curvas de desempeño de las mismas en tiempo real mediante el software que servirá de interfaz de comunicación el cual será diseñado para una fácil operación e interpretación y a su vez se continúa con el proceso de actualización del Laboratorio de Motores que mediante la automatización del equipo TE-16 controlara de los procesos en la lectura obtenida e interpretarlos de una mejor manera.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Bancos de Prueba para Motores de Combustión Interna

Los bancos de prueba para motores de combustión interna son equipos de ensayo en el cual se evalúan los parámetros más importantes del desempeño de los motores, mediante la medición de las variables directas involucradas en el proceso como son: la temperatura del motor, consumo de combustible, consumo de aire, medición de la corriente, etc. y que nos permitirán obtener variables indirectas como : el par motor, la presión media efectiva, la potencia desarrollada, el consumo específico de combustible, la eficiencia del motor, entre otros.

Todo el sistema simula el comportamiento de los elementos del que forma parte y su operación se da en un ambiente controlado que mediante instrumentos de medición y control nos permitirán obtener las variables involucradas en el proceso.

La finalidad de los bancos de prueba pueden ser para producción, investigación o rectificación, dentro de los cuales existen varias pruebas exclusivas para determinar el desempeño característico del motor colocándolo sobre una bancada diseñada para este proceso y mediante un freno dinamométrico se puede determinar las diferentes propiedades de rendimiento del motor. (Gálvez, 2013).

2.2 Tipos de motores de combustión interna.

Este tipo de motor utiliza la energía química que se produce por la ignición de un combustible dentro de su cámara y lo convierte en energía mecánica y poder producir el movimiento de todos los elementos y/o sistemas que conforman el motor, entre los principales tipos de motores de combustión interna tenemos:

2.2.1 El motor cíclico Otto.

El motor Otto o de encendido por chispa son utilizados en la mayoría de aplicaciones industriales, automovilísticas, náuticas y agrícolas, estos motores funcionan a dos o cuatro tiempos; siendo el de cuatro tiempo el de mejor rendimiento. El combustible que utiliza es la gasolina, ya que su poder calorífico es elevado y esto produce su mejor evaporación. Ver Figura 2.

Los motores Otto utilizan un sistema de alimentación de combustible ya sea por carburación o por inyección siendo este último el más utilizado por distribuir de manera uniforme el combustible en los cilindros y un mejor aprovechamiento del combustible. (Endotérmicos, s.f.)

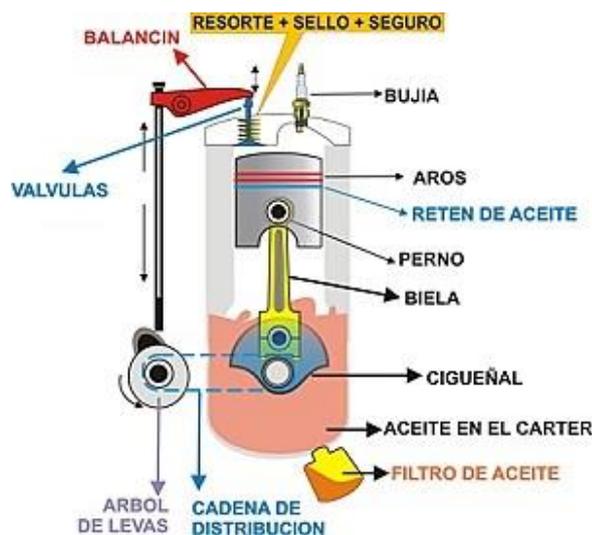


Figura 2 Principales elementos de un motor a gasolina

Fuente: (Pérez, 2013)

2.2.2 El motor rotativo.

Los motores rotativos poseen un cigüeñal fijo a un bloque de cilindros rotatorio que produce un poderoso volante de inercia con efecto giroscópico, reduciendo así las vibraciones, ofrecen una relación peso potencia más ventajosa que los motores convencionales así como su sistema de refrigeración al producir su propio flujo de aire.

Una característica es su configuración impar de cilindros normalmente entre siete o nueve que proporciona un encendido coherente y suave. Existen dos tipos de motores rotativos: Tipo Wankel y radiales.

Los motores tipo Wankel desarrollan los 4 tiempos del ciclo en zonas distintas del bloque del motor y utiliza la presión producida por la combustión de la mezcla aire-combustible para iniciar el movimiento del rotor triangular que en este tipo de motor reemplaza a los pistones.

Los motores radiales se usaron mayormente en aviones de las décadas pasadas y su mecanismo consiste en que uno de los pistones se conecta a una biela más grande que las otras que se conecta a su vez al cigüeñal, presenta una gran relación peso potencia y alta torsión.

La sencillez de su construcción y bajo peso hizo de este motor el preferido para prestaciones de larga duración como lo ocuparon los aviones de combate. (Berezosky, s.f.)

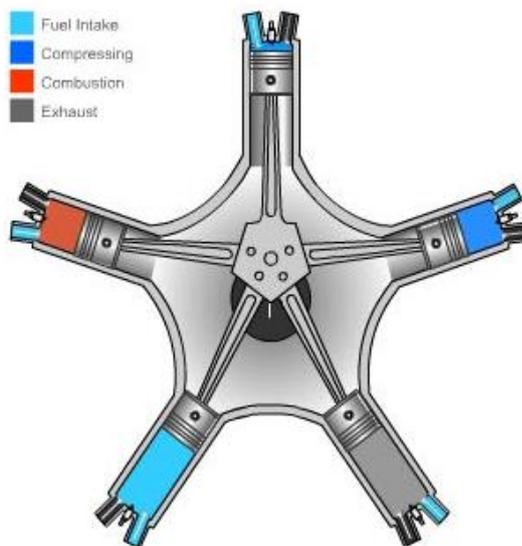


Figura 3 Motor radial o tipo estrella

Fuente: (Berezosky, s.f.)

2.2.3 El motor diésel.

Los motores diésel alcanzan una compresión de entre 16 a 24 bar, gracias a que el Diésel tiene aproximadamente un 18% más de energía por unidad de volumen que la gasolina y además de que trabajan a compresiones más altas que sus contrapartes a gasolina, hace que estos motores tengan una mayor eficiencia, que contribuye a que el rendimiento sea mayor, por lo que el uso y aplicaciones de los motores y máquinas que operan en base a este combustible se encuentran en mayoría en la industria del transporte pesado e industrial, como en la generación térmica de electricidad.

2.2.3.1 Motor Diésel de 2 tiempos.

Los motores de 2 tiempos a diferencia de los de 4 tiempos realizan las 4 etapas del ciclo de trabajo en una sola vuelta del cigüeñal.

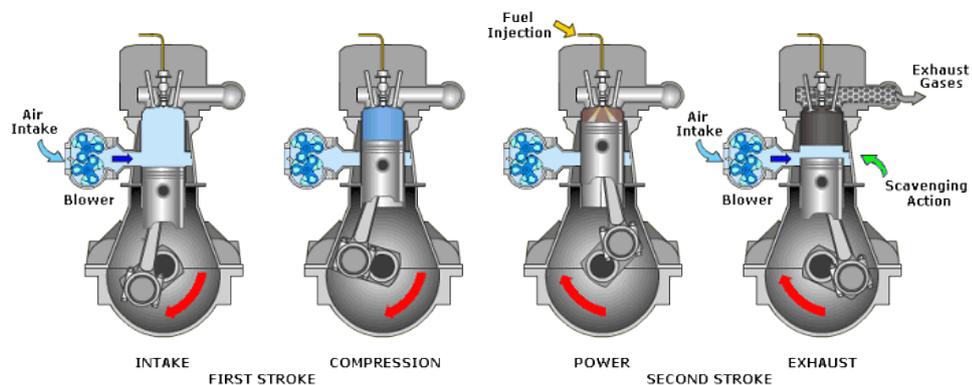


Figura 4 Motor diésel de dos tiempos

Fuente: (Agland, 2014)

1. Compresión y Admisión. Durante la carrera ascendente del pistón, se comprime la mezcla de aire y gasolina, previamente introducida en el cilindro. Al mismo tiempo y debido al movimiento del pistón, se produce vacío en el cárter del motor, obligando a entrar mezcla de aire y gasolina precedente del carburador, por un conducto provisto de una válvula de apertura por la propia succión.

2. Explosión y Escape. Como en todo motor de pistones, en ese momento se produce el salto de la chispa en la bujía y se inflama la mezcla, produciendo la carrera descendente del pistón y generando trabajo. Los motores de 2 tiempos de gasolina, encuentran su mayor campo de aplicación en las pequeñas potencias: motocicletas, máquinas manuales a gasolina (sopladoras, fumigadoras, motosierras etc.), y en los pequeños motores de aeromodelismo y similares.

2.2.3.2 Motor Diésel 4 tiempos.

El ciclo comienza con la entrada en el cilindro de aire (admisión), para después comprimirlo (compresión). Una vez comprimido, se inyecta el combustible pulverizado que empieza a quemarse inmediatamente (combustión-expansión) finalizando con la expulsión de los gases quemados (escape).

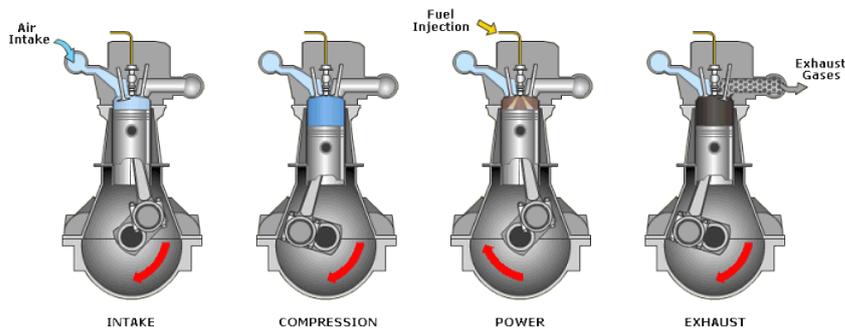


Figura 5 Motor 4 tiempos Diésel

Fuente: (Agland, 2014)

Primer tiempo: admisión

- El pistón desciende del PMS al PMI.
- La válvula de admisión se abre en el PMS.
- El cilindro se llena de aire.
- En el PMI se cierra la válvula de admisión.
- El cigüeñal ha dado media vuelta (180°).
- El pistón ha realizado una carrera.

Segundo tiempo: compresión

- El pistón asciende hacia el PMS.
- Las dos válvulas se encuentran cerradas.
- Se produce una gran elevación de presión y temperatura (600°C).
- Al alcanzar el pistón el PMS, termina este tiempo.
- El cigüeñal ha dado media vuelta (180°)
- El pistón ha realizado una carrera.

Tercer tiempo: combustión-expansión

• El pistón se encuentra en el PMS, momento en el que se inyecta el carburante finalmente pulverizado, que, al contacto con el aire caliente, arde de forma espontánea, quemándose durante todo el tiempo que dure la inyección, durando más tiempo la combustión que en un motor de explosión.

- Las dos válvulas permanecen cerradas.
- El pistón, debido a la fuerza de expansión de los gases, es empujado violentamente hacia el PMI. En este tiempo es donde se realiza el trabajo y se denomina también "tiempo motor".

- El cigüeñal ha dado media vuelta (180°).
- El pistón ha realizado una carrera.

Cuarto tiempo: escape

- El pistón asciende desde el PMI al PMS.
- La válvula de escape se abre en el PMI.
- Se realiza el vaciado del cilindro de gases quemados, empujados por el pistón en su recorrido ascendente.

- Al llegar al PMS, la válvula de escape se cierra.
- El cigüeñal ha dado media vuelta (180°).
- El pistón ha realizado una carrera.

2.3 Sistemas Involucrados de un motor diésel

2.3.1 Sistema de Encendido del motor.

El motor de combustión interna no tiene arranque propio, hay que hacerlo girar con una fuente externa para que se completen los procesos necesarios y se produzca el encendido. Existen varias formas de hacer girar el motor para que inicie el arranque:

- Arranque manual
- Arranque por motor de aire comprimido
- Arranque por motor de combustión auxiliar
- Arranque por motor eléctrico

2.3.1.1 El arranque Manual.

Es un dispositivo que se acopla directamente al cigüeñal del motor el cual al momento de darle giro continuo al mismo en sentido horario se puede vencer la fuerza de la compresión producido por la mezcla aire combustible que existe en los cilindros del motor, cabe señalar que este sistema se usa en motores antiguos y de baja potencia.

2.3.1.2 El arranque por aire comprimido.

Se usa para algunos grandes motores en los que la potencia necesaria hace difícil el uso del arranque eléctrico debido a las altísimas corrientes necesarias, y en algunos vehículos especiales adaptados para funcionar a muy bajas temperaturas donde las baterías de acumuladores no pueden utilizarse.

También en estos grandes motores el proceso de arranque es más complejo y por lo general, deben hacerse girar hasta que se lubriquen las partes internas antes de someterlos al funcionamiento por ellos mismos.

2.3.1.3 El arranque por motor de combustión auxiliar.

Se usa en algunas máquinas de la construcción que usan motores Diésel, estas máquinas pueden prescindir de las baterías de acumuladores y así ser más adaptables a condiciones climáticas de fríos severos; usan un pequeño motor de gasolina que se arranca por el método manual o con motor eléctrico, este a su vez acciona el motor principal a través de un acoplamiento de engranajes desplazables.

Estos pequeños motores pueden hacer girar por largo tiempo al motor principal para permitir la lubricación antes de la puesta en marcha. En los automóviles se usa casi universalmente el arranque por motor eléctrico, por lo que será este método el que será tratado.

2.3.1.4 Arranque por motor Eléctrico.

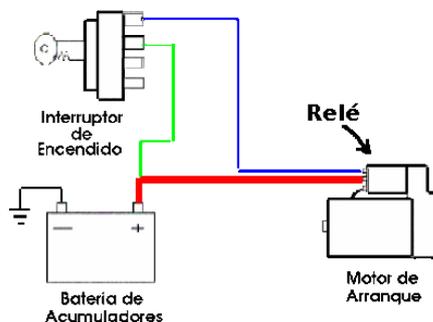


Figura 6 Sistema de encendido por motor de arranque

Fuente: (Arranque por motor eléctrico, 2014)

Para el arranque de los motores de automóvil se usa un motor eléctrico de corriente continua que se alimenta desde la batería de acumuladores a través de un relé. Este relé a su vez se acciona desde el interruptor de encendido del automóvil. Cuando se acciona el interruptor de arranque se alimenta con electricidad proveniente de la batería a la bobina del relé, y este a su vez cierra dos grandes contactos en su interior alimentando el motor de arranque

directamente desde las baterías a través de un grueso conductor (representado con color rojo).

2.3.1.4.1 Motor de arranque.

El motor de arranque es un motor de corriente directa tipo Shunt especialmente diseñado para tener una gran fuerza de torque con un tamaño reducido, capaz de hacer girar el motor de combustión interna.

Esta capacidad se logra a expensas de sobrecargar eléctricamente las partes constituyentes ya que el tiempo de funcionamiento es muy breve, por tal motivo no debe mantenerse en acción por largo tiempo, con la consecuencia de terminar averiado por sobrecalentamiento.

El consumo de electricidad durante el arranque es elevado (hasta 1000 Amperios para grandes motores de combustión), de manera tal que también la batería funciona en un régimen muy severo durante este proceso. Debido a estas razones es muy recomendable, cuando se intenta arrancar un motor usar varios intentos de corta duración (unos 10 segundos), en lugar de un solo intento de larga duración.

2.3.1.4.2 Mecanismo de accionamiento del motor de arranque.

La transmisión de la rotación desde el motor de arranque al motor de combustión se realiza a través de engranajes. Un pequeño engrane deslizante está acoplado al eje del motor de arranque, este engrane es desplazado sobre estrías por el relé a través de una horquilla pivotante, de manera que se acopla a un engrane mayor que rodea el volante del cigüeñal del motor haciéndolo girar. Este engrane funciona a través de un mecanismo de rueda libre (como el de las bicicletas) de manera que el torque del motor de arranque se trasmite al engrane del cigüeñal, pero una vez que el motor de combustión se ponga en marcha, no pueda arrastrar al motor de arranque. Sin este mecanismo de rueda libre, debido a la gran velocidad del motor de combustión y a la elevada relación de transmisión entre el par engranado, la velocidad de rotación del

rotor del motor eléctrico llegaría a velocidades peligrosas para su integridad, especialmente en conductores demorados en soltar la llave de encendido.

Una vez que el motor de combustión se ha puesto en marcha y el conductor suelta la llave de encendido, se corta la alimentación eléctrica a la bobina del relé y el muelle de recuperación retira el núcleo cortando la alimentación con electricidad y desacoplando ambos engranes.

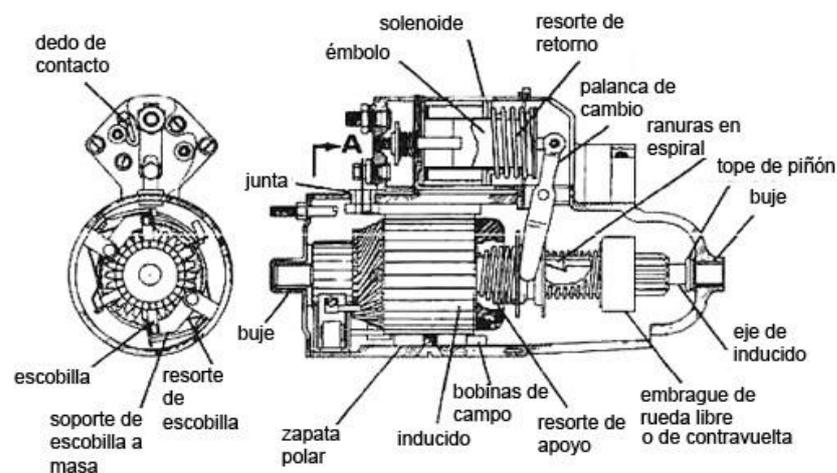


Figura 7 Arranque

Fuente: (Electricidad del automovil, s.f.)

2.3.2 Sistema de refrigeración del motor.

La refrigeración es el conjunto de elementos, que tienen como misión eliminar el exceso de calor acumulado, debido a las altas temperaturas, que alcanza con las explosiones que se produce debido al funcionamiento y a la combustión dentro del motor, y llevarlo a través del medio empleado al exterior. Durante el funcionamiento del motor se produce calor debido al frotamiento de las piezas en movimiento y a la combustión de los gases en el cilindro la cual puede alcanzar hasta los 2000°C y en algunos de sus componentes puede llegar hasta los 3000°C.

Un motor en funcionamiento y sin un sistema de enfriamiento eficaz puede hacer que sus componentes internos se dilaten y pierdan sus propiedades de

diseño. La temperatura normal de funcionamiento oscila entre los 75° y los 90°C a una temperatura de funcionamiento alrededor de 120°C en la culata.

Partes críticas de dilatación por exceso de calor:

- Paredes Interiores de los cilindros.
- Cámara de combustión no lubricada.
- Pistón.
- Válvulas de escape.

Las paredes Interiores de los cilindros:

- Cambios fisicoquímicos en el lubricante.
- Producción de depósitos de carbón.
- Desgaste excesivo de las paredes.

Cámara de combustión no lubricada:

- Disminuye la duración de las válvulas, bujías y culata en los puntos de menor grosor entre los agujeros de las bujías y los asientos de las válvulas.
- La refrigeración no uniforme de la culata produce encendido anormal.

Pistón:

- Disminuye su resistencia mecánica especialmente en los casos de aleaciones ligeras.

Válvulas de escape:

- Corrosión rápida sobre la superficie de contacto.
- Reducción de la resistencia mecánica si falta el intercambio de calor a través de sus asientos en el breve periodo de cierre.

2.3.2.1 Refrigeración por bomba externa.

La bomba se coloca entre el depósito del líquido refrigerante y el motor de combustión interna en un punto bajo del circuito. La velocidad de circulación se limita a la capacidad de la bomba instalada, en este tipo de sistema cuando se necesita mayor enfriamiento se procede a reponer la temperatura del

líquido refrigerante mediante la adicción a menor temperatura de un nuevo volumen del mismo al sistema.

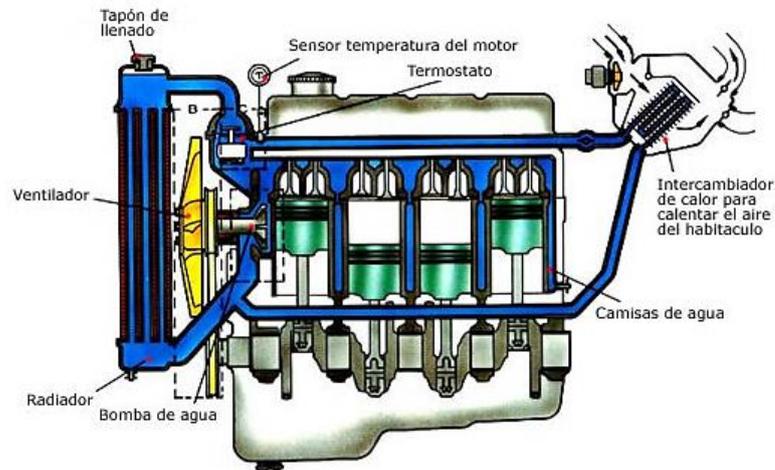


Figura 8 Esquema de refrigeración por bomba de agua

Fuente: (Refrigeración del motor, 2014)

2.3.2.2 Circulación por termosifón acelerado por bomba.

Este sistema combina los anteriores, funciona por termosifón pero con ayuda de la bomba mejora la circulación del líquido refrigerante. La bomba puede estar fija sobre la culata o sobre el bloque de cilindros, está generalmente situada a la salida del líquido frío y dirigido hacia el bloque de cilindros. El líquido sube a continuación hacia la culata y retorna al radiador. En el caso de fallo en la bomba la circulación del líquido se convierte en 100% de termosifón.

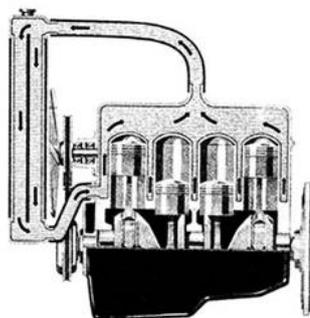


Figura 9 Esquema de refrigeración por termo fisión

Fuente: (Refrigeración del motor, 2014)

2.3.2.3 Funcionamiento general del sistema de refrigeración.

El refrigerante se toma del fondo del radiador mediante la bomba de agua y se impulsa a través de todas las partes del motor que necesitan refrigerante, en el caso de los cilindros con camisas húmedas enfrían las partes más calientes de estos y la cámara de combustión.

Luego el refrigerante circula de regreso a la parte superior del radiador (teniendo un radiador de flujo vertical) donde se filtra por los tubos de este y mediante las aletas y el flujo de aire se extrae el calor y se envía a la atmósfera. Ver Figura 10.

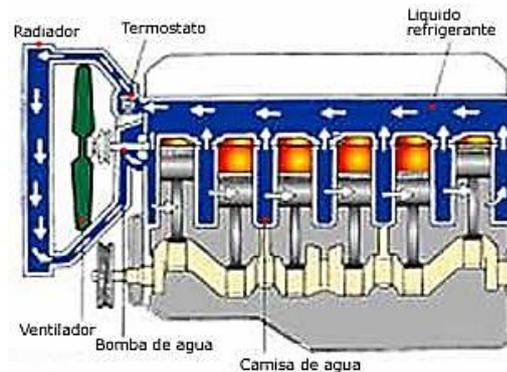


Figura 10 Esquema interno del motor y su refrigeración

Fuente: (Refrigeración del motor, 2014)

En un motor no estacionario (motor de un automóvil por ejemplo) el flujo de aire que entra a través de las rejillas del motor (en caso de que posea rejillas) ayuda al enfriamiento. Pero si este motor funciona en vacío o a velocidad muy baja, el ventilador debe succionar el aire y pasarlo por el radiador, para evitar recalentamiento en el motor. Algunos ventiladores tienen un embrague que los desconecta de la operación una vez que el motor alcanza cierta velocidad hacia adelante.

Tipos de Refrigerante

- Tipo A: concentrado de base Etilenglicol

- Tipo B: concentrado de base Propilenglicol
- Tipo C: diluido al 50% (v/v) de base Etilenglicol
- Tipo D diluido al 50% (v/v) de base Propilenglicol

2.3.3 Sistema de Suministro de combustible (Diésel).

2.3.3.1 Bomba de inyección Directa.

Con objeto de conseguir la mínima cesión de calor posible se ha hecho su superficie tan pequeña como se ha podido y se ha dispuesto en el pistón. La formación de la mezcla depende en gran parte de la clase y del estado del inyector. En el caso de una presión de inyección de 175-200 bares se obtiene un buen reparto del combustible con empleo de inyectores de tetón o de orificios. Condición previa es siempre un combustible muy limpio, pues en caso contrario en los inyectores, que con el servicio se calientan mucho, se forman resinas y las agujas correspondientes se agarrotan (se pegan), cosa que podría conducir a importantes daños. El combustible inyectado se inflama en el aire caliente y se quema muy rápidamente (velocidad de propagación de la llama aproximadamente 20 m/s). Los motores con inyección directa no necesitan para el arranque en frío dispositivo auxiliar alguno (por ejemplo bujías incandescentes) y tienen un consumo de combustible pequeño.

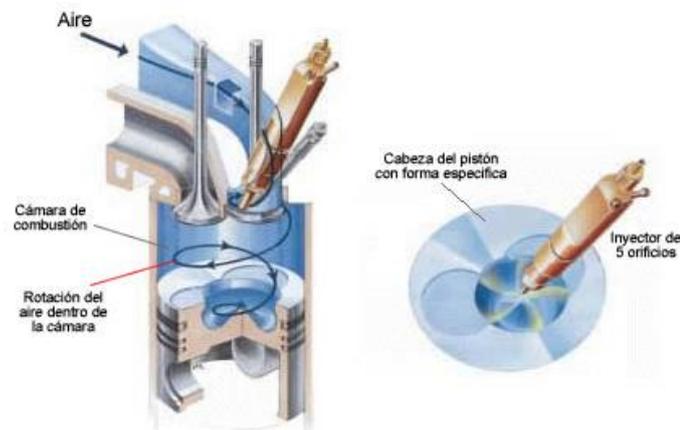


Figura 11 Bomba de inyección

Fuente: (Gestión eléctrica diésel, 2014)

Un inconveniente de estos motores es el pronunciado ruido de la combustión que viene provocado por la rapidez de la combustión. El desarrollo de los motores con inyección directa ha conducido al motor Diésel con picos de presión bajos, combustión suave, marcha silenciosa y bajísima proporción de CO en los gases de escape con consumo invariablemente bajo de combustible.

2.3.3.2 Procedimiento de cámara de pre-combustión.

El combustible es inyectado en la cámara auxiliar a una presión de aproximadamente 120 a 140 bares. Como inyectores se emplean generalmente los de tetón (o espiga).

La cantidad de oxígeno que existe en la cámara auxiliar es suficiente para la combustión de una parte del combustible inyectado. La parte restante no quemada es soplada a la cámara de combustión principal en virtud de la sobrepresión que se ha producido con la combustión. Allí se quema totalmente gracias a la buena gasificación y repartición. Se obtiene una formación de mezcla muy buena incluso en casos de carga parcial y de reducido número de revoluciones.

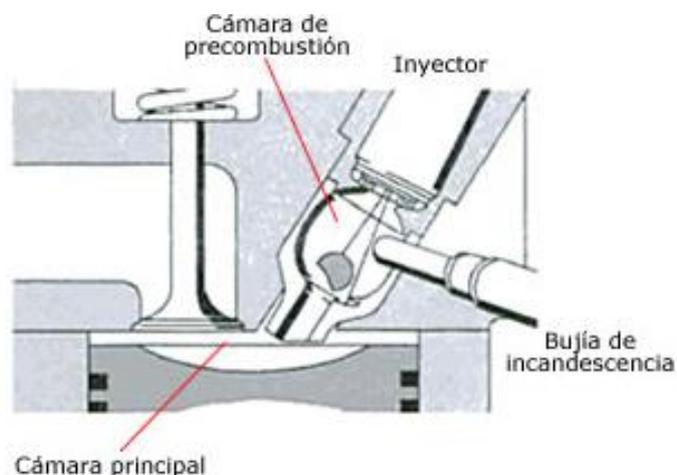


Figura 12 Culata con cámara de pre-combustión
Fuente: (Estructura del motor de explosión, 2014)

Durante el tiempo de compresión el aire entra en la cámara auxiliar y por la gran superficie de refrigeración de la cámara de combustión dividida se enfría por ceder calor.

La consecuencia es un peor arranque en frío del motor de pre-combustión en comparación con el motor de inyección directa. Por esta razón se han dispuesto bujías de encendido en las cámaras auxiliares, que tienen que ponerse en servicio antes del arranque. Éstas tienen que calentar el aire en las cámaras auxiliares e iniciar la combustión inflamando en sus alambres incandescentes las partículas de combustible.

2.3.3.3 Inyectores

El inyector debe inyectar el combustible que le llega a alta presión de la bomba de inyección, en la cámara de combustión de modo que sea más conveniente para el procedimiento de combustión del motor Diésel de que se trate.

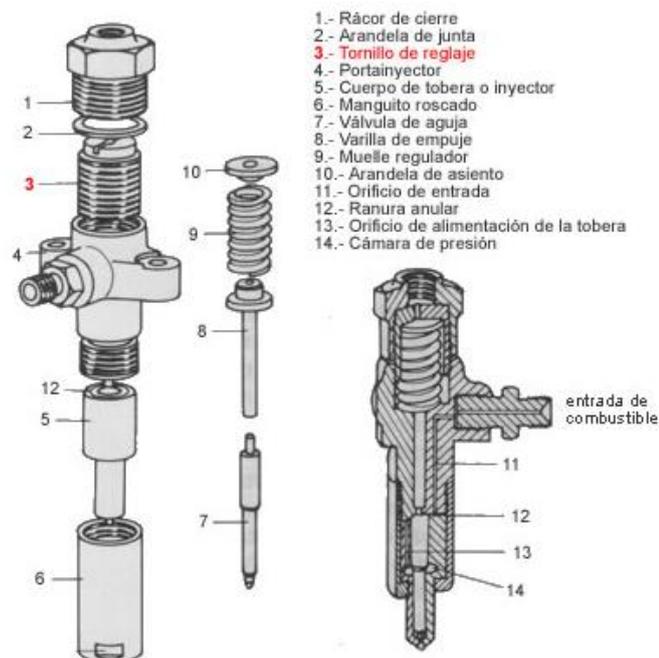


Figura 13 Despiece completo de un inyector

Fuente: (Verificación y control de los inyectores, 2014)

Esto quiere decir que habrá que elegir cuidadosamente el inyector en relación con la duración de la inyección y su presión, así como con la forma del chorro inyectado (ángulo de chorro). La formación de la mezcla en la cámara de combustión, y con ello el desarrollo de la combustión, se logra de modo decisivo por medio del inyector.

2.3.4 Sistema de admisión de aire

Este sistema se encarga de suministrar aire al motor desde el exterior y luego es distribuido a los cilindros a través del múltiple de admisión, en motores modernos la admisión es regulada por un medidor de flujo de aire o sensor de vacío que permita la mezcla adecuada de aire – combustible y al mismo tiempo que ingresa la cantidad adecuada de combustible.

2.3.4.1 Funciones principales de la admisión.

- Filtrar el aire atmosférico de forma que llegue limpio al motor.
- Medir y regular la cantidad de aire que formará la mezcla explosiva.
- Atenuar el ruido procedente del interior del motor.
- Distribuir adecuadamente el aire entre los puertos de admisión del motor. (Sistema de admisión automotriz, 2010).

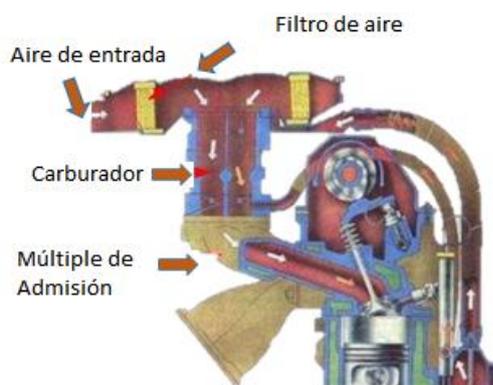
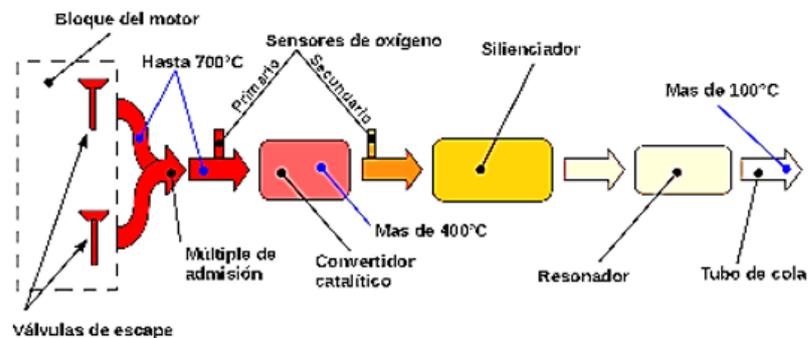


Figura 14 Elementos principales de la admisión de aire

Fuente: (Múltiple de admisión., s.f.)

2.3.4 Sistema de escape de gases de combustión.

Es uno de los sistemas más importantes de los motores de combustión interna ya que evacua en dos etapas los gases de combustión que inicia a la salida propia del motor y otra desde el tubo de escape hacia el exterior como se puede ver en la Figura 15 se detallan los componentes del sistema de escape.



En la primera etapa los gases alcanzan una temperatura de hasta 700 °C, ya en la segunda etapa baja a 400 °C gracias a los dispositivos que componen el sistema hasta una temperatura final de 100 °C aproximadamente.

Figura 15 Diagrama de bloques de un sistema de escape

Fuente: (Sistema de escape del automóvil, s.f.)

2.4 Parámetros de desempeño de un motor a diésel

2.4.1 Torque.

Indica la fuerza torsional que es capaz de proporcionar un motor desde su eje principal, hasta el diferencial del vehículo.

$$T_q = F \times r_p$$

Ecuación 2.1

Donde:

$$T_q = \text{Torque [N.m]}$$

$$F = \text{Fuerza [N]}$$

$$r_p = \text{Brazo de palanca [m]}$$

El torque es uno de los parámetros más importantes, para la selección de un motor, así lo demuestra la Figura 16, en donde se grafica los requerimientos en el torque, para diferentes exigencias (condiciones del camino, viento, peso del vehículo, etc.).

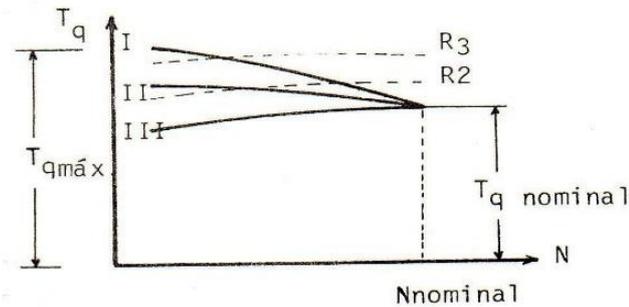


Figura 16 Torque-Carga

Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

2.4.2 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.

$$P_f = T_q \times W$$

Ecuación 2.2

Donde:

$$P_f = \text{Potencia al freno [KW]}$$

$$W = \text{Velocidad de giro} \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]$$

A la diferencia entre la potencia disponible y el valor de ella requerido por ciertas condiciones de resistencia, a una misma velocidad, se denomina reserva de potencia, la cual nos indicará si la potencia de una marcha determinada para esa resistencia, es la adecuada. En la Figura 17 se grafican las reservas de potencia para dos curvas de potencia.

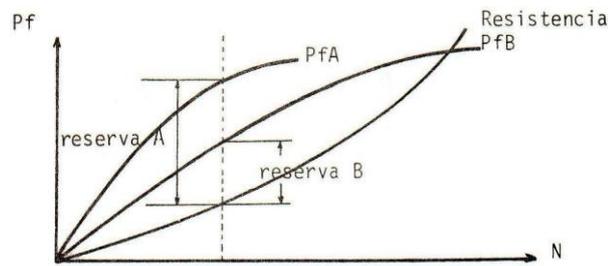


Figura 17 Potencia al freno – Revoluciones

Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

Puesto que en la práctica, se requiere mezclas ligeramente ricas, esto es que la relación aire-combustible sea menor que la estequiometría, para una combustión más eficiente (completa), se encontrará que el máximo valor de potencia se desarrollará para este tipo de mezclas, es decir:

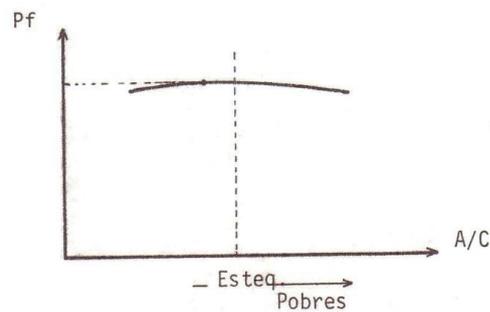


Figura 18 Potencia al freno-Relación aire combustible

Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

Cuando se acelera al motor, la mariposa del carburador, se abre, dejando pasar mayor cantidad de mezcla, y aumentando por tanto el valor de potencia obtenida.

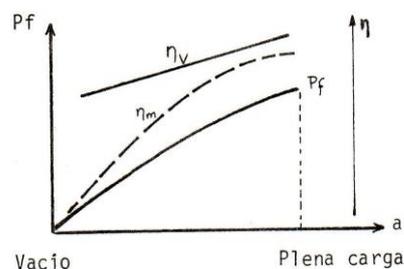


Figura 19 Potencia al freno – aceleración

Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

2.4.3 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.

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

Ecuación 2.3

Donde:

$$PMEF = \text{Presion media efectiva} \left[\frac{KW}{m^3} \right]$$

$$V_D = \text{Flujo volumétrico} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Siendo:

$$V_D = i \times \frac{\pi \times D_p^2}{4} \times L \times \frac{W}{60 \times K_2}$$

Ecuación 2.4

Donde:

D_p = diametro del pistón

L = Longitud de carrera del pistón

i = número de cilindros

$K_2 = 1$ si el motor es de 2 tiempos

$K_2 = 2$ si el motor es de 4 tiempos

Mientras más grande sea la presión media efectiva, más grande será el trabajo por cm^3 desplazado del motor. La presión media efectiva, constituye un factor que debe ser tomado muy en cuenta en la selección de motores. Así por ejemplo si se dispone de 2 motores que proporcionen igual trabajo, el motor de PME más alta será de menor tamaño, y tendrá por tanto mayor rendimiento mecánico. Como se dijo antes, mezclas aire-combustible ligeramente ricas, proporcionan mayor presión media efectiva al freno, es decir:

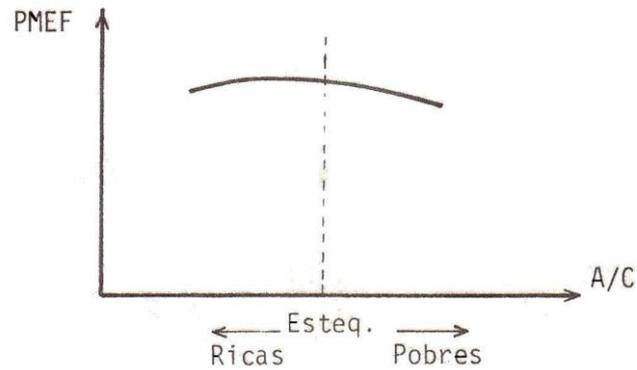


Figura 20 PMEF-Relación aire Combustible
Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

Un ángulo de avance al encendido óptimo se consigue, cuando la PME sea máxima, y este se aleja más del punto muerto superior (PMS), esto es se “adelanta” cada vez más, conforme se aumenta la velocidad como lo muestra la Figura 21.

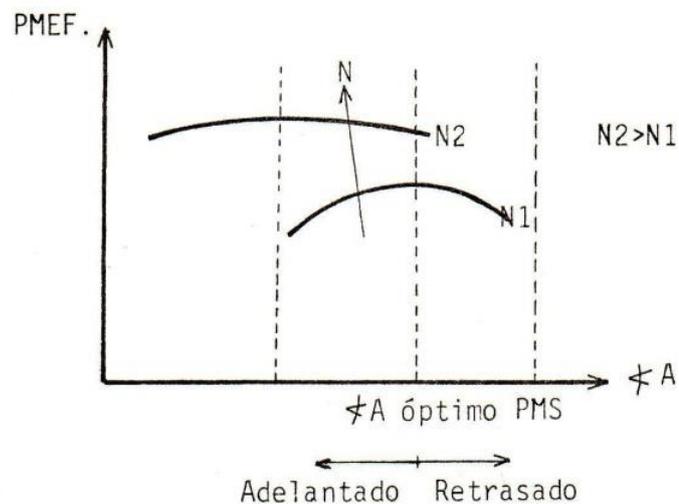


Figura 21 PMEF – Ángulo de avance
Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

Cuando se aumenta la relación de compresión (r_c), se aumenta el trabajo por cm^3 pero llega un máximo a partir del cual, las pérdidas mecánicas serán cada vez mayores haciendo que la PME disminuya, esto es:

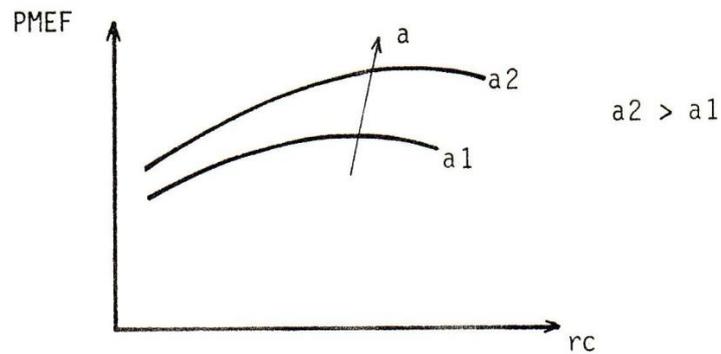


Figura 22 PMEF- Relación de compresión

Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

2.4.4 Presión media efectiva indicada.

Está definida como la altura del rectángulo de área equivalente a la del diagrama indicador y de la longitud igual a la carrera del pistón. Físicamente indica la presión teórica constante que supuestamente se ejerce durante cada carrera de potencia del motor para producir una potencia igual a la indicada.

$$PMEI = \frac{\text{Área del diagrama}}{L}$$

Ecuación 2.5

Donde:

$$PMEI = \text{Presión media efectiva indicada} \left[\frac{KN}{m^2} \right]$$

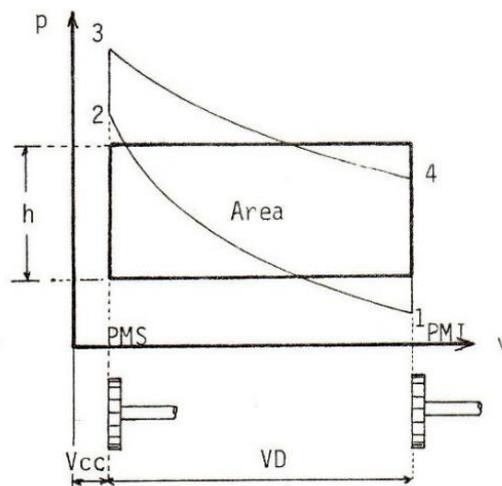


Figura 23 Diagrama presión vs volumen

Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

2.4.5 Potencia Indicada.

La potencia total desarrollada sobre el émbolo del motor, se denomina potencia indicada y es aquella que se obtiene en la corona del pistón y está dada por la energía disipada por la combustión de la mezcla en la cámara de combustión.

$$P_i = PMEI \times V_D$$

Ecuación 2.6

Donde:

P_i = Potencia indicada [KW]

En la práctica, se debe seleccionar un motor, basándose más en la potencia al freno, que en la indicada, pues la primera indica en realidad si la potencia que nos ofrece un motor cumple con nuestros requerimientos, mientras que la indicada sirve más bien como una referencia teórica.

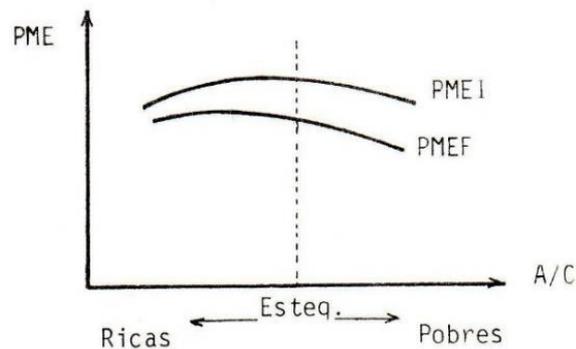


Figura 24 Relación A/C en función de PME

Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001).

2.4.6 Consumo de combustible.

Este parámetro determinado experimentalmente indica la “rapidez de consumo” de un motor.

$$\dot{m}_c = V_c \times \delta_c$$

Ecuación 2.7

Donde:

$$m_c = \text{Consumo de combustible} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$V_c = \text{Consumo volumétrico de combustible} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\delta_c = \text{Densidad del combustible} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

Siendo:

$$V_c = \frac{V_p}{t}$$

Ecuación 2.8

Donde:

$$V_p = \text{Volumen de prueba} [m^3]$$

$$t = \text{tiempo} [s]$$

A medida que aumenta la velocidad de rotación del motor, la cantidad de ciclos o carreras de admisión de carga fresca en la unidad de tiempo es mayor, aumentando por tanto el consumo de combustible; sin embargo cuando se eleva demasiado la velocidad, el tiempo para la admisión disminuye demasiado y disminuye la cantidad de mezcla fresca que ingresa al cilindro. Esto se muestra en la Figura. 25.

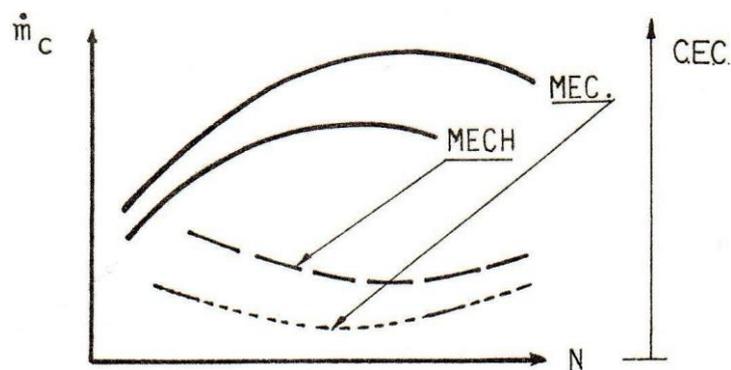


Figura 25 Caudal másico – Revoluciones
Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001).

2.4.7 Consumo específico de combustible.

Es un parámetro comparativo que muestra con cuanta eficiencia convierte un motor el combustible en trabajo, puede ser al freno o indicado, según el valor de potencia que se escoja:

$$\text{Al freno: } CECF = \frac{m_c}{P_f} \left[\frac{Kg}{KW-h} \right]$$

Ecuación 2.9

$$\text{Indicada: } CECI = \frac{m_c}{P_i} \left[\frac{Kg}{KW-h} \right]$$

Ecuación 2.10

El CEC es uno de los parámetros más importantes en el estudio de un motor, nos indicará, lo “económico” que es el motor bajo consideración. Idealmente interesaría determinar el punto en el que se tuviese máxima potencia con mínimo consumo específico de combustible, pero esto no ocurre en la realidad por lo que se puede sacrificar el factor económico para obtener mayor potencia, o viceversa, lo cual se puede observar en la Figura 26.

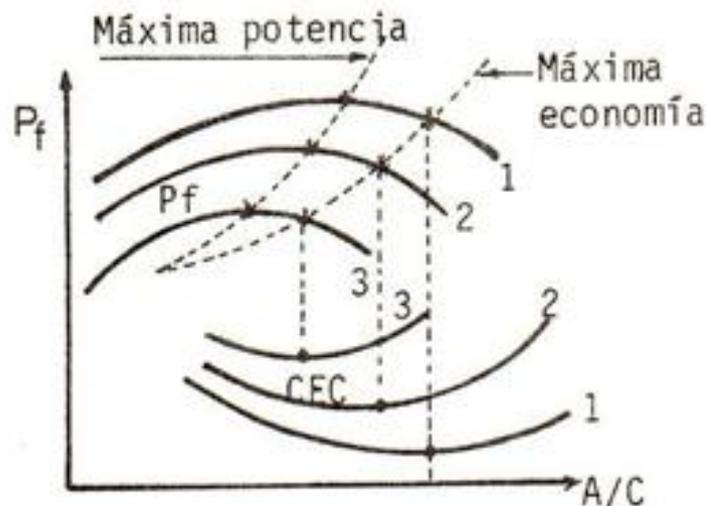


Figura 26 Potencia-Mezcla aire combustible

Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

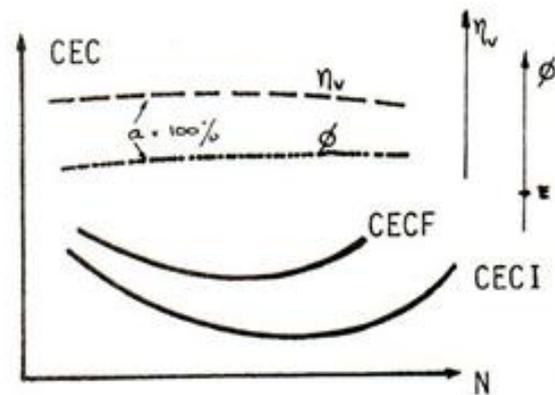


Figura 27 Consumo específico – revoluciones
Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

La Figura 27 muestra que el CEC disminuye con la velocidad, lo cual se debe a que el aumento de la potencia con la velocidad es mayor que el del consumo de combustible, para luego nuevamente aumentar, ya que el aumento anterior, es menor que del consumo. Por otro lado, el mínimo CEC se obtendrá como es lógico para mezclas pobres, pero si se empobrece demasiado la mezcla, se afectará significativamente a parámetros importantes como la potencia y la PMEF y la operación del motor se vuelve inestable, como se muestra en la Figura 28.

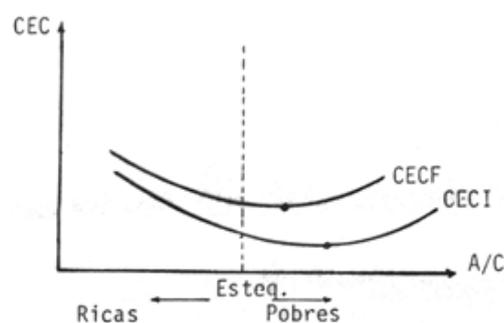


Figura 28 CEC-A/C
Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

2.4.8 Consumo de aire.

Es referida como la masa de aire que ingresa como parte de la carga fresca y que es requerida para una eficiente combustión del combustible.

$$\dot{m}a_r = \frac{\pi \times D_{po}^2}{4} \times C_2 \times \sqrt{\frac{2 \times C_1 \times h_0 \times P_a}{R_a \times T_a}}$$

Ecuación 2.11

Donde:

D_{po} = diametro de la placa orificio [m]

C_2 = Coeficiente de descarga

C_1 = Constante del manómetro

h_0 = Caída de presión [mmH₂O]

P_a = Presión atmosférica [Pa]

T_a = Temperatura ambiente [°K]

R_a = Constante universal de los gases $\left[\frac{J}{Kg^\circ K} \right]$

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.

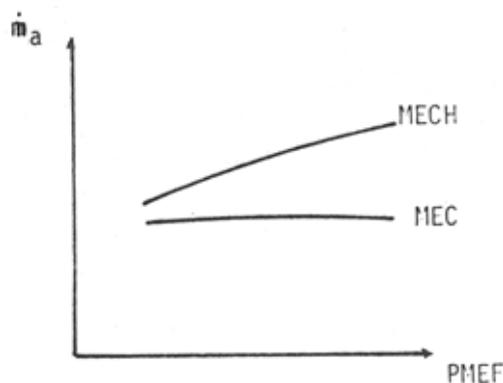


Figura 29 Consumo aire – PMEF

Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

2.4.9 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 Monóxido de carbono (CO) y tampoco de O₂, la combustión es completa y se dice que la relación aire-combustible es la teórica o estequiométrica.

$$A/C_{teor} = \frac{m_a}{m_c}$$

Ecuación 2.12

Un carburador permite variar y controlar la relación aire-combustible. En el motor MECH se debe mantener una relación definida entre las cantidades de aire y combustible para asegurar que la llama se propague a través de la mezcla. En el motor MEC, no se requiere esa relación fija de aire-combustible, porque éste se inyecta en el seno de un aire extremadamente caliente, incendiándose en cualquier punto en el cual se forme la mezcla aire-combustible apropiada. En la producción máxima del motor diésel, la mayor parte del aire se emplea en la reacción química; en tanto que en las cargas parciales es necesario combinar tan sólo una fracción del aire con el combustible y por la combustión localizada.

2.4.10 Potencia al freno.

Una parte de la potencia indicada desarrollada al quemarse el combustible y el aire no aparece como potencia al freno ya que se emplea en vencer la fricción en los cojinetes, émbolos y otras partes mecánicas del motor.

$$P_{fricción} = P_i - P_f [KW]$$

Ecuación 2.13

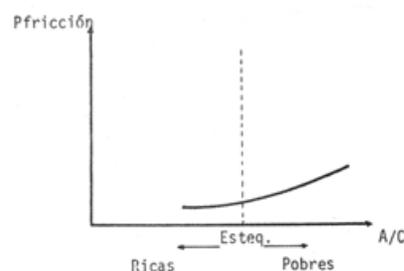


Figura 30 Potencia de la Fricción – A/C

Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

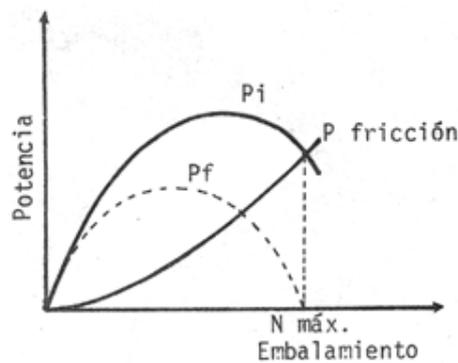


Figura 31 Potencia – Embalamiento
Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001).

2.4.11 Eficiencia mecánica.

A la relación entre la potencia producida por el motor P_f , y la potencia total desarrollada dentro de él P_i se conoce como rendimiento mecánico.

$$\eta_m = \frac{P_f}{P_i} \quad (\%)$$

Ecuación 2.14

Cuando se aumenta la velocidad, como se observa en la Figura 31, las pérdidas por fricción aumentan y por tanto el rendimiento mecánico decrece. En el punto de embalamiento se tiene rendimiento cero, pues no existe potencia al freno.

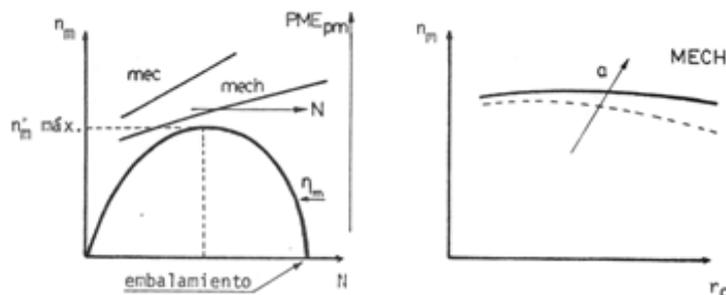


Figura 32 Eficiencias térmicas
Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

2.4.12 Eficiencia térmica.

En termodinámica se define el rendimiento térmico para un ciclo con objeto de mostrar el rendimiento de la conversión de calor en trabajo. De igual manera, la eficiencia térmica de un motor indica, el grado de aprovechamiento del poder calórico del combustible, al desarrollar una unidad de potencia. Puede ser el freno o indicada si se toma la potencia del freno o indicada respectivamente.

$$\text{Al freno: } n_t = \frac{P_f}{m_c \times Q_{neto}}$$

Ecuación 2.15

$$\text{Indicada: } n_i = \frac{P_i}{m_c \times Q_{neto}}$$

Ecuación 2.16

Donde:

Q_{neto} = Calor de combustión

El poder calórico inferior a volumen constante representa la cantidad máxima de calor, que puede transferirse en un calorímetro bajo condiciones estándar y es el valor que debería usarse en el cálculo del rendimiento. En la Figura 33 se muestra la variación del rendimiento térmico para diferentes relaciones de compresión.

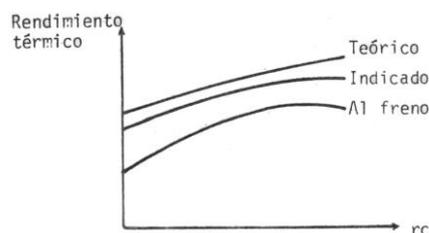


Figura 33 Rendimiento térmico según la relación de compresión

Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

Puesto que el rendimiento térmico depende de la mayor o menor eficiencia de la combustión, que nos indica el aprovechamiento del poder calórico del

combustible una mezcla ligeramente pobre (exceso de aire) asegurarán las condiciones de mayor rendimiento térmico, como se observa en la Figura 34.

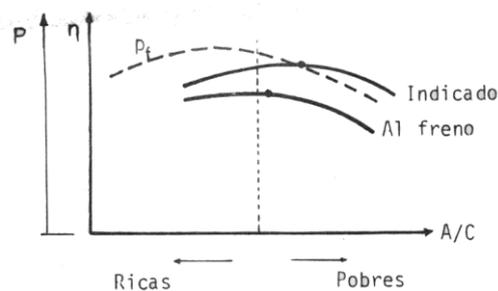


Figura 34 Rendimiento térmico según la relación de compresión

Fuente: (Laboratorio de Motores I, 2001)

2.4.13 Eficiencia relativa.

Indica “cuan alejado” está el ciclo de trabajo de un motor de combustión, con relación al ciclo ideal de aire. Puede ser el freno o indicado, de acuerdo y se debe comparar con el rendimiento al freno o indicado respectivamente.

$$\text{Al freno: } n_{rf} = \frac{n_f}{n}$$

Ecuación 2.17

$$\text{Indicada: } n_{ri} = \frac{n_i}{n}$$

Ecuación 2.18

2.4.14 Eficiencia volumétrica.

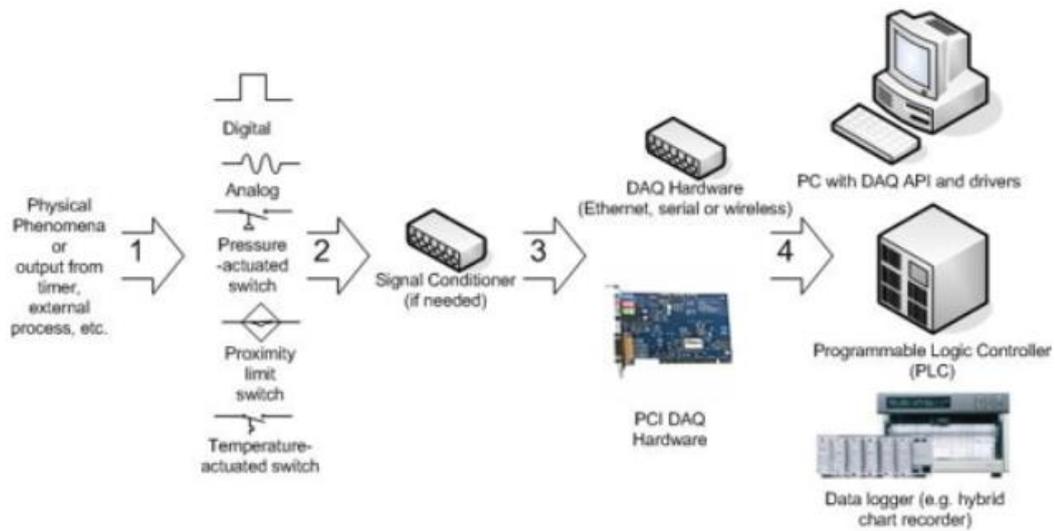
Está definida como la relación del peso real de aire inducido por el motor, en la carrera de admisión entre el peso teórico de aire que debiera inducirse llenando el volumen de desplazamiento del émbolo con aire a la temperatura y presión atmosféricas.

$$n_v = \frac{m_a}{m_c}$$

Ecuación 2.19

2.5 Automatización de adquisición de datos

Un sistema de adquisición de datos consta de varias etapas que deben estar directamente relacionadas para su correcto funcionamiento debido a todas las variables y procesos involucrados como se muestra en la Figura 35.



Etapa 1: señales o fenómenos físicos medibles; Etapa 2: detección; Etapa 3: acondicionamiento; Etapa 4: adquisición; Etapa 5: análisis.

Figura 35 Diagrama de un sistema de adquisición de datos

Fuente: (Data Acquisition Systems (DAQ) and Equipment, 2014).

2.5.1 Señales

Las maquinarias y procesos son fuentes de señales |de diferente naturaleza como: Temperatura, Presión, Caudal, Posición, Nivel, etc. Las señales son importantes siempre y cuando lleven consigo información. La información se encuentra en: la magnitud, forma de onda, máximos y mínimos, tasas de variación, frecuencia, ancho de banda, etc. Se puede observar los tipos de señales existentes en la Figura 36 (Echeverría, s.f.).

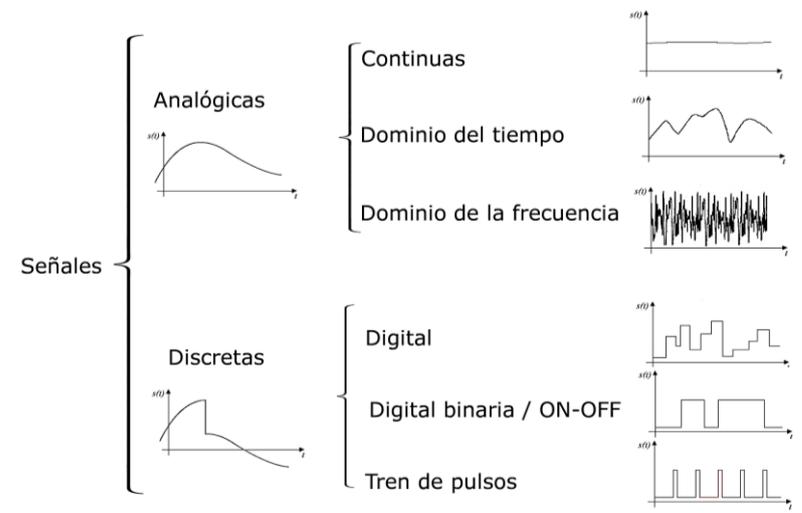


Figura 36 Tipos de señales

Fuente: (Echeverría, s.f.)

2.5.2 Característica Estática

En los instrumentos de medición se puede relacionar las entradas con las salidas del mismo ya sea mediante una función algebraica, un gráfico o un diagrama de la función, involucrando varios elementos sistemáticos como son:

2.5.2.1 Rango

Determinado por los valores mínimos y máximo de la entrada y salida

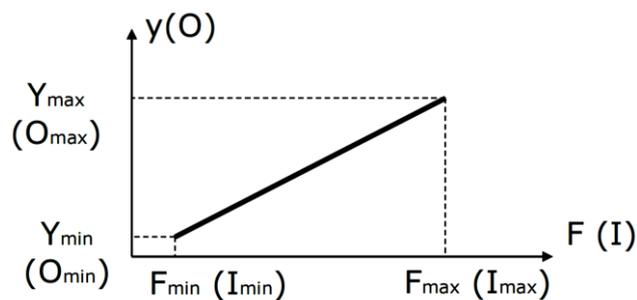


Figura 37 Rango de medición de un instrumento

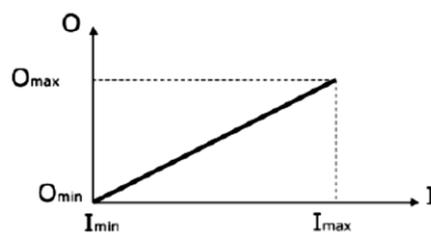
Fuente: (Echeverría, s.f.)

2.5.2.2 Alcance.

Es la máxima variación de la entrada o la salida es decir el alcance de entrada es $I_{\max} - I_{\min}$ y el de salida es $O_{\max} - O_{\min}$.

2.5.2.3 Forma de la relación I-O.

La relación I-O puede ser: Lineal Figura 38 y no lineal Figura 39.



$$O(I) = O_i(I) = KI + a$$

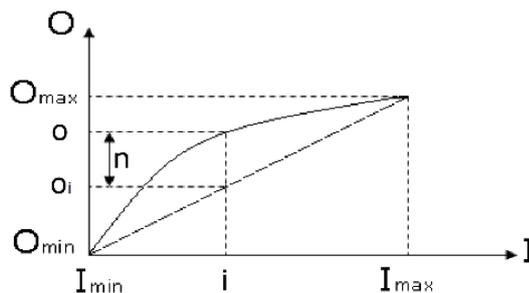
$$K = \frac{O_{\max} - O_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}$$

$$a = O_{\min} - KI_{\min}$$

$$O(I) = KI + a$$

Figura 38 Relación lineal

Fuente: (Echeverría, s.f.)



$$n = o - o_i$$

$$N(I) = O(I) - O_i(I)$$

$$O(I) = O_i(I) + N(I)$$

$$O(I) = KI + a + N(I)$$

$$\hat{n} = \max N(I)$$

$$nl\% = \frac{\hat{n}}{O_{\max} - O_{\min}} \times 100$$

$N(I)$ es la curva de ajuste de la no linealidad

Figura 39 Relación no Lineal

Fuente: (Echeverría, s.f.)

2.5.2.4 Histéresis.

Un instrumento presenta histéresis cuando la relación entrada -salida no es la misma si se va desde I_{\min} a I_{\max} que desde I_{\max} a I_{\min} .

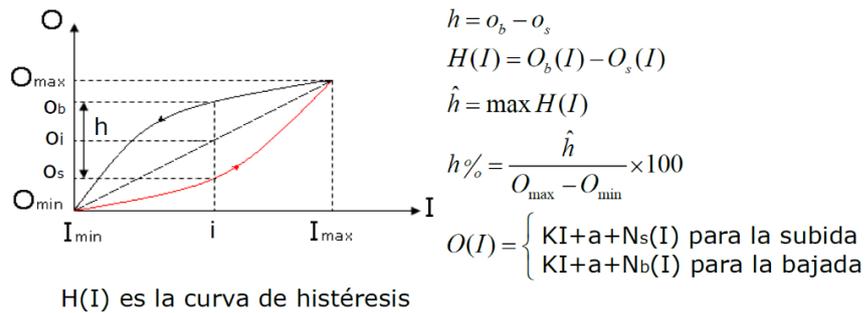


Figura 40 Histéresis de un instrumento

Fuente: (Echeverría, s.f.)

2.5.2.5 Sensibilidad.

Es la tasa de cambio de la salida con respecto a la entrada.

$$O_i(I) = KI + a \qquad O_i(I) = KI + a + N(I)$$

$$sens = \frac{dO}{dI} = K \qquad sens = \frac{dO}{dI} = K + \frac{dN(I)}{dt}$$

a) Sensor lineal

b) Sensor no lineal

Figura 41 Sensibilidad de un instrumento

Fuente: (Echeverría, s.f.)

2.5.2.6 Efectos medioambientales

En general los instrumentos responden no solo a las entradas normales de señal, sino también a señales ajenas al proceso de medición. Los efectos medioambientales se clasifican en: Modificantes e Interferentes. Los efectos modificantes alteran la constante K y los efectos interferentes alteran la constante a .

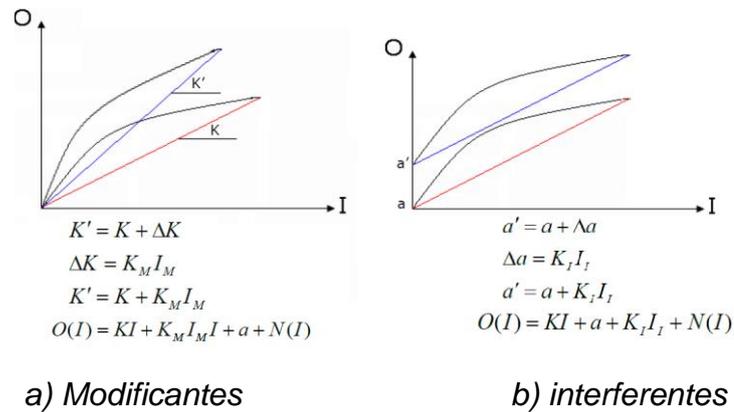


Figura 42 Efectos medioambientales en los instrumentos

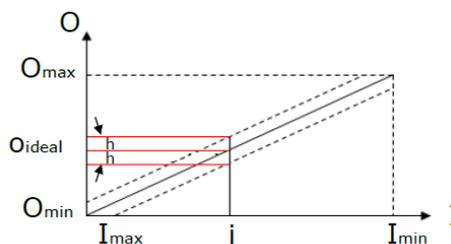
Fuente: (Echeverría, s.f.)

2.5.2.7 Resolución

Representa el más pequeño incremento de la entrada que entrega una respuesta. Si un sensor responde con una salida para cualquier valor de entrada se dice que tiene una resolución infinita. Cuando el incremento de la entrada se produce a partir de cero, se suele llamar umbral la resolución. (Echeverría, s.f.).

2.5.2.8 Errores.

El error se presenta con respecto a un patrón de medida. Hay principalmente dos tipos de errores importantes en los instrumentos: sistemáticos y aleatorio. En el sistemático es conocido e incluso fácil de cuantificar y contrarrestar, en muchos casos este error.



$$O(I)_{\text{real}} = O(I) \pm \text{error}$$

Figura 43 Error de medición en los instrumentos

Fuente: (Echeverría, s.f.)

2.5.3 Característica dinámica

Por el momento no existe instrumento o sistema que responda instantáneamente a un cambio en las condiciones de la entrada, ya que el tiempo que le toma responder a un cambio depende principalmente de la estructura interna del instrumento. Se expresa con mucha frecuencia la característica dinámica en términos de la función de transferencia de un sistema, lo que involucra un conocimiento profundo del comportamiento físico matemático del instrumento. (Echeverría, s.f.)

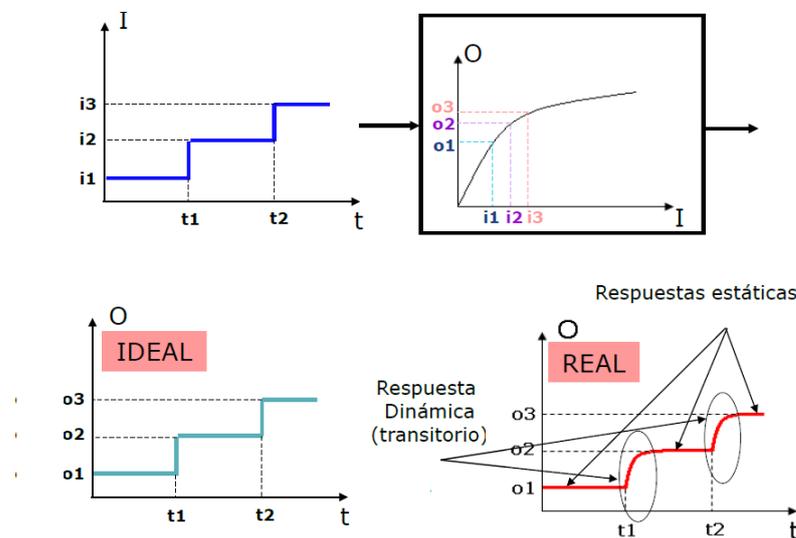


Figura 44 Característica dinámica de los instrumentos

Fuente: (Echeverría, s.f.)

2.5.4 Impedancia

La impedancia es otro factor importante que considera el hecho que al interactuar con el proceso un sensor necesariamente tiene que tomar energía del mismo, si un sensor interactúa con el proceso a tal punto que altera el mismo entonces se dice que el sensor está cargando al proceso y aparece un error por carga. El concepto de impedancia permite valorar si se produce o no este tipo de error. (Echeverría, s.f.)

2.5.5 Sensores

La medida de un fenómeno físico, como la temperatura de una habitación, la intensidad de una fuente de luz o la fuerza aplicada a un objeto, comienza con un sensor. Un sensor también llamado un transductor, convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica que se puede medir. Dependiendo del tipo de sensor, su salida eléctrica puede ser un voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico que varía con el tiempo. Algunos sensores pueden requerir componentes adicionales y circuitos para producir correctamente una señal que puede ser leída con precisión y con toda seguridad por un dispositivo DAQ. (National Instruments, 2014). La elección adecuada de un sensor o transductor dependerá de la magnitud física a medir y de la adecuada captación de dicho fenómeno, existen varios factores o características que ayudan de manera significativa que la elección se haga de manera técnica como se muestra en la Figura 45.

Magnitud a medir		Características de salida	
<input type="checkbox"/> Rango <input type="checkbox"/> Resolución <input type="checkbox"/> Exactitud <input type="checkbox"/> Estabilidad	<input type="checkbox"/> Ancho de banda <input type="checkbox"/> Tiempo de respuesta. <input type="checkbox"/> Límites de la magnitud a medir. <input type="checkbox"/> Magnitudes medioambientales	<input type="checkbox"/> Sensibilidad <input type="checkbox"/> Tipo: Tensión, corriente. <input type="checkbox"/> Forma de señal: Unipolar, flotante, diferencial	<input type="checkbox"/> Impedancia <input type="checkbox"/> Destino
Características de alimentación		Características ambientales	
<input type="checkbox"/> Tensión <input type="checkbox"/> Corriente <input type="checkbox"/> Potencia	<input type="checkbox"/> Frecuencia <input type="checkbox"/> Estabilidad	<input type="checkbox"/> Temperatura <input type="checkbox"/> Humedad <input type="checkbox"/> Ruido eléctrico	<input type="checkbox"/> Ruido mecánico <input type="checkbox"/> Agentes químicos <input type="checkbox"/> Atmósfera explosiva
Otros factores			
<input type="checkbox"/> Peso <input type="checkbox"/> Dimensiones <input type="checkbox"/> Vida media <input type="checkbox"/> Costo de adquisición <input type="checkbox"/> Disponibilidad <input type="checkbox"/> Tiempo de instalación		<input type="checkbox"/> Longitud y necesidad de cables. <input type="checkbox"/> Tipo y disponibilidad de conectores. <input type="checkbox"/> Situación en caso de fallo <input type="checkbox"/> Costo de mantenimiento y calibración <input type="checkbox"/> Costo de reposición	

Figura 45 Parámetros para elección de un sensor

Fuente: (Echeverría, s.f.)



Figura 46 Clasificación de sensores

Fuente: (Clasificación de los sensores, 2014)

Magnitud	Transductor	Característica
Posición lineal o angular	Potenciómetro	Analógica
	Encoder	Digital
	Sensor Hall	Digital
Desplazamiento y deformación	Transformador diferencial de variación lineal	Analógica
	Galga extensiométrica	Analógica
	Magnetostrictivos	A/D
	Magnetorresistivos	Analógica
Velocidad lineal y angular	Dinamo tacométrica	Analógica
	Encoder	Digital
	Detector inductivo	Digital
	Servo-inclinómetros	A/D
RVDT	Analógica	
Aceleración	Acelerómetro	Analógico
Fuerza y par (deformación)	Galga extensiométrica	Analógico
	Triaxiales	A/D
Presión	Membranas	Analógica
	Piezoeléctricos	Analógica
	Manómetros Digitales	Digital
Caudal	Turbina	Analógica
	Magnético	Analógica
Temperatura	Termopar	Analógica
	RTD	Analógica
	Termistor	Analógica
	Bimetal - Termostato	I/O
Sensores de presencia	Inductivos	I/O
	Capacitivos	I/O
	Ópticos	I/O y Analógica
	Sensor capacitivo	Analógica
	Sensor inductivo	Analógica
	Sensor fotoeléctrico	Analógica
Sensor de luz	fotodiodo	Analógica
	Fotorresistencia	Analógica
	Fototransistor	Analógica
	Célula fotoeléctrica	Analógica

Figura 47 Tipos de sensores

Fuente: (Tipos de sensores, 2014)

A continuación se describirán algunos tipos de los sensores más comunes según las magnitudes físicas a medir en el banco de pruebas

2.5.5.1 Potenciómetro

Un potenciómetro es una resistencia variable que limitan el paso de la corriente eléctrica provocando una caída de tensión en ellos al igual que en una resistencia viene expresado en ohmios (símbolo Ω) permitiendo controlar la intensidad de corriente a lo largo de un circuito conectándolo en paralelo o la caída de tensión al conectarlo en serie. Según la ley de variación de la resistencia $R = \rho(\theta)$, los potenciómetros pueden ser:

- **Lineales:** La resistencia es proporcional al ángulo de giro.
- **Logarítmicos:** La resistencia depende logarítmicamente del ángulo de giro.
- **Senoidales:** La resistencia es proporcional al seno del ángulo de giro.

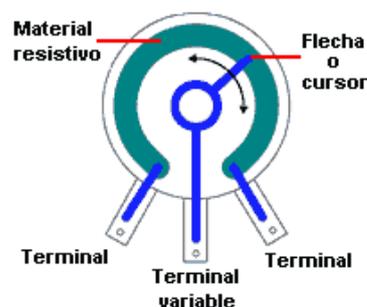


Figura 48 Potenciómetro

Fuente: (unicrom, 2014)

2.5.5.2 Sensor de Efecto Hall

Un sensor de efecto hall consiste en la producción de una caída de voltaje a través de un conductor o semiconductor con corriente, bajo la influencia de un campo magnético externo. Para esto es necesario que la dirección del

campo magnético sea perpendicular a la dirección de flujo de la corriente. El campo magnético transversal ejerce una fuerza desviadora sobre el conductor o semiconductor. Esta fuerza causa la desviación de los portadores de carga que se mueven a través del material. Como resultado, aparece una diferencia de potencial V_{xy} (denominada voltaje de Hall) entre los extremos del conductor. Este voltaje es proporcional a la intensidad del campo magnético aplicado y su polaridad depende del signo de los portadores de carga.

El efecto Hall se presenta en conductores y en semiconductores. Las diferencias de potencial producidas en tiras metálicas son muy pequeñas, siendo a menudo enmascaradas por el ruido. Por esto, los dispositivos comerciales usan materiales semiconductores especiales, donde el efecto Hall es más notable. En estos casos, el elemento básico es generalmente una tira de arseniuro de galio (GaAs) o de indio (InAs) la cual, cuando se polariza mediante una corriente constante y se sumerge en un campo magnético transversal a su superficie, genera un voltaje proporcional a la intensidad del campo, este voltaje es reforzado por un amplificador operacional incorporado en el dispositivo y se procesa para proporcionar una señal de salida útil. (Murdocca, s.f.).

Las aplicaciones más importantes de estos dispositivos encontramos la medición de corriente. Para corrientes elevadas se puede conectar el sensor como se ve en literal a de la Figura 49, en el caso de querer mejorar la sensibilidad podemos usar un núcleo de toroide, como en el literal b la Figura 49.

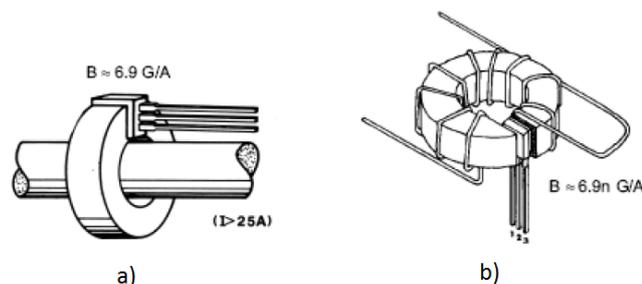


Figura 49 Medición de corriente con sensor de efecto Hall

Fuente: (Murdocca, s.f.)

2.5.5.3 Galga extensiométrica

Las galgas extensiométricas son utilizadas en diversas aplicaciones a nivel industrial, de investigación en ingeniería y en todos los campos donde se requieran mediciones precisas de fuerza. Esas mediciones pueden ser de tres tipos:

- Estáticas: las referidas a soportes y estructuras resistentes sometidas a cargas fijas.
- Mixtas: cuando se realizan sobre soportes y estructuras sometidas a la acción de cargas de variación rápida.
- Dinámicas: realizadas sobre acciones de variación rápida, fenómenos de vibración, impacto, etc.

Su principio de funcionamiento se basa en el efecto piezo resistivo de metales y semiconductores, según el cual, su resistividad varía en función de la deformación a la que están sometidos, el material de que está hecho y el diseño adoptado. Si se considera un hilo metálico de longitud l , sección transversal A y resistividad ρ , su resistencia eléctrica R es:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad \text{Ecuación 2.20}$$

Si se le somete a un esfuerzo en dirección longitudinal, cada una de las tres magnitudes que intervienen en el valor de R cambia, por tanto el cambio de R se puede expresar como:

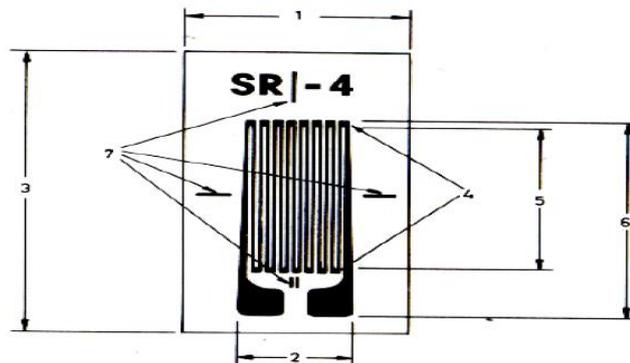
$$dR = \frac{A(\rho dl + l d\rho) - \rho l dA}{A^2} \quad \text{Ecuación 2.21}$$

El cambio en resistencia de un medidor de deformación por lo general se expresa en términos de un parámetro determinado por el fabricante empíricamente llamado factor de galga, GF expresado como:

$$GF = \frac{\partial R}{R \epsilon} \quad \text{Ecuación 2.22}$$

La construcción típica de un medidor de deformación metálico como se muestra en la Figura 2.49, muestra un patrón de hoja metálica que se forma por el procedimiento de fotograbado de una película que previamente ha sido montada en una base plástica de resina flexible. Un medidor típico tiene un factor de calibración entre 2.0 y 2.2, una resistencia sin deformación de $120 \pm 1 \Omega$, una linealidad dentro de $\pm 0.3\%$, la deformación máxima por tensión de $+ 2 \times 10^{-2}$, una deformación máxima por compresión de -1×10^{-2} y una temperatura máxima de operación de $150 \text{ }^\circ\text{C}$.

El cambio en la resistencia a la deformación máxima por tensión es $\Delta R = +4.8 \Omega$ y $\Delta R = -2.4 \Omega$ a la deformación máxima por compresión. Se especifica una corriente máxima de calibración de 15mA a 100mA, según el área con el fin de evitar efectos de auto calentamiento. (Álzate & Montes, 2007)



1 Ancho del soporte; 2 Ancho de la galga; 3 Longitud del soporte;
4 Extremos ensanchados; 5 Longitud activa; 6 Longitud total de la galga;
7 Marcas de alineación

Figura 50 Parámetros de una galga impresa

Fuente: (Álzate & Montes, 2007)

Las mediciones de carga requieren detectar cambios muy pequeños de resistencia, el circuito de puente Wheatstone se usa predominantemente. La forma habitual de obtener una señal eléctrica como resultado de una medida empleando un puente de Wheatstone, es mediante el método de deflexión.

En éste método, se mide la diferencia de voltaje entre ambas ramas o la corriente a través de un detector dispuesto en el brazo central.

Existen tres tipos de montajes básicos: con una, dos y cuatro galgas. El uso de múltiples medidores permite compensar los efectos no deseados, como componentes de temperatura y deformaciones específicas. En el circuito puente de la Figura 51 las cuatro resistencias representan medidores de deformación activos, la salida V_d está dada por:

$$V_d = V \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right)$$

Ecuación 2.23

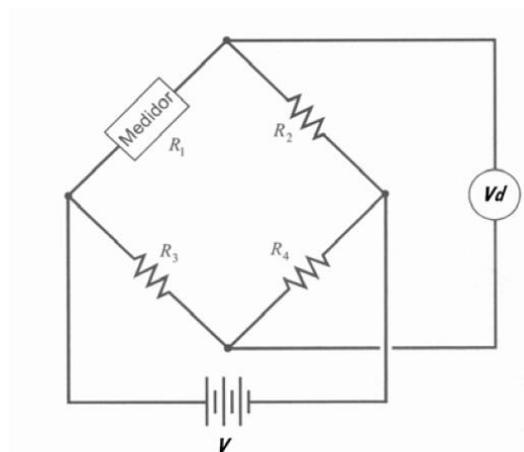


Figura 51 Puente de medida con una galga
Fuente: (Álzate & Montes, 2007)

2.5.5.4 Termistor

Un termistor es un sensor resistivo de temperatura que funciona mediante la variación de la resistencia de un semiconductor con la temperatura, se fabrican a partir de óxidos semiconductores como el óxido férrico, el óxido de níquel, o el óxido de cobalto. La curva de la variación de la resistencia es de tipo hiperbólica y sus relaciones están dadas por:

$$R_T = A \times e^{\frac{B}{T}}$$

Ecuación 2.24

$$A = R_0 \times e^{\frac{-B}{T_0}}$$

Ecuación 2.25

Donde:

- R_T es la resistencia del termistor a la temperatura T (K)
- R_0 es la resistencia del termistor a la temperatura de referencia T_0 (K)
- B es la temperatura característica del material, entre 2000 K y 5000 K

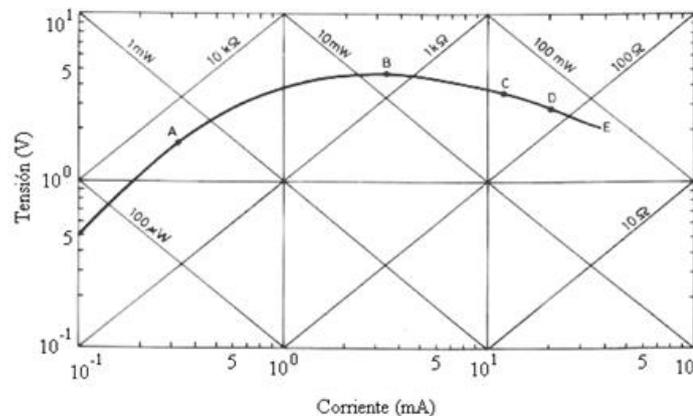


Figura 52 Relación tensión – corriente de un termistor NTC

Fuente: (Wikipedia, 2014)

2.5.5.5 Termopar

Se fundamentan en el efecto Seebeck que es cuando la unión de dos materiales diferentes se encuentran a una temperatura diferente a la del ambiente por ellos circula una corriente. Para medir el voltaje de Seebeck en un termopar no puede conectar de manera directa a un voltímetro u otro sistema de medición, debido a que la conexión de los cables del termopar con el sistema de medición crea circuitos termoeléctricos adicionales.

En la Figura 53 los dos cables del termopar están conectados a los cables de cobre que van hacia el dispositivo de adquisición de datos produciendo tres uniones diferentes J1, J2 y J3. J1, esto genera un voltaje de Seebeck proporcional a la temperatura en la llama de la vela J2 y J3 poseen

individualmente su propio coeficiente de Seebeck y generan su propio voltaje termoeléctrico que es proporcional a la temperatura de los terminales de adquisición de datos.

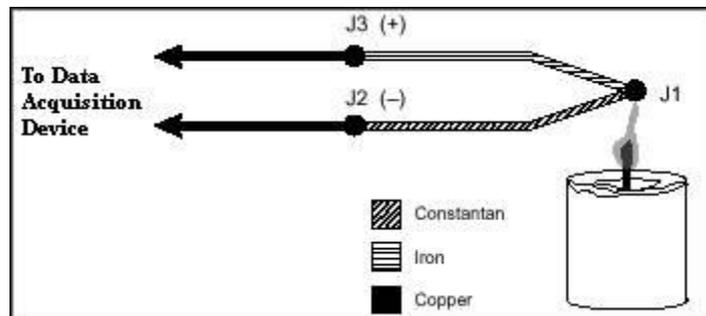


Figura 53 Termopar Tipo J

Fuente: (National Instruments, 2013)

Para determinar la contribución en el voltaje por J1, se requiere conocer las temperaturas de las uniones J2 y J3 así como las relaciones voltaje-a-temperatura de estas uniones. Entonces se podrá sustraer las contribuciones de las uniones parásitas J2 y J3 del voltaje medido para la unión J1.

Las termopares requieren alguna forma de temperatura de referencia para compensar las uniones en “frío” parásitas no deseadas. El método más común es medir la temperatura en la unión de referencia con un sensor de temperatura de lectura directa y sustraer las contribuciones de voltaje de las uniones parásitas. Este proceso se denomina compensación por unión-en-frío. (National Instruments, 2013).

Se podrán realizar las compensaciones por juntas frías mediante hardware o software, siendo estas últimas más exactas y más sencillas de realizar según los requerimientos específicos de las mediciones realizadas.

2.5.5.6 Inductivos

Los sensores inductivos de proximidad están diseñados para trabajar generando un campo magnético y detectando las pérdidas de corriente de dicho campo generadas al introducirse en él los objetos de detección

metálicos y no metálicos. El sensor consiste en una bobina con núcleo de ferrita, un oscilador, un sensor de nivel de disparo de la señal y un circuito de salida. Al aproximarse un objeto, se inducen corrientes de histéresis en el objeto, debido a ello hay una pérdida de energía y una menor amplitud de oscilación.

El circuito sensor reconoce entonces un cambio específico de amplitud y genera una señal que conmuta la salida de estado sólido o la posición "ON" y "OFF". El funcionamiento es similar al sensor capacitivo; la bobina detecta el objeto cuando se produce un cambio en el campo electromagnético y envía la señal al oscilador, luego se activa el disparador y finalmente al circuito de salida hace la transición entre abierto o cerrado. (Sensores de proximidad, s.f.)

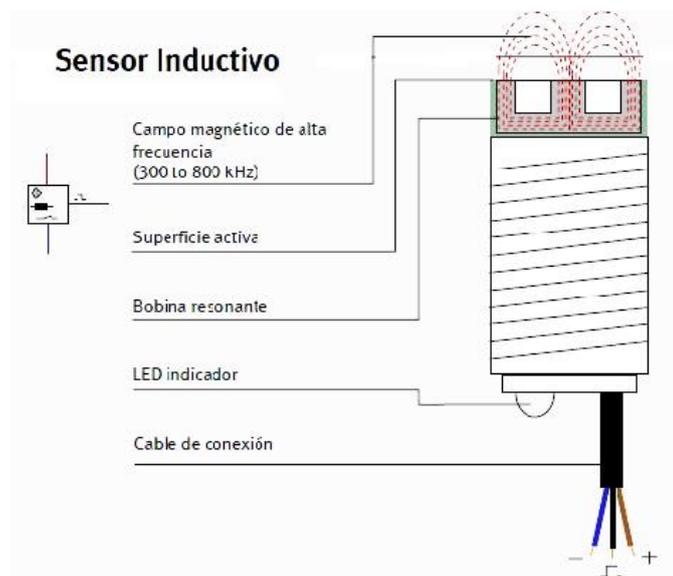


Figura 54 Partes sensor inductivo
Fuente: (Sensores de proximidad, s.f.)

Diferencia entre PNP y NPN

La diferencia entre ambos está marcada por el diseño de su circuito interno y el tipo de transmisor utilizado

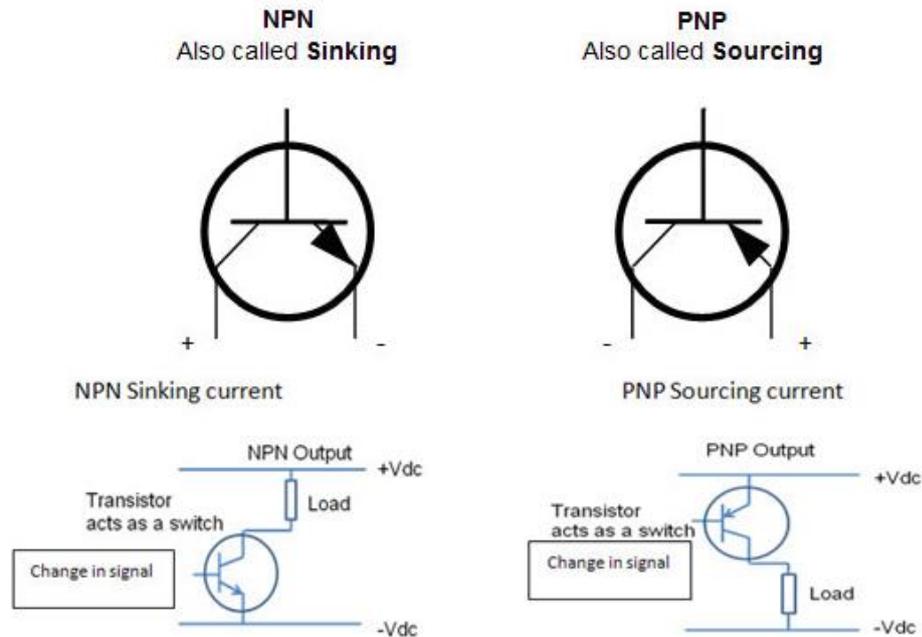


Figura 55 Circuito interno NPN y PNP

Fuente: (Info PLC, 2014)

2.5.6 Acondicionamiento de señales

Las señales de los sensores o del mundo exterior pueden ser ruidosas o demasiado peligrosas para medirse directamente. El circuito de acondicionamiento de señales manipula una señal de tal forma que es apropiado para entrada a un ADC. Este circuito puede incluir amplificación, atenuación, filtrado y aislamiento. Algunos dispositivos DAQ incluyen acondicionamiento de señales integrado diseñado para medir tipos específicos de sensores.

2.5.6.1 Convertidor analógico-digital (ADC).

Las señales analógicas de los sensores deben ser convertidas en digitales antes de ser manipuladas por el equipo digital como una PC. Un ADC es un chip que proporciona una representación digital de una señal analógica en un instante de tiempo. En la práctica, las señales analógicas varían continuamente con el tiempo y un ADC realiza muestras periódicas de la señal

a una razón predefinida. Estas muestras son transferidas a una PC a través de un bus, donde la señal original es reconstruida desde las muestras en software.

2.5.6.2 Digitalización de señales analógicas.

Digitalizar significa convertir una señal analógica a un formato digital con el fin de que esta señal sea procesada por circuitos digitales. El circuito digital más usado es el computador. A diferencia de su contraparte analógica, la señal digital no pierde su calidad con múltiples transmisiones, reproducciones o procesamientos.

El Proceso de digitalización es la transcripción de señales analógicas en señales digitales y que la señal resultante (la digital) no tenga alteraciones como el ruido o la exposición a campos magnéticos y otras interferencias a las que son más sensibles las señales analógicas.

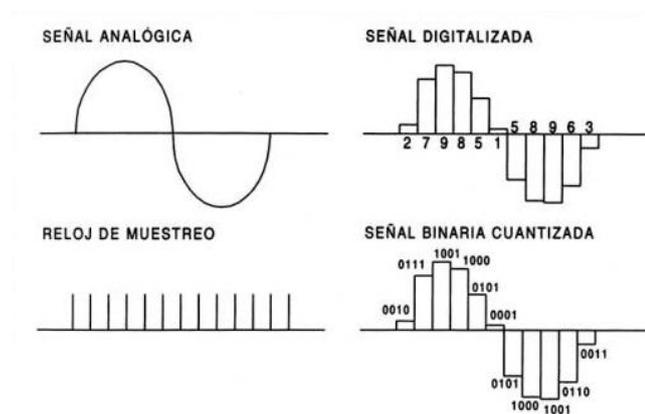


Figura 56 Conversión Analógica/Digital

Fuente: (Hardside, 2013)

2.5.6.3 Tasa de muestreo

Para convertir una señal analógica en digital, el primer paso consiste en realizar un muestreo de ésta, o lo que es igual, tomar diferentes muestras de

tensiones o voltajes en diferentes puntos de la onda senoidal. La frecuencia a la que se realiza el muestreo se denomina razón, tasa o también frecuencia de muestreo y se mide en kilo Hertz (kHz). A mayor cantidad de muestras tomadas, mayor calidad y fidelidad tendrá la señal digital resultante.

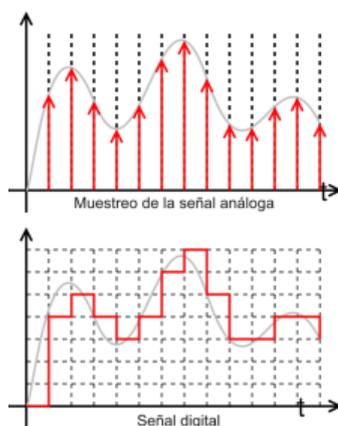


Figura 57 Muestra analógica

Fuente: (villasana, 2013)

2.5.6.4 Filtrado de señales

Las señales eléctricas que se desean medir tienden en su gran mayoría a incorporar ruidos eléctricos ya sea por las radiofrecuencias o por los dispositivos eléctricos que se encuentren alrededor así como también las frecuencias de la red pública que oscilan entre 50 Hz o 60 Hz, es por eso que se necesitan de dispositivos electrónicos que rechazan señales dentro de un rango específico de diseño, a continuación en la Figura 58 se muestra una clasificación de los diferentes tipos de filtros.

Segun su ganancia	Segun su frecuencia	Segun su diseño	Segun su aplicacion
<ul style="list-style-type: none"> • Pasivos (Resistencias, capacitores) • Activos (AMP OP) 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro paso bajo • Filtro paso alto • Filtro pasa banda • Filtro elimina banda 	<ul style="list-style-type: none"> • Butterworth • Chebyshev I y II • Cauer • Bessel 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro de red • Filtro piezoelectrico • Filtro atomico

Figura 58 Clasificación de filtros electrónicos

2.5.6.5 Amplificación de señales

Las señales a medir llevan consigo información que varían en un rango continuo de valores durante el tiempo que ocurra el fenómeno. Los amplificadores de señal son circuitos que transmiten o reproducen esta señal ya sea de manera lineal cuando su salida es proporcional a la entrada aumentando su magnitud sin distorsionar ninguna otra característica de la señal y es no lineal cuando la salida está relacionada con la entrada pero sin ser proporcional a la misma.

2.5.7 Adquisición de datos (DAQ)

Un DAQ es un interfaz entre una PC y señales del mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas. Los tres componentes clave de un dispositivo DAQ usado para medir una señal son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC. Varios dispositivos DAQ incluyen otras funciones para automatizar sistemas de medidas y procesos. Por ejemplo, los convertidores digitales-analógicos (DAC) envían señales analógicas, las líneas de E/S digital reciben y envían señales digitales y los contadores/temporizadores cuentan y generan pulsos digitales.

Los sistemas de adquisición de datos son procesos utilizados para recopilar, documentar o analizar un proceso industrial. Este tipo de proceso se ha simplificado y hecho más preciso, versátil y fiable a través de equipos electrónicos. Los parámetros definidos de una aplicación determinarán las necesidades de resolución, exactitud, número de canales y la velocidad de un sistema de adquisición de datos. Algunos términos comunes en la adquisición de datos se muestran a continuación.

Digital Input/Output (DIO): Se refiere a un tipo de señal de adquisición de datos. Digital I/O son señales discretas, que son uno de los dos estados.

Estos estados pueden ser de encendido/apagado, alto/bajo I/O, etc. Digital I/O también se les conoce como binarios I/O.

Entrada Simple (SE): Es la forma en que el cable de la señal es conectado a un dispositivo de adquisición de datos. Con una sola terminal de cableado, cada entrada analógica tiene una conexión, pero todos los canales comparten una conexión a tierra común. Los dispositivos de adquisición de datos tiene o entradas simples o entradas diferencial, muchos aceptan ambas configuraciones.

Entradas Diferenciales: Se refieren a la forma en que el cable de la señal es conectado a un dispositivo de adquisición de datos. Entradas diferentes tienen una conexión positiva y negativa para cada canal. Los dispositivos de adquisición de datos o bien tiene entradas simples o diferenciales, muchos dispositivos soportan ambas configuraciones.

Resolución: La señal más pequeña de incremento que puede ser detectada por un sistema de adquisición de datos.

RS232: Es un estándar para una serie de comunicaciones. Encontrando en muchos sistemas de adquisición de datos. RS232 es la comunicación más común, sin embargo, está algo limitada, ya que sólo permite la comunicación a un dispositivo, conectado al bus, a la vez se especifica para distancias de transmisión de hasta 15 metros, aunque en la práctica muchas aplicaciones trabajan a distancias mucho más largas.

RS485: Un estándar para una serie de comunicaciones que se encuentran en muchos sistemas de adquisición de datos, RS485 no es tan popular como el anterior, sin embargo, es ,as flexible ya que permite la comunicación con un máximo de 32 dispositivo en el bus a la vez y distancias de aproximadamente 1500 metros.

Frecuencia de muestreo: Es la velocidad con la que un sistema de adquisición de datos recoge los datos. La velocidad se expresa normalmente en muestras por segundo. Para los dispositivos multi-canal de adquisición de datos, la frecuencia de muestreo se da típicamente como la velocidad del convertidos analógico-digital (A/D). Para obtener una frecuencia de muestreo individual del canal, es necesario dividir la velocidad de la A/D por el número de canales que se muestra.

2.5.7.1 PC en un Sistema DAQ

Una PC con software programable controla la operación del dispositivo DAQ y es usada para procesar, visualizar y almacenar datos de medida. Diferentes tipos de PC son usadas en diferentes tipos de aplicaciones. Una PC de escritorio se puede utilizar en un laboratorio por su poder de procesamiento, una laptop se puede utilizar por su portabilidad o una PC industrial se puede utilizar en una planta de producción por su robustez.

Software Controlador: El software controlador ofrece al software de aplicación la habilidad de interactuar con un dispositivo DAQ. Simplifica la comunicación con el dispositivo DAQ al abstraer comandos de hardware de bajo nivel y programación a nivel de registro. Generalmente, el software controlador DAQ expone una interfaz de programación de aplicaciones (API) que es usada en un entorno de programación para construir software de aplicación.

Software de Aplicación: El software de aplicación facilita la interacción entre la PC y el usuario para adquirir, analizar y presentar datos de medidas. Puede ser una aplicación pre-construida con funcionalidad predefinida o un entorno de programación para construir aplicaciones con funcionalidad personalizada.

Las aplicaciones personalizadas generalmente son usadas para automatizar múltiples funciones de un dispositivo DAQ, realizar algoritmos de procesamiento de señales y mostrar interfaces de usuario personalizadas.

Usos: En la industria es innumerables las aplicaciones está relacionada con aplicaciones que tengan que ver con la automatización industrial y las investigaciones que incluyan señales digitales para ser visualizadas y controladas en respuestas a cambios en la investigación científica, el control de máquinas y de producción, la detección de fallas y el control de calidad entre otras aplicaciones, también parámetros como válvulas, ventiladores, lámparas, relés, solenoides, etc.

Beneficios: Flexibilidad de procesamiento por lo cual posibilita realiza las tareas en tiempo real o en análisis posteriores a fin de analizar los posibles errores, con gran capacidad de almacenamiento, rápido acceso a la información y toma de decisión, se adquieren gran cantidad de datos para poder analizar. Tiene la posibilidad de emular una gran cantidad de dispositivos de medición y activar varios instrumentos al mismo tiempo y gran facilidad de automatización. Se utiliza en la industria, la investigación científica, el control de máquinas y de producción, la detección de fallas y el control de calidad entre otras aplicaciones. Los ordenadores únicamente procesan información de tipo digital, es decir, tanto las señales que puede recibir del exterior (de los sensores) como las que puede enviar hacia el exterior (HMI).

CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

3.1 Estado actual del banco de pruebas PLINT TE-16

El banco de Pruebas PLINT TE-16, que se muestran en la Figura 59 se encuentra en estado operativo e instalado en el laboratorio de motores del DECEM. El Banco de Pruebas se adquirió para uso y beneficio de la comunidad politécnica con fines didácticos.

Como se puede observar en la Figura 59 existe un aplastamiento ocasionado por la mala operación de los estudiantes, cabe señalar que no es un problema grave ya que no afecta en la adquisición de datos de la práctica de laboratorio: “Desempeño de un motor diésel a velocidad constante”.



Figura 59 Ubicación Banco de Pruebas PLINT TE-16

Se podrá tener una mejor información del estado actual del equipo realizando un levantamiento técnico adecuado. El levantamiento técnico del equipo se divide según el funcionamiento de sus componentes, es decir la parte mecánica, eléctrica y térmica.

Se realizó una primera división en sistemas y dentro de cada sistema sus partes involucradas como se indica en la Figura 60.

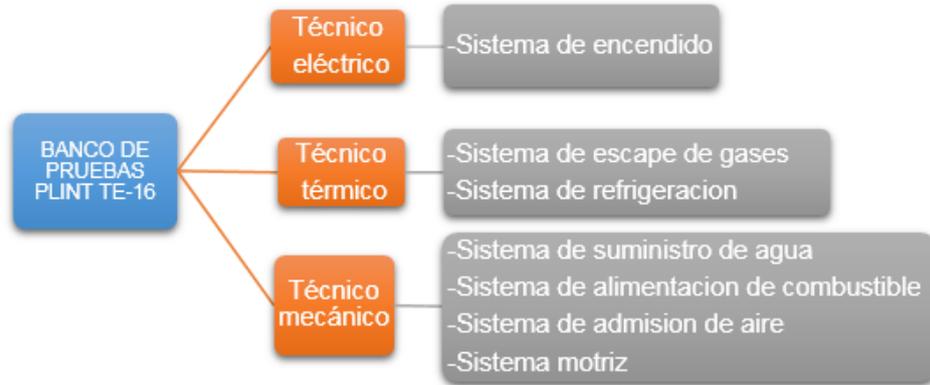


Figura 60 Levantamiento Técnico

De manera general se muestra en el Cuadro 1 una breve descripción de las características del equipo:

Cuadro 1

Descripción del equipo

BANCO DE PRUEBAS PLINT TE-16	
Marca	PLINT
Modelo	5234
Voltaje	220 DC
Refrigerante	Agua
Combustible	Diésel
Frecuencia	60 Hz
Numero de cilindros	2
Ciclo	4 tiempos
Fabricante	PLINT & PARTNERS LTD.
País	Inglaterra

Fuente: (Laboratorio de Motores DECEM, 2014)

3.1.1 Levantamiento Técnico Mecánico

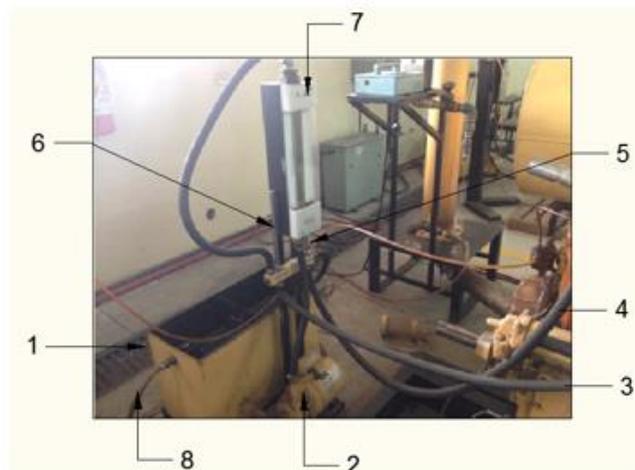
Para su estudio y análisis lo podemos dividir en los siguientes subsistemas:

3.1.1.1 Sistema de suministro de agua

Dentro de este sistema existe una parte mecánica que involucra exclusivamente a la bomba de agua instalada la misma que se encarga de entregar un flujo continuo del líquido refrigerante y mantener en óptimas condiciones el sistema.

El equipo consta de un sistema de refrigeración por agua tipo abierto como se puede observar en la Figura 61, como agente refrigerante en un sistema abierto, es decir no existe presión interna dentro del motor.

El tanque de reserva utiliza una bomba eléctrica de 0.5 HP de potencia para iniciar la circulación por el sistema. La bomba está conectada directamente a la red eléctrica y no posee ningún sistema de arranque. El caudal es regulado mediante una válvula de paso y la cual incorpora un flujómetro que permite regular la cantidad de agua que ingresa al sistema



1. Tanque de reserva de agua; 2. Bomba de agua; 3. Entrada de agua al motor;
4. Salida de agua del motor; 5. Termómetro de mercurio 1; 6. Termómetro de mercurio 2;
7. Flujómetro; 8. Suministro de red de agua

Figura 61 Sistema de refrigeración

Este sistema toma agua directamente de la red lo almacena en un tanque de reserva mediante una bomba hidráulica marca STUART (ver Cuadro 2) nos da el flujo necesario de agua que el motor necesita para el correcto

funcionamiento del sistema de refrigeración, regresa al tanque de agua e inicia el ciclo nuevamente.

Cuadro 2

Datos técnicos Bomba Hidráulica

ESPECIFICACIONES BOMBA DE AGUA	
Fabricante	Stuart Turner
Caudal máximo	125 L/min – 0.0020833 m ³ /s
Altura Manométrica	14 m.
Entrada	1 in.
Salida	1 in.
Voltaje	110/115 V.
Amperaje	7.2 A
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	3450 rpm.

Fuente: (Laboratorio de Motores DECEM, 2014)

Cálculo del máximo caudal de entrada de agua

$$P_b = \delta \times g \times H_b \times Q$$

Ecuación 3.1

Donde:

$$P_b = \text{Potencia bomba [HP]}$$

$$\delta = \text{densidad del agua } \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$g = \text{aceleracion de la gravedad } \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$H_b = \text{altura manométrica [m]}$$

$$Q = \text{Caudal } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$P_b = 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 14 m \times 0.0020833 \frac{m^3}{s}$$

$$P_b = 285.83 W = 0.383 HP$$

$$P_{real} = \frac{P_b}{\% \text{ eficiencia}}$$

Ecuación 3.2

$$P_{real} = \frac{0.383}{\% \text{ eficiencia}}$$

$$P_{real} = 0.45 \text{ HP} \rightarrow \text{inmediato superior} = \mathbf{0.5 \text{ HP}}$$

$$Q_{max} = \frac{P_b}{\delta \times g \times H_b} = \frac{0.5 \times 746}{1000 \times 9.81 \times 14} = 0.002716 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{max} = \mathbf{162.95 \frac{L}{min}}$$

Teóricamente el máximo caudal que ofrece la bomba estaría por los 163 L/min, siendo esta capacidad no utilizada ya que el sistema solo necesita un máximo de 30 L/min y el caudal máximo de operación del sistema de enfriamiento del banco de pruebas está alrededor de **6 L/min a 10 L/min**.

3.1.1.2 Sistema de alimentación de combustible:

Un tanque de 27 litros de capacidad está situado al costado del banco de pruebas el cual mediante un juego de válvulas y con la ayuda de la gravedad alimenta con diésel la línea hacia la bomba y posteriormente a los inyectores.

El sistema incorpora un dispositivo de medición de consumo de combustible graduado entre 50, 100 y 200 cm³.



Figura 62 Tanque de combustible

Se tienen dos etapas:

Baja presión: Donde el diésel llega desde el tanque de combustible al filtro y su presión es igual a la atmosférica (563 mm Hg), se puede calcular la velocidad de salida del combustible y su caudal mediante:

$$V_{bp} = \sqrt{2 \times g \times h_1} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde:

V_{bp} = velocidad de salida de combustible a baja presión [m/s]

h_1 = altura de descarga [m]

$$V_{bp} = \sqrt{2 \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.3 m}$$

$$V_{bp} = 2.426 \frac{m}{s}$$

$$Q_{bp} = A \times V_{bp} = \pi r_1^2 \times V_{bp} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Donde:

Q_{bp} = Caudal a baja presión

r_1 = radio orificio de descarga

$$Q_{bp} = \pi \times (0.004 m)^2 \times 2.426 \frac{m}{s} = 7.29 \frac{L}{min}$$

Alta presión: Según los datos técnicos entregados por el laboratorio de motores la presión máxima de inyección está alrededor de los **0,904 psi**.

3.1.1.3 Sistema de admisión de aire

El banco de pruebas PLINT TE-16 tiene en su sistema de admisión de aire un múltiple de admisión como se muestra en la Figura 63, es decir toma aire a presión atmosférica y lo lleva a cada una de las 2 cámaras de combustión internas. Incorpora un dispositivo de placa orificio al inicio del proceso y nos permite medir la caída de presión que el motor produce al momento de trabajar a diferentes revoluciones mediante un manómetro inclinado que tiene un

rango de 0 a 75 mm H₂O el cual nos permite tomar la presión diferencial que existe entre 2 puntos.



Figura 63 Sistema de admisión de aire

Cálculo del consumo de aire: El consumo de aire ideal los podemos calcular mediante la ecuación 2.20, por otra parte para un motor a diésel que trabaje a capacidad moderada se tiene que el consumo de aire real está dado por la ecuación 2.11. Los datos se muestran en la Tabla 1.

$$\dot{m}a_i = V_D \times \rho_{aire}$$

Ecuación 2.20

Donde:

$\dot{m}a_i$ = Flujo másico ideal de aire

$$\rho_{aire} @2800 m = 0.928 \frac{Kg}{m^3}$$

Se tiene:

$$\dot{m}a_i = V_D \times \rho_{aire} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L \times \frac{N}{60 \times K_2} \times \rho_{aire}$$

$$\dot{m}a_i = \frac{\pi \times 0.0968^2}{4} \times 0.11 \times \frac{400}{60 \times 1} \times 0.928$$

$$\dot{m}a_i = 5.008 \times 10^{-3} \left[\frac{Kg}{s} \right] = 18.03 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

Tabla 1

Flujo másico ideal del sistema de admisión aire

Rev./min	Flujo másico ideal Kg/h	Flujo másico ideal L/ min
400	18,03	232,94
1000	45,07	582,36
1250	56,34	727,95
1500	67,61	873,54
1750	78,88	1019,13
2000	90,15	1164,72
2250	101,42	1310,31
2500	112,69	1455,90
2750	123,96	1601,49
3000	*135,22	1747,08

* Dato obtenido a una velocidad de 3000 rpm

Para obtener un mejor análisis de debe comparar con el caudal másico real que puede ser calculado a partir de los valores de caída de presión obtenidos en el laboratorio, mediante la ecuación 2.11.

Los datos calculados se presentan en la Tabla 2.

Ejemplo:

$$\dot{m}_{a_r} = \frac{\pi \times (0.039 \text{ m})^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \frac{\text{N/m}^2}{\text{mmH}_2\text{O}} \times 12 \text{ mmH}_2\text{O} \times 75060.5 \text{ Pa}}{287 \frac{\text{Nm}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}} \times 293^\circ\text{K}}}$$

$$\dot{m}_{a_r} = 1.0718 \times 10^{-2} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{m}_{a_r} = 38.65 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right]$$

Tabla 2

Caída de presión

Rev./min	*Caída de presión h_0 mm H_2O	** Flujo másico real Kg/h
1036	12	38,65
1227	15,5	43,93
1403	21	51,13
1540	25	55,79
1641	29	60,09
1764	32	63,12
1882	35	66,01
1981	38	68,78

*Datos obtenidos en Laboratorio.

** Valores calculados a partir de la ecuación 2.11.

Cálculo de la caída de presión: El nuevo cálculo de la caída de presión a partir del flujo másico real nos permitirá seleccionar los rangos específicos de operación del equipo, como se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Valores referenciales para la caída de presión

RPM	\dot{m}_{a_i} Kg/h	\dot{m}_{a_r} Kg/h	Caída de presión ideal mm H_2O	Caída de presión ideal P_a
1036	46,70	38,65	17,51	171,71
1227	55,31	43,93	24,57	240,95
1403	63,24	51,13	32,12	314,99
1540	69,41	55,79	38,70	379,52
1641	73,97	60,09	43,94	430,90
1764	79,51	63,12	50,78	497,98
1882	84,83	66,01	57,80	566,82
1981	89,29	68,78	64,04	628,02
2250	101,42	76.31	82,61	810,13
2500	112,69	83.33	101,99	1000,18
2750	123,96	90.35	123,41	1210,24
3000	135,22	97.36	146,87	1440,30

*A partir de las 2250 revoluciones por minuto los valores de flujo másico de aire se obtuvieron a partir de extrapolaciones, es decir a 3000 rpm obtuvimos un valor de 1440,3 pascales

3.1.1.4 Sistema Motriz

Las características del sistema motriz del Banco de Pruebas PLINT TE-16 se detallan a continuación según el Cuadro 3.

Cuadro 3

Datos Técnicos motor diésel

MOTOR DIÉSEL BANCO DE PRUEBAS PLINT TE-16	
Marca	PETTER
Motor	Bi cilíndrico de 4 tiempos
Posición de las Válvulas	En cabezote
Diámetro	96,8 mm
Carrera	110 mm
Volumen Total	1620,2 cm ³
Relación de Comprensión	17,5 :1
Sentido de Rotación del Motor	Dextrógiro al volante
Velocidad máxima recomendada	3000 RPM
Potencia máxima al freno:	5 BHP a 1000 RPM
	8,5 BHP a 1500 RPM
	10 BHP a 1800 RPM
	11,25 BHP a 2000 RPM
	13.25 BHP a 2500 RPM
	15 BHP a 3000 RPM
Calibración de Válvulas	0,25 mm con motor frío
Presión de inyección del combustible	2850/3150 lbs./in ²
Presión de aceite de lubricación	2,81 kg-f./in ²
Volumen de aceite de lubricación	6,5 litros

Fuente: (Laboratorio de Motores DECEM, 2014)

Velocidad del eje motriz: El banco de pruebas tiene acoplado un sensor tipo inductivo que mide las revoluciones por minuto del eje motriz y envía su señal a un contador de revoluciones analógico como se muestra en la Figura 64.



Figura 64 Sensor de revoluciones

Aceleración del motor: Para la regulación de la aceleración tiene una cremallera semicircular dentada con un total de 26 posiciones o dientes, la cual se gradúa mediante una palanca y resorte como lo indica la Figura 65.



Figura 65 Acelerador manual

En la posición inicial o cero el motor se encuentra en ralentí, al ir incrementando su posición hacia la izquierda el resorte incrementa el paso del combustible en la bomba de inyección de alta presión y así aumenta la velocidad del eje motriz quemando mayor cantidad de combustible en menor tiempo. Si se desea tener una velocidad constante con una mayor aceleración se debe aplicar el freno al eje motriz mediante el dinamómetro eléctrico conectando las resistencias eléctricas que incorpora el sistema, siendo estas un total de 15 más una resistencia variable que nos permitirá variar el valor

con una mejor precisión y acercarnos al valor de velocidad de prueba que se necesite.

Fuerza del eje motriz: El sistema incorpora una balanza de resorte graduada en Newton que nos permite visualizar la fuerza generada por el eje a determinadas revoluciones por minuto como se muestra en la Figura 66.



Figura 66 Dinamómetro

Torque del motor: El torque que genera el banco de pruebas está dado por la fuerza medida por el dinamómetro instalado y el brazo de palanca. Se puede calcular la máxima fuerza generada por el dinamómetro eléctrico a partir de la máxima potencia al freno del equipo (22 [KW] @ 3000 RPM) con la ecuación 2.2 de la siguiente manera:

$$P_f = T_q \times W$$

$$T_q = \frac{P_f}{W} = \frac{22 \text{ KW}}{3000 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}}}$$

$$T_q = 70.03 \text{ N.m}$$

$$T_q = F \times r_p$$

$$F = \frac{T_q}{r_p} = \frac{70.03 \text{ N.m}}{0.318 \text{ m}} = 220.22 \text{ N}$$

Se debe determinar la frecuencia de la lectura máxima, es decir:

$$\omega = 2 \times \pi \times f$$

Ecuación 2.21

Donde:

$$\omega = \text{velocidad angular [rev/min]}$$

$$f = \text{frecuencia [Hz]}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{3600 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right] \times \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}}}{2 \times \pi \text{ rad}} = 60 \text{ Hz}$$

3.1.2 Levantamiento Técnico Térmico

El Banco de pruebas que incorpora un motor de combustión interna tiene un sistema de escape de gases, el mismo que tiene varios elementos en su composición como Dióxido de carbono, Nitrógeno, agua, etc. tal y como vimos en el capítulo anterior de la presente tesis esta mezcla de gases salen a una temperatura que está directamente relacionada con el desempeño del motor, es decir a una mayor exigencia del motor mayor será la temperatura.

3.1.2.1 Sistema de gases de escape

Este valor de temperatura de salida de gases se lo mide mediante una termocupla tipo k que a través de un pirómetro analógico se puede obtener el valor de dicho parámetro, sus valores fueron tomados en una práctica de laboratorio como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4

Temperatura de gases de escape

TEST	Velocidad R.P.M.	*Temperatura de gases de escape °C
1	1036	120
2	1227	140
3	1403	120
4	1540	140
5	1641	160
6	1764	160
7	1882	160
8	1981	170

* Valores obtenidos directamente al final del tubo de escape del equipo

3.1.2.2 Sistema de refrigeración

En este sistema tenemos 2 termómetros de mercurio para medir las temperaturas del agua involucradas, uno a la entrada de agua del motor y otro a la salida de agua del motor, en la Tabla 5 se muestran los datos registrados de estas temperaturas.

Tabla 5

Temperatura del agua

TEST	Velocidad R.P.M.	*Temperatura de entrada °C	*Temperatura de salida °C
1	1036	32	36
2	1227	35	39
3	1403	40	44
4	1540	41	46
5	1641	44	53
6	1764	46	50
7	1882	52	56
8	1981	56	61

* Valores medidos directamente de la instrumentación instalada

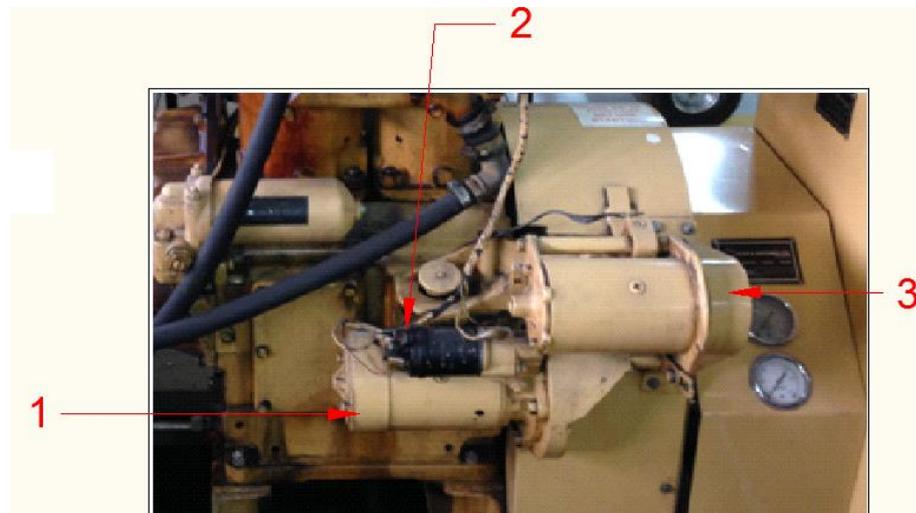
3.1.3 Levantamiento técnico eléctrico

3.1.3.1 Sistema de encendido

El banco de pruebas posee tres tipos de encendido:

Arranque por manivela: Este sistema de arranque es una opción no recomendada ya que se necesita cierta experiencia en el manejo de la manivela porque su mala operación provoca severos daños a los operarios llegando incluso a romper extremidades.

Motor de arranque: El banco de pruebas incorpora un sistema de encendido mediante un motor eléctrico de arranque que se acopla al volante de inercia del motor y transmite el movimiento necesario para iniciar la combustión por compresión del diésel. Ver Figura 67.



1. Motor de arranque; 2. Relé/Solenoide; 3. Dínamo

Figura 67 Motor de arranque

Se debe indicar que este sistema de arranque se encuentra deshabilitado que por el pasar de los años el cableado y dispositivos de control como el regulador, amperímetro y switch necesitan un mantenimiento correctivo en su totalidad, como se puede apreciar en la Figura 68.

3.2 Instrumentación instalada

El Banco de pruebas posee instrumentación analógica en su totalidad que por sus años de operación están arrojando valores fuera del rango aceptado según el historial de las prácticas del equipo obtenidas. Como se puede observar en el literal 3.1 se definió por sistemas y se designará la instrumentación según corresponda, como se indica en la Figura 70.

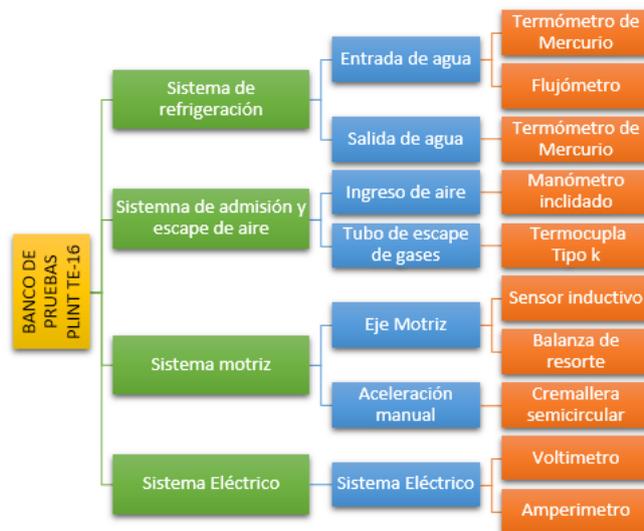


Figura 70 Instrumentación instalada

3.2.1 Termómetros de Mercurio:

Siendo un total de dos, son los encargados de medir la temperatura de entrada de agua y la temperatura de salida del agua en el sistema de refrigeración y tiene un rango de medición de 0 °C a 100°C.



Figura 71 Termómetro de Mercurio

3.2.2 Flujoímetro:

El flujoímetro instalado en el sistema es el encargado de medir la cantidad de agua que ingresa al sistema de refrigeración su rango de medida va desde los 0 L/min a 50 L/min.



Figura 72 Flujoímetro

3.2.3 Manómetro inclinado

El manómetro instalado es un TYPE 504 y permite la medición de la caída de presión que existe en la admisión de aire, su rango de medición va desde los 0 mm H_2O hasta los 75 mm H_2O , es decir apenas unos 735 Pascales.



Figura 73 Manómetro inclinado TYPE 504

3.2.4 Termocupla tipo K

La termocupla tipo k nos ayuda con la medición de la temperatura de los gases de escape y está instalada internamente en el múltiple de escape, su rango de medición va de los -200 °C a 1370°C.

3.2.5 Sensor inductivo

El sensor inductivo detecta la presencia de un objeto metálico cuidadosamente instalado a la cercanía del mismo, así cada vez que pasa por el sensor este envía una señal analógica de presencia y un tacómetro analógico muestra en pantalla el valor censado.

3.2.6 Balanza de resorte

Conectada al brazo de palanca del dinamómetro eléctrico mide la fuerza que se ejerce por la potencia al freno aplicada al motor diésel, su escala de medida está en Newton, y su apreciación es de 2 Newton.

3.2.7 Aceleración manual

Para poder acelerar el motor diésel se debe regular mediante el accionamiento de una cremallera semicircular situada al costado del banco, no existe ningún tipo de sensor que ayude a su medición.

3.2.8 Voltímetro

Instalado en el tablero de control principal como se muestra en la figura, es aquel que mide el voltaje que genera el dinamómetro eléctrico a una velocidad constante y con aceleración variable. Su rango va de 0 V. a 300 V, con una apreciación de 20 V.

3.2.9 Amperímetro:

Situado a lado derecho del voltímetro en el panel de control principal, nos indica la cantidad de resistencias eléctricas conectadas hasta un total de 15 las cuales generan un campo contra electromotriz que produce el freno a la potencia del motor diésel, su rango de medida es de 0A a 100A, con una apreciación de 5 A.



Figura 74 Voltímetro y amperímetro

3.3 Procedimiento para el encendido y toma de datos

Para poder iniciar de manera adecuada las prácticas de laboratorio se debe considerar tres pasos primordiales en el equipo: El encendido del equipo, configuración inicial y la adquisición de los datos.

3.3.1 Encendido del equipo

El equipo como cualquier banco de pruebas de laboratorio de la época tiene una serie de pasos previos para poder iniciar con su encendido, a continuación se detallan dichos procesos:

1. Verificar que la alimentación eléctrica sea la adecuada y sea constante, es decir se deberá tener corriente eléctrica durante toda la práctica y esta debe ser corriente continua debido a que la red eléctrica que se tiene en el laboratorio de motores viene de la red principal y esta es de 220 v AC, para esto pasa previamente por un transformador y luego por rectificador para que llegue al tablero de control principal del equipo.
2. Verificar que el suministro de agua de la red sea constante o a su vez prever un tanque de reserva adicional de aproximado de 27 L. debido a que por la naturaleza de la práctica y al ser un sistema de refrigeración abierto esta puede evaporarse si sale fuera de los rangos de operación permitidos.
3. Tener suficiente combustible de reserva y el tanque de alimentación lleno para la sesión completa de las prácticas.
4. Verificar la instrumentación involucrada, es decir que hayan sido calibrados y encerrados con anticipación.

5. Encender el motor mediante el tablero de control principal en la posición motor y con la palanca de arranque. (**Ver apéndice A**)

3.3.2 Configuración inicial

1. Verificar que la carga sea la mínima y que la aceleración este en la posición inicial para no forzar el arranque del motor.
2. Permitir el calentamiento del motor a baja velocidad (900 r.p.m.) se podrá verificar en el tacómetro provisto y modificar la aceleración hasta que la temperatura del agua a la entrada sea de por lo menos 50 °C, con un flujo aproximado de 1/3 del máximo medible en el rotámetro.
3. Ubique la velocidad en el valor escogido para su práctica, mediante el acelerador manual y asegurándose que la aplicación del freno es mínima, se podrá ajustar con mayor precisión mediante la resistencia variable instalada en el tablero principal.

3.3.3 Procedimiento de la toma de datos

1. Permita un funcionamiento estable manteniendo siempre la velocidad constante, registre los datos necesarios previos un funcionamiento estable del motor, en cada condición establecida, de por lo menos 8 minutos.
2. Incremente sucesivamente la aceleración; mantenga la velocidad establecida regulando el freno aplicado y repita el paso anterior.
3. Durante todo el experimento chequee que la temperatura del agua a la salida del motor no exceda de 80 °C. Regule el flujo de agua si es necesario.
4. Una vez finalizada la lectura y registro de datos, reduzca el freno y aceleración lentamente hasta llegar a las condiciones iniciales de calentamiento del motor y entregue todo el equipo al técnico encargado.

3.4 Curvas de desempeño

Los parámetros del desempeño del banco de pruebas PLINT TE-16 se los puede calcular con las fórmulas descritas en el capítulo anterior, en la Tabla 3.6 se registrarán los datos obtenidos en laboratorio. Es preciso conocer todas las constantes que son características del equipo y que nos ayudaran con los cálculos respectivos, como se muestra en el Cuadro 4.

Tabla 6

Valores obtenidos directamente en laboratorio

*# D	REVS	RPM	T (s)	F (N)	H ₀ mmH ₂ O	T (°C)	V	Amp	# Carg
6	3516	1345	158,7	24	18	127	120	5	2
9	2855	1353	127,4	50	18	139	140	15	6
11	2433	1353	106,9	80	17	150	140	25	9
12	2156	1333	97,1	100	17	170	140	30	12
13	1815	1369	79,7	130	17	190	140	40	15
17	8084	1750	277,2	23	38	220	115	7	3
18	6523	1750	223,6	65	37	240	165	15	4
19	4620	1750	158,5	136	36	400	195	28	6
20	3215	1750	110,3	220	35	570	195	45	11

*A mayor número de dientes, mayor será la aceleración a partir del punto de estabilidad

Cuadro 4

Constantes relacionadas al equipo

Datos técnicos propios del Banco de Pruebas PLINT TE-16			
Aceleración:	Variable	Relación de compresión:	17.5:1
Combustible:	Diésel	Brazo de palanca:	318 mm
Volumen de prueba:	50 cm ³	Cilindrada:	809 cm ³
Carrera:	110 mm	Constante k:	1
Diámetro:	96.8 mm	Densidad aire	0.928 Kg/m ³
Nº de cilindros:	2	Densidad diésel	850 Kg/m ³
Constante C2:	0.62	Constante C1:	9.81 $\frac{N}{m^2 \cdot mmH_2O}$
Diámetro placa orificio	39 mm	Presión atmosférica	75060.5 Pa
Calor específico diésel	43160 KJ/Kg		

Fuente: (Laboratorio de Motores DECEM, 2014)

3.4.1 Ejemplo de Cálculos

Se realizaran los cálculos respectivos tomando en cuenta los resultados del Test # 1, es decir a una velocidad de 1345 rpm, con las fórmulas descritas en el capítulo II.

3.4.1.1 Torque

$$T = F \times r_p$$

$$T = 24N \times \frac{318}{1000} m = 7.632 [Nm]$$

3.4.1.2 Potencia al freno

$$P_f = \frac{T \times N}{1000} = \frac{7.632 * 1345}{1000} \times \frac{2\pi}{60} = 1.075 [KW]$$

3.4.1.3 Caudal másico de combustible

$$\dot{m}_f = \frac{\text{vol. de prueba}}{\text{tiempo}} \times \text{densidad} = \frac{5 \times 10^{-5} \times 3600}{158.7} \times 850$$

$$\dot{m}_f = 0.964 \left[\frac{Kg}{H} \right]$$

3.4.1.4 Consumo específico de combustible

$$C_e = \frac{\dot{m}_f}{P_f} = 0.896 \left[\frac{Kg}{KW.H} \right]$$

3.4.1.5 Presión media efectiva al freno

$$PMEF = \frac{Pf}{VD} = \frac{Pf}{\frac{\pi \times D^2}{4} \times S \times i \times \frac{N}{60 \times k2}} \left[\frac{KN}{m^2} \right]$$

$$PMEF = \frac{1.075}{\frac{\pi \times 0,0968^2}{4} \times 0,11 \times 2 \times \frac{1345}{60 \times 2}} = 59.23 \left[\frac{KN}{m^2} \right]$$

3.4.1.6 Caudal másico de aire ideal

$$\dot{m}a_i = V_{aire} \times \rho_{aire} = V_D \times \frac{N}{60 \times 2} \times n \times \rho_{aire}$$

$$\dot{m}a_i = \frac{\pi \times 0,0968^2}{4} \times 0,11 \times 2 \times \frac{1345}{60 \times 2} \times 3600 \times 0.928 = 60.63 \frac{Kg}{h}$$

3.4.1.7 Caudal másico de aire real

$$\dot{m}a_r = \frac{\pi \times D_{po}^2}{4} \times C_2 \times \sqrt{\frac{2 \times C_1 \times h_0 \times P_a}{R_a \times T_a}}$$

$$\dot{m}a_r = \frac{\pi \times (0.039 \text{ m})^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \frac{N}{m^2}}{mmH_2O} \times 18 \text{ mmH}_2O \times 75060.5 \text{ Pa}}{\frac{287 \frac{Nm}{Kg \cdot ^\circ K}}{\times 293^\circ K}}$$

$$\dot{m}a_r = 1.315 \times 10^{-2} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}a_r = 47.34 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

3.4.1.8 Consumo volumétrico de aire

$$Q_a = \frac{\dot{m}a_r}{\delta_a}$$

$$Q_a = \frac{47.34 \left[\frac{Kg}{h} \right]}{0.928 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]} = 51.01 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

3.4.1.9 Relación aire combustible

$$\frac{A}{C} = \frac{\dot{m}a_r}{\dot{m}a_f}$$

$$\frac{A}{C} = \frac{47.34 \left[\frac{Kg}{h} \right]}{0.964 \left[\frac{Kg}{H} \right]}$$

$$\frac{A}{C} = 49.107$$

3.4.1.10 Eficiencia térmica

$$\eta_t = \frac{Pf}{Q \times m_c} \times 100 = \frac{1.075(Kw)}{43470 \left(\frac{KJ}{Kg} \right) \times \frac{0.964 \left(\frac{Kg}{h} \right)}{3600(s)}} \times 100$$

$$\eta_t = 9.23\%$$

3.4.1.11 Eficiencia volumétrica

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{ar}}{\dot{m}_{ai}} * 100\%$$

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{ar}}{\dot{m}_{ai}} * 100\% = \frac{47.34}{60.625} \times 100 = 78.08\%$$

3.4.2 Resultados

Los resultados de los cálculos realizados se los podrá ver en el **Apéndice B**.

3.4.3 Gráficas características de desempeño

3.4.3.1 Potencia al freno en función de la presión media efectiva

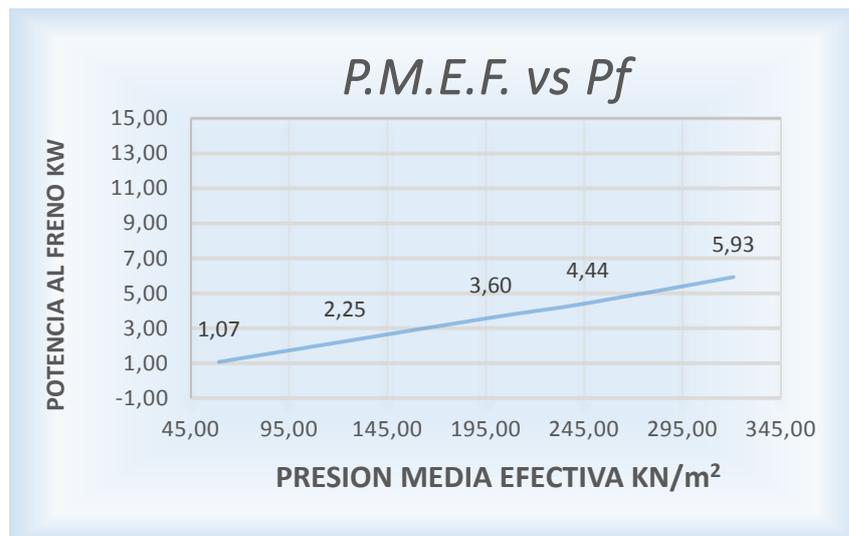


Figura 75 Gráfica de P.M.E.F. vs Pf

3.4.3.2 Consumo de combustible en función de la Presión media efectiva

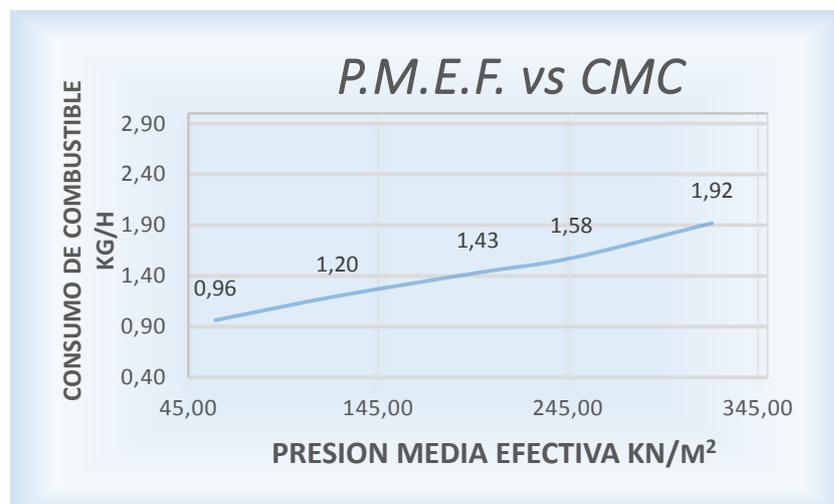


Figura 76 Gráfica de P.M.E.F. vs CMC

3.4.3.3 Consumo específico de combustible en función de la Presión media efectiva

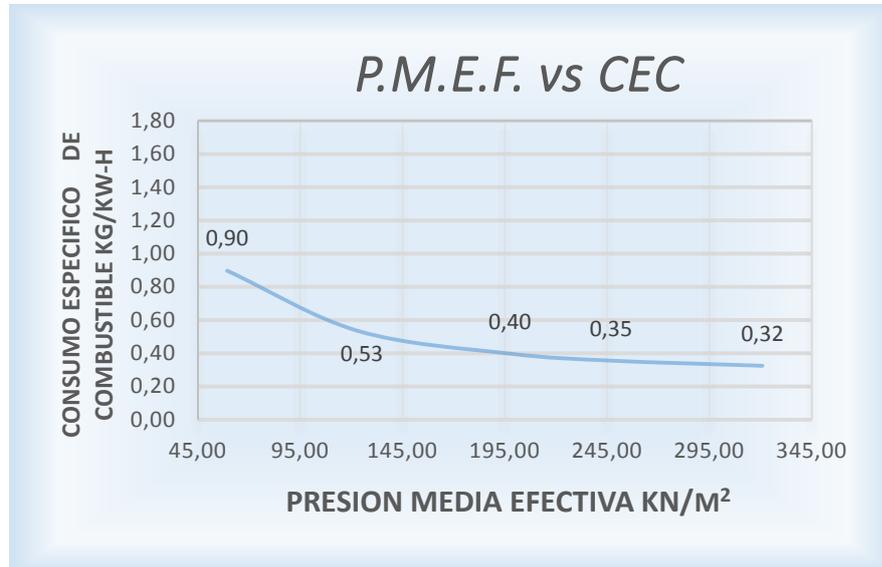


Figura 77 Gráfica de la PMEF vs CEC

3.4.3.4 Eficiencia volumétrica en función de la Presión media efectiva

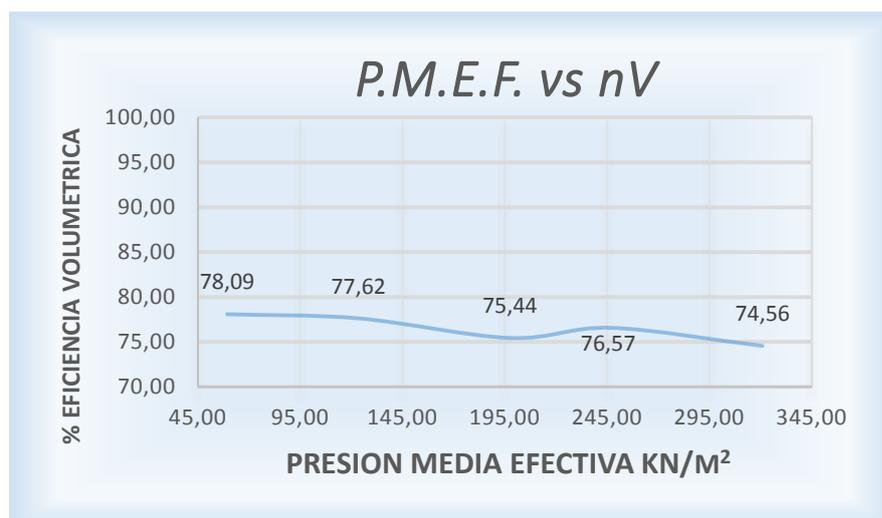


Figura 78 Gráfica de la PMEF vs Eficiencia volumétrica

3.4.3.5 Eficiencia térmica en función de la Presión media efectiva

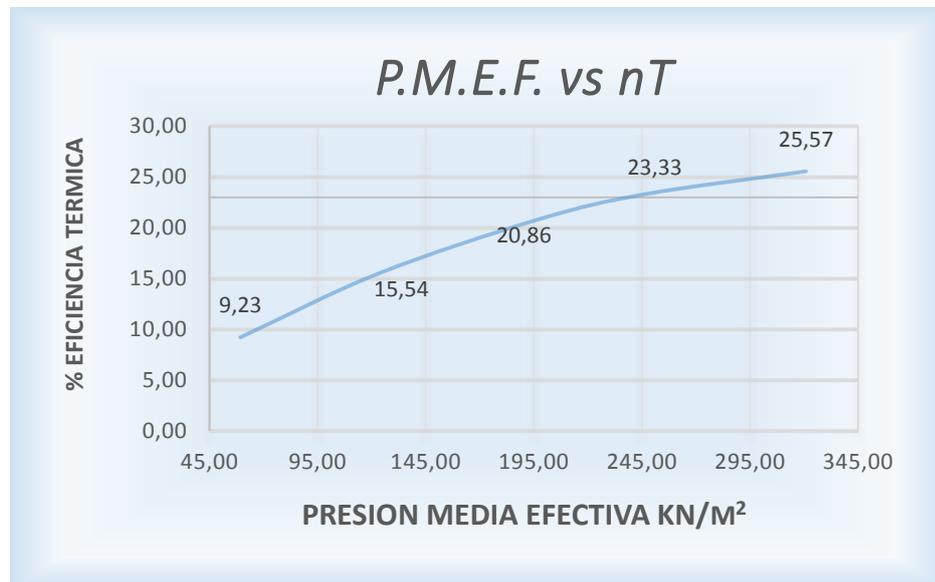


Figura 79 Gráfica de la PMEF vs la Eficiencia Térmica

3.4.3.6 Relación aire combustible en función de la Presión media efectiva

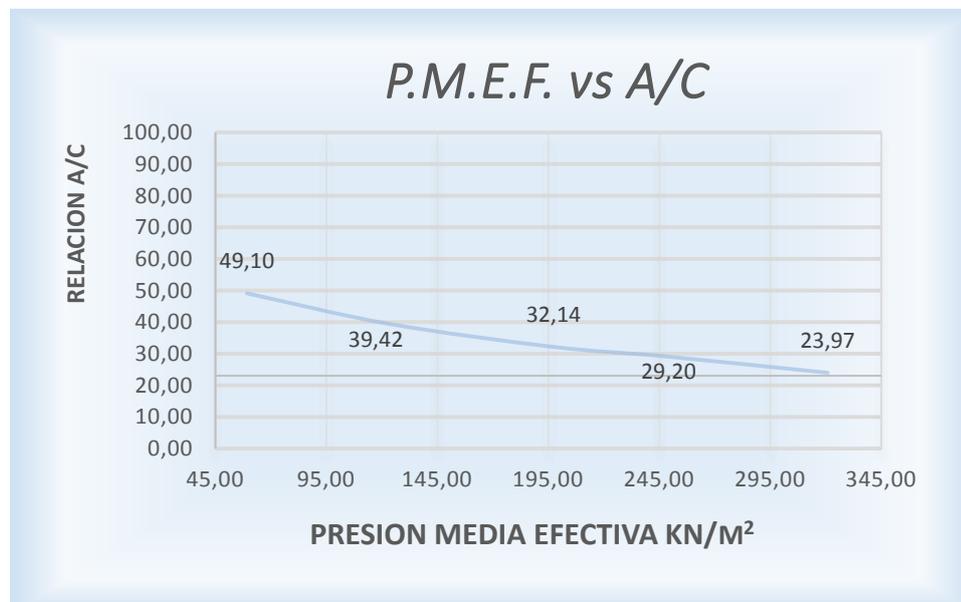


Figura 80 Gráfica de la PMEF vs Relación A/C

3.4.3.7 Temperatura de Escape en función de la Presión media efectiva

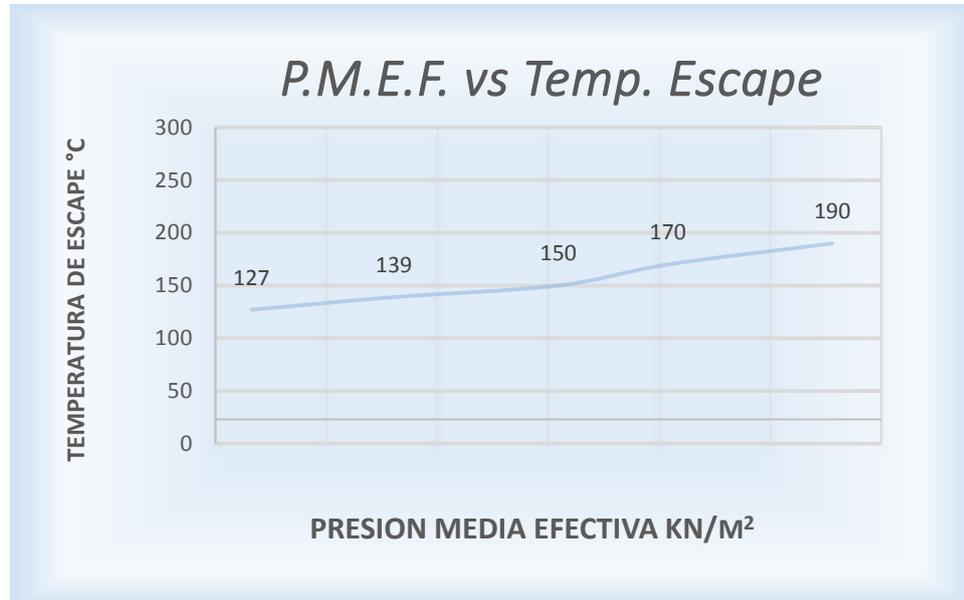


Figura 81 Gráfica de la PMEF vs Temperatura de escape

3.4.3.8 Consumo específico de combustible en función de la potencia al freno



Figura 82 Gráfica de la Potencia al freno vs CEC

3.4.3.9 Eficiencia térmica en función de la relación A/C

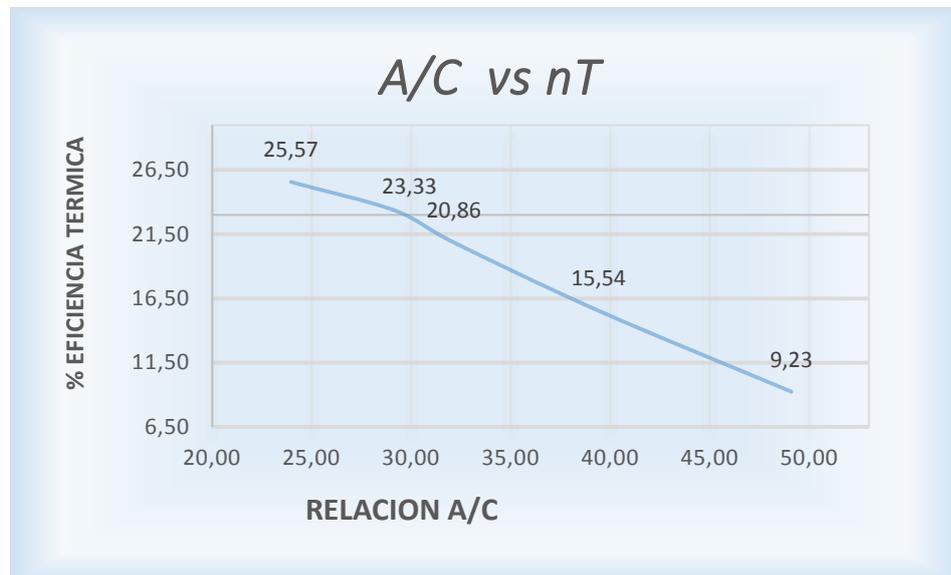


Figura 83 Gráfica de la Relación A/C vs Eficiencia térmica

3.4.3.10 Eficiencia térmica en función de la eficiencia volumétrica

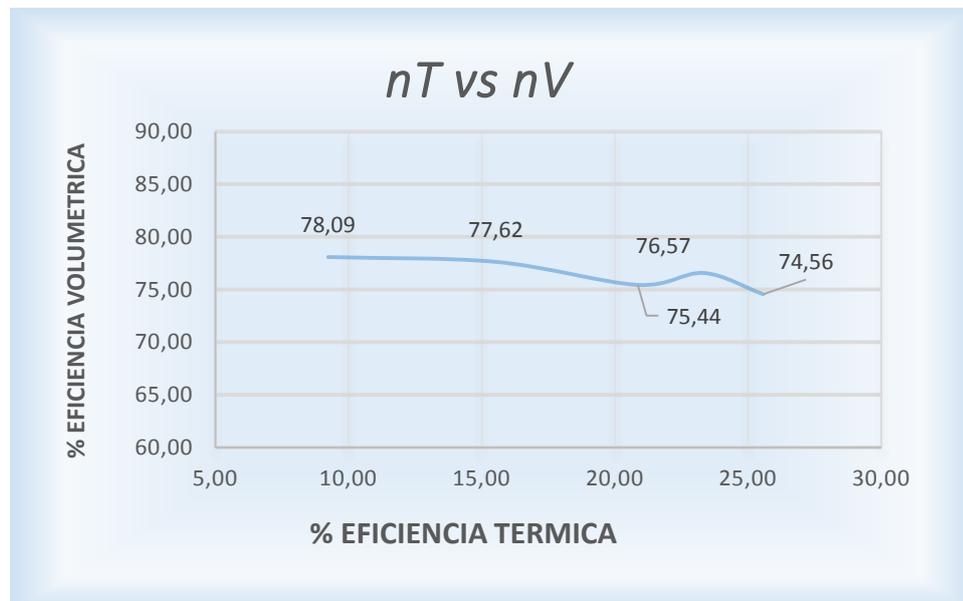


Figura 84 Gráfica de la Ef. Térmica Vs Ef. Volumétrica

CAPÍTULO IV: SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE ENCENDIDO

4.1 Consideraciones iniciales

De manera general cuando se trata de la automatización o repotenciación de un equipo de laboratorio que tiene varios años de operación ya sea en la parte instrumental o componentes propios del equipo se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

4.1.1 Calidad de los equipos

Al tratarse de un proyecto de automatización de adquisición de datos que va a ser utilizado con frecuencia por los alumnos de DECEM se debe proveer al banco de pruebas del laboratorio instrumentación de buena calidad y que brinden un alto grado de confiabilidad en sus lecturas y permitir que el departamento disponga de un equipo a la vanguardia de la tecnología.

4.1.2 Disponibilidad de equipos

Hoy en día la disponibilidad en el mercado actual ya no se está convirtiendo en un problema ya que existe empresas que se dedican a importar al país todo tipo de dispositivos a un costo relativamente accesible, sin embargo no se debe descartar que aun seleccionando un equipo de buena calidad este se vaya a dañar ya sea por mala operación o por otros factores, entonces debemos tomar en cuenta este factor.

4.1.3 Rango de operación

Sin duda es uno de los factores más importantes debido a que es nuestro primer punto de partida para selección de los equipos y con mayor razón si se trata de un sistema de adquisición de datos donde las variables involucradas son las que nos limitan la adecuada selección de los mismos

4.1.4 Compatibilidad de los equipos:

Al tratarse de un nuevo sistema se nos facilita un poco la selección al diseñar de tal manera que todos los instrumentos y dispositivos estén dentro de los requerimientos individuales de adquisición, acondicionamiento, envío de señal, etc. así como los dispositivos de análisis y recolección de datos.

4.1.5 Costos de los Equipos

El sistema de adquisición de datos nos permite optar por opciones relativamente baratas, pero que al final nos pueden salir mucho más costosas si no se escoge de manera adecuada un instrumento o dispositivo, es por eso que cada uno de ellos dispone de hojas técnicas que nos permiten analizar de manera más adecuada la mejor opción.

4.2 Determinación de la instrumentación a utilizarse

La selección adecuada de la instrumentación a utilizarse en un sistema automático de adquisición de datos en un proceso que involucra tanto al diseñador como al usuario final ya que involucran diferentes aspectos tanto de calidad, confiabilidad, compatibilidad, etc. los mismos que deben ser analizados en una tabla comparativa o matriz de decisión siguiendo las siguientes valoraciones del Cuadro 5.

Cuadro 5

Valoración de Tendencias

PARÁMETRO DE SELECCIÓN	TENDENCIA
Disponibilidad	> PUNTAJE → MEJOR OPCIÓN
Calidad y confiabilidad	> PUNTAJE → MEJOR OPCIÓN
Facilidad de montaje	> PUNTAJE → MEJOR OPCIÓN
Rango	> PUNTAJE → MEJOR OPCIÓN
Compatibilidad	> PUNTAJE → MEJOR OPCIÓN
Costo	> PUNTAJE → MEJOR OPCIÓN

4.2.1 Flujo de agua

Como se vio en el capítulo III la bomba de agua ofrece un máximo caudal de **63 l/min**, siendo esta capacidad no utilizada ya que el sistema solo opera a un máximo de **30 l/min** y el caudal de operación recomendado para mantener la temperatura de trabajo de 20 °C a 80 °C está alrededor de **6 l/min**. Para medir este tipo de magnitud se pueden usar caudalímetros o flujómetros. En la Tabla 7 se detallan algunos tipos de caudalímetros aptos para el proceso.

Tabla 7

Transductores de flujo de agua

Descripción	Op1	Op2	Op3
Marca	SEA	UCC	PCE
Modelo	*YF-S201	**DFT.980	***VMI-20
Rango	1-30 L/min	2 -150 L/min	10 -180 L/min
Señal de salida	2.25 ml/pulso	4 a 20 mA	5 ml/pulso
Alimentación (V)	5- 18 VDC	24 VDC	24 VDC
Temperatura de trabajo	-25°C a 80°C	5°C a 60°C	5°C a 70°C
Precisión %	±5%	±2%	±2%
Tiempo de respuesta (ms)	<40	<500	<500
Consumo	15 mA @ 5V	4 mA @24v	20 mA @24v
Tipo de entrada	½" NPS	1" NPS	½" NPS
Resolución	2.25 ml	0.108 mA	5 ml
Apariencia			

Fuente: (nextiafenix, s.f.); (Flowmeters & Monitors, 2014); (Medidor de caudal, 2014).

Con las opciones indicadas en la Tabla 7 se procedió a evaluar la mejor opción que se describe en el Cuadro 6.

Cuadro 6

Matriz de decisión del sensor de flujo

PARÁMETRO DE SELECCIÓN	PONDERACIÓN	OP1	OP2	OP3
Disponibilidad	10	9	7	7
Calidad y confiabilidad	10	6	7	7
Facilidad de montaje	10	9	9	9
Rango	10	9	7	7
Compatibilidad	10	9	6	6
Costo	10	9	6	1
PUNTUACIÓN TOTAL	60	*51	42	37

Como podemos observar el transductor que tuvo la mayor puntuación fue la opción 1: **SEA YF-S201**, es un transductor de flujo de construcción sólida el cual está constituido por un cuerpo de plástico, un rotor de agua, y un sensor de efecto Hall. El diseño y el funcionamiento de este tipo de sensor son simples. Este tipo de sensor en un contador de pulsos que depende directamente de la cantidad de agua que pasa por su interior, es decir cuenta alrededor de 450 pulsos por cada litro de carga.

4.2.2 Admisión de aire

Para seleccionar el rango de trabajo y el tipo de sensor a instalar se realizó los cálculos de todas las variables involucradas tal y como vimos en el capítulo II y III de la presente tesis para un motor a diésel que trabaje a capacidad definida entre sus rangos permitidos.

La caída de presión que existe en la admisión de aire es la variable que nos permitirá seleccionar el tipo de sensor que va adquirir la señal ya que por el momento se lo obtiene mediante un dispositivo tipo placa orificio y la lectura se lo hace mediante un manómetro inclinado TYPE 504. La Tabla 3 nos indica los valores referenciales a diferentes revoluciones por minuto.

De los datos obtenidos se puede observar que a 3000 rpm se obtiene una caída de presión de 146.7 mmH₂O (1440 Pascales) siendo este valor en condiciones óptimas y a una máxima operación del equipo, esto quiere decir que se trata de un dispositivo que mida pequeños desplazamientos a manera de un transductor diferencial, en este caso presión diferencial y que trabaje en el rango descrito, además que la señal de salida sea compatible con el dispositivo de adquisición de datos. En la Tabla 8 se detallan algunos tipos de sensores de presión diferencial eléctricos.

Tabla 8

Transductores de presión diferencial

Descripción	Op1	Op2	Op3
Marca	SENSIRION	DWYER	ACI
Modelo	*SDP2108R	**616-2	**A/MLP-1000
Rango (Pa)	-100 a 3500	0 a 1500	0 a 1000
Señal de salida	0.25 V a 4.0 V	4 a 20 mA	4 a 20 mA
Alimentación (V)	5	24	24
Temperatura de trabajo (°C)	-10 a 60	-6.67 a 48.9	0 a 60
Precisión %	0.2	0.25	+/- 1
Compensación de temperatura	No requiere	Si requiere	No requiere
Corrección de altitud	Si requiere	Si requiere	Si requiere
Resolución min	0.2 Pa		
Apariencia			

Fuente: (Low Differential Pressure Sensor, 2013); (Series 616 Differential Pressure Transmitter, 2010); (Automation Components, Inc., s.f.).

Cuadro 7

Matriz de decisión del sensor de presión diferencial

PARÁMETRO DE SELECCIÓN	PONDERACIÓN	OP1	OP2	OP3
Disponibilidad	10	7	7	7
Calidad y confiabilidad	10	8	7	7
Facilidad de montaje	10	8	8	7
Rango	10	9	8	8
Compatibilidad	10	9	6	6
Costo	10	7	8	8
PUNTUACIÓN TOTAL	60	*48	44	43

Como podemos observar el transductor que tuvo la mayor puntuación fue la opción 1: **SENSIRION SDP2108R**, este tipo de dispositivo tiene una salida analógica, la linealización interna y la compensación de temperatura se realiza de forma digital. La presión diferencial se mide por un elemento de detección térmica que permite el trabajo de medición a presiones muy bajas.

4.2.3. Medición de Fuerza

El dinamómetro eléctrico del banco de pruebas PLINT TE-16 es capaz de absorber hasta 22 KW a una velocidad máxima de 3000 Rev. /min e incorpora una balanza de resorte para la medición de la potencia al freno. Con un valor máximo de la absorción de la potencia al freno del equipo que eran de **22 KW**, es decir se genera un fuerza de **220.22 N** en condiciones óptimas y máximo rendimiento y carga, esto quiere decir que se deberá considerar un dispositivo de medición de esta fuerza dentro del rango máximo calculado.

El tipo de sensor adecuado para este tipo de fenómeno físico es una galga extensiométrica o un dispositivo que la incorpore, como son las celdas de carga. En la Tabla 9 se detallan algunos tipos de sensores.

Tabla 9
Sensores para deformación lineal

Descripción	Op1	Op2	Op3
Marca	OMEGA	SENSORTRONICS	MAVIN
Modelo	*LC101-100	**60001 NS2	**NS6-50
Rango (Lb)	0 a 100	0 a 300	0-50
Señal de salida	3.0 mV/V diferencial	3.517 mV/V diferencial	3.0 mV/V diferencial
Alimentación (V)	10-15 VDC	10-15 VDC	5-12 VDC
Temp. de trabajo (°C)	-40 A 93	-18 a 65	-20 a 60
Precisión %	0.02	0.02	0.03
Resolución a 12 VDC	36mV	36mV	36mV
Apariencia			

Fuente: (Omega, 2014); (S-Beam Load Cell Sensortronics Model 60001, 2014); (Xiamen, 2012).

Cuadro 8
Matriz de decisión del transductor de fuerza

PARÁMETRO DE SELECCIÓN	PONDERACIÓN	OP1	OP2	OP3
Disponibilidad	10	7	10	7
Calidad y confiabilidad	10	8	8	8
Facilidad de montaje	10	7	7	7
Rango	10	9	9	9
Compatibilidad	10	8	8	8
Costo	10	7	6	7
PUNTUACIÓN TOTAL	60	46	*48	46

Como podemos observar el sensor que tuvo la mayor puntuación fue la opción 2: **SENSORTRONICS 60001 NS2**, este tipo de celda de carga deberá incorporar un sistema de fijación adicional para su correcto funcionamiento.

4.2.4 Medición de revoluciones

La velocidad máxima recomendada por el fabricante es la de 3000 rpm sin descartar que se puede sobrepasar dicho valor en un 20 %, (3600 rpm o 60 Hz). Para medir este tipo de magnitud se pueden usar transductores de proximidad del tipo inductivo o capacitivo, en la Tabla 10 se detallan algunos tipos de transductores para esta aplicación.

Tabla 10

Transductores para la medición de revoluciones por minuto

Descripción	Op1	Op2	Op3
Marca	BLAUTEK	EUROSPEC	FESTO
Modelo	*IPSI-12POC4B	**IS18F5NCDC	***SOEG
Frecuencia (Hz)	< 600	800	< 1000
Alimentación (V)	10-30 VDC	10-30 VDC	10 – 30 VDC
Temperatura de trabajo (°C)	20 - 70	-20 - 70	-25 a 55
Tipo	PNP N/O + N/C	NPN	PNP
Apariencia			

Fuente: (Proximity Sensors, s.f.); (Eurospec, 2010); (Festo, 2014).

Cuadro 9

Matriz de decisión del Transductor de proximidad

PARÁMETRO DE SELECCIÓN	PONDERACIÓN	OP1	OP2	OP3
Disponibilidad	10	7	10	7
Calidad y confiabilidad	10	9	8	9
Facilidad de montaje	10	5	8	6
Rango	10	8	8	8
Compatibilidad	10	8	8	8
Costo	10	6	9	6
PUNTUACIÓN TOTAL	60	43	*51	44

Como podemos observar el sensor que tuvo la mayor puntuación fue la opción 1: **IS18F5NCDC**, este tipo de sensor es de tipo inductivo que al momento de detectar la presencia de un objeto metálico envía una señal de voltaje proporcional al voltaje de alimentación suministrado, es decir si el sensor es alimentado con 12 voltios al momento de detectar el objeto metálico enviara una señal eléctrica de 12 voltios caso contrario enviara una señal de 0 voltios.

4.2.5 Porcentaje de Aceleración

Para la regulación del porcentaje de aceleración el banco de pruebas tiene una cremallera dentada semicircular de 26 posiciones, es decir que va de 0 al 100 % proporcionalmente según su posición, se podría calcular de la siguiente manera:

$$\% \text{ Acel} = \frac{\# \text{ diente}}{26} \times 100 \quad \text{Ecuación 2.22}$$

Ejemplo: Si se posiciona la palanca en el diente # 15 se tendrá un porcentaje de aceleración de:

$$\% \text{ Acel} = \frac{14}{26} \times 100 = 53.85\%$$

Como se vio en el capítulo II para medir este tipo de magnitud se pueden usar sensores resistivos de posición lineal o angular como un potenciómetro. Esta medición es independiente del sistema y nos ayudara a una medida referencial para la obtención de los datos, lo que implica una adaptación e instalación mecánica al sistema.

En la Tabla 11 detallan algunos tipos de sensores para esta aplicación:

Tabla 11
Sensores resistivos para la medición del porcentaje de aceleración

Descripción	Op1	Op2	Op2
Marca	A-TECH	VISHAY	BITECH
Modelo	*POSIROT PRSD2	**533	***B10K
Rango (grados)	0 a 360	0 a 360	0 a 360
Señal de salida	Digital cuadratura	Proporcional	Proporcional
Alimentación (V)	5 VDC	0-10v	0-12v
Temperatura de trabajo (°C)	-40 a 85	-40 a 125	-40 a 75
Resolución	0.014 V	0.027 V	0.033V
Apariencia			

Fuente: (Magnetic / Non-Contact, 2014); (Vishay, 2012); (BI technologies, 2008).

Cuadro 10
Matriz de decisión del Transductor de aceleración

PARÁMETRO DE SELECCIÓN	PONDERACIÓN	OP1	OP2	OP3
Disponibilidad	10	6	7	10
Calidad y confiabilidad	10	8	7	7
Facilidad de montaje	10	6	7	7
Rango	10	8	8	8
Compatibilidad	10	6	8	8
Costo	10	5	6	9
PUNTUACIÓN TOTAL	60	39	43	*49

Como podemos observar el sensor que tuvo la mayor puntuación fue la opción 3: **BITECH B10K**, es un potenciómetro resistivo rotacional el cual ofrece una resistencia de 10 k Ohm de una sola vuelta que permite regular la

salida del voltaje de entrada suministrado, según la posición del acelerador manual.

4.2.6 Temperatura de salida de gases de escape

La temperatura de los gases de escape como se vio en el capítulo III dependerá del régimen de trabajo del motor diésel y se determinó que la máxima temperatura alcanzada a la salida del tubo de escape es de unos 350 grados centígrados a condiciones normales de operación, sin embargo su temperatura puede aumentar si se trabaja a condiciones que estén al límite de operación.

Se debe seleccionar un transductor que este dentro de este rango de medida y que este diseñado para ambientes corrosivos como son los gases de combustión, así como su compatibilidad con el dispositivo de adquisición de datos que se escoja y de su sencilla programación e instalación estos transductores como termopares, resistencias PT100, termistores o un par bimetalico, son de tipo analógico y fácil de encontrar en el mercado. En la Tabla 12 se detallan algunos tipos de transductores para esta aplicación.

Tabla 12

Transductores para la medición de temperatura de gases de escape

Descripción	Op1	Op2	Op3
Marca	WATLOW	DANFOSS	AMICO
Modelo	*Exactsense	**MBT 511	
Rango	-40°C a 1100°C	-40°C a 800°C	0°C a 900°C
Señal de salida	0V a 5V	mV	mV
Alimentación (V)	12 V		
Precisión	2%	3%	3%
Tipo	TIPO K	TIPO K	TIPO K

Fuente: (Watlow, 2013); (Danfoss, 2012); (BI technologies, 2008).

Cuadro 12

Matriz de decisión del sensor de temperatura

PARÁMETRO DE SELECCIÓN	PONDERACIÓN	OP1	OP2	OP3
Disponibilidad	10	5	10	9
Calidad y confiabilidad	10	8	8	7
Facilidad de montaje	10	6	6	7
Rango	10	8	9	7
Compatibilidad	10	7	8	8
Costo	10	5	10	9
PUNTUACIÓN TOTAL	60	39	*51	47

Como podemos observar el sensor que tuvo la mayor puntuación fue la opción 2: **LM35 DZ** que es un circuito integrado calibrado directamente en grados Celsius con una tensión de salida lineal de 10 mV / ° C. El LM35 no requiere de circuitos adicionales para calibrarlo externamente. La baja impedancia de salida, su salida lineal y su precisa calibración hace posible que el integrado sea instalado fácilmente en un circuito de control. Debido a su baja corriente de alimentación se produce un efecto de auto calentamiento muy reducido. Se encuentra en diferentes tipos de encapsulado, el más común es el TO-92 utilizada por transistores de baja potencia. (LM35, 2013)

4.2.8 Medición de voltaje

Los transductores de medición de voltaje permiten medir la caída de tensión de manera invasiva, es decir se deberá instalar los dispositivos dentro del flujo de tensión que exista en el circuito para obtener medidas aceptadas. Estos dispositivos funcionan por el principio de inductancia, en la Tabla 14 se muestran algunos transductores específicos para dicho trabajo.

Tabla 14

Transductores para la medición de voltaje

Descripción	Op1	Op2
Marca	Loulensy UL&CE	Loulensy UL&CE
Modelo	*DVS300-SD-5V	**L3PAVS500-SD-420E
Rango	0-300 V	0-500V AC
Señal de salida	0 – 5V	4-20mA
Alimentación (V)	12V / 24V DC	24V DC
Temperatura de trabajo (°C)	-10 °C a 50 °C	-10 °C a 50 °C
Precisión	0.2%	0.5%
Resolución	0.0166 V	
Apariencia		

Fuente: (DC Voltage Transducer, 2014); (Furison Electric, 2014)

Cuadro 13

Matriz de decisión del Transductor de medición de voltaje

PARÁMETRO DE SELECCIÓN	PONDERACIÓN	OP1	OP2
Disponibilidad	10	7	7
Calidad y confiabilidad	10	8	8
Facilidad de montaje	10	6	6
Rango	10	8	7
Compatibilidad	10	8	7
Costo	10	7	6
PUNTUACIÓN TOTAL	60	*44	41

4.2.9 Medición de corriente

Tabla 15

Transductores para la medición de corriente

Descripción	Op1	Op2	Op3
Marca	HAWKEYE	YHDC	Furison Electric
Modelo	*H970 HCA	**SCT013	***D100-SD-5V
Rango	0-100 A DC	0-100 A AC	0-100 A DC
Señal de salida	4-20 mA	0 - 50mV	0 – 5 VDC
Alimentación (V)	15 - 24VDC	No necesita	24VDC
Temperatura de trabajo (°C)	5°C - 55°C	-25°C - 70°C	-30° a 70°C
Precisión	±3% FS	±3% FS	±1% FS
Consumo	< 35mA	0 mA	0 mA
Tipo	Hall effect	Hall effect	Hall effect



Fuente: (Veris Industries, 2013); (OpenEnergyMonitor, 2014); (Furison Electric, 2014)

Cuadro 14

Matriz de decisión del Transductor de corriente

PARÁMETRO DE SELECCIÓN	PONDERACIÓN	OP1	OP2	OP3
Disponibilidad	10	6	6	7
Calidad y confiabilidad	10	8	8	8
Facilidad de montaje	10	6	6	6
Rango	10	8	8	7
Compatibilidad	10	6	7	7
Costo	10	6	6	7
PUNTUACIÓN TOTAL	60	40	41	*42

4.2.10 Resumen de selección

Tabla 16

Resumen de selección de alternativas

MAGNITUD	TRANSDUCTOR/SENSOR	SEÑAL	SALIDA	ALIMENTACIÓN
Flujo	YF-S201	Digital	2.25ml/pulso	5 VDC
Presión	SDP2108R	Analógica	0.25 - 4.5 V	5 VDC
Fuerza	S60001	Analógica Diferencial	3mV/V	12 VDC
Velocidad	IS18F5NCDC	Analógico	V-NPN	12 VDC
Posición	BITECH B10K	Analógica	V	12 VDC
Temperatura	LM35DZ	Analógica	10 mV/ °C	5 VDC
Temperatura	LM35DZ	Analógica	10 mV/ °C	5 VDC
Temperatura	Termocupla k	Analógica Diferencial	mV	--
Voltaje	DVS300-SD-5V	Analógica Diferencial	0 -5V	24 VDC
Corriente	D100-SD-5V	Analógica Diferencial	0- 5V	24 VDC

En la Tabla 16 se puede observar todos los transductores y sensores seleccionados previamente valorados en la matriz de decisión que están acorde a las necesidades para cada proceso de la toma de datos. Se deberá destacar las características comunes y compatibles para poder seleccionar la mejor opción respecto al dispositivo de adquisición de datos.

4.3 Selección del dispositivo de adquisición de datos

Según la Tabla 16 se podrá hacer un conteo de la cantidad de entradas analógicas o digitales, diferenciales y/o unitarias que necesita el dispositivo de adquisición de datos y sus fuentes de alimentación individual, así como el tipo de señal de entrada.

4.3.1 Cálculo de la resolución mínima

$$R_{ms} = \frac{R_{max} - R_{min}}{2^n}$$

Ecuación 4.1

Donde:

R_{ms} = Resolución mínima del sensor

R_{max} = Rango máximo de operación

R_{min} = Rango mínimo de operación

n = número de bits

Despejando se tiene:

$$n = \frac{\ln \left[\frac{R_{max} - R_{min}}{R_{ms}} \right]}{\ln[2]}$$

De todos los sensores seleccionados el de menor resolución es: SENSIRION SDP2108R con 0.2 Pa y un rango de -100 Pa a 3500 Pa.

$$n = \frac{\ln \left[\frac{3500 - 100}{0.2} \right]}{\ln[2]}$$

$n = 14.13$ bits, es decir aproximamos a :

$n = 16$ bits

4.3.2 Dispositivos DAQ

La selección adecuada del dispositivo de adquisición de datos está sujeta al tipo de sensores o transductores escogidos debido a que estos tienen diferentes rangos de operación, resolución tipo de señal de salida, ocupan

varias entradas de señal como es el caso de las termocuplas que su salida es diferencial. En la Cuadro 15 se encuentran los requisitos mínimos o características que necesitamos para la selección de un dispositivo DAQ.

Cuadro 15

Requisitos mínimos del dispositivo DAQ

Descripción	Unidad
Entradas analógicas unitarias	2
Entradas analógicas diferenciales	7
Entradas digitales	1
Tipo de entrada	Voltaje/Contador
Resolución	16 bits
Muestreo min	50 Hz

Tabla 17

Dispositivos de adquisición de datos

Descripción	Op1	Op2	Op2
Marca	NATIONAL INSTRUMENTS	COMET	DATAQ INSTRUMENTS
Modelo	NI USB6210	MS55D	DI 720 USB
Entradas analógicas	16,8	16	32
Entradas digitales	4	4	8
Tipo de medición	Voltaje	Voltaje	Voltaje
Resolución	16 bits	16 bits	14 BITS
Alimentación	USB	24 VDC	USB
Muestras	250 kS/s	50 kS/s	40 kS/s
Temperatura de trabajo	0 to 45 °C	0 a 50	0 to 70°C



Fuente: (Veris Industries, 2013); (OpenEnergyMonitor, 2014); (Data Q Instruments, 2014)

Tabla 18

Matriz de decisión del dispositivo DAQ

PARÁMETRO DE SELECCIÓN	PONDERACIÓN	OP1	OP2	OP3
Disponibilidad	10	8	6	6
Calidad y confiabilidad	10	9	8	8
Facilidad de montaje	10	7	7	8
Rango	10	8	8	6
Compatibilidad	10	8	8	6
Costo	10	7	7	6
PUNTUACIÓN TOTAL	60	47	44	40

4.4 Selección de la interfaz HMI

De acuerdo a la Figura 35 se optará por un sistema de adquisición de datos que tenga por etapa final un PC con un Hardware DAQ (NI USB 6210) configurado con sus respectivos drivers y software de programación.

4.4.1 Tarjeta DAQ NI USB 6210

Es un módulo de adquisición de datos (DAQ) multifunción de la Serie M energizado por bus que está optimizado para una precisión superior a velocidades altas de muestreo. Sus principales características son:

- 16 entradas analógicas (16 bits, 250 kS/s)
- 4 entradas digitales
- 4 salidas digitales
- 2 contadores/temporizadores de 32 bits
- 4 rangos de entrada programable (± 0.2 V a ± 10 V) por canal
- Energizado por bus USB para una mayor movilidad,
- Conectividad de señal integrada
- NI Signal Streaming para transferencia de datos sostenida a alta velocidad a través de USB

- Compatibilidad con LabVIEW, LabWindows™/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET
- Software de NI-DAQmx y software interactivo LabVIEW Signal Express LE para registro de datos. (National Instruments, 2014)

En la Figura 85 podemos observar la ubicación de los pines de entrada que nuestra tarjeta dispone, cada uno de ellos designados de la siguiente manera: del 1 al 4: entradas digitales, 5: referencia a tierra digital entrada, del 6 al 9 salida digital, 10: +5 v, 11: tierra salida digital, del 12 a 14 sin uso, del 15 al 32: entradas analógicas, siendo el 23 y 28 referencia a tierra analógica según la configuración necesitada.

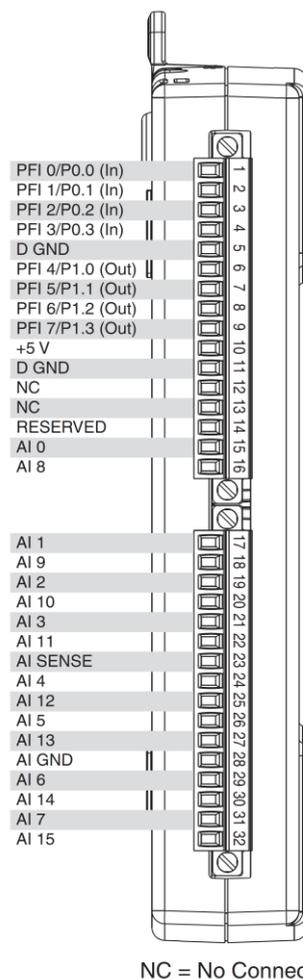


Figura 85 Pines de conexión tarjeta 6210
Recuperado de: (National Instruments, 2014)

4.4.2 Software Controlador

El controlador NI-DAQmx y el software de servicios de medida ofrecen interfaces de programación y configuración fáciles de usar con características como el DAQ Assistant para ayudar a reducir el tiempo de desarrollo.

4.4.3 Software de Aplicación

Cada dispositivo de adquisición de datos de la Serie M se puede configurar con NI LabVIEW Signal Express para adquirir, analizar y presentar los datos rápidamente sin programar. Además de LabVIEW Signal Express, los dispositivos DAQ de la Serie M son compatibles con las siguientes versiones (o posteriores) de aplicación de software de NI: LabVIEW 7.1, LabWindows/CVI 7.x y Measurement Studio 7.x. Los dispositivos DAQ de la Serie M también son compatibles con Visual Studio .NET, C/C++ y Visual Basic 6.0. Los requerimientos mínimos de hardware y software se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 16

Mínimos requerimientos del sistema

ELEMENTO	HARDWARE	SOFTWARE
PC de escritorio	Procesador Pentium 4 de 1 GHZ 1 GB RAM 16 GB disco duro Puerto USB 2.0	Windows XP 32 bits
DAQ	NI USB 6210	NI Signal Express 2013
Monitor	BENQ 615HDPL LED	Compatible

4.5 Control de encendido

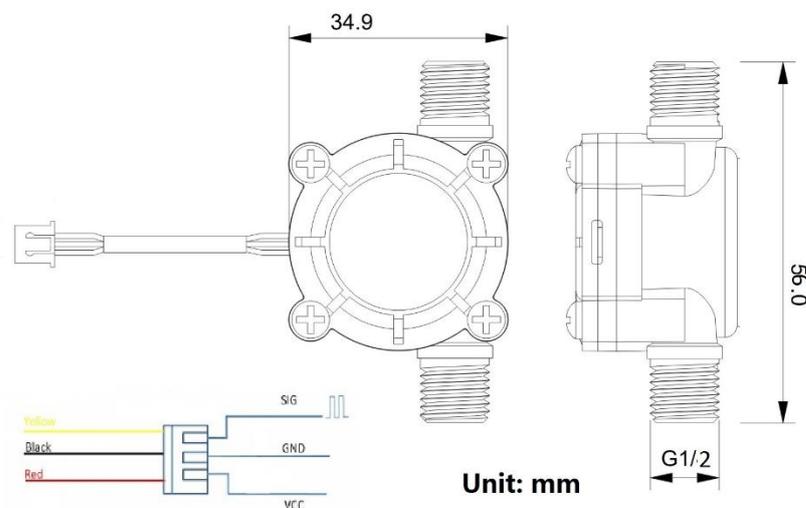
Partiendo de la Figura 6 donde se tiene un sistema básico de encendido por motor de arranque se diseñará un sistema de encendido que permita al usuario controlar la bomba de agua, el sistema DAQ y el encendido del motor

diésel, para esto se muestra un diagrama en conjunto de las conexiones, sensores y elementos involucrados. (**Ver apéndice C**)

4.6 Instalación de los elementos y acondicionamiento de señales

4.6.1 Transductor de flujo de agua

El **YF-S201** es un transductor de flujo de efecto Hall, el cual utiliza aspas o álabes para medir la cantidad de líquido que se ha movido a través de él, genera impulsos de salida a una velocidad proporcional a la velocidad de flujo, cada pulso es de aproximadamente **2,25 mililitros**. El máximo consumo de este sensor es de 15 mA con un a tensión de alimentación de 5 VDC.



Cable Rojo: Alimentación 5 VDC; Cable Negro: Ground; Cable Amarillo: señal de salida por pulsos (2.25 mil/pulso)

Figura 86 Descripción de sensor de flujo

Fuente: (Water Flow Sensor G1/2" , 2014)

Este transductor de flujo no necesita acondicionamiento de señal debido a que su señal de salida es de pulso, es decir esta entre 0 y 5v proporcional a la tensión de alimentación, para asegurarnos de no dañar nuestra tarjeta de adquisición de datos se alimentó el transductor con 5 voltios obteniendo a la

salida pulsos de 2.4 voltios y así es compatible con la DAQ USB 6210 que tiene 2 contadores de pulsos digitales integrados, la conexión se realizará directamente a la tubería de salida de agua entre el tanque de reserva hasta la entrada de agua en el motor, después de flujómetro instalado en el banco de pruebas como se muestra en la Figura 87.



Figura 87 Sensor de flujo YF-S201 instalado

4.6.2 Transductor de caída de presión

El SDP2108R es un transductor de presión diferencial montado en una carcasa de plástico químicamente inerte se suministra con 5,0 V y proporciona una salida análoga de 0,25... 4,0 V y con una corriente de operación máxima de 6 mA, la linealización interna y la compensación de temperatura se realiza de forma digital, brindándonos una excelente resolución (hasta 0,05 Pa), incorpora un chip de silicio único con tecnología de sensores CMOSens® con amplificación y conversión A / D en una. En la Figura 88 se muestra un diagrama de bloques de su funcionamiento interno.

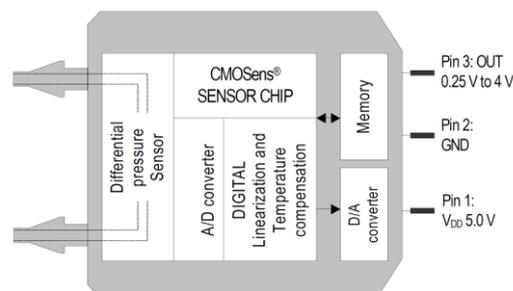
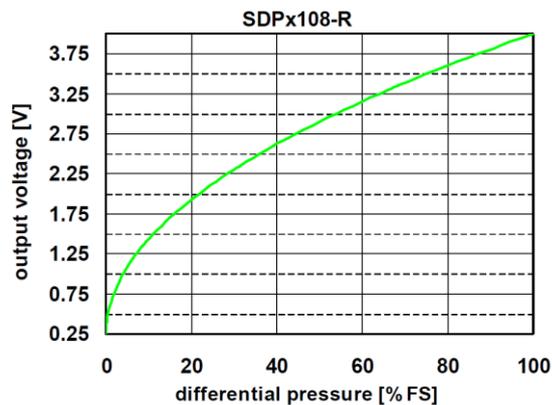


Figura 88 Diagrama de bloques sensor SDP2018R

Fuente: (Low Differential Pressure Sensor, 2013)

El SDPx108R proporciona una tensión de salida totalmente calibrada y para mejorar la resolución las características de salida son del tipo raíz cuadrada, como se muestra en la Figura 89.



$$\text{Diff. Press.}[Pa] = \left(\frac{\text{Output Voltage} - 0.25V}{3.75V} \right)^2 \cdot FS[Pa]$$

Figura 89 Características de la señal de salida SDP2018R

Fuente: (Low Differential Pressure Sensor, 2013)

El sensor SDPx108 cuenta con un sofisticado circuito integrado de compensación de temperatura, que se lo mide en chip CMOSens®, es decir no requiere compensación de temperatura externa. La señal del sensor depende de la densidad del aire, el efecto de la temperatura sobre la densidad es compensado internamente por el sensor. El cambio de altitud sobre el nivel del mar puede ser compensado mediante un factor de corrección según la siguiente ecuación:

$$Dp_{ef} = Dp_s \times \frac{P_{cal}}{P_{amb}}$$

Ecuación 4.1

Donde:

Dp_{ef} = Presión diferencial efectiva

Dp_s = Presión diferencial indicada por SDP2108R

P_{cal} = Presión absoluta calibrada = 966 mbar

$$P_{amb} = \text{Presión ambiental}$$

El Figura 90 tenemos los factores de corrección a diferentes altitudes, de los cuales se deberá calcular el correspondiente a la presión atmosférica en el lugar a instalar el sensor.

$$\frac{P_{cal}}{P_{amb}} = \frac{966 \text{ mbar}}{750.6 \text{ mbar}} = 1.286$$

Altitude [meter]	Ambient Pressure (P _{amb}) [mbar]	Correction Factor P _{cal} / P _{amb}
0	1013	0.95
250	984	0.98
425	966	1.00
500	958	1.01
750	925	1.04
1500	842	1.15
2250	766	1.26
3000	697	1.38

Presión atmosférica ESPE: 750.6 hPa; Altitud: 2510 metros;
Factor de corrección: 1.286

Figura 90 Factores de corrección de altitud SDP2108R
Fuente: (Low Differential Pressure Sensor, 2013)

Este sensor ya consta con un filtro interno activo pasa bajo que da una frecuencia de corte a los 20 Hz para un tiempo de respuesta de 8 mili segundos, pero esto no quiere decir que la señal desde la salida del sensor hasta llegar a la tarjeta de adquisición de datos adquiera señales no deseadas, por tal razón se decidió implementar antes de la llegada de la señal un filtro pasivo simple con elementos que existan en el mercado, el filtro tendrá los siguientes valores:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \times R \times C}$$

Donde:

$f_c = \text{frecuencia de corte (Hz)}$

$R = \text{Resistencia (Ohm)}$

$C = \text{Capacitancia (F)}$

$$f_c = \frac{1}{2\pi \times 1000 \times 10 \times 10^{-6}}$$

$$f_c = 15.91 \text{ Hz}$$

Siendo este valor más que suficiente para atenuar los posibles ruidos que se puedan añadir a la señal emitida por el sensor, este filtro pasivo se colocará antes de la entrada a la tarjeta de adquisición de datos dentro de la tarjeta de recolección de señales (**TRS, ver apéndice D**). El diagrama de conexión con el circuito del filtro sería como se muestra en la Figura 91

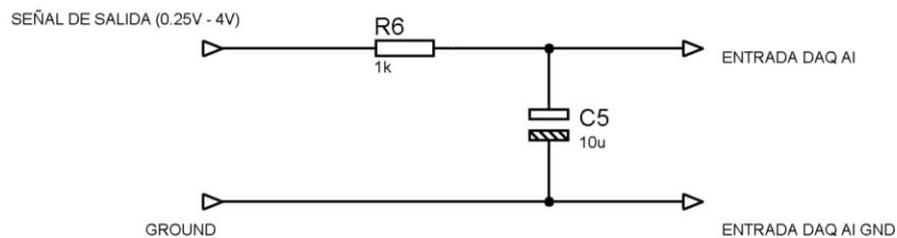


Figura 91 Filtro pasa bajos

4.6.3 Sensor de medición de fuerza

La celda de carga SENSORTRONICS 60001 se puede instalar para aplicaciones de tensión o compresión, está fabricado con un revestimiento resistente a la humedad y cables apantallados, que permiten su uso en ambientes hostiles manteniendo las especificaciones de funcionamiento y la compensación por cambios de temperatura. Está constituido por un arreglo de galgas extensiométricas medido a través de un puente de Wheatstone, el puente consiste en cuatro resistencias que forman un circuito cerrado, siendo

una de ellas la resistencia bajo medida (R_x). Como se muestra en la Figura 92 (ESI, 2013)

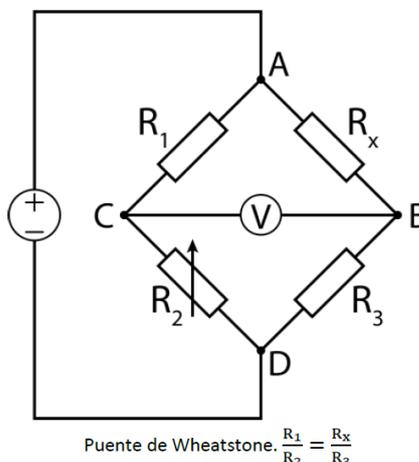


Figura 92 Arreglo tipo puente de Wheatstone
Recuperado de: (ESI, 2013)

Las características dimensionales y capacidades del sensor SENSORTRONICS 60001 se muestran en la Figura 93.

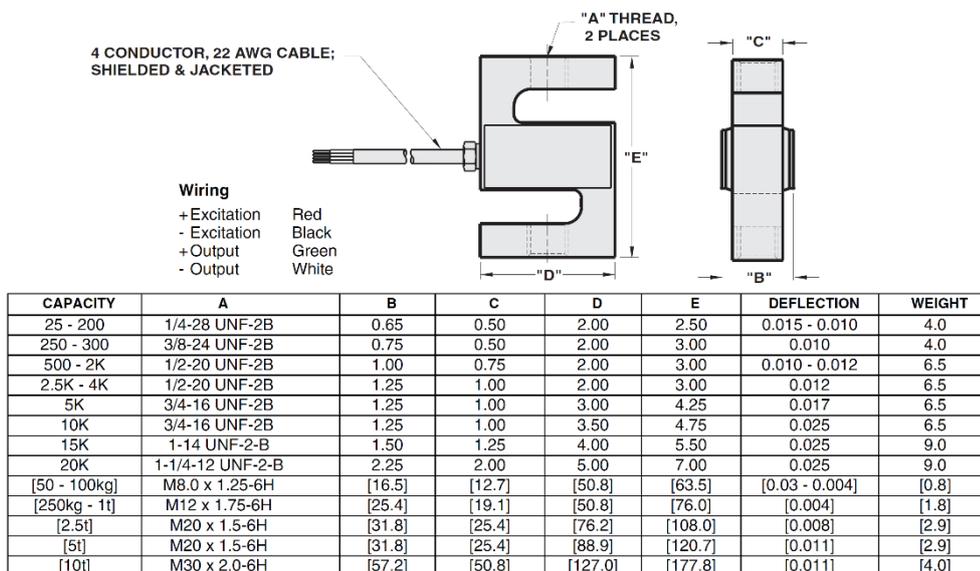


Figura 93 Descripción SENSORTRONICS 60001
Fuente: (Vishay, 2012)

El sensor se alimenta con una tensión de 10 a 15 VDC y tiene una salida referencial de 3.517 mV/V proporcional al voltaje de alimentación, es decir si se supe con 10 V, lo multiplicamos por 3.517 mV/V tendremos una salida máxima de 35.17 mV, esta señal deberá ser acondicionada para nuestro DAQ seleccionado, es decir se deberá amplificar mediante un amplificador de instrumentación específico para este tipo de tareas como es el INA125P (**Ver apéndice E**) que es un circuito integrado de baja potencia, de alta precisión y con una referencia de voltaje de precisión, con un bajo consumo de apenas 460 uA, además tiene la opción de proporcionar alimentación a la celda de carga ya que puede ser alimentado de 2.7 V a 36 V, Según la hoja de datos del circuito el valor de la resistencia R_G va a depender de la ganancia que le queramos dar a la salida, para nuestro caso una ganancia de 200 se tendría un máximo de 7034 mV que se encuentra dentro del rango de medición de nuestro DAQ, la resistencia se calculará de la siguiente manera:

$$G = 4 + \frac{60K\Omega}{R_G}, \text{ donde;}$$

$$R_G = \frac{60000}{200 - 4} = 306.12\Omega$$

Debido a que este valor no es comercial y de la necesidad de poder calibrar con diferentes ganancias se colocó una resistencia variable de hasta $1K\Omega$ del tipo Trimpot W102 (**Ver apéndice F**) el cual nos permitirá ajustar a nuestra necesidad la ganancia necesaria, de 64 a 10000 veces. El diagrama del circuito diseñado se presenta en la Figura 94. Y el circuito terminado se presenta en la Figura 95.

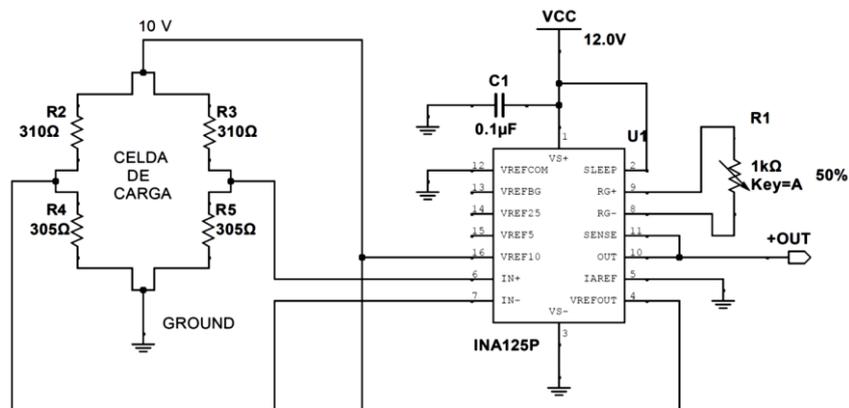
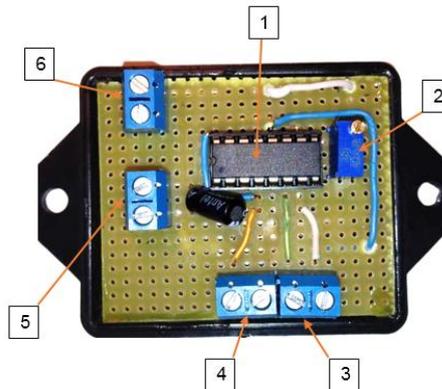


Figura 94 Acondicionamiento de señal celda de carga



1. INA125P; 2. Trimpot W102; 3 Señal de entrada Celda de carga;
4. Alimentación 10V celda de carga; 5. Alimentación del circuito 12V; 6. Señal de salida
amplificada

Figura 95 Circuito Acondicionador de señal celda de carga

4.6.4 Sensor de medición de velocidad

El sensor IS18F5NCDC es del tipo inductivo de cuerpo cilíndrico con un diámetro de 18 mm y una interfaz de tipo NPN con salida NC que se alimenta de 10 a 30 VDC. La señal de salida que se enviará al DAQ será del tipo pulso el mismo que oscilará entre 0 voltios a la presencia del objeto metálico y 10 voltios a la ausencia del objeto metálico, dicho objeto se acoplara al eje del motor de tal manera que quedara a unos 4 mm de distancia del sensor como lo muestra la Figura 96.



Figura 96 Instalación sensor inductivo al eje del motor

Para la alimentación del sensor se tomará 12 voltios de la fuente DC, el cual dará funcionamiento al sensor, pero necesitamos que la señal enviada sea de menor voltaje ya que estaría fuera de los límites de los rangos especificados para la tarjeta, por lo tanto se acondicionará la señal de salida mediante un regulador divisor de voltaje mediante resistencias y un diodo zener tipo 1N4733 (**Ver apéndice G**) de 5.1 voltios, con una resistencia de 47 K ohmios y una de 27 K ohmios se obtendrá a la salida un voltaje de 0 voltios a la señal de salida o 4.35 voltios a la señal de presencia en la salida según el circuito como se muestra en la Figura 97, así como su fabricación.

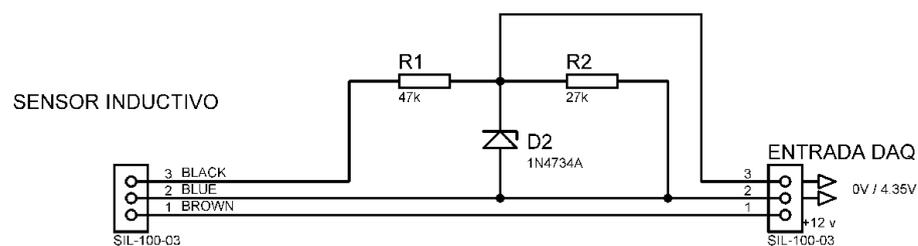


Figura 97 Acondicionamiento de señal sensor inductivo

4.6.5 Sensor del porcentaje de aceleración

Para realizar la medición de posición de aceleración manual se decidió la utilización de un potenciómetro rotativo BITECH de 10 K ohmios, para su alimentación se lo hará en 2 fases: la primera se tomará 12 voltios de la fuente

principal para luego en una segunda fase regular este voltaje a 5 voltios mediante el regulador LM7805 (**Ver apéndice H**) y así garantizar la integridad por sobre voltaje al ingreso de la señal en la tarjeta DAQ, el circuito de regulación de voltaje se lo muestra en la Figura 98.

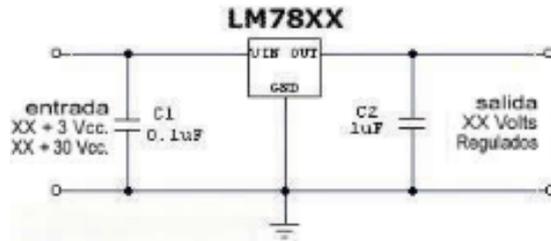


Figura 98 Regulador de tensión a 5 voltios

Fuente: (Reguladores Integrados de Tensión, s.f.)

De esta manera se obtendrá el rango desde 0 v hasta 5 v que se podrá ajustar a las posiciones de los dientes del acelerador manual según el acoplamiento diseñado para este proceso como se muestra en la Figura 99.



Figura 99 Acoplamiento del potenciómetro al acelerador manual

4.6 Sensor de temperatura de gases de escape

La medición de temperatura de gases de escape se lo va a realizar con la instalación de una termocupla tipo k que tiene un rango de operación entre 0 y 1370 grados centígrados y con una salida que está en el orden de los mili voltios, como se puede observar en la Figura 100.

Termocupla tipo K - Equivalencias: grados celsius - milivoltios													
°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV
0	0,00	200	8,13	400	16,40	600	24,91	800	33,30	1000	41,31	1200	48,89
10	0,40	210	8,54	410	16,82	610	25,34	810	33,71	1010	41,70	1210	49,25
20	0,80	220	8,94	420	17,24	620	25,76	820	34,12	1020	42,09	1220	49,62
30	1,20	230	9,34	430	17,67	630	26,19	830	34,53	1030	42,48	1230	49,98
40	1,61	240	9,75	440	18,09	640	26,61	840	34,93	1040	42,87	1240	50,34
50	2,02	250	10,16	450	18,51	650	27,03	850	35,34	1050	43,25	1250	50,69
60	2,43	260	10,57	460	18,94	660	27,45	860	35,75	1060	43,64	1260	51,05
70	2,85	270	10,98	470	19,37	670	27,87	870	36,15	1070	44,02	1270	51,41
80	3,26	280	11,39	480	19,79	680	28,30	880	36,55	1080	44,40	1280	51,76
90	3,68	290	11,80	490	20,22	690	28,72	890	36,96	1090	44,78	1290	52,11
100	4,10	300	12,21	500	20,65	700	29,14	900	37,36	1100	45,16	1300	52,46
110	4,51	310	12,63	510	21,07	710	29,56	910	37,76	1110	45,54	1310	52,81
120	4,93	320	13,04	520	21,50	720	29,98	920	38,16	1120	45,92	1320	53,16
130	5,33	330	13,46	530	21,92	730	30,39	930	38,56	1130	46,29	1330	53,51
140	5,73	340	13,88	540	22,35	740	30,81	940	38,96	1140	46,67	1340	53,85
150	6,14	350	14,29	550	22,78	750	31,23	950	39,35	1150	47,04	1350	54,20
160	6,54	360	14,71	560	23,20	760	31,65	960	39,75	1160	47,41	1360	54,54
170	6,93	370	15,13	570	23,63	770	32,06	970	40,14	1170	47,78	1370	54,88
180	7,33	380	15,55	580	24,06	780	32,48	980	40,53	1180	48,15		
190	7,73	390	15,98	590	24,48	790	32,89	990	40,92	1190	48,52		

Figura 100 Tabla de equivalencias termocupla tipo k

Fuente: (manises, s.f.)

Como podemos observar el máximo valor alcanzado por este termopar es de los 54.88 mV a una temperatura de operación de 1370 grados centígrados cuyo valor no es compatible con la resolución de entrada de la tarjeta DAQ por tal razón se deberá acondicionar la señal mediante un amplificador de instrumentación como el AD595 (**Ver Apéndice I**).

Este circuito integrado está diseñado específicamente para este tipo de termocupla (tipo K), según su hoja de datos la salida estará en el orden los 10 mV/°C, con un corriente de operación máximo de 300 μ A y con una tensión de alimentación de 5 a 36 voltios siendo esto muy importante ya que según su entrada de alimentación dependerá el rango de salida, es decir si alimentamos con 5 voltios obtendremos una lectura de hasta 275 grados con una salida de 3 voltios, si alimentamos con 12 voltios podemos tomar lecturas de hasta 950 grados con una salida de voltaje de 9.72 voltios. La tabla de los voltajes de salida según la temperatura de lectura de la termocupla tipo k se encuentran en el **Apéndice I página 3**.

El integrado esta calibrado a una temperatura de compensación de 25 grados centígrados que se deberá tomar en cuenta al momento de la

programación, el circuito del acondicionamiento de señal incluirá un divisor de voltaje para adecuar la salida al DAQ en rangos permitidos así como un diodo zener de protección 1N4734A (**Ver apéndice G**).

Se instaló un indicador de falla de la termocupla mediante un led luminoso, además se incorporó una resistencia R2 de 10 K Ω que nos limitará el voltaje de salida a la mitad, es decir que la salida de 9.72 voltios ahora será de 4.86 voltios, de esta manera protegeremos nuestro DAQ de sobre voltajes, el circuito se muestra en la Figura 101.

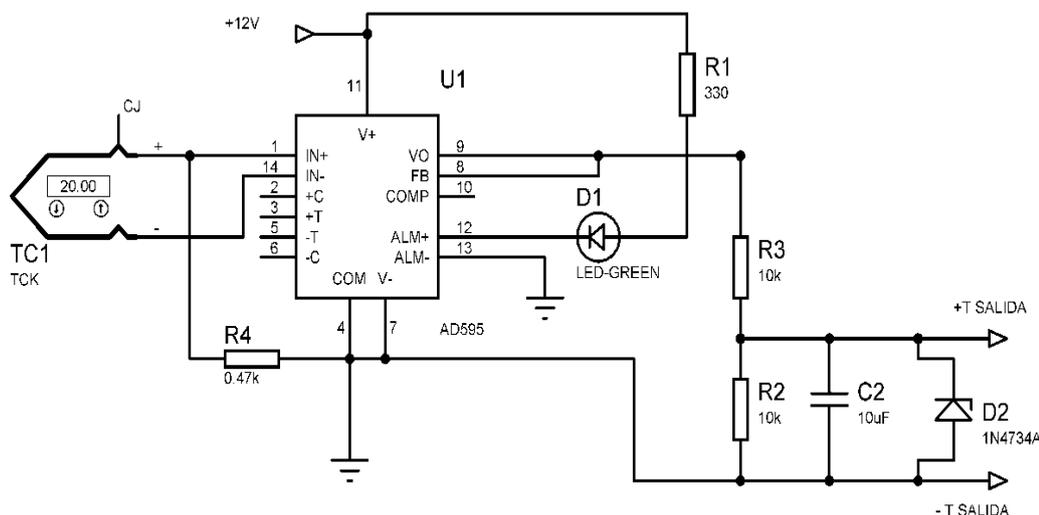
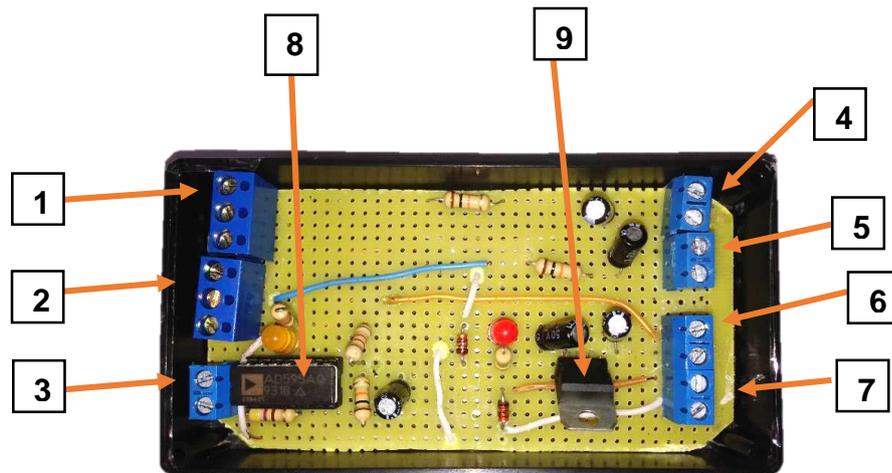


Figura 101 Acondicionamiento de señal termocupla tipo k

En la Figura 102 tenemos la construcción del acondicionador de señal de la termocupla tipo k, cabe señalar que en este dispositivo fabricado por nosotros se incluyó el regulador de voltaje que alimentará tanto al sensor de presión SDP2018R como al sensor del porcentaje de aceleración, debido a que se encuentran en el mismo espacio físico y nos ahorra mucho espacio al momento de la instalación. El circuito se diseñó de manera conjunta, es decir tendrá una sola entrada para la alimentación, 3 entradas para los sensores y 3 entradas para las respectivas salidas de señal.



1. Entrada Sensor de presión; 2. Entrada señal porcentaje de aceleración; 3. Entrada Termocupla tipo k; 4. Señal de salida sensor de presión; 5. Señal de salida porcentaje de aceleración; 6. Señal de salida termocupla tipo k; 7. Entrada alimentación 12 voltios; 8. AD595; 9 Regulador LM7805

Figura 102 Acondicionador de señal termocupla tipo k

4.6.7 Sensor de temperatura de entrada y salida de agua

La temperatura de entrada y salida del agua se lo va a realizar con el sensor de temperatura LM35DZ (**Ver apéndice J**) ya que este puede trabajar rangos de operación del sistema de refrigeración del banco de pruebas, es decir menor a 100 °C. Para que este pueda trabajar en agua se realizó un encapsulado con silicona de alta temperatura dentro de una tubería de PVC, y así prevenir daños al sensor como se muestra en la Figura 103.



Figura 103 Encapsulado sensor LM35

Se diseñará un sistema de acondicionamiento, recolección y filtrado de señales que una a los dos sensores mediante un amplificador operacional LM324N configurado con una ganancia de 5 que se lo puede regular mediante

el voltaje a medir e de 120 voltios DC, el transductor nos entregará una señal a la salida de 2 voltios DC, con una precisión de 0.2% a la medida con un excelente rechazo a las interferencias, su tensión de alimentación va de los 12 a 24 voltios y con una corriente de operación de 1 mA y un tiempo de respuesta de 300 ms. A la señal de salida se le incorporará un filtro pasivo pasa bajo como en la Figura 4.6 dentro de la TRS con una frecuencia de corte de 15.91 Hz El diagrama de conexiones del transductor lo muestra la Figura 106.

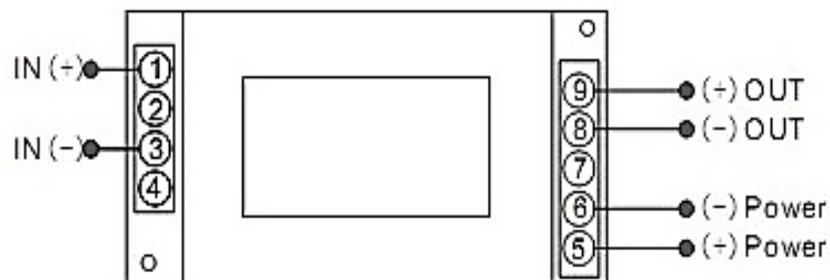


Figura 106 Diagrama de conexiones transductor de voltaje DVS300-SD-5V

4.6.9 Transductor de medición de corriente

El transductor de corriente D100-SD-5V es un dispositivo que mide la corriente continua utilizando el efecto Hall, cuando los cables que transportan dicha corriente pasan a través del orificio del dispositivo, de campo magnético de lazo cerrado, generará una señal proporcional al valor de intensidad medida, es decir si la corriente medida es de 20 Amperios la señal de salida será de 1 voltio, es decir tiene un factor de conversión de 0.05 el cual viene calibrado de fábrica según (Furison Electric, 2014), Su tensión de alimentación es de 24 voltios DC y con una corriente de operación de va desde los 5 mA hasta 1 A, la señal de salida va de 0 V a 5 Voltios DC, el diagrama de conexión el transductor se muestra en la Figura 107.

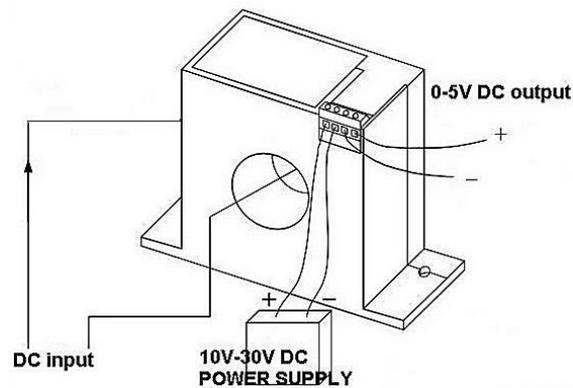


Figura 107 Diagrama de conexión transductor de corriente D100-SD-5V

4.6.10 Tarjeta de recolección de señales

Una manera de integrar el conjunto de señales adquiridas fue mediante el diseño y construcción de una TRS que nos permite ingresar las señales previamente acondicionadas para luego filtrar su señal y regular la salida máxima de tensión hacia la tarjeta DAQ mediante elementos electrónicos sencillos como se muestra en la Figura 108. La descripción del circuito y de los elementos utilizados se puede ver en el **apéndice D**

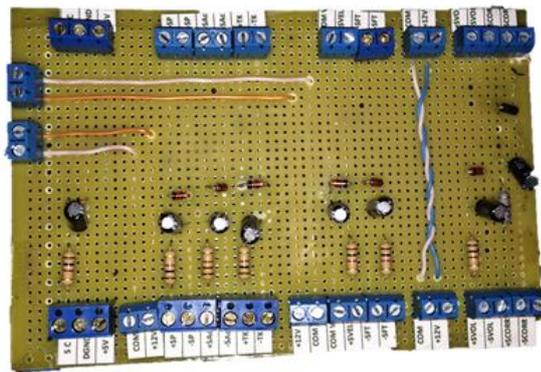


Figura 108 Tarjeta de recolección de señales

4.7 Programación de la interfaz HMI

El software de aplicación seleccionado fue LabVIEW 2014 de NATIONAL Instrument versión estudiantil, además con la compra de la tarjeta de adquisición de datos se incluyó un CD el cual trae el instalador de los drivers

y controladores necesarios para la comunicación a través del puerto USB del CPU así como NI-DAQ mx 14.2 siendo esta la última versión del software. Este software nos permitirá crear una interfaz Hombre-Máquina (HMI) que brindará al usuario un fácil entendimiento de las señales adquiridas durante las prácticas de laboratorio realizadas. Se deberá primero programar en el diagrama de bloque para luego en el panel frontal ir colocando y ordenando los indicadores necesarios para visualización de las señales adquiridas

4.7.1 Procedimiento de adquisición de señales usando LabVIEW

Se procederá a abrir LabVIEW 2014 versión estudiantil y crearemos un nuevo VI (instrumentos virtuales), el mismo que presenta dos pantallas: El *Block Diagram* (diagrama de bloques) que contiene el código gráfico que define la funcionalidad del VI, y el *Front Panel* (panel frontal) que es la interfaz gráfica de usuario. Por tanto, toda la descripción del algoritmo que se realizará a continuación se desarrollará en el *Block Diagram*. Como se muestra en la Figura 109.

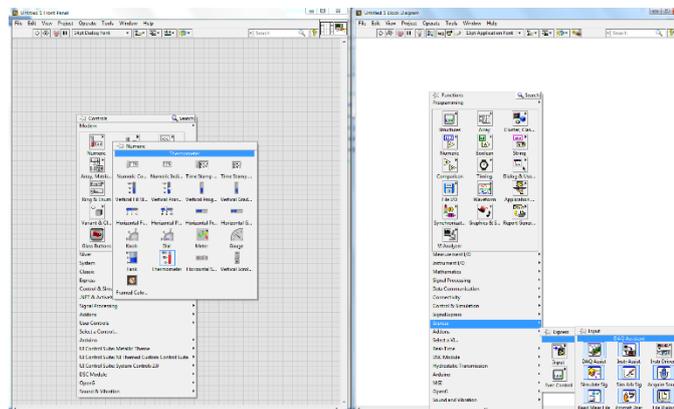


Figura 109 Pantalla principal LabVIEW

Cada pantalla tiene sus propias paletas de funciones, en el **Apéndice K** se detallarán los más utilizados en el presente proyecto de grado.

Se utilizará desde el bloque de diagramas la función DAQ Assistant que un poderoso asistente de adquisición de señales conjuntas la cual

configuraremos para la adquisición de señales analógicas y se asignará un canal en modo diferencial para cada una de ellas , además de limitar el rango de lectura de entrada entre 0 a 5 voltios y un número de muestras de 100 a 2 Khz para obtener una mejor calidad de señal, la referencia a tierra irá conectada al pin AI GND de la tarjeta de adquisición de datos.

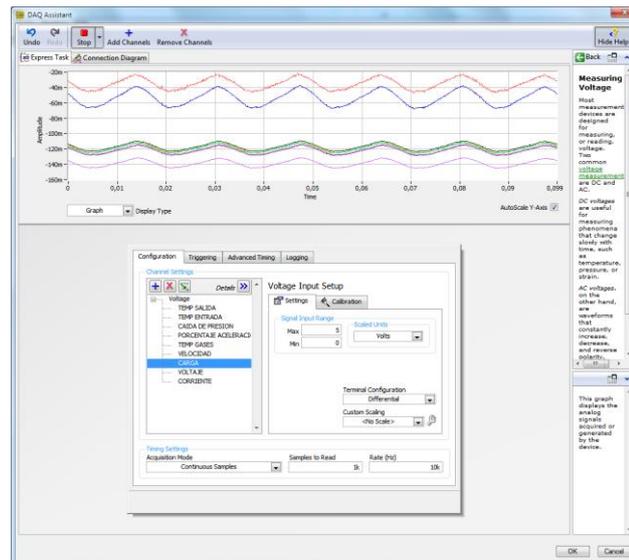


Figura 110 Pantalla de configuración de entrada del DAQ Assintant

Al terminar la asignación de canales en modo diferencial para las entradas analógicas nos creará automáticamente un lazo de control While Loop que mediante un control terminara la ejecución del mismo, además de eso usamos un Split Signal para poder manipular de manera individual cada señal de esta manera podemos calibrar y linealizar las señales acorde a nuestras necesidades. Se asignará un indicador numérico a cada señal para desde el panel frontal poder visualizar su magnitud. Una primera versión del panel frontal se muestra en la Figura 111.

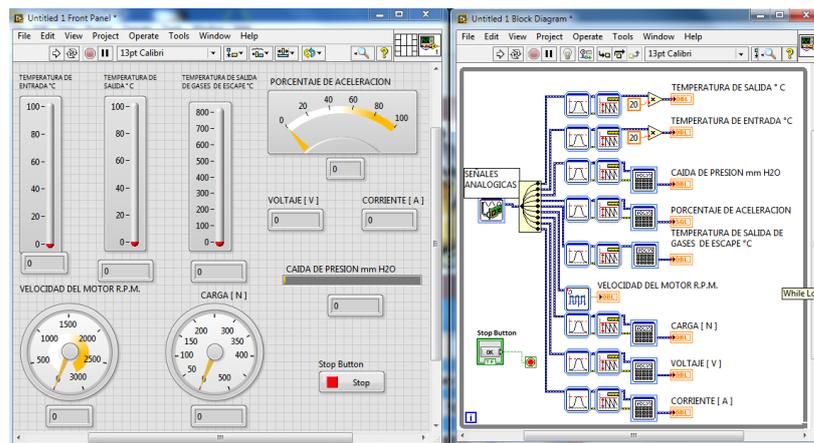


Figura 111 Panel frontal V1.0

Luego de adquirir las señales analógicas se deberán realizar los cálculos de las variables asociados al proceso con las constantes determinadas en el capítulo 3 de la presente tesis.

Utilizando las herramientas que nos ofrece el diagrama de bloques de LabVIEW (**Ver Apéndice K**) se podrá programar de manera secuencial los pasos necesarios así como también la interfaz de usuario del panel frontal, estableciendo parámetros lógicos basados en el lenguaje de programación gráfico.

En el **Apéndice L** se podrá observar una captura de pantalla con detalle del programa terminado en el diagrama de bloques.

Se deberá convertir el DAQ Assistant a una tarea para obtener mayor control del número de muestras y frecuencia de muestreo y así evitar saturar el buffer del sistema probando varias frecuencias de muestreo y cantidad de muestras por canal, los datos obtenidos se los mostrara en una tabla en el panel frontal en tiempo real, así como las curvas de desempeño obtenidas mediante el cálculo de las variables en el diagrama de bloques , los resultados se podrán guardar en un archivo tipo Excel para su posterior análisis, en la Figura 112 se muestra el panel frontal terminado.

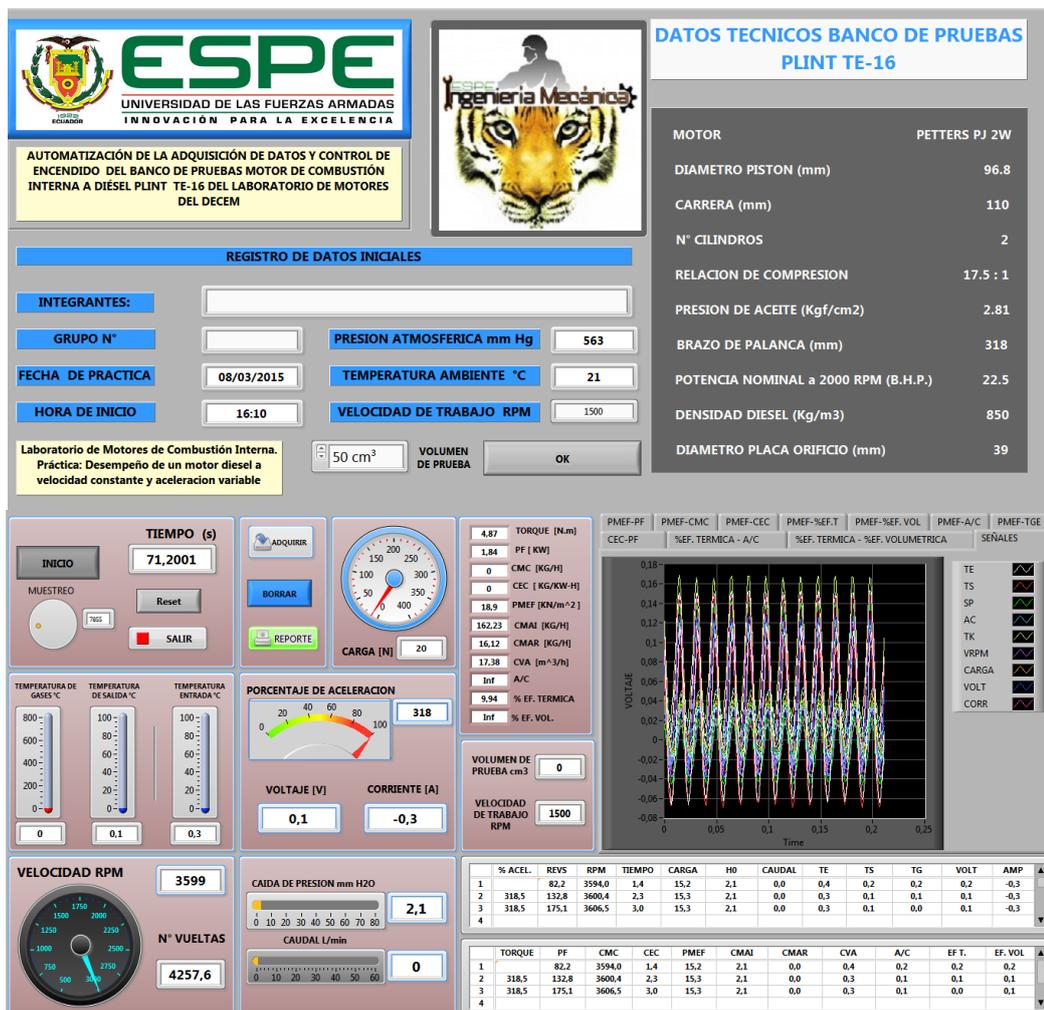


Figura 112 Panel frontal Versión final

El manual de operación del programa de adquisición y registro de datos se lo podrá revisar en el apéndice M de este proyecto de tesis.

CAPITULO V: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

5.1 Calibración del sistema de adquisición de datos

Luego del acondicionamiento y filtrados de forma física de los sensores se procederá a manipular las señales mediante el software, es decir se podrán realizar las calibraciones necesarias de acuerdo al tipo de señal entregada por cada sensor y a la recomendación del fabricante, además se podrá filtrar las señales de manera digital y obtener una mejor calidad y mayor estabilidad en las señales adquiridas ya que LabVIEW nos permitirá desarrollar rutinas y subrutinas o utilizar las herramientas pertinentes para cada caso.

5.1.1 Calibración de la tarjeta de adquisición de datos

La Tarjeta DAQ NI USB 6210 se podrá auto calibrar mediante el software NI Max Measurement & Automation Explorer 14.0 el cual nos permitirá además de la calibración un testeo de las entradas analógicas, digitales y contadores para verificar su correcto funcionamiento, el panel de configuración se lo muestra en la Figura 113.

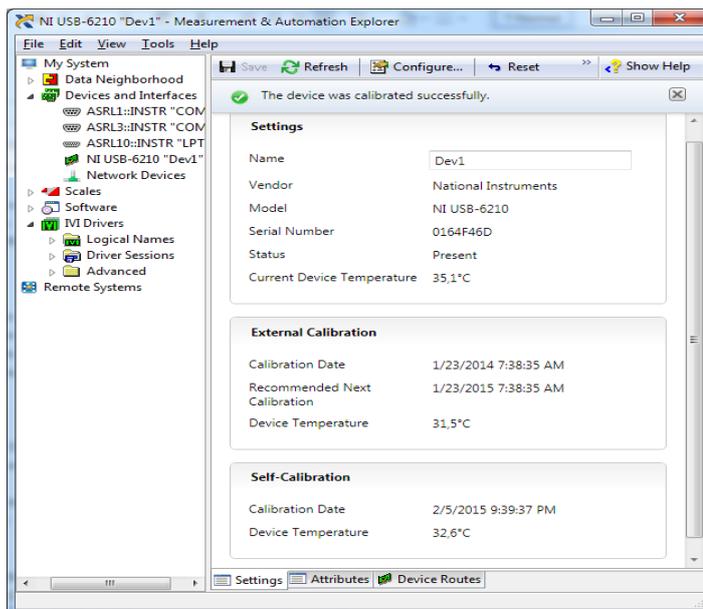


Figura 113 Panel de calibración DAQ NI USB 6210

5.1.2 Algoritmos de programación de las señales adquiridas

Las señales adquiridas se mostrarán de la misma manera que si tomáramos una medida con un medidor de voltaje (voltímetro) si fuera el caso de una señal de voltaje, para nuestro caso vamos a detallar cada una de ellas

5.1.2.1 Señal de sensor de caudal

El sensor YF S201 entrega una señal de pulso proporcional al caudal medido de 2.25 ml por pulso y esta señal irá conectada a un contador PFI 0 (1 o 2 según designe el software) como se muestra en la Figura 114.

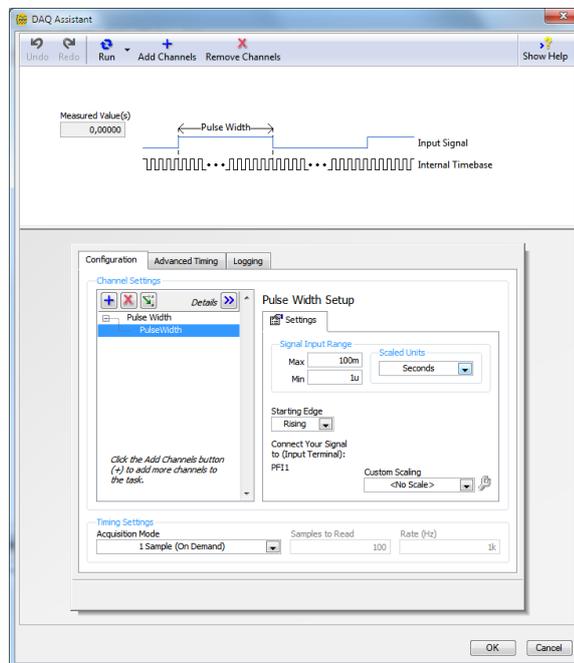


Figura 114 Asignación de entrada digital sensor de caudal

El algoritmo que rige este proceso estará dado por:

$$\text{Caudal} \left[\frac{L}{\text{min}} \right] = \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \cdot x1 \left(\frac{\text{s}}{\text{pulso}} \right) * 450 \left(\frac{\text{pulsos}}{\text{litro}} \right) \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Siendo x1 la señal adquirida por el contador que mide el tiempo que se demora entre pulso y pulso el transductor de caudal al pasar por sus aspás internas.

5.1.2.2 Señal sensor de presión diferencial

Como se vio en el apartado 4.7.2 este sensor arroja una señal no lineal entre los 0.25v y 4 voltios para el caso el fabricante nos ofrece la ecuación descrita en la Figura 88, es decir dentro del VI formula se tomará la señal del sensor X1 y se introducirá en la ecuación como lo muestra la ecuación 5.1 y obtendremos una salida en pascales que se deberá convertir a mmH2O multiplicando el resultado por 0.980665.

$$\text{Caída de presión [mmH2O]} = \left[\frac{1.286 \times (x1 - 0.25)}{3.75} \right]^2 \times 3500 \times 0.980665 \quad \text{Ecuación 5.2}$$

5.1.2.3 Señal de la celda de carga

La celda de carga al ser un sensor de alta sensibilidad se debe realizar pruebas con carga y sin carga y medir el voltaje entregado, tabular estos datos y obtener una curva de calibración y así determinar la ecuación que rige dicho proceso, la gráfica que lo representa se muestra en la Figura 115.

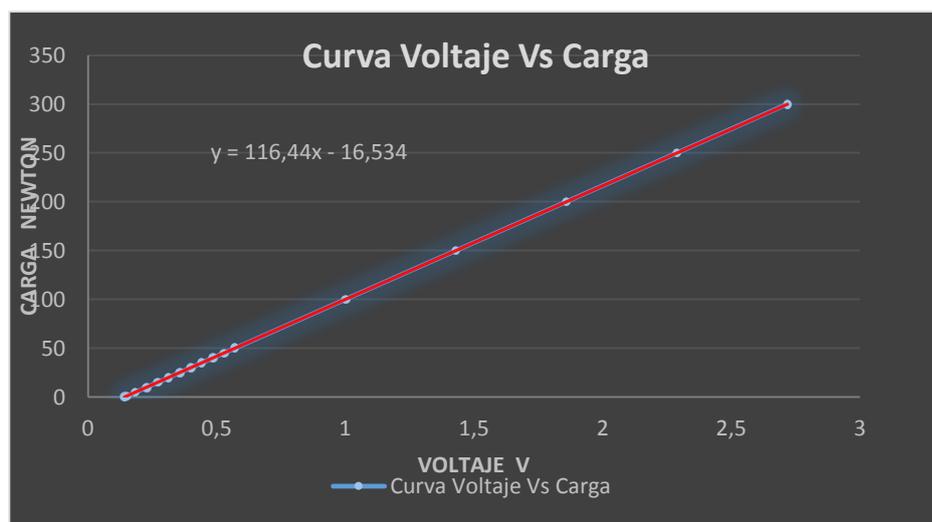


Figura 115 Curva de calibración celda de carga

5.1.2.4 Señal del sensor de velocidad

El sensor inductivo como se vio en el apartado 4.7.4 arroja valores de 0 y 4.34 voltios para poder medir esta señal se utilizará un toolkit que ofrece LabVIEW llamada Sound and Vibration el cual posee un tacómetro analógico accesible desde el diagrama de bloques y en cual podremos obtener directamente el número de pulsos por revolución obtenidas, como se muestra en la Figura 116.

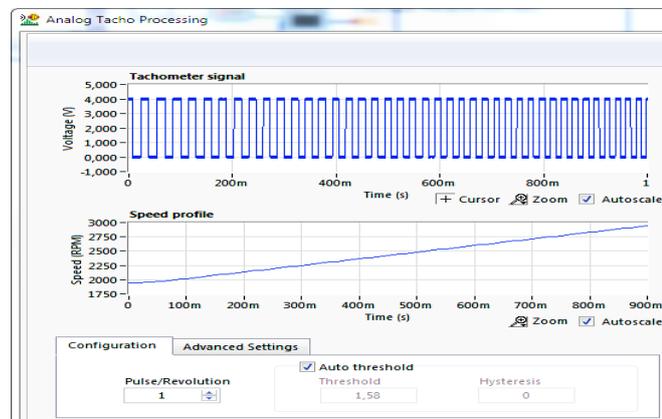


Figura 116 VI señal de revoluciones por pulso

5.1.2.5 Señal de salida porcentaje de aceleración

El potenciómetro permitirá regular la señal de entrada de 5 voltios según la posición inicial y a su vez ira regulando su voltaje de salida acorde a la posición de los dientes del acelerador manual, su calibración se presenta en la Figura 117.

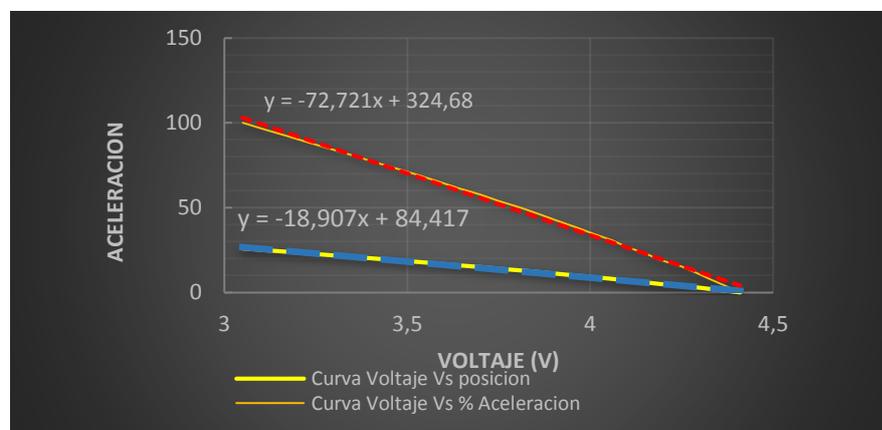


Figura 117 Curva de calibración señal porcentaje de aceleración

Según la gráfica mostrada anteriormente la ecuación que rige al proceso es $y = -18.907X1 + 84.417$ misma que se ingresa en el VI de fórmula de LabVIEW y para obtener a la salida con un indicador numérico el porcentaje de aceleración se multiplicara este valor por 100 y se dividirá para 26 que es total de numero de dientes según la posición del acelerador manual del banco de pruebas.

5.1.2.6 Señal de salida temperatura de gases

La señal que entrega el acondicionador de señal AD595 mostrado en la Figura 4.18 arroja valores de 10 mv/°C siendo estando este valor dentro del rango permitido por la tarjeta de adquisición de datos, ya que se necesita una resolución mínima para los cálculos de un 1 °C, la curva de calibración y la ecuación que rige el proceso se muestra en la Figura 118.

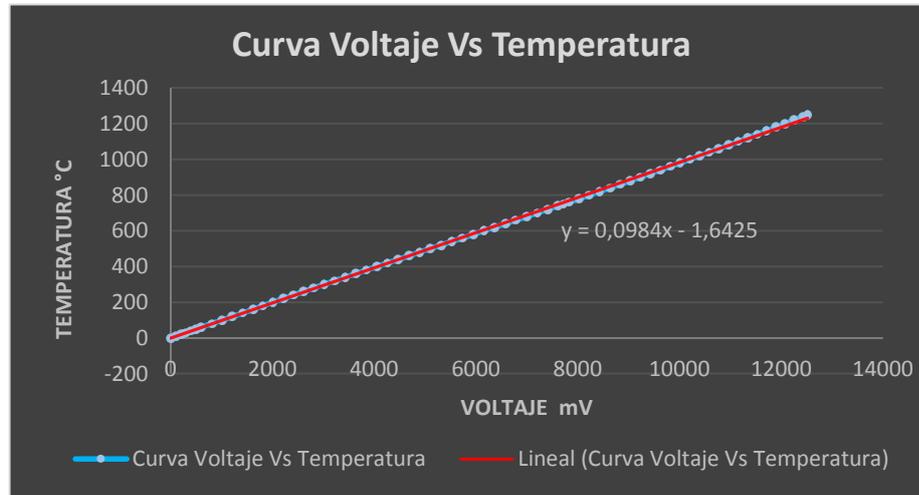


Figura 118 Curva de calibración termocupla tipo k

El comportamiento del circuito acondicionador de la termocupla tipo K es casi lineal y arroja la ecuación $Y = 0.0984x - 1.6425$ que se ingresa en el VI fórmula y mediante un indicador numérico mostrara el valor de la temperatura en grados centígrados.

5.1.2.7 Señal de salida sensores de temperatura de entrada y salida

La salida de los sensores LM35DZ son directamente proporcional a la temperatura medida, es decir de 10 mV/°C además con el amplificador y filtro añadido se obtuvo una ganancia de 5, según los datos se puede observar las curvas de calibración en la Figura 119.

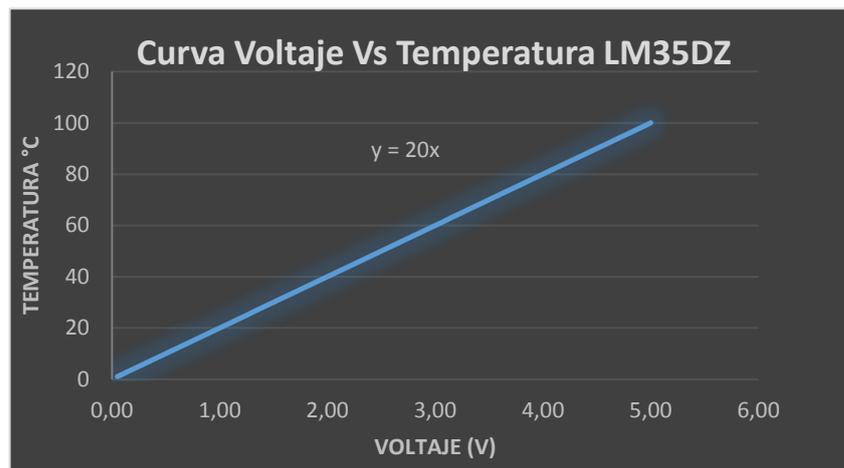


Figura 119 Curva de calibración sensor LM35DZ

Según la curva obtenida la ecuación que rige el proceso es $y = 20X$ debido a que este sensor es lineal y se podrá multiplicar la señal obtenida directamente por un factor de 20 y así obtener la temperatura en grados centígrados mostrados en un indicador numérico en el panel frontal de nuestro programa.

5.1.2.8 Señal de salida del transductor de voltaje

El transductor de voltaje según su hoja de datos técnicos ofrecida por el fabricante no da una salida completamente lineal de entre 0 y 5 voltios es decir a 300 voltios medidos su salida será de 5 voltios los cuales se pudo comprobar midiendo con un voltímetro a la salida del indicador de voltaje y obtener los datos para cada valor medido y así obtener la curva de calibración y su ecuación como se muestra en la Figura 120.

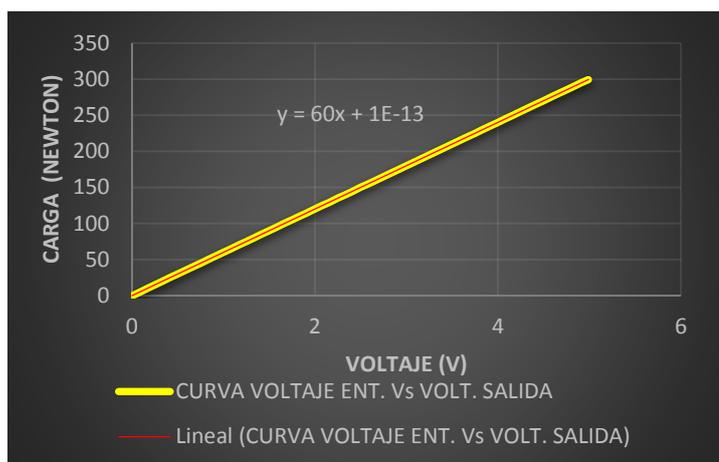


Figura 120 Curva de calibración Transductor de voltaje

Según la gráfica a la salida del transductor que ingresa al sistema de deberá multiplicar por un factor de 60 para obtener los datos de voltaje entregado por el banco de pruebas.

5.1.2.9 Señal de salida del transductor de corriente

El transductor de corriente de igual manera nos ofrece una salida casi lineal del amperaje medido y comparado con el valor de la pinza amperimétrica tomado a la salida del instrumento de medición corriente del banco de pruebas su curva de calibración y la ecuación que rige al transductor se muestra en la Figura 121.

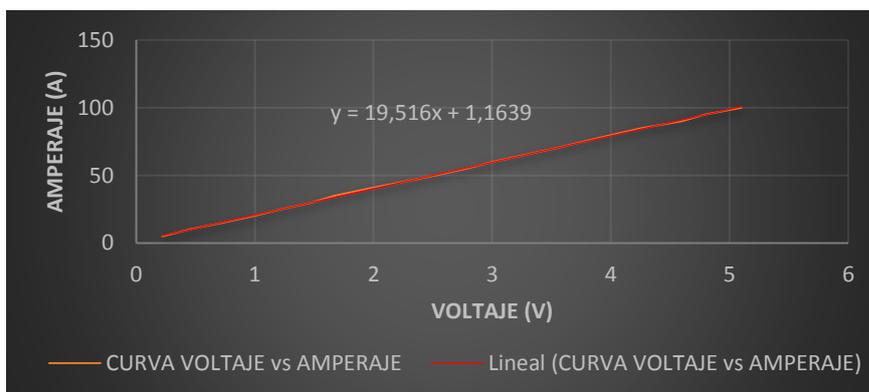


Figura 121 Curva de calibración transductor de corriente

Según el fabricante el transductor ofrecerá una salida lineal de entre 0 y 5 V en un rango de 0 a 100 amperios, realizando la medición correspondiente

se determinó que su salida es de acuerdo a la ecuación de la Figura 121, es decir tenemos un error de medición del 0.76 % que estaría dentro de los rangos permitidos.

5.2 Pruebas en vacío

El funcionamiento del sistema en vacío nos permitirá dar un inicio o puesta en cero de los sensores y transductores instalados, siendo necesario realizar las mediciones de las características principales de cada señal adquirida como la frecuencia, amplitud y muestras por canal para que de esta manera el programa nos entregue un resultado confiable de sus mediciones. En el panel principal se colocó un botón que nos permitirá aumentar o disminuir el número de muestras adecuado que permita al sistema estabilizar su adquisición y entregar valores de manera correcta, de esta manera se obtuvieron las señales que se muestran en la Figura 122.

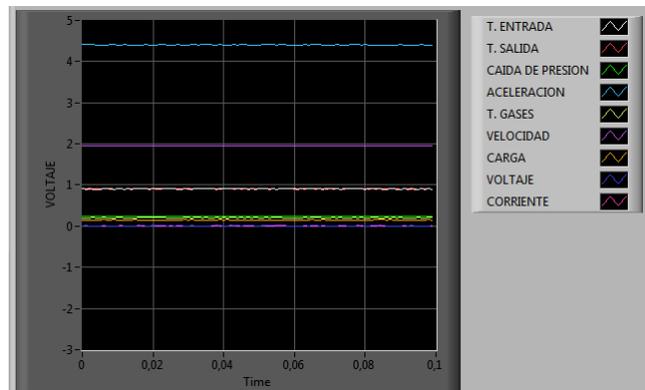


Figura 122 Señales iniciales del motor sin carga

5.3 Pruebas con carga

Una vez realizado las calibraciones de todas las señales obtenidas se podrán ajustar a los valores reales y compararlos con las lecturas de la instrumentación analógica que está instalada en el banco de pruebas y con un instrumento previamente calibrado para poder calcular el error de lectura que podríamos tener. A continuación se realizarán cada una de las comparaciones mencionadas

5.3.1 Medición del caudal de Agua

La medida de caudal de agua que ingresa al banco de pruebas permite al mismo controlar el intercambio térmico de agua fría obtenida de la red con el agua caliente que sale del sistema de refrigeración del motor, cabe mencionar que el valor del caudal no influirá en los cálculos de balance térmico del motor, siendo el valor de las temperaturas de entrada y salida que influirán en los cálculos del rendimiento térmico del motor.

Tabla 19

Prueba de medición transductor de caudal

TEST	*FLUJÓMETRO tiempo (s)	**YF S201 ms/pulso	**YF S201 L/min
1	62	9,25	14,41
2	63	9,17	14,54
3	62	8,76	15,22
4	63	9,08	14,68
5	63	9,1	14,65
6	63	8,86	15,05
7	61	8,59	15,52
8	61	8,96	14,88
9	63	8,77	15,20
10	63	9,13	14,60

**Tiempo de llenado del recipiente a una velocidad de 15 L/min;*

*** Valor arrojado por el programa;*

**** Conversión por el factor de 450 L/min*

En la Tabla 19 tenemos los diferentes valores de caudal siendo nuestro instrumento de comparación un recipiente de 15 litros y un cronometro digital. La prueba se realizó a una velocidad del flujómetro de 15 L/min y se valoró la medición del transductor mediante el tiempo de ancho de pulso censado por el contador de la tarjeta de adquisición de datos, según estos valores el transductor tiene un error promedio de lectura del 2.15 % que es bastante aceptable para nuestro proyecto.

5.3.2 Medición de la caída de presión

La medida de caída de presión con el motor trabajando a diferentes condiciones de carga se mide con el manómetro inclinado, de la misma manera el transductor de presión instalado cerca de la placa orificio enviara una señal de voltaje que se tabulará en la Tabla 20 y se comparara con este instrumento ya que es bastante preciso en sus mediciones.

Tabla 20

Prueba de medición transductor de caída de presión

TEST RPM	*MANÓMETRO TYPE 504 mmH2O	**SDP2108 VOLTIOS	SDP2108 Pa	***SDP2108 mmH2O
900	10	0,80	96,82	9,87
1000	12	0,85	115,23	11,75
1200	15	0,92	143,68	14,65
1300	17	0,97	165,92	16,92
1500	24	1,1	231,25	23,58
1600	27	1,15	259,26	26,44
1700	30	1,2	288,86	29,46
1800	34	1,27	333,00	33,96
1900	36	1,3	352,88	35,98
2000	40	1,35	387,29	39,49

**Tomado directamente de la lectura del manómetro inclinado;*

*** Valor medido con voltímetro; *** Valor entregado por programa*

Según estos valores el transductor tiene un error promedio de lectura del 1.35 %, cabe señalar que este error se debe a la variación de consumo de aire del motor.

5.3.3 Medición de Fuerza del motor

La balanza de resorte instalada no tiene una precisión aceptable debido a la fatiga recibida por muchos años de operación por tal motivo se realizó las pruebas de carga al sensor de fuerza con pesos conocidos y tabulando sus datos como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21

Prueba de medición del sensor de carga

TEST	*CARGA PATRÓN	**60001 mV	**60001 NEWTON
1	0	142	0,00448
2	1	151	1,006
3	5	185	5,011
4	10	228	10,018
5	15	271	15,025
6	20	314	20,032
7	25	357	25,039
8	30	400	30,046
9	35	443	35,053
10	40	485	39,943
11	45	528	44,950
12	50	571	49,957
13	100	1000	99,910
14	150	1430	149,979
15	200	1860	200,048
16	250	2290	250,118
17	300	2718	299,954

**Cargas facilitadas por el laboratorio de Motores y Física;*

*** Valor medido con voltímetro; *** Valor entregado por programa*

Según estos valores el transductor tiene un error promedio de lectura del 0.14 %, debido a la naturaleza del sensor por ser este sensible a los cambios de resistencia a la deformación de las galgas extensiométricas que posee se encuentra dentro del rango de error permitido que es del 0.25 %

5.3.4 Medición de la velocidad del eje del motor

La señal sinusoidal que entrega el sensor cambia de frecuencia según las revoluciones por minuto a que este girando el motor, la precisión de la medida dependerá de la correcta instalación y espacio entre el rasante del sensor y el objeto metálico que se instaló a 4 mm de espacio, de igual manera se realizó la tabulación de los datos comparados con el tacómetro analógico instalado en el banco de pruebas, además de su comprobación con el osciloscopio.

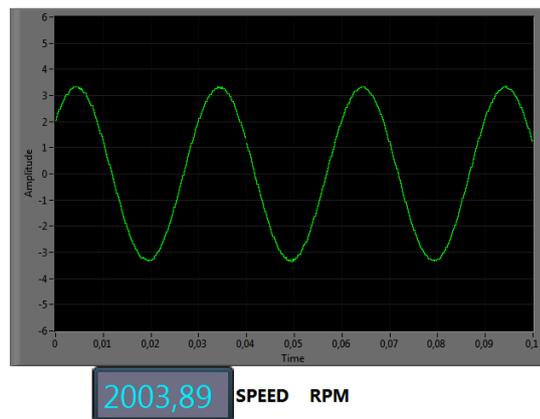


Figura 123 Medición con osciloscopio digital sensor inductivo

Tabla 22

Medición de sensor de velocidad

*TACÓMETRO RPM	**SENSOR INDUCTIVO RPM	***OSCILOSCOPIO DIGITAL RPM
1250	1251	1252,4
1300	1302	1304,2
1351	1353	1348,6
1400	1402	1401,7
1550	1553	1550,6
1600	1606	1605,2
1680	1675	1677,1
1708	1704	1704
1800	1792	1804,3
1900	1905	1903,8
2000	2005	2003,89

**Medición tomada del tacómetro analógico;*

*** Valor medido en el programa; *** Valor entregado por el osciloscopio digital*

5.3.5 Medición del porcentaje de aceleración

El diseño que se empleó para acoplar el potenciómetro al acelerador manual está sujeto a errores en la señal medida en el orden de los mili voltios debido a que el banco de pruebas tiene mucha vibración y la transmite hacia

los componentes más sensibles como podemos apreciar en la Figura 99. Sin embargo se puede tener buenos resultados en la medición durante la operación ya que el voltaje medido corresponderá a un porcentaje de aceleración de acuerdo al número de diente en la posición del acelerador manual, por ejemplo en la posición cero se obtuvo un voltaje de salida de entre 4400 mV y 4410 mv siendo una diferencia de 10 mV por medida, los datos obtenidos en la prueba de aceleración se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23

Medición porcentaje de aceleración

Medición Voltaje (V)	#diente	% Aceleración
4,41	0	0,00
4,37	1	3,85
4,33	2	7,69
4,29	3	11,54
4,25	4	15,38
4,19	5	19,23
4,15	6	23,08
4,1	7	26,92
4,06	8	30,77
4,01	9	34,62
3,96	10	38,46
3,91	11	42,31
3,86	12	46,15
3,81	13	50,00
3,75	14	53,85
3,7	15	57,69
3,64	16	61,54
3,585	17	65,38
3,53	18	69,23
3,47	19	73,08
3,41	20	76,92
3,35	21	80,77
3,29	22	84,62
3,23	23	88,46
3,17	24	92,31
3,11	25	96,15
3,05	26	100,00

*Medición tomada con voltímetro;

** Valor de la posición acelerador manual;

*** Valor entregado por el programa

5.3.6 Medición de la temperatura de gases

La Temperatura de gases se pudo comparar con el termómetro digital dtm-305 mismo que tiene entrada para lectura de termocuplas, durante el ciclo de trabajo del motor se pudo obtener los siguientes valores mostrados en la Tabla 24.

Tabla 24

Medición de la temperatura de gases de escape

*DTM-305	**mV	***TERMOCUPLA TIPO K
19,5	200	20
24,8	250	25
29,8	300	30
38,9	401	40
50	503	50
60	605	60
80,1	810	80
100,1	1015	100
120,2	1219	120
140,1	1420	140
160,1	1620	160
180,2	1817	180

*Medición tomada con termómetro digital DTM-305

** Valor de voltaje a la salida del acondicionador;

*** Valor entregado por el programa

5.3.7 Medición de las temperaturas de entrada y salida de agua

La diferencia de temperaturas de entrada y salida fueron medidas con el termómetro digital DTM-305, también fueron tomadas las lecturas del termómetro de mercurio instalado en los ductos de entrada y salida del sistema de refrigeración del banco de pruebas , estos datos junto con los valores entregados por el programas fueron tabulados en la Tabla 25 y como se puede observar las lecturas de los sensores LM35 DZ tienen una ligera desviación de lectura de entre 1 y 2 grados centígrados respecto a la lectura del termómetro digital y al termómetro de mercurio debido a la turbulencia que existe en las mangueras durante el recorrido del agua por el sistema de

enfriamiento. Cabe mencionar que esta diferencia no afecta en los cálculos de rendimiento del banco de pruebas.

Tabla 25

Medición de temperatura de entrada y salida de agua

TERMÓMETRO DE MERCURIO	DTM-305	*mV	**AMPLIFICADO	***LECTURA PROGRAMA
20	20	196	980	19,6
24	24,1	236	1180	23,6
28	28,1	278	1390	27,8
32	32,1	319	1595	31,9
35	35	348	1740	34,8
40	40,1	389	1945	38,9
44	44,2	439	2195	43,9
45	45,2	445	2225	44,5
48	48,1	477	2385	47,7
49	49	487	2435	48,7
50	50,1	495	2475	49,5
54	54	535	2675	53,5
57	57,1	570	2850	57
58	58	580	2900	58
60	60	601	3005	60,1
62	62,1	624	3120	62,4
64	64,1	649	3245	64,9
65	65,1	656	3280	65,6
68	68,1	688	3440	68,8
70	70,1	708	3540	70,8
72	72,2	723	3615	72,3
74	74,1	742	3710	74,2
75	75,2	754	3770	75,4

*Medición tomada a la salida del sensor LM35DZ

** Valor de voltaje a la salida del acondicionador de temperatura con ganancia de 5;

*** Valor entregado por el programa

5.3.8 Medición del voltaje generado

El voltaje que entrega el dinamómetro eléctrico a diferentes condiciones de trabajo varían según la potencia al freno aplicado al motor con las cargas del banco de resistencias y la aceleración de trabajo, para nuestro caso la comparación de generación de voltaje se lo hace con la medida tomada

realizada con un voltímetro digital y comparándola con la lectura entregada del voltímetro analógico instalado.

Tabla 26

Medición de Voltaje

VOLTÍMETRO ANALÓGICO	VOLTÍMETRO DIGITAL	*LECTURA mV	**DVS300-SD-5V
20	18	310	18,6
40	37	617	37,02
60	58	967	58,02
80	79	1318	79,08
100	102	1696	101,76
120	118	1970	118,2
140	138	2325	139,5

*Medición tomada a la salida del sensor DVS300-SD-5V

** Valor entregado por el programa con factor de corrección 60

5.3.9 Medición de la corriente generada

A diferentes regímenes de trabajo se midió con una pinza amperimétrica la cantidad de corriente generada por el motor sus datos se tabularon en conjunto a la lectura entregada por el amperímetro analógico instalado como lo muestra la Tabla 27.

Tabla 27

Medición de corriente

AMPERÍMETRO ANALÓGICO	PINZA AMPERIMÉTRICA	*LECTURA mV	**D100-SD-5V
5	4,5	220	4,4
10	11	548	10,96
15	14	690	13,8
20	18	889	17,78
25	24,5	1190	23,8
30	28	1397	27,94
35	33,5	1648	32,96
40	37,9	1845	36,9

*Medición tomada a la salida del sensor D100-SD-5V

** Valor entregado por el programa con factor de corrección 60

Se pudo observar que respecto a la lectura con el amperímetro analógico instalado si existe una variación importante que se debe principalmente a la resolución del instrumento de fábrica instalado que es de 5 A.

5.4 Comparación de curvas obtenidas

Es importante realizar la comparación de las curvas de desempeño calculadas con los valores obtenidos teóricamente, con instrumentación analógica y con el sistema de adquisición de datos a pleno funcionamiento ya que de esta manera podremos analizar el comportamiento del banco con instrumentación analógica y con sistema confiable de adquisición de datos en tiempo real. Desde las Figuras 124 hasta la Figura 133 se podrá observar el diferente comportamiento entre un sistema analógico de obtención de datos y un sistema de adquisición de datos completamente digital, en la Tabla 28 se presenta un resumen parcial de los datos obtenidos durante los dos procesos

Tabla 28

Resumen de datos sistema ANALÓGICO-DAQ

TEST	Tq (N.m)	Pf (KW)	CMC Kg/h	CEC (Kg/Kw.h)	PMEF (KN/m2)	CMAR (Kg/h)	CMAI (Kg/h)	A/C	Qa	nt	nv
SISTEMA ANALÓGICO											
1	7,63	1,07	0,96	0,90	59,24	47,34	60,63	49,10	51,01	9,23	78,09
2	15,90	2,25	1,20	0,53	123,41	47,34	60,99	39,42	51,01	15,54	77,62
3	25,44	3,60	1,43	0,40	197,45	46,01	60,99	32,14	49,58	20,86	75,44
4	31,80	4,44	1,58	0,35	246,82	46,01	60,08	29,20	49,58	23,33	76,57
5	41,34	5,93	1,92	0,32	320,86	46,01	61,71	23,97	49,58	25,57	74,56
SISTEMA DAQ											
1	7,75	1,09	0,96	0,88	60,17	48,08	60,59	50,28	51,81	9,45	79,36
2	18,85	2,67	1,20	0,45	146,31	47,92	60,98	40,03	51,63	18,47	78,58
3	26,89	3,84	1,44	0,38	208,71	47,90	61,42	33,19	51,62	22,02	77,99
4	33,90	4,73	1,59	0,34	263,11	46,38	60,07	29,23	49,98	24,69	77,21
5	42,55	6,10	1,94	0,32	330,29	47,25	61,69	24,40	50,91	26,08	76,59

** Datos obtenidos con un volumen de prueba de 50 ml.

5.4.1 Curva comparativa de la P_{MEF} en función de la potencia al freno

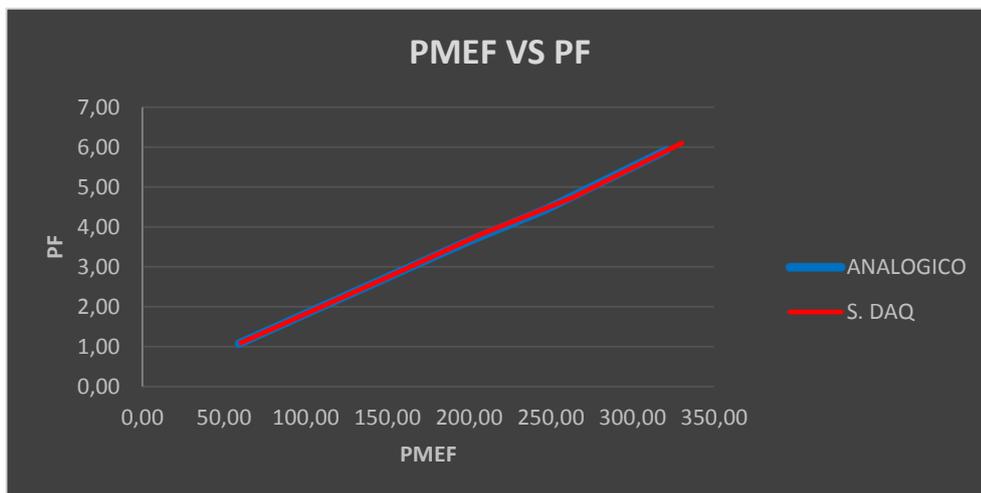


Figura 124 Comparación entre sistema ANALÓGICO-DAQ de P_{MEF} VS PF

5.4.2 Curva comparativa de la P_{MEF} en función del consumo másico de combustible

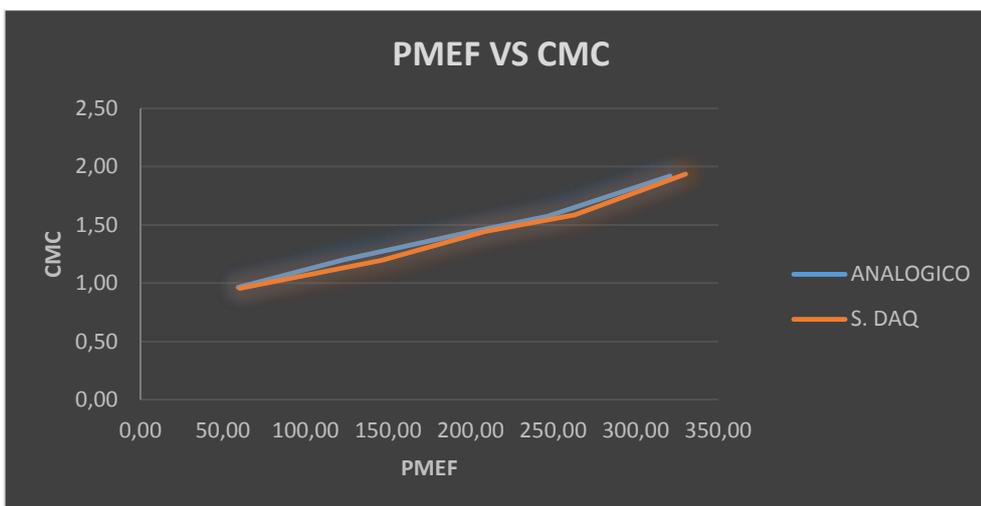


Figura 125 Comparación entre sistema ANALÓGICO-DAQ de P_{MEF} VS CMC

5.4.3 Curva comparativa de la P_{MEF} en función del consumo específico de combustible

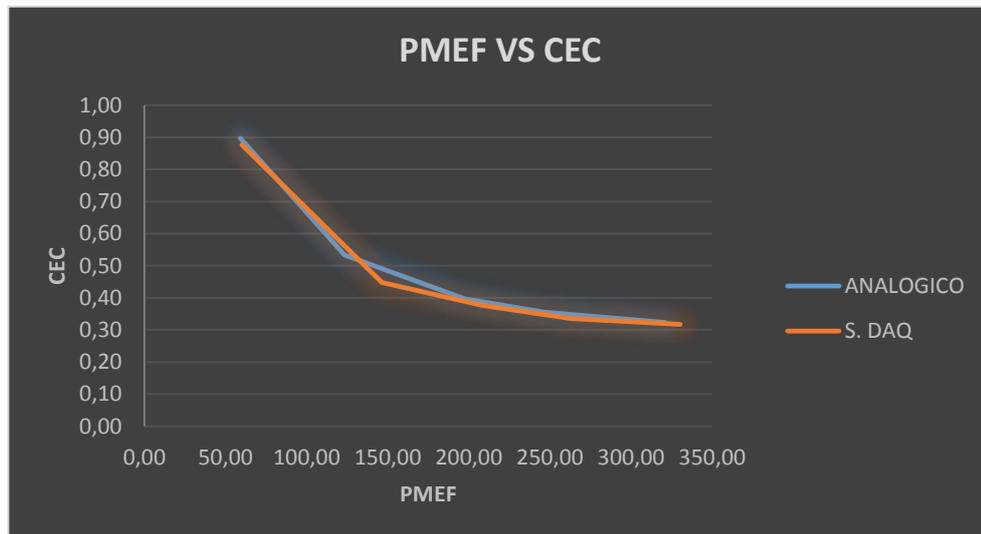


Figura 126 Comparación entre sistema ANALÓGICO-DAQ de P_{MEF} VS CEC

5.4.4 Curva comparativa de la P_{MEF} en función de la eficiencia volumétrica

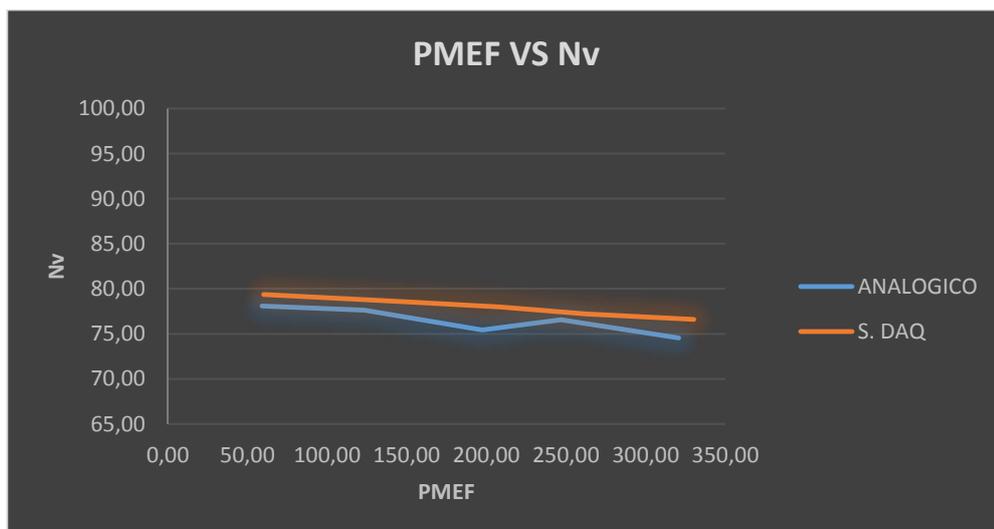


Figura 127 Comparación entre sistema ANALÓGICO-DAQ de P_{MEF} VS N_v

5.4.5 Curva comparativa de la PMEF en función de la eficiencia térmica

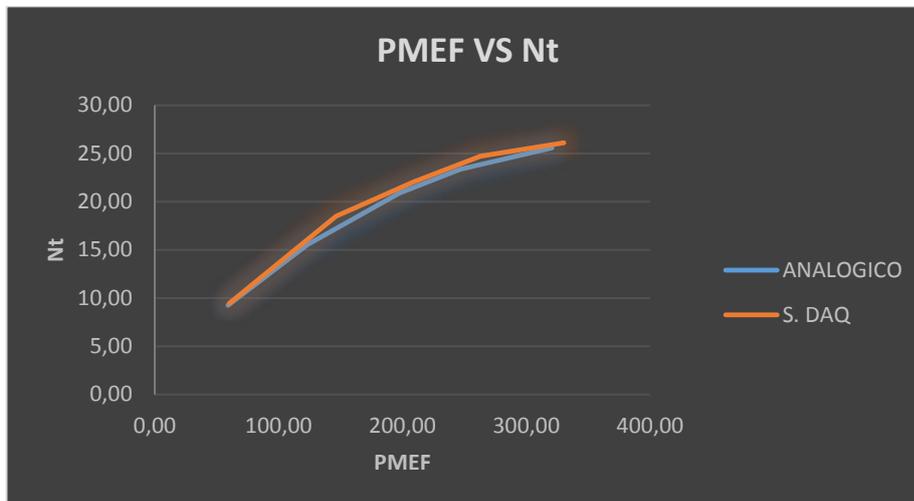


Figura 128 Comparación entre sistema ANALÓGICO-DAQ de PMEF VS N_t

5.4.6 Curva comparativa de la PMEF efectiva en función de la relación aire combustible

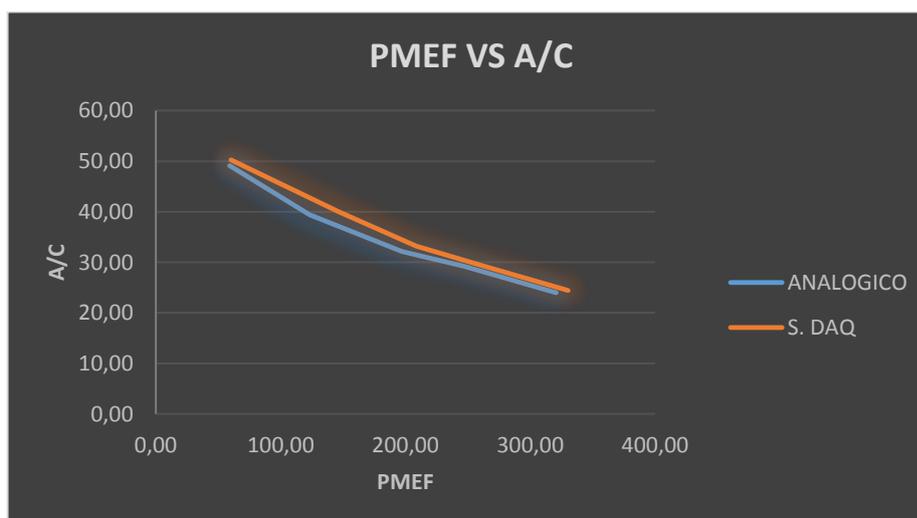


Figura 129 Comparación entre sistema ANALÓGICO-DAQ de PMEF VS A/C

5.4.7 Curva comparativa de la PMEF en función de la temperatura de gases de escape

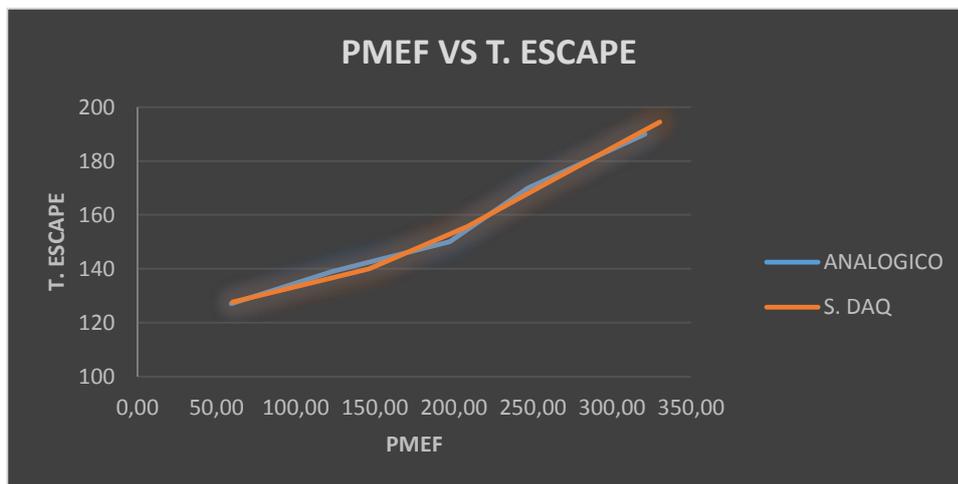


Figura 130 Comparación sistema ANALÓGICO-DAQ de PMEF VS T.E.

5.4.8 Curva comparativa de la PF en función del consumo específico de combustible

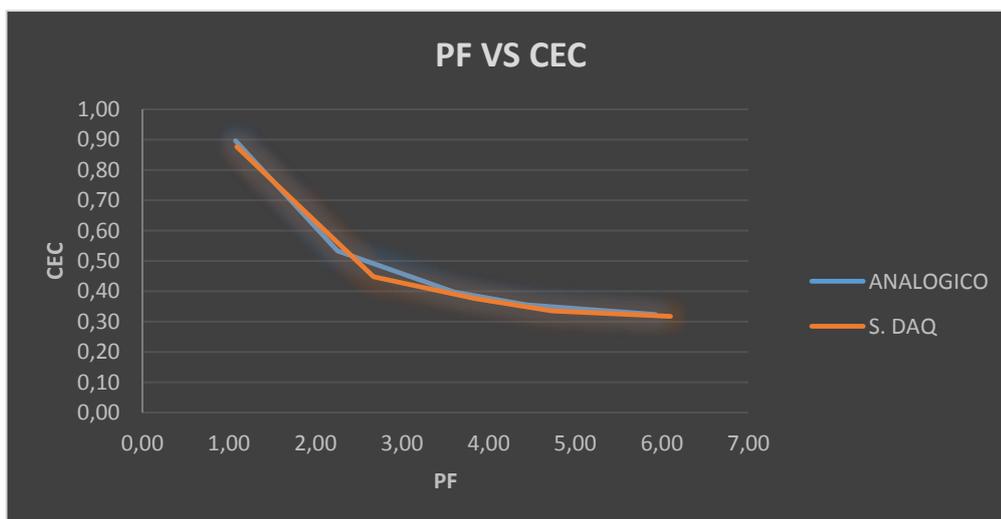


Figura 131 Comparación entre sistema ANALÓGICO-DAQ de PF VS CEC

5.4.9 Curva comparativa de la PF en función del consumo específico de combustible

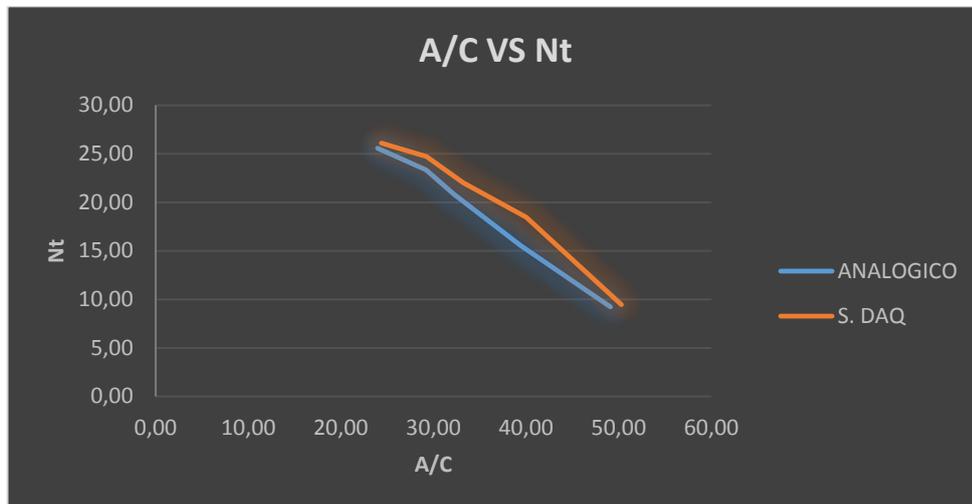


Figura 132 Comparación entre sistema ANALÓGICO-DAQ de A/C VS Nt

5.4.10 Curva comparativa de la eficiencia térmica en función de la eficiencia volumétrica

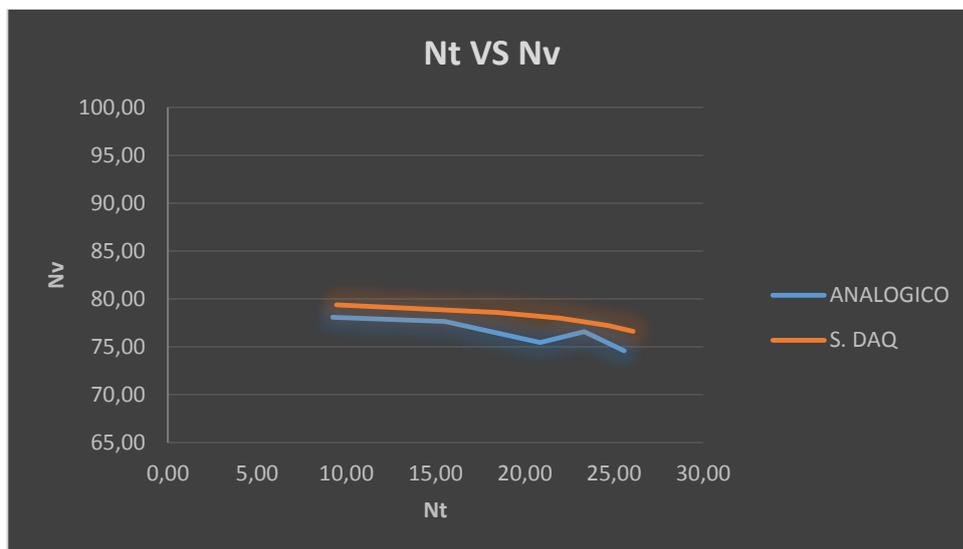


Figura 133 Comparación entre sistema ANALÓGICO-DAQ de Nt VS Nv

CAPITULO VI: ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

6.1 Análisis Económico

Con el análisis económico se logró determinar los beneficios y pérdidas de la inversión realizada para la implementación de un nuevo sistema de adquisición de Datos y control de encendido del banco de Pruebas del Motor de combustión interna PLINT TE-16, el mismo que consta de los costos de instrumentación, de automatización y pruebas de funcionamiento todo esto con la realización de un análisis Costo-Beneficio

6.1.1 Costos directos

Los costos de la instrumentación, materiales y equipo para la automatización y pruebas de funcionamiento son detallados a continuación en diferentes tablas.

Tabla 29

Costos de la instrumentación.

Materiales	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total
LM35DZ	2	\$2,01	\$4,02
POTENCIÓMETRO 100K	2	\$3,50	\$7,00
AMPLIFICADOR	3	\$50,00	\$150,00
PC ARMADO	1	\$345,00	\$345,00
MONITOR	1	\$115,00	\$115,00
BATERÍA	1	\$130,00	\$130,00
TARJETA DAQ 6210	1	\$1.081,00	\$1.081,00
SENSOR PRESIÓN SDP2108-R	1	\$169,00	\$169,00
SENSOR DE VOLTAJE DVS300-SD-5V	1	\$72,50	\$72,50
SENSOR DE CORRIENTE D100-SD-5V	1	\$53,00	\$53,00
TERMOCUPLA TIPO K	1	\$15,12	\$15,12
SENSOR INDUCTIVO IS18F5NCDC	1	\$35,00	\$35,00
CAUDAL YF-S201	1	\$20,00	\$20,00
CAJA	2	\$35,00	\$70,00
SWITCH	3	\$10,00	\$30,00
CABLE CAT 6a	1	\$100,00	\$100,00

Continúa 

MANGUERAS	1	\$40,00	\$40,00
MUEBLE	1	\$90,00	\$90,00
ACONDICIONAMIENTOS	1	\$80,00	\$80,00
FUENTE MULTI-VOLTAJES	1	\$47,32	\$47,32
CELDA DE CARGA 60001	1	\$201,60	\$201,60
TUBO GALVANIZADO 1 "	1	\$5,13	\$5,13
CODOS EMT 1 "	3	\$2,37	\$7,11
CAJA DE PASO 17.50X11X6.6	1	\$10,00	\$10,00
UNIÓN EMT 1"	5	\$0,71	\$3,55
CABLE DE BATERÍA	4	\$2,63	\$10,52
PINTURA	1	\$5,00	\$5,00
PERNOS Y TORNILLOS	12	\$0,50	\$6,00
		Total	\$2.902,87

6.1.2 Costos indirectos de fabricación

Tabla 30

Costos indirectos de fabricación.

CIF	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total
Combustible	1	\$60,00	\$60,00
Transporte	1	\$40,00	\$40,00
Servicios Básicos	1	\$30,00	\$ 30,00
		Total	\$130,00

6.1.3 Costo de mano de obra

Tabla 31

Costo de mano de obra.

MO	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total
Germán Ayala	1	\$ 700	\$700,00
Ricardo Totoy	1	\$ 700	\$700,00
		Total	\$1.400,00

$$\text{Costo total} = \text{CTM} + \text{CIF} + \text{CMO}$$

$$\text{Costo total} = 2.902,87 + 130,00 + 1.400,00 = \mathbf{\$4.432,87}$$

Dónde:

CTM= costo total de materiales.

CIF= costo indirecto de fabricación.

CMO= costo de mano de obra.

6.2 Análisis financiero

6.2.1 Consumo del servicio

Cuadro 17

Horas de trabajo del banco de pruebas

Detalle	Tiempo
Horas máquina	5,5 horas
Horas hombre	7 horas
Total horas	12,5 horas

Cuadro 18

Costo del material usado durante las pruebas

Material	Galón	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Diésel	10	1,01	10,10

Cuadro 19

Costo indirecto de fabricación.

Servicio	KW/h	Tiempo	Costo total CIF (USD)
Servicios básicos (luz)	0,104	5	0,57

6.2.2 Precio de la prestación de servicio

Cuadro 20

Sueldo de mano obra

Mano de obra	USD
Sueldo	1.400,00
Décimo tercero	116,67
Décimo cuarto	116,67
IESS aporte patronal	156,10
Total sueldo	1789,43

$$\text{Décimo tercero} = \frac{\text{Sueldo básico}}{12} = \frac{1.400,00}{12} = \$116,67$$

$$\text{Décimo cuarto} = \frac{\text{Sueldo}}{12} = \frac{1.400}{12} = \$116,67$$

Cuadro 21

Capacidad total de horas laborables

CTHL	HORAS
Horas laborables	8
Días por semana	5
Semanas por mes	4
Capacidad total de horas laborables	160

$$CTHL = H. laborables \times D. por semana \times S. por mes = 8 \times 5 \times 4 = 160 \text{ horas}$$

$$\text{Tasa de mano de obra} = \frac{\text{Total sueldo}}{CTHL} = \frac{1789,43}{160} = 11,18 \text{ USD/horas}$$

$$\text{Costo Diario} = \text{Tasa de mano de obra} \times \text{total horas}$$

$$\text{Costo Diario} = 11,18 \times 6 = \$67,10$$

$$\text{Costo Total} = \text{Costo diario} + \text{Costo Diesel} + \text{CIF (luz)}$$

$$\text{Costo Total} = 67,10 + 10,4 + 0,21 = \$77,71$$

$$\text{Rentabilidad} = 20\%$$

$$\text{Precio prestacion de servicios} = \text{Costo total} + \text{rentabilidad}$$

$$\text{Precio prestacion de servicios} = 77,71 + 15,54 = \mathbf{\$93,25}$$

6.2.3 Oferta y Demanda.

Tabla 32

Oferta y demanda.

DETALLE OYD		
Capacidad mensual instalada (oferta)	6	Prestación de servicios
Demanda mensual proyectada inicial	5	Prestación de servicios
Incremento Anual	20%	
Inversión	\$ 4.432,87	

$$Oferta = \frac{\text{Costo total}}{\text{Tasa de mano de obra}} = \frac{\$ 77,11}{11,18} = 6 \text{ ensayos}$$

6.2.4 Proyección de ingresos.

Tabla 33

Proyección de ingresos durante 5 años.

Años	1	2	3	4	5
Proyección de Ingresos	\$5.573,65	\$6.376,25	\$7.234,15	\$8.254,97	\$9.345,87
Precio Venta Unitario	\$92,89	\$96,61	\$100,47	\$104,49	\$108,67
Demanda Anual	60	66	72	79	86
Capacidad Anual	72	72	72	72	72

Demanda anual (año 1) = Demanda mensual proyectada inicial × 12 meses

$$Demanda \text{ anual (año 1) } = 6 \times 12 = 72 \text{ ensayos}$$

Demanda anual(año 2) = D. mensual proyectada inicial · 12 meses + 10%

$$Demanda \text{ anual(año 2) } = 6 \times 12 + 6 = 66 \text{ ensayos}$$

Proyección de ingresos = Precio de venta unitario × Demanda anual

$$Proyección \text{ de ingresos } = \$92,89 \times 60 = \$5.573,40$$

6.2.5 Utilidad neta.

Tabla 34

Estado de resultados.

Ingresos	\$5.573,65	\$6.376,25	\$7.234,15	\$8.254,97	\$9.345,87
Costo de Venta	\$4.644,71	\$5.109,18	\$5.573,65	\$6.115,53	\$6.657,41
Utilidad Bruta	\$928,94	\$1.267,08	\$1.660,50	\$2.139,44	\$2.688,46
Depreciación 10%	\$(443,29)	\$(443,29)	\$(443,29)	\$(443,29)	\$(443,29)
Gastos Administrativos	(\$ 100)	(\$ 150)	(\$ 650)	(\$ 1.150)	(\$ 1.650)
Utilidad antes de impuestos	\$(385,65)	\$(673,79)	\$(567,21)	\$(546,15)	\$(595,18)
Participación Trabajadores 15%	\$57,85	\$101,07	\$85,08	\$ 81,92	\$89,28
Utilidad después de participación	\$(327,81)	\$(572,7)	\$(482,13)	\$(464,23)	\$(505,90)
Impuestos 25%	\$81,95	\$143,18	\$120,53	\$116,06	\$126,48
Utilidad después de participación e impuestos	\$245,85	\$429,54	\$361,60	\$348,17	\$379,43

$$\text{Costo de venta} = \text{Costo total} \times \text{Demanda anual}$$

$$\text{Costo de venta} = 77,41 \times 60 = \$4.644,71$$

$$\text{Utilidad bruta} = P. \text{ ingresos} - \text{Costo de venta}$$

$$\text{Utilidad bruta} = 5.573,65 - 4.644,71 = \$928,94$$

$$\text{Depreciación} = \text{Invercion inicial} \times 10\%$$

$$\text{Depreciación} = 4.432,87 \times 0,1 = \$443,29$$

$$U. \text{ antes del impuesto} = \text{Utilidad bruta} - \text{Depreciación} - G. \text{ administrativos}$$

$$U. \text{ antes del impuesto} = 928,94 - 443,29 - 100 = \$385,65$$

$$\text{Participación de trabajadores}(15\%) = U. \text{ antes del impuesto} \times 15\%$$

$$\text{Participación de trabajadores}(15\%) = 385,65 \times 0,15 = \$57,85$$

U. despues de participación

$$= U.A. \text{ del impuesto} - P. \text{ de trabajadores}(15\%)$$

$$U. \text{ despues de participación} = 385,65 - 57,85 = \$327,81$$

$$\text{Impuestos (25\%)} = U. \text{ despues de participación} \times 25\%$$

$$\text{Impuestos (25\%)} = 327,81 \times 0,25 = \$81,25$$

$$U. \text{ despues de la P. e I.} = U. \text{ despues de participación} - \text{Impuestos (25\%)}$$

$$U. \text{ despues de la P. e I.} = 327,81 - 81,25 = \mathbf{\$245,85}$$

Tabla 35

Utilidad neta y depreciación.

Años	1	2	3	4	5
Utilidad neta	\$4.508,75	\$6.143,90	\$8.165,17	\$10.664,66	\$13.672,03
Depreciación	\$347,59	\$347,59	\$347,59	\$347,59	\$347,59

6.2.6 TIR Y VAN

$$\sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I = 0$$

Dónde:

F_t = es el flujo de caja en el periodo t .

n = numero de periodos.

I = valor de la inversión inicial

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

Dónde:

V_t = representa los flujos de caja en cada periodo t.

I_0 = es el valor del desembolso inicial de la inversión.

n = numero de periodos.

TIR = tasa interna de rentabilidad

Tabla 36

Inversión inicial por años.

Años	0	1	2	3	4	5
Inversión inicial	\$3.475,9	\$4.856,34	\$6.491,49	\$8.512,76	\$11.012,25	\$14.019,63

Cuadro 22

TIR y VAN

VAN	\$ 2.519,27
TIR	16%

Obteniendo un van de \$2.519,27 y un TIR de 16%, podemos observar que el proyecto realizado es rentable. Se aconseja habilitar el Laboratorio de motores para la prestación de servicios, previo adecuamiento y cumplimiento de normas para laboratorios que prestan servicios según norma INEN ISO 17025.

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- El levantamiento técnico mecánico, eléctrico y térmico del banco de pruebas se lo realizó para diferenciar los sistemas involucrados del equipo y se pudo seleccionar mediante una matriz de decisión la instrumentación adecuada para cada uno de ellos.
- La habilitación del sistema de arranque nos permitió minimizar los pasos previos existentes para el encendido del banco de pruebas, mediante un panel de control centralizado y evitar daños por sobrecarga y mala operación.
- Mediante los parámetros y curvas de desempeño obtenidas se estableció los rangos de operación de los instrumentos de medición seleccionados.
- La implementación del sistema de adquisición de datos del presente proyecto nos permitió profundizar en campo de aplicación de las tarjetas DAQ y su compatibilidad con los diferentes tipos de sensores existentes en el mercado.
- La electrónica analógica básica diseñada e implementada en el proyecto de grado como los filtros de paso bajo, divisores de voltaje, amplificadores operacionales, nos permitió acondicionar de manera adecuada las señales obtenidas y entregar un resultado confiable.
- El sistema de programación grafica que LabVIEW ofrece, nos permitió diseñar el diagrama de bloques de manera secuencial e intuitiva,

minimizando los errores y entregar al estudiante un sistema versátil y amigable.

- Con el sistema de adquisición de datos implementado se pudo obtener y registrar los datos y así calcular los diferentes parámetros de desempeño del equipo, siendo los más importantes la eficiencia térmica y eficiencia volumétrica los cuales tiene un promedio entre el 75% y 10 % respectivamente.
- Las diferentes curvas comparativas entre el sistema analógico y el nuevo sistema de adquisición de datos demuestran la confiabilidad de los resultados obtenidos.
- De acuerdo al análisis económico financiero, la inversión del proyecto es rentable y es recuperable en un periodo de dos años

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda que siempre se utilice el nuevo sistema de encendido ya que con el procedimiento anterior se corría el riesgo producir una sobre carga al banco por mala operación o desconocimiento del procedimiento de encendido.
- La Temperatura de entrada y salida de agua tiene poca variación durante el tiempo de trabajo a condiciones normales del equipo, sin embargo al exigir el motor una mayor potencia y tiempos de operación prolongadas, el sistema de enfriamiento comienza a ingresar agua con temperaturas similares de entrada y de salida por tal motivo se deberá regular con agua de la red y evitar un sobrecalentamiento del motor.

- Las fuentes de alimentación para sistemas electrónicos de adquisición de datos deberán estar referenciadas a un punto común (GND) según la recomendación de los fabricantes de tarjetas DAQ, para evitar errores en las lecturas o en el peor de los casos un sobre voltaje y daño en las tarjetas.
- Se recomienda siempre tener a mano repuestos de los sensores de temperatura de gases de escape y caudal de agua, ya que son susceptibles a daños por mala operación.
- La manipulación no autorizada de los diferentes elementos del sistema de adquisición de datos pueden causar una des configuración al mismo, se recomienda solicitar información y soporte al técnico encargado del Laboratorio.
- Se aconseja habilitar el Laboratorio de motores para la prestación de servicios, previo adecuamiento y cumplimiento de normas para laboratorios que prestan servicios según norma INEN ISO 17025.
- El diseño e implementación de sistemas automáticos de adquisición de datos para equipos de laboratorio, mejora notablemente la eficiencia y rendimiento en el proceso pedagógico moderno, por tal motivo se recomienda la fomentación y apoyo a este tipo de proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

- Automation Components, Inc. (s.f.). Obtenido de http://workaci.com/sites/default/files/product_cutsheet/Mini%20LP.pdf
- Agland, B. (2014). *The diesel engine*. Obtenido de http://railmotorsociety.org.au/rm_engine_diesel_page.htm
- Álzate, E., & Montes, J. (2007). Medidores de deformacion por resistencia: galgas extensiométricas. *Dialnet*, 2(34), 7-12. Obtenido de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4806964>
- Arranque por motor eléctrico*. (2014). Obtenido de http://www.sabelotodo.org/automovil/arranque.html#Arranque_por_motor_el%EA9ctrico
- automovil, M. d. (14 de 7 de 2014). *Refrigeración* . Obtenido de <http://www.almuro.net/sitios/Mecanica/refrigeracion.asp?sw07=1>
- Berezosky, M. (s.f.). *Motor Radial o de Estrella*. Obtenido de <http://todotecnotecnia.blogspot.com/2011/12/motor-radial-o-de-estrella.html>
- BI technologies. (2008). Obtenido de <http://www.bitechnologies.com/pdfs/p160.pdf>
- Británica, E. (2007). *Excocaps*. Obtenido de <http://expocaps.blogspot.com/2013/05/funcionamiento-basico-de-un-motor.html>

Clasificación de los sensores. (2014). Obtenido de <http://thelastlabproject.blogspot.com/2010/12/clasificacion-de-los-sensores.html>

Danfoss. (2012). Obtenido de <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/04/IC.PD.P30.C7.02.pdf>

Data Acquisition Systems (DAQ) and Equipment. (2014). Obtenido de <http://www.industrial-electronics.com/DAQ/>

Data Q Instruments. (2014). Obtenido de http://www.dataq.com/resources/pdfs/datasheets/720_730b.pdf

DC Voltage Transducer. (2014). Obtenido de http://www.amazon.com/Voltage-Transducer-Sensor-0-300V-Output/dp/B00LMPP12O/ref=sr_1_3?ie=UTF8&qid=1414429722&sr=8-3&keywords=DVS300-SD-5V#product-description-iframe

Digital Temperature Sensor DS18B20. (2011). Obtenido de http://www.gavinet.com.cn/product/6015577733-221694294/Digital_Temperature_Sensor_DS18B20.html

Echeverría, L. (s.f.). *Instrumentacion Mecánica y Mecatrónica*. Sangolquí.

Electricidad del automovil. (s.f.). Obtenido de http://www.tecnoficio.com/electricidad/electricidad_del_automotor5.php

Endotérmicos, M. (s.f.). *Motor ciclo Oto*. Obtenido de http://demotor.net/motor_otto.html

ESI. (2013). Obtenido de <http://www.esi.com.co/wp-content/uploads/2012/04/articulosensores.pdf>

Estructura del motor de explosión. (2014). Obtenido de <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-estructura.htm>

Eurospec. (2010). Obtenido de http://eurospecdirect.com/DataSheet/is18_sensors.pdf

Festo. (2014). *Sensores optoelectrónicos SOEG*. Obtenido de http://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/12591/PSI_316_2_es.pdf

Flowmeters & Monitors. (2014). Obtenido de <http://www.farnell.com/datasheets/1385411.pdf>

Furison Electric. (2014). Obtenido de <http://www.furisonelectric.com/productus.asp?id=177>

Gálvez, E. (2013). *Diseño de un banco de pruebas para motores de combustion interna*. Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0732_M.pdf

Genexus. (2013). Obtenido de

[http://wiki.genexus.com/commwiki/servlet/hwiki?Usando+GeneXus+en+Sistemas+de+Adquisici%C3%B3n+de+Datos+y+Control,](http://wiki.genexus.com/commwiki/servlet/hwiki?Usando+GeneXus+en+Sistemas+de+Adquisici%C3%B3n+de+Datos+y+Control)

Gestión eléctrica diésel. (2014). Obtenido de

http://www.aficionadosalamecanica.net/gestion_electronica_diesel.htm

Hardside. (2013). Obtenido de

<http://www.hardside.com.ar/docs/multimedia.htm>

Info PLC. (2014). *Diferencias entre PNP y NPN en cableado de autómatas.*

Obtenido de <http://www.infoplac.net/blogs-automatizacion/item/101740-diferencias-pnp-vs-npn-sensores-cableado-automata>

Laboratorio de Motores DECEM. (2014). *Características Técnicas equipos de laboratorio.* Sangolquí.

Laboratorio de Motores I. (2001). *Parámetros de desempeño de motores.*

ESPE, Energía y Mecánica, Sangolquí.

LM35. (2013). Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/LM35>

Low Differential Pressure Sensor. (2013). Obtenido de

http://www.sensirion.co.kr/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Documents/DiffPressure/Sensirion_Differential_Pressure_SDP1108_SDP2108_Datasheet_V2.pdf

Magnetic / Non-Contact. (2014). Obtenido de http://www.a-tech.ca/doc_series/PRAS2_ATI.pdf

manises. (s.f.). Obtenido de <http://www.manises.com/forum/fotosforo/119Termo.jpg>

Medidor de caudal. (2014). Obtenido de https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-de-medida/medidor/medidor-de-caudal-medidor-de-caudal-pce-vmi-20-det_100286.htm

Múltiple de admisión. (s.f.). Obtenido de <http://www.sabelotodo.org/automovil/limpiezallenadoaire.html>

Murdocca, R. (s.f.). Obtenido de <http://www0.unsl.edu.ar/~interfases/labs/lab09.pdf>

National Instrument. (2014). *Sensores.* Obtenido de <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>

National Instruments. (19 de Agosto de 2013). Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/7108/es/>

National Instruments. (2014). Obtenido de <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/203223>

National Instruments. (2014). *Adquisición de Datos.* Obtenido de <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>

nextiafenix. (s.f.). Obtenido de <http://www.nextiafenix.com/producto/yf-s201/>

Omega. (2014). Obtenido de <http://es.omega.com/Pressure/pdf/LC101.pdf>

- OpenEnergyMonitor. (2014). Obtenido de http://openenergymonitor.org/emon/sites/default/files/SCT013-000_datasheet.pdf
- pce-iberica. (s.f.). Obtenido de <http://www.pce-iberica.es/hoja-datos/hoja-datos-pt-100-wtr-120.pdf>
- Pérez, C. (2013). *Motores y sistemas auxiliares*. Obtenido de <http://cperezautomotriz2013ctplm.blogspot.com/>
- Propia. (2014). *Laboratorio de Motores*. ESPE, Sangolquí, Pichinhca.
- Proximity Sensors*. (s.f.). Obtenido de <http://blautek.com/PROXCOMBINEW.pdf>
- Refrigeración del motor*. (2014). Obtenido de <http://www.aficionadosalamecanica.com/refrigeracion-motor.htm>
- Reguladores Integrados de Tensión*. (s.f.). Obtenido de http://www.profesormolina.com.ar/electronica/componentes/fuente_reg/reg_int.htm
- S-Beam Load Cell Sensortronics Model 60001*. (2014). Obtenido de <http://www.intertechnology.com/Sensortronics/pdfs/60001.pdf>
- Sensores de proximidad*. (s.f.). Obtenido de <http://sensoresdeproximidad.blogspot.com/p/inductivo.html>
- Series 616 Differential Pressure Transmitter*. (2010). Obtenido de http://www.dwyer-inst.com/PDF_files/616&616C_IOM.pdf

siemens. (3 de 2 de 2014). *automa*. Obtenido de ssssssss: www.siemens.com

Sistema de admisión automotriz. (2010). Obtenido de http://www.pac.com.ve/index.php?option=com_content&view=article&catid=54:automotriz&Itemid=77&id=6336

Sistema de escape del automóvil. (s.f.). Obtenido de <http://www.sabelotodo.org/automovil/sisescape.html>

Texas Instruments. (2013). Obtenido de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>

Tipos de sensores. (2014). Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>

unicrom. (2014). Obtenido de http://www.unicrom.com/Tut_resistenciavariabile.asp

Verificación y control de los inyectores. (2014). Obtenido de <http://www.aficionadosalamecanica.net/hazlo-inyectores.htm>

Veris Industries. (2013). Obtenido de http://www.veris.com/docs/Datasheets/H970_H971_EA20_d01141.pdf

villasana, N. (2013). *Redes de telecomunicaciones* . Obtenido de <http://nadiuskavillasanar.blogspot.com/>

Vishay. (2012). Obtenido de <http://www.vishay.com/docs/57065/533534.pdf>

Water Flow Sensor G1/2" . (2014). Obtenido de <http://www.rlx.sk/sk/liquid-flow-air-pump/3150-water-flow-sensor-g14-er-sot80014wf.html>

Watlow. (2013). Obtenido de

<http://www.watlow.com/downloads/en/specsheets/ricestc0411.pdf>

Wikipedia. (2014). *Termistor*. Obtenido de

<http://es.wikipedia.org/wiki/Termistor>

Xiamen. (2012). Obtenido de

http://www.asianproducts.com/product/A12687847938287132_P12687874913854247/type-load-cell.html

APÉNDICES

