



# **ESPE**

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

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

### **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

#### **TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
ADQUISICIÓN DE DATOS Y REGISTRO, DE LA  
COMPROBACIÓN FUNCIONAL DEL MOTOR ATAR 09K50  
VERSIÓN C11, EN EL BANCO DE PRUEBA DEL ESCUADRÓN  
DE MANTENIMIENTO No.2122**

**AUTOR: FRANCISCO JOSÉ ROVIRA RIVADENEIRA**

**DIRECTOR: ING. LUIS ECHEVERRÍA.**

**CODIRECTOR: ING. PEDRO MERCHÁN.**

**SANGOLQUÍ**

**2015**



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

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y REGISTRO, DE LA COMPROBACIÓN FUNCIONAL DEL MOTOR ATAR 09K50 VERSIÓN C11, EN EL BANCO DE PRUEBA DEL ESCUADRÓN DE MANTENIMIENTO No.2122**”, realizado por el señor **CAPT. TÉC. AVC. FRANCISCO JOSÉ ROVIRA RIVADENEIRA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **CAPT. TÉC. AVC. FRANCISCO JOSÉ ROVIRA RIVADENEIRA**, para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 19 de Noviembre del 2015

---

Ing. Luis Echeverría

DIRECTOR

---

Ing. Pedro Merchán

CODIRECTOR



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

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Francisco José Rovira Rivadeneira, con cedula de identidad N° 091602090-2, declaro que este trabajo de titulación “Diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos y registro, de la comprobación funcional del motor atar 09k50 versión c11, en el banco de prueba del escuadrón de mantenimiento no.2122”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado el derecho intelectual de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 19 de Noviembre del 2015

---

Capt. Téc. Avc.

Francisco José Rovira Rivadeneira

C.I. 0916020902



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

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

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **AUTORIZACIÓN**

Yo, Francisco José Rovira Rivadeneira, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “Diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos y registro, de la comprobación funcional del motor atar 09k50 versión c11, en el banco de prueba del escuadrón de mantenimiento no.2122”, cuyo contenido, ideas y criterio son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 19 de Noviembre del 2015

---

Capt. Téc. Avc.

Francisco José Rovira Rivadeneira

C.I. 0916020902

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar este proyecto a mi hijo Andrés Fabrizio, a él la inspiración y motivación que me impulsó, para alcanzar esta meta.*

*Al amor de mi vida, Ana Verónica, que ha sido el pilar fundamental y aliento, por siempre estar a mi lado, apoyarme e incentivar me en los buenos y malos momentos, por su esfuerzo, amor y dedicación.*

*A mi madre, María Violeta, por darme la vida, apoyarme y enseñarme, a quien le debo el hombre que soy.*

Francisco José Rovira Rivadeneira

## AGRADECIMIENTOS

*A los queridos Ingenieros de la ESPE, que me formaron profesionalmente durante mi carrera estudiantil, en especial al Ingeniero Luis Echeverría, quien con conocimiento, paciencia y sabios consejos logró mi desarrollo profesional, al Ingeniero Pedro Merchán, quien confió en mí, ambos ingenieros, con sus conocimientos y dedicación, impulsaron la finalización del presente proyecto.*

*A quienes fueron un apoyo incondicional, tanto personal, profesional y técnicamente, sin el soporte de ellos este proyecto no hubiese sido posible, a mi Teniente Coronel Galo Álvarez, quien con sus sabias palabras, logró orientarme y guiarme, y a mi Teniente Coronel Juan Solano, quien siempre estuvo presente colaborando, para la finalización de este proyecto.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	ii
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....</b>	iii
<b>AUTORIZACIÓN.....</b>	iv
<b>DEDICATORIA .....</b>	v
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	vi
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	vii
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	x
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	xi
<b>RESUMEN .....</b>	xiv
<b>ABSTRACT.....</b>	xv
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	1
<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....</b>	1
1.1. GENERALIDADES.....	1
1.1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1.2. ANTECEDENTES.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.3. ALCANCE DEL PROYECTO.....	5
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	5
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	7
<b>ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....</b>	7
2.1. MOTOR ATAR 09K50 VERSIÓN C11.....	7
2.1.1. ASPECTOS GENERALES DEL MOTOR ATAR 09K50 VERSIÓN C11.....	9
2.1.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MOTOR ATAR 09K50 VERSIÓN C11.....	10
2.1.3. PARTES CONSTITUTIVAS DEL MOTOR ATAR 09K50 VERSIÓN C11.....	12
2.2. BANCO DE PRUEBAS DEL MOTOR ATAR 09K50 VERSIÓN C11.....	15
2.2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL BANCO DE PRUEBAS.....	20
2.2.2. PARTES CONSTITUTIVAS DEL BANCO DE PRUEBAS.....	20

2.3. SEÑAL ELÉCTRICA. ....	28
2.3.1. GENERALIDADES .....	28
2.3.2. CARACTERÍSTICAS. ....	29
2.3.3. TIPOS DE SEÑAL. ....	30
2.4. MEDICIÓN Y DETERMINACIÓN DE LAS SEÑALES DEL BANCO. ....	33
2.4.1. MEDICIÓN DE LAS SEÑALES.....	33
2.4.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS SEÑALES POR CADA INSTRUMENTO.....	36
2.4.3. DEFINICIÓN DEL REQUERIMIENTO PARA SELECCIONAR EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	37
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>39</b>
<b>SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.</b> .....	<b>39</b>
3.1. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS. ....	39
3.1.1. GENERALIDADES. ....	45
3.1.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	45
3.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS. ....	48
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>52</b>
<b>SELECCIÓN DE LOS PROGRAMAS Y PROGRAMACIÓN PARA EL CONTROL Y REGISTRO.</b> .....	<b>52</b>
4.1. SELECCIÓN DE LOS PROGRAMAS PARA REALIZAR EL CONTROL Y REGISTRO DE LA COMPROBACIÓN FUNCIONAL. ....	52
4.2. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y CONTROL DE DATOS.....	54
4.3. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE REGISTRO DE DATOS.....	84
4.4. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE ALERTAS Y CONTROL DE VALORES REFERENCIALES.....	88
4.5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y COMPROBACIÓN DEL SOFTWARE. ....	89
<b>CAPITULO 5</b> .....	<b>93</b>
<b>IMPLEMENTACIÓN</b> .....	<b>93</b>
5.1. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DAQ.....	93
5.2. INSTALACIÓN DEL PROGRAMA. ....	96
5.3. INTEGRACIÓN DE LOS COMPONENTES. ....	96
5.4. PROTOCOLO DE PRUEBAS. ....	97
5.5. PRUEBAS TÉCNICAS. ....	98



5.6. COMPROBACIÓN DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN. ....	99
<b>CAPITULO 6</b> .....	101
<b>ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO</b> .....	101
6.1. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS VARIABLES TÉCNICAS. ....	101
6.2. COSTOS RELEVANTES. ....	102
6.2.1. COSTOS DIRECTOS. ....	102
6.2.2. COSTOS INDIRECTOS.....	104
6.2.3. REDUCCIÓN DE COSTOS EN EL PROCESO DE OPERACIÓN.....	105
6.3. Análisis B/C, TIR, VAN.....	105
6.4. Análisis Financiero. ....	108
6.4.1. FLUJO DE FONDOS PROYECTADOS. ....	108
6.5. Financiamiento. ....	108
<b>CAPITULO 7</b> .....	110
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	110
7.1. CONCLUSIONES.....	110
7.2. RECOMENDACIONES. ....	111
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	112
<b>ANEXOS</b> .....	113

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Potencia del motor en condiciones estándar .....	10
Tabla 2. Características del funcionamiento del motor en vuelo .....	11
Tabla 3. Designación del Módulo 9205(0) .....	58
Tabla 4. Designación del Módulo 9205(1) .....	59
Tabla 5. Designación del Módulo 9211(0) .....	60
Tabla 6. Designación del Módulo 9211(1) .....	61
Tabla 7. Costos de los materiales .....	103
Tabla 8. Costos del uso del banco .....	103
Tabla 9. Costos Indirectos .....	104
Tabla 10. Costo Total del Proyecto .....	104
Tabla 11. Cálculo del TIR y VAN .....	107
Tabla 12. Financiamiento del proyecto .....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Banco de pruebas de motores ATAR 09K50 .....	3
Figura 2. Motor Atar 09K50 versión c11. ....	7
Figura 3. Trabajadores de Snecma en un motor M88 .....	8
Figura 4. Posiciones del Acelerador .....	10
Figura 5. Motor instalado en el banco de pruebas .....	12
Figura 6. Indicadores de la cabina de control .....	15
Figura 7. Indicadores de velocidad y temperatura.....	17
Figura 8. Indicadores de presión de combustible y aceite.....	18
Figura 9. Indicadores de combustible y aceite.....	19
Figura 10. Indicadores de presión de aire .....	19
Figura 11. Indicadores de temperatura.....	20
Figura 12. Señal eléctrica .....	29
Figura 13. Señal Analógica tomada de un osciloscopio .....	31
Figura 14. Muestreo de señal. ....	32
Figura 15. Multímetro Digital .....	34
Figura 16. Conexión para la medición de la señal.....	34
Figura 17. Adquisición inicial de la señal en los indicadores de revolución y temperatura .....	35
Figura 18. Tablero de instrumentos con conexión para la medición en operación .....	36
Figura 19. Sistema de adquisición de datos .....	39
Figura 20. Esquema demostrativo de una termocupla .....	40
Figura 21. Termocupla Tipo "J" .....	41
Figura 22. Sensor PT100 .....	41
Figura 23. Galga extensiométrica .....	43
Figura 24. Puente de Wheatstone .....	44
Figura 25. DAQ Portátil.....	46
Figura 26. DAQ de Escritorio .....	46
Figura 27. Sistema Modular Compacto .....	47
Figura 28. Sistema de plataforma PXI .....	47
Figura 30. Tarjeta NI 9211 .....	48
Figura 31. Tarjeta NI 9205 .....	49
Figura 31. Chasis cDAQ 9174 .....	50
Figura 33. Herramienta DAQ Assistant.....	55
Figura 34. Herramientas DAQmx.....	56
Figura 35. Generar código de DAQmx a partir de un DAQ Assistant .....	57
Figura 36. Módulo 9205 .....	61
Figura 37. Modo de conexión sencillo referenciado a tierra .....	62

Figura 38. Modo de conexión sencillo no referenciado a tierra .....	63
Figura 39. Modo de conexión diferencial .....	64
Figura 40. Programación para la adquisición de la señal de revoluciones del motor .....	65
Figura 41. Programación para la adquisición de las señales de presión .....	67
Figura 42. Asistente DAQ para la adquisición de las señales de presión .....	68
Figura 43. Herramienta filtro de frecuencia para estabilizar la señal eléctrica de las presiones.....	69
Figura 44. Valores en voltios de las diferentes señales eléctricas de presión .....	70
Figura 45. Valor de los instrumentos en el tablero de control .....	70
Figura 46. Caracterización de la señal de voltaje Pot, usando EXCEL.....	71
Figura 47. Programación para la adquisición de las señales de temperatura.....	72
Figura 48. Presentación del VI, el macro basado en una estructura Flat Sequence .....	74
Figura 49. Diagrama de bloques para el ingreso de datos.....	74
Figura 50. Panel frontal del ingreso de datos .....	75
Figura 51. Diagrama de bloques del proceso de ventilación.....	76
Figura 52. Panel Frontal del proceso de ventilación.....	76
Figura 53. Diagrama de bloques del proceso de arranque del motor .....	78
Figura 54. Panel Frontal del proceso de arranque .....	78
Figura 55. Panel Frontal de la Comprobación Funcional, sub ventana Régimen .....	79
Figura 56. Diagrama de bloques de la comprobación funcional, sub ventana régimen.....	80
Figura 57. Panel Frontal de la comprobación funcional, sub ventana temperatura .....	81
Figura 58. Diagrama de bloques de la comprobación funcional, sub ventana temperatura .....	81
Figura 59. Panel Frontal de la comprobación funcional, sub ventana presiones .....	82
Figura 60. Diagrama de bloque de la comprobación funcional, sub ventana presiones .....	82
Figura 61. Panel frontal de la parada del motor.....	83
Figura 62. Diagrama de bloque del proceso de parada del motor .....	84
Figura 63. Report Generation Tool .....	85
Figura 64. Herramienta spreadsheet .....	86
Figura 66. Generación de archivo y almacenamiento de datos iniciales .....	86
Figura 67. Programación para guardar las imágenes de los gráficos .....	87
Figura 68. Alerta sobre temperatura en T4.....	88
Figura 69. Alarma sobre la presión del carburante (Pca) .....	88
Figura 69. Comprobación inicial de la grabación del régimen del motor.....	89
Figura 70. Equipo para inducir voltaje para comprobar el funcionamiento característico .....	90
Figura 71. Prueba de VIs para la señal de régimen del motor .....	90
Figura 72. Imagen de los videos de las pruebas realizadas.....	91
Figura 73. Imagen del video de la ventilación.....	91
Figura 74. Tablero de barras de datos del banco de pruebas.....	93

Figura 76. Módulo 9205 con los dos tipos de conector .....	94
Figura 77. Conector de 37 pines, con protección .....	94
Figura 77. Comprobación punto a punto con multímetro .....	95
Figura 78. Acabado del cableado que va a los cuatro módulos .....	96
Figura 79. Carpeta que contiene los archivos de las pruebas y comprobaciones realizadas al proyecto .....	99
Figura 80. Gráfica característica de una ventilación, realizada en pruebas técnicas.....	100
Figura 81. Flujo del retorno de inversión .....	107

## RESUMEN

El Escuadrón de Mantenimiento N°2122, es el ente técnico encargado del mantenimiento del avión Cheetah, la Sección Motores del Escuadrón Mantenimiento N°2122 es la encargada de planificar, mantener, reparar y entregar motores disponibles, para lo cual cuenta con un banco de pruebas de motores que le permite realizar las comprobaciones funcionales del motor supersónico, turborreactor ATAR 09K50 versión C11, las comprobaciones funcionales, para los procesos de mantenimiento correctivos o preventivos deben ser parametrizadas y analizadas detalladamente, el proyecto en su etapa de diseño e implementación, estudia y determina las señales eléctricas que utiliza el banco, para presentar los parámetros del motor, aplicando los conocimientos técnicos adquiridos en la Escuela Politécnica del Ejército, se determina e implementa un sistema óptimo, para realizar la adquisición de los datos paramétricos del motor y su registro, se explica paso a paso, como se integran los procedimientos técnicos específicos de la comprobación funcional, con la programación gráfica, utilizando la herramienta computacional Labview, en esta plataforma se realiza el software, que permite controlar y almacenar los parámetros de la comprobación funcional del motor, con esta herramienta tecnológica se eleva la capacidad técnica del proceso de mantenimiento, la cual ayudará al personal técnico en las funciones de control y registro, lo que permite determinar con mayor facilidad, las fallas o reportajes, y faculta la creación y observación del historial del comportamiento de cada motor en las comprobaciones funcionales pasadas.

### **PALABRAS CLAVES:**

- BANCO DE PRUEBA
- COMPROBACIÓN FUNCIONAL
- DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN
- ADQUISICIÓN DE DATOS
- HERRAMIENTA TECNOLÓGICA

## **ABSTRACT**

The Maintenance Squad N°2122, is the technical entity in charge of the maintenance of the Cheetah Aircraft, the Engines Section from the Maintenance Squad N°2122 is in charge of planning, maintaining, repairing and handing of the available engines. It is to fulfill this purpose that it counts with an Engine Workbench that allows it to realize the functionality testing for the supersonic engine, ATAR turboreactor 09K50 version C11. The functionality tests, for the corrective or preventive maintenance processes must be analyzed and quantified in detail. The project, on its design and implementation stage studies and determines the electric signals that the Workbench uses, to present the Engine's parameters, applying the technical knowledge acquired at ESPE, an optimal system is determined and implemented to perform the acquisition of the parametric data from the Engine and it's registers. It is explained, step by step, how the specific technical procedures from the functional tests are integrated with the graphical programming, using the tool software LabView, it is permitted to control and store the parameters from the functional test of the Engine. And with this same technological tool the technical capacity of the maintenance process is elevated. Which helps the technical personnel in the control and register functions, easing the failure detection and report making in the process. It also allows to create and observe the history of behavior of each engine in past tests performed.

### **KEYWORDS:**

- **WORKBENCH**
- **FUNTIONAL TESTING**
- **DESING AND IMPLEMENTATION**
- **DATA ACQUISITION**
- **TECHNOLOGICAL TOOL**

## **CAPÍTULO 1**

### **DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.**

#### **1.1. GENERALIDADES.**

El Ecuador adquirió a la empresa Denel Aviation una flota de aviones supersónicos Cheetah, para el fortalecimiento de las Fuerzas Armadas, los cuales fueron entregados a la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

La Fuerza Aérea Ecuatoriana por medio del Escuadrón Mantenimiento N°2122 Cheetah, realiza procesos de mantenimiento a las aeronaves supersónicas, procesos de mantenimiento de primer, segundo y tercer escalón de mantenimiento que le permiten asegurar el sostenimiento operativo de las aeronaves para el cumplimiento de la misión encomendada al Ala de Combate N°21.

El Escuadrón de Mantenimiento N°2122, es un ente netamente técnico encargado de mantenimiento, actualmente del avión Cheetah, el cual se divide en secciones de múltiples especialidades de mantenimiento necesarias, para soportar las tareas de mantenimiento, entre ellas la sección de Motores.

La Sección Motores ATAR del Escuadrón Mantenimiento N°2122 es la encargada de planificar, mantener, reparar y entregar motores disponibles, para lo cual cuenta con un banco de pruebas de motores que le permite realizar las comprobaciones funcionales del motor.

El motor turboreactor ATAR 09K50 versión C11, requiere de procesos complejos de mantenimiento, por ello es de suma importancia, las comprobaciones funcionales, que se le realizan posterior a la finalización de los trabajos correctivos o preventivos, tanto así que la comprobación



funcional es parte primordial del proceso de mantenimiento que en su comprobación funcional, se realizan calibraciones técnicas con el motor en operación.

La retroalimentación del proceso de comprobación funcional es fundamental, para conocer el comportamiento histórico particular de cada motor y tener una orientación previa a una futura comprobación funcional sobre una posible falla presente.

### **1.1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.**

El banco de pruebas actualmente funciona con un sistema de indicación instantánea en un tablero de control de los datos que genera el motor, en su comprobación funcional, pero no posee la capacidad de almacenar los datos generados, de esta manera surge el problema y su solución.

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y REGISTRO, DE LA COMPROBACIÓN FUNCIONAL DEL MOTOR ATAR 09K50 VERSIÓN C11, EN EL BANCO DE PRUEBA DEL ESCUADRÓN DE MANTENIMIENTO No.2122”

### **1.1.2. ANTECEDENTES.**

La llegada de un material con una tecnología de punta como el avión Cheetah, vendido por la empresa Denel Aviation a Ecuador, generó la necesidad de contar con un Escuadrón de Mantenimiento a través del cual se centraliza la administración del personal y los medios asignados para mantener en condiciones óptimas de funcionamiento a los aviones.

La mano de obra calificada y de calidad, ha sido el principal baluarte con el que el Escuadrón afronta los múltiples problemas presentados y ocasionados por el diario trajinar, propio de la aviación de combate supersónica.

El banco de pruebas que fue instalado y diseñado para el motor ATAR 09K50 versión A20 del avión Mirage F1, fue adaptado al motor ATAR 09K50 versión C11 que equipa los aviones Cheetah. Adaptación que se realizó en los sistemas de generación eléctrica, sistemas de combustible y sistemas de visualización de datos en la cabina de mando y control.



**Figura 1. Banco de pruebas de motores ATAR 09K50**

Las restricciones económicas propias de nuestro país, limitaron dicha adaptación, ahora con el conocimiento técnico adquirido en la E.S.P.E., se buscan soluciones económicas a los problemas que se presentan, mediante implementaciones con materiales comprados localmente, luego de haberse efectuado un análisis pormenorizado y a fondo del contenido de los diferentes inconvenientes suscitados.

Situación que ha permitido ser unos de los escuadrones que continuamente está innovando y rompiendo paradigmas en forma profesional y en beneficio de esta noble Institución, incursionando de esta forma en trabajos que mejoran nuestra capacidad técnica con las restricciones del caso.

Es así como en el Escuadrón Mantenimiento nace la necesidad de mejorar el proceso de mantenimiento y verificación de las comprobaciones funcionales en el banco de pruebas del motor ATAR 09K50 versión C11, para poder implementar el sistema de control y registro, permitiendo generar estadísticas del funcionamiento pormenorizado de cada motor, particular que permitirá reconocer los reportajes con mayor facilidad y planificar los mantenimientos preventivos, economizando el recurso humano y material; utilizando las herramientas tecnológicas actuales.

## **1.2. OBJETIVOS.**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL.**

Diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos y registro, de las comprobaciones funcionales del motor ATAR 09K50 versión C11, en el banco de pruebas del Escuadrón de Mantenimiento N°2122.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

Seleccionar y comprar un sistema de adquisición de datos que le permita a un computador recibir las señales de los diferentes instrumentos de medición que hay en el banco de pruebas.

Elaborar un software que permita realizar el control de los datos de la comprobación funcional del motor ATAR 09K50 versión C11.

Generar un software que almacene los datos y permita registrar la comprobación funcional y ser utilizada como historial del proceso de mantenimiento.

### **1.3. ALCANCE DEL PROYECTO.**

Diseñar, adquirir, instalar, y monitorear un sistema integral de adquisición de datos y registro, de las comprobaciones funcionales del motor ATAR 09K50 versión C11, en el banco de prueba del Escuadrón de Mantenimiento No.2122.

Servir a la FAE con los conocimientos adquiridos en la E.S.P.E. para la superación tecnológica de la institución.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN.**

Al diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos y registro, de las comprobaciones funcionales del motor ATAR 09K50 versión C11, en el banco de prueba del Escuadrón de Mantenimiento No.2122 se obtendrán las siguientes mejoras:

- Herramientas importantes para el proceso de mantenimiento que ayudará al personal técnico en las funciones de control y registro, que permitirá encontrar fácilmente las posibles fallas, permitiendo observar el historial del comportamiento de cada motor en las comprobaciones funcionales.
- Reducción en los tiempos de las comprobaciones funcionales del motor, estos serán óptimos y se tendrá un procedimiento seguro y confiable, que permitirá manejar mejor nuestros escasos recursos.
- Programa de interface humano máquina para cumplir con los procedimientos de seguridad establecidos, y generar alertas visuales en caso de que los parámetros estén fuera de lo establecido, aumentando la seguridad del procedimiento que por su naturaleza es complejo, especialmente en el campo de la aviación.
- Implementación del desarrollo tecnológico en el Escuadrón de Mantenimiento N°2122 de la FAE (Fuerza Aérea Ecuatoriana).

- Independencia tecnológica, al desarrollar este tipo de tecnología en nuestro país sin tener que estar necesariamente acudiendo a ayudas del extranjero.
- Mayor confortabilidad en los procesos de trabajo del personal.
- El proyecto complementará los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecánica formando parte del carácter emprendedor e investigador inculcado a los alumnos de la Escuela Politécnica del Ejército.

## CAPÍTULO 2

### ANÁLISIS DEL PROBLEMA.

#### 2.1. MOTOR ATAR 09K50 VERSIÓN C11.

El motor ATAR es un motor del tipo turboreactor (mostrado en la figura 2.1) que fue fabricado por la empresa Snecma, actualmente perteneciente al Grupo SAFRAN creado en el año 2005, que juntó a la empresa Snecma SA y a SAGEM.



**Figura 2. Motor Atar 09K50 versión c11.**

Snecma encabeza la lista de los mejores constructores del mundo de motores para aviones y cohetes. Ellos diseñan, desarrollan, producen y venden, independientemente o en asociación, motores para aviones comerciales y militares, propulsando vehículos y satélites. También ofertan un rango completo de mantenimiento a motores, como reparaciones y overhaul servicios para aerolíneas, fuerzas armadas y otros operadores.

Snecma es parte de un grupo internacional de alta tecnología, Safran Group. Snecma diseña, desarrolla, produce, vende y soporta la operación de motores a reacción creados para aviones de combate y entrenamiento, así como motores turbo hélice de transporte militar, los productos principales incluyen el M53-P2 para el Mirage 2000, el M88-2 para el Rafale, y el TP400 del Airbus A400M de transporte. (SAFRAN SNECMA, 2015)



**Figura 3. Trabajadores de Snecma en un motor M88**

FUENTE: (SAFRAN SNECMA, 2015)

Snecma ofrece una gama completa de mantenimiento, reparación y revisión de motores tanto para los aviones comerciales y militares, utilizados por las compañías aéreas, las fuerzas armadas y otros operadores. Ellos invierten una gran parte del presupuesto en investigación y desarrollo de nuevas soluciones para reparación, al mismo tiempo asumen la responsabilidad del servicio de suministro de piezas de repuesto y la gestión de los contratos de mantenimiento del motor.

Snecma saca provecho de las sinergias generadas por su empresa matriz del grupo SAFRAN, una importante empresa de alta tecnología, con posiciones de liderazgo en los principales mercados de la industria aeroespacial, defensa y seguridad. Operando en todo el mundo, SAFRAN

cuenta con 54.000 empleados y unas ventas generadas de 10,8 millones de euros en 2010.

### **2.1.1. ASPECTOS GENERALES DEL MOTOR ATAR 09K50 VERSIÓN C11.**

El avión Cheetah, es propulsado por un motor turboreactor ATAR 09K50 versión C11 fabricado por la empresa Snecma.

Este motor está provisto con un sistema de post-combustión (A/B), y una regulación hidromecánica que le permite al piloto operar el motor sin mayores restricciones.

Un comando único, (el acelerador) permite al piloto obtener el régimen o carga de A/B deseados, siendo las condiciones de funcionamiento automáticamente mantenidas en sus valores óptimos por el regulador.

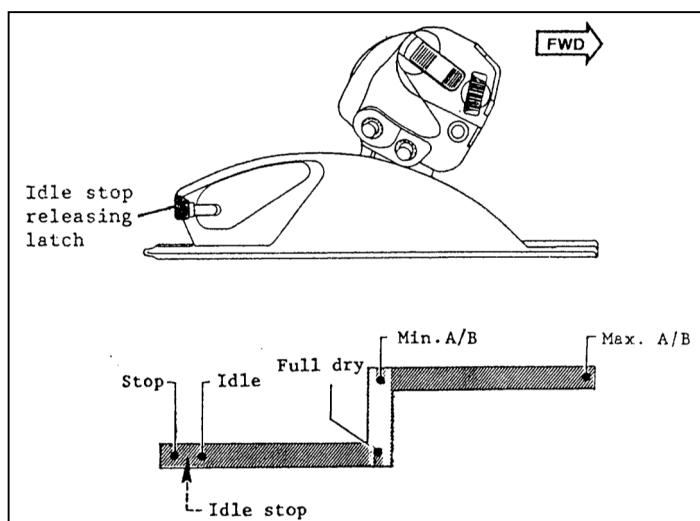
El piloto controla las revoluciones por minuto (RPM) del motor, en cualquier condición de vuelo a través del acelerador, y en emergencia por el regulador de emergencia. Ambos comandos tiene el mismo efecto, aunque el acelerador es mecánico y el regulador de emergencia es eléctrico.

El movimiento del acelerador es mecánicamente transmitido a un cable teleflex, a través de la caja de la palanca de control único y selector de velocidad, al regulador de RPM.

Como se muestra en la ilustración 2-3, las posiciones del acelerador son:

- Stop. Parado.
- Idle. Ralentí, posición de mínimas RPM del motor.
- Full Dry (Military). Militar, máxima sin usar la post combustión.
- Minimun A/B. Mínima con post combustión.
- Maximun A/B. Máxima con post combustión.





**Figura 4. Posiciones del Acelerador**

FUENTE: (FLIGHT MANUAL GIIIB, 1993, pág. 86).

## 2.1.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MOTOR ATAR 09K50 VERSIÓN C11.

Esta información es extraída del manual de vuelo del avión Mirage F1, son las características básicas del motor ATAR, como la masa nominal del motor es de 3.480 libras. (1.578 kg).

La potencia del motor en condiciones estándar a nivel del mar son las mostradas en la siguiente tabla.

**Tabla 1.**  
**Potencia del motor en condiciones estándar**

Condiciones de Potencia	Full Dry o Potencia Militar	Max A/B o Máximo Post Combustión	Take Overthrust o Potencia de Despegue
Banco de pruebas	10719 libras	15348 libras	No aplica
Instalado en el avión	10417 libras	13338 libras	13294 libras

FUENTE: (FLIGHT MANUAL GIIIB, 1993, pág. 81)

El límite operacional de este motor es de máximo 75.000 pies. En esta altura el riesgo es que se incendie el motor. La máxima altura con equipamiento de vuelo normal está restringida a 50000 pies.

**Tabla 2.**

**Características del funcionamiento del motor en vuelo**

	Régimen en %	T4 en °C.
Ralentí	34.5 ± 1.2	
Máximo Potencia Militar	100 ± 0.7	750 ± 10
Mínimo Post Combustión	100 ± 0.7	750 ± 10
Máximo Post Combustión	100 ± 0.7	750 ± 10
Sobre velocidad	105.9 ± 0.7	710 a 735

FUENTE: (FLIGHT MANUAL GIIIB, 1993, pág. 148)

La temperatura es leída a través de 8 sondas de respuesta rápida, ubicadas en el acoplamiento.

La indicación se transmite al piloto a través de un circuito que pasa por la caja de regulación TV 815, regulada para que el receptor de la cabina indique 750°C en maxi sin PC.

El funcionamiento en sobre velocidad permite obtener un aumento del 6% de la velocidad de rotación máxima (8.900 RPM en lugar de 8.400 RPM) que proporciona un incremento del empuje.

En sobre régimen, el corrector T4 regula automáticamente una caída de temperatura de aproximadamente 25 a 30°C para mantener constante la temperatura T3 referencial.

Sobre los 29.000 pies de altura, un dispositivo de enriquecimiento de la PC permite una ganancia en el empuje, aumentando la T5.

### 2.1.3. PARTES CONSTITUTIVAS DEL MOTOR ATAR 09K50 VERSIÓN C11.

El motor principal está subdividido en varios componentes mayores que a su vez contienen varios componentes y sub sistemas. A continuación detallaremos los componentes más importantes que constituyen el motor.



**Figura 5. Motor instalado en el banco de pruebas**

#### A.- Ductos de toma de aire y conos de impacto

Posee dos ductos de toma de aire localizados uno a cada lado del fuselaje, los cuales poseen unos conos de impacto para regular la cantidad de aire que ingrese al motor.

#### B.- Turbo arrancador

Un motor de arranque autónomo, sirve para la puesta en funcionamiento del motor sin necesitar otros medios exteriores al avión, tiene una potencia

de 80 HP., ubicado en el compartimiento frontal del motor, el cual utiliza el combustible del motor, el aire ambiente y la energía eléctrica de la batería del avión.

Permite arrancar el motor y es puesto fuera de circuito cuando el motor alcanza su velocidad de autonomía.

#### C.- Compresor

Un compresor de flujo axial de nueve etapas, el cual posee dos válvulas de descarga (B.O.V.), comandadas automáticamente en función de la velocidad de rotación y del nivel de esfuerzos en los alabes de la primera etapa del compresor, posee dos cojinetes.

La relación de compresión es 6,15.

#### D.- Cámara de Combustión

Una cámara de combustión anular equipada con:

- Dos inyectores de enriquecimiento (durante el encendido).
- Dos bujías de alta tensión.
- Veinte inyectores de doble flujo.
- Veinte quemadores.
- Un inyector de encendido de la post combustión.

#### E.- Turbina

Turbina de tipo dos etapas.

- Distribuidor de turbina No. 1 con 42 alabes huecos, enfriados por aire
- Distribuidor de turbina No. 2 con 54 alabes macizos, no enfriados

Rotor de turbina axial con un cojinete, de dos etapas, la primera con 83 alabes y la segunda con 66 alabes macizos no enfriados.

#### F.- Canal de A/B, Post combustión.

Que está compuesto por:

- Una conexión o empalme (acoplamiento) en este se encuentran montados la rampa Among y los tres anillos quemadores.
- Una cámara de post-combustión en la cual se encuentran las sonda de ionización de la A/B y las camisas térmicas de protección.
- Una tobera de aletas móviles de secciones variables movidas por 09 actuadores hidráulicos (aceite de alta presión) y en emergencia por 03 actuadores (neumáticos por gases pirotécnicos) del sistema de emergencia DAPS, en la tobera existen aletas frías y aletas calientes las cuales se unen a través de un anillo mecánico.

Estas son las principales partes constitutivas, adicional existen equipos que van acoplados en algunos de estos componentes que permiten el funcionamiento de algunos sistemas que indicaremos.

El motor posee 10 sistemas los cuales combinados permiten una operación segura y eficiente del motor.

Los sistemas más importantes son:

- Sistema de combustible del motor seco
- Sistema de combustible para la post combustión
- Sistema de arranque
- Sistema de reencendido
- Sistema de aceite
- Sistema de purga de aire
- Sistema de admisión de aire, comprende la toma de aire y los conos de choque.
- Sistema de alerta de fuego.
- Sistema de potencia de despegue
- Sistema de sobre potencia de despegue

## 2.2. BANCO DE PRUEBAS DEL MOTOR ATAR 09K50 VERSIÓN C11.

El banco de pruebas o conjunto móvil de punto fijo, está destinado a efectuar alternativamente ensayos y comprobaciones funcionales del motor en regímenes estabilizados del motor, comprobaciones que se realizan después de efectuar un trabajo de mantenimiento preventivo o correctivo como una visita periódica, o de comprobaciones por fallas del motor, esto permite dar un diagnóstico del funcionamiento del motor.



Figura 6. Indicadores de la cabina de control

Dentro de la cabina el operador tiene la posibilidad de observar al motor y realizar las operaciones previas para el ensayo del punto fijo, y desde cada pupitre de comando puede realizar diferentes operaciones tales como:

- Purgar los circuitos del carburante seco y PC.
- Abrir los cortafuegos de combustible seco y PC.
- Efectuar arranques o ventilación del motor.
- Interrumpir un arranque en curso.
- Comandar la maneta de gas en los diferentes regímenes del motor.

- Comandar el reencendido en vuelo.
- Comunicarse por interfono cabina – motor.

De la cabina destinada al GTR 09 K 50 únicamente:

- Comandar una sobre velocidad o sobre carga PC.
- Comandar el motor en regulación de emergencia.
- Conectar o desconectar el funcionamiento de la corrección T4.
- Cortar la alimentación de la caja de regulación (TV815)
- Simular las condiciones de incidencia, altitud y de velocidad.
- Puesta en servicio del corrector de temperatura T4 (tope caliente y tope frío).
- Desconectar el dispositivo ADF.
- Comandar independientemente la electro válvula de 80 bares, tiro misil y tiro cañón.

Para controlar el buen funcionamiento del motor la cabina está equipada con luces de indicación de los diferentes comandos del motor:

- Arranque.
- Bombas.
- Válvulas de descarga.
- Estados de las válvulas.
- Electro pulsador de las válvulas.
- Regímenes inferiores a 7300 RPM
- Falla del sistema ADF.
- Regímenes superior a 8100 RPM.
- Swicht PC.
- Mano Contactador PC.
- Electro Válvula de encendido PC.
- Funcionamiento PC.
- Presión de aceite.

- Presión de carburante.

Posee indicadores del tipo aguja:

- Velocidad (RPM, en revoluciones por minuto)
- Indicador T4 (T°)



Figura 7. Indicadores de velocidad y temperatura

Indicadores numéricos permanentes:

- Presión de aceite (Ph)
- Presión de combustible (Pca)





Figura 8. Indicadores de presión de combustible y aceite

De combustible:

- Prp (Presión de la bomba principal de combustible)
- Prp PC (Presión de la bomba de combustible PC)
- PiTD (Presión de inyección del turbo-arrancador)
- Pid (Presión de inyección de arranque)
- Pib (Presión de inyección base)
- Pip (Presión de inyección principal)
- PiRA (Presión de las rampas)
- PiAB (Presión de los anillos quemadores)

De aceite:

- PhRV (Presión de aceite del reenvío)
- PHP (Alta presión de aceite)
- Pot (Presión de abertura de tobera)
- Pft (Presión de cierre de tobera)



Figura 9. Indicadores de combustible y aceite

De aire:

- P1 Reg (Presión 1 regulada)
- P2 Reg (Presión 2 regulada)
- P2 But (Presión 2 topes)
- P2 Red (Presión 2 reducida)
- P2 Red PC (P2 reducida PC)
- P2 Par (P2 cárter central)



Figura 10. Indicadores de presión de aire

Indicadores de temperatura:

- T0 (Temperatura ambiente)
- TCA (Temperatura del combustible)
- IPT4 (Información al piloto de la T4)
- Cojinetes 1, 2 y 3

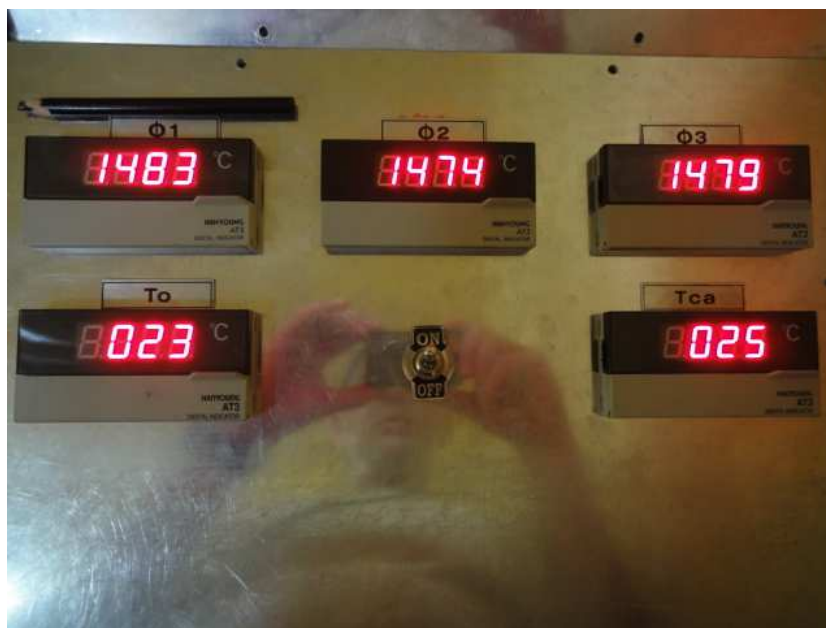


Figura 11. Indicadores de temperatura

### 2.2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL BANCO DE PRUEBAS.

El funcionamiento del banco de prueba necesita de dos tipos de alimentación exterior:

- 220 V. y 380 V. de 50 Hz (tres fases, tierra y neutro).
- 28 V. corriente continua (tipo transformador).

### 2.2.2. PARTES CONSTITUTIVAS DEL BANCO DE PRUEBAS.

El banco de pruebas está constituido por las siguientes partes, basados en el siguiente texto (MARCEL DASSAULT BREGUET AVIATION, 1993):

En la parte interior:

- Un cuarto de aislamiento del ruido en la entrada (SAS).
- Cabina principal (ATAR ADOUR).
- Dos pupitres de control de funcionamiento.
- Dos armarios de control y distribución eléctrica.
- Un armario o tablero P.
- Un panel central.
- Un circuito de distribución de climatización.

En la Parte exterior:

- Un cofre de distribución, alimentación y tomas de presión hacia el motor.
- Un cuarto de alimentación de 28 V.
- Un grupo de bombas de carburante alimentado por 380 V.
- Un coche fijo de montaje del motor.
- Un silenciador.

De los que damos detalles de los componentes principales del banco de pruebas:

#### 2.2.2.1. Armarios de distribución:

Tenemos tres armarios de distribución y equipos específicos tanto para el ATAR y ADOUR.

##### 2.2.2.1.1. Armario A:

- Un osciloscopio de medición del captor de la Rueda Móvil 1.
- Un equipo de interfono (para la comunicación exterior).

- Dos cajas de distribución equipadas de captosres de medidas de presión absolutas y relativas.

#### 2.2.2.1.2. Armario B:

Los valores de tensión de alimentación para la cabina 380 V. a 50 Hz. y 28 V. DC., está controlado permanentemente por los indicadores de aguja:

- Tres fusibles de protección: F6, F7 y F8.
- Tres botones pulsadores de selección de fase.
- Tres luces de presencia de fases.
- Un voltímetro, que nos da el valor de la tensión en cada fase.

Este circuito es independiente al contactor (C 1)

#### 2.2.2.1.3. Circuito de 28 Voltios de corriente continua:

Esta tensión viene de un generador de 28 voltios exterior, va a un indicador de voltaje ubicado en la puerta del armario.

En la parte interna tiene los siguientes elementos:

- Un relé de distribución K 4.
- Tres fusibles de protección de fases.
- Un contacto de distribución.
- Un conmutador Marche-Arret del K4.
- Una luz del conmutador del comando K4 (ubicado en la puerta del armario).

#### 2.2.2.1.4. Distribución de 28 voltios de corriente continua:

El cual consta de los siguientes elementos:

- Un conmutador pulsador Marche-Arret.
- Una luz del conmutador.
- Un relé del comando.
- Un fusible de protección.

Estos 4 elementos forman el circuito de comando exterior, este comando no puede ser efectivo, si no se tuviera constante la presencia de tensión en el indicador de 28 Voltios de corriente continua.

- Un conjunto de relé de distribución.
- Dos aparatos de control, un voltímetro y un amperímetro.

#### 2.2.2.2. Generación y distribución de tensiones secundarias

- 220 voltios a 50 Hz. Es la tensión de emergencia
- 115 voltios a 400 Hz.

Son enviadas respectivamente de un ondulator y convertidor, estos a su vez son alimentados de 28 V. de corriente continua de una (batería).

El ondulator y convertidor son situados en la parte inferior del armario B.

##### 2.2.2.2.1. Armario C.

Corresponde al equipo ADOUR.

##### 2.2.2.3. Cuarto generación 28 v.

- Está equipado de un equipo de generación de 28 Voltios (PS 7000-A/28-250). El cual recibe corriente externa de 380 V.
- Una caja de acoplamiento de distribución de 28 V.

- Un armario de transformador con protección para alimentación cabina y grupo de bombas.
- Caja de conexión a tierra.

#### 2.2.2.4. Grupo de bombas.

Está compuesto de:

- Una bomba de alimentación 380 V.
- Un armario de funcionamiento con pulsadores de marcha y parada.
- Cuatro luces de indicación marcha y parada.
- Indicadores de aguja de:
  - Aspiración de bomba.
  - Indicador de salidas de presión de carburante para el ATAR y ADOUR.
  - Indicador de presión de salida de la bomba.
  - Indicador de milibares de diferencia de presión de filtros.
- Palanca de baja tensión de energía.

#### 2.2.2.5. Cofre de flujo de carburante seco y pc.

Contiene:

- Dos turbinas débí métricas (1 turbina seco y 1 turbina para PC).
- Dos cañerías de combustible ATAR seco y PC.
- Tres conexiones eléctricas de servicio.
- Tres pulsadores de purga.

#### 2.2.2.6. Cofre de conectores de alimentación.

Contiene:

- Cables eléctricos de alimentación hacia el motor como:
  - A 101.
  - A 102.
  - A 103.
  - Prest test (toma de comprobación).
  - Cable de test TV 815.
  - Cables cojinetes 1, 2 y 3.
  - Cables de vibración del motor seco y canal.
  - Cable del funcionamiento PC.
  - Cable de la medida del nivel de aceite.
  - Cable de la maneta de control de topes.
- Cableado de medidas de presión relativas y absolutas
- Caja de arranque

El cable de la tele fuerza se conecta directamente desde la cabina al motor.

#### 2.2.2.7. Equipos eléctricos de base.

Están compuestos de armarios y tableros de distribución eléctrica a partir de sus entradas exteriores de alimentación 380 V a 50 Hz de corriente alterna y 28 V. de corriente continua, de una parte llegan:

- A la cabina del SAS (para el alumbrado y climatización)
- A los tele comandos siguientes:
  - Grupo exterior de las bombas.
  - Grupo exterior de alimentación de 28 voltios de corriente continua.
  - Los corta fuegos (eléctricos) y equipos específicos de ensayo del motor.
  - Un contactor general C1 este comanda la parada y marcha.



- Un dispositivo de seguridad de tipo de golpe de puño (tablero P).

#### 2.2.2.8. Panel central.

Situado en la parte inferior de la cabina del ADOUR y está equipada de 5 conectores acoplados a la cabina:

- 380 V. / 50 Hz.
- La tele comando del grupo de 28 V.
- Recibe también 28 V.
- Envía corriente al grupo de bombas.
- Recibe y envía la señal a la red telefónica.

Estos conectores son repartidos de la siguiente manera:

- 380 V / 50 Hz. entrada de alimentación exterior.
- Tele comando de alimentación de 28 V. y entrada de alimentación 28 V. permanente.
- Distribución de 28 V. (Entrada de alimentación de 28 V.).
- Tele comando de las bombas (Comanda el grupo de bombas ATAR y ADOUR).
- Red telefónica. (Es la comunicación interna y externa de la cabina).
- Dos bornes de tierra equipados con tuercas tipo mariposa conectados entre ellos por una barreta y algunos relés.

Sobre su parte interna tenemos:

Fusibles de protección:

- F1, F2 y F3 protegen la alimentación general de 380V. / 50 Hz. (Del exterior).

- F4 Es la protección de la barreta neutra.
- F5 Protege el protector C1.
- F6, F7 y F8 son la protección del circuito de alimentación permanente de 380 V. / 50 Hz. de la cabina.
- F9 Protección del circuito de alimentación y emergencia del tablero P.

#### 2.2.2.9. Tablero P.

Está equipado sobre el lado derecho del pulsador de tipo GOLPE DE PUÑO que provoca la puesta fuera de tensión del contactor C1, cortando la distribución interna de 380 V / 50 Hz. y de los 28 V. de la cabina lo cual provoca la interrupción de cualquier operación.

Está equipado por el lado izquierdo con:

- Dos tomas de corriente 380 V. trifásica y tierra.
- Una toma es de 220 V. monofásica y tierra.

Sobre la puerta tenemos:

- Presencia de 28 V. (L8).
- Luz de presencia de 28 V. en la cabina (L7).
- Luz de presencia de 380 V en la cabina (L9).
- Luz de funcionamiento de la climatización.
- Luz de puesta de baja tensión del grupo de bombas.
- Dispositivo de selección del grupo de bombas (ATAR o ADOUR).

#### 2.2.2.10. Sistema de climatización.

- Un grupo de condensación.
- Un grupo de tratamiento de aire.
- Un circuito de ventilación de aire.

- Un circuito de ventilación y de distribución.

### **2.3. SEÑAL ELÉCTRICA.**

En el Diccionario de la Real Academia Española, se define “señal” con respecto a la física, como “la variación de una corriente eléctrica u otra magnitud que se utiliza para transmitir información” (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2015).

Una señal eléctrica es un tipo de señal generada por algún fenómeno electromagnético.

En los procesos industriales actuales se vuelve indispensable generar sistemas de control, instalar equipos que generen y midan las diferentes magnitudes o variables físicas que se presentan en los procesos industriales. En el principio de la industrialización, la instrumentación industrial se realizaba con procesos mecánicos básicos como las balanzas, hoy en día el desarrollo de la tecnología y los sistemas electrónicos compactos, permiten realizar la instrumentación de los procesos con equipos basados en circuitos y sistemas electrónicos sumamente económicos.

#### **2.3.1. GENERALIDADES**

Las señales eléctricas son fácilmente medibles y son de una representación sencilla, es por ello que la ingeniería ha considerado transformar los fenómenos físicos en señales eléctricas (Soliman & Mandyam, 1999, pág. 1).

Su utilización se ha aplicado en diversos campos, las comunicaciones, los procesos industriales, el desarrollo de la medicina, la aviación entre otros.

Las señales eléctricas se pueden medir mediante parámetros como voltaje, intensidad y resistencia. Las señales se procesan a través de sistemas y estos dependen de la función y características de cada señal a procesar.

### 2.3.2. CARACTERÍSTICAS.

En una señal eléctrica tenemos tres magnitudes características, la amplitud, la frecuencia y la fase.

En física la amplitud de una señal electromagnética es la medida de la variación máxima del desplazamiento que varía periódicamente en el tiempo; es la distancia entre el punto máximo de una señal y el punto de medio.

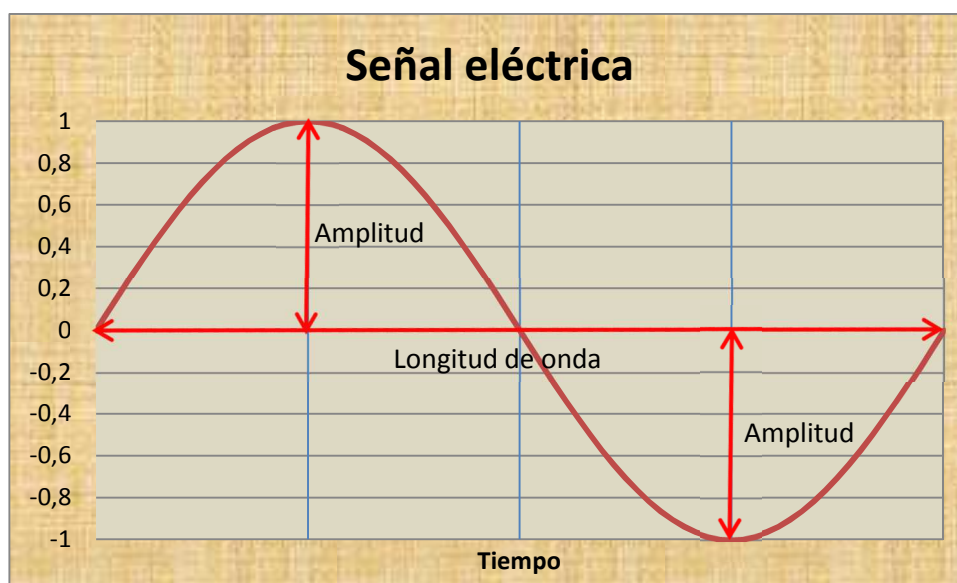


Figura 12. Señal eléctrica

La frecuencia ( $f$ ) es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de un fenómeno o suceso que se repite periódicamente.

Para calcular la frecuencia de una señal, se contabilizan el número de ocurrencias, en un intervalo definido de tiempo, luego estas repeticiones se

dividen por el tiempo transcurrido. Según el Sistema Internacional (SI), “la frecuencia se mide en hercios (Hz), en honor a Heinrich Rudolf Hertz”. Un hercio es la frecuencia de un fenómeno que se repite una vez por segundo. Así, un fenómeno con una frecuencia de dos hercios se repite dos veces por segundo.

Otro término que se utiliza es la longitud de onda ( $\lambda$ ) que es la distancia que se mide de pulso a pulso. Se mide la distancia entre dos puntos consecutivos que posean la misma señal por ejemplo entre dos puntos máximos, dos puntos mínimos o dos cruces por cero (en el mismo sentido).

Cada tipo de señal tiene su característica propia y es así que existen algunas clasificaciones de las señales.

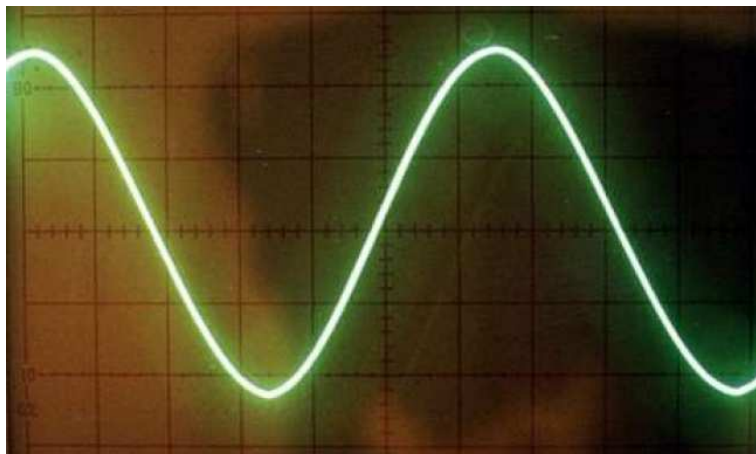
### **2.3.3. TIPOS DE SEÑAL.**

Las señales eléctricas pueden ser analógicas, si varían de forma continua en el tiempo, o señales digitales si varían de forma discreta (con valores dados como 0 y 1).

Existen varias clasificaciones de señales, pero para nuestro estudio las clasificaremos en los siguientes tipos de señal:

- Señal de tiempo continuo.
- Señal de tiempo discreto.
- Señal aleatoria.
- Señal no aleatoria.

Señal de tiempo continuo, es la que se define constantemente en algún intervalo de tiempo. Generalmente se la conoce a la señal de tiempo continuo con el nombre de señal analógica. El término analógico proviene de que la variación de la señal analógica representada en el tiempo es análoga a fenómeno físico que está siendo medido (Roberts, 2005, pág. 2).

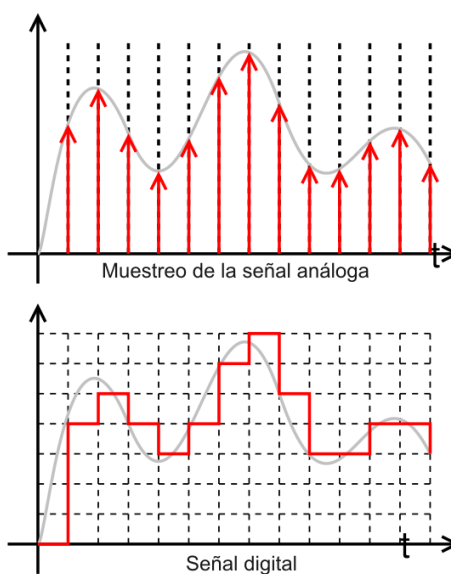


**Figura 13. Señal Analógica tomada de un osciloscopio**

FUENTE: (TU ELECTRÓNICA, 2014)

Una señal de tiempo discreto tiene valores definidos solo en puntos discretos en el tiempo y no entre ellos.

El proceso de muestreo de una señal consiste en tomar valores de ella en puntos discretos en el tiempo y luego utilizar solo las muestras para representar la señal original en tiempo continuo. El conjunto de muestras que se toman de una señal de tiempo continuo es un ejemplo de una señal de tiempo discreto. Una señal de este tipo también puede crearse mediante un sistema inherentemente discreto el cual produce valores de señal solo en tiempos discretos (Roberts, 2005).



**Figura 14. Muestreo de señal.**

FUENTE: (Harzael's Weblog, 2014)

El término señal digital se aplica a la transmisión de una secuencia de valores de una señal de tiempo discreto en la forma de dígitos en una forma codificada (usualmente binaria). El término digital también se utiliza algunas veces sin formalidad para referirse a una señal de valores discretos que solo tiene dos valores posibles.

Una señal aleatoria es aquella cuyos valores no pueden predecirse con exactitud y que no es posible describirla por medio de ninguna función matemática, un nombre común para una señal aleatoria es el de ruido.

Una señal no aleatoria, que también recibe el nombre de señal determinística, es aquella que es posible describir matemáticamente, al menos de manera aproximada.

Lo usual es que la señal original sea una señal de tiempo continuo de valores continuos. En el proceso de muestreo se adquieren los valores en tiempos discretos y esa secuencia de valores constituye una señal de tiempo discreto de valores continuos. El proceso de cuantización aproxima cada muestra al miembro más cercano de un conjunto finito de valores discretos,

lo que produce una señal de tiempo discreto de valores discretos. En ese caso cada valor de la señal en el conjunto de valores discretos en tiempos discretos se convierte en una secuencia de pulsos regulares que codifica ese miembro del conjunto de valores discretos en un número binario, creando una señal de tiempo continuo de valores discretos, llamada señal digital.

Las señales digitales cada vez son más importantes en el análisis moderno de señales debido a la diversidad de los sistemas digitales, y a que poseen la importante ventaja de una mejor inmunidad a las señales de ruido.

## **2.4. MEDICIÓN Y DETERMINACIÓN DE LAS SEÑALES DEL BANCO.**

Este es el paso previo para la determinación y selección del hardware necesario para la transformación de la señal, que se reproduce en el indicador digital a una señal que pueda ser recibida y procesada por el ordenador.

### **2.4.1. MEDICIÓN DE LAS SEÑALES.**

Utilizamos los medios a nuestro alcance para la medición de las señales eléctricas que serán adquiridas desde los instrumentos del panel de control del banco de pruebas, el instrumento a utilizar será un multímetro digital.

El multímetro digital, se caracteriza por tener una pantalla que presenta numéricamente la lectura con precisión decimal y la unidad de medida. Los multímetros digitales son generalmente más exactos y poseen mejor resolución que los multímetros analógicos, son más confiables y fáciles de usar. Además de voltaje, corriente y resistencia, en muchos casos pueden también medir frecuencia, capacitancia, inductancia entre otras cantidades



eléctricas. Este equipo es fundamental para la comprobación y redundancia de la información que permite una calibración precisa de cada instrumento.



**Figura 15. Multímetro Digital**  
FUENTE: (TECNOLOG, 2015)

Para medir las señales primeramente, desmontamos los paneles del tablero de instrumentos, conectamos uno a uno cada instrumento para realizar la conexión con el banco apagado, desde las entradas de cada uno de los instrumentos como indica la siguiente ilustración.



**Figura 16. Conexión para la medición de la señal**

Una vez realizada la conexión, procedemos a energizar el banco, instante en el cual se produce la adquisición primaria de las señales con el motor en estático, estabilizadas las señales, se procedió a encender el motor y verificar las variaciones se produjeron.

En un estudio, del sistema de adquisición de datos que implementaron los franceses cuando realizaron la instalación del banco, pudimos identificar los transductores de señal que se colocaron, para la transformación de los diferentes fenómenos físicos en señales eléctricas, en la implementación utilizaron termocuplas tipo "J", PT100 y sensores de presión, lo que nos orienta en el tipo de señal que encontraremos en los indicadores.



**Figura 17. Adquisición inicial de la señal en los indicadores de revolución y temperatura**

En el proceso de la comprobación funcional del motor, se pudo observar las fluctuaciones de las señales de cada uno de los indicadores, en todos los regímenes del motor.



Figura 18. Tablero de instrumentos con conexión para la medición en operación

#### 2.4.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS SEÑALES POR CADA INSTRUMENTO.

En la comprobación funcional del motor, pudimos observar que las señales de los indicadores de presión, correspondían a una señal eléctrica que varía de 0 a 100 mili voltios, y que los sensores de presión están implementados utilizando un puente de Wheatstone de 2 Kilo ohmios, por lo que el módulo de entrada debe tener una alta impedancia de entrada, como mínimo un 1 Mega ohmio, aunque lo óptimo sería una impedancia mayor a 10 Mega ohmios.

Los indicadores de presión son:

- 9 presiones de combustible; Pca, Prp, Prp PC, PiTD, Pid, Pib, Pip, PiRA y PiAB.
- 5 presiones de aceite; Ph, PhRV, PHP, Pot y Pft.
- 6 presiones de aire; P1 Reg, P2 Reg, P2 But, P2 Red, P2 Red PC y P2 Par.
- 1 indicador de revoluciones; RPM.

Las señales de temperatura provienen de tres tipos de transductores diferentes:

- 01 termocupla tipo “K”, entregan un voltaje de 0 a 100 mili voltios.  
01 indicador de temperatura T4.
- 04 termocuplas tipo “J”, entregan un voltaje de 0 a 100 mili voltios.  
04 indicadores de temperatura; To, Ø1, Ø2 y Ø3. (Cojinetes 1, 2 y 3 respectivamente).
- 01 Transductor PT100, que genera resistencia en función de la temperatura medida, 01 indicador de temperatura carburante, Tca.

Estas son las señales que llegan a cada uno de los instrumentos del banco de pruebas, en resumen tenemos, 21 señales analógicas de presión que generan voltaje de 0 a 100 mili voltios, 4 señales analógicas de temperatura que generan voltaje de 0 a 100 mili voltios y 2 señales analógicas de temperatura que generan resistencia en función de la temperatura medida.

#### **2.4.3. DEFINICIÓN DEL REQUERIMIENTO PARA SELECCIONAR EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.**

Una vez realizado el análisis de las señales que ingresan a los instrumentos podemos definir el requerimiento y características técnicas necesarias para seleccionar y adquirir el hardware de adquisición de datos el cual debe cumplir con los siguientes parámetros

- Un módulo de 3 entradas analógicas que debe ser capaz de leer directamente la señal de 0 a 100 mili voltios, que generan las termocupla tipo "K y J", y el transductor PT100, que es una resistencia que varía con la temperatura. Estas leen las temperaturas T4 del motor, temperatura del ambiente y la temperatura carburante respectivamente.

- Un módulo de 4 entradas analógicas que debe ser capaz de leer directamente la señal de 0 a 100 mili voltios, que generan las termocupla tipo "J". Estos leen 3 temperaturas, de los cojinetes, y leen la señal eléctrica en mili voltios de la IPT4.
- Un módulo de 21 entradas analógicas que debe ser capaz de leer directamente la señal de 0 a 100 mili voltios, que generan los sensores de presión. Existen 21 sensores de presión, que entregan señales que van de 0 a 100 mV. (mili voltios). Este módulo de entradas analógicas debe tener alta impedancia de entrada, por lo menos de 1 Mega ohmio, siendo lo ideal de más de 10 Mega ohmios, ya que los sensores de presión están implementados utilizando un puente de Wheatstone de 2 Kilo ohmios.

## CAPÍTULO 3

### SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

#### 3.1. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

Es un conjunto de equipos que permiten tomar muestras de fenómenos físicos en tiempo real y transformarlos en tensiones eléctricas digitalizadas de manera que un ordenador pueda procesar estos datos que representan informáticamente al fenómeno físico (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015).



**Figura 19. Sistema de adquisición de datos**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

En la adquisición de datos, existen algunas etapas para conseguir el manejo y control del fenómeno físico.

El primer proceso es transformar el fenómeno físico en una señal eléctrica, esto se realiza con un sensor, existen muchos tipos de sensores y dependen del fenómeno físico a medir, y de la señal que se desea obtener de este proceso.

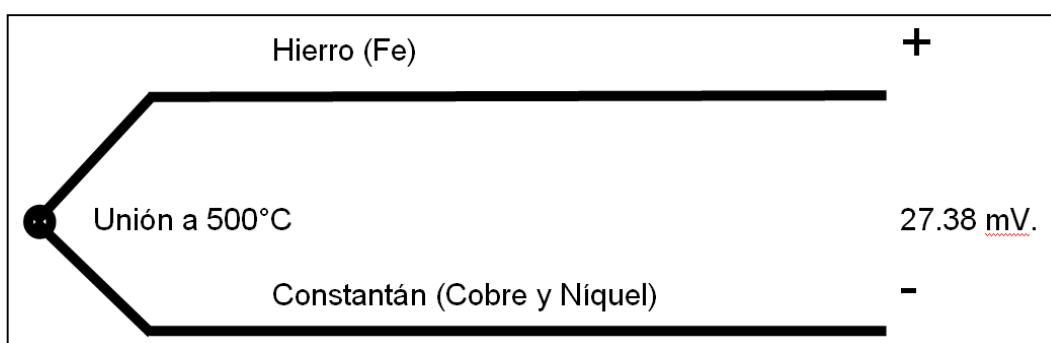
Aquí inicia el proceso de adquisición de datos, el sensor realiza esta transformación y la transmite en forma de señal eléctrica.

En el banco de pruebas tenemos instalados sensores de temperatura y sensores de presión.

En sensores de temperatura, tenemos las Termocuplas Tipo "J".

Las termocuplas son los sensores de temperatura más comúnmente usado en el campo industrial.

Estos tipos de sensor están contruidos por dos conductores de diferentes metales o aleaciones, unidos en un extremo (generalmente soldados), al contacto con la temperatura en este punto de unión, se genera un voltaje (efecto Seebeck) en el orden de los mili voltios el cual aumenta en función de la temperatura aplicada.



**Figura 20. Esquema demostrativo de una termocupla**

FUENTE: (ELECTRO INDUSTRIA, 2015)

La termocupla tipo "J", posee un alambre de hierro y otro de constantán (aleación 55% de cobre y 45% de níquel), en la unión al ser expuesta a 500°C, debe medir una diferencia de voltaje de 27.38 mili voltios (mV.).

Existen muchos tipos de termocuplas, pero casi el 90% de las termocuplas que se usan a nivel mundial son las del Tipo "J" y Tipo "K".



**Figura 21. Termocupla Tipo "J"**

FUENTE: (OLIN S.A., 2015)

El voltaje que entrega una termocupla según la temperatura que mide no es lineal, en otras palabras no es directamente proporcional, por lo que se debe observar la tabla específica de cada termocupla.



**Figura 22. Sensor PT100**

FUENTE: (TC DIRECT, 2015)

El sensor PT 100 es un sensor de temperatura, está diseñado para variar la resistencia en función a cambios de temperatura del fenómeno físico medido, consiste en un filamento muy fino de Platino bobinado entre capas de material aislante y protegido por un revestimiento cerámico, es un tipo particular de RTD (Resistive Temperature Detector en Inglés, dispositivo termo resistivo).

El material que forma el conductor (platino), posee un coeficiente de temperatura de resistencia  $\alpha$ , el cual determina la variación de resistencia



del conductor por cada grado que cambia la temperatura según la siguiente ecuación:

$$R_t = R_o (1 + \alpha t)$$

En la cual:

$R_t$  Resistencia en  $\Omega$  (ohmios) en función a la temperatura.

$R_o$  Resistencia Inicial en  $\Omega$  (ohmios) a  $0^\circ\text{C}$ .

$t$  Temperatura medida.

$\alpha$  Coeficiente de temperatura de la resistencia.

El platino es el elemento más indicado para la fabricación de sensores de temperatura por resistencia ya que posee alto coeficiente de temperatura, alta resistividad, rigidez, ductilidad y lo más importante es la estabilidad de sus características durante su vida útil.

Los PT100 pueden entregar precisiones de una décima de grado, con la ventaja que no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que cuando tiene un desperfecto se abre y la señal se distorsiona completamente detectando inmediatamente el mal funcionamiento.

El incremento de la resistencia en función a la temperatura, no es lineal pero si es característico del platino por lo que usando la tabla característica del sensor se puede determinar la temperatura exacta a la que corresponde.

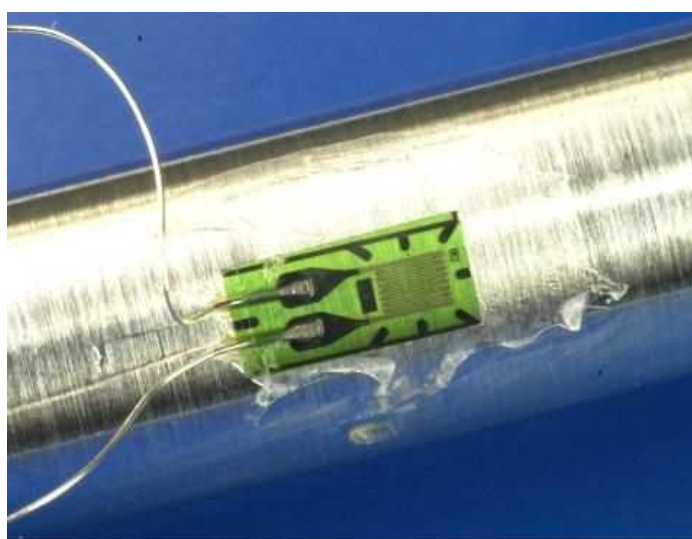
Estos son todos tipos de sensores de temperatura que se encuentran instalados en el banco de pruebas, proseguiremos con la explicación de los sensores de presión.

Sensores de presión.

Todos los sensores de presión instalados en el banco son galgas extensiométricas, instalados en los sistemas de presión de aire, combustible y aceite.

La galga extensiométrica, o extensómetro, es un sensor que se utiliza para medir la deformación, presión, torque, fuerza entre otras magnitudes físicas, también llamada “strain gage” (en inglés), funciona por la deformación de un cuerpo debido a la fuerza aplicada sobre un área determinada, utilizando la capacidad física de la resistencia eléctrica y su dependencia no solo con la resistividad del conductor, la cual es una propiedad del material, sino también de la geometría del conductor.

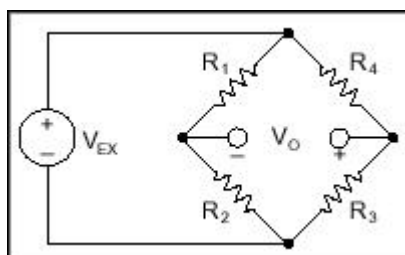
Cuando un conductor eléctrico se expande sin llegar a su límite de elasticidad, de forma que no llegue a la ruptura o deformación permanente, este se estrechará transversalmente y alargará longitudinalmente, esto incrementa su resistencia eléctrica, de la misma manera si una galga se comprime, se ensancha transversalmente y acorta longitudinalmente, lo cual disminuye su resistencia eléctrica. Por lo que midiendo la resistencia entregada por la galga se puede determinar con exactitud el esfuerzo, en este caso la presión que se está produciendo en el área.



**Figura 23. Galga extensiométrica**  
FUENTE: (ARQHYS ARQUITECTURA, 2014)

En la práctica, las mediciones de las galgas extensiométricas, las cuales entregan una variación de resistencia, se realizan a través de un puente de Wheatstone, el cual nos permite poder medir pequeñas variaciones (NATIONAL INSTRUMENTS, 2014).

El puente de Wheatstone, consiste en cuatro brazos resistivos con un voltaje de excitación  $V_{EX}$ .



**Figura 24. Puente de Wheatstone**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2014)

Donde el voltaje de salida  $V_O$  se lo obtiene de la siguiente fórmula:

$$V_O = \left[ \frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] * V_{EX}$$

De la ecuación vemos que cuando la relación  $R_1/R_2 = R_4/R_3$ , el voltaje de salida es 0, en estas condiciones se llama un puente balanceado, donde cualquier cambio en las resistencias dará como resultado un voltaje diferente de 0, (NATIONAL INSTRUMENTS, 2014).

Por lo tanto si reemplazamos  $R_4$  por la galga extensiométrica activa, cualquier cambio de la misma desbalancea el puente y produce un voltaje de salida diferente de cero.

Es la configuración utilizada en el banco de pruebas donde a través del uso del puente de Wheatstone, se entrega una señal de voltaje, de la señal de resistencia obtenidas por las galgas extensiométricas, a los indicadores que se encuentran instalados en el tablero de control.

Se acondiciona la señal eléctrica, proceso en el cual se elimina cualquier anomalía en la señal primaria, a esta anomalía o distorsión se le conoce como ruido y puede afectar al proceso de adquisición de los datos.

Se analizado los diferentes sensores que posee el banco de pruebas y las señales que deberá procesar el hardware de adquisición de datos, para el registro, análisis y control, este equipo se llama tarjeta de adquisición de datos o DAQ (Data Acquisition en Inglés).

Es aquí donde inicia el proyecto, se realizará la presentación de los diferentes tipos de tarjetas de adquisición que se puede encontrar en el mercado, que cumplan con los requerimientos anteriormente expuestos.

### **3.1.1. GENERALIDADES.**

La tarjeta de adquisición de datos es un equipo o hardware que permite medir fenómenos físicos en un ordenador, el dispositivo debe recibir las señales eléctricas que provienen de los sensores y enviarlas en forma ordenada al procesador u ordenador, donde con un software se procesa los datos, de forma que puedan ser utilizados informáticamente para los propósitos de control y registro (NATIONAL INSTRUMENTS, 2014).

### **3.1.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.**

La presente información se investigó y baso en la página oficial de National Instruments (NATIONAL INSTRUMENTS, 2014), las tarjetas de adquisición de datos están diseñadas para los distintos usos en los que pueden ser aplicados en la industria, por lo que tienen diversas formas de fabricación, las tarjetas por los tipos se clasifican en:

DAQ portátiles, sirven para móviles que se pueden conectar fácilmente con una computadora portátil o una computadora de escritorio, utilizan

medios de comunicación como el puerto Ethernet, Wi-fi o cable USB para la transmisión de los datos.



**Figura 25. DAQ Portátil**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

DAQ de escritorio, son tarjetas que se adicionan en una ranura (slot) de la tarjeta principal (main board) de un ordenador de escritorio y se instala internamente en el computador (case), lo cual limita su movilidad, también llamados PCI y PCI express.



**Figura 26. DAQ de Escritorio**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

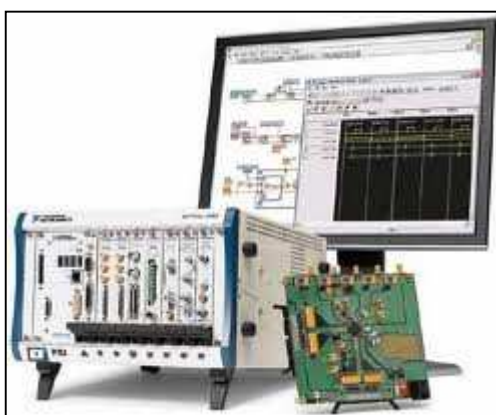
Cuando la aplicación requiere de más de una tarjeta de adquisición de datos es necesaria la utilización de un sistema modular que permita agrupar las tarjetas, recopilar la información y transmitirla al ordenador, existen dos tipos de sistemas modulares.

Sistema modular compacto, este sistema se caracteriza por ser movible, y permite conexiones mediante cable USB, dentro de los cuales existen las variedades de chasis y soporte de módulos dependiendo del requerimiento.



**Figura 27. Sistema Modular Compacto**  
FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

Sistema de Plataforma PXI, se utiliza como plataforma para centralizar tarjetas PXI, en un chasis y soporte de módulos de hasta 500 entradas o salidas. En la cual se puede incluir un ordenador en el chasis, o se puede enviar la información a un ordenador.



**Figura 28. Sistema de plataforma PXI**  
FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

### 3.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

En el capítulo anterior se realizó la investigación y determinación de la necesidad para la compra de las tarjetas de adquisición, para lo cual se realizó el estudio del mercado industrial, en las diferentes empresas que ofertan sistemas de automatización y control, se expuso el requerimiento de las necesidades que nuestro banco, de lo cual se presentaron tres opciones, de la cual se escogió los equipos National Instruments, a través de su empresa representante en Ecuador, DATALIGHTS, la cual presentó la oferta más económica y práctica, la cual consiste en 5 equipos.

La solución presentada por DATALIGHTS, consiste en:

- 2 Tarjetas NI 9211, módulos especializadas en adquisición de datos de temperatura con filtrado y compensación de junta fría.



**Figura 29. Tarjeta NI 9211**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

El cual posee la capacidad de operación intercambiable en vivo. Censar 4 termopares o entradas analógicas de  $\pm 80\text{mV}$ . Una resolución de 24 bits, filtra el ruido de 50/60 Hz. Certificados de calibración trazable expedidos por el NIST. Rango de operación de entre  $-40$  a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Estas tarjetas solventan los siguientes requerimientos:

- Un módulo de 4 entradas analógicas que debe ser capaz de leer directamente la señal de 0 a 100 mili voltios, que generan las termocuplas tipo "J". Estas leen las temperaturas de los 3 cojinetes y la IPT4 del motor.
- Un módulo de 2 entradas analógicas que debe ser capaz de leer directamente la señal en ohmios que generan, los dos transductores PT100, que son resistencias que varían con la temperatura. Estos leen 2 temperaturas, del carburante (combustible) y la temperatura ambiente.
- 2 Tarjetas NI 9205, módulos especializados en adquisición de señales de voltaje desde  $157 \mu\text{V}$  hasta 10 voltios.



**Figura 30. Tarjeta NI 9205**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

El cual posee la capacidad de operación intercambiable en vivo. Censa 32 entradas analógicas de una sola terminal o 16 diferenciales. Posee resolución de 16 bits, rango de muestreo acumulado de 250 kS/s. Certificados de calibración trazable expedidos por el NIST. Rango de operación de entre -40 a 70 °C.

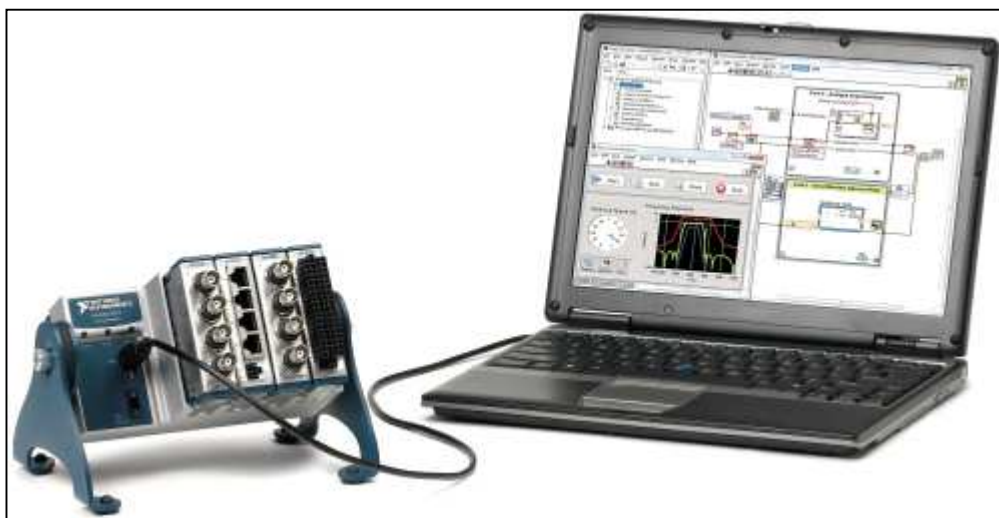


Estas tarjetas solventan el requerimiento de:

- Un módulo de 21 entradas analógicas que debe ser capaz de leer directamente la señal de 0 a 100 mili voltios, que generan los sensores de presión. Existen 21 sensores de presión, que entregan señales que van de 0 a 100 mV. (mili voltios). Este módulo de entradas analógicas debe tener alta impedancia de entrada, por lo menos de 1 Mega ohmio, siendo lo ideal de más de 10 Mega ohmios, ya que los sensores de presión están implementados utilizando un puente de Wheatstone de 2 Kilo ohmios.

Se utilizan 2 tarjetas debido a que se considera cada módulo en operación de entrada diferencial, 16 canales por tarjeta, como el requerimiento son 21 entradas, se usarán 2 módulos, esto nos otorgará mayor precisión en la adquisición de datos, debido a que las señales transmiten voltajes muy bajo.

Y finalmente para centralizar la información de las tarjetas, National Instruments nos recomienda el chasis NI cDAQ-9174.



**Figura 31. Chasis cDAQ 9174**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

Esta es el sistema modular principal para la concentración de la información y transmisión al computador.

Permite escoger entre 50 módulos de entradas y salidas, intercambiables en vivo con acondicionamiento de señal integrado. Con 4 contadores temporizadores de 32 bits de uso integrados al chasis a través del módulo digital.

Posee herramientas para medir en minutos las señales con la utilización del software NI-DAQmx y la generación automática del código usando el DAQ Assistance. Se comunica a través de cable USB, la información del chasis al ordenador, lo que facilita la conectividad y ergonomía del sistema de adquisición de datos.

## **CAPÍTULO 4**

### **SELECCIÓN DE LOS PROGRAMAS Y PROGRAMACIÓN PARA EL CONTROL Y REGISTRO.**

En el capítulo anterior se definió el hardware a usar, el presente capítulo tiene el objeto de definir el software para la adquisición, control y registro de los datos, así como su programación.

#### **4.1. SELECCIÓN DE LOS PROGRAMAS PARA REALIZAR EL CONTROL Y REGISTRO DE LA COMPROBACIÓN FUNCIONAL.**

En el capítulo anterior hemos realizado la selección del sistema de adquisición de datos, mediante el análisis, se escogió los equipos de adquisición de datos de la empresa National Instruments, por esto los programas a utilizar deberán ser compatibles con el hardware antes mencionado, por lo que el software idóneo para esta función es el software “LABVIEW”, que es diseñado por la empresa National Instruments.

National Instruments (NI) es una empresa que fue fundada en 1976 por James Truchard (actual presidente de la empresa), Bill Nowlin y Jeff Kodosky (creador de LabView) en Austin, Texas.

La empresa se dedica al desarrollo y venta de productos de software, hardware y servicios. Sus mercados aplicativos son los campos de adquisición de datos, control de instrumentos e instrumentación virtual. En los últimos años han extendido su campo de aplicación a sistemas de comunicaciones y sistemas embebidos, utilizando arquitecturas PXI y CompactRIO (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015).

El software LabVIEW (la abreviación en inglés de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench), es una plataforma y entorno de desarrollo, para diseñar sistemas de control y medición con instrumentación virtual, con lenguaje de programación visual gráfico. Este software se recomienda para sistemas de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad.

Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales (VI), y su origen proviene del control de instrumentos, pero en la actualidad su aplicación se ha expandido no solo al control de todo tipo de electrónica, sino también a su programación embebida, con comunicaciones, matemáticas, etc.

Con la aparición de sistemas multinúcleo se ha hecho aún más potente, permite reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo, y esto permite la conectividad con hardware propio y o de otros fabricantes.

El software LabVIEW es ideal para cualquier sistema de medidas y control, el cual integra herramientas para que a los ingenieros y científicos se les facilite la construcción de una amplia variedad de aplicaciones en mucho menos tiempo. Por ello, NI LabView es un entorno de desarrollo para resolver problemas con productividad acelerada y constante innovación.

Para el desarrollo de este proyecto de tesis, utilizaremos el software LabView, versión 12.0 de 32 bits.

Con el software definido procederemos con la programación del sistema de adquisición de datos, control y registro.

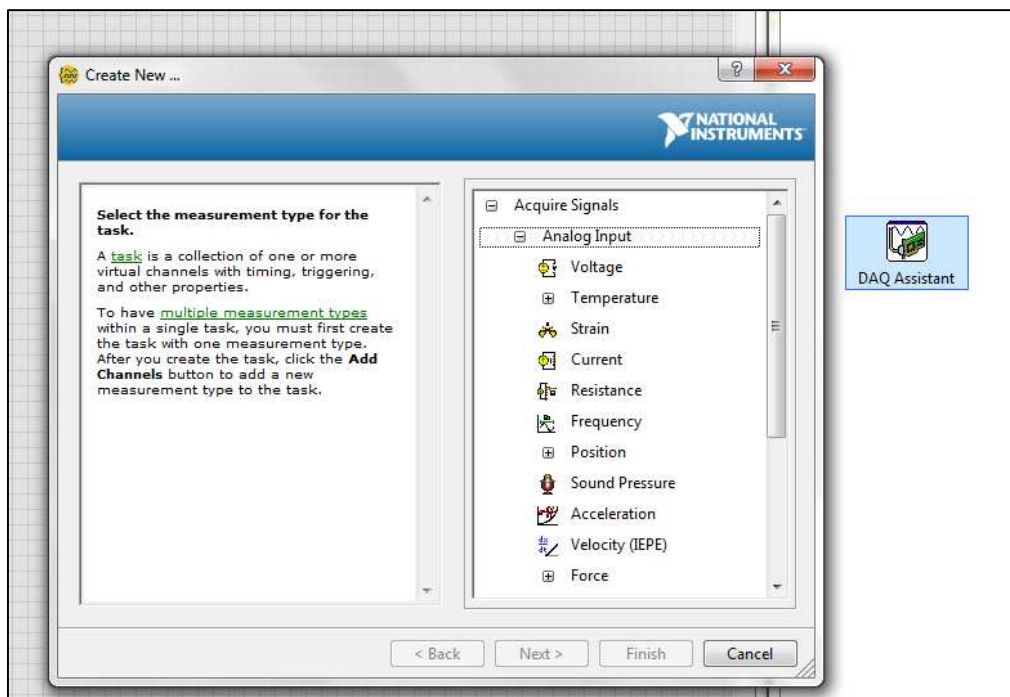
## 4.2. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y CONTROL DE DATOS.

El software LabView, trabaja con programación visual gráfica, la cual se aplica con el uso de funciones, en la pantalla de diagrama de bloques, y controles en el panel frontal, indicaremos brevemente como se realiza la adquisición y análisis de datos (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015).

LabView posee dos herramientas específicas para la adquisición de datos.

La herramienta DAQ Assistant, que permite de forma personalizada configurar y manipular el dispositivo de adquisición de datos, esta función es un VI Express, el cual dinamiza las posibles configuraciones del hardware de adquisición, de una forma amigable al usuario, y facilita su configuración, en la cual se puede configurar fácilmente lo siguiente:

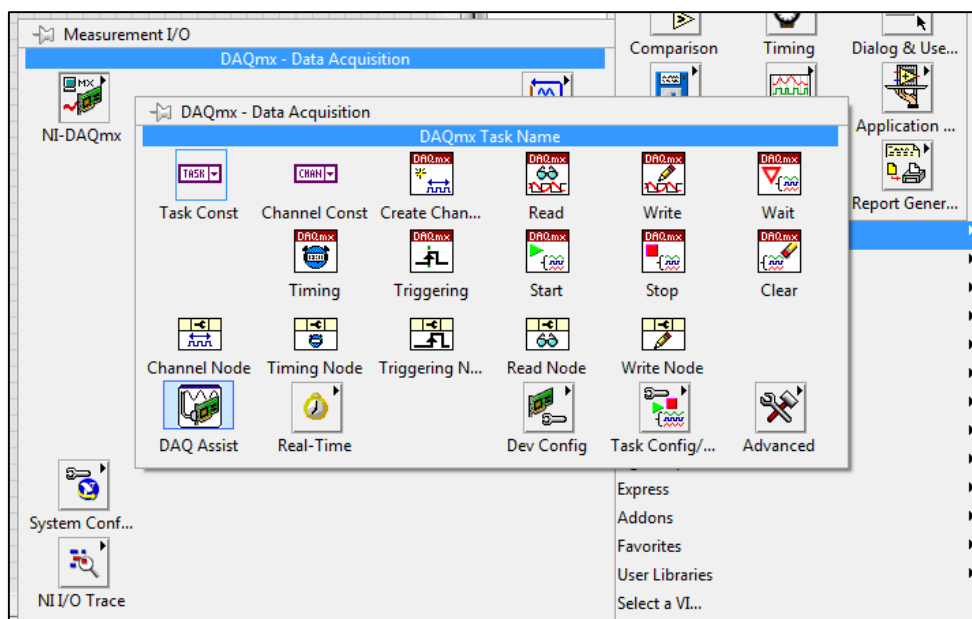
- Configurar la DAQ para adquisición o para entrega de datos.
- Seleccionar de entre los diferentes tipos de señales; analógicas y digitales.
- Discriminar las señales según su procedencia o naturaleza.
- Verificar las conexiones físicas entre el sensor y el dispositivo de adquisición, conexión punto a punto.
- Parametrizar rango, amplitud, número de muestras y demás valores que permiten definir una señal eléctrica.



**Figura 32. Herramienta DAQ Assistant**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

Y están el conjunto de funciones DAQmx, para la adquisición de datos, estos conjuntos de VIs, son un lenguaje de bajo nivel, es decir que requieren más código de programación para su funcionamiento, es importante indicar que en sí, un DAQ Assistant, es un conjunto de VIs DAQmx.

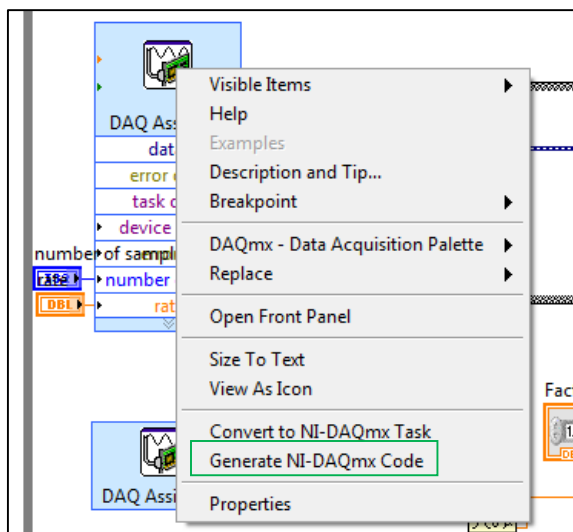


**Figura 33. Herramientas DAQmx**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2014)

Se recomienda que para la adquisición de datos que requiera de alta precisión, y un control dinámico en la ejecución del VI, la programación se la realice con las funciones DAQmx, por su versatilidad, y porque estas usan poca memoria RAM (Random Access Memory) en el ordenador, al ser VIs más específicos, lo que hace que el VI final se desempeñe ágilmente, por lo que en el presente VI usaremos ambos tipos de programación según el requerimiento.

Igualmente de ser requerido, el código del VI Assistant, en código de los VIs de DAQmx, se puede una vez configurado el DAQ Assistant, pedir que nos muestre su código en VIs de DAQmx, con el siguiente paso, hacemos click derecho sobre el icono del Assistant y seleccionamos la opción Convert to NI-DAQmx Task, como muestra la siguiente imagen.



**Figura 34. Generar código de DAQmx a partir de un DAQ Assistant**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2014)

Estas son las dos opciones de programación con las que LabView, nos permite adquirir datos.

Para realizar la programación de las entradas de datos, se debe realizar primeramente la asignación de señales para cada módulo, designar la conexión punto a punto, para lo cual presentamos las siguientes tablas, en función a los módulos que utilizaremos, esto se analizó en el capítulo 3, y lo especificamos a continuación.

Tenemos cuatro tarjetas de adquisición de datos; dos Tarjetas NI 9205, y dos tarjetas NI 9211.

La primera Tarjeta NI 9205, será asignada para la adquisición de las señales eléctricas de revoluciones por minuto del motor y presiones de combustible; para esto designaremos a este módulo como 9205 (0), para la programación, conexión y la organización estructural del VI, se designan las señales para este módulo las cuales se detallan en la siguiente tabla.

En donde el ítem numerará las señales que esta tarjeta procesará, la conexión al tablero indicará, en qué punto de la barra de datos del banco de



pruebas se debe conectar, la conexión a la tarjeta, indicará el pin en qué se debe conectar a la tarjeta, esto nos ayudará a organizar la conexión tablero – tarjeta de adquisición.

**Tabla 3.**

**Designación del Módulo 9205(0)**

ITEM	CONEXIÓN AL TABLERO	TARJETA		CONEXIÓN A LA TARJETA	SEÑAL	INSTRUMENTO	
0	INST 1 IN	9205	0	1	+	RPM	Revoluciones o porcentaje
	INST GROUND	9205	0	20	-		
1	TB00 04	9205	0	2	+	Pca	Presión del combustible
	TB00 02	9205	0	21	-		
2	TB02 09	9205	0	3	+	Prp	Presión de la bomba principal de combustible.
	TB02 07	9205	0	22	-		
3	TB02 14	9205	0	4	+	Prp PC	Presión de la bomba de combustible PC
	TB02 12	9205	0	23	-		
4	TB00 19	9205	0	5	+	PiTD	Presión de inyección del turbo-arrancador.
	TB00 17	9205	0	24	-		
5	TB00 14	9205	0	6	+	Pid	Presión de inyección de arranque.
	TB00 12	9205	0	25	-		
6	TB03 04	9205	0	7	+	Pib	Presión de inyección base.
	TB03 02	9205	0	26	-		
7	TB02 24	9205	0	8	+	Pip	Presión de inyección principal.
	TB02 22	9205	0	27	-		
8	TB02 29	9205	0	11	+	PiRA	Presión de las rampas.
	TB02 27	9205	0	30	-		
9	TB01 09	9205	0	12	+	PiAB	Presión de los anillos quemadores.
	TB01 07	9205	0	31	-		
TIERRA		9205	0	10		COMÚN	

La segunda Tarjeta NI 9205, será asignada para la adquisición de las señales eléctricas de presiones de aceite y presiones de operación del motor; para esto designaremos a este módulo como 9205 (1), para la programación, conexión y la organización estructural del VI, se designan las señales de este módulo las cuales se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 4.**  
**Designación del Módulo 9205(1)**

ITEM	CONEXIÓN AL TABLERO	TARJETA	CONEXIÓN A LA TARJETA	SEÑAL	INSTRUMENTO	
0	TB02 04	9205	1	1	Ph	Presión de aceite.
	TB02 02	9205	1	20		
1	TB00 24	9205	1	2	PhRV	Presión de aceite del reenvío.
	TB00 22	9205	1	21		
2	TB02 19	9205	1	3	PHP	Alta presión de aceite.
	TB02 17	9205	1	22		
3	TB01 14	9205	1	4	Pot	Presión de abertura de tobera.
	TB01 12	9205	1	23		
4	TB02 34	9205	1	5	Pft	Presión de cierre de tobera.
	TB02 32	9205	1	24		
5	TB00 09	9205	1	6	P1 Reg	Presión 1 regulada.
	TB00 07	9205	1	25		
6	TB01 29	9205	1	7	P2 Reg	Presión 2 regulada.
	TB01 27	9205	1	26		
7	TB01 24	9205	1	8	P2 But	Presión 2 topes.
	TB01 22	9205	1	27		
8	TB00 34	9205	1	11	P2 Red	Presión 2 reducida.
	TB00 32	9205	1	30		
9	TB01 04	9205	1	12	P2 Red PC	P2 reducida PC.
	TB01 02	9205	1	31		
10	TB00 29	9205	1	13	P2 Par	P2 cárter central.
	TB00 27	9205	1	32		
TIERRA		9205	1	10	COMÚN	

La primera Tarjeta NI 9211, será asignada para la adquisición de las señales eléctricas de temperatura del motor, temperatura ambiente y temperatura carburante; para esto designaremos a este módulo como 9211 (0), para la programación, conexión y la organización estructural del VI, la designación de señales para este módulo se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 5.**  
**Designación del Módulo 9211(0)**

ITEM	CONEXIÓN AL TABLERO	TARJETA	CONEXIÓN A LA TARJETA	SEÑAL	INSTRUMENTO
0	TB04 04	9211 0	0	T4	Temperatura del motor al piloto
	TB04 05	9211 0	1		
1		9211 0	2	To	Temperatura Ambiente
		9211 0	3		
2		9211 0	4	Tca	Temperatura Carburante
		9211 0	5		
TIERRA		9211 0	9	COMÚN	

La segunda Tarjeta NI 9211, será asignada para la adquisición de las señales eléctricas de temperatura de los cojinetes y para la señal eléctrica de la temperatura IPT4, para esto designaremos a este módulo como 9211 (1), para la programación, conexión y la organización estructural del VI, se designan las señales para este módulo las cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 6.

## Designación del Módulo 9211(1)

ITEM	CONEXIÓN AL TABLERO	TARJETA		CONEXIÓN A LA TARJETA	SEÑAL	INSTRUMENTO
0	TB00 42	9211	1	0	+	Ø1 Cojinete 1
	TB00 41	9211	1	1	-	
1	TB01 42	9211	1	2	+	Ø2 Cojinete 2
	TB01 41	9211	1	3	-	
2	TB02 42	9211	1	4	+	Ø3 Cojinete 3
	TB02 41	9211	1	5	-	
3	TB01 51	9211	0	6	+	IPT4 Información del voltaje del indicador T4
	TB01 52	9211	0	7	-	
TIERRA		9211	1	9	COMUN	

Es importante una breve explicación de los métodos de conexiones que nos permiten realizar los módulos de adquisición de datos, es parte importante al momento de realizar la conexión entre los módulos y las señales eléctricas a censar. Tenemos tres métodos de conexiones, diferencial, sencilla referenciada y la sencilla no referenciada.

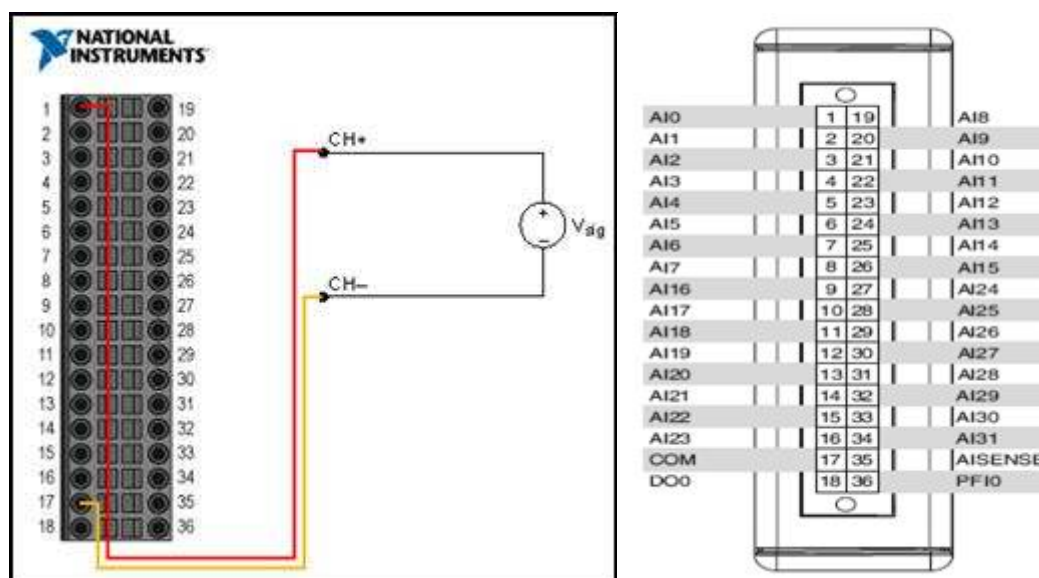
Un ejemplo el módulo 9205, que se visualiza a continuación.



Figura 35. Módulo 9205

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

Estas configuraciones de conexión entre las señales eléctricas y el módulo de adquisición de datos, depende de algunas condiciones del sistema de adquisición de datos, en especial del requerimiento de separación de los cables conductores, por ruido o por fallas en las conexiones a tierra.

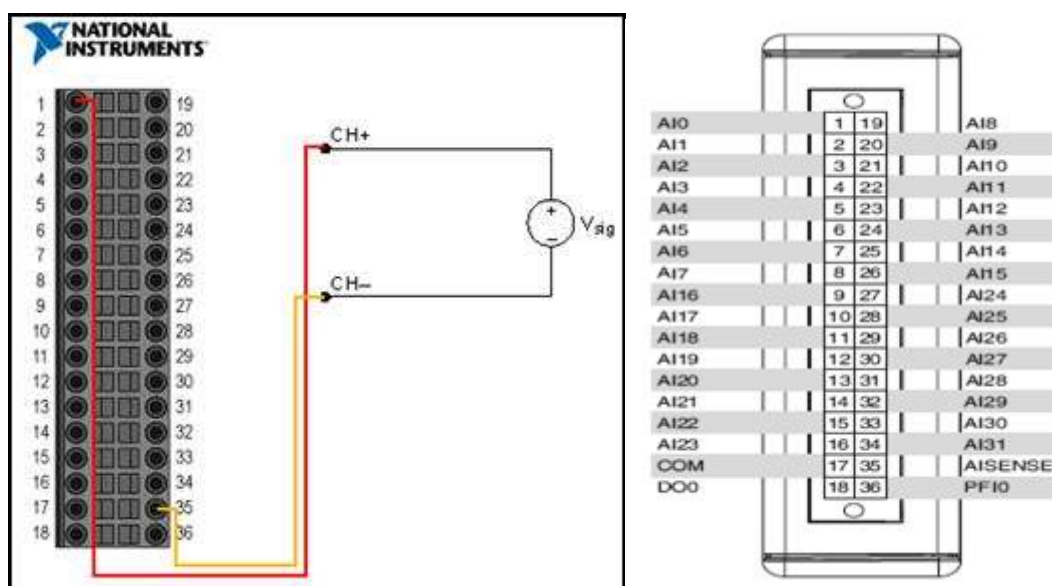


**Figura 36. Modo de conexión sencillo referenciado a tierra**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

Este método de conexión se utiliza cuando nos podemos referenciar a tierra, esto es un valor de voltaje en referencia a la tierra del sistema. Con este método de conexión se pueden sensor hasta 32 señales voltaicas, la utilización de la máxima capacidad de entradas del módulo, pero se requiere que las señales a medir compartan un voltaje común o referencial.

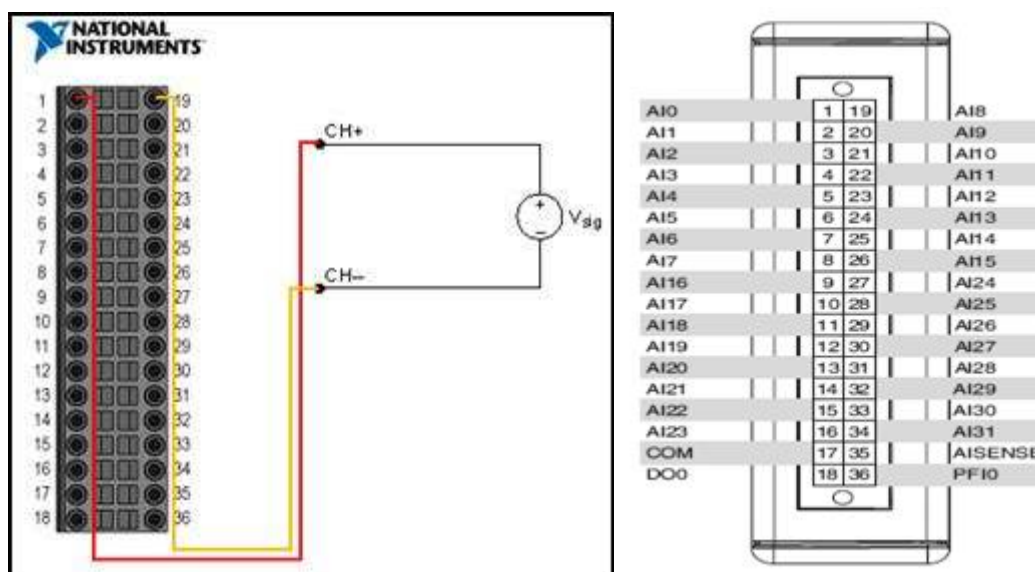
La conexión sencilla referenciada a tierra se utiliza cuando, se encuentra operando con un sistema, donde el diferencial de voltaje entre las tierras es 0 voltios o donde existe un voltaje común para las señales a medir, la aplicación en nuestro sistema, este método de medición se la puede realizar para comprobar entre la malla de tierras de las barras de datos, y las tierras de cada señal.



**Figura 37. Modo de conexión sencillo no referenciado a tierra**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

En principio este método de conexión es muy parecido al método de conexión diferencial, ya que se conecta el voltaje positivo a la entrada A 0 y el negativo a la entrada A 8, pero adicional se conecta una referencia de voltaje al A SENSE, para esto tenemos que tener un canal de voltaje que nos permita tener una referencia directa del sensor que nos permita referenciar la diferencia de voltaje de entrada, este método se utiliza en sistemas en los que existe mucho ruido y las señales son inferiores a 1 voltio; pero se debe poseer un canal común de medición.



**Figura 38. Modo de conexión diferencial**  
FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

El método diferencial establece directamente el diferencial de dos voltajes, se conecta el positivo en A 0 y el negativo en A 8, así sucesivamente, este al igual del método sencillo no referenciado, tiene el único inconveniente que se disminuyen el número de canales a medir, aritméticamente se reduce a la mitad, por lo que solo se pueden medir 16 canales.

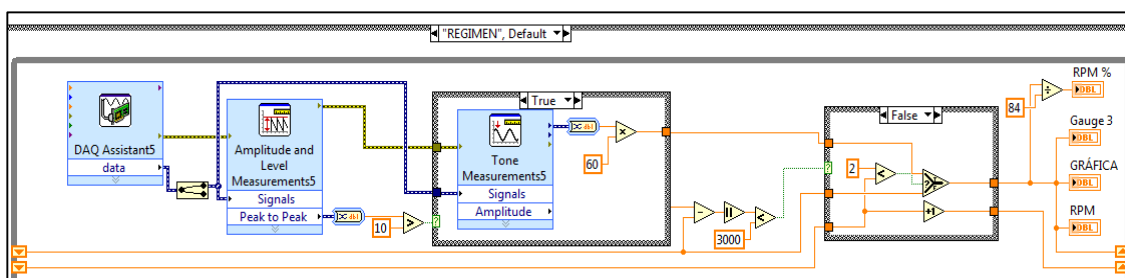
En nuestra aplicación existen algunos inconvenientes, con respecto a las tierras, como se manifestó anteriormente este banco de pruebas tiene, tres sistemas de alimentación eléctrica una alimentación 28 voltios corriente DC, 110 voltios AC, 220 y 380 voltios AC a 50 Hz de frecuencia, al realizar las mediciones de diferencial de voltaje en la barra de datos, nos percatamos que existe una malla que está conectada a tierra de descarga, el problema es que esta no está encerada, se realizaron trabajos de limpieza de terminales y limpieza en las barras de cobre que están empotradas en el exterior del banco de pruebas, pero la variación permanente latente.

Por esta razón se realizó la conexión diferencial en los módulos de adquisición de datos 9205, con lo cual eliminamos el problema de señales inducidas que por ser en algunos casos, las señales de entrada inferiores a

1 voltio, varía la caracterización de la señal eléctrica, y por ende nos induciría a errores en la medición.

Con la asignación de las entradas a las tarjetas de adquisición de datos, una vez explicado el método de conexión diferencial, se programarán los módulos de adquisición de datos.

La programación para la adquisición de la señal que indica las revoluciones por minuto del motor, proviene de una señal analógica de la cual se debe extraer su frecuencia de la siguiente manera.



**Figura 39. Programación para la adquisición de la señal de revoluciones del motor**

En esta ilustración se muestra la programación para la adquisición de la señal de revoluciones del motor, en primera instancia se encuentra el Asistente DAQ, con el cual se programa la adquisición de la señal eléctrica, a una tasa de muestreo de 500 Hz con un valor de 250 muestras.

Usamos la función Amplitud y Niveles de Medición que nos facilita LABVIEW, para obtener algunos valores característicos de la señal eléctrica, pero en este caso en particular, nos interesa el valor de pico a pico que se produce en la señal, ya que por el análisis realizado cuando este valor supera los 10 milivoltios, es cuando se puede aprovechar el valor de la frecuencia, que finalmente debe ser multiplicada por 60 que es el valor de conversión ya que la frecuencia entrega el valor revoluciones por segundo, y el indicador avión está en la unidad de revoluciones por minuto.



Finalmente existe el inconveniente que esta señal por ruido en el sistema, presenta una distorsión puntal, pero no continua en el tiempo, por lo cual se planteó dos opciones de solución, la primera era diseñar una tarjeta electrónica externa para el acondicionamiento de la señal, y la segunda es explotar las herramientas que LABVIEW brinda, escogemos la segunda opción, por lo que se realizó un filtro de discontinuidad, en el que si existe una diferencia de 3000 rpm, no registrará el valor y mostrará el ultimo valor, si es que esta condición se presenta por más de dos ocasiones tomará esta diferencia como un valor paramétrico real y lo procesará.

Con esta programación podemos adquirir y presentar la información de las revoluciones del motor, en forma confiable y continua en el tiempo, para la estructuración del programa global.

A continuación presentaremos la programación para la adquisición de las señales de presión, que provienen de una señal analógica, de la cual se debe extraer el voltaje para su análisis.

Inicialmente usamos el asistente DAQ para la programación del módulo de adquisición de las señales de presión, una vez de lo cual para estabilizar la señal utilizamos un filtro de frecuencia.

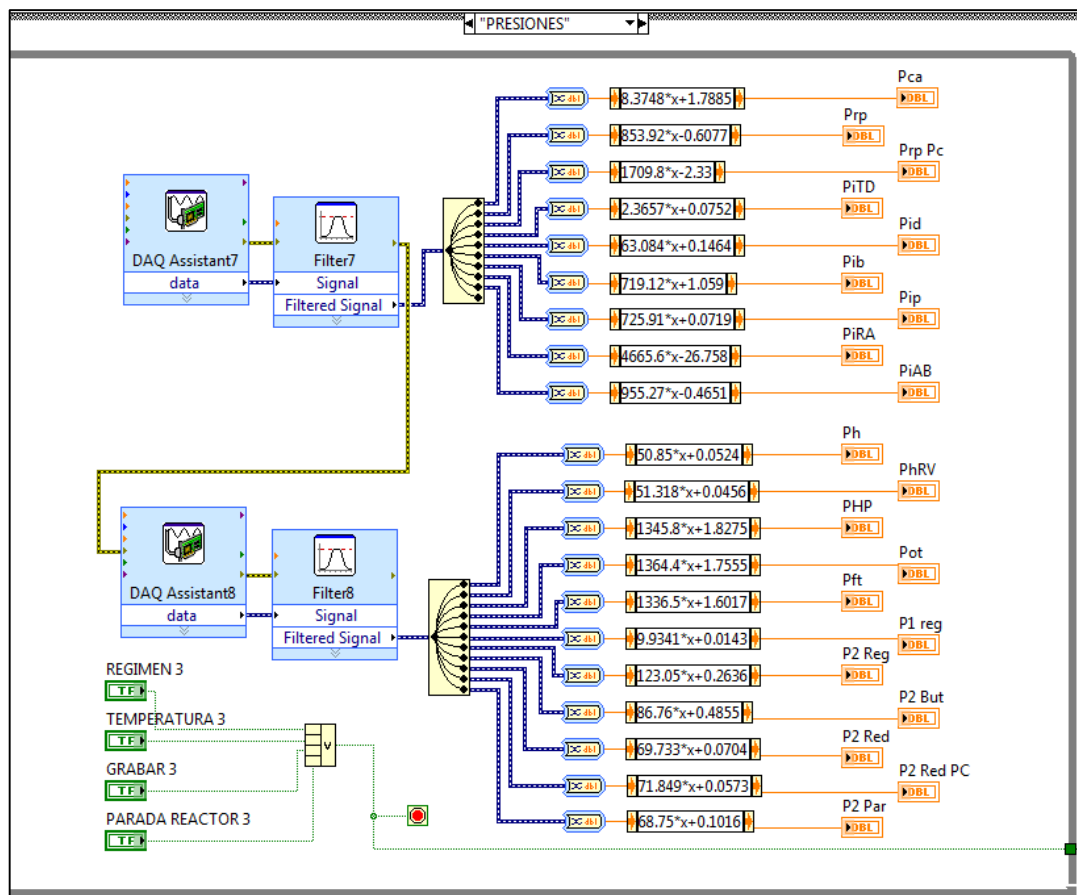
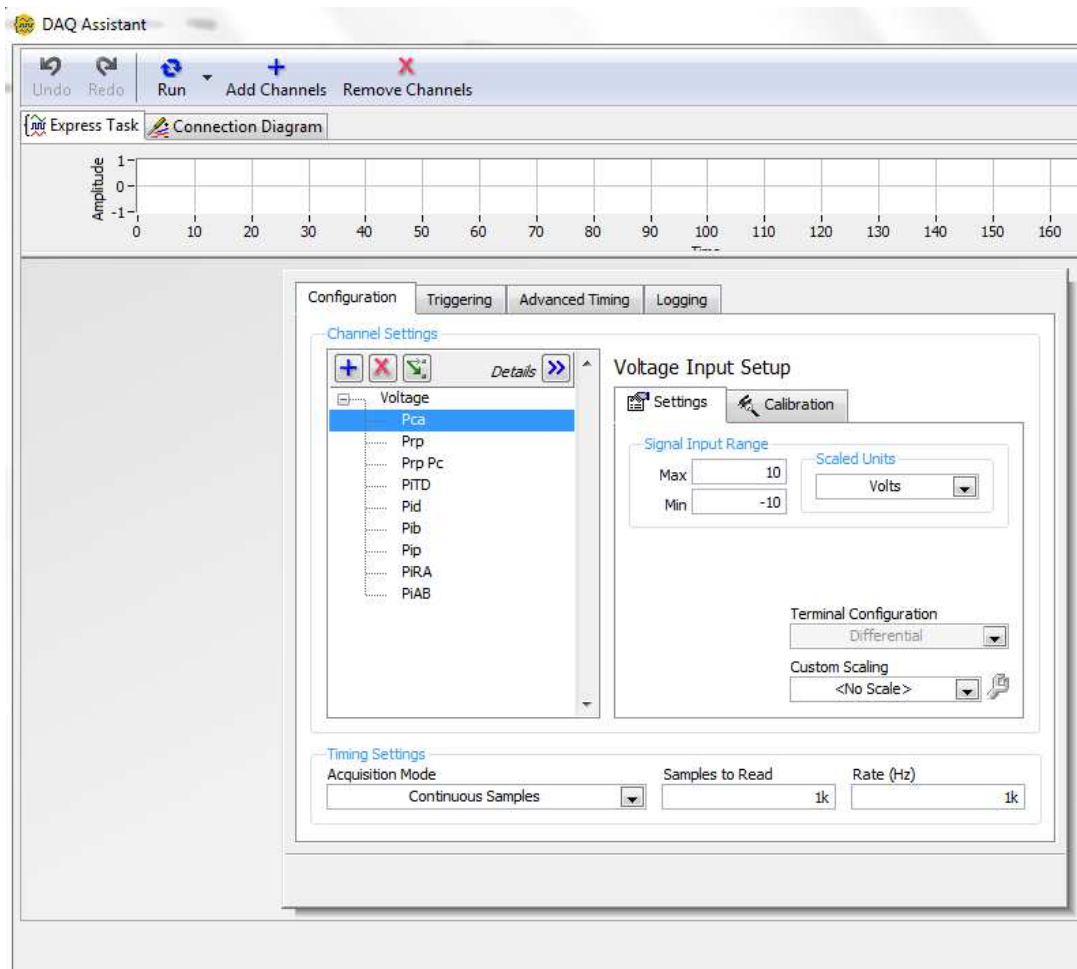


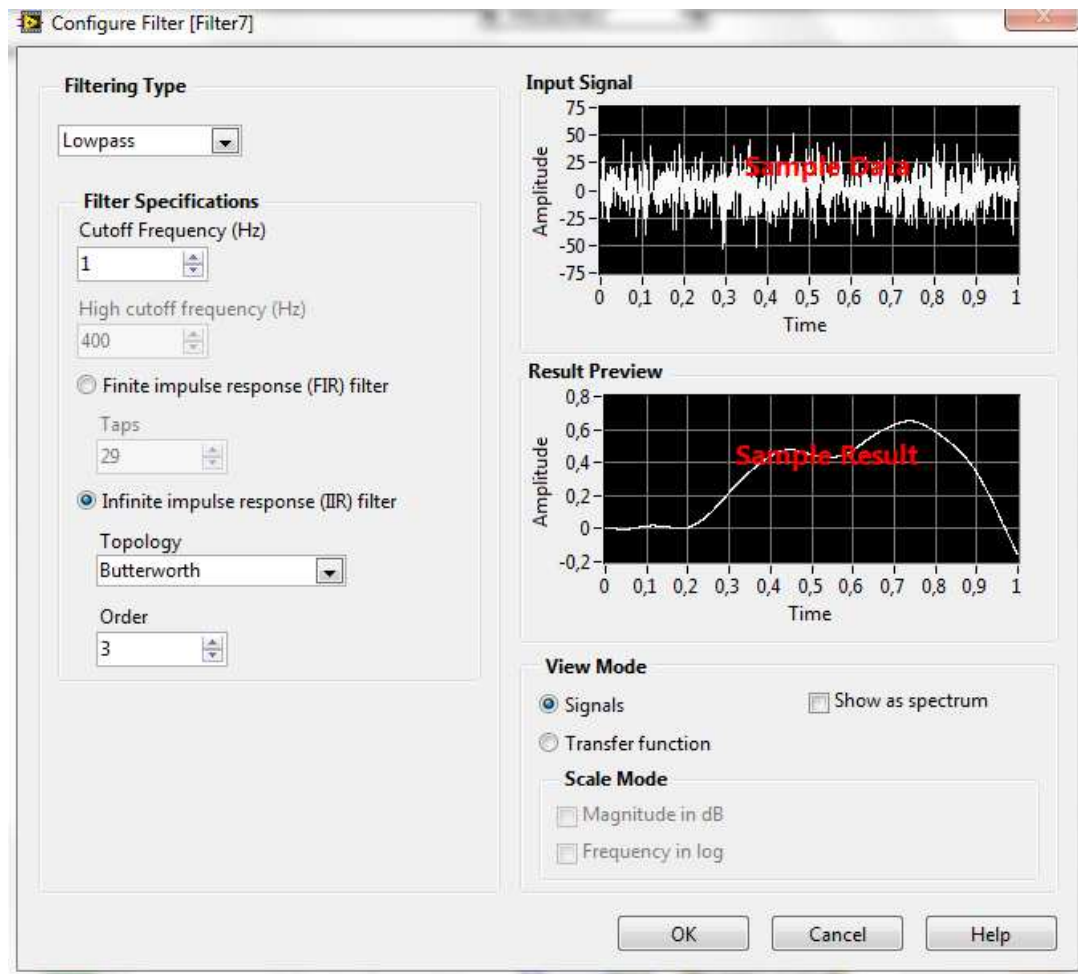
Figura 40. Programación para la adquisición de las señales de presión



**Figura 41. Asistente DAQ para la adquisición de las señales de presión**

En la ilustración anterior podemos observar como realizamos la adquisición de datos de las señales eléctricas de presión, las cuales están definidas en un rango de voltaje de 10 a -10 voltios, con una frecuencia de muestreo de 1.000 Hz y un número de 1.000 muestras, con un modo de adquisición continuo.

Como se puede observar el método de conexión del módulo es diferencial, y no utilizamos una escala, ya que cada señal se lo realizará por programación, de acuerdo con su línea de caracterización.



**Figura 42. Herramienta filtro de frecuencia para estabilizar la señal eléctrica de las presiones**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

A este filtro se le conoce como filtro pasa bajo, en el cual se programa que máxima admitida sea de 1 Hz, cualquier variación en el dato superior a esto será permutada, lo cual nos entrega una señal mucho más estable y continua en el tiempo.

En este proceso de adquisición fue necesario encontrar la curva característica de cada una de las señales en operación, para lo cual se tuvo que operar el motor en sus diferentes condiciones y tomar los parámetros tanto de voltaje de entrada como los valores registrados en el tablero de control, así se registró los valores en una hoja de Excel, lo cual al graficar nos generó los puntos de definición, utilizando la herramienta de Excel, “Línea de Tendencia”, obtenemos la ecuación característica, y esta la

ingresamos con una función de Labview llamada “EXPRESSION NODE” en el programa final, con la cual realizamos la escala apropiada para cada señal eléctrica.

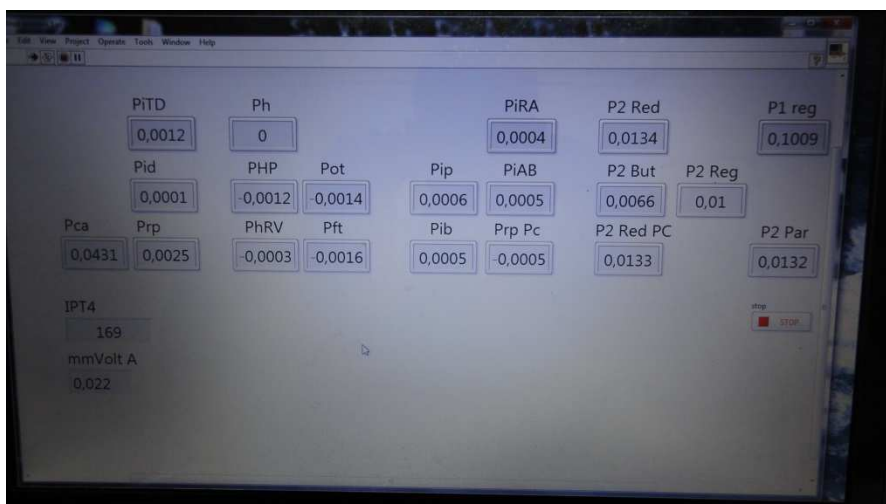


Figura 43. Valores en voltios de las diferentes señales eléctricas de presión

Esta ilustración corresponde a una fotografía tomada en ejecución de la comprobación funcional del motor, en un VI soporte, desarrollado para obtener el valor del voltaje en voltios, que se recibe por canal, con el cual se obtuvo los valores de referenciales para encontrar la curva característica de la señal.



Figura 44. Valor de los instrumentos en el tablero de control

Esta ilustración corresponde a una fotografía tomada en ejecución de la comprobación funcional del motor, del panel de control del banco de pruebas, con la cual se obtuvo los valores de referenciales para encontrar la curva característica de la señal.

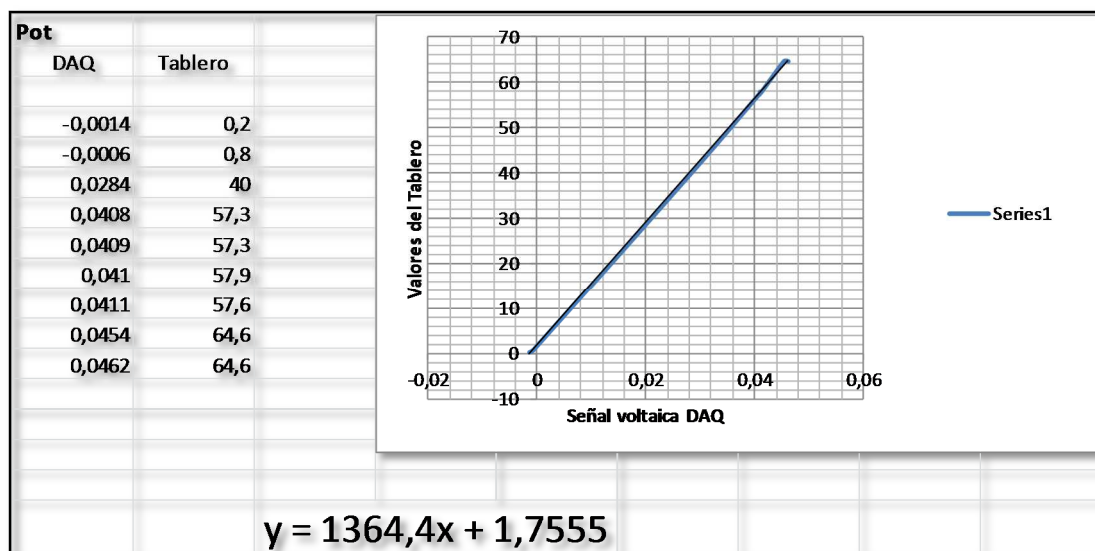
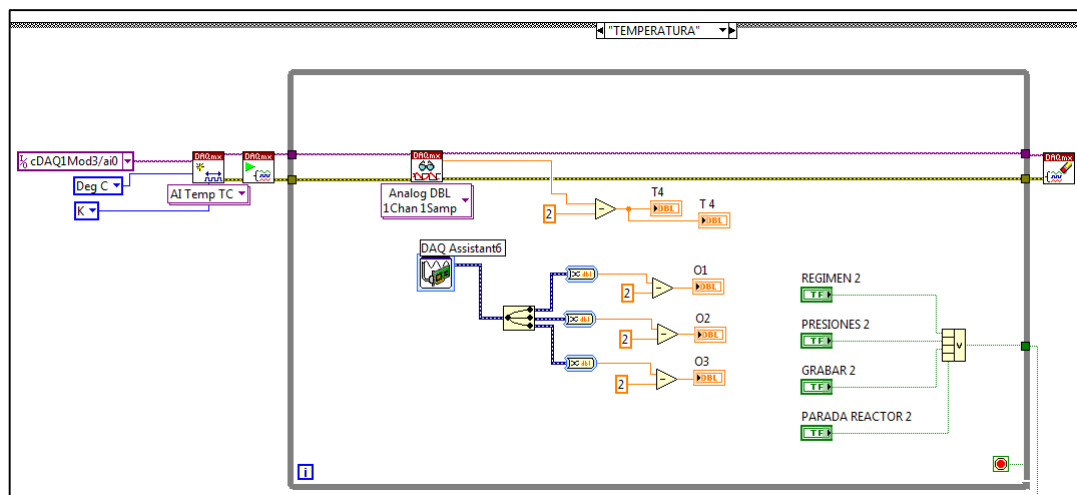


Figura 45. Caracterización de la señal de voltaje Pot, usando EXCEL

La Ilustración 4.15, nos enseña el procedimiento para encontrar la curva característica de la señal Pot, la herramienta informática EXCEL, nos entrega la ecuación que es lineal  $y = 1364.4 * x + 1.7555$ , donde  $y = f(x)$ ; en la ecuación “y” es valor del instrumento y “x” es el valor en voltios de la señal eléctrica, que es medida por el módulo de adquisición de datos.

Finalmente indicamos la programación para la adquisición de las señales de temperaturas, que provienen de una señal analógica.



**Figura 46. Programación para la adquisición de las señales de temperatura**

Programación para la cual utilizamos las herramientas DAQ mx y el DAQ Assistance, este módulo de temperatura no requiere la caracterización propia de cada termocupla, ya que las herramientas de los DAQ integran los parámetros de operación de cada termocupla, simplemente hay que definir el tipo de termocupla que se está usando, y el modulo ya entrega directamente el valor en grados centígrados, que es la unidad en la que opera el banco de pruebas.

Definida la adquisición de los datos, estructuramos el programa final, para lo cual es importante considerar los requerimientos de información, del banco de pruebas en la operación específica.

Por la operación específica del banco de pruebas, se requiere tener conocimiento de los procesos de comprobación funcional, el requerimiento del software es que el programa, realice la adquisición específica de datos de acuerdo con el proceso de comprobación funcional que se encuentre el motor.

Para lo cual generaremos cuatro estaciones de control, las cuales nos permitirán específicamente controlar y registrar la comprobación, en sus instancias más importantes.

El programa se realiza en dos estructuras de operación, la primera un “flat sequence”, y en la parte específica de comprobación funcional en una estructura “case structure” o también llamada “máquina de estados”, la cual nos permitirá la recursividad para poder movernos continuamente en las tres páginas diseñadas para comprobar los parámetros del motor.

Entonces la estructura en macro, del programa final, que se llamará “BANCO DE PRUEBA.VI”, diseñaremos un flat sequence, la cual es un conjunto de marcos que se ejecutan uno después de otro, este tipo de estructura no permite el retorno entre los marcos y define la secuencia de comprobación.

En la cual tenemos cinco marcos principales:

- a) Ingreso de datos.
- b) Ventilación.
- c) Arranque.
- d) Comprobación Funcional.
- e) Parada del motor.

Por diseño se creó un marco previo a cada uno de los marcos principales para resetear las variables. Debido al tamaño de este VI no nos es posible presentarlo por completo, por lo que usaremos la vista del navegador para presentarlo parcialmente.

Esta ventana “Navigation” se activa con CTRL + SHIFT N, y nos permite navegar por toda la programación del VI, suele ser muy útil al tener VI extensos, como es nuestro caso, ya que Labview 12 no tiene la opción de zoom, pero de igual manera presentamos el VI en esta ventana.



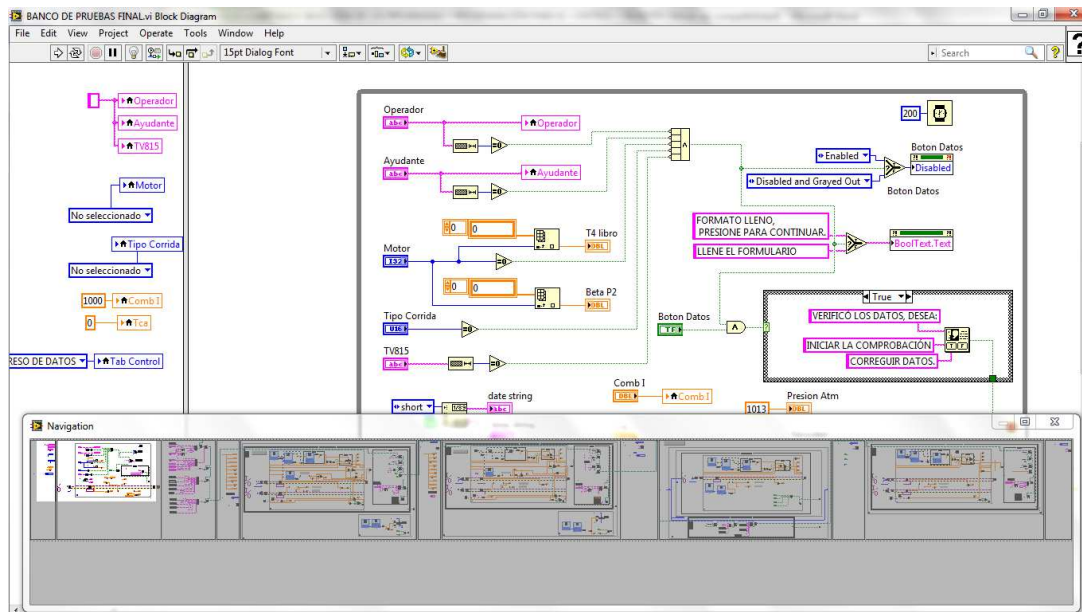


Figura 47. Presentación del VI, el macro basado en una estructura Flat Sequence

Presentada la programación macro, procedemos con cada uno de los marcos, el primer marco que ofrecemos es la plantilla de datos de la comprobación funcional, en el cual se ingresa los datos necesarios para poder analizar el funcionamiento del motor.

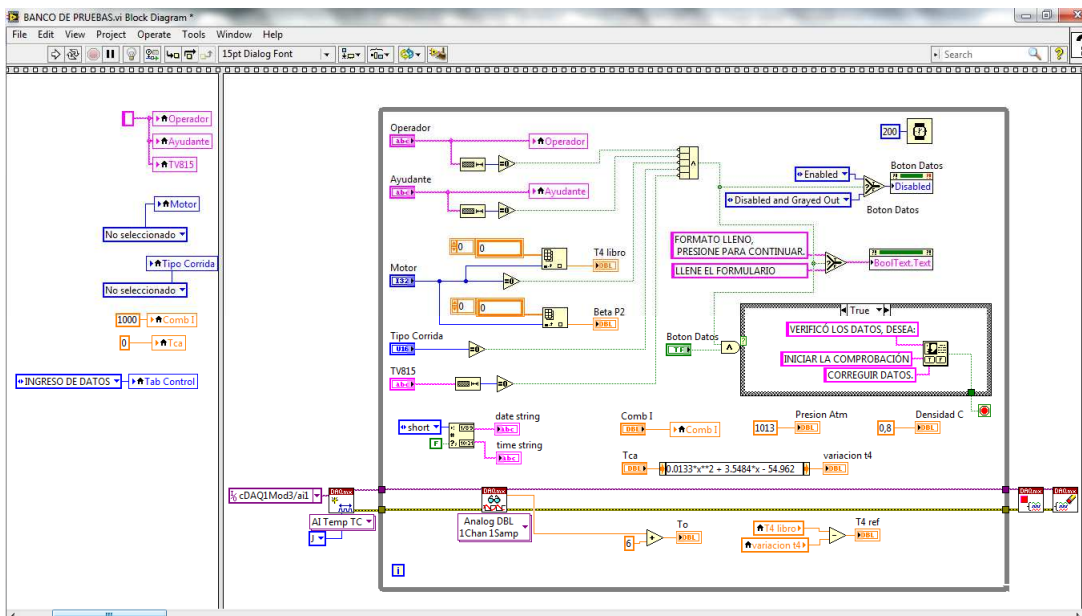


Figura 48. Diagrama de bloques para el ingreso de datos

**BANCO DE PRUEBAS.vi Front Panel**

File Edit View Project Operate Tools Window Help

15pt Dialog Font

**HOJA DE INGRESO DE DATOS:**

NOMBRE DEL OPERADOR:

NOMBRE DEL AYUDANTE:

NÚMERO DE SERIE DEL MOTOR:

NÚMERO DE SERIE DE LA TV815:

TIPO DE COMPROBACIÓN:

T4 LIBRO:  °C.

T4 REFERENCIA:  °C.

VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA:  °C.

Beta P2 PC Libro:  Bares.

TEMPERATURA AMBIENTE:  °C.

PRESIÓN ATMOSFÉRICA:  mmHg.

FECHA Y HORA DE INICIO:

DENSIDAD DEL CARBURANTE:  cm<sup>3</sup>/kg.

TEMPERATURA CARBURANTE:  °C.

COMBUSTIBLE INICIAL:  Galones.

FORMATO LLENO,  
PRESIONE PARA CONTINUAR.

**Figura 49. Panel frontal del ingreso de datos**

Este es el panel frontal inicial, en el cual el programa requiere del ingreso por teclado de algunos datos, para poder establecer los parámetros de operación específicos del motor.

Los datos que no se permiten ingresar se calculan automáticamente con los datos que se ingresan previamente por teclado. En el siguiente marco estructural automáticamente se guardan los datos ingresados. Así mismo se encuentra condicionada la opción de habilitar el botón de Formato Lleno, el cual si los datos no están ingresados en su totalidad el botón no se habilita.

En el siguiente marco estructural se configura el proceso de comprobación funcional de ventilación, el cual nos permite observar cómo se enciende el motor de arranque o microturbo, en esta fase el motor no realiza combustión, solo el microturbo realiza combustión, este motor de arranque le permite al motor romper la inercia del eje principal, en la comprobación de la ventilación se recolectan algunos datos como: RPM máxima, tiempo de las RPM máximas, PITD máxima, entre otras, la mejora de este software es que permitirá observar la curva de ventilación, que será la gráfica de las RPM en función del tiempo.

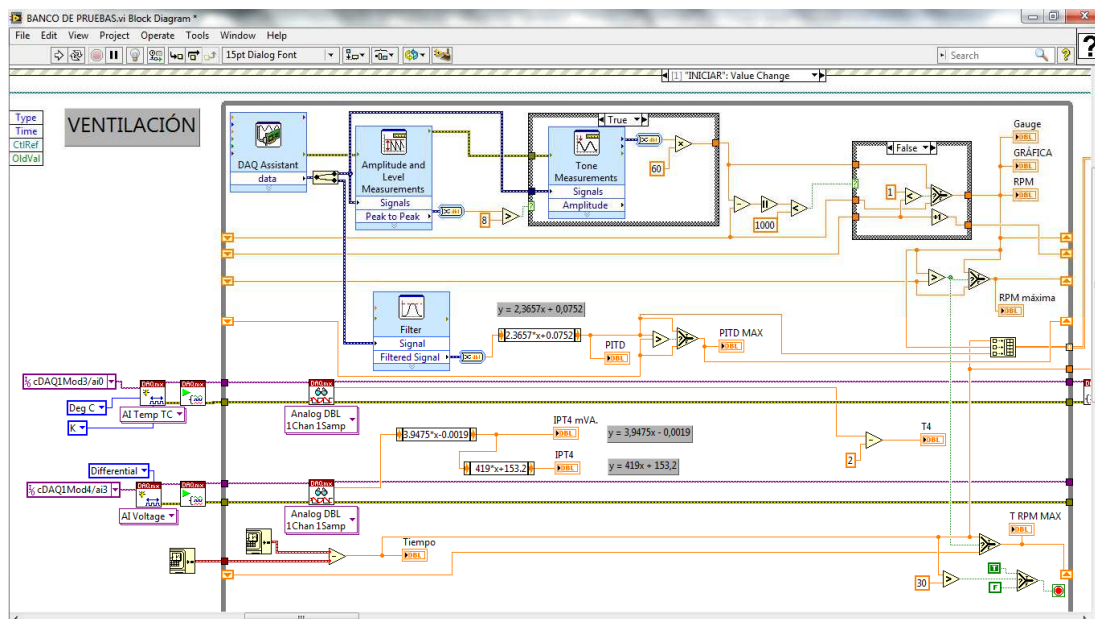


Figura 50. Diagrama de bloques del proceso de ventilación

Para programar el proceso de ventilación, utilizamos un botón que nos permita, dar inicio, y basados en una estructura event case, nos permite seleccionar las acciones que se deben realizar, una vez dado clic en Iniciar, la estructura event case, ejecuta la tarea de ventilación, con la particularidad que durante el tiempo de ejecución de este bucle, si se aplasta cualquier otro botón, no tiene ningún efecto.

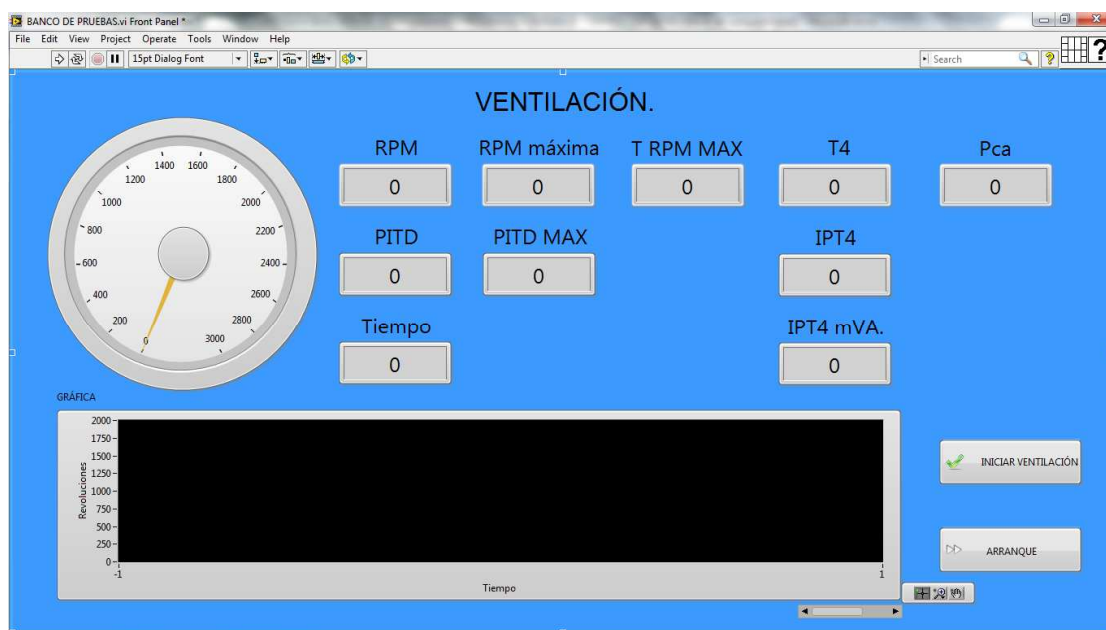


Figura 51. Panel Frontal del proceso de ventilación

El botón Arranque que se encuentra configurado en la estructura event case, nos permite continuar con la siguiente ventana, que corresponde al proceso de arranque del motor, esta acción la utilizamos en todo el programa, por lo que para pasar de hoja de trabajo a otra, configuramos botones de acción.

Se configuraron botones para la interacción entre las ventanas, que se programaron visualmente con el uso del TAB CONTROL, que se encuentra en el panel frontal, en la función controles, sub función contenedores.

El proceso de arranque, es la etapa donde se enciende el motor, aquí funciona inicialmente el motor de arranque para romper la inercia del eje principal y posterior el motor mantiene su autonomía propulsiva, a través de la combustión que presentan los motores turbo fan, en este punto el motor realiza combustión constante en la cámara, dando la chispa inicial las bujías de alta potencia.

Por lo que en esta etapa es sumamente importante el control de la temperatura, ante cualquier incremento de 760 °C. de temperatura el operador debe realizar procedimientos de emergencia del arranque.

En bajas revoluciones entre 600 a 2200 RPM debe abortar el arranque, y dar más potencial sobre las 2200 RPM, es por esto la importancia, del control del proceso de encendido, he aquí donde nuestro software aporta con el control del motor, ya que genera un registro de los parámetros del motor y las acciones realizadas durante el arranque, presentamos el diagrama de bloque del proceso de arranque.

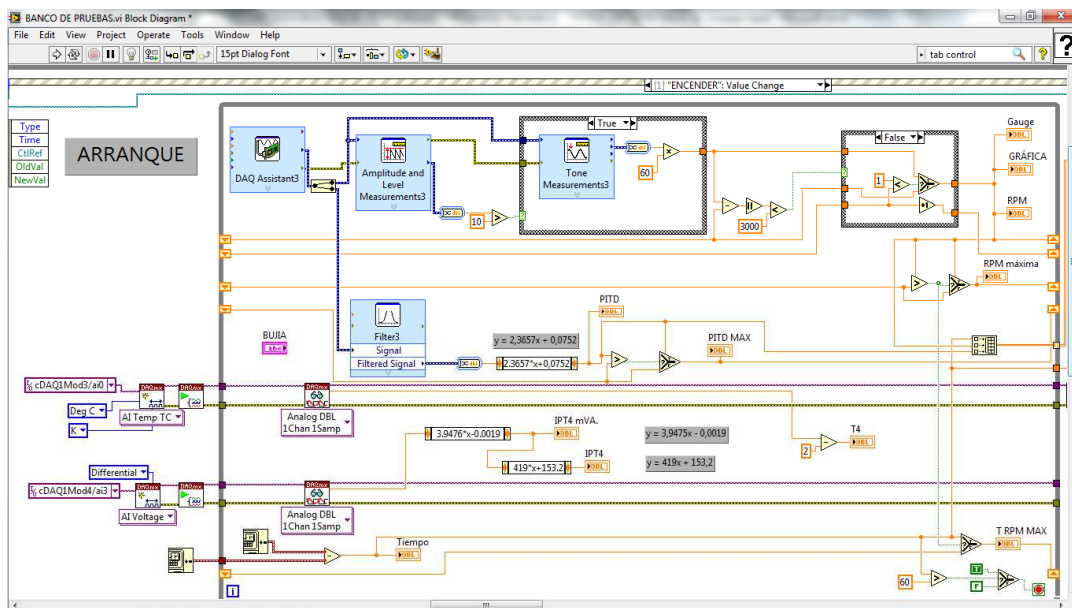


Figura 52. Diagrama de bloques del proceso de arranque del motor

Otra de las mejoras que podemos generar es un reloj contador, que hace las funciones de cronómetro para que el operador pueda observar la ejecución del arranque en función del tiempo, y la gráfica RPM en función del tiempo, la cual inicia a procesar los datos, esto a la par de la acción del botón de encendido del tablero de control, en coordinación con el operador, de lo cual el panel frontal de este proceso queda como se muestra en la siguiente ilustración.



Figura 53. Panel Frontal del proceso de arranque

Una vez finalizado el arranque, tenemos el motor listo para realizar comprobaciones en los diferentes parámetros de operación, generamos la ventana de comprobaciones, la cual tiene tres sub ventanas en la cual nos permitirá chequear los siguientes parámetros:

- a) Régimen.
- b) Temperatura
- c) Presiones.

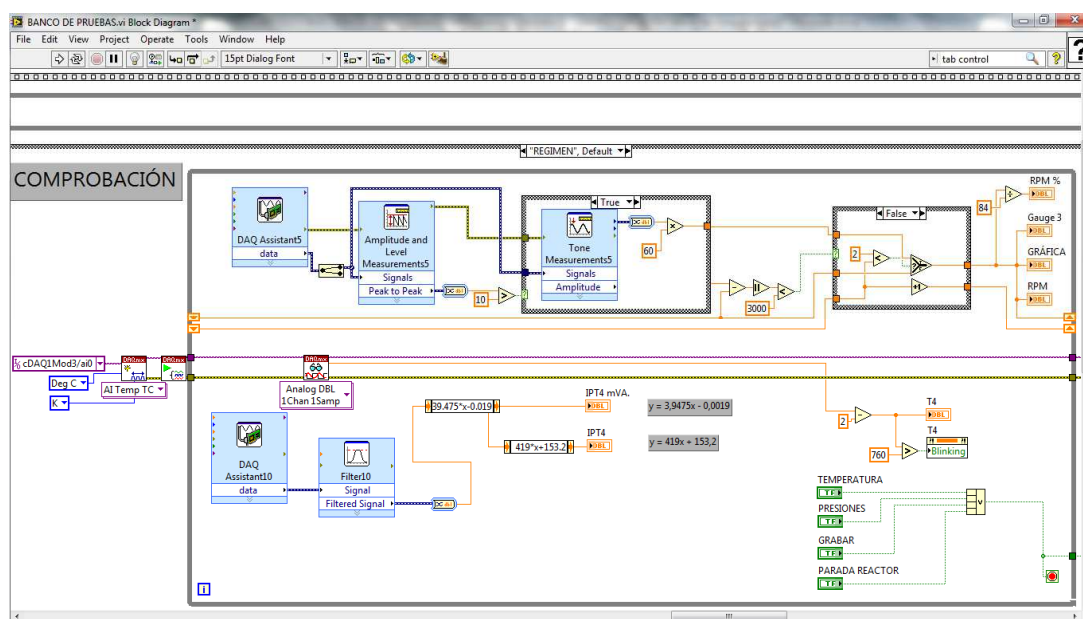


**Figura 54. Panel Frontal de la Comprobación Funcional, sub ventana Régimen**

La comprobación funcional está basada, en un case structure, la cual nos permite navegar entre las ventanas de las diferentes comprobaciones, con el uso en el panel frontal de botones y en el bloque de diagramas con contenedores tab control, lo cual lo hace interactivo con el usuario, ya que le permite al ayudante del operador un seguimiento de la información requerida.

Esta ventana de comprobación funcional Régimen, le permite observar en tiempo real los valores de las Revoluciones por Minuto, Revoluciones por minuto en porcentaje, la temperatura T4 y IPT4, así como su valor en mVa., de la señal IPT4, aquí también otro beneficio del software, ya que en el

banco de pruebas para poder observar el valor de la señal IPT4 en mVa, es necesario apastar un interruptor que desactiva el indicador IPT4 y activa el indicador IPT4 mVa, y nunca es posible observar ambas señales al mismo tiempo, lo que con nuestro software hace posible, esto le permite al operador valerse de este valor de la señal para calibrar el equipo TV815 del motor que es el cerebro electrónico del motor.



**Figura 55. Diagrama de bloques de la comprobación funcional, sub ventana régimen**

La siguiente sub ventana que se pone a consideración, es la ventana de las temperaturas, en la cual podemos observar la temperatura T4 y las temperaturas de los cojinetes 1, 2 y 3.

El motor posee tres cojinetes, en los que se sujeta el eje principal del motor, los cuales tienen dos propósitos, el primero es la rotación y limitación del movimiento del eje, y el segundo que es de lubricación y enfriamiento, cabe indicar que estos cojinetes, son lubricados con aceite, el primer cojinete con aceite de baja presión y el cojinete 2 y 3 con aceite de alta presión.



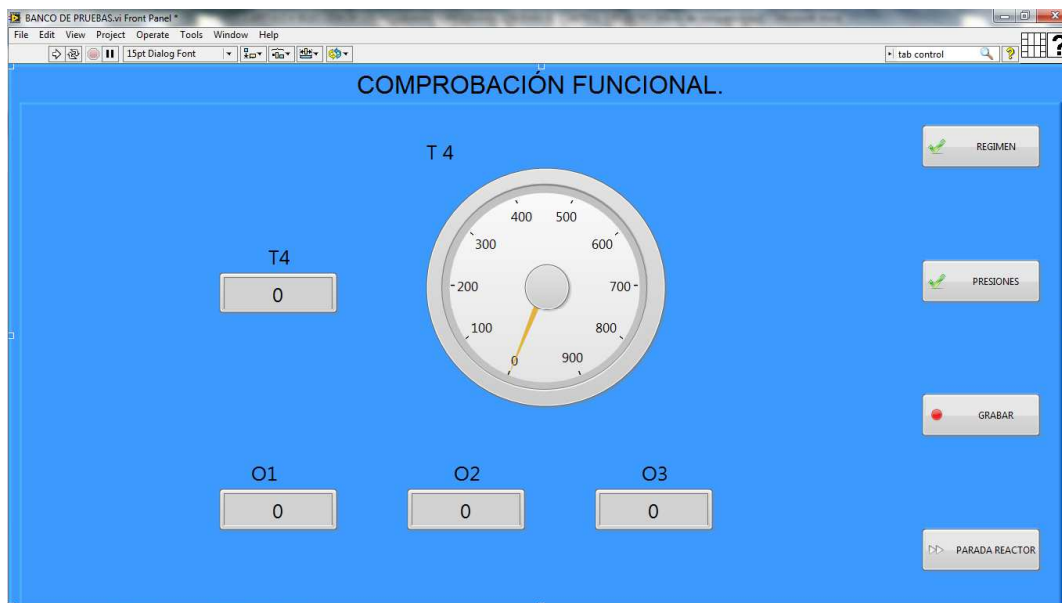


Figura 56. Panel Frontal de la comprobación funcional, sub ventana temperatura

La siguiente ilustración presenta la programación de la sub ventana de temperatura.

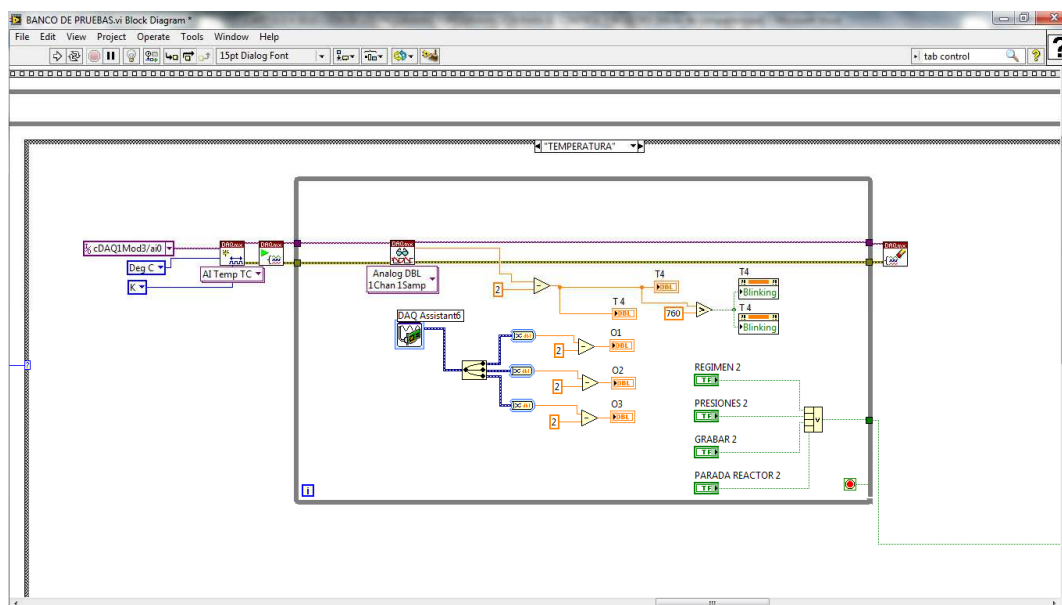


Figura 57. Diagrama de bloques de la comprobación funcional, sub ventana temperatura

Y la última comprobación funcional es la comprobación de presiones, cabe mencionar que el operador durante la ejecución puede seleccionar



cualquiera de estas comprobaciones funcionales, con el uso de los botones de acciones.

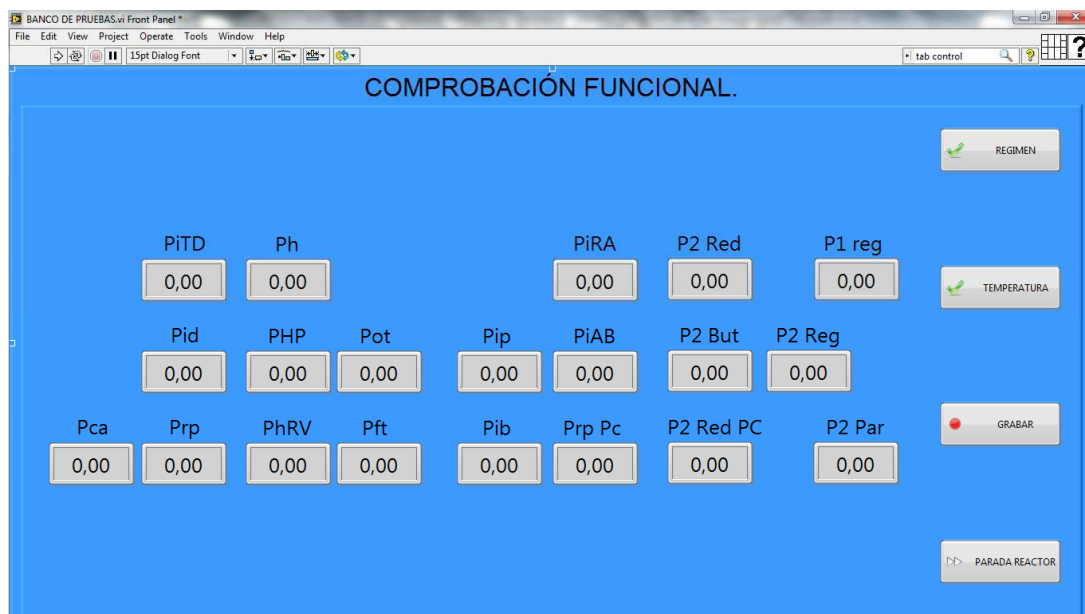


Figura 58. Panel Frontal de la comprobación funcional, sub ventana presiones

Y su correspondiente programación en el siguiente diagrama de bloques.

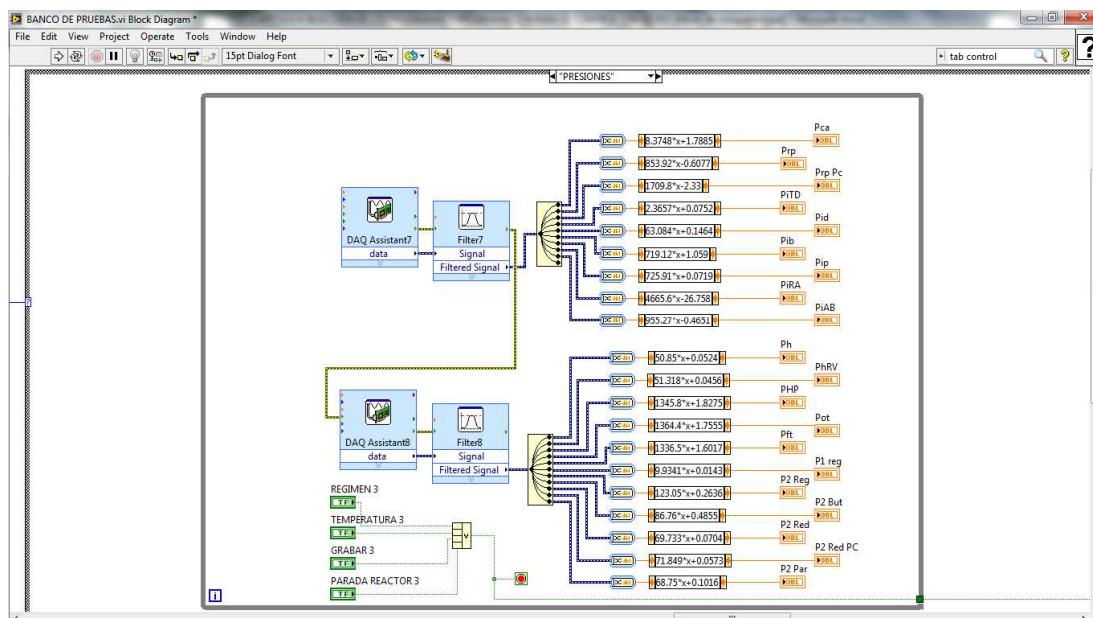
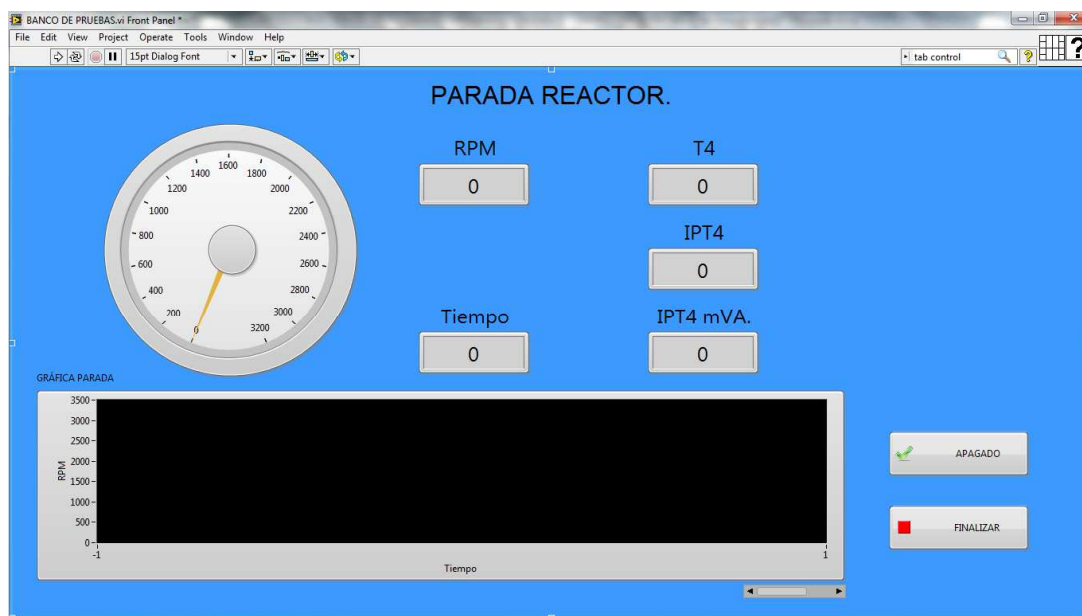


Figura 59. Diagrama de bloque de la comprobación funcional, sub ventana presiones

Y finalmente tenemos el proceso de parada del motor, esto se realiza cuando hemos después de todas las comprobaciones funcionales, este proceso de parada del motor es similar al proceso de arranque, aunque requiere menos valores que considerar.



**Figura 60. Panel frontal de la parada del motor**

Este panel nos permite observar como el motor se apaga, los beneficios del software implementado, será el registro de los datos de parada, y la generación del gráfico que permitirá observar el proceso antes descrito de forma visual.

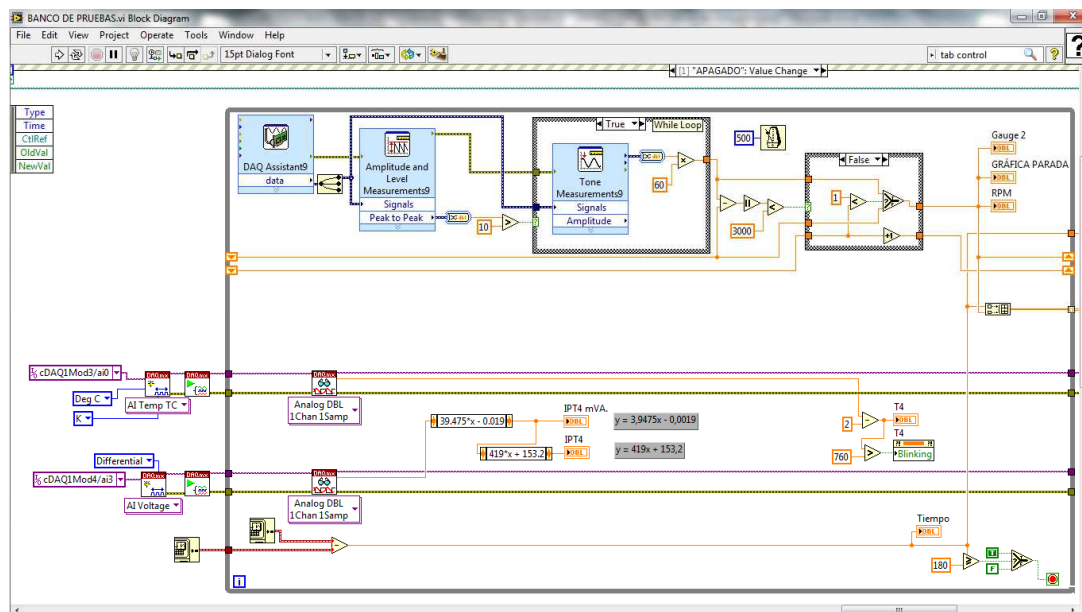


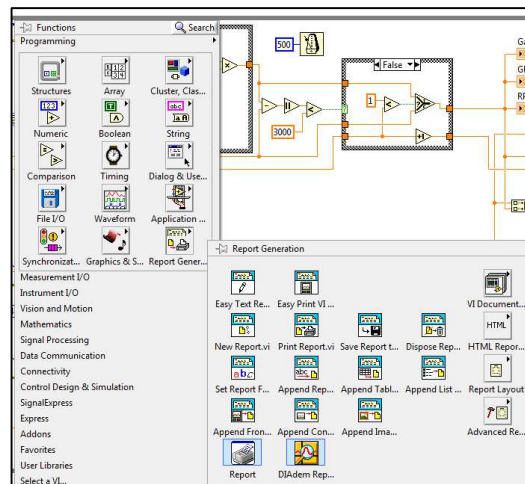
Figura 61. Diagrama de bloque del proceso de parada del motor

Con esto hemos explicado la programación y estructura que se desarrolló para cumplir con los requerimientos de operación y comprobación del motor en el banco de pruebas.

### 4.3. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE REGISTRO DE DATOS.

LabView presenta algunas opciones para registrar los datos, las cuales se particularizan dependiendo de la necesidad de uso, explicaremos las herramientas que podemos utilizar.

El Report Generation, es la herramienta que permite generar reportes, con un código sencillo, pero para poder grabar en formato .doc o .xls, debemos adquirir la herramienta Report Generation Tool Kit, a la National Instruments, aunque las herramientas básicas vienen incluidas en la Aplicación Labview 12, (NATIONAL INSTRUMENTS, 2014).



**Figura 62. Report Generation Tool**

Y existe la herramienta spreadsheet, dentro de la función de File I/O, la cual nos permite guardar los datos en archivos de algunos tipos, entre ellos Word y Excel.

Por lo que todas las grabaciones de datos las realizaremos con la herramienta spreadsheet.vi, la cual nos permite almacenar los datos de forma ordenada y secuencial, es importante definir el nombre del archivo a generar.

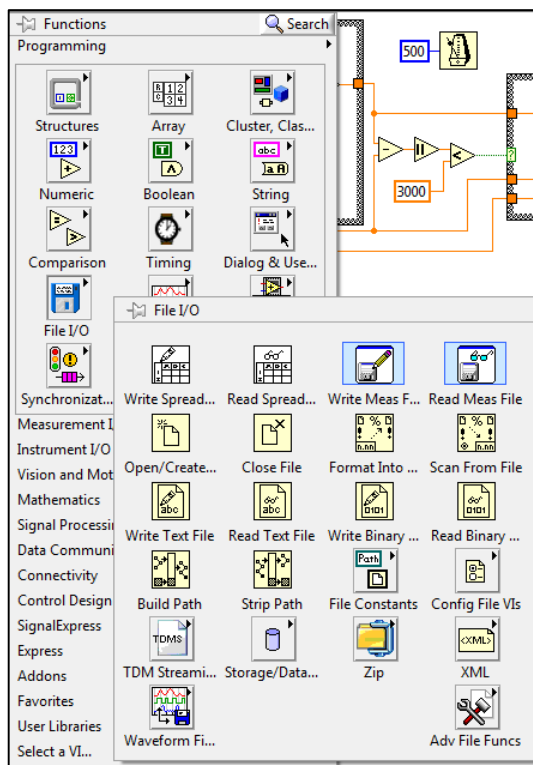


Figura 63. Herramienta spreadsheet

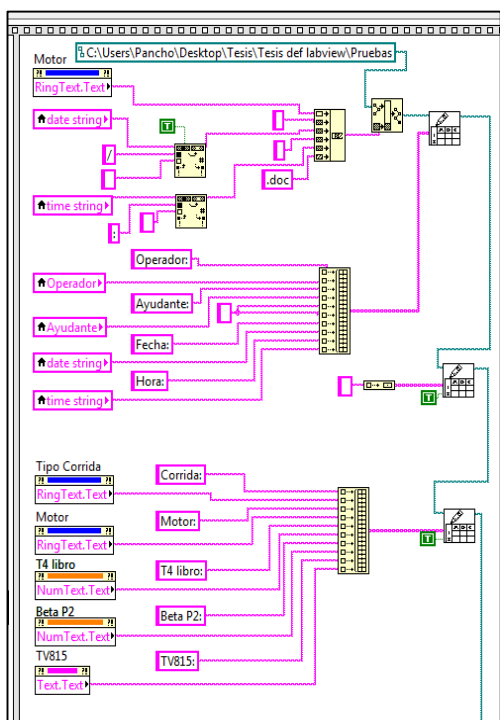


Figura 64. Generación de archivo y almacenamiento de datos iniciales

Se tomó en consideración que el archivo posea el nombre del motor a comprobar, la fecha de la comprobación y la hora, con la herramienta build path, realizamos la programación.

Se proceden a guardar automáticamente los datos iniciales de la comprobación, y los parámetros quedan registrados para que el operador posteriormente pueda revisarlos, ya hay algunos datos que se calculan automáticamente.

Utilizando este método generamos los archivos de texto donde se almacenan los datos de la comprobación funcional completa.

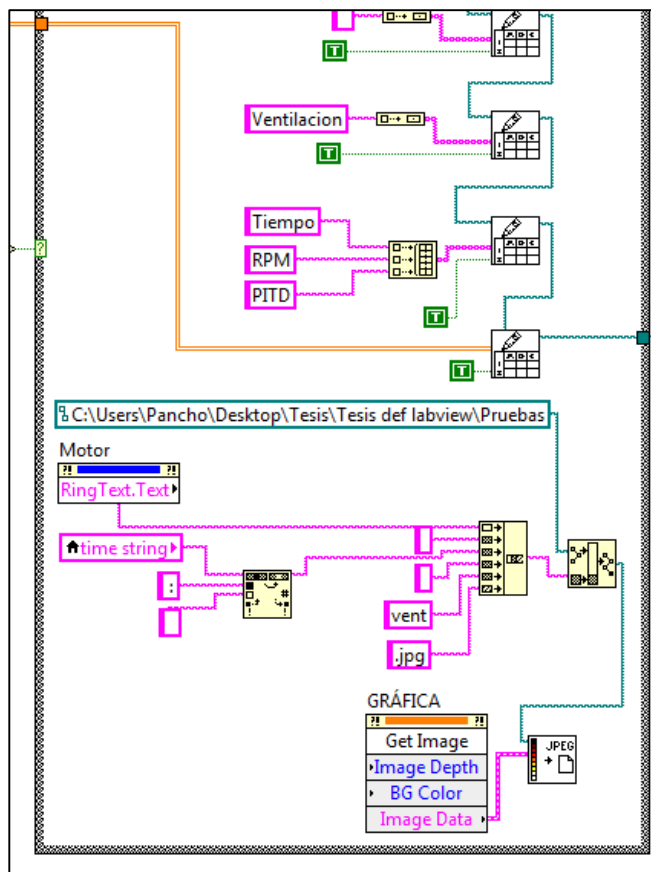


Figura 65. Programación para guardar las imágenes de los gráficos

Y tenemos el siguiente código que utilizamos para almacenar la imagen de las diferentes gráficas que obtenemos durante la comprobación funcional, la cual se base en un herramienta que nos facilita Labview, que es un invoke node, el cual nos permite obtener las gráficas en formato jpg, que se pueden abrir posterior a las comprobaciones funcionales.

Es importante mencionar que el operador no necesita la ejecución de ningún comando para que estas gráficas se almacenen ya que se guardan automáticamente.

#### 4.4. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE ALERTAS Y CONTROL DE VALORES REFERENCIALES.

En conocimiento de la operación estableceremos los valores referenciales de operación del banco de pruebas con LabView, para generar las respectivas alertas.

Existen solo dos parámetros que podrían detener una comprobación funcional, la primera es la temperatura del motor (T4), si la temperatura del motor excede los 760°C por menos de 3 segundos y hasta 900°C se puede continuar con precaución la comprobación, pero si excede esos parámetros se debe realizar un procedimiento de emergencia y parar el motor.

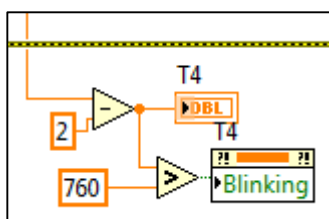


Figura 66. Alerta sobre temperatura en T4

La primera alerta se la programa con el property node, blinking, que nos alerta si es que se sale de los parámetros establecidos, si es el caso, el indicador se pondrá de un color rojo de fondo y titilará.

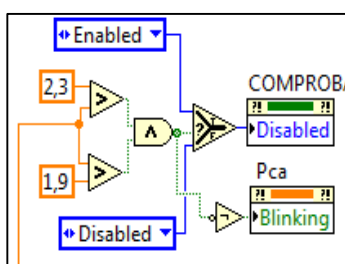


Figura 67. Alarma sobre la presión del carburante (Pca)

Y el segundo es que si no existe la presión de combustible (Pca), entre 1.9 y 2.3 bares, no se puede arrancar el motor, se pueden realizar ventilaciones, pero no arrancar el motor. La cual también se programa sobre la propiedad de habilitado o no del botón de continuación.

#### 4.5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y COMPROBACIÓN DEL SOFTWARE.

Para el desarrollo del software y sus pruebas de funcionamiento, fue necesario generar más de 50 VIs, los cuales se comprobaban individualmente para analizar proceso a proceso la ejecución de los mismo, para las pruebas de funcionamiento, estos VIs sirvieron para poder analizar, procesar y comprender a profundidad el funcionamiento de la programación gráfica de Labview en su aplicación física real, la cual es completamente diferente a la simulación virtual, el problema más grave, fue que para la adquisición de datos en tiempo real, fue necesario realizar pruebas de funcionamiento con el motor encendido, por lo cual indicamos que el software pasó por 12 pruebas operativas y finalmente en 3 pruebas de comprobación se logró obtener al software final.

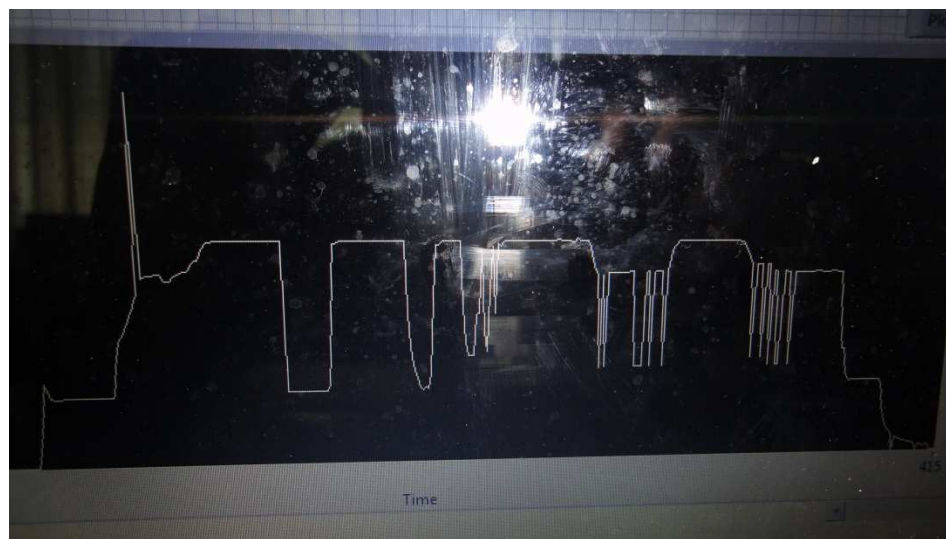


Figura 68. Comprobación inicial de la grabación del régimen del motor

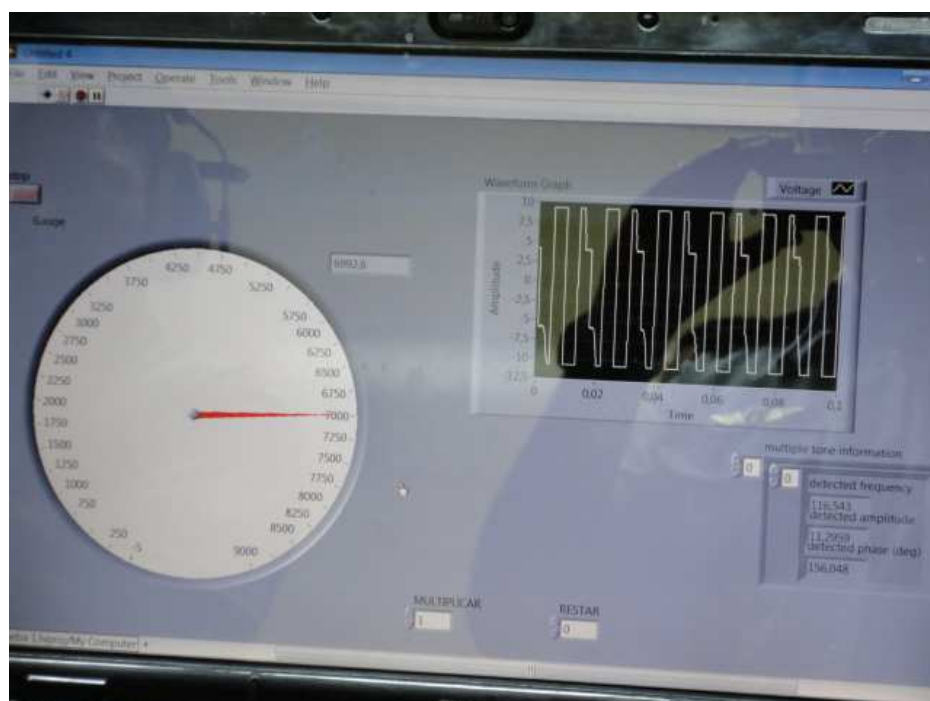
En esta prueba pudimos observar que la señal de régimen del motor presentaba picos, en este caso puntual pudimos observar que se presentaron 3 picos fuera de parámetros, los cuales los solucionamos con un filtro pasa bajo que ya fue explicado anteriormente.





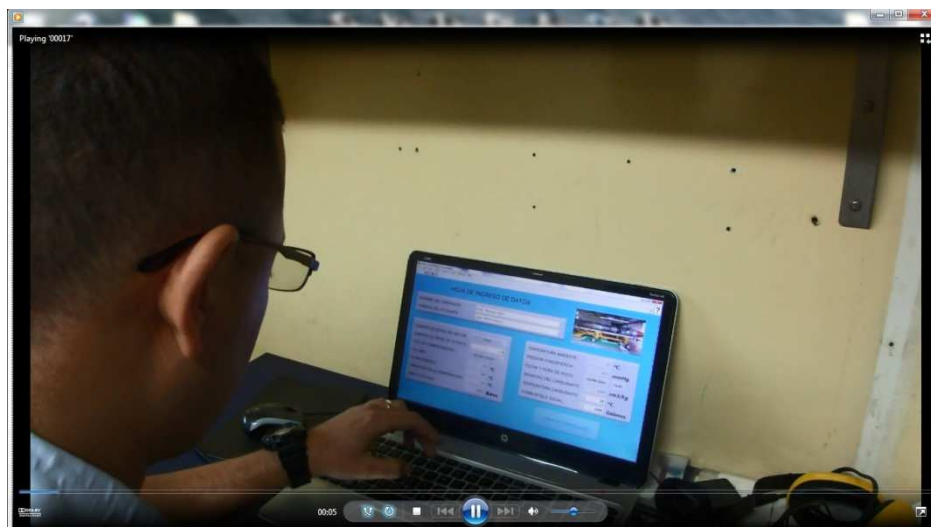
**Figura 69. Equipo para inducir voltaje para comprobar el funcionamiento característico**

Se realizaron pruebas de inducción de voltaje para verificar que el cableado se haya realizado bien y no existan pérdidas en las líneas, sin encontrar problemas.



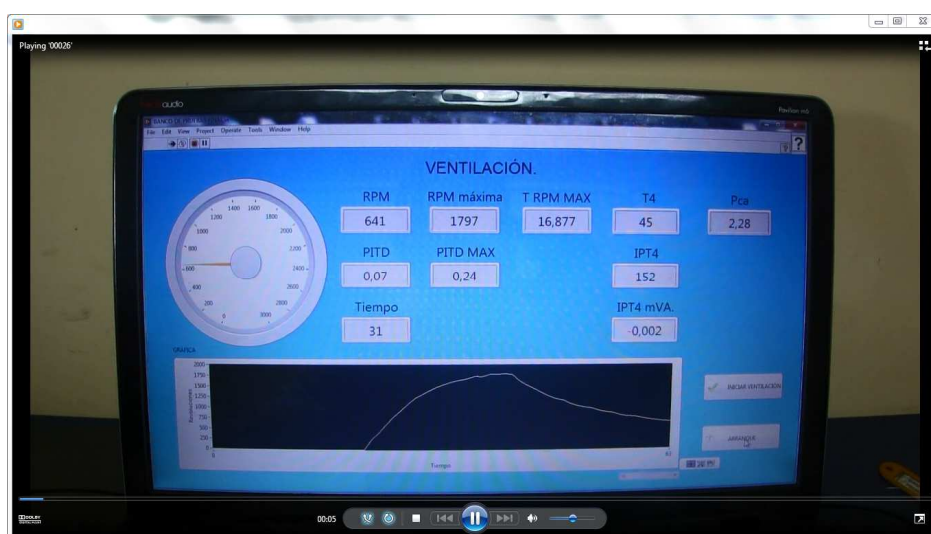
**Figura 70. Prueba de VIs para la señal de régimen del motor**

Al respecto de la señal de régimen del motor se realizaron 5 VIs diferentes para obtener la mejor señal posible.



**Figura 71. Imagen de los videos de las pruebas realizadas**

En la ilustración anterior se puede observar el proceso de ingreso de datos, que permite obtener el conocimiento de los parámetros de comprobación.



**Figura 72. Imagen del video de la ventilación**

En esta ilustración se observa el panel frontal del proceso de ventilación.

Finalizado el desarrollo del software con un sin número de correcciones, la comprobación final se realizó el 19 y 20 de Septiembre del 2014, el software fue comprobado funcionalmente en el motor 23013 Atar 09K50,

comprobación que cumplió con las expectativas generadas, según los usuarios.

## CAPITULO 5

### IMPLEMENTACIÓN

#### 5.1. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DAQ.

En la instalación del sistema DAQ, tuvimos algunos inconvenientes, inicialmente en la conexión de las barras de datos hasta los módulos, debida a que existía una variación de voltaje entre las tierras de las barras, por lo que se decidió conectar en forma diferencial, procedimiento que se explicó en el capítulo anterior.



**Figura 73. Tablero de barras de datos del banco de pruebas**

Después de definir la configuración de las conexiones, se procedió a identificar cada uno de los terminales a las barras de datos, con el uso de un multímetro, con pleno conocimiento de la ubicación de los terminales en cada una de las barras de datos, procedimos al cableado para lo cual utilizamos cable de aviación número 10 recubierto y trenzado, este tipo de cable es común en aviación ya que su revestimiento aísla el ruido, y por su diámetro permite llevar una gran cantidad de hilos sin que se abulte el arnés.

Se utilizó 100 metros de cable número 10, el cual existía en las bodegas de la Unidad militar, con esto se aplicó el principio de economía, que en la práctica es de vital importancia, ya que como ingeniero uno debe resolver problemas optimizando los medios que dispone a su alcance.



**Figura 74. Módulo 9205 con los dos tipos de conector**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

Por lo que se tuvo que adquirir el conector de 37 pines con su caja de protección, este tipo de conector nos forzó a tener que soldar los conectores, cabe indicar que este trabajo lo realizamos, después de etiquetar, una a una las terminales del cableado, para no cometer errores.



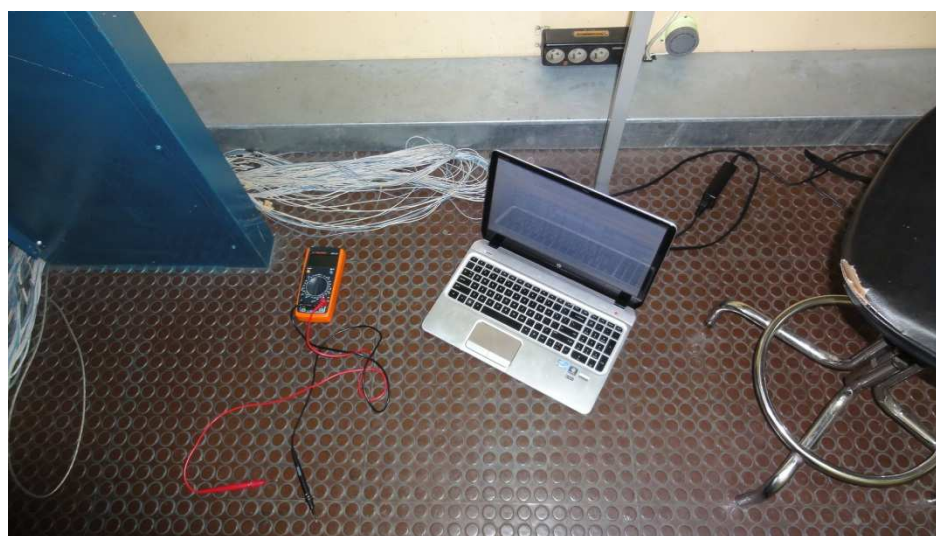
**Figura 75. Conector de 37 pines, con protección**

FUENTE: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

La instalación de la caja de protección de los conectores, se puso al finalizar la instalación del cableado, es en este punto donde uno comprende



la diferencia entre la teoría y la práctica, ya que había realizado esta labor en los laboratorios de automatización y control de PLCs, pero realizar una conexión de este tipo con un mallado de más de 50 cables, requiere de un trabajo minucioso, de igual manera una vez finalizada la conexión, realizamos la comprobación con el multímetro punto a punto, como se puede observar en la siguiente ilustración.



**Figura 76. Comprobación punto a punto con multímetro**

Realizada la comprobación final de continuidad entre las líneas procedimos a realizar, el arnés apropiado, para lo cual utilizamos 100 amarres transparentes para trenzar y según recomendación ponemos cada 10 centímetros un amarre, de igual forma en los extremos utilizamos, termo fundente para cubrir los extremos del cableado, lo que mejora la presentación y la calidad del trabajo; y finalmente instalamos las cajas protectoras de los conectores, según se muestra en la siguiente ilustración.



Figura 77. Acabado del cableado que va a los cuatro módulos

## 5.2. INSTALACIÓN DEL PROGRAMA.

En el proyecto inicial se iba a comprar una computadora para el banco de pruebas, pero por restricciones económicas de la Institución no se pudo realizar mencionada adquisición, para viabilizar el proyecto, el software Labview y los VIs fueron desarrollados en una laptop personal, y no se compiló el archivo ejecutable (.exe).

Esta presentado el requerimiento y se encuentra a la espera de una asignación presupuestaria, para la compra de una computadora desktop, con las características necesarias para soportar la operación del software de adquisición y registro.

## 5.3. INTEGRACIÓN DE LOS COMPONENTES.

Se realiza la instalación de todos los componentes esto es en el banco de pruebas, colocamos el chasis, su cable de alimentación, su cable de conexión USB al computador, colocamos los 4 conectores a su módulo respectivo, energizamos y verificamos que la luz de encendido del chasis

este prendida y nos encontramos listos para iniciar la comprobación funcional, por parte del sistema de adquisición de datos.

#### **5.4. PROTOCOLO DE PRUEBAS.**

El protocolo de pruebas, es la lista de chequeos a realizar, previo a la comprobación funcional, para la operación adecuada del sistema de adquisición de datos. Por lo que indicaremos los procedimientos para poder realizar las pruebas.

- Fuera del banco de prueba:
- Alimentar la generación de 220 y 380 voltios 50 Hz, en el cuarto auxiliar.

Parte posterior, cuarto de alimentación:

- Encender la alimentación eléctrica en el tablero principal.
- Encender la generación de 28 voltios DC.

Dentro del tablero:

- Alimentar el tablero y sus sistemas con 380, 220 voltios 50 Hz.
- Alimentar el banco de pruebas con 110 voltios AC.
- Energizar el tablero de control.

Sistema de Adquisición de Datos:

- Energizar el chasis, conectándolo al sistema de 110V.
- Conectar los cuatro módulos a sus respectivas líneas.
- Conectar el puerto USB al computador.
- Verificar que este encendida la luz del chasis, "ready".

Coordinaciones de seguridad operacional:

- Llamar al personal de rescate.
- Verificar que el extintor se encuentre en buenas condiciones.



Una vez realizada todas estas verificaciones, estamos listos para realizar el procedimiento de comprobación funcional al motor.

## **5.5. PRUEBAS TÉCNICAS.**

Dentro de las pruebas técnicas, el sistema de adquisición de datos permite realizar las siguientes pruebas técnicas al motor en sus fases de comprobación.

En el proceso de ingresos de datos:

Permite al operador, obtener todos los datos técnicos característicos del motor, sin tener que recurrir a las cartillas de trabajo, ya que el software le entrega los valores característicos automáticamente calculados con el ingreso de los datos.

En el proceso de ventilación:

Este proyecto permite realizar la prueba de desempeño del motor en una ventilación, obtener su gráfica de desempeño y sus valores.

En el proceso de arranque:

Este proyecto permite realizar la prueba de desempeño del motor en un arranque, obtener su gráfica y sus valores.

En el proceso de comprobación:

Este proyecto permite realizar pruebas de las comprobaciones de los parámetros de revoluciones, temperatura y presiones del motor.

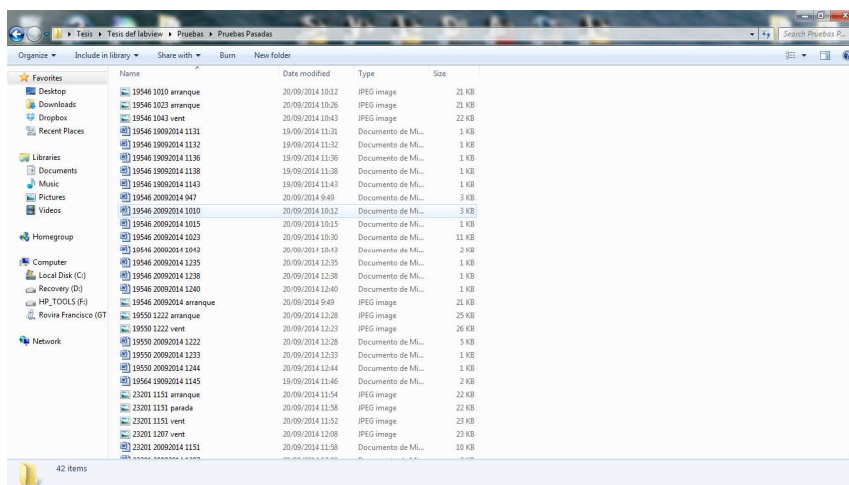
En el proceso de parada del motor:

Este proyecto permite realizar, el desempeño del motor en el apagado, obtener la gráfica y sus valores.

Este proyecto permite también realizar las pruebas de grabación de datos lo que genera una base de datos de operación.

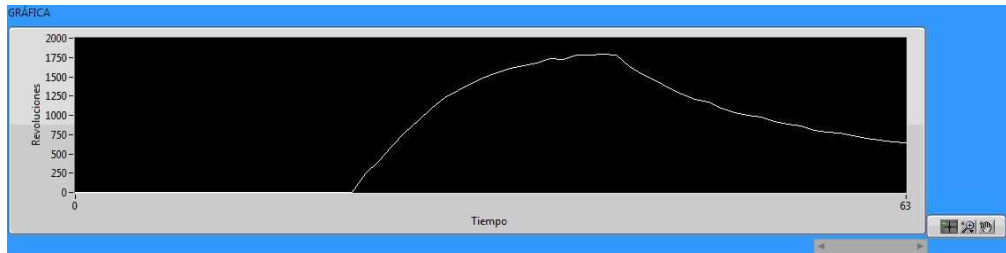
## 5.6. COMPROBACIÓN DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN.

El presente proyecto no solo permite la comprobación de los parámetros de operación, durante la ejecución de la comprobación funcional, sino que permite realizar el levantamiento de información de los valores característicos y de operación de cada uno de los motores, ya que genera una base de datos de cada comprobación funcional, la cual el operador la puede llevar a su oficina o domicilio y analizarla, ya que la información se guarda en un archivo de tipo documento (.doc), el cual se puede abrir y analizar desde cualquier computadora que posea Microsoft Office, lo cual se convierte en una ventaja, el operador puede incluso enviar por mail esta información, debido a que el proyecto entrega la información en forma digital.



**Figura 78. Carpeta que contiene los archivos de las pruebas y comprobaciones realizadas al proyecto**

El proyecto también guarda los gráficos de las comprobaciones automáticamente.



**Figura 79.** Gráfica característica de una ventilación, realizada en pruebas técnicas

## CAPITULO 6

### ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

#### 6.1. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS VARIABLES TÉCNICAS.

El presente análisis económico esta direccionado para verificar si el presente proyecto es económicamente rentable, para lo cual analizaremos las diferentes variables técnicas.

El proyecto será implementado en la Fuerza Aérea Ecuatoriana, institución del Estado, que si bien es cierto no posee fines de lucro, está empeñada en el constante desarrollo tecnológico y la optimización de los limitados recursos económicos y humanos que posee.

La implementación del proyecto en los procesos de mantenimiento tiene un costo directo, pero su implementación repercutirá, logrando que este costo sea recuperado en el tiempo, por la disminución de los gastos de operación del banco de pruebas, es así como este análisis verificará si el proyecto, es rentable, y determinará el tiempo necesario para el retorno de la inversión.

Las variables técnicas relevantes para este estudio son: el tiempo de la comprobación funcional del motor, el consumo de combustible y la mano de obra de los operarios del banco, parámetros que tomaremos como referenciales económicos.

El tiempo de comprobación funcional, es el tiempo que demora la comprobación funcional del motor en el banco de pruebas, actualmente sin la implementación del proyecto, la comprobación requiere aproximadamente entre 80 a 60 minutos dependiendo del mantenimiento necesario, tiempo

que será reducido considerablemente, según se estima entre 60 a 40 minutos, se podría cuantificar como solo 20 minutos de operación, pero es aquí donde entra en consideración la segunda variable técnica el consumo de combustible.

El consumo de combustible, en un motor Atar 09K50, es considerablemente alto, como ya indicamos es un motor turbo reactor, provisto con un sistema de post-combustión, el cual en una corrida promedio consume de 1500 a 2000 galones de Jet A-1 (kero cene de aviación).

Para la comprobación funcional, se requiere de un mínimo de tres operarios, el que manipula y dirige la comprobación desde el tablero de control, que manipula a través del mando de potencia los regímenes del motor, que generalmente es el más experimentado, otro operario que realiza las anotaciones y registros de la comprobación y otro que ejecuta cualquier regulación necesaria en el motor durante la comprobación.

## **6.2. COSTOS RELEVANTES.**

Los costos son un punto de medición fundamental para los análisis económicos, partiremos del análisis de cada uno de los costos.

### **6.2.1. COSTOS DIRECTOS.**

Es el costo que implica directamente la implementación del sistema de adquisición de datos y registro de las corridas en el banco de pruebas y consideraremos los siguientes:

#### **6.2.1.1. Costos de los materiales.**

Estos costos es el valor que se necesita gastar en los materiales necesarios para la implementación del sistema de adquisición de datos.

Tabla 7.

## Costos de los materiales

COSTOS DE LOS MATERIALES			
Material	Cantidad	Costo Unitario	TOTAL
<b>cDAQ-9174 chasis</b>	1 u	935,55	935,55
<b>NI 9205 32 Ch</b>	2 u	965,93	1931,85
<b>NI 9211 4 Ch</b>	2 u	455,63	911,25
<b>Conectores 37 pin</b>	2 u	73,24	146,48
<b>Cable número 10</b>	100 m	1,25	125,00
		<b>TOTAL</b>	<b>4.050,13</b>

FUENTE: (FACTURA DE VENTA DE DATALIGHT, 2014)

#### 6.2.1.2. Costos uso del banco – herramientas, operador y ayudante.

Estos son los costos de operación del banco de pruebas, y del personal técnico que colaboró para las corridas.

Hemos realizado 12 pruebas operativas y 3 comprobaciones, dando aproximadamente un uso de  $(12 * 0.5 + 3 * 1) = 9$  horas en el banco de pruebas.

Tabla 8.

## Costos del uso del banco

COSTOS DEL USO DEL BANCO DE PRUEBAS			
Material	Cantidad	Costo Unitario	TOTAL
<b>Galones de Kerosene</b>	9*1500 Galones	0.78	10.530,00
<b>Operador</b>	9 horas	4.00	36,00
<b>Ayudante</b>	18 horas	4.00	72,00
		<b>TOTAL</b>	<b>10.638,00</b>

## 6.2.2. COSTOS INDIRECTOS.

Los costos indirectos son los que no forman parte del proyecto pero se los requiere para el soporte logístico del mismo.

Tabla 9.

### Costos Indirectos

COSTOS INDIRECTOS	
Material	TOTAL
Útiles de oficina.	40,00
Impresiones y copias.	120,00
Libros, seminarios, otros.	40,00
Luz	5,00
Agua	5,00
Teléfono	50,00
Internet	10,00
Movilización	150,00
Alimentación	200,00
Imprevistos	200,00
TOTAL	820,00

Tabla 10.

### Costo Total del Proyecto

COSTO TOTAL DEL PROYECTO	
Costos de los Materiales	4.050,13
Costos del Uso del Banco de pruebas	10.638,00
Costos Indirectos	820,00
TOTAL	15.508,13

### **6.2.3. REDUCCIÓN DE COSTOS EN EL PROCESO DE OPERACIÓN.**

Este es el valor que la Fuerza Aérea Ecuatoriana se va ahorrar en el costo de operación del banco de pruebas, por la implementación de este sistema de adquisición de datos, como la FAE no es una empresa con fines de lucro, este valor sería cuanto se ahorraría el Estado en los procesos de mantenimiento.

Este valor lo podríamos calcular, como si fueran requeridas 3 comprobaciones semanales, serían un total de 6 comprobaciones al mes, con un ahorro de 20 minutos por comprobación, entonces  $6 * (1500 * 20 / 60) * 0.78 = 2.340,00$ .

### **6.3. Análisis B/C, TIR, VAN.**

El análisis de beneficio costo es una técnica importante utilizada para tomar decisiones. Este análisis determinar si un proyecto es rentable económicamente mediante una proyección económica a futuro de todos los costos y beneficios derivados a su aplicación, sean directos e indirectos de dicho proyecto.

Este análisis se aplica a proyectos de obras sociales, proyectos colectivos o individuales, empresas estatales, planes de negocios, etc., considerando las consecuencias proyectadas del ámbito económico.

TIR (tasa interna de retorno)

La tasa interna de retorno de una inversión está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. Estos Valores VAN o VPN son calculados a partir del flujo de caja anual, trayendo todas las cantidades futuras, flujos negativos y positivos, al presente.



La Tasa Interna de Retorno es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, que se lee a mayor TIR, mayor rentabilidad. Por esta razón, se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión.

Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, que será el coste de oportunidad de la inversión. Si la tasa de rendimiento del proyecto supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza.

La tasa interna de retorno, TIR o IRR en inglés (Internal Rate of Return), es una herramienta o medida usada como indicador al cuantificar la eficiencia de una inversión determinada. Al contrario del VAN (valor actual neto), que entrega como resultado una magnitud, el TIR entrega un porcentaje, por lo que muchos analistas lo prefieren, aunque es más preciso como indicador el VAN.

En otras palabras, el TIR es la tasa compuesta de retorno anual que se puede ganar de una inversión. Por lo mismo, matemáticamente el TIR se calcula partiendo de la ecuación del VAN, haciendo este igual a cero y calculando "i" para este valor.

Se considera que si el TIR es mayor que el costo del capital para un proyecto, este último entrega valor a la compañía. Desde otro punto de vista, un proyecto es bueno siempre y cuando su TIR sea mayor al retorno a la inversión que se pueda obtener en inversiones alternativas, como por ejemplo depósitos a plazo.

Tabla 11.

Cálculo del TIR y VAN

<b>COSTO DE LOS MATERIALES</b>	15/09/2014	-4.050,13	-4.050,13
<b>COSTO USO DEL BANCO DE PRUEBAS</b>	15/09/2014	-10.638,00	-14.688,13
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	15/09/2014	-820,00	-15.508,13
<b>1</b>	15/10/2014	2.340,00	-13.168,13
<b>2</b>	15/10/2014	2.340,00	-10.828,13
<b>3</b>	15/10/2014	2.340,00	-8.488,13
<b>4</b>	15/10/2014	2.340,00	-6.148,13
<b>5</b>	15/10/2014	2.340,00	-3.808,13
<b>6</b>	15/10/2014	2.340,00	-1.468,13
<b>7</b>	15/10/2014	2.340,00	871,87
<b>8</b>	15/10/2014	2.340,00	3.211,87
<b>9</b>	15/10/2014	2.340,00	5.551,87
<b>10</b>	15/10/2014	2.340,00	7.891,87
<b>11</b>	15/10/2014	2.340,00	10.231,87
<b>12</b>	15/10/2014	2.340,00	12.571,87
		TIR	-0,01
		VAN	435,91

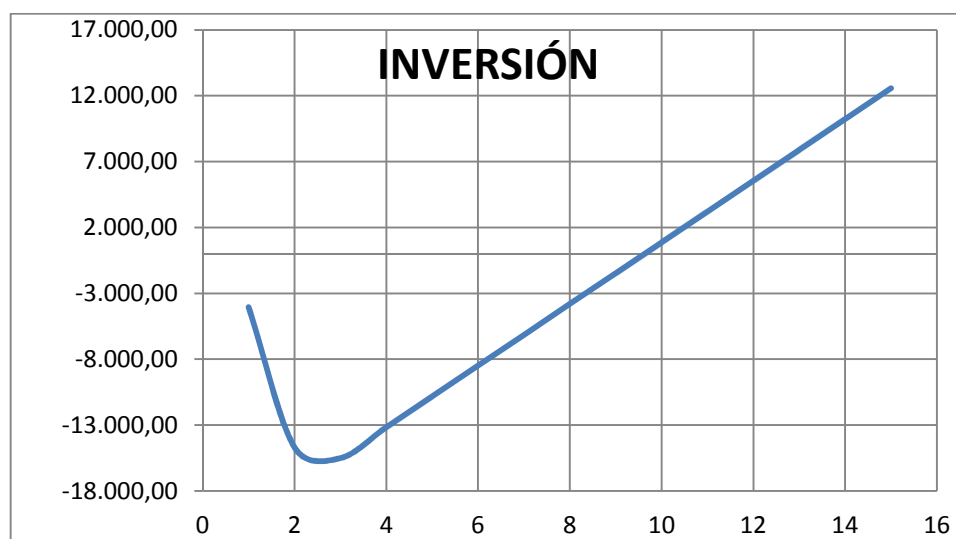


Figura 80. Flujo del retorno de inversión

## **6.4. Análisis Financiero.**

Después de realizar el análisis financiero, con la ayuda de los indicadores, podemos observar que se requiere apenas de 7 meses para recuperar la inversión, por lo que el proyecto tiene viabilidad financiera.

### **6.4.1. FLUJO DE FONDOS PROYECTADOS.**

Como el proyecto fue calificado, de interés para la Fuerza Aérea Ecuatoriana, la misma asignó los fondos necesarios para la ejecución del presente proyecto, canceló el valor de 4.050,13 dólares de los equipos para la adquisición de los datos y asumió el valor de la operación del banco de pruebas por 10.638,00 dólares que se utilizó para las comprobaciones.

El valor de 4.050,13 dólares correspondiente a los equipos para la adquisición de datos, necesarios para el presente proyecto fue asignado en el año 2013, y el valor de 10.680,00 dólares fue asignado para los años 2013 y 2014.

Por otra parte el valor de 820 dólares de los costos indirectos fueron asumido por el alumno egresado, el cual los financio según se presentó el requerimiento.

## **6.5. Financiamiento.**

La Fuerza Aérea Ecuatoriana, financió un valor de 14.688,13 dólares, debido al interés que genera este proyecto el cual es de beneficio para esta Institución.

El alumno egresado, financió un valor de 820,00 dólares, que corresponde al valor de los costos indirectos del proyecto.

Tabla 12.

## Financiamiento del proyecto

<b>Financiamiento</b>	<b>Valor</b>	<b>Porcentaje</b>
Fuerza Aérea Ecuatoriana	<b>14.688,13</b>	<b>94,71 %</b>
Alumno egresado	<b>820,00</b>	<b>5,29 %</b>

## CAPITULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. CONCLUSIONES.

- Se seleccionó y compró un sistema de adquisición de datos que le permite a un computador recibir las señales de los diferentes instrumentos de medición que hay en el banco de pruebas.
- Se elaboró un software que permite realizar el control de los datos de la comprobación funcional del motor ATAR 09K50 versión C11.
- Se generó un software que almacene los datos y permita registrar la comprobación funcional y esto le permite ser utilizada como un historial del proceso de mantenimiento de los motores.
- Se sirvió a la Fuerza Aérea Ecuatoriana con los conocimientos adquiridos en la E.S.P.E para la mejora tecnológica de la Institución.
- Se logró reducir el tiempo de las comprobaciones funcionales del motor, lo que implica manejar mejor nuestros escasos recursos.
- El sistema de adquisición de datos, genera mayor confortabilidad en los procesos de trabajo del personal.
- Se diseñó e implementó un sistema de adquisición de datos y registro, de las comprobaciones funcionales del motor ATAR 09K50 versión C11, en el banco de pruebas del Escuadrón de Mantenimiento N°2122.

## **7.2. RECOMENDACIONES.**

- Se lleve el control y seguimiento de los reportes que genera, el banco de pruebas para establecer el historial de funcionamiento de los motores.
- Se planifique el mantenimiento y calibración del sistema de adquisición de datos instalados, de forma anual.
- Se continúe apoyando aplicaciones de desarrollo con esta tecnología ya que mejoran los procesos de mantenimiento de la FAE.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARQHYS ARQUITECTURA. (2014). *GALGA EXTENSIOMÉTRICA*. Obtenido de <http://www.arqhys.com/construccion/galgas-extensiometricas.html>
- ELECTRO INDUSTRIA. (2015). *ELECTRO INDUSTRIA*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1502>
- Harzael's Weblog. (2014). *MUESTREO DE SEÑAL*. Obtenido de <https://hazaeljm.files.wordpress.com/2009/01/muestreo.png>
- MARCEL DASSAULT BREGUET AVIATION. (1993). *FLIGHT MANUAL GIIIB*.
- NATIONAL INSTRUMENTS. (2012). *FORUMS NI*. Obtenido de <http://forums.ni.com/t5/image/serverpage/image-id/91552iD1D7451AEF77732F?v=mpbl-1>
- NATIONAL INSTRUMENTS. (2014). *TUTORIAL NI*. Obtenido de <http://www.ni.com/tutorial/7130/es/>
- NATIONAL INSTRUMENTS. (2015). *NI ADQUISICIÓN DE DATOS*. Obtenido de <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- OLIN S.A. (2015). *OLIN S.A.* Obtenido de [http://www.olinsa.cl/product.php?id\\_product=324](http://www.olinsa.cl/product.php?id_product=324)
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2015). *REAL ACADEMIA ESPAÑOLA*. Obtenido de DICCIONARIO: <http://dle.rae.es/?w=se%C3%B1al&o=h>
- Roberts, M. (2005). *SEÑALES Y SISTEMAS*. México: Mc Graw Hill.
- SAFRAN SNECMA. (2015). *OUR COMPANY SNECMA*. Retrieved from Pagina Oficial Snecma: <http://www.snecma.com/our-company>
- SAFRAN SNECMA. (2015). *SAFRAN SNECMA PHOTOS*. Obtenido de <http://www.snecma.com/media/photos-and-videos/photos>
- Soliman, S., & Mandyam, S. (1999). *SEÑALES Y SISTEMAS CONTINUOS Y DISCRETOS*. Prentice Hall.
- TC DIRECT. (2015). *TC DIRECT*. Obtenido de [https://www.tcdirect.co.uk/Default.aspx?level=2&department\\_id=230/15](https://www.tcdirect.co.uk/Default.aspx?level=2&department_id=230/15)
- TECNOLOG. (2015). *TECNOLOG*. Obtenido de <http://www.tecnolog.ind.br/instrumentos-de-medicao-eletrica/42-multimetros-digitais-true-rms-fluke-289.html>
- TU ELECTRÓNICA. (2014). *SEÑALES ANALÓGICAS*. Obtenido de <http://www.tuelectronica.es/tutoriales/telecomunicaciones/senales-analogicas-y-digitales.html>

## ANEXOS