



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y  
TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS  
VIRTUAL PARA EL MOTOR ROTAX 912 ULS DEL AVIÓN ULTRALIGERO  
FOX VECTOR V6 DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA”**

**AUTOR: JUAN MANUEL SOLINA ARAUJO**

**TUTOR: ING. FLAVIO DAVID MORALES ARÉVALO, Mg.**

**AÑO 2018**

## **DECLARACIÓN**

El proyecto integrador de Carrera titulado “Diseño e implementación de un banco de pruebas virtual para el motor ROTAX 912 ULS del avión ultraligero FOX VECTOR V6 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos sabios de terceros, conforme las citas que consta al pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

En tal integridad, declaro la legitimidad de este contenido y para los efectos legales y académicos que se desglosan del presente proyecto de integrador de grado, será de mi autoría, responsabilidad legal y académica.

Quito DM, 17 febrero de 2018.

---

Juan Manuel Solina Araujo

C.I. 180360086-3

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación **“Diseño e implementación de un banco de pruebas virtual para el motor ROTAX 912 ULS del avión ultraligero FOX VECTOR V6 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana”**, presentado por el Sr. Juan Manuel Solina Araujo, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito DM, 17 febrero de 2018

TUTOR

---

Ing. Flavio Morales. Mg

## **AGRADECIMIENTO**

Como no agradecer primeramente a DIOS y Jesucristo, por escuchar mis plegarias y me permitieron alcanzar tan anhelado logro, que enaltece mi profesión, gracias padre celestial por darme las fuerzas necesarias.

A la Universidad ISRAEL, por abrirme las puertas y permitir culminar esta profesión querida, en donde he aprendiendo los principios teóricos y prácticos para ser un mejor profesional en la Institución a la que pertenezco.

Además, me permito agradecer al Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, y a mi compañero Gustavo con quién emprendimos este ambicioso proyecto, por la confianza depositada y el apoyo constante.

Finalmente agradezco al Ing. Flavio Morales, tutor de Tesis, por su aporte y guía en la elaboración del proyecto.

Juan Manuel Solina Araujo.

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, a mi amada esposa Yessenia Castillo por su amor y paciencia, a mis hijos Dayra y Juan José Solina por sacrificar los días de mi ausencia, los mismos que fueron el mayor motor para el logro de tan anhelado sueño.

A mis papitos, Celiano que está en el cielo e Hilda por su amor y sencillez, quienes supieron darme los mejores valores y legados ante el constante apoyo incondicional, estoy seguro de que él desde el cielo y ella desde la tierra estarán muy orgullosos de mí.

A mi hermano Danilo y hermanas queridas Zenaida, Carmen, Dina, Julia, Lilian, Bélgica Solina quienes siempre creyeron en mí y fueron el espejo para poder crecer profesionalmente os dedico con mucha humildad y sencillez.

A todos quienes creyeron en mi...

Juan Manuel Solina Araujo

# ÍNDICE GENERAL

## Contenido

RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
Antecedentes .....	3
Planteamiento del problema.....	3
Formulación del problema .....	4
Justificación .....	4
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos .....	5
Descripción de los capítulos .....	5
CAPÍTULO I FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	7
1.1 Evolución y tipos de aviones ultraligeros.....	7
1.1.1 Avión ultraligero .....	8
1.2 Motor de combustión interna.....	9
1.2.1 Generalidades .....	9
1.2.2 Ciclo de funcionamiento.....	10
1.2.3 Sistema de refrigeración del motor ROTAX.....	11
1.2.4 Sistema de lubricación del motor ROTAX .....	12
1.2.5 Sistema de combustible del motor ROTAX .....	12

1.2.6	Sistema eléctrico del motor ROTAX .....	13
1.3	Sistema de adquisición de datos. ....	14
1.3.1	Adquisición de datos del motor ROTAX. ....	15
1.3.2	Compact RIO 9014.....	15
1.4	Interfaz.....	19
1.4.1	Interfaz del sistema automatizado del banco de pruebas.....	19
1.4.2	Instrumentación Virtual.....	20
1.4.2.1	Sensor .....	21
1.4.2.2	Acondicionamiento de señal .....	21
1.4.3	Software LABVIEW .....	23
1.4.3.1	Ventajas del Software LabVIEW .....	25
1.5	Sistema de electrónico de Comunicación .....	25
1.6	Conector militar.....	26
CAPITULO II PROPUESTA .....		28
2.1	Esquema de pruebas actual del Motor ROTAX 912 ULS .....	28
2.1.1	Requerimientos del CIDFAE.....	28
2.2	Propuesta de Diseño .....	29
2.3	Requerimientos Técnicos .....	30
2.4	Algoritmo de funcionamiento del sistema de adquisición de datos y del HMI.....	33
2.4.1	Diseño del sistema de adquisición y de datos control.....	36

2.4.2 Etapa de Configuración del Sistema de adquisición de datos .....	44
2.4.3 Etapa de Control .....	48
2.4.4 Etapa de Alimentación de corriente al CRIO .....	49
2.4.5 Etapa de Instrumentación .....	50
2.4.6 Etapa de Comunicación .....	58
2.4.7 Etapa de Visualización HMI.....	62
2.4.8 Tiempo requerido para el intercambio de información. ....	63
<b>CAPÍTULO III IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>67</b>
3.1 Desarrollo .....	67
3.2 Implementación .....	67
3.2.1. Montaje de los elementos electrónicos.....	67
3.2.2. Conexión de los elementos .....	68
3.3 Pruebas de funcionamiento.....	72
3.3.1 Primera prueba del sistema electrónico armado.....	72
3.3.2 Prueba de funcionamiento de la Interfaz HMI. ....	72
3.3.3 Segunda prueba del sistema electrónico armado.....	73
3.3.4 Pruebas en el CID-FAE .....	74
3.3.4.1. Prueba 1 funcionamiento e instalación de los elementos a la caja de adquisición de datos y control. ....	75
3.3.4.2. Pruebas finales.....	76
3.4. Capacitación al personal técnico. ....	77



3.5. Análisis de resultados .....	78
CONCLUSIONES .....	82
RECOMENDACIONES.....	83
BIBLIOGRAFÍA .....	84
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Avión experimental ultraligero con motor Rotax ULS 912.....	8
Figura 2. Avión con Rotax 912UL 100 hp (75 kW) a diésel.....	9
Figura 3. Motor a gasolina de cuatro tiempos. ....	10
Figura 4. Ciclo de funcionamiento del motor de explosión de cuatro tiempos. ....	10
Figura 5. Sistema de refrigeración del motor ROTAX 912 ULS. ....	11
Figura 6. Sistema de lubricación del motor ROTAX 912 ULS.....	12
Figura 7. Sistema de combustible del motor ROTAX 912 ULS. ....	13
Figura 8. Circuito de encendido del motor ROTAX 912 ULS. ....	14
Figura 9. Diagrama de bloques del sistema de adquisición de datos.....	15
Figura 10. Arquitectura del CompactRIO.....	16
Figura 11. Componentes del NI CompactRIO.....	17
Figura 12. Chasis CRIO NI9114.....	18
Figura 13. Módulos de Entrada/Salida de la serie C.....	18
Figura 14. Ventana de interfaz realizada en LABVIEW. ....	19
Figura 15. Diagrama de bloques de la instrumentación Virtual. ....	20
Figura 16. Diagrama simplificado de bloques de un sistema de comunicaciones electrónicas. ....	26
Figura 17. Conectores militares Amphenol. ....	27
Figura 18. Esquema de Bloques del proceso de pruebas del Motor ROTAX 912 ULS .....	28

Figura 19. Sistema de adquisición y registro de variables del motor ROTAX 912 ULS .....	30
Figura 20. NI 9219.....	31
Figura 21. NI9401.....	31
Figura 22. Pines de conexión del módulo NI9401.....	32
Figura 23. NI 9014 y NI 9114.....	33
Figura 24. Algoritmo de funcionamiento del sistema de adquisición de datos .....	34
Figura 25. Algoritmo de funcionamiento del HMI.....	35
Figura 26. Arquitectura de todo el sistema de funcionamiento del motor ROTAX 912 ULS.....	36
Figura 27. Creación de un nuevo proyecto en LabVIEW.....	38
Figura 28. Creación de un proyecto en blanco en LabVIEW .....	39
Figura 29. Interface de un proyecto en blanco en LabVIEW .....	39
Figura 30. Guardando el proyecto .....	40
Figura 31. Ubicando y guardando el proyecto.....	40
Figura 32. Interfaz del proyecto guardado.....	40
Figura 33. Creación de un VI.....	41
Figura 34. Guardando el VI principal.....	42
Figura 35. Configuración del puerto serial de comunicaciones.....	43
Figura 36. Herramientas de limpieza de buffer .....	43
Figura 37. Funciones de lectura escritura en LabVIEW.....	44
Figura 38. Acople de los componentes NI9014 y NI9114 .....	45

Figura 39. Measurement & Automation Explore .....	45
Figura 40. Remote Systems .....	46
Figura 41. Asignación de un nombre al CRIO .....	46
Figura 42. Asignación de IP al CRIO .....	47
Figura 43. CRIO Configurado con nombre & IP .....	47
Figura 44. Acondicionamiento óptico de la señal magnética de las RPMs .....	48
Figura 45. Acondicionamiento de las señales On/Off del Motor .....	49
Figura 46. Fuente de la tarjeta de acondicionamiento de señales .....	49
Figura 47. Agregar el CRIO al proyecto Fox_bp. ....	50
Figura 48. Agregando el CRIO (FOX) al proyecto .....	51
Figura 49. Estableciendo conexión entre el CRIO (FOX) y el PC. ....	51
Figura 50. Agregando el Chasis NI9114. ....	52
Figura 51. Agregar el chasis NI9114. ....	53
Figura 52. Chasis y módulos incluidos al proyecto .....	53
Figura 53. Configuración del módulo NI9401.....	54
Figura 54. Renombrando el pin de salida o entrada digital .....	55
Figura 55. Personalización y configuración del módulo NI9219. ....	55
Figura 56. Configuración de FOX para el proyecto Fox_bp. ....	56
Figura 57. Creación de un VI en el dispositivo FOX. ....	56
Figura 58. Código de adquisición de datos .....	57
Figura 59. Conversión de datos Foat A String.....	57

Figura 60. Código de transmisión y recepción de datos. ....	59
Figura 61. CRC16 & Implementación en LabVIEW. ....	60
Figura 62. HMI aplicación de escritorio .....	63
Figura 63. Implantación del código en el HMI.....	64
Figura 64. Diseño del PCB. ....	67
Figura 65. Conexión de la tarjeta de acondicionamiento.....	68
Figura 66. Colocación de los módulos NI 9401 y NI 9219 .....	68
Figura 67. Conexión de los elementos hacia el conector militar .....	69
Figura 68. Construcción de la estructura donde se colocará los dispositivos electrónicos.....	69
Figura 69. Colocación e instalación de los dispositivos en el interior de la caja de protección.....	70
Figura 70. Construcción de la bornera de conexión J1 .....	70
Figura 71. Arnés para adquirir las señales de los sensores, conexión en con la interfaz HMI, unión con la fuente de 12V y control ON/OFF.....	71
Figura 72. Banco de pruebas para el motor 912 ULS.....	71
Figura 73. Pruebas preliminares del HMI.....	72
Figura 74. Lectura de señales físicas del motor ROTAX 912 ULS, medidas con el osciloscopio. ....	73
Figura 75. Resultados obtenidos con el HMI .....	73
Figura 76. Instalación del banco de pruebas .....	75
Figura 77. Capacitación al personal técnico del CID-FAE .....	78

Figura 78. Visualización del botón de reportes de la interfaz HMI.....	80
Figura 79. Datos guardados. ....	80
Figura 80. Carpeta de registro las pruebas realizadas en el motor Rotax 912 ULS. .	81
Figura 81. Comportamiento de las RPM's y temperatura del cilindro derecho del motor.....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos exclusivos de las medidas basadas en sensores .....	24
Tabla 2. Variables físicas del motor ROTAX 912 ULS. ....	29
Tabla 3. Asignación de módulos y Señales Físicas del motor.....	37
Tabla 4. Solicitud de información.....	58
Tabla 5. Trama de respuesta a la solicitud de información. ....	61
Tabla 6. Asignación de localidades de memoria para el intercambio de información. .....	61
Tabla 7. Límites de operación del motor Rotax 912 ULS. ....	76
Tabla 8. Análisis de resultados .....	78

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	63
Ecuación 2.....	65



## **RESUMEN**

El presente proyecto describe las etapas de análisis, diseño e implementación de un sistema electrónico para realizar pruebas de funcionamiento del motor ROTAX 912 ULS del avión ultraligero FOX VECTOR V6 que se encuentra en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE).

El sistema electrónico que desarrollar recibe la denominación de Banco de Pruebas, adquiere señales físicas como temperatura, presión, nivel y revoluciones por minuto (RPM's), generadas por el sistema de propulsión (motor), las variables adquiridas se digitalizan, empacan y transmiten a una interfaz hombre-máquina (HMI) para que el operador pueda evaluar el funcionamiento de los componentes del sistema de propulsión. La adquisición y transmisión de datos se realiza en tiempo real y de manera determinista. En la HMI, los valores recibidos se almacenan en archivos planos. Los archivos planos se utilizan para analizar el comportamiento de los componentes en pruebas operacionales previas.

Este documento contiene toda la información necesaria que explica de forma detallada como se llevó y se desarrolló los componentes de hardware y software.

### **DESCRIPTORES:**

Diseño, Control, FPGA, Sistema de Propulsión, Comunicación, Programación.

## **ABSTRACT**

This project describes the stages of analysis, design and implementation of an electronic system to perform tests of the ROTAX 912 ULS engine of the ultralight aircraft FOX VECTOR V6 that is in the Research and Development Center of the Ecuadorian Air Force (CIDFAE).

The electronic system to be developed receives the denomination of Test Bank, acquires physical signals such as temperature, pressure and revolutions per minute (RPMs), generated by the propulsion system (engine), the acquired variables are digitized, packaged and transmitted to an Interface Man Machine (HMI) so that the operator can assess the operation of the components of the propulsion system. The acquisition and transmission of data is done in real time and deterministically. In the HMI the received values are stored in flat files. Flat files are used to analyze the behavior of components in previous operational tests.

This document contains all the necessary information that explains in detail how the hardware and software components were carried and developed.

### **KEY WORDS:**

Design, Control, FPGA, Propulsion System, Communication, Programming.

## **INTRODUCCIÓN**

### **Antecedentes**

La Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE) para alcanzar y mantener con éxito un completo sistema operativo de sus aeronaves, cuenta con el Centro de Investigación y Desarrollo (CIDFAE) cuya misión es “Desarrollar investigación científica y tecnológica aeroespacial, para mejorar la capacidad operativa de la Fuerza Aérea y contribuir a la producción científica y tecnológica y al desarrollo nacional”.

El Centro de Investigación y Desarrollo (CID) fue creado el 4 de mayo de 1998, mediante Directiva No. R-001-CL-H-97, teniendo como predecesor al Departamento de Ingeniería Aeronáutica, el cual se creó en el año 1994 en el Centro de Mantenimiento FAE de la ciudad de Latacunga.

En la actualidad el CIDFAE está posicionado como un importante centro de desarrollo tecnológico de Fuerzas Armadas, con capacidad de enfrentar mayores proyectos, en beneficio de mejorar la capacidad operativa para la defensa, también disminuye la dependencia tecnológica extranjera.

Se desarrollará el presente proyecto que permitirá aportar al cumplimiento de la misión del CIDFAE antes citado, y contribuir a la formación de un recurso humano con un excelente desempeño profesional y comprometido con la Institución.

### **Planteamiento del problema**

Las labores de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo en aviación son de importancia trascendental en la prevención de accidentes o catástrofes. El personal de aerotécnicos de FAE realiza mantenimientos periódicos en partes y componentes de sistemas de propulsión, combustible, estructuras.

Una manera con la que se puede realizar pruebas de funcionamiento en los sistemas de propulsión es mediante la utilización de bancos de pruebas.

Un banco de pruebas es un sistema electromecánico que consta de una parte estructural en la que se monta (sujeta) el sistema de propulsión y una segunda parte que se la conoce como instrumentación que no es más que una tarjeta de adquisición de datos.

En el Ecuador la producción de bancos de pruebas es muy limitada, debido al alto costo de los instrumentos, equipos y componentes en el área de la aviación. A nivel académico gran parte de los estudiantes de nivel superior del país, realizan diseños e implementaciones de proyectos para diferentes tipos de aeronaves que poseen en especial de la FAE, contribuyendo de esta manera al desarrollo aeroespacial de la nación.

Actualmente, el CIDFAE cuenta con motores de aviación de la marca ROTAX. Sin embargo, no posee un banco de pruebas que permita monitorear los parámetros principales de funcionamiento del motor ROTAX 912 ULS del avión ultraligero FOX VECTOR V6 de la FAE; los sistemas de propulsión de las aeronaves son sometidos a mantenimientos periódicos con la finalidad de preservar la integridad del equipo y personal de mantenimiento.

Las inspecciones de mantenimiento lo realizan de forma manual mediante un registro (lista) de chequeos de las medidas físicas tales como presión, temperatura, RPMs, del motor antes de ser instalados en la aeronave, lo cual permite tomar acciones correctivas en el caso de presentarse alguna anomalía. Por lo tanto, la implementación de este equipo resulta importante para mejorar los trabajos de mantenimiento.

### **Formulación del problema**

¿Se conseguirá agilizar y garantizar los trabajos de mantenimiento y diagnóstico en aeronaves con el diseño e implementación de un banco de pruebas para el motor ROTAX 912 ULS del avión ultraligero FOX VECTOR V6 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana?

### **Justificación**

El tiempo que lleva en levantar un reportaje en un sistema de las aeronaves generalmente es extenso, desde la verificación visual hasta la determinación del daño de forma puntual. Realizar estas tareas manualmente requiere de una carga laboral excesiva para el personal de aerotécnicos razón por la cual se plantea diseñar e implementar un banco de pruebas para un sistema de propulsión.

El sistema planteado es para el motor ROTAX 912 ULS en el CIDFAE, permite la mejor utilización de los presupuestos técnicos asignados al mantenimiento. En la actualidad las grandes operadoras de aviación en el mundo cuentan con un sistema de mantenimiento de apoyo, que permiten no depender de talleres aeronáuticos para que la

flota de aviones esté aeronavegable, sobre todo, el tiempo que no se dispone de un sistema operativo disminuye considerablemente, dando como consecuencia un sistema de mantenimiento eficiente. La FAE, cuenta con personal técnico debidamente formado y capacitado; con una amplia experiencia técnica en las aeronaves, por lo que el presente proyecto utilizará al personal técnico, el cual será entrenado apropiadamente en la utilización del banco de pruebas a implementarse y de esta forma mantener los estándares de seguridad, precisión en las medidas y sobre todo tener un registro histórico de los chequeos de las variables más importantes del motor en cada prueba y así poder realizar un análisis comparativo, lo que hace que este proyecto sea viable, el mismo que también servirá como modelo y prototipo para diseñar otros bancos de pruebas para los diferentes motores de los aviones de la FAE.

### **Objetivo General**

Implementar un banco de pruebas automatizado para el motor ROTAX 912 ULS del avión ultraligero FOX VECTOR V6 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana

### **Objetivos Específicos**

- Analizar la información de manuales de equipos, manuales de bancos de prueba, manuales de talleres aeronáuticos, bibliotecas físicas y en línea mediante investigación bibliográfica y de campo para el diseño del banco de pruebas automatizado.
- Diseñar los circuitos de acondicionamiento de datos de señales para la adquisición de datos y programación en el software computacional LabView.
- Realizar pruebas de calibración y funcionamiento de los parámetros a monitorear del banco de pruebas.

### **Descripción de los capítulos**

Capítulo 1: Contiene las generalidades y los conceptos necesarios para conocer de manera clara las particularidades técnicas, actuales, del motor ROTAX 912 ULS

Capítulo 2: Describe el diseño propuesto en el hardware y software, los criterios técnicos con las especificaciones de los elementos del sistema de adquisición de datos propuestos.

Capítulo 3: Contiene el desarrollo e implementación del proyecto con sus pruebas y resultados.

Finalmente se presenta conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas, y anexos con información adicional relevante de los temas tratados.

# CAPÍTULO I FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

## 1.1 Evolución y tipos de aviones ultraligeros

Desde que a finales de los años 70 naciera la aviación ultraligera hasta nuestros días la evolución de este sector ha sido imparable.

Pero definamos las diferentes clases de aviones ultraligeros y sus generaciones en el tiempo.

**Pendulares.** Aparecen en los finales de la década de los 70 como una adaptación mejorada de las alas delta, en las que se le incluye un motor en la parte posterior y un trike donde pueden ser piloteados por uno o dos personas. Un avión pendular (trike) es una aeronave motorizada con un ala montada en una armazón pivotante y controlable solo en cabeceo y alabeo mediante la pericia del piloto.

**Aviones de Tela y Tubo.** Están hechos de tubos de duraluminio (aleaciones de aluminio con cobre, manganeso, magnesio y silicio) y de una tela sintética de dacron en las superficies de revisión y sustentación, los mismos que son presentados en diseños carenados parciales para protección de uno o dos pilotos paulatinamente. Sus motores son de dos tiempos, con baja velocidad y mínima autonomía de vuelo, pueden ser manejados desde pistas cortas no experimentadas.

**Autogiros.** Estos poseen alas rotatorias (hélices) que generan la sustentación y un motor impulsor, con áreas de control de dirección y profundidad, su funcionamiento es algo confusa, respecto a su seguridad de vuelo y maniobrabilidad es elevada impidiendo la perdida. Una de sus ventajas es que requieren de poco terreno para su despegue y aterrizaje, pero tienen poca autonomía.

**2ª Generación.** Son aviones ultraligeros más sofisticados que los tubo y tela, poseen fuselajes y cabinas que permiten una mayor protección a los pilotos de velocidades superiores a sus antecesores, incorporando instrumentación elemental del motor y vuelo. Poseen mayor autonomía y comodidades, sus motores pueden ser de dos o cuatro tiempo de hasta un máximo de 80 Caballos de Vapor (CV).

**3ª Generación.** Sus prestaciones, de autonomía y equipamiento análogos a las avionetas convencionales, e incluso más sofisticados.

Los motores alcanzan una potencia de 120 CV y el más alto grado de instrumentación digital y analógica al servicio de sus pilotos que han de estar cada vez más preparados para regocijarse surcando los cielos con una forma de volar segura y libre, respetando la Normativa existente.

En nuestro país el CIDFAE posee el avión ultraligero FOX VECTOR V6, como se puede observar en la figura 1, posee un motor tipo ROTAX 912 ULS de fabricación austriaca, con 100 hp.



*Figura 1.* Avión experimental ultraligero con motor Rotax ULS 912.

### **1.1.1 Avión ultraligero**

Aviones ultraligeros o simplemente ultraligeros son pequeños aviones deportivos están entre el vuelo libre (ala delta) y el vuelo con motor (avionetas). Son de poco peso y escaso consumo de combustible y lubricantes provistos de motor que permiten despegar desde el suelo y con una buena autonomía. (EcuRed, 2018)

La aviación ultraligera cumple exactamente lo mismo que la habitual, con la diferencia de que esta intenta resolver todo lo que alcanza, principiando por el peso de la aeronave y el amaestramiento, control, titulaciones y permisos son más accesibles. También utilizan esquíes y flotadores para que puedan aterrizar y despegar en cualquier pista.



## 1.2 Motor de combustión interna

### 1.2.1 Generalidades

Este tipo de motor genera energía mecánica a partir de la energía química que produce al quemar un fluido combustible.

*En el motor a diésel*, el combustible se inyecta internamente del cilindro y se quema gracias a la elevada temperatura conseguida mediante la alta compresión del aire de la combustión. Estos motores deben resistir altas presiones dentro del cilindro, razón por la cual son pesados, y es rara su aplicación en aviación ligera. (Creus Sole, 2011).



Figura 2. Avión con Rotax 912UL 100 hp (75 kW) a diésel.

Fuente: (ROTAX®AIRCRAFT ENGINES, 2015)

*En el motor de gasolina de cuatro tiempos*, el combustible entra en ignición por la descarga de una bujía. Está proporcionado de válvulas de admisión y escape que garantizan la integridad de cada fase.

La mezcla combustible-aire es experimentada por el carburador o por un sistema de inyección de combustibles. El carburador dosifica cierta cantidad de mezcla mediante una válvula de mariposa que el piloto acciona desde la cabina, a través de un tirador o una palanca. Al empujarlo a fondo (posición de despegue), la mariposa queda totalmente abierta, con lo que ingresa una cantidad máxima de aire-gasolina, y el motor da la máxima potencia.

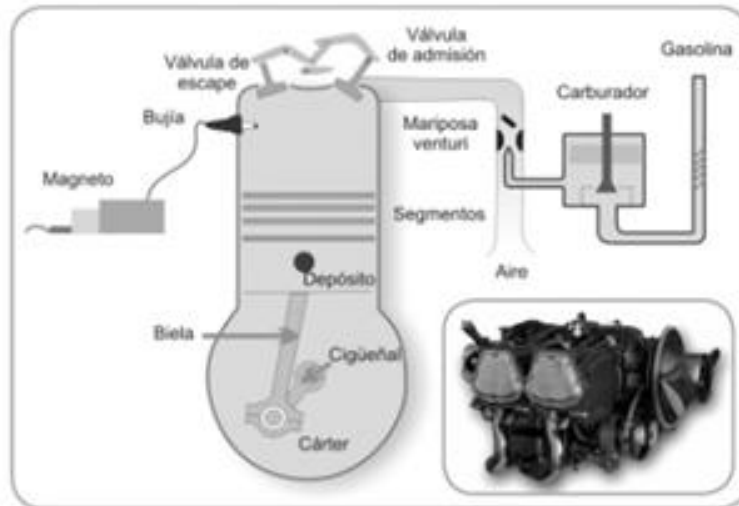


Figura 3. Motor a gasolina de cuatro tiempos.

Fuente: (Creus Sole, 2011).

### 1.2.2 Ciclo de funcionamiento

Las operaciones que se deben realizar para introducir la mezcla de combustible y aire, quemarla y extraerla de los cilindros son: admisión, compresión, expansión y escape, como se puede observar en la figura 4.

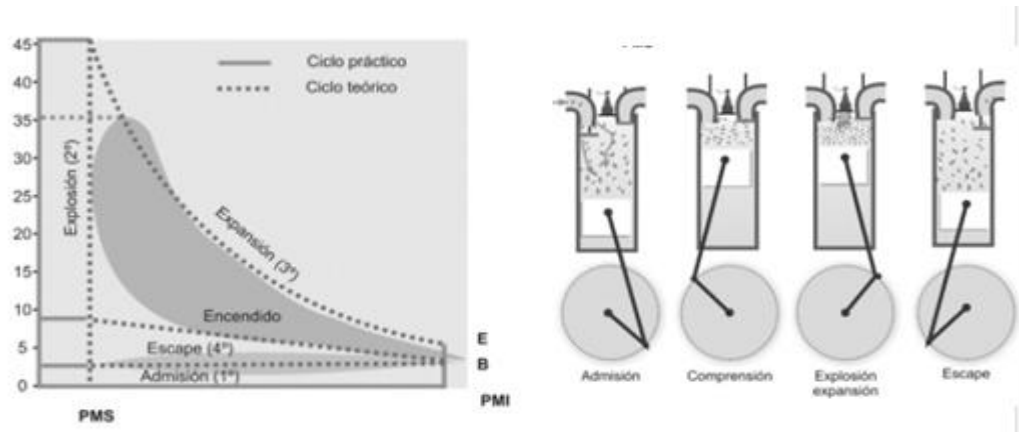


Figura 4. Ciclo de funcionamiento del motor de explosión de cuatro tiempos.

Fuente: (Creus Sole, 2011)

**1º tiempo: Fase de admisión.** El émbolo se mueve desde el Punto Muerto Superior (PMS) al Punto Muerto Inferior (PMI), la válvula de admisión se abre desde el PMS y la mezcla procedente del carburador entra llenando todo el cilindro a presión atmosférica.

**2º tiempo: Fase de compresión.** La válvula de admisión se cierra cuando el émbolo llega al PMI, el émbolo sube y comprime la mezcla, con lo que aumenta su temperatura (hasta los 25-380 °C), pero sin provocar el encendido. En el PMS salta la chispa en la bujía y la mezcla entra en ignición, llegando la temperatura hasta los 2.000 – 2.200 °C. La presión pasa desde unos 10 bar a los 45 bar.

**3º tiempo: Fase de expansión.** Los gases incendiados aumentan la presión sobre el émbolo, este desciende rápidamente. Es la única fase útil de las cuatro del motor. La temperatura aumenta hasta los 1.000 – 1.300 °C.

**4º tiempo: Fase de escape.** La válvula de escape se abre cuando el émbolo llega al PMI, mientras el cilindro va subiendo hasta el PMS y se expulsan los gases quemados, disminuyendo la presión desde los 4 bar a la atmosférica.

### 1.2.3 Sistema de refrigeración del motor ROTAX

Este sistema de refrigeración del motor está diseñado para el enfriamiento líquido de las cabezas de los cilindros y el enfriamiento de aire de los cilindros como lo muestra la figura 5. Además, el sistema de refrigeración de las culatas es un circuito cerrado con un tanque de expansión.

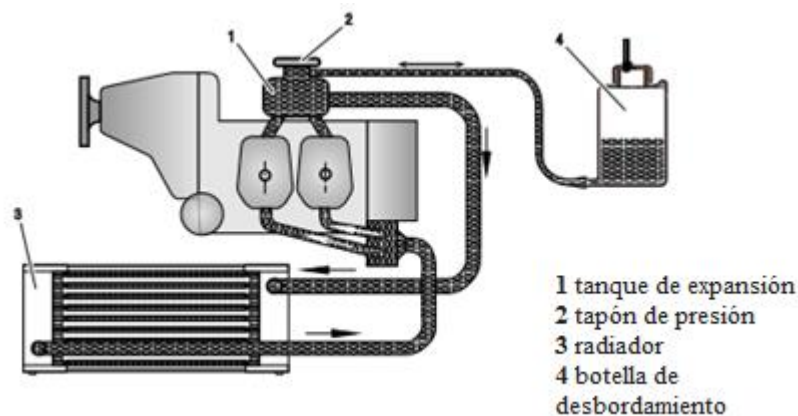


Figura 5. Sistema de refrigeración del motor ROTAX 912 ULS.

Fuente: (ROTAX®AIRCRAFT ENGINES, 2015).

### 1.2.4 Sistema de lubricación del motor ROTAX

Los motores Rotax, suministran con un sistema de lubricación forzada de sumidero seco con una bomba de aceite principal con regulador de presión integrado. El fabricante de la estructura de aire es responsable de la disposición principal y de la elección de componentes para el sistema de lubricación. En la figura 6 se puede observar de manera general el sistema de lubricación del motor ROTAX 912 ULS

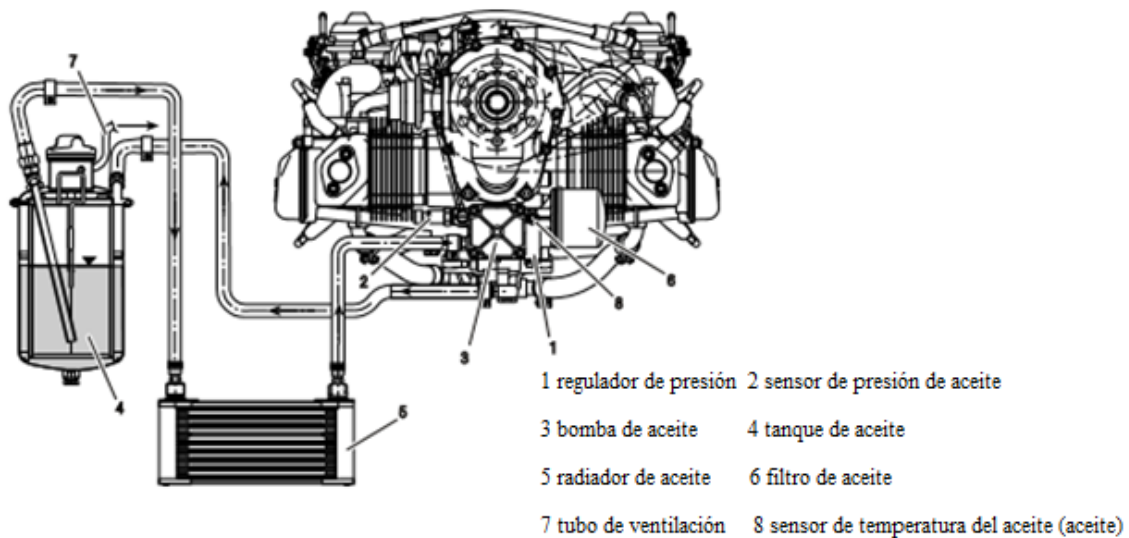


Figura 6. Sistema de lubricación del motor ROTAX 912 ULS.

Fuente: (ROTAX®AIRCRAFT ENGINES, 2015).

### 1.2.5 Sistema de combustible del motor ROTAX

El combustible fluye desde el depósito a través de un tamiz (filtro) grueso de la olla de fuego y el filtro fino a la bomba de combustible mecánica. Desde el combustible de la bomba ingresa a través del colector de combustible a los dos carburadores.

Por la línea de retorno, el combustible restante retorna al depósito del combustible y al lado de succión del combustible. En la figura 7 se puede divisar como se encuentra distribuido el sistema de combustibles del motor Rotax, 912 ULS.

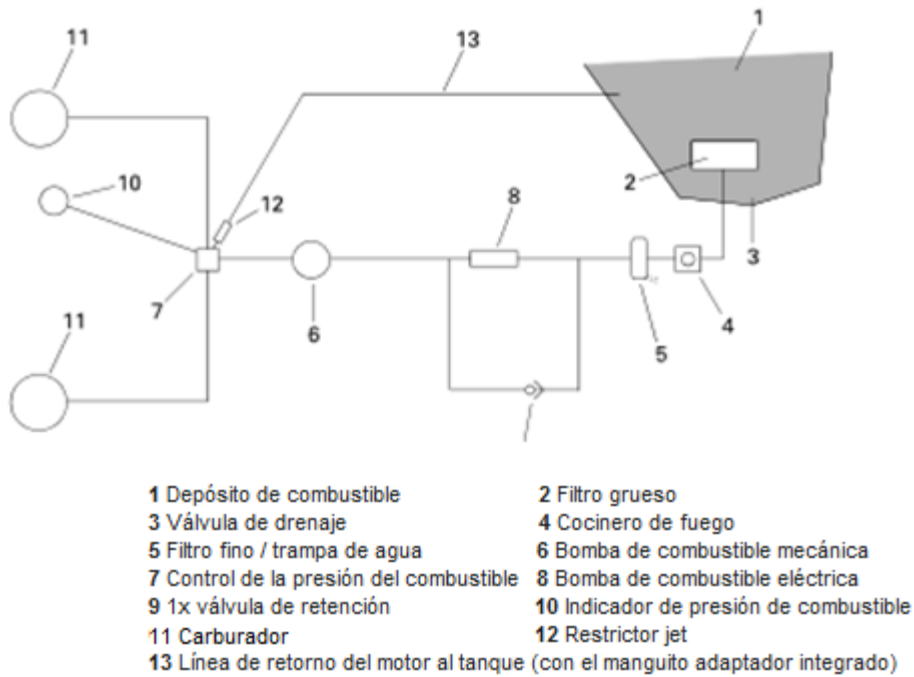


Figura 7. Sistema de combustible del motor ROTAX 912 ULS.

Fuente: (ROTAX®AIRCRAFT ENGINES, 2015).

### 1.2.6 Sistema eléctrico del motor ROTAX

El motor ROTAX® 912 está formado por una unidad de encendido doble de un diseño de descarga de condensador sin condensación, con un generador integrado. Esta unidad no necesita alimentación externa.

#### **Bobinas de carga**

Como se puede observar en la figura 8, dos bobinas de carga independientes situadas en el estator del generador suministran un circuito de encendido cada uno. La energía se acumula en los condensadores de los módulos electrónicos. En el momento de la ignición 2 cada una de las 4 bobinas activadoras externas accionan la descarga de los condensadores mediante el circuito primario de las bobinas de encendido dobles.

**NOTA.** La bobina de activación está prevista para la señal del contador de revoluciones.

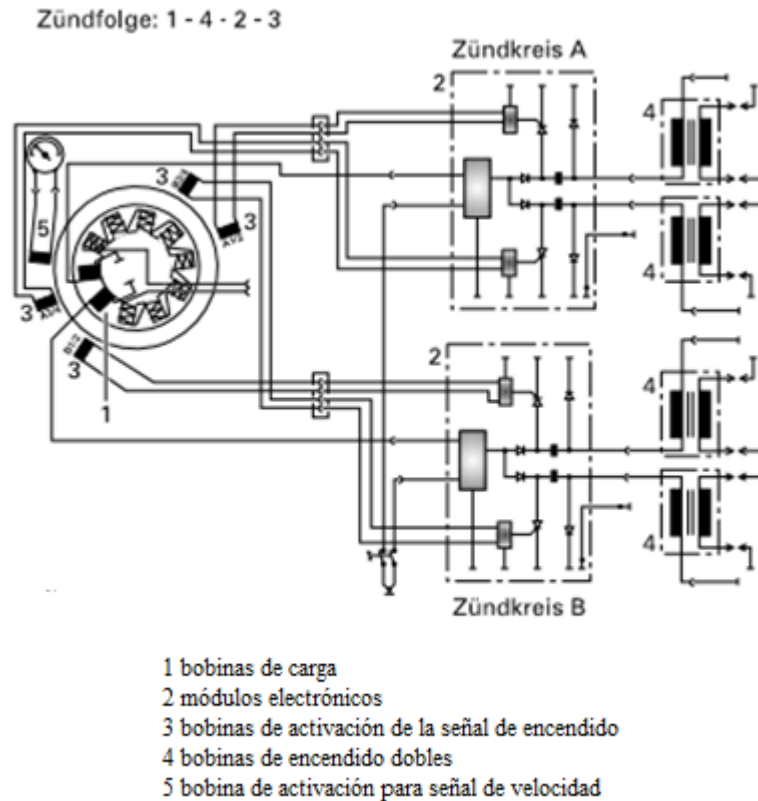


Figura 8. Circuito de encendido del motor ROTAX 912 ULS.

Fuente: (ROTAX®AIRCRAFT ENGINES, 2015).

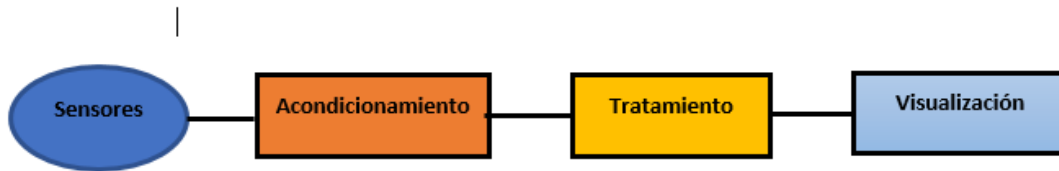
### 1.3 Sistema de adquisición de datos.

“Proceso en el cual la señal a medir es adquirida y convertida en una señal eléctrica. Un sistema de adquisición de datos es el instrumento que sirve para obtener datos de un proceso”. (Guamán & Paredes, 2014)

Este tiene las siguientes etapas:

- Los sensores o transductores convierten un fenómeno o magnitud física en una magnitud o señal eléctrica.
- Un sistema de acondicionamiento de señal que va a aislar, filtrar, convertir y/o amplificar la señal.
- Un sistema de adquisición de datos que convierte la señal analógica a digital.
- Un sistema de tratamiento que va a transformar la información digital presentada por el bloque anterior, en información útil al usuario.
- Un sistema de visualización que va a desplegar la información procesada.

- El sistema de adquisición de datos está compuesto por el siguiente diagrama de bloques, como se indica en la Figura 9.



*Figura 9.* Diagrama de bloques del sistema de adquisición de datos.

### **1.3.1 Adquisición de datos del motor ROTAX.**

El sistema de adquisición de datos es un diseño propio, donde se tiene en cuenta aspectos como durabilidad, facilidad de manejo y confiabilidad.

La adquisición se realiza con la utilización del módulo Compact RIO, el mismo que adquiere los datos, es decir recibe información del estado de los sensores del Motor Rotax ULS 912 para posteriormente ser indicada en la interfaz.

### **1.3.2 CompactRIO 9014**

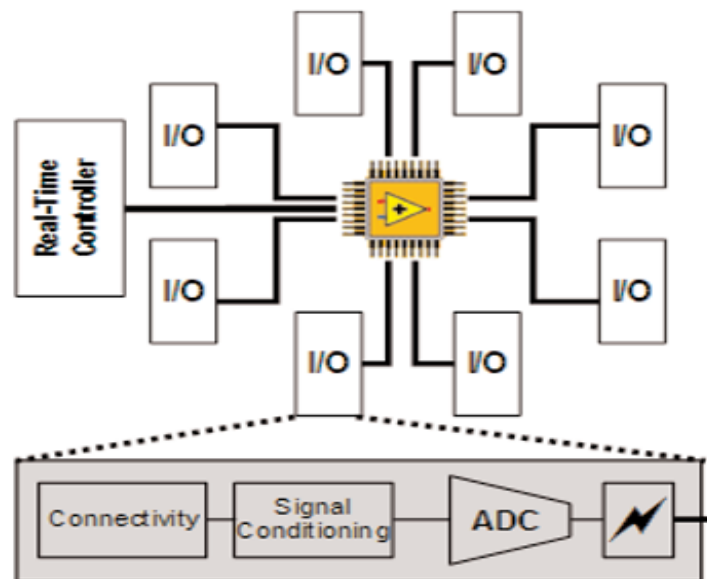
“Es un controlador embebido en tiempo real, ideal para aplicaciones avanzadas de monitoreo y control. Este controlador robusto, sin ventilador consta de una variedad de puertos de conectividad incluyendo uno de Ethernet, uno USB y uno serial. (National Instruments, 2017). Este sistema no incluye ranuras para módulos de E/S de la Seri C, por lo que para usar estos módulos se puede combinar con un Chasis CompactRIO compatible, para este caso es recomendable el Chasis CRIO NI 9114.

#### **a. Arquitectura CompactRIO**

La arquitectura Compact RIO se posee tres partes primordiales:

1. El controlador de tiempo real embebido
2. El chasis embebido reconfigurable que contiene la FPGA
3. Los módulos de E/S de recambio en caliente.

En la Figura 10. se puede observar un diagrama de la arquitectura del CompactRIO.



*Figura 10.* Arquitectura del CompactRIO.

Fuente: (Guamán & Paredes, 2014).

### **a.1. El controlador de tiempo real embebido.**

El controlador embebido de tiempo genuine CompactRIO perfecciona un procesador mecánico (modern) de Freescale MPC5200 de 400 MHz que ejecuta las aplicaciones de LabVIEW Real - Time de forma muy confiable.

El controlador de tiempo genuine de CompactRIO sitúa de un puerto Ethernet de 10/100 Mb/s para los programas de comunicación por medio de la red. En la figura 11. se observa los componentes del módulo reduced RIO y en la figura 12 se muestra el chasis de este.



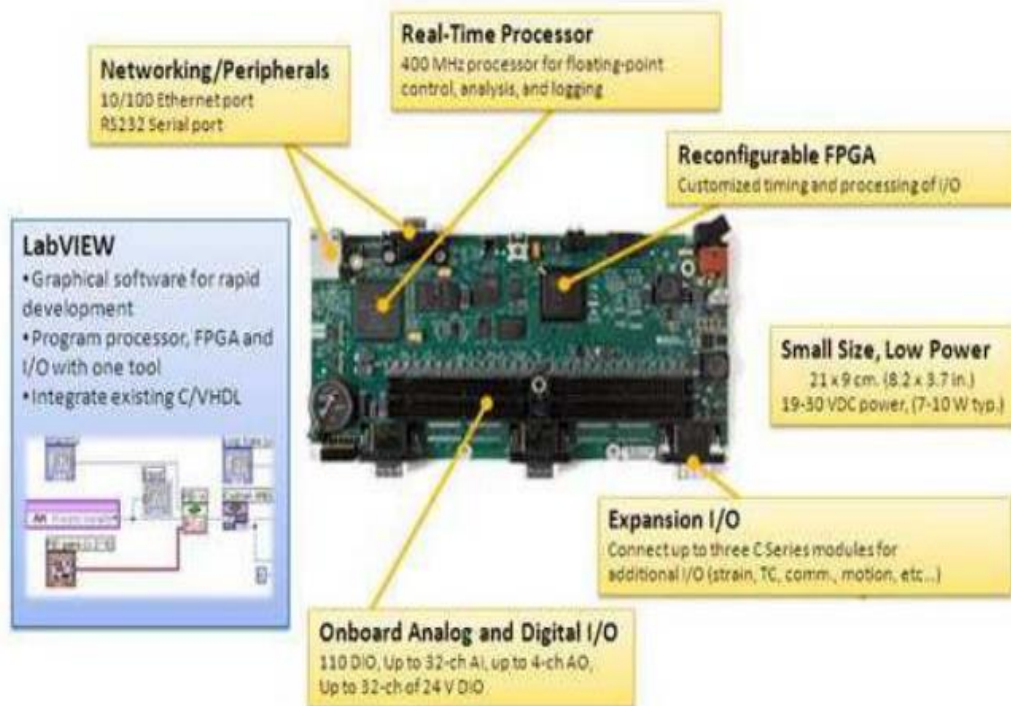


Figura 11. Componentes del NI CompactRIO.

Fuente: (Guamán & Paredes, 2014).

## a.2. Chasis embebido reconfigurable que contiene la FPGA

El **cRIO- 9114** es un chasis robusto FPGA que se puede usar para añadir módulos de E/S de la Serie C a una aplicación de control y monitoreo distribuidos. Se puede programar el chasis usando el Modo de Escaneo para rápida expansión de un sistema en tiempo real o usando el FPGA interno para procesamiento en línea y control y E/S de alta velocidad. Este chasis demanda un controlador CompactRIO compatible para comunicarse con los módulos colocados en el chasis.

Un **FPGA** es un dispositivo semiconductor que contiene un arreglo bidimensional de bloques lógicos cuya interconexión puede ser programable a nivel de hardware por el usuario. Así, un FPGA proporciona las ventajas de un procesador de propósito general y de un circuito especializado que puede reconfigurarse según la necesidad del diseñador, esto permite implementar aplicaciones de hardware personalizadas. (Torre & Granado, 2011)



*Figura 12.* Chasis CRIO NI9114

### **a.3. Los módulos de Entradas/Salidas intercambiables**

Cada módulo de Entrada/Salida (E/S) de la serie C de National Instrument contiene una función de acondicionamiento de señales incorporado y un borne de conexión de presión por tornillo, un borne de conexión de presión por resorte, BNC o conectores D-Sub. Hay disponibles varios tipos de E/S entre las que se incluyen: entradas para termopares; acelerómetros; para células de carga, analógicas de hasta  $\pm 60 \text{ V} \pm 20 \text{ mA}$ , salidas analógicas hasta  $\pm 10 \text{ V} \pm 20 \text{ mA}$ ; E/S digitales industriales de 12/24/48V con un suministro de corriente de hasta 1 A y E/S digitales de 5 V/TTL para encoders, contadores/temporizadores y generadores de pulsos. (Guamán & Paredes, 2014)

En la Figura 13 se observa los módulos de entrada y salida.



*Figura 13.* Módulos de Entrada/Salida de la serie C.

El sistema CompactRIO brinda un diseño robusto y un factor de forma que proporcionan una carcasa segura para los componentes internos del sistema, eliminando la insuficiencia de invertir recursos en el desarrollo de una armazón mecánica

personalizada. La mayoría de los módulos de E/S disponen de un aislamiento que resiste tensiones de corta duración hasta 2.300 Vrms y aislamiento para 250 Vrms continuos.

El consumo típico de potencia de todo el sistema es del orden de 7 a 10 W.

## 1.4 Interfaz

La interfaz es el medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, un equipo o una computadora, comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo. Normalmente suelen ser fáciles de entender y fáciles de accionar. (Guamán & Paredes, 2014)

### 1.4.1 Interfaz del sistema automatizado del banco de pruebas

La interfaz se efectúa con la ayuda de la instrumentación virtual por medio del software LabVIEW, el mismo que se encarga de mostrar el estado de cada uno de los sensores que conforman el Banco de pruebas del motor Rotax, este sirve de visualizador y traductor del sistema de adquisición del sistema automatizado, un ejemplo característico de interfaz es el que se observa en la figura 14.

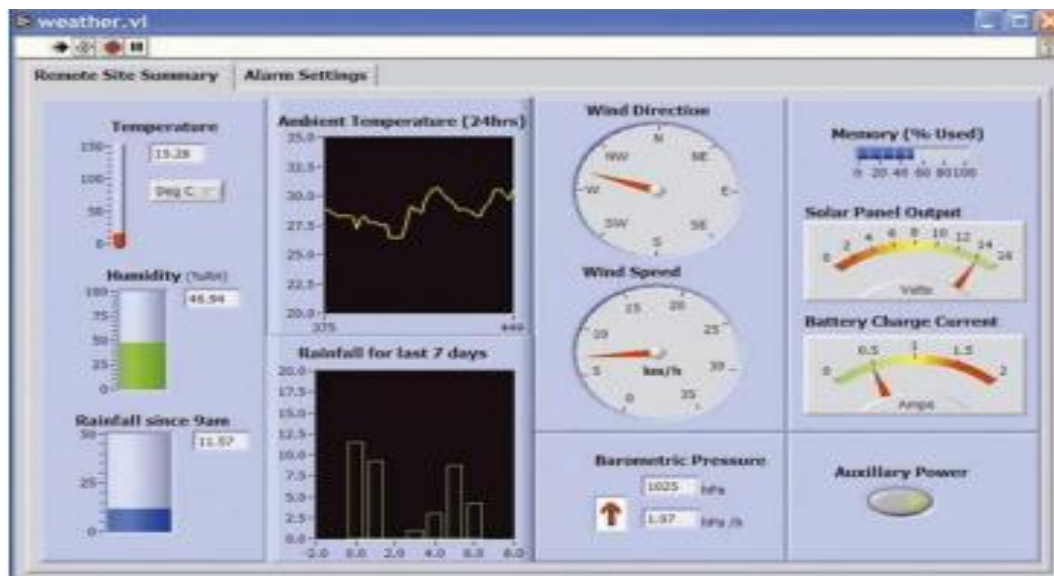


Figura 14. Ventana de interfaz realizada en LABVIEW.

Fuente: (Guamán & Paredes, 2014)

### 1.4.2 Instrumentación Virtual

Un instrumento virtual es aquel que combina todos los elementos de un instrumento electrónico, solo que este tiene mayores capacidades, debido a que trabaja con USB, GPIB, SCSI, Bluetooth, entre el sistema físico de acondicionamiento de señal y la computadora (Guamán & Paredes, 2014).

Un instrumento virtual posee unos potenciales ilimitados, ya que posee ayuda de un procesador y las aplicaciones de una computadora.

La instrumentación virtual consta de las siguientes partes:

- Sensor
- Sistema de acondicionamiento de señal
- Convertidor análogo/digital
- Interfaz
- Procesador
- Interface para poder comunicarse con un sistema de control, de visualización u otro proceso.

En la Figura 15 se muestra como está compuesta la instrumentación virtual.

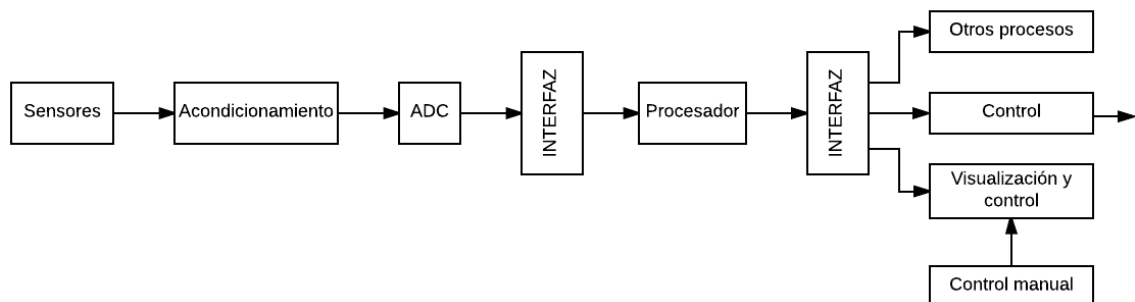


Figura 15. Diagrama de bloques de la instrumentación Virtual.

Fuente: (Guamán & Paredes, 2014).

El sistema de acondicionamiento se realiza mediante el software LabVIEW. El sistema de adquisición de datos tendrá un interfaz sencillo y de fácil manejo.

### **1.4.2.1 Sensor**

“Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida”. (Pallás, 2005, p. 3)

### **1.4.2.2 Acondicionamiento de señal**

Las señales en su mayoría requieren ser preparadas antes de que puedan ser digitalizadas. Como, por ejemplo, las señales de un termopar suministran unos niveles muy pequeños de tensión que deben ser amplificados antes de la digitalización. algunos sensores, tales como captadores de temperatura mediante resistencias (RTD), termistores, acelerómetros y galgas extensiométricas, requieren una estimulación (excitación) para poder trabajar.

A continuación, se detallan algunos tipos de acondicionamiento de señal, sus funcionalidades y ejemplos cuando se les necesita:

#### **a. Amplificadores.**

Los amplificadores desarrollan el nivel de tensión para mejorar una adaptación al rango del convertidor analógico-digital (ADC), aumentando de esta manera la resolución de la medida y la sensibilidad. También, la colocación de los acondicionadores de señal externos lo más cerca posible de la fuente de la señal o del transductor, mejora la relación de la señal con respecto al ruido de la medida, mediante el incremento del nivel de tensión antes de que se vea afectada por el ruido ambiental. Los sensores más frecuentes que requieren de amplificación son las termocuplas (Termopares) y los medidores de deformaciones.

#### **b. Atenuación**

La atenuación, a diferencia de la amplificación, se necesita cuando las tensiones que se requiere digitalizar están fuera de los parámetros ADC permitidos. Esta técnica de acondicionamiento disminuye la amplitud de la señal de entrada de manera que la señal procesada este dentro del rango de tensión del ADC. Comúnmente, se necesita cuando se miden tensiones de más de 10 V.

### **c. Filtrado**

“Los filtros rechazan el ruido no deseado dentro de un determinado rango de frecuencias”. (Ashlock & Warren, 2015, pág. 2)

Los filtros paso-bajo se utilizan para bloquear el ruido de las medidas eléctricas, tales como el originario de los 50/60 Hz de la red eléctrica. Un uso común del filtrado es evitar el “aliasing” de las señales de alta frecuencia. Esto se puede crear mediante el uso de un filtro “anti-aliasing” que disminuye las señales por encima de la frecuencia de Nyquist. Los filtros anti-alias son un ejemplo de filtro paso-bajo que se caracteriza por tener una banda de paso plana y una caída rápida. Como las medidas de los acelerómetros y de los micrófonos se analizan normalmente en el dominio de la frecuencia, los filtros anti-aliasing son óptimos para aplicaciones de sonido y vibración.

### **d. Aislamiento**

Señales de tensión que están bastante fuera del rango del digitalizador pueden dañar al sistema de medida y al operador. Por esa razón, se requiere generalmente el aislamiento junto con la atenuación para proteger al sistema y al usuario de las tensiones peligrosas o de los picos de tensión. El aislamiento también puede ser necesario cuando el sensor está en un plano de tierra diferente del sensor de medida, tal como ocurre con un termopar montado en un motor. (Ashlock & Warren, 2015, pág. 2)

### **e. Excitación**

Se utilizan comúnmente en una configuración de puente de Wheatstone con una fuente de excitación de tensión, Por ejemplo, en galgas, acelerómetros, termistores y RTDs.

### **f. Linealización**

Muchos transductores presentan una respuesta no lineal a los cambios de la magnitud física bajo medida. En estos casos, con el balance de tener una medida suficiente significativa, (...) que realizar un proceso de linealización mediante módulos circuitales específicos o bien mediante programas adecuados de cálculo numérico. (Domingo, Jordi, & Francesc, 2001, pág. 19)

#### **g. Compensación de la unión fría**

Para obtener medidas precisas del termopar se requiere la compensación de la unión fría (CJC: Cold-Junction Compensation). Las termocuplas miden la temperatura como la diferencia de tensión entre dos metales diferentes (...), se genera otra tensión en la conexión entre el termopar y el terminal de un dispositivo de adquisición de datos. La compensación de la unión fría mejora la precisión de la medida proporcionando la temperatura de esta unión y aplicando la corrección apropiada. (Ashlock & Warren, 2015)

#### **h. Acondicionamiento de señales de sensores específicos**

La justificación de los requerimientos de acondicionamiento de las señales para cada tipo de medida es de suma importancia para lograr las mejores medidas. En base a los sensores que se requieren para llevar a cabo una aplicación, se deben tener en cuenta ciertos tipos de acondicionamiento de señal para certificar las mejores medidas posibles. La Tabla 1 presenta una síntesis de los tipos de acondicionamiento de señales para los diferentes sensores y medidas.

### **1.4.3 Software LABVIEW**

El LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje de programación de alto nivel, de tipo gráfico, y enfocado al uso en instrumentación, constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. (Guamán & Paredes, 2014)

Los programas efectuados con el software LabVIEW se llaman instrumentos virtuales (VIS), el principal objetivo está el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de toda clase y permitir el ingreso a la computación a expertos de cualquier otro campo. LabVIEW consigue combinarse con todo tipo de programming y equipment, tanto de National Instruments como child (tarjetas) las tarjetas de adquisición de datos, visión e instrumentos como de otros constructores.

Tabla 1.

*Requisitos exclusivos de las medidas basadas en sensores*

TIPO DE ACONDICIONAMIENTO							
SENSOR	AMPLIFICACIÓN	ATENUACIÓN	AISLAMIENTO	FILTRADO	EXCITACIÓN	LINEALIZACIÓN	CJC
Termopar	✓	–	✓	✓	✓	✓	✓
Termistor	✓	–	✓	✓	✓	✓	–
RTD	✓	–	✓	✓	✓	✓	–
Galga	✓	–	✓	✓	✓	✓	–
extensiométrica							
Carga, presión, par de torsión	✓	–	✓	✓	✓	✓	–
Acelerómetro	✓	–	✓	✓	✓	✓	–
Micrófono	✓	–		✓	✓	✓	–
LVDT/RVDT	✓	–	✓	✓	✓	✓	–
Alta tensión	–	✓	✓	–	–	–	–

Fuente (Ashlock & Warren, 2015).



### **1.4.3.1 Ventajas del software LabVIEW**

A continuación, describiremos algunas de las ventajas que proporciona el software LabVIEW:

- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Se comprime el tiempo de progreso de los estudios al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy automático y fácil de instruirse.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complicadas. Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y visualización de datos.
- Posee la peripetia de incorporar aplicaciones trazadas (escritas) en otros lenguajes
- El sistema está concebido de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de cumplimiento posible.

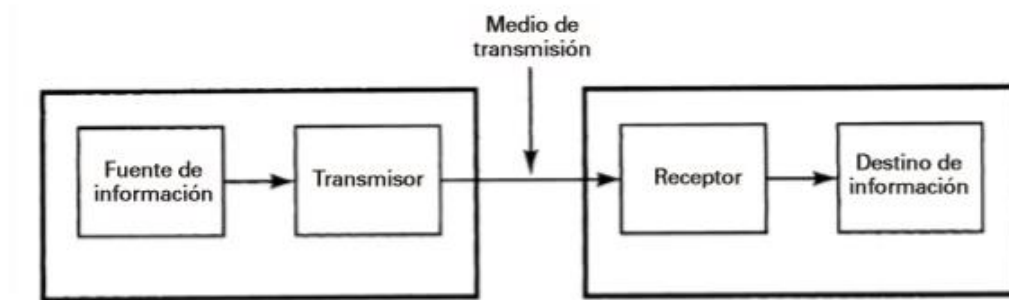
El software (LabVIEW) no necesita mucha experiencia en programación, ya que emplea iconos, términos e ideas conocidas por científicos e ingenieros, ya que emplea símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito (lenguaje de programación) para construir las aplicaciones. Por ello resulta mucho más automático que el resto de los lenguajes de programación convencionales. Posee muchísimas librerías de funciones y subrutinas, además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, exámenes, exposición y acumulación (almacenamiento) de datos.

## **1.5 Sistema de electrónico de comunicación**

El objetivo esencial de un sistema electrónico de comunicación es transferir información de un lugar a otro. Por consiguiente, las comunicaciones electrónicas son la transmisión, recepción y procesamiento de información entre dos o más lugares, mediante circuitos electrónicos.

La fuente original de información puede estar en forma analógica (continua), como por ejemplo la voz humana o la música, o en forma digital (discreta), como por ejemplo los números codificados binariamente o los códigos alfanuméricos. Sin embargo, todas

las formas de información se deben convertir a energía electromagnética antes de ser propagadas a través de un sistema electrónico de comunicaciones. (Tomasi, 2003, p. 1)



*Figura 16.* Diagrama simplificado de bloques de un sistema de comunicaciones electrónicas.

Fuente: (Tomasi, 2003, p. 2)

La figura 16, muestra un diagrama de bloques simplificado de un sistema electrónico de comunicaciones, que comprende un transmisor, un medio de transmisión y un receptor.

Un transmisor es un conjunto de uno o más dispositivos o circuitos electrónicos que convierte la información de la fuente original en una señal. El medio de transmisión transporta las señales desde el transmisor hasta el receptor. Un receptor es un conjunto de dispositivos y circuitos electrónicos que reconoce del medio de transmisión las señales o información transmitidas, convirtiéndolas a su forma original. Se puede cambiar la información a ondas electromagnéticas luminosas, propagarlas a través de cables de fibra óptica hechas de vidrio o de plástico, o bien se puede usar el espacio libre para transmitir ondas electromagnéticas de radio, a grandes distancias o sobre terreno donde sea difícil o costoso instalar un cable físico.

## 1.6 Conector militar

En la figura 17, se puede apreciar los distintos conectores militares existentes, estos conectores han sido utilizados en sus inicios por el Ejército de los EE.UU, para proyectos con especificaciones militares. Los conectores militares cuentan con protección intrínseca (IP67) es decir está sellado contra fluidos y polvo, se utiliza para muchos tipos de conexiones eléctricas. (Guamán & Paredes, 2014, p. 29)



*Figura 17.* Conectores militares Amphenol.

Fuente: (Guamán & Paredes, 2014)

“Amphenol es uno de los fabricantes de los conectores militares cilíndricos, existen en varias series, cada uno con diferentes características de diseño”. (Guamán & Paredes, 2014, p. 28)

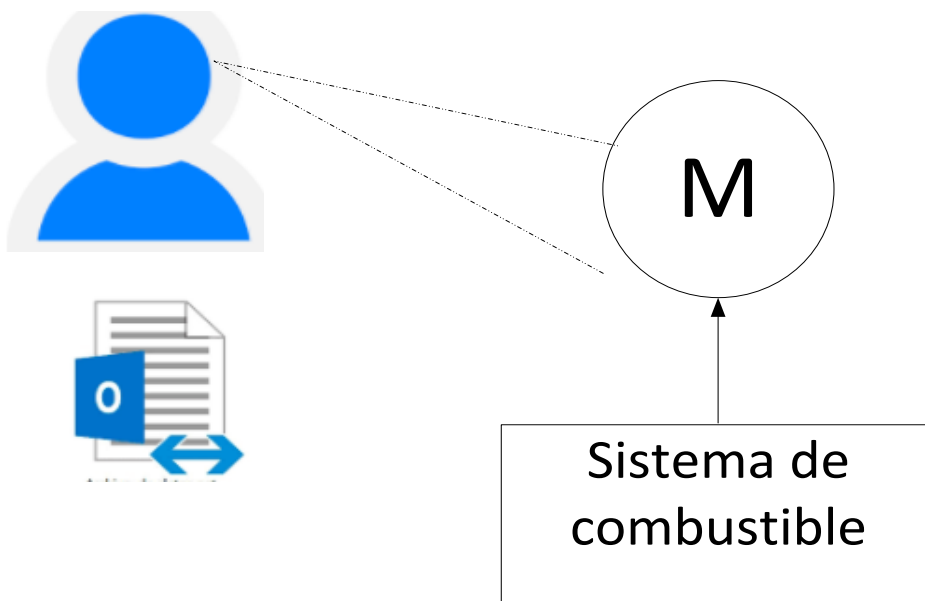
Para todas las series, las uniones macho y hembra son fabricados bajo pérdida de aleación de cobre y oro plateado para eliminar la corrosión por contacto proporcionando una vida útil indefinida

Estos conectores toman el nombre de conector militar por que en sus inicios fue utilizado solo por los militares, actualmente, se lo utiliza en el área civil.

## CAPITULO II PROPUESTA

### 2.1 Esquema de pruebas actual del Motor ROTAX 912 ULS

Con la información obtenida después de realizar la recolección de información en el campo de los hechos se describe la forma como el personal técnico del CIDFAE realiza las pruebas de funcionamiento del Motor ROTAX 912 ULS como se muestra en la figura 18.



*Figura 18.* Esquema de Bloques del proceso de pruebas del Motor ROTAX 912 ULS

En el gráfico se describe que el proceso utilizado para realizar las pruebas de chequeo del Motor ROTAX 912 ULS es cien por ciento manual. El operador realiza inspecciones visuales y anota los problemas encontrados en una bitácora.

#### 2.1.1 Requerimientos del CIDFAE

El CIDFAE tiene la necesidad de contar con un sistema electrónico que adquiera las variables físicas que norman el correcto funcionamiento del Motor ROTAX 912 ULS. El sistema se debe complementar con un HMI que permita visualizar las variables físicas y guardar la información generada en archivos que puedan ser recuperados posteriormente.

En la tabla 2 se muestran las variables físicas necesarias para establecer posibles fallas en el proceso de mantenimiento del Motor ROTAX 912 ULS.

El CIDFAE debido a varias investigaciones previas realizadas sobre sistemas de adquisición de datos y control de procesos cuenta con un dispositivo conocido como CompactRIO (CRIO) de la empresa de los EE.UU, National Instrumens. Es un requerimiento fundamental del CIDFAE realizar el presente trabajo investigativo en el dispositivo CRIO además de contar con el dispositivo también se cuenta con las licencias para el desarrollo de la programación.

Tabla 2.

*Variables físicas del motor ROTAX 912 ULS.*

<b>Nombre de la Variable Física</b>	<b>Límites del manual de operaciones</b>	
	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>Temperatura del escape izquierdo</b>	880 °C	-
<b>Temperatura del cilindro izquierdo</b>	135 °C	-
<b>Temperatura del escape derecho</b>	880 °C	-
<b>Temperatura del cilindro derecho</b>	135 °C	-
<b>Temperatura de aceite</b>	130 °C	50 °C
<b>Temperatura de refrigerante</b>	120 °C	-
<b>Presión aceite</b>	7 bar.	0.8 bar.
<b>Revoluciones por minuto</b>	5800 RPMs	1400 RPMs
<b>Nivel tanque de combustible</b>	10 gls.	0 gls.

Es importante indicar que dichas medidas están basadas en el manual de operaciones del motor Rotax 912 ULS.

## 2.2 Propuesta de Diseño

El circuito electrónico que se requiere implementar incluye varias etapas, las cuales se encargarán de realizar las diferentes gestiones de hardware como de software, con este fin se elabora un diagrama de bloques, con los elementos que requiere el sistema, para la

adquisición y registro de datos. En el Figura 19. se observa la idea general de la propuesta de este diseño.

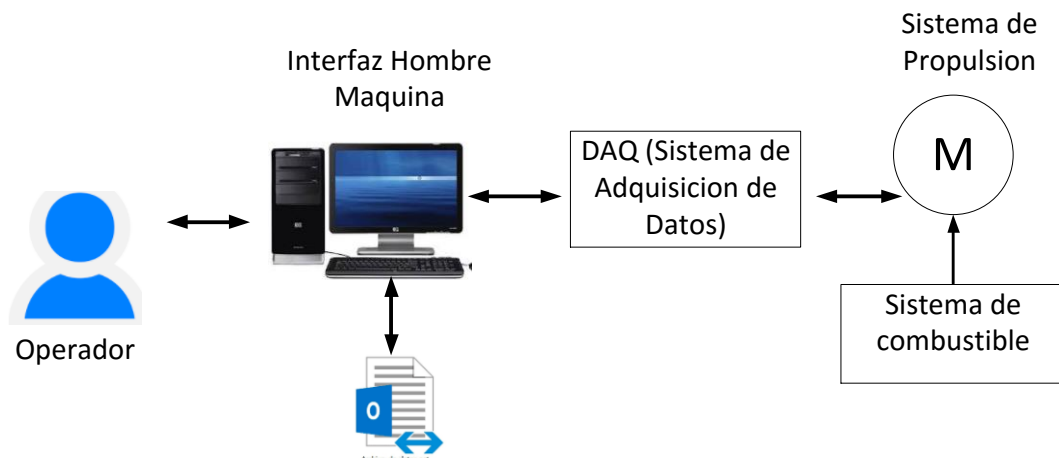


Figura 19. Sistema de adquisición y registro de variables del motor ROTAX 912 ULS

### 2.3 Requerimientos Técnicos

El sistema de adquisición de datos y control del motor ROTAX 912 ULS debe tener la capacidad de transmitir la información de varios sensores en tiempo real. La ejecución de las tareas de control en lo referente al encendido y apagado del motor deben ser determinísticas, es decir se ejecutarán cuando el operador lo requiera.

En base a la tabla 2 en la cual se tiene el tipo de variables que serán monitoreadas y almacenadas se realiza el correspondiente análisis en referente a los equipos existentes en las bodegas de abastos del CIDFAE.

Las variables por adquirir son señales variantes en el tiempo (señales análogas) como la temperatura la presión, RPMs y nivel de combustible. Por otra parte, las variables de control son el encendido y el apagado del motor ROTAX 912 ULS tienen dos estados prendido o apagado (señales digitales).

Para las señales análogas el CIDFAE cuenta con el módulo de adquisición y acondicionamiento de señales de la serie C con identificador NI9219 como muestra la Figura 20. el mismo que presenta las siguientes características.



Figura 20. NI 9219.

Fuente: (National Instruments, 2015)

- El NI 9219 admite alta resolución para la adquisición de señales físicas, es robusto a ruidos provenientes de 50 y 60 Hz.
- Cuenta con cuatro canales análogos de entrada la resolución de cada canal es de 24 bits, las muestras de las señales son adquiridas de forma simultánea.
- Esta desarrollado bajo el estándar IEEE 1451.4 de clase 2 (Interfaz)

Para la adquisición y operación de señales digitales se cuenta con el módulo de la serie C 9401 figura 21.



Figura 21. NI9401.

Fuente: (National Instruments).

Las características del módulo NI9401 son las siguientes. Tiene 8 canales Bidireccionales, la salida es de 5 Voltios de DC/TTL, para la configuración utiliza 4 bits pudiendo ser utilizado como un módulo de 8 salidas digitales, 8 entradas digitales, o poder ser 4 entradas digitales y cuatro salidas digitales esto es posible por la tecnología RIO.

El módulo puede ser utilizado para implementar contadores/temporizadores personalizados de alta velocidad; protocolos de comunicación digital; generación de pulso y más. Cada canal tiene aislamiento transitorio entre los canales de E/S y el plano trasero. La agrupación de los canales es de la siguiente manera DIO0, DIO1, DIO2, DIO3 están en el primer puerto mientras que DIO4, DIO5, DIO6, DIO7 están en el segundo puerto.

En la figura 22 se muestra el diagrama de pines del dispositivo NI9401.

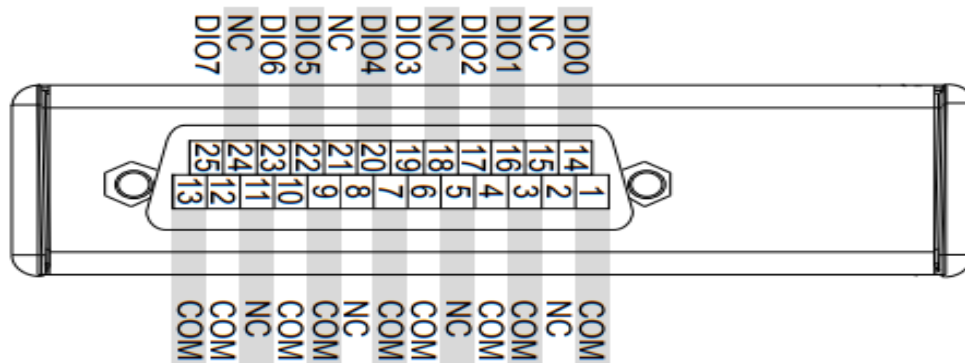


Figura 22. Pines de conexión del módulo NI9401.

Fuente: (National Instruments, 2011).

National Instruments emplea la tecnología Field Program Gate Array (FPGA) los equipos descritos en la figura 20 y en la figura 21 son módulos que no pueden ser programados de forma independiente, los módulos mencionados dependen de un dispositivo que contenga la lógica de programación para ejecutar las tareas de adquisición de datos y control de procesos, también requieren de un dispositivo que interconecte los módulos de adquisición de datos con el dispositivo que contiene el algoritmo de adquisición de datos y control de procesos.



La figura 23 muestra los dispositivos necesarios para realizar un proyecto con tecnología CRIO.



*Figura 23.* NI 9014 y NI 9114.

Fuente: (National Instruments, 2016)

## 2.4 Algoritmo de funcionamiento del sistema de adquisición de datos y del HMI

Analizando los requerimientos del CIDFAE y las tareas que debe cumplir el sistema planteado para el desarrollo se realiza el análisis lógico de funcionamiento representado en las figuras 24 y 25 que se debe implementar para realizar las tareas de adquisición de datos y las tareas de control de motor ROTAX 912 ULS.

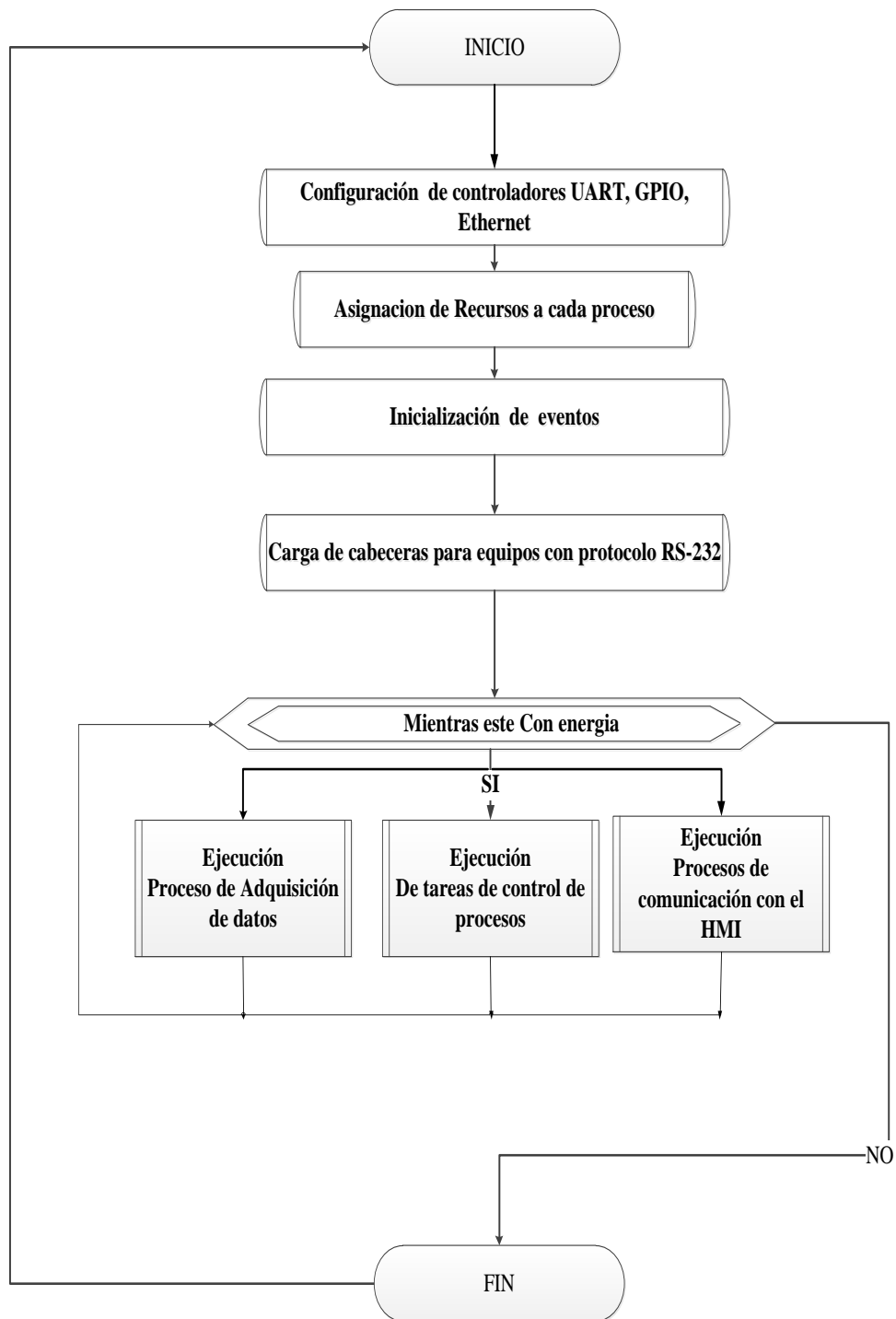


Figura 24. Algoritmo de funcionamiento del sistema de adquisición de datos

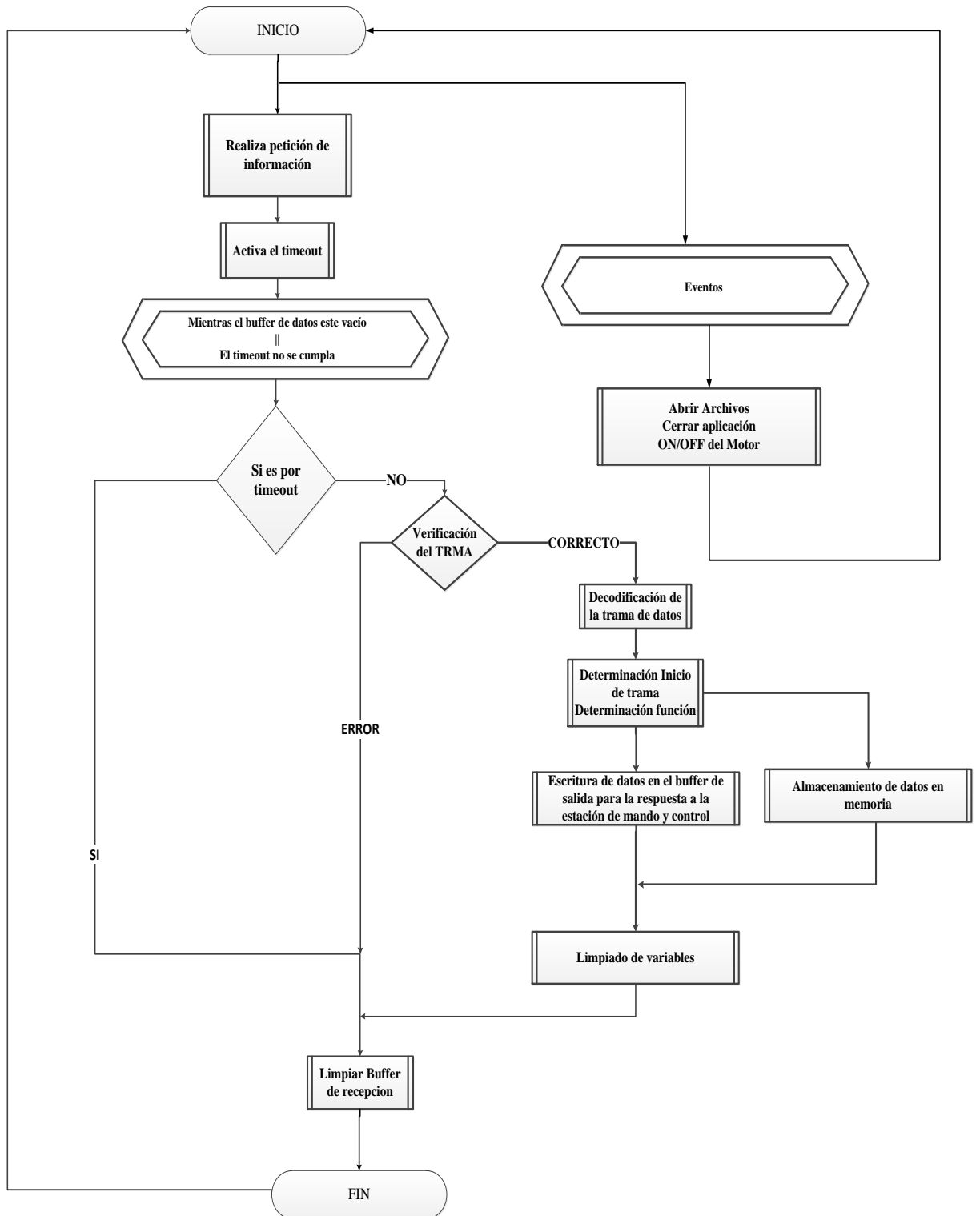


Figura 25. Algoritmo de funcionamiento del HMI

2.4.1 Diseño del sistema de adquisición y de datos control

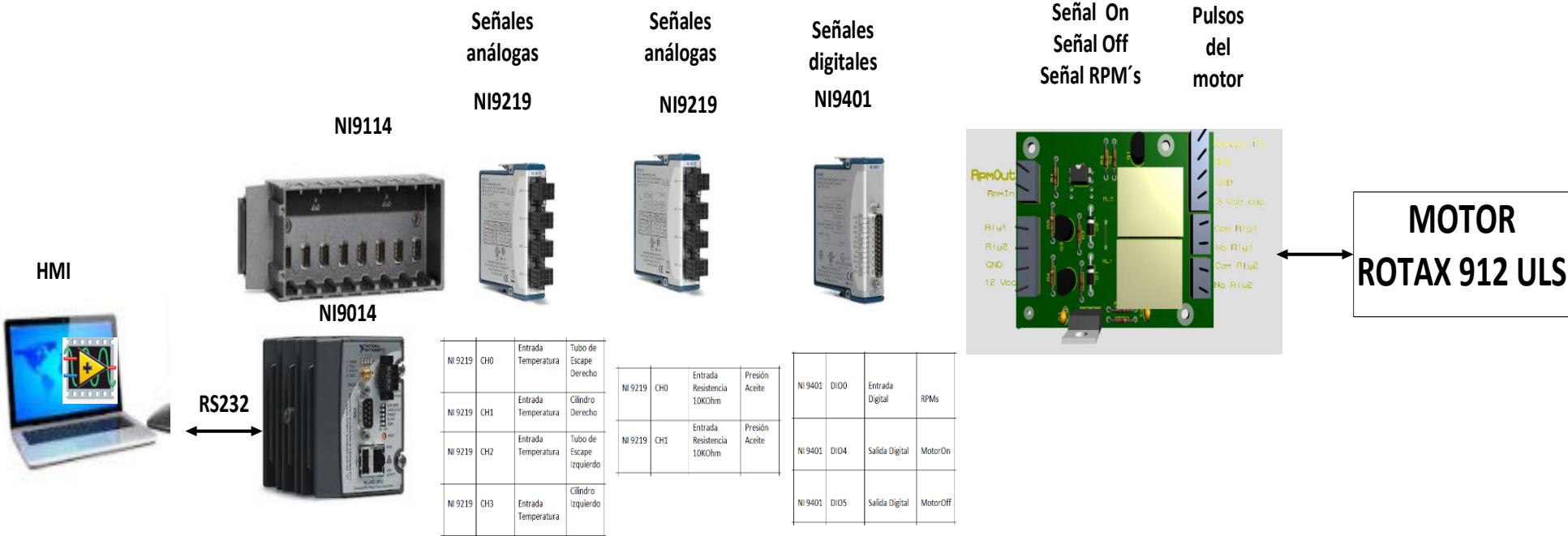


Figura 26. Arquitectura de todo el sistema de funcionamiento del motor ROTAX 912 ULS.

La interfaz HMI del sistema de monitoreo y registro de variables está desarrollada bajo la aplicación de escritorio LabVIEW. La tabla 3 muestra el distributivo que se utiliza para la asignación de las variables físicamente en equipo de adquisición de datos.

Tabla 3.

*Asignación de módulos y señales físicas del motor*

<b>Slot NI9114</b>	<b>Modulo</b>	<b>ID MODULO</b>	<b>Configuración</b>	<b>Señal</b>	<b>Función</b>	<b>Comentario</b>
<b>6</b>	NI9401	DIO0	Entrada digital	RPMs	Adquiere la señal del sensor inductivo del motor ROTAX 912 ULS	Adquiere la señal de la tarjeta de adquisición de señales (Desarrollada por el Autor)
<b>6</b>	NI9401	DIO4	Salida digital	Motor On	Salida digital que enciende el motor ROTAX 912 ULS	Adquiere la señal de la tarjeta de adquisición de señales (Desarrollada por el Autor)
<b>6</b>	NI 9401	DIO5	Salida digital	Motor Off	Salida digital que apaga el motor ROTAX 912 ULS	Adquiere la señal de la tarjeta de adquisición de señales (Desarrollada por el Autor)
<b>7</b>	NI 9219	CH0	Entrada resistencia 10KOhm	Presión aceite	Mide la presión del sensor resistivo de aceite	Adquiere la señal directa del sensor resistivo de presión de
<b>7</b>	NI 9219	CH1	Entrada resistencia 10KOhm	Presión Aceite	Mide la presión del sensor resistivo de aceite	Adquiere la señal directa del sensor resistivo de presión de
<b>8</b>	NI 9219	CH0	Entrada Temperatura	Tubo de Escape Derecho	Mide la temperatura del tubo de escape derecho	Es una termocupla tipo K

8	NI 9219	CH1	Entrada temperatura	Cilindro derecho	Mide la temperatura del cilindro derecho	Es una termocupla tipo K
8	NI 9219	CH2	Entrada temperatura	Tubo de escape izquierdo	Mide la temperatura del tubo de escape izquierdo	Es una termocupla tipo K
8	NI 9219	CH3	Entrada temperatura	Cilindro izquierdo	Mide la temperatura del cilindro izquierdo	Es una Termocupla tipo K

Para realizar la aplicación en LabVIEW se efectuó el siguiente procedimiento.

Creación de un nuevo proyecto en el entorno LabVIEW. Figura 27 Para ello abrir el software LabVIEW y seleccionar la opción crear nuevo proyecto.

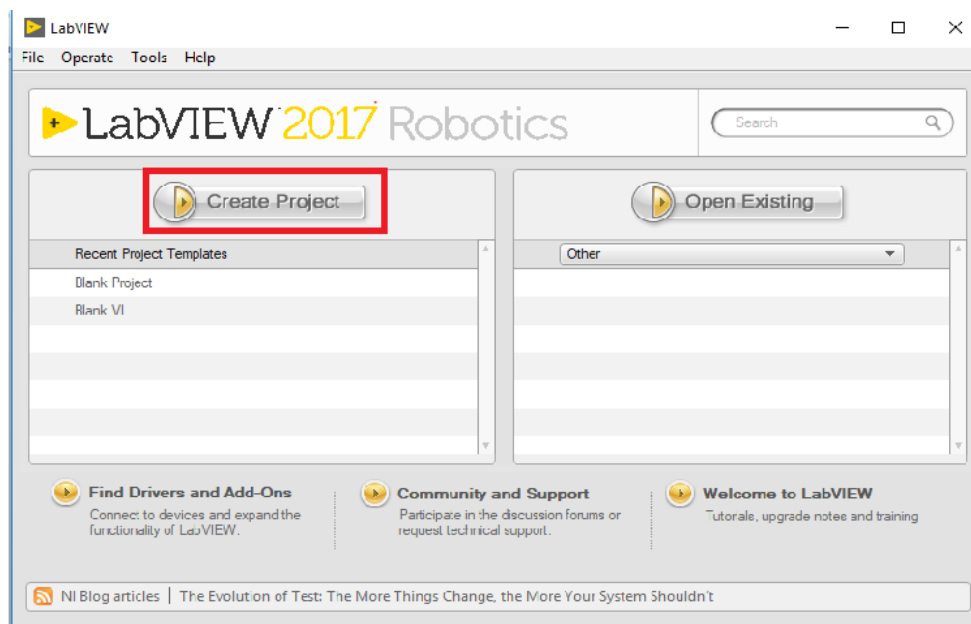


Figura 27. Creación de un nuevo proyecto en LabVIEW

Seleccionar proyecto en blanco figura 28 y dar en siguiente figura 29.

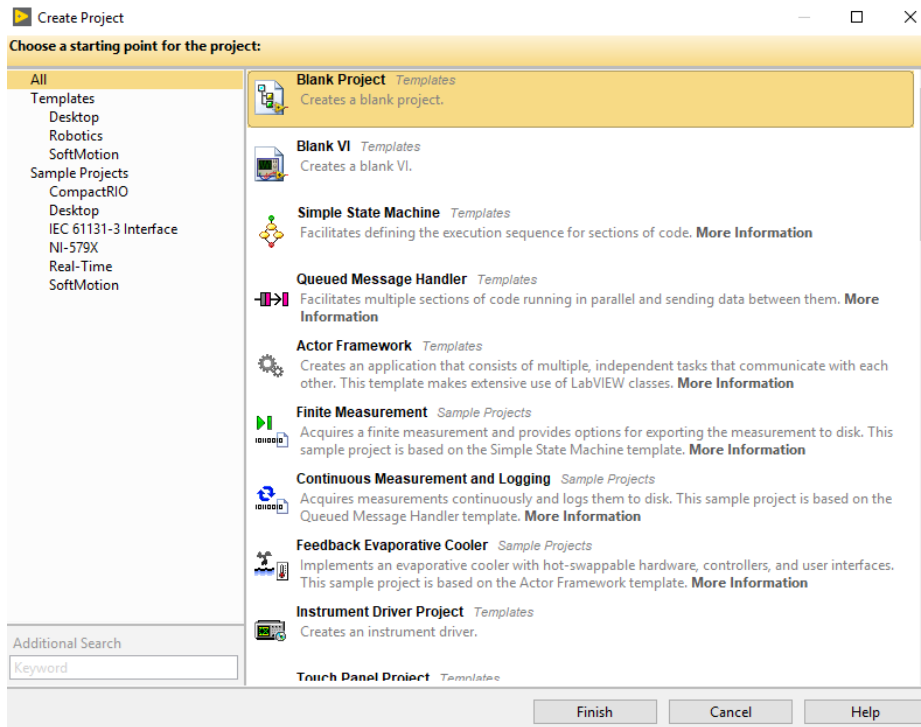


Figura 28. Creación de un proyecto en blanco en LabVIEW

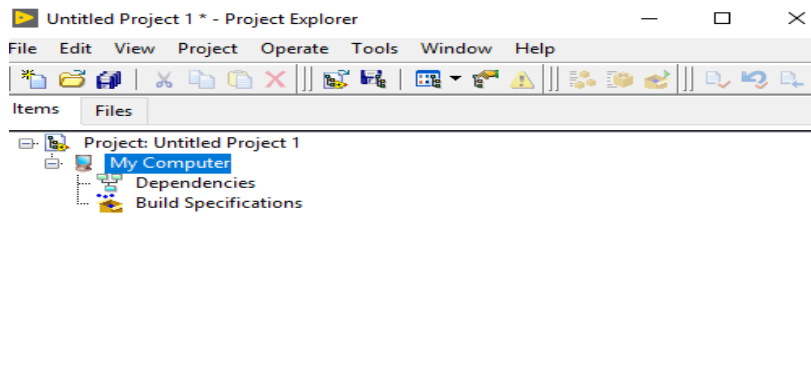


Figura 29. Interface de un proyecto en blanco en LabVIEW

Guarde la aplicación figura 30 y dele un nombre acorde a lo que se esté desarrollando. Para el presente trabajo le asignaremos el nombre Fox\_*bp*

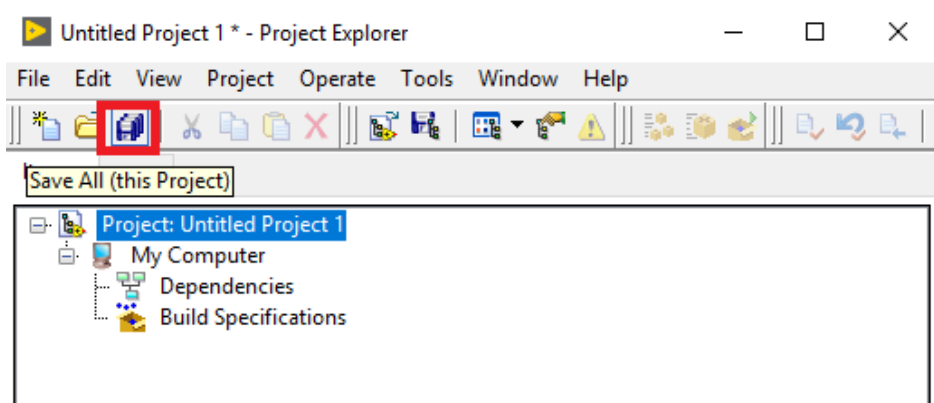


Figura 30. Guardando el proyecto

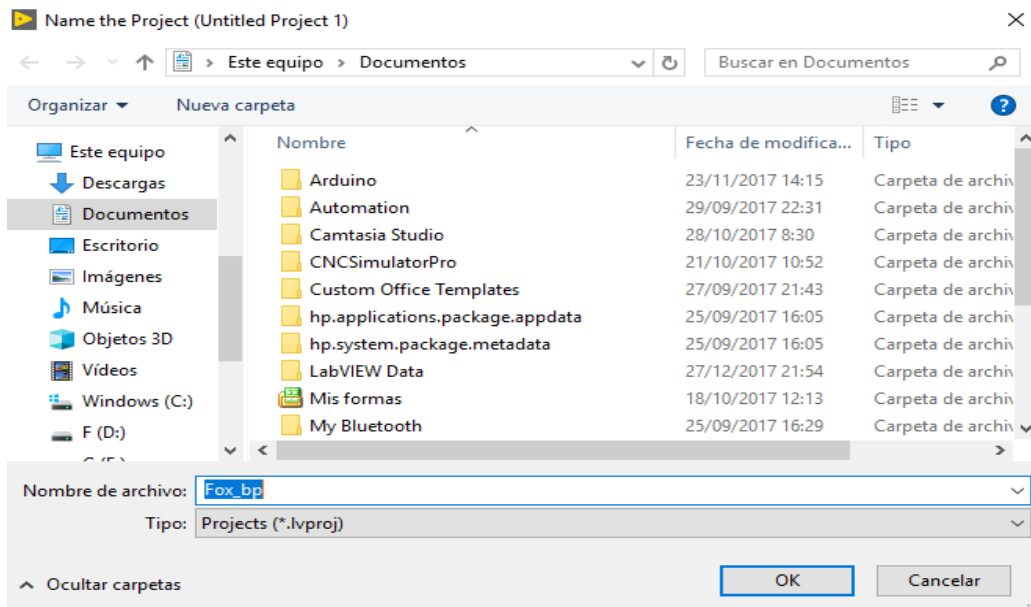


Figura 31. Ubicando y guardando el proyecto

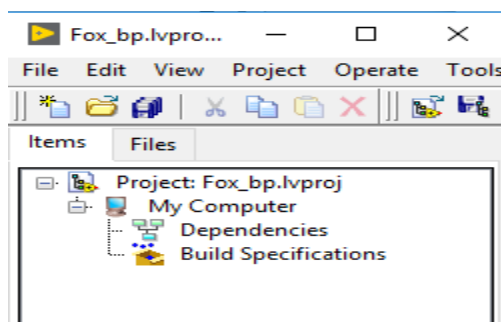


Figura 32. Interfaz del proyecto guardado



Seguidamente agregue un nuevo VI como muestra la figura 33.

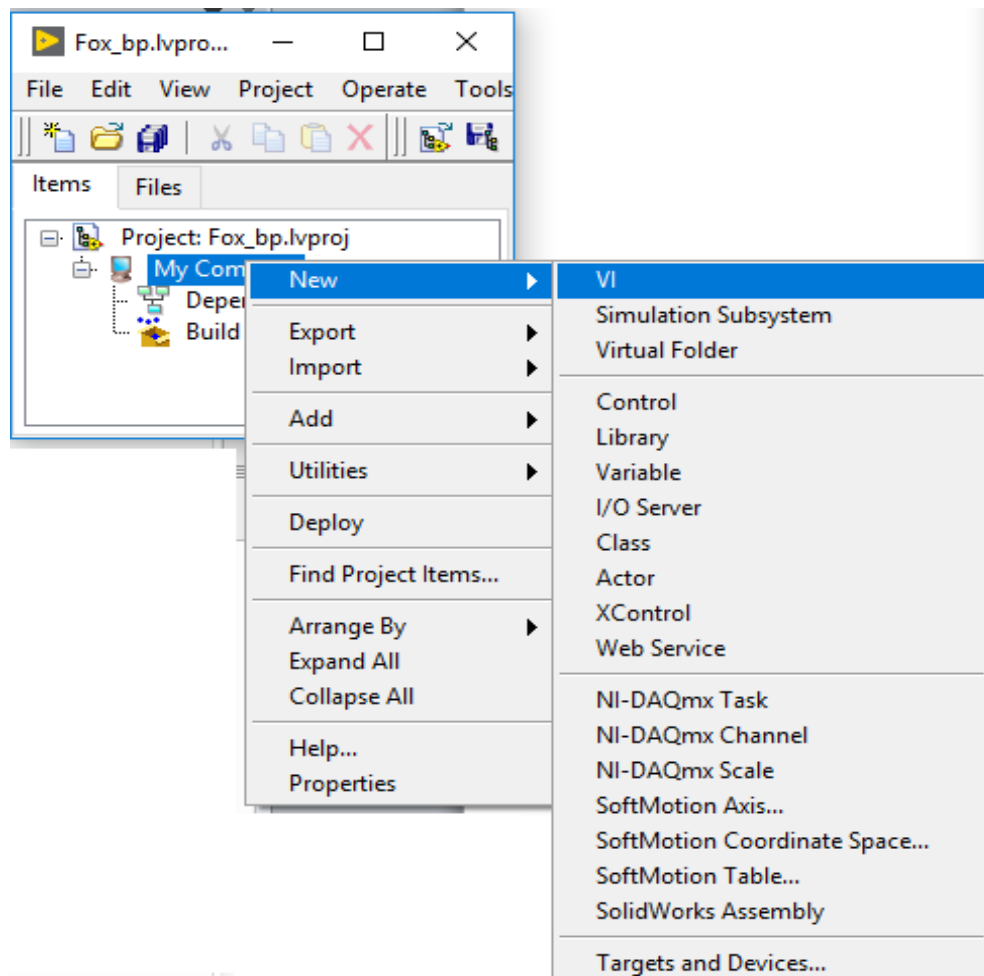


Figura 33. Creación de un VI

A continuación, se guarda el VI para este proyecto se dio el nombre de ***Principal\_HM*** como muestra la figura 34.

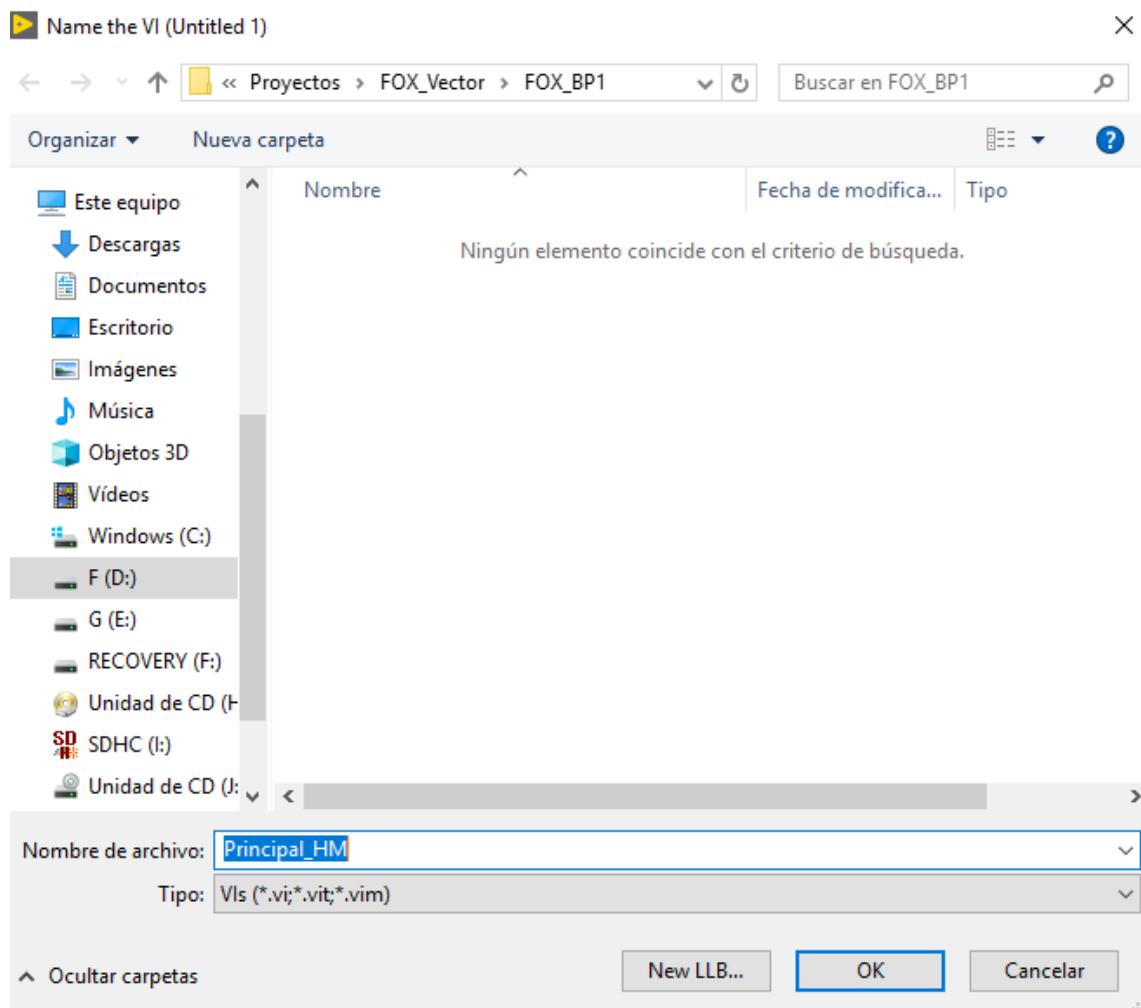


Figura 34. Guardando el VI principal

La manera de importar los datos generados por el sistema de adquisición es mediante la interface RS-232 y con un protocolo desarrollado por el autor del presente trabajo.

Configuración del hardware para la comunicación serial RS-232. El módulo de Visa *Serial port* permite asignar los parámetros necesarios para la operación de la interface en la figura 35 se muestra la configuración.

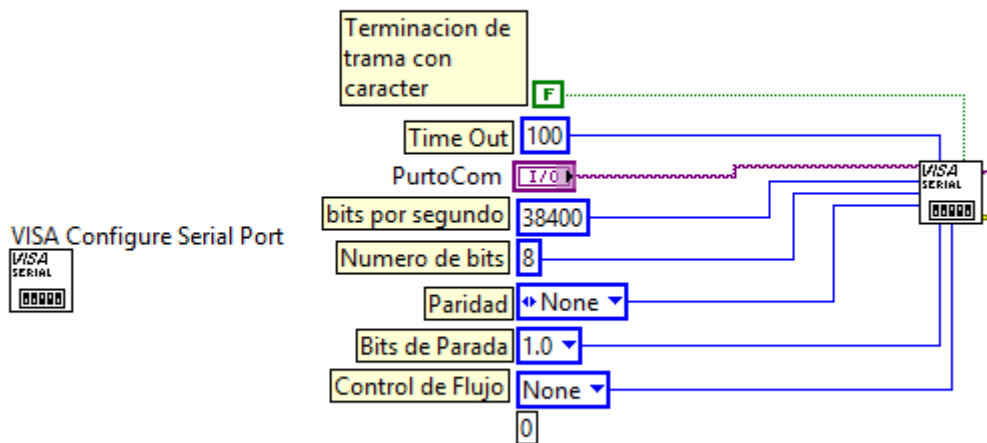


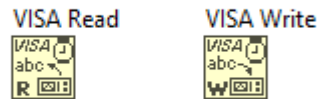
Figura 35. Configuración del puerto serial de comunicaciones

Otras herramientas necesarias para la implementación del intercambio de información mediante la vía serial son el set del Buffer y el vaciado de los datos que se encuentran en el buffer. La figura 36 muestra las herramientas y la respectiva configuración.



Figura 36. Herramientas de limpieza de buffer

Mientras que las funciones de lectura y escritura de información se muestran en la figura 37.



*Figura 37.* Funciones de lectura escritura en LabVIEW.

Para más información sobre las funciones anteriormente explicadas o para cualquier otra se recomienda revisar la ayuda de NI en el menú de barras principal.

El desarrollo de la aplicación se ha dividido en las siguientes etapas.

- Etapa de Configuración del Sistema de adquisición de datos
- Etapa de control
- Etapa de alimentación AC/ DC
- Etapa de instrumentación
- Etapa de comunicación
- Etapa de visualización HMI

#### **2.4.2 Etapa de Configuración del Sistema de adquisición de datos**

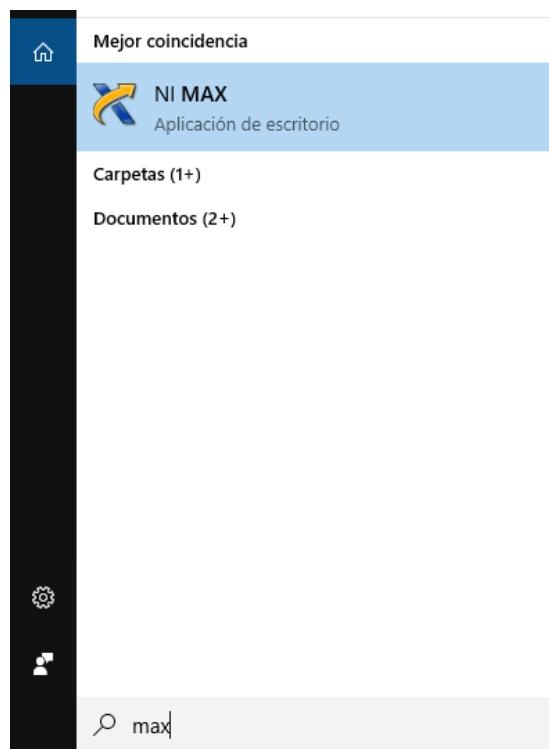
Como se explica en la sección 2.1 el dispositivo CRIO tiene la capacidad de ser configurado en base al tipo de sensor que se tenga. La adquisición y acondicionamiento de señales lo realiza cada módulo conectado al chasis del CRIO.

Acoplar el módulo NI 9014 con el 9114 como se muestra en la figura 38.



*Figura 38.* Acople de los componentes NI9014 y NI9114

Mediante la ayuda del MAX figura 39 (Measurement & Automation Explore) de National Instruments configure una dirección IP en dispositivo CRIO.



*Figura 39.* Measurement & Automation Explore

En la opción Remote Systems se encuentra el dispositivo CRIO el cual debe ser puesto en la misma red de nuestro computador para ser accedido.

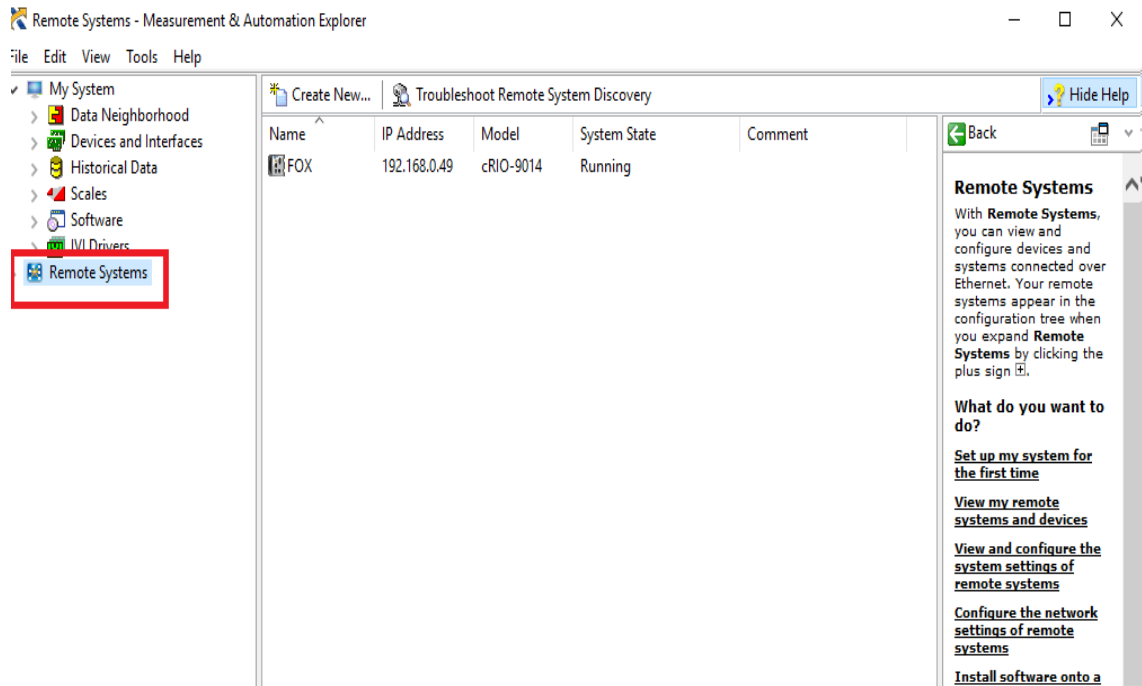


Figura 40. Remote Systems

Asigne un nombre que al dispositivo como se muestra en la figura 41.

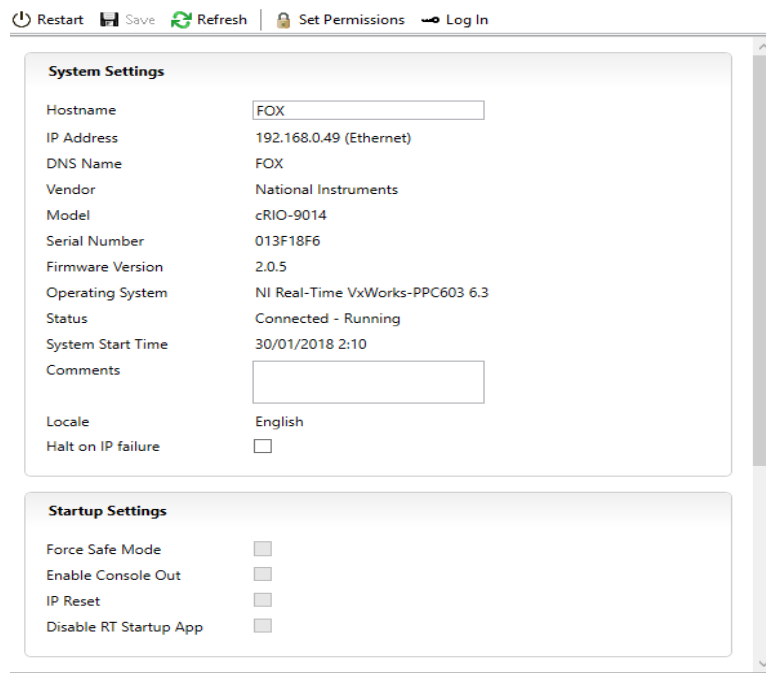


Figura 41. Asignación de un nombre al CRIO

En la opción Network Settings ubicado en la parte inferior de la figura 42 establezca la dirección IP de la red del dispositivo CRIO

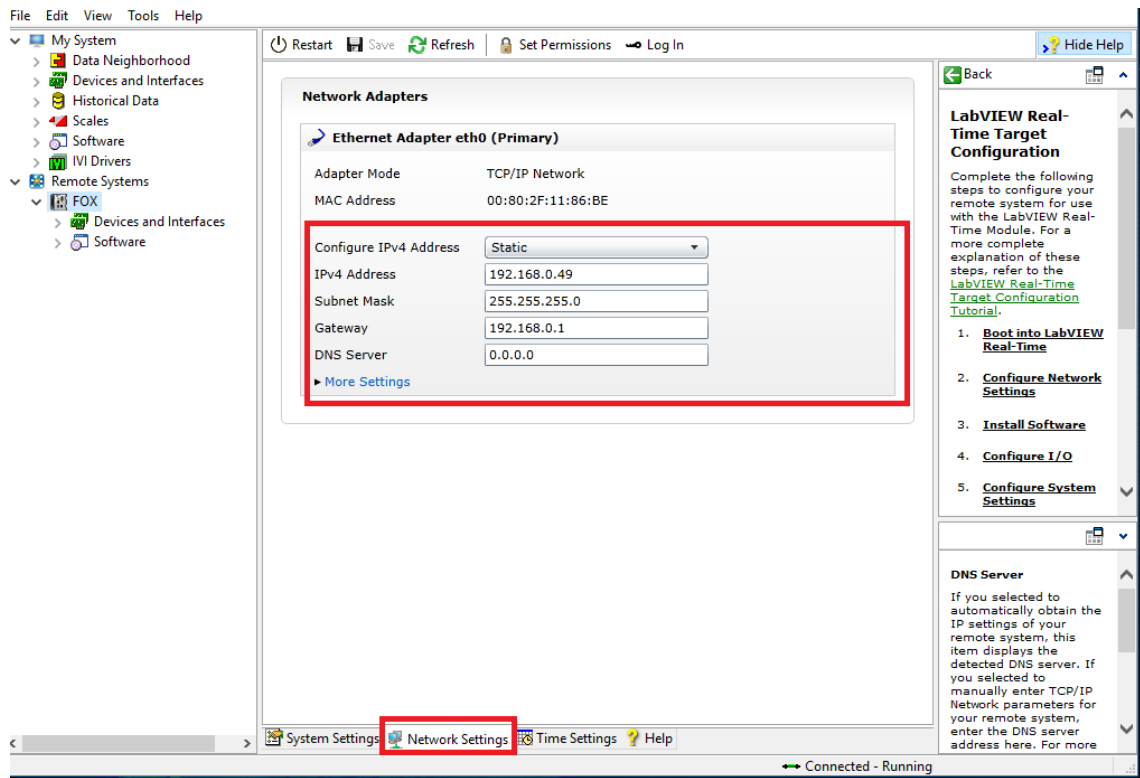


Figura 42. Asignación de IP al CRIO

Una vez configurado el dispositivo se podrá ver el nombre y la IP del CRIO figura 43.

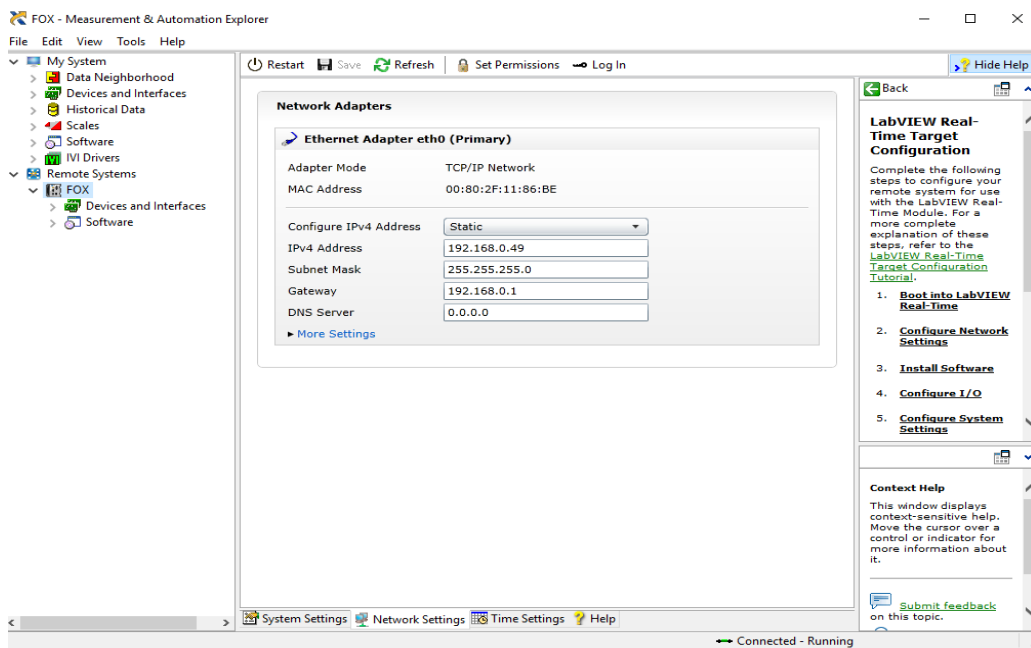


Figura 43. CRIO Configurado con nombre & IP

### 2.4.3 Etapa de Control

El sistema cuenta con el arranque y apagado del motor ROTAX 912 ULS. Las señales mencionadas reciben estado de cierre de contacto mediante un relé. El CRIO no tiene salidas de relé las salidas digitales con las que el dispositivo cuenta son salidas digitales de transistor. Por la razón expuesta es necesario diseñar una tarjeta de acondicionamiento de señales.

La tarjeta de acondicionamiento de señales también soportara la entrada del magneto que emite la señal de RPMs del motor. La señal que emite el magneto es de frecuencia variable y tiene un voltaje de 12 Voltios razón por la cual es necesario acondicionar para tener amplitud de 5 Voltios como máximo.

En la figura 44 se muestra el esquema del circuito de acondicionamiento. Con el propósito de preservar los equipos y componentes del sistema de adquisición de datos el acople de señales que emite el magneto es óptico mediante el circuito integrado PC817 . Por otra parte, la señal de acoplamiento para el encendido y apagado del motor se realiza mediante relés figura 45. La fuente de alimentación de circuito está diseñada mediante el circuito integrado LM317 figura 46.

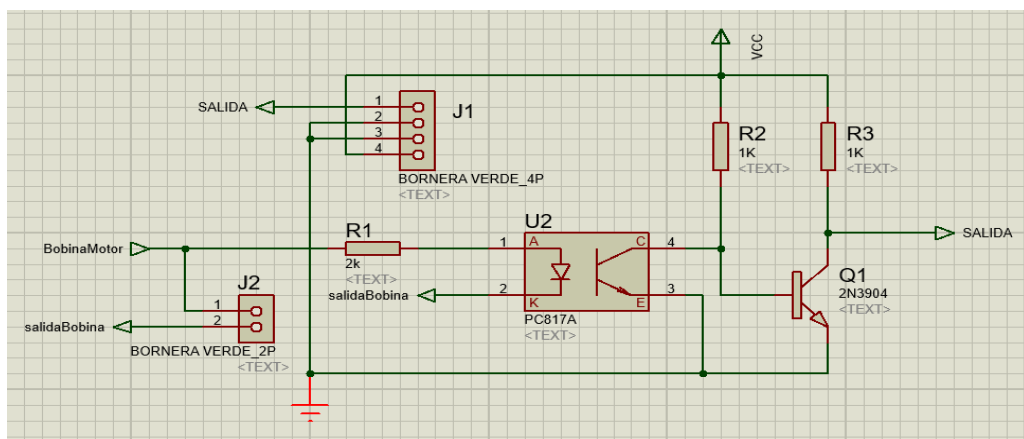


Figura 44. Acondicionamiento óptico de la señal magnética de las RPMs



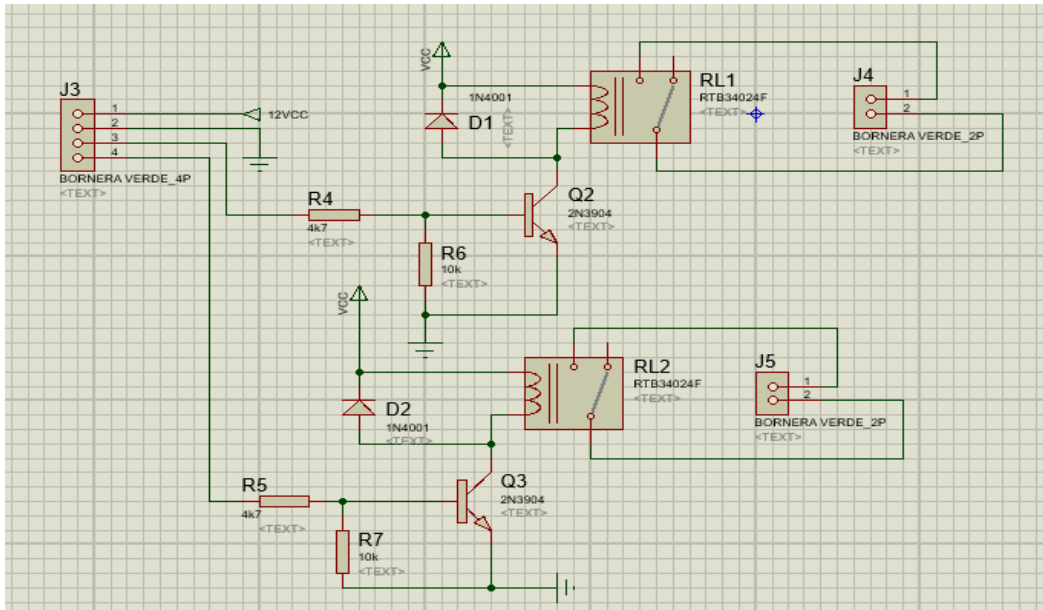


Figura 45. Acondicionamiento de las señales On/Off del Motor

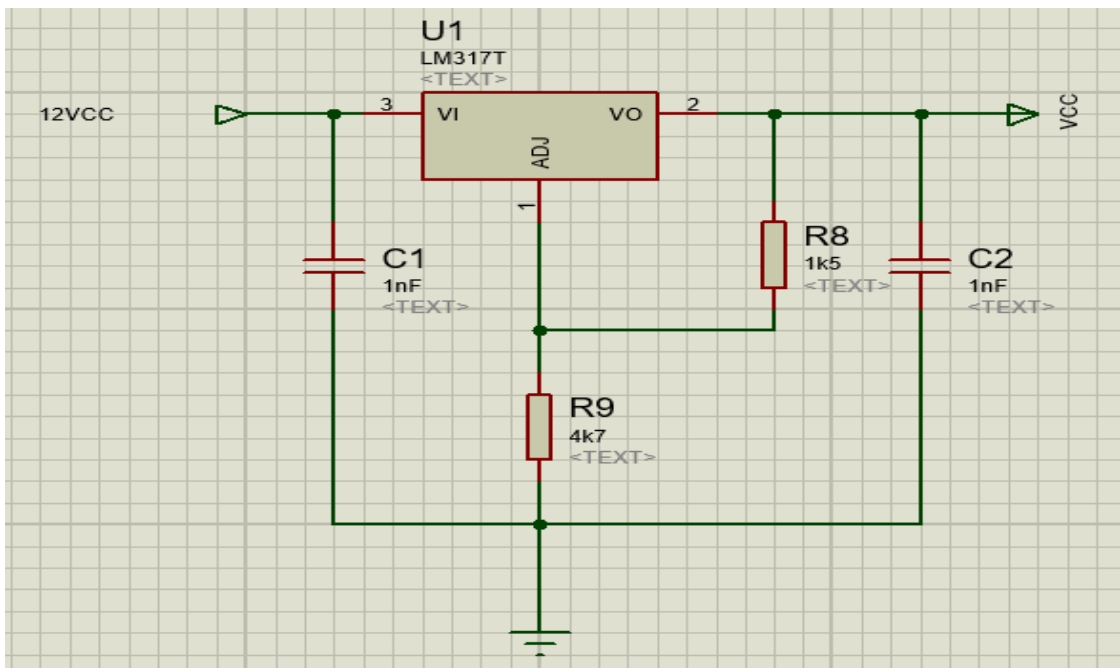


Figura 46. Fuente de la tarjeta de acondicionamiento de señales

#### 2.4.4 Etapa de Alimentación de corriente al CRIO

El dispositivo CRIO está diseñado para ser alimentado mediante corriente directa con un rango de 9 a 35 VCC. Por esta razón es posible utilizar una batería o una fuente que

este en ese rango de voltaje, con la consideración de que el sistema requiere 20 Wattios a 9 voltios.

### 2.4.5 Etapa de Instrumentación

El sistema CRIO es configurado en base a la tabla 3 descrita anteriormente en este capítulo, para agregar y configurar el CRIO al proyecto de LabVIEW procedemos a seguir los siguientes pasos.

Agregar el CRIO al sistema dar click derecho sobre el icono Project Fox\_bp/New/Targets and Devices, como muestra la figura 47.

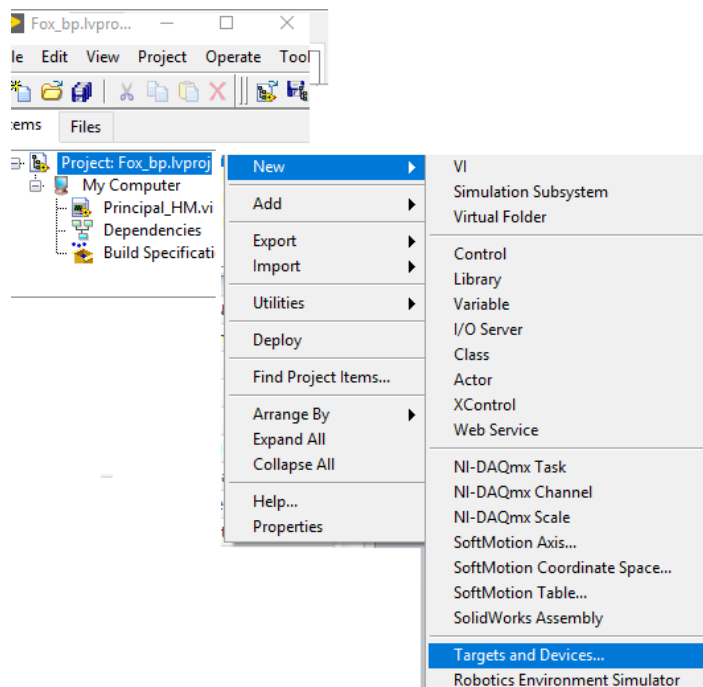


Figura 47. Agregar el CRIO al proyecto Fox\_bp.

Fuente: Elaborado por el Autor.

En el cuadro de dialogo figura 48. escoger la opción encontrar una tarjeta o dispositivo existente. Seguidamente seleccionar la opción Real-Time CompactRio se presentará la opción de FOX como se procedió a asignar el nombre en la *Etapa de Configuración del Sistema de adquisición de datos* escoja la tarjeta FOX y de click en OK.

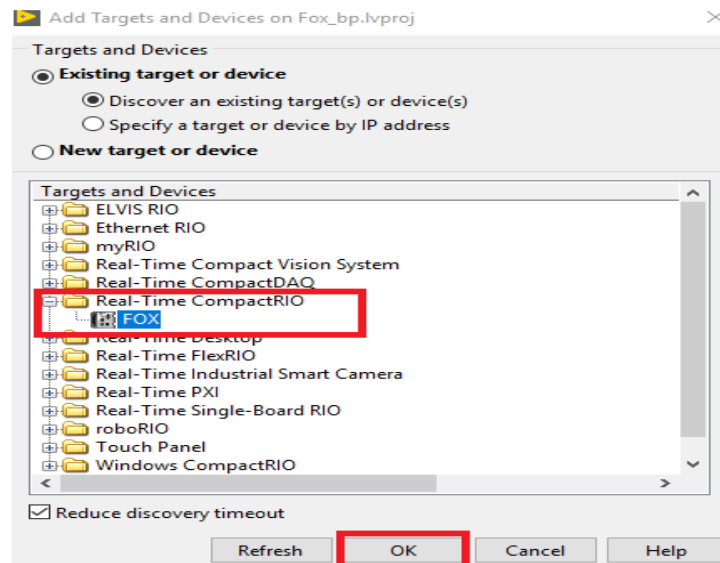


Figura 48. Agregando el CRIO (FOX) al proyecto

Con el dispositivo FOX agregado al proyecto figura 49, se realiza clic derecho sobre el icono FOX y seleccionar conectar se podrá apreciar de color verde el icono del FOX que indica que está en línea para poder programar las tareas de adquisición y control necesarias del proceso para el motor ROTAX 912 ULS.

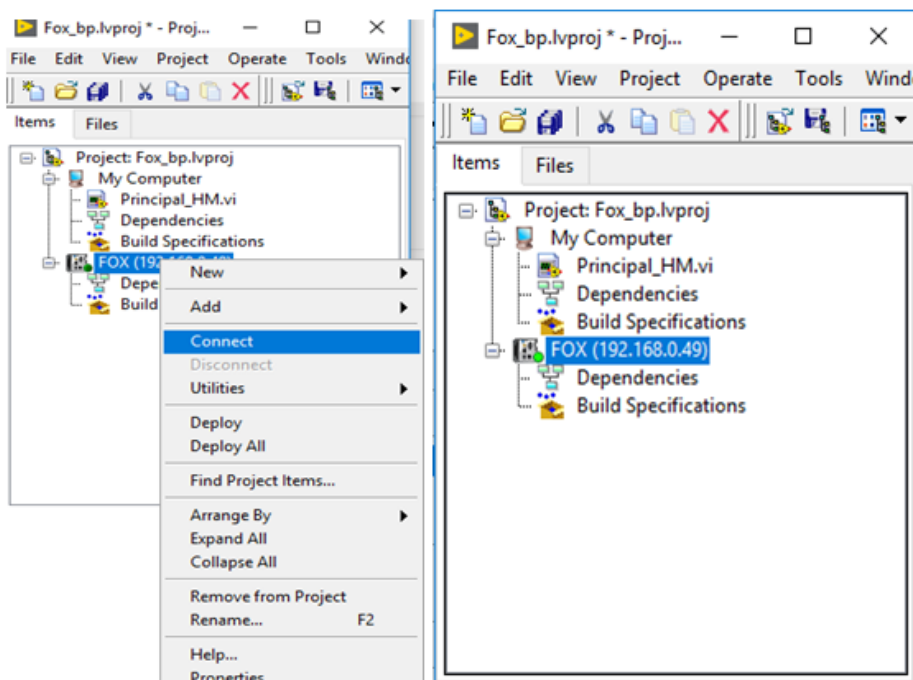


Figura 49. Estableciendo conexión entre el CRIO (FOX) y el PC.

Con el dispositivo agregar al PC lo siguiente es agregar los módulos que realizaran el acondicionamiento y la adquisición de las variables físicas del motor ROTAX 912 ULS en base a la tabla 3. El procedimiento para agregar los módulos al dispositivo FOX se detalla a continuación.

El primer módulo que agregar es el chasis NI9114 para ello sobre el icono FOX clic derecho New/Targets and Devices., como muestra la figura 50.

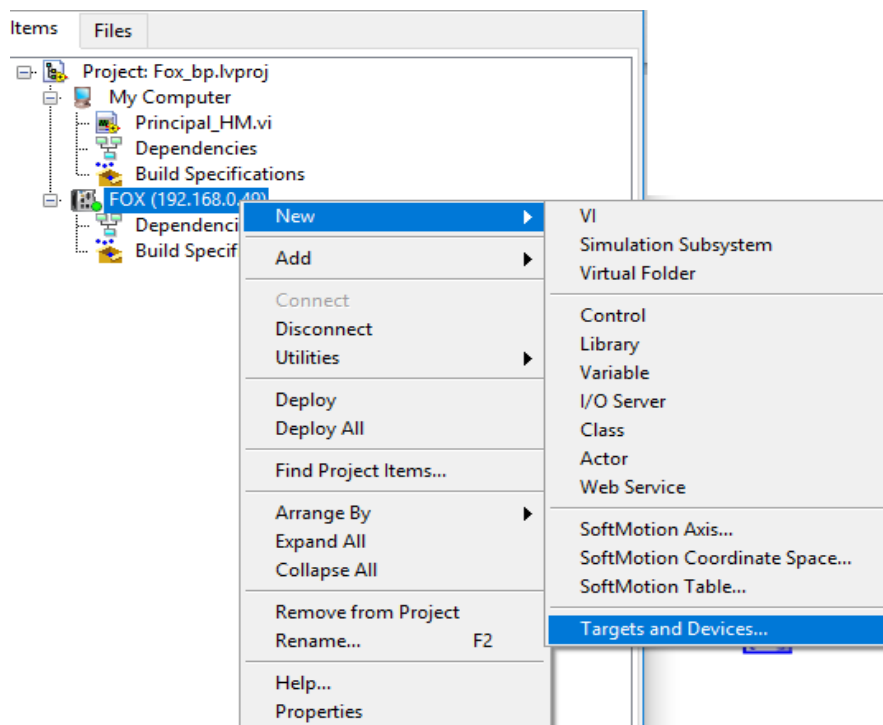


Figura 50. Agregando el Chasis NI9114.

Seguidamente seleccionar la opción tarjeta o dispositivo existente en la opción CompactRIO Chasis seleccionar el dispositivo cRIO- 9114 y en OK para terminar la agregación de chasis al proyecto figura 51.

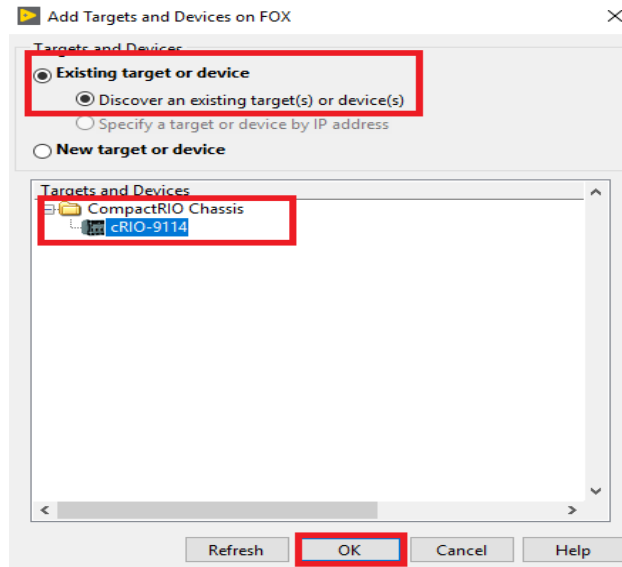


Figura 51. Agregar el chasis NI9114.

Con el chasis NI9114 incluido al proyecto y con los módulos conectados al chasis automáticamente se reconocerán el tipo de módulo y el slot en el que se encuentra. La figura 52, muestra la interface del FOX con el chasis o los módulos incluidos al proyecto.

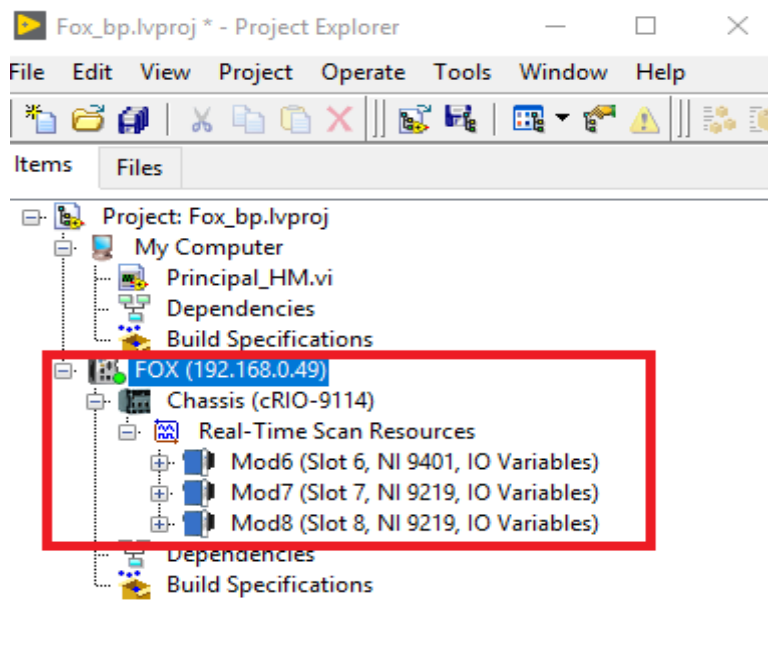


Figura 52. Chasis y módulos incluidos al proyecto

Para asignar un identificativo a cada puerto de entrada o salida se realiza el siguiente procedimiento:

Ubicarse sobre el módulo al cual se va a configurar click derecho/propiedades para el caso del NI9401 que es el módulo de entradas salidas digitales figura 53. Los módulos de la serie C de National Instruments están en la capacidad de poder ser editado el nombre, el slot en el chasis, los nombres de los puertos de salida. El módulo NI9401 tiene 8 puertos digitales numerados desde el DIO0 hasta el DIO7, los puertos digitales del módulo NI9401 se agrupan en dos grupos de cuatro pines cada uno. Para comprender mejor los pines DIO0- DIO1- DIO2- DIO3 están agrupados como un solo puerto y este puede ser configurado como salidas o como entradas digitales, los pines DIO4- DIO5- DIO6- DIO7 forman el grupo dos que de la misma manera pueden ser configurados como entradas o como salidas. Con respecto al nombre del pin de salida o entrada puede ser nombrado de manera personalizada para ello dar click derecho sobre el pin que se requiera (Rename) figura 54 modificar y asignar el nombre que se relacione con la función o el trabajo que realiza.

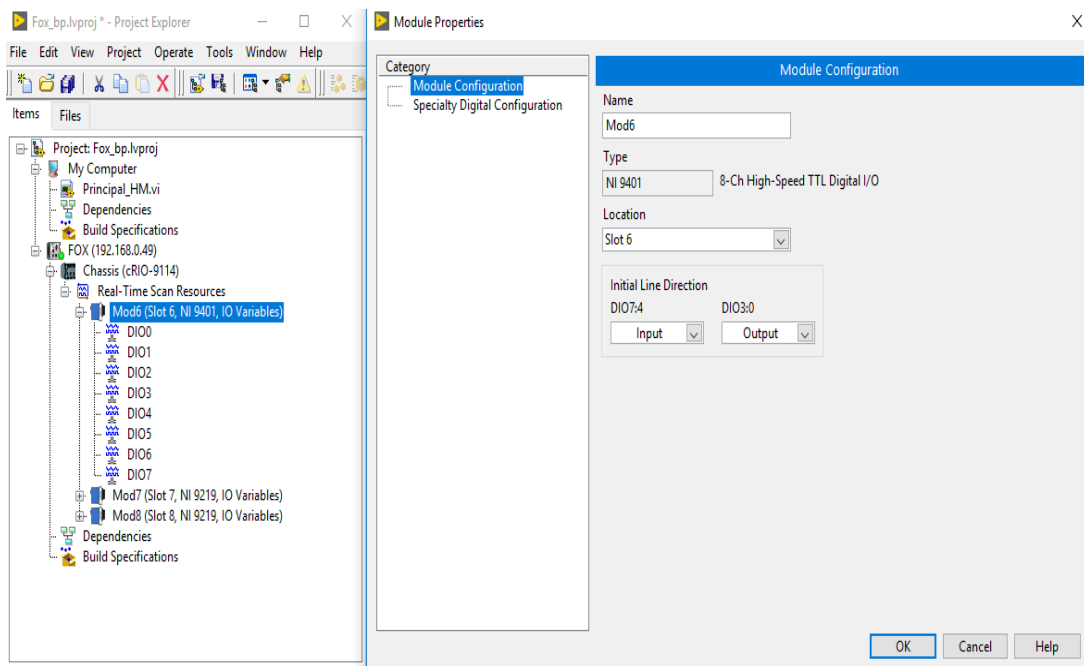


Figura 53. Configuración del módulo NI9401.

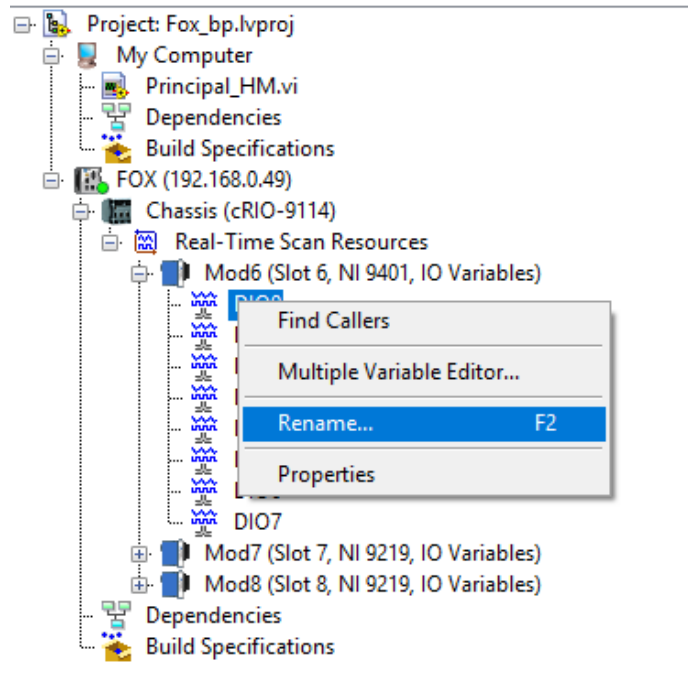


Figura 54. Renombrando el pin de salida o entrada digital

Para configurar y renombrar los pines del módulo NI9219 de la serie C de National Instruments se sigue el siguiente procedimiento.

Se debe hacer Click derecho sobre el módulo que se quiere renombrar y configurar seleccione Propiedades personalice el nombre, seleccione el canal y escoja la opción de entrada figura 55.

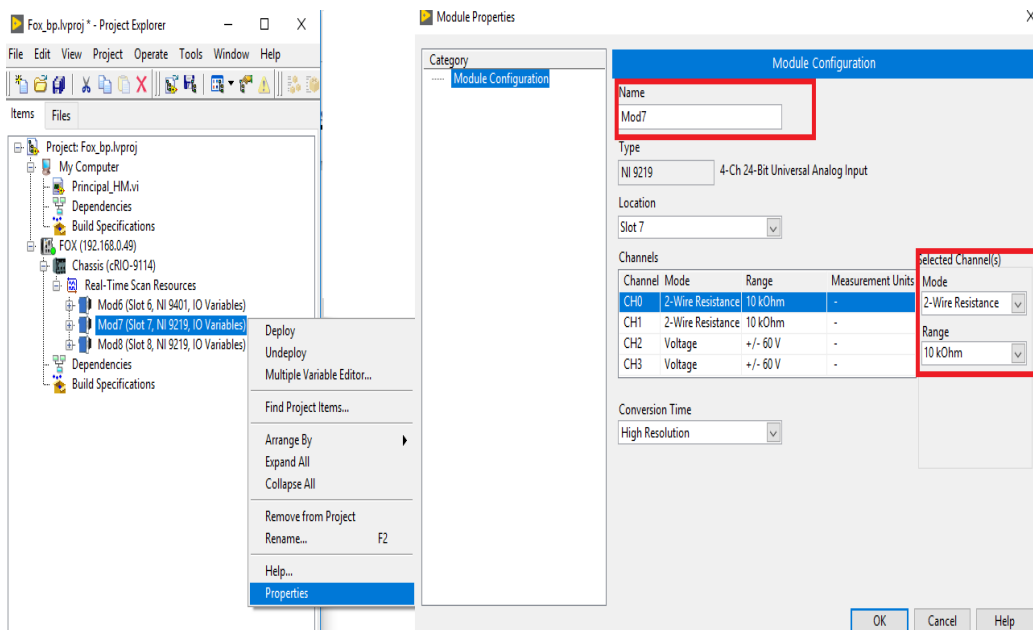


Figura 55. Personalización y configuración del módulo NI9219.

Con la configuración del chasis NI9114, de los módulos de la serie C NI9401 y NI9219 ya es posible agregar VI y SubVI para realizar las tareas expuestas en el algoritmo de la figura 24. La figura 56, muestra la configuración de los módulos en el FOX para proceder al a programación.

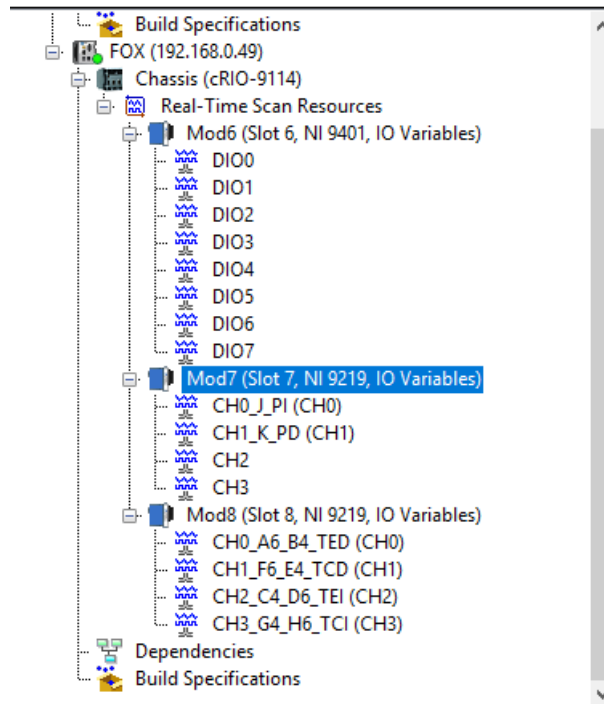


Figura 56. Configuración de FOX para el proyecto Fox\_bp.

Las tareas que realiza el dispositivo FOX comprenden adquisición de datos, control de tareas y comunicación con el HMI, la figura 58 muestra el código implantado para disponer de la información a nivel informático. Para crear un VI en la parte del dispositivo FOX de click derecho sobre el dispositivo FOX Nex/VI figura 57.

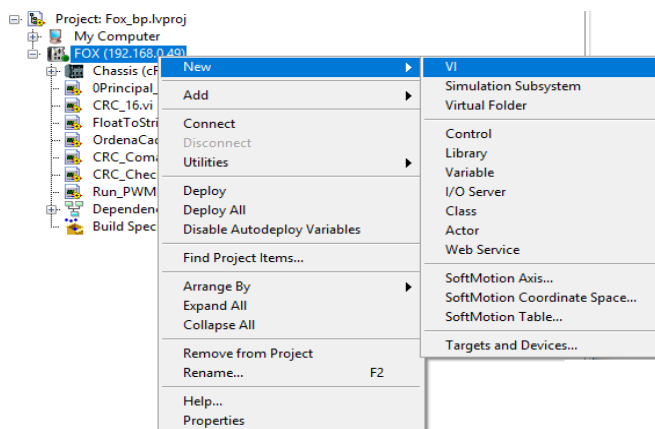


Figura 57. Creación de un VI en el dispositivo FOX.



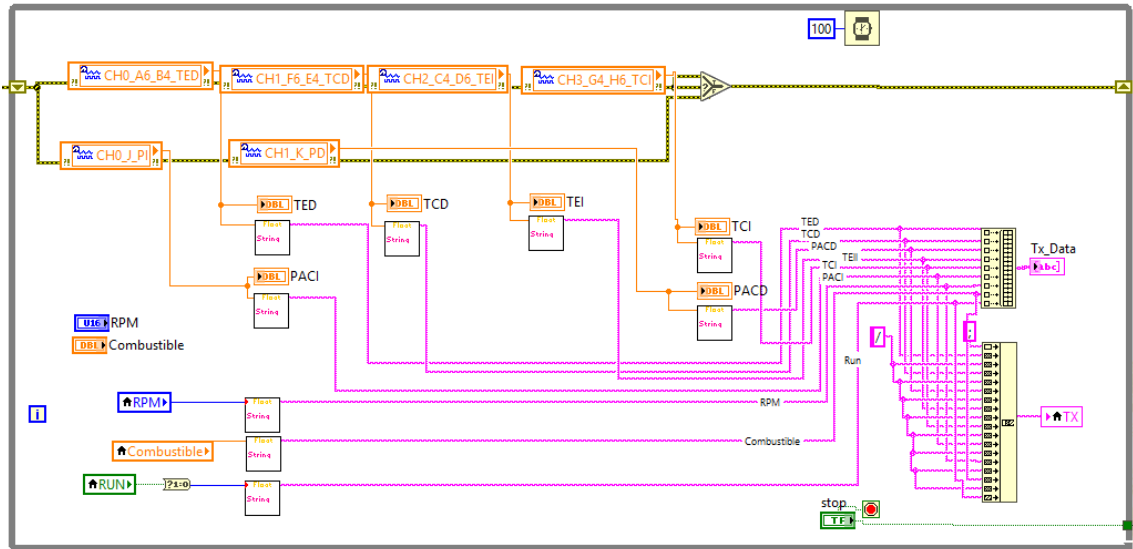


Figura 58. Código de adquisición de datos

En la figura 58, se muestran las variables que son adquiridas por el dispositivo FOX, los datos extraídos tienen formato numérico con punto flotante para poder transmitir esta información a la interfaz HMI. Medite la interfaz RS-232 es necesario ponerlos en formato string, para pasar los datos a formato string se utiliza un subvi. Con identificador FloatToSubstring como muestra la figura 59.

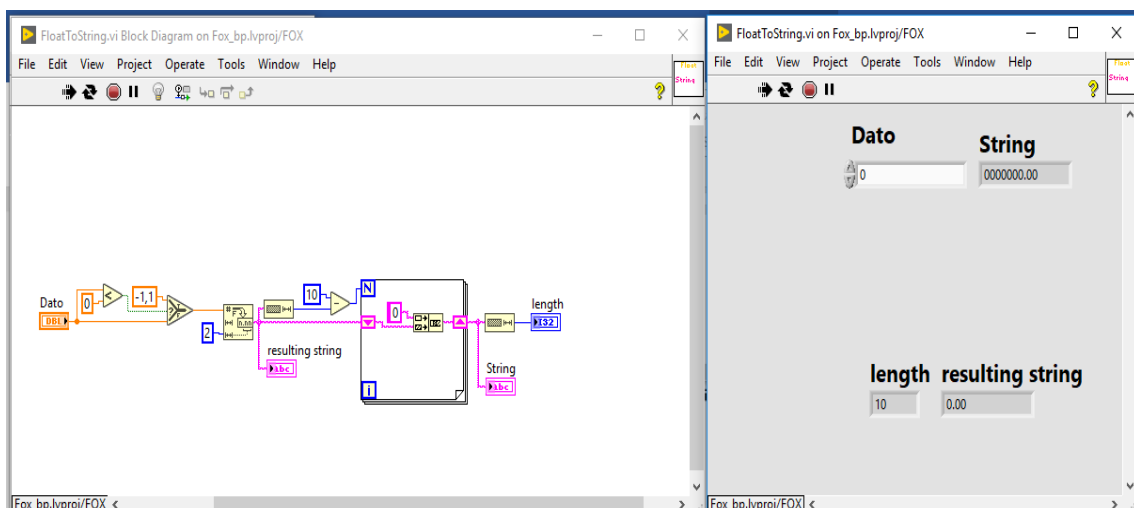


Figura 59. Conversión de datos Foat A String.

En la tarea de transmisión de información hacia el HMI se realizan las siguientes subtarear: configuración de puerto de comunicación, dimensionamiento del buffer, lectura de los datos presentes en el bus de datos, limpieza del buffer de datos, ordenar la trama obtenida del bus de datos, verificación del CRC, comparación del CRC de entrada con el esperado, generación del CRC para generar la repuesta, transmisión de información, si el CRC de entrada y no hay errores de comunicación asignar a las salidas de los módulos como se indica en la figura 60.

#### 2.4.6 Etapa de Comunicación

Para realizar las tareas de intercambio de información se utiliza la interfaz de comunicación RS232 con una trama de comunicaciones desarrollada por el autor del presente trabajo. La arquitectura de la trama de comunicaciones tiene la estructura de maestro esclavo es decir hay un dispositivo en este caso la interfaz HMI inicia el requerimiento de comunicaciones con una serie de caracteres que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4.

##### *Solicitud de información*

<b>Trama Pedido</b>		<b>ON/OFF F Motor</b>			<b>Aceleración [%]</b>			<b>CRCLO</b>	<b>CRCHI</b>
<b>Inicio</b>	<b>Función</b>	<b>Dato [0]</b>	<b>Dato [1]</b>	<b>Dato [2]</b>	<b>Dato [3]</b>	<b>Dato [4]</b>			
;	01	/	0-1	/	0...100	/	XX	XX	

La estructura de la trama se define así:

Inicio (;) Carácter especial que indica el inicio de una trama

Función (01) solicitud al dispositivo 1 en este caso solo existe un equipo conectado al bus de datos

Dato [0] (/) Este carácter indica el inicio y el fin de los datos de las funciones de control a ejecutar.

Dato [1] estado del motor “1 ON” y “0 OFF”

Dato [2] (/) Este carácter indica el inicio y el fin de los datos de las funciones de control a ejecutar.

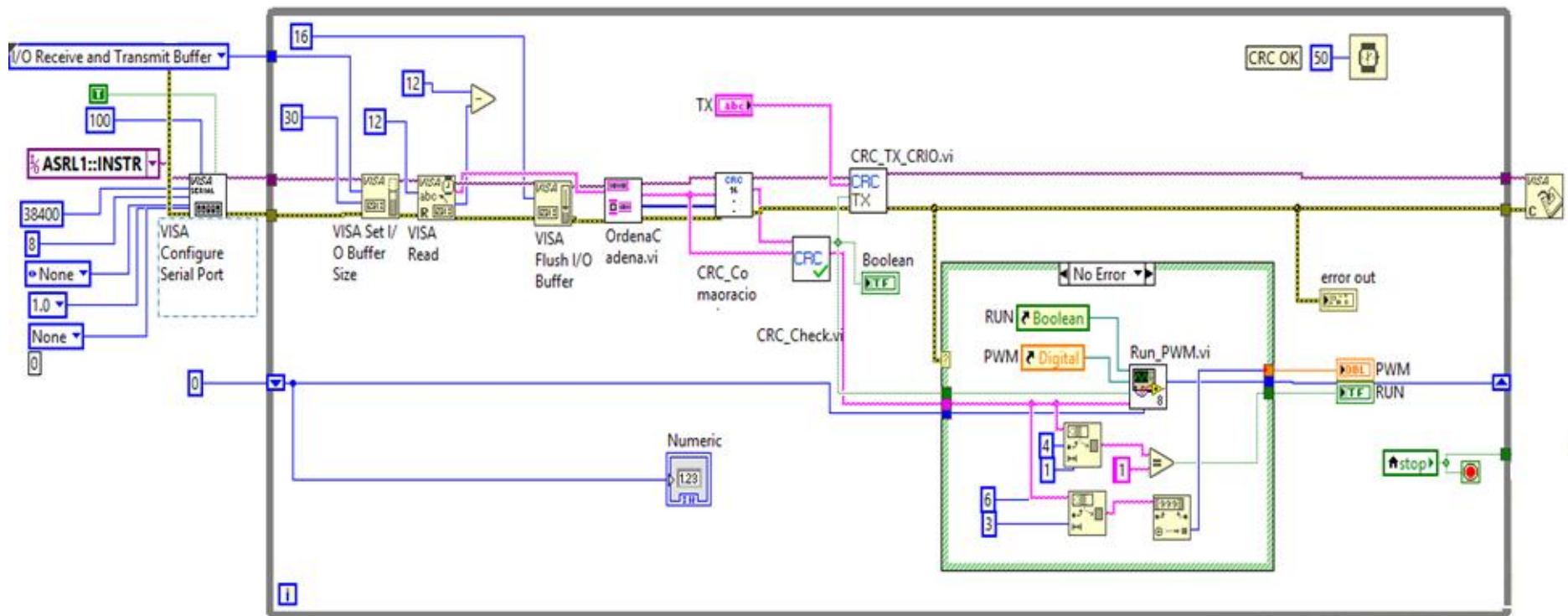


Figura 60. Código de transmisión y recepción de datos.

Dato [3] Un valor comprendido entre 0 y 100 que representa el porcentaje de aceleración

Dato [4] (/) Este carácter indica el inicio y el fin de los datos de las funciones de control a ejecutar.

CRCLO Valor del **CRC16** la parte menos significativa

CRCHI Valor del **CRC16** la parte más significativa

### Cálculo del CRC16

Control de redundancia cíclica de 16 bits (CRC16) es un algoritmo que permite verificar la veracidad en el intercambio de información, generalmente este algoritmo es aplicado en comunicaciones digitales y en dispositivos que almacenan información, la veracidad de la información es valorada bit a bit con el uso de un polinomio equivalente a **A001**.

El algoritmo de funcionamiento del CRC16 se muestra en la figura 61., juntamente con la codificación del algoritmo en LabVIEW.

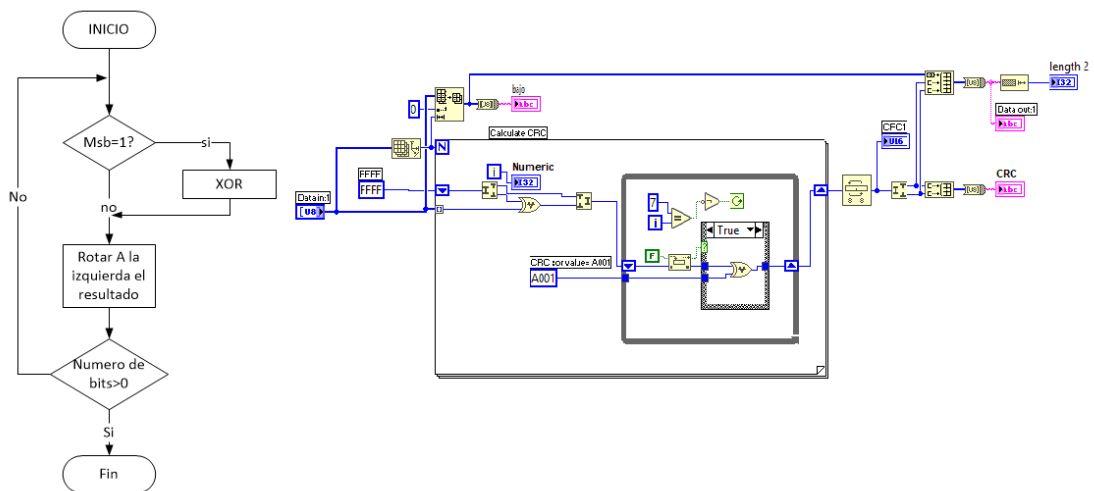


Figura 61. CRC16 & Implementación en LabVIEW.

### Trama de respuesta a la solicitud del HMI

Para realizar la respuesta a la solicitud realizada en base a la tabla 4 la información correspondiente a respuesta se muestra en la tabla 5.

Tabla 5.

*Trama de respuesta a la solicitud de información.*

<b>Trama Respuesta</b>								
<b>Inicio</b>	<b>Función</b>	<b>Dato [0]</b>	<b>Dato [1]</b>	<b>Dato [2]</b>	<b>Dato[n-1]</b>	<b>Dato[n]</b>	<b>CRCLO</b>	<b>CRCHI</b>
;	01	/	0-1	/	0...999	/	XX	XX

Fuente: Autor.

Inicio (;) Carácter especial que indica el inicio de una trama

Función (01) solicitud al dispositivo 1 en este caso solo existe un equipo conectado al bus de datos

Dato [0] (/) Este carácter indica el inicio y el fin de los datos de las funciones de control a ejecutar.

Dato [1] estado del motor “**1 ON**” y “**0 OFF**”

Dato [2] (/) Este carácter indica el inicio y el fin de los datos de las funciones de control a ejecutar.

Dato [n] Un valor comprendido entre 0 y 999 que corresponde al valor de una de las variables que el FAX está adquiriendo en tiempo real Tabla 6.

Dato [n-1] (/) Este carácter indica el inicio y el fin de los datos de las funciones de control a ejecutar.

CRCLO Valor del **CRC16** la parte menos significativa.

CRCHI Valor del **CRC16** la parte más significativa.

Tabla 6.

*Asignación de localidades de memoria para el intercambio de información.*

<b>DATO[X]</b>	<b>Correspondiente</b>
[0]	/
[1]	Temperatura tubo de escape derecho
[2]	/
[3]	Temperatura cilindro derecho
[4]	/

---

[5]	Presión aceite
[6]	/
[7]	Temperatura tubo de escape izquierdo
[8]	/
[9]	Temperatura cilindro derecho
[10]	/
[11]	Presión
[12]	/
[13]	RPMs
[14]	/
[15]	Combustible
[16]	/
[17]	Run
[18]	/

---

#### 2.4.7 Etapa de Visualización HMI

El medio físico estandarizado de comunicación RS-232 permite transportar los datos a cualquier plataforma informática que soporte el estándar de comunicaciones mencionado. El presente proyecto se realizará sobre la plataforma de la empresa de los EE.UU. de Norteamérica National Instruments y el software LabVIEW. Las características del HMI contemplan monitoreo y control de variables físicas en tiempo real, almacenamiento de variables para realizar consultas post pruebas del motor ROTAX 912 ULS.

El algoritmo de operación de HMI indicado en la figura 25 separa el procesamiento de operaciones en dos partes. La primera parte se centra en adquirir los datos del dispositivo FOX y la segunda es estar alerta a los eventos prioritarios del sistema como son el apagado o encendido del motor, realizar consultas de los archivos almacenados y cerrar el aplicativo. Algo importante que hay que recalcar es la tarea de almacenamiento de datos se la realiza de forma independiente al proceso de adquisición una vez que se valida la trama se genera el respaldo de la información.

La separación de procesos es una estrategia importante en tareas, en las que se requiere velocidad en la adquisición, almacenamiento y consulta de datos en la figura 62 se puede apreciar la implementación del algoritmo de funcionamiento del HMI, mientras que en la figura 63 se muestra el HMI para el operador.

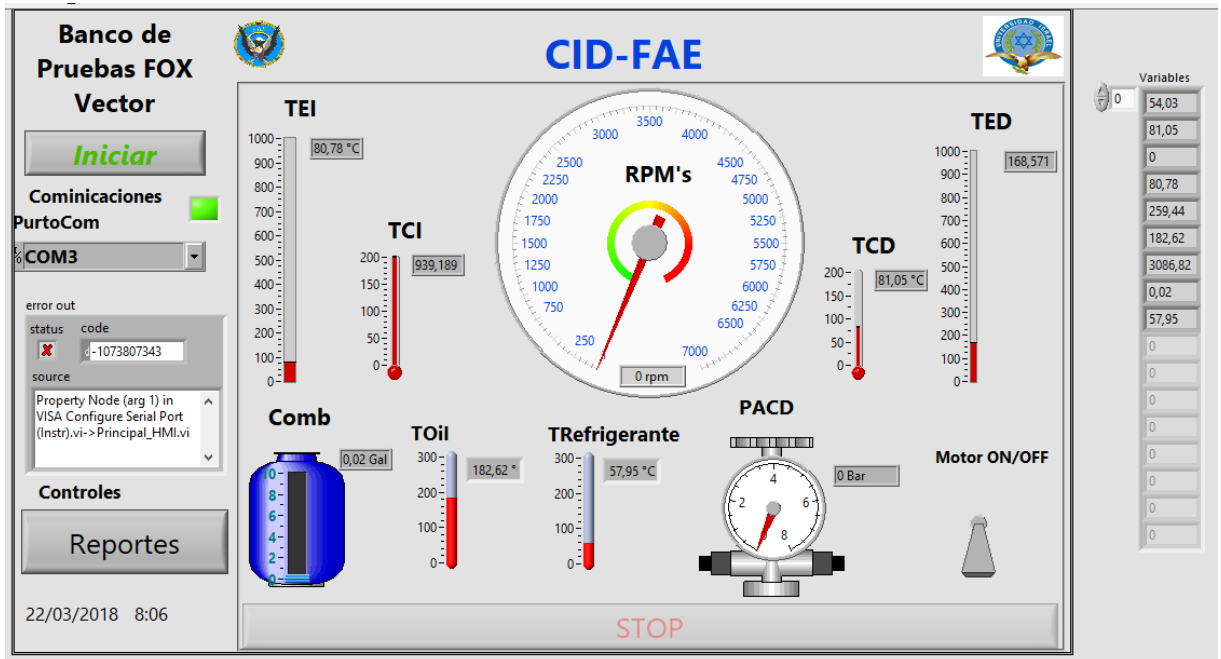


Figura 62. HMI aplicación de escritorio

#### 2.4.8 Tiempo requerido para el intercambio de información.

Para realizar las tareas de intercambio de información entre dos o más dispositivos se requiere un tiempo que se empleará en hacer la solicitud y recibir la respuesta en la arquitectura maestro esclavo que ha sido implementada en el presente documento.

La cantidad de información transmitida por unidad de tiempo (bps) se define en base a la suma del número total de bits que intervienen en el requerimiento. La transmisión serial utiliza palabras o bytes para transmitir información cada palabra tiene ocho (8) a esto se debe incrementar más un (1) bit de inicio de dato y un bit para detenerse (1 bit de parada). En base a lo mencionado se requieren 10 bits para transmitir una palabra. La ecuación 1 permite estimar la cantidad de información que se puede transmitir por unidad de tiempo.

Ecuación 1

$$nBtx = \frac{bps}{nbB} * bu$$

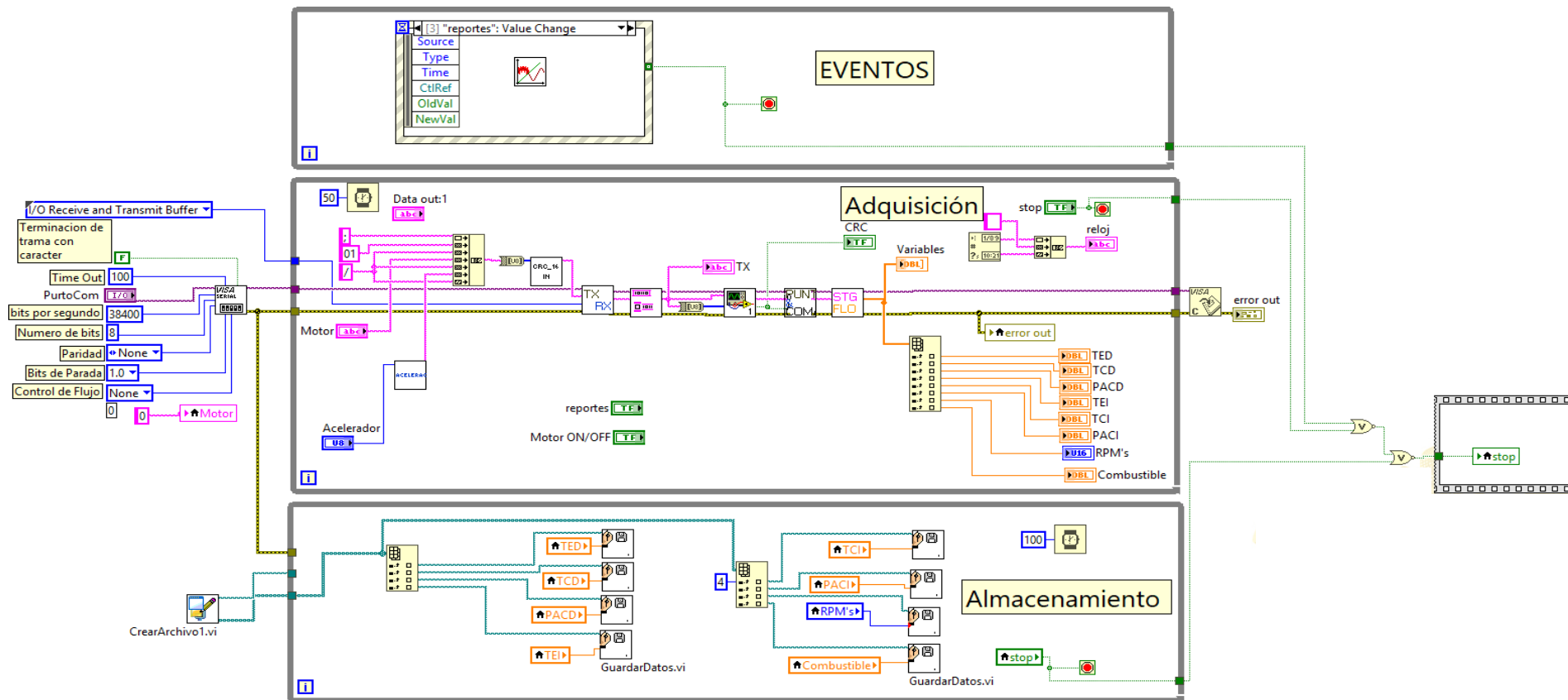


Figura 63. Implantación del código en el HMI



Donde.

$nBtx$ = Número de bits que se transmiten por unidad de tiempo.

$bps$ = velocidad de transmisión.

$nbB$ = número de bits totales por palabra (10 bits)

$bu$ = número de bits útiles de cada palabra (8 bits)

El presente proyecto está trabajando a velocidad de 19200 bps. Con la ecuación 1 podemos conocer la cantidad de información total transmitida. Una vez conocida la cantidad de información se podrá estimar el tiempo que se requiere para transportar esa información de un lugar a otro.

$$nBtx = \frac{bps}{nbB} * bu$$

$$nBtx = \frac{19200 [bps]}{10 [bps]} * 8[b]$$

$$nBtx = 15360 [bps]$$

En un segundo a 19200 [bps] se podrá transmitir 15360 bits. Para estimar el tiempo requerido para el intercambio total de información se emplea la ecuación 2.

Ecuación 2

$$t = \frac{1 [sec] * nbits}{nBtx}$$

Donde.

$t$ = tiempo requerido para el intercambio de información.

1[sec] = Unidad de tiempo.

nbits = número de bits a transmitir (250 [bits])

nBtx= número de bits transmitidos por unidad de tiempo

$$\frac{1[sec] * 250[bits]}{15360 [bits]}$$

$$t = 0.016 [sec]$$

Para realizar el intercambio de información de 250 bits se requiere un aproximado de 16 mili-segundos.

## CAPÍTULO III IMPLEMENTACIÓN

### 3.1 Desarrollo

Efectuado el diseño en el software Proteus como se muestra en la figura 44, 45 y 46 se realiza el diseño de Placas de Circuito Impreso (PCB) en el software Ares. La figura 64, en la parte izquierda se muestra la fabricación de la tarjeta de acondicionamiento de señales y en la parte derecha si indica el diseño del PCB y la representación en 3D de la fabricación.

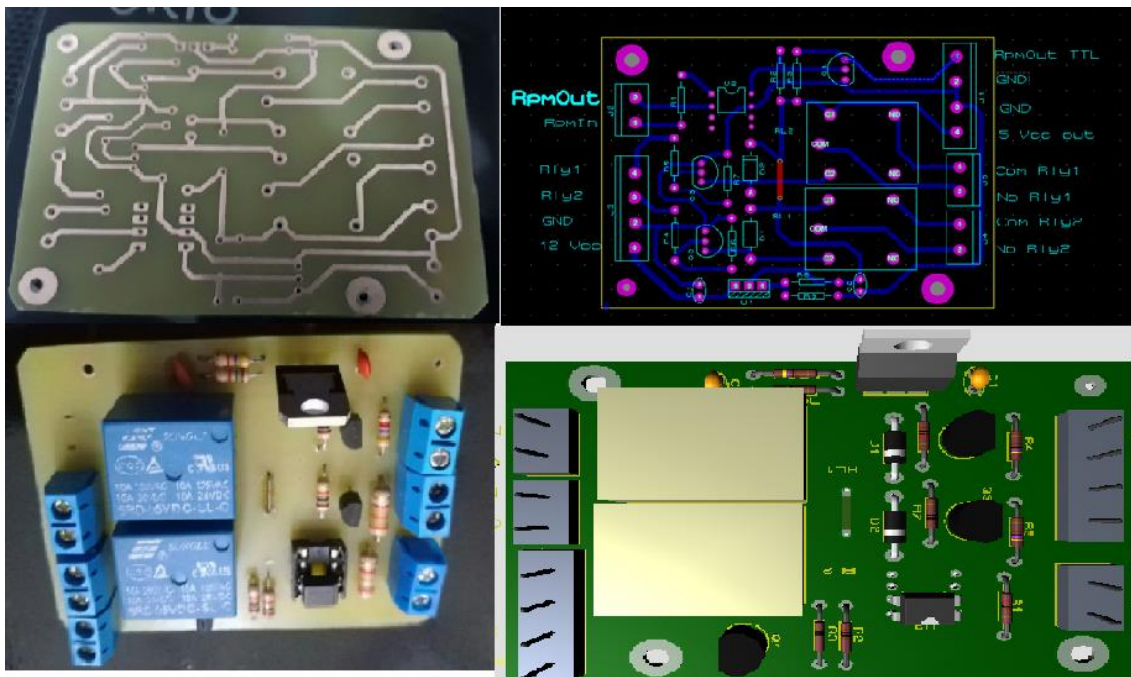


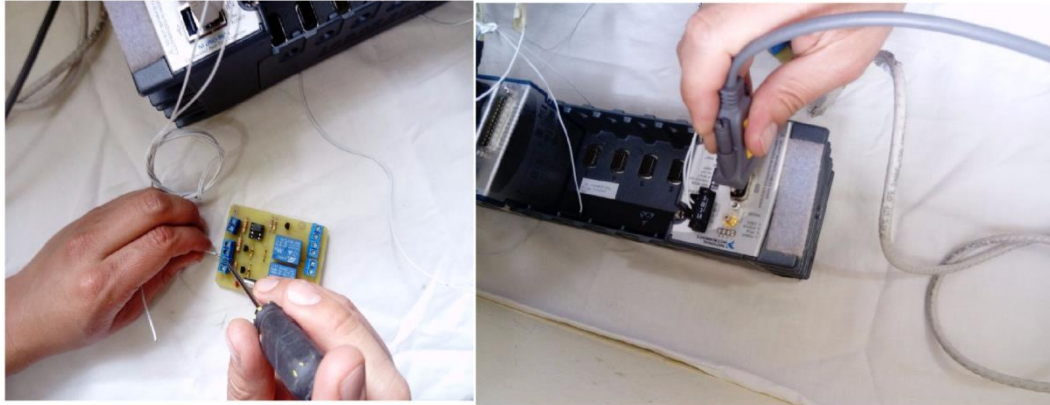
Figura 64. Diseño del PCB.

### 3.2 Implementación

#### 3.2.1. Montaje de los elementos electrónicos

La palca de acondicionamiento de las revoluciones por minuto (RMPs) y control ON/OFF del motor se integra al componente CRIO NI9014. La fuente de alimentación se conecta en paralelo a la fuente del CRIO 9014. La conexión para el monitoreo de los sensores del motor ROTAX 912 ULS.

La figura 65, muestra la conexión de la tarjeta de acondicionamiento y el CRIO 9014



*Figura 65. Conexión de la tarjeta de acondicionamiento*

Seguidamente se coloca los módulos NI 9401 en los slots 5(alternativo) y 6 del chasis, el módulo NI 9219 en los slots 7 y 8 como muestra la figura 66.

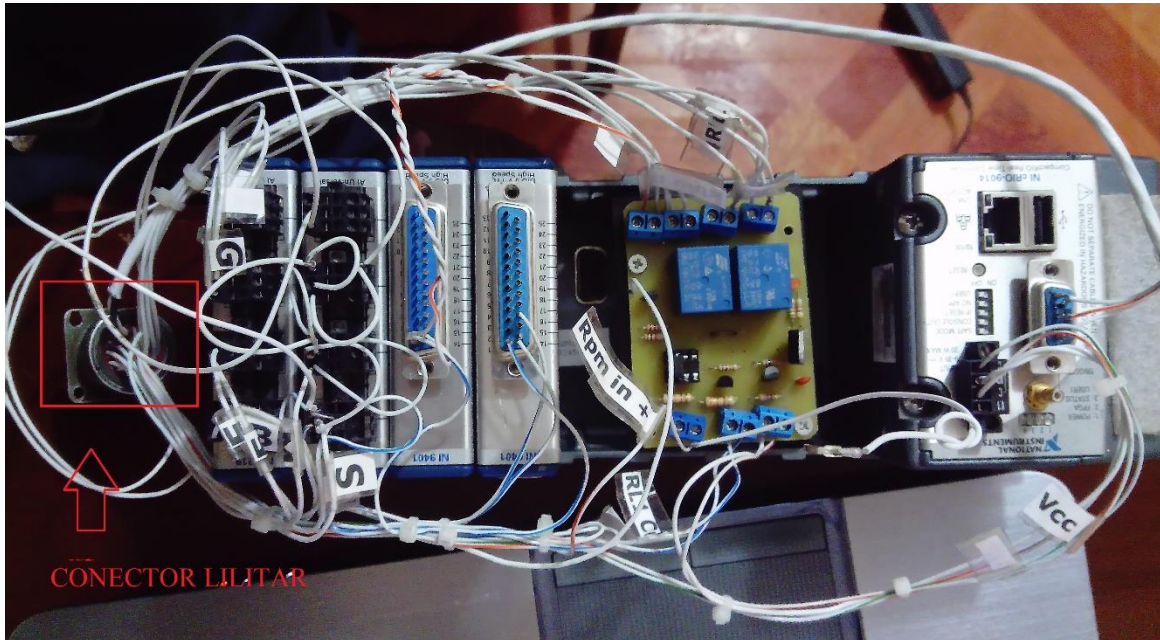


*Figura 66. Colocación de los módulos NI 9401 y NI 9219*

### **3.2.2. Conexión de los elementos**

Una vez realizado el montaje de los elementos se procede a realizar la conexión de las entradas y salidas de los módulos NI 9401, NI 9219 y de la tarjeta de adquisición de datos hacia

el Conector Militar como lo muestra la figura 67, que sirve para realizar la conexión entre la bornera de adquisición de datos de los elementos sensores del motor ROTAX, que están instalados en el avión. En el Anexo 3 se muestra el diagrama de conexión.



*Figura 67. Conexión de los elementos hacia el conector militar*

Una vez realizado las conexiones internas de la CompactRIO, los módulos, la tarjeta y el conector militar se procedió a la construcción de la caja de protección de todo el sistema electrónico y que está hecho de material reciclable de los aviones, este material esta hecho de aleaciones especiales como el aluminio y carbono, es aquí en donde se colocará los dispositivos mencionados anteriormente como se muestra en la figura 68.



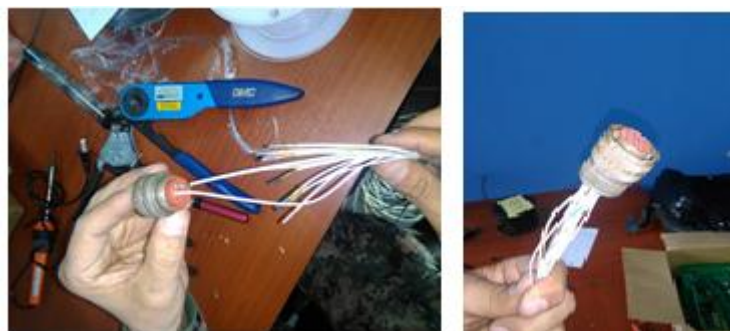
*Figura 68. Construcción de la estructura donde se colocará los dispositivos electrónicos.*

Terminada la estructura como se puede ver en la figura 69, se procede a colocar los dispositivos en el interior de la caja de protección, tomando en cuenta que los materiales de aviación son de muy alto costo y que deben estar protegidos de cualquier residuo que pueda afectar al normal funcionamiento.



*Figura 69.* Colocación e instalación de los dispositivos en el interior de la caja de protección.

Cuando ya se ha instalado todos los dispositivos, también se procede a realizar la construcción del arnés de conexión que servirá para obtener las señales del motor, combustible, encendido ON/OFF del motor y alimentación a la batería de 12 V que servirá para alimentar a la CRIO NI 9014, como indica la figura 70 y 71.



*Figura 70.* Construcción de la bornera de conexión J1



*Figura 71.* Arnés para adquirir las señales de los sensores, conexión en con la interfaz HMI, unión con la fuente de 12V y control ON/OFF.

Es importante indicar que, para obtener las señales de los sensores como las termocuplas, termistores NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo) y del contador de revoluciones, se debe tener encendido el avión para que la batería instalada en su interior sirva de alimentación a los sensores, la fuente de 12 V servirá para la alimentación a la CRIO 9014 y al sensor de combustible. En la figura 72, se muestra como está realizado el producto final del banco de pruebas para el motor ROTAX 912 ULS.



*Figura 72.* Banco de pruebas para el motor 912 ULS

### 3.3 Pruebas de funcionamiento

#### 3.3.1 Primera prueba del sistema electrónico armado.

Con el sistema montado sobre una estructura se realizaron algunas pruebas en el taller para minimizar la cantidad de errores antes de realizar la implementación, esto consistió en simular las señales de entrada de las termocuplas calentando una termocupla tipo k con el fin de que varíe la lectura de los voltajes medidos en milivoltios, esto representaría la temperatura de los tubos de escape derecho e izquierdo así como también la temperatura de las cabezas de los cilindros izquierdo y derecho. Seguidamente también se simuló las NTC con una resistencia variable para poder ver las lecturas de temperaturas de las temperaturas del aceite y temperatura del refrigerante. Además, con un capacitor variable también se simuló el nivel de combustible. Para las RPMs, se tomó directamente la señal del sensor cuentarrevoluciones instalado en el motor.

#### 3.3.2 Prueba de funcionamiento de la Interfaz HMI.

Con el conversor USB-RS232 conectado a la PC se genera un puerto de comunicación y es reconocido por la interfaz HMI del proyecto con el identificativo COMX en donde X es el número de puerto virtualizado en este caso se reconoció CON3. Con el puerto seleccionado el HMI indicara si de forma automática si existe algún error.

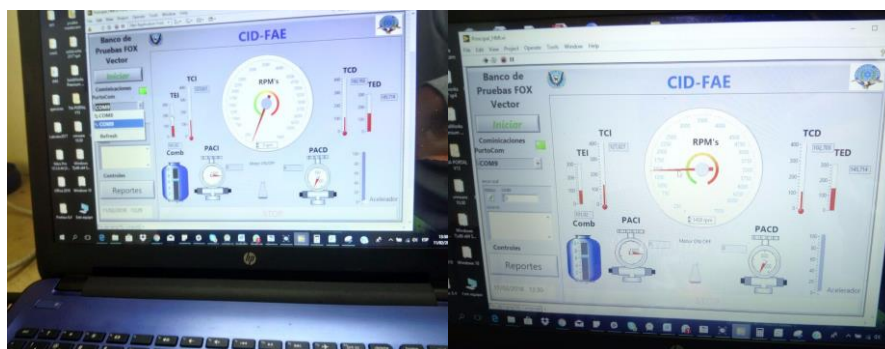


Figura 73. Pruebas preliminares del HMI.



### 3.3.3 Segunda prueba del sistema electrónico armado.

Las pruebas realizadas en el CIDFAE fueron con el avión FOX VECTOR, la adquisición de datos y su visualización fueron comparadas con instrumentos certificados. Las figuras 74 y 75 muestran las pruebas realizadas y la verificación de la instrumentación con el avión FOX VECTOR



Figura 74. Lectura de señales físicas del motor ROTAX 912 ULS, medidas con el osciloscopio.

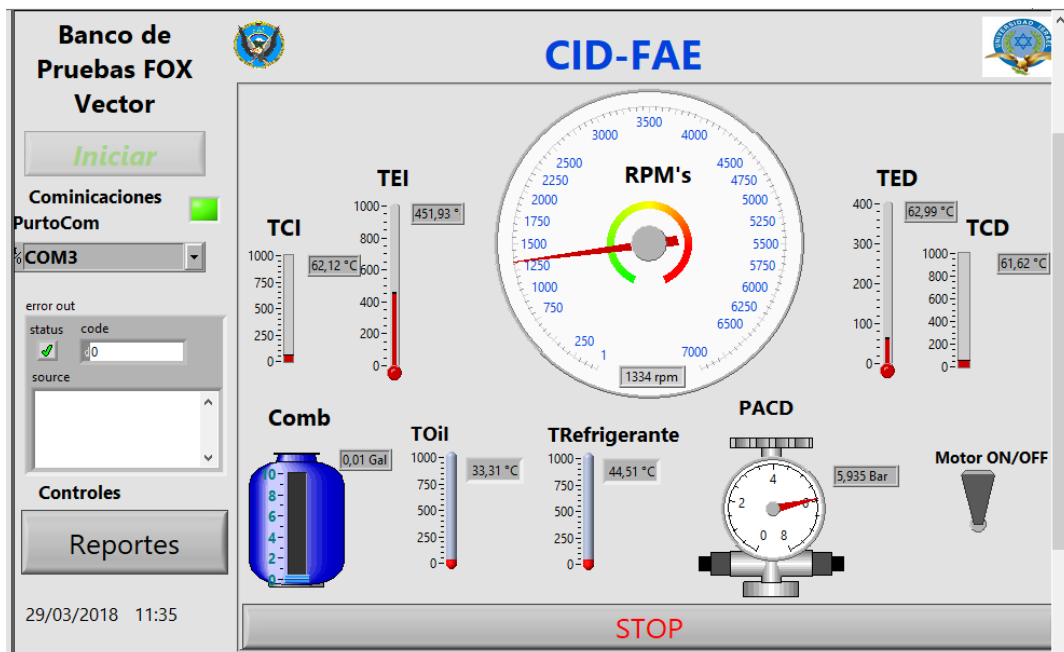


Figura 75. Resultados obtenidos con el HMI

Donde:

**Iniciar:** Botón de inicio para la Interfaz HMI.

**PuertoCom:** Ventana de selección para el ingreso de datos por el puerto COMX (en este caso COM3).

**TED:** Temperatura tubo de escape derecho (°C)

**TEI:** Temperatura tubo de escape izquierdo (°C)

**TCD:** Temperatura cilindro derecho (°C)

**TCI:** Temperatura cilindro izquierdo (°C)

**STOP:** Botón de parada del interfaz HMI;

**RPM's:** Revoluciones por minuto del motor.

**Comb:** Nivel de Combustibles medido en Galones.

**TOil:** Temperatura de aceite (°C).

**TRefrigerante:** Temperatura del refrigerante (°C).

**PACD:** Presión del aceite medido en bares (bar).

**Motor ON/OFF:** Botón para el control de encendido y apagado del motor.

**Reportes:** Botón para la verificación de los reportes del motor.

### 3.3.4 Pruebas en el CIDFAE

El CIDFAE autorizó que estas pruebas se las realicen los viernes y sábados en los que no existe trabajos de investigación adicionales que realizar, por esta razón gracias al apoyo del personal técnico no existió ningún tipo accidente. Es importante indicar que estas pruebas se deben realizar con un técnico y el operador del banco de pruebas, esto con el fin de que el técnico realice procedimientos normales del máster switch que cumple la función de alimentar a todos los instrumentos y sensores del avión, como también realizar la aceleración manual para verificar las lecturas en la interfaz HMI.

### 3.3.4.1. Prueba 1 funcionamiento e instalación de los elementos a la caja de adquisición de datos y control.

Paso 1. Se debe instalar el conector del arnés hacia la caja de adquisición de datos y control, para poder obtener datos.

Paso 2. El conector RJ45, debe ser contado entre la entrada de la CompactRIO 9014 y la PC, para poder obtener comunicación, en nuestro caso se comprobó con éxito.

Paso3. Con el conversor USB-RS232, se conecta hacia el puerto USB de la PC, para poder visualizar las lecturas de los sensores, así como también controlar el encendido y apagado del motor.

Paso 4. Conectar la Batería de 12 V para la alimentación del CRIO.

En la figura 76, se puede verificar la instalación de los diferentes elementos que se debe conectar para el funcionamiento del banco de pruebas.



Figura 76. Instalación del banco de pruebas

Una vez realizado todos los procesos anteriores y gracias al profesionalismo del personal técnico se verificó que el banco de pruebas funcionó sin ningún problema, por lo que se procede a realizar las pruebas de encendido y apagado. Hay que tomar en cuenta que antes de correr el programa en el HMI, se debe verificar que el botón ON/OFF este en el modo apagado, ya que si no se toma en consideración podría encender el motor inmediatamente, causando accidentes al personal técnico. Por esta razón es importante conocer las medidas de seguridad para evitar posibles accidentes.

### 3.3.4.2. Pruebas finales

Después de las anteriores pruebas realizadas se corrigieron algunas falencias que van desde la caja o el armazón donde va montado el circuito, hasta la programación de los módulos, así como también de la Interfaz HMI, sin embargo, después de un número de correcciones se pudo establecer y calibrar las mediciones, dando como resultado las medidas que indica el manual de operaciones del motor ROTAX, de acuerdo a la tabla 7, donde se puede verificar los parámetros de medida de las variables a ser censadas.

Tabla 7.

*Límites de operación del motor Rotax 912 ULS.*

<b>LÍMITES DE OPERACIÓN</b>		
	<b>VELOCIDAD</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
<b>Velocidad de despegue</b>	58000 rpm (max. 5 min.)	Ninguna
<b>Máxima velocidad continua</b>	5500 rpm	
<b>Ralentí</b>	Min. 1400 rpm	
	<b>PRESIÓN DE ACEITE</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
<b>Máximo</b>	7 bar (102 psi)	

<b>Mínimo</b>	0.8 bar (12 psi) (por debajo de 3500 rpm)	Presión de aceite máx. por un corto período admisible en el arranque en frío
<b>Normal</b>	2.0 a 5.0 bar (29 – 73 psi) (encima de 35000 rpm)	

---

**TEMPERATURA DE ACEITE**

**OBSERVACIÓN**

---

<b>Máxima</b>	130 °C (266 °F)	Temperatura de operación normal: aproximadamente de 90 a 110 °C (190-230 °F).
<b>Mínima</b>	50 °C (120 °F)	

---

**TEMPERATURA DEL GAS DE ESCAPE**

**OBSERVACIÓN**

---

<b>Máxima</b>	880 °C (1616 °F)	Ninguna
---------------	------------------	---------

---

**TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE**

**OBSERVACIÓN**

---

<b>Máxima</b>	120 °C (248 °F)	Es necesario monitorear permanentemente la temperatura de las cabezas de cilindro y refrigerante.
---------------	-----------------	---

---

**TEMPERATURA DE LA CABEZA DEL CILINDRO**

---

<b>Máxima</b>	135 °C (275 °F)
---------------	-----------------

---

### 3.4. Capacitación al personal técnico.

Parte de este proyecto es la instrucción del funcionamiento a los operarios del banco de pruebas dentro de estas instrucciones se mencionó la manera de utilizar el botón de control de apagado y encendido (ON/OFF), la conexión de los arneses y el inicio de la Interfaz HMI, en caso de existir algún fallo en el sistema el operario deberá inmediatamente apagar desde el computador el motor para evitar accidentes. También se adjunta en los anexos el manual del usuario (Anexo 1) y el manual técnico (Anexo 2).

En la figura 78, se puede observar la debida capacitación con los operarios del banco de pruebas.



Figura 77. Capacitación al personal técnico del CID-FAE

### 3.5. Análisis de resultados

Con el sistema ya en funcionamiento durante un proceso de encendido del motor se comprobó la operación de todo el sistema, en la tabla 8 se presenta un análisis de los resultados en los que se verificó:

Tabla 8.

*Análisis de resultados*

NOMBRE DE LA VARIABLE FÍSICA	RANGO MEDIDO	DENTRO DE PARAMETROS		OBSERVACIÓN
		SI	NO	
Temperatura del escape izquierdo	451.93	X		Ninguna
Temperatura del cilindro izquierdo	62.12 °C	X		Ninguna
Temperatura del escape derecho	62.99		X	Posible daño en la termocupla.
Temperatura del cilindro derecho	61.62	X		Ninguna

<b>Temperatura de aceite</b>	33.31	X	Ninguna
<b>Temperatura de refrigerante</b>	44.51	X	Ninguna
<b>Presión aceite</b>	5.935 bar.	X	Ninguna
<b>Revoluciones por minuto</b>	1334 rpms.	X	Ninguna
<b>Nivel tanque de combustible</b>	0 - 10 gls	X	Ninguna
<b>Control On/Off del motor</b>	-	X	Ninguna

Es importante considerar que las lecturas dependen exclusivamente de la temperatura ambiente, pero por medidas de seguridad y garantías del motor no es posible llevar a las condiciones extremas para poder tener un dato preciso. Hay que destacar que el banco de pruebas es exclusivamente para obtener datos del motor, por lo que el técnico especialista en mantenimiento tomará las acciones correctivas para poner dentro de los parámetros al motor.

Una vez que se ha realizado las diferentes pruebas, se puede registrar de manera automática en una carpeta, lo que permitirá al técnico en mantenimiento realizar una inspección del comportamiento del motor de acuerdo con la fecha realizada, obteniendo de esta manera un respaldo de archivos para posibles inspecciones y correcciones; Para poder tener acceso a esta carpeta proseguimos con el siguiente procedimiento:

1.- En la interfaz del HMI damos un clic en el botón Reportes como lo muestra en la figura 78.

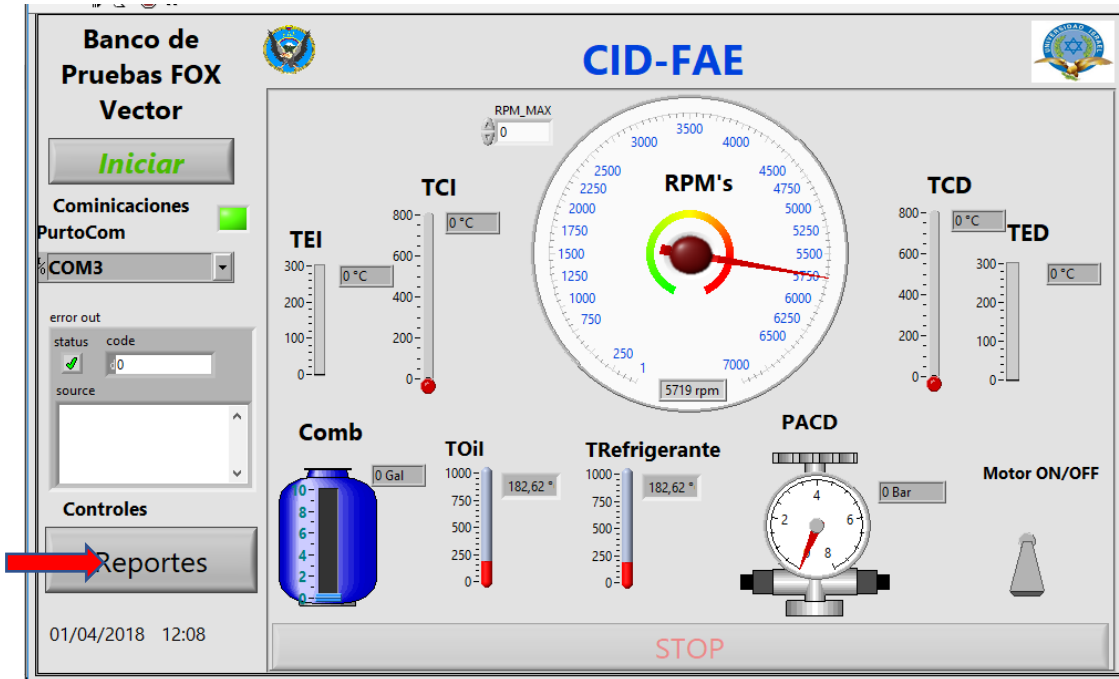


Figura 78. Visualización del botón de reportes de la interfaz HMI.

2.- Luego aparecerá la ventana como indica la figura 79.

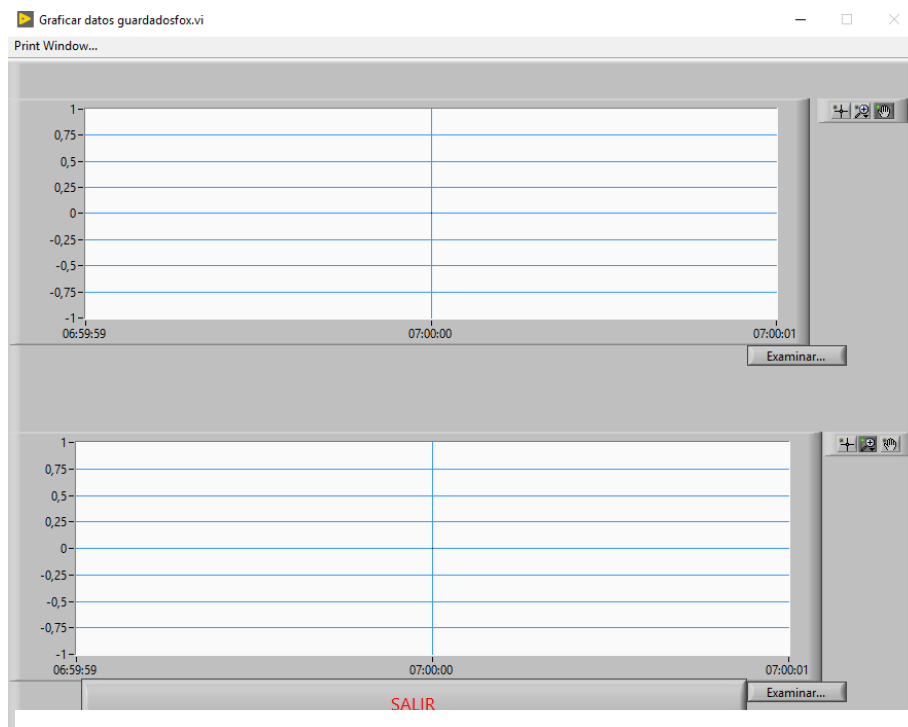


Figura 79. Datos guardados.



3.- Luego damos en la opción Examinar, y nos permitirá visualizar la carpeta data como se puede observar en la figura 80.

Nombre	Fecha de Modificación	Tip
data	31/03/2018 17:53	Ca
Aceleracion	30/01/2018 10:51	Lat

Figura 80. Carpeta de registro las pruebas realizadas en el motor Rotax 912 ULS.

4.- Abrimos la carpeta, y escogemos cualquier carpeta de acuerdo con la fecha que se requiera, a continuación, escogemos cualquier archivo en excel donde se encuentra registrada los datos obtenidos durante la prueba y abrimos, seguidamente nos aparecerá la gráfica del comportamiento de cualquiera de las variables, como lo indica la figura 81.

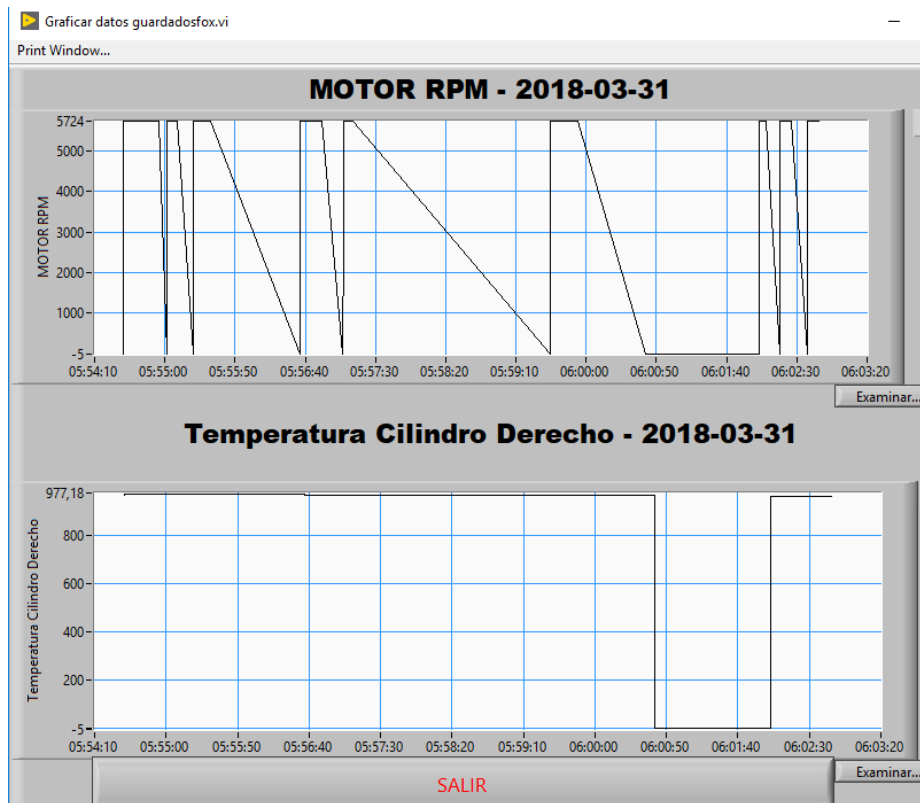


Figura 81. Comportamiento de las RPM's y temperatura del cilindro derecho del motor.

Finalmente, para ver más registros procedemos a dar clic en el botón Salir.

## CONCLUSIONES

Después del análisis y discusión de los resultados obtenidos se presentará las conclusiones del presente estudio, permitiendo visualizar el correcto funcionamiento del banco de pruebas virtual automatizado para poder medir los parámetros físicos que debe cumplir el motor ROTAX 912 ULS. A continuación, se detallarán las conclusiones en base a los objetivos específicos planteados.

- Se analizó toda la información disponible tanto del Motor ROTAX, fuentes oficiales de la Empresa de los EE.UU. Nacional Instruments, manuales técnicos de aviación, asesoramiento técnico del personal del CID-FAE, que permitieron realizar el presente proyecto.
- El sistema de adquisición de datos y control del motor ROTAX 912 ULS realiza el intercambio de información entre el CRIO 9014 y el HMI de forma eficiente y en tiempo real, garantizando la seguridad en y eficiencia en la adquisición de parámetros físicos que el motor genera. También se programó con el software LabVIEW la CRIO NI 9014, permitiendo de esta manera obtener a través de los módulos NI 9401 y NI 9219 el ingreso y salida de las señales que permiten adquirir las señales de los sensores, controlar el encendido y apagado.
- Las pruebas realizadas en el motor ROTAX 912 ULS cuentan con respaldos físicos que permitirán al personal de aerotécnicos realizar análisis comparativos entre las etapas de mantenimiento. Es decir, es posible comparar los resultados obtenidos en mantenimientos realizados en diferentes fechas y estimar el desgaste de partes y/o componentes del motor. Además, se consiguió garantizar la seguridad física del personal que interviene en la realización de las pruebas ante los riesgos que conlleva realizar las tareas de mantenimiento del motor ROTAX 912 ULS.

## RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar una lectura de los manuales del usuario, técnico y el presente proyecto, con el fin de no dañar los elementos internos del Banco de pruebas.
- Se recomienda realizar mantenimiento periódico del sistema de adquisición de datos. revisar las conexiones de terminales conectores con la finalidad de tener disponible el sistema en su totalidad. además, capacitar al personal que va a estar a cargo de la manipulación del banco de pruebas.
- Con el presente sistema desarrollado como base es recomendable proponer estandarizar los procesos de mantenimiento de los motores de las aeronaves de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, tomando en consideración que el presente proyecto fue de gran éxito lo que permitirá poder desarrollar otros proyectos similares para otro tipo de motores de los diferentes aviones que posee la FAE.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aerohispalis. Escuela de Vuelo. (5 de Noviembre de 2013). *Evolucion y tipos de aviones ultraligeros: Aerohispalis Escuela de Vuelo*. Obtenido de Aerohispalis Escuela de Vuelo Web site: <http://www.aerohispalis.com/aviones-ultraligeros/>
- Ashlock, D., & Warren, A. (2015). *National Instruments*. Recuperado el 15 de Octubre de 2017, de Guía de acondicionamiento de señales para ingenieros: [ftp://ftp.ni.com/evaluation/signal\\_conditioning/23807\\_Engineer\\_s\\_guide\\_to\\_signal\\_conditioning\\_Spanish\\_localisation\\_HR.pdf](ftp://ftp.ni.com/evaluation/signal_conditioning/23807_Engineer_s_guide_to_signal_conditioning_Spanish_localisation_HR.pdf)
- Creus Sole, A. (2011). *Iniciacion a la Aeronáutica*. Ediciones Díaz de Santos.
- Domingo, A., Jordi, J., & Francesc, S. (2001). *Instrumentación virtual: Adquisición, procesamiento y análisis de señales*. Cataluña: UPC .
- Dunn, W. (2005). *Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control*. New York: McGraw-Hill.
- EcuRed. (Enero de 2018). *Aviones ultraligeros*. *EcuRed*. Obtenido de EcuRed Web site: [https://www.ecured.cu/Aviones\\_ultraligeros](https://www.ecured.cu/Aviones_ultraligeros)
- Emilio. (05 de 11 de 2013). *Evolución y tipo de aviones ultralijeros*. Recuperado el 06 de 07 de 2017, de Aerohispalis: <http://www.aerohispalis.com/aviones-ultraligeros/>
- Franco, E. (s.f.). *Instrumentacion*. Obtenido de Instrumentacion Virtual.
- Guamán, D., & Paredes, D. (2014). Diseño e implementación de un sistema automatizado de prevuelo para el prototipo UAV1 Fénix de la Fuerza Aérea Ecuatoriana. Latacunga: LATACUNGA / ESPE / 2014. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8175>
- National Instruments. (Agosto de 2011). *NI 9401*. Obtenido de Software Reference Information: [http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373197B-01/criodevicehelp/ni\\_9401/](http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373197B-01/criodevicehelp/ni_9401/)
- National Instruments. (14 de Mayo de 2015). *Elegir un Sistema de Medidas de RTD o Termistor*. Obtenido de Visión General: <http://www.ni.com/white-paper/3643/es/>

- National Instruments. (26 de Septiembre de 2016). *Productos y servicios*. Obtenido de Qué es DAQ Flex Page: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- National Instruments. (2017). *Soporte: National Instruments*. Obtenido de National Instruments Web site: <http://www.ni.com/es-cr/support/model.crio-9014.html>
- National Instruments. (s.f.). *NI 9401*. Obtenido de <http://sine.ni.com/psp/app/doc/p/id/psp-174/lang/es>
- Niño, J., Hernandez, S., & Piñeros, A. (8 de 12 de 2014). *Aplicaciones de instrumentacion virtual*. Obtenido de Aplicaciones de instrumentacion virtual: [https://issuu.com/luisalexanderpinerosgarzon/docs/aplicacion\\_instru.\\_virtual](https://issuu.com/luisalexanderpinerosgarzon/docs/aplicacion_instru._virtual)
- Núñez, R. (2010). *Diseño, Construcción, Instrumentación y Control de un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV)*. Tesis de Grado, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Mexico. Recuperado el 24 de Octubre de 2017
- Pallás, R. (2005). *Sensores y acondicionadores de señal*. Catalunya: MARCOMBO, S.A.
- Pineda, A. (2013). *Instrumentación virtual. Fundamentos de programación*. Mexico: Editorial Digital del Tecnológico de Monterrey. Obtenido de <https://repositorio.itesm.mx/ortec/bitstream/11285/622433/1/ID355.pdf>
- ROTAX®AIRCRAFT ENGINES. (2015). *OPERATORS MANUAL*. Obtenido de FOR ROTAX® ENGINE TYPE 912 SERIES: <http://docusearch.flyrotax.com/files/pdf/d06151.pdf>
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- Torre, M., & Granado, E. (Septiembre de 2011). Design and Implementation of a Predictive. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, 9(5), 638-643. doi:10.1109/TLA.2011.6030970
- TORRES, M. A. (11 de 05 de 2017). *dspace.ups*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4785/1/UPS-CT002640.pdf>

Vidal, D. (26 de Junio de 2012). *Interfaces y protocolos de comunicación*. Recuperado el 21 de Octubre de 2017, de Interfaces y Protocolos de comunicación: <http://tecsup-r5-ac-interfaces-y-protocolos.blogspot.com/>

## **ANEXOS**

### **Anexo 1 Manual de Usuario**

#### **1. Introducción**

El sistema de adquisición de datos y control para el motor ROTAX 912 ULS tiene la parte informática que permite visualizar y registrar las pruebas realizadas. El operado tiene la facilidad de poder interpretar la información generada en el motor ROTAX 912 ULS en tiempo real.

##### **1.1 Objetivo del manual**

Entregar una herramienta fácil de usar para tareas de pruebas del motor ROTAX 912 ULS

##### **1.2 Alcance**

Dirigida exclusivamente al personal de aerotécnicos del CIDFAE. Se indica el procedimiento para instalar la aplicación de escritorio y la forma de operar.

##### **1.3 Instalación de la aplicación de escritorio**

La instalación del software para el banco de pruebas del motor ROTAX 912 ULS se deben seguir los siguientes pasos/.

Cree una carpeta en la ubicación que va a instalar la aplicación de escritorio NOTA no instale la aplicación en

- C:\Program Files
- C:\Program Files (x86)

La aplicación necesita permisos de administrador y puede dar problemas

Ubique el archivo de nombre BIP-FAE Figura Anexo 1.1. en el DVD o en algún dispositivo USB que fue entregado como parte del presente trabajo.

Nombre

BIP-FAE

Figura Anexo 1.1 Ubicación del instalador de la aplicación de escritorio

Fuente: Autor.

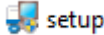
Abra la carpeta BIP-FAE mostrada en la Figura Anexo 1.1 encontrará una serie de archivos como se muestra en la Figura Anexo1.2

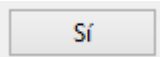
Nombre

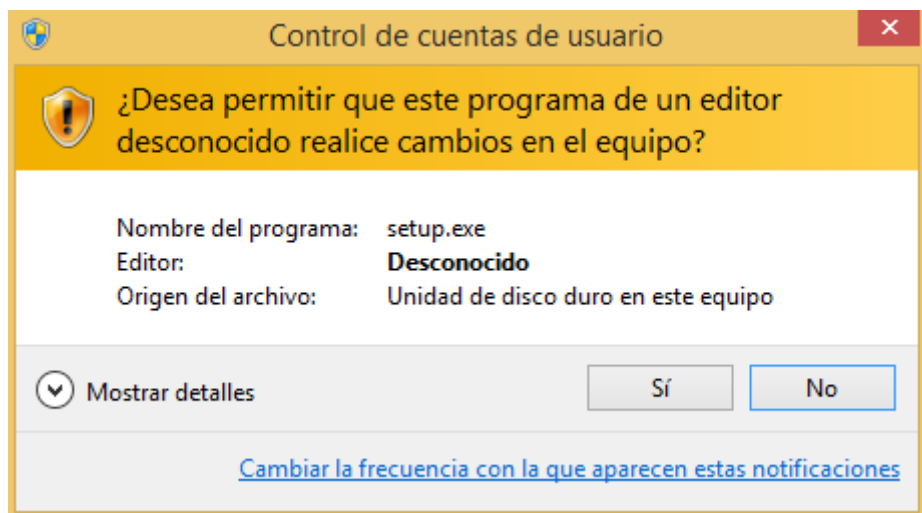
bin  
license  
supportfiles  
nidist.id  
setup  
setup

Figura Anexo 1.2 Archivos de instalación del sistema BIP-FAE

Fuente: Autor.

De doble clic sobre el icono que dice setup y tiene como icono la PC 

El sistema operativo le pedirá permiso para realizar cambios durante la instalación como se muestra en la Figura Anexo 1.3 de en el botón 

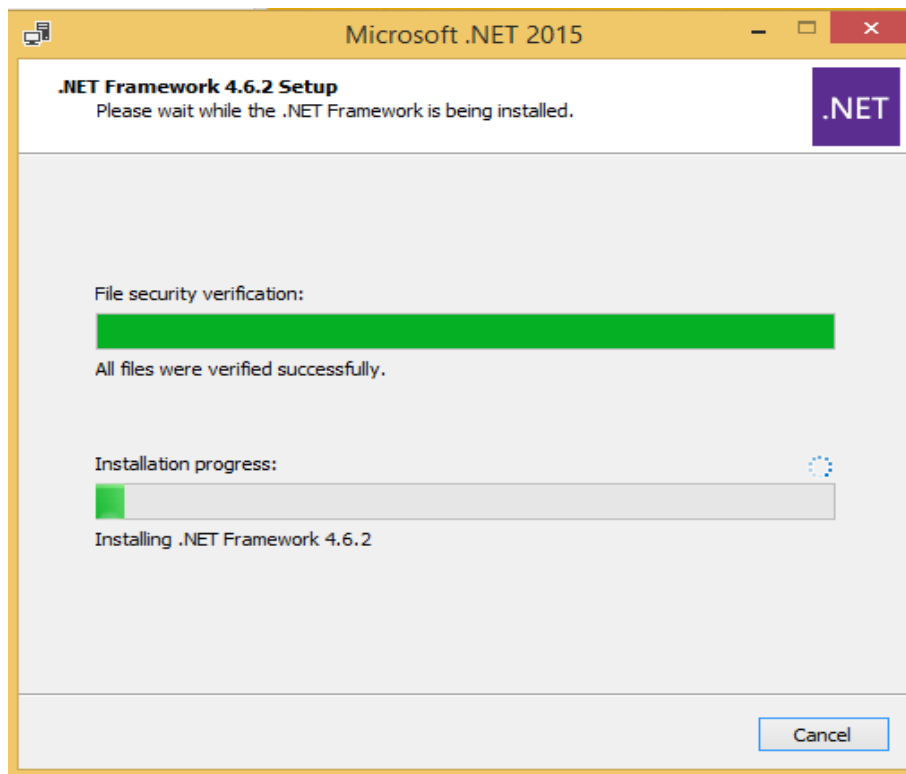




*Figura Anexo 1.3* Solicitud de acceso de la aplicación BIP-FAE para ser instalada en el sistema operativo.

Fuente: Autor.

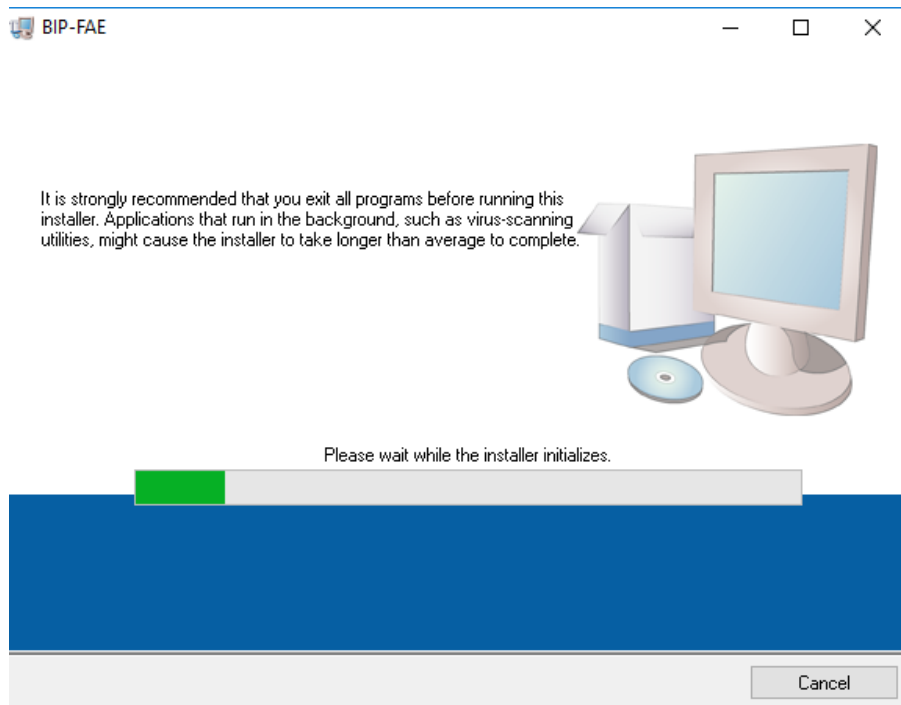
Es posible que le pida instalar el Net Framework 4.6.2. Setup , en este caso acepte la instalación como se muestra en la figura anexo 1.4.



*Figura Anexo 1.4* Instalación de .Net Framework

Fuente: Autor.

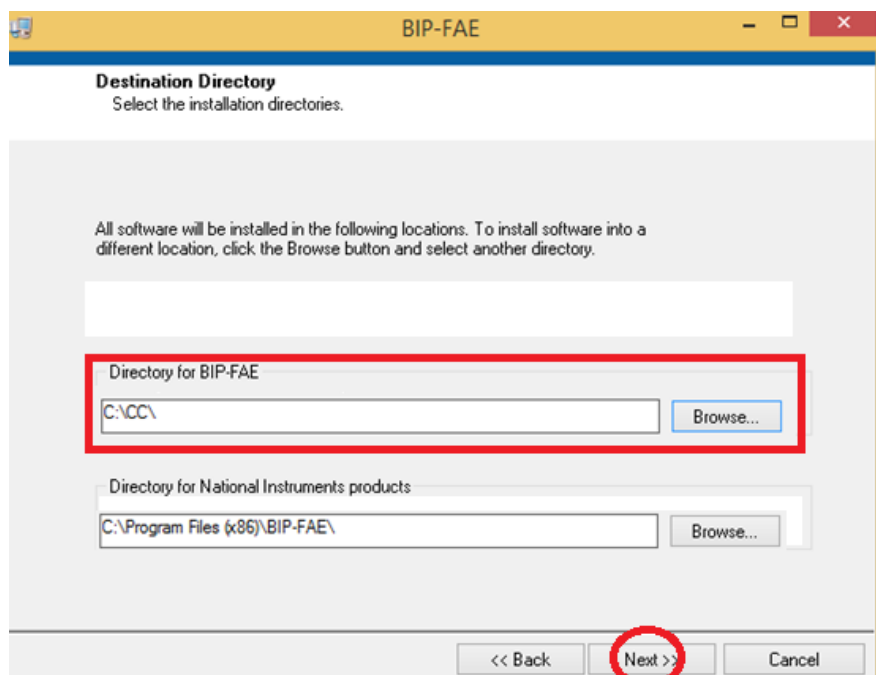
Una vez instalado el framework se mostrará automáticamente el progreso de la instalación.  
*Figura Anexo 1.5.*



*Figura Anexo 1.5* Instalación de la aplicación de escritorio

Fuente: Autor.

Escoja la dirección en donde se instalará la aplicación es decir seleccione la carpeta en el directorio creado. Para este manual se creó la carpeta CC dentro la unidad C.



*Figura Anexo 1.6* Ubicación de instalación de la aplicación de escritorio.

Fuente: Autor.

Seguidamente le informara que se han encontrado los archivos correspondiente BIP-FAE.  
Figura Anexo 1.7.

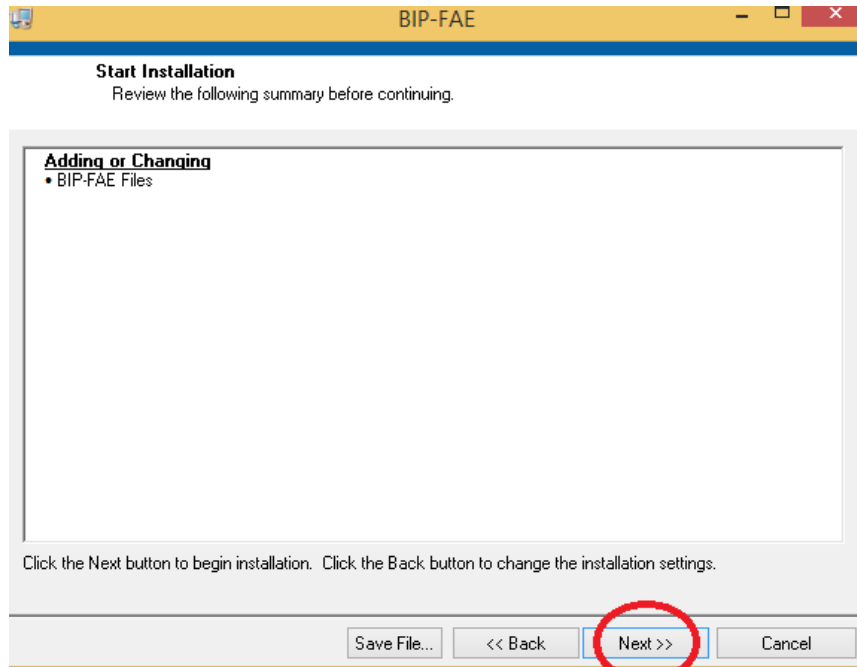
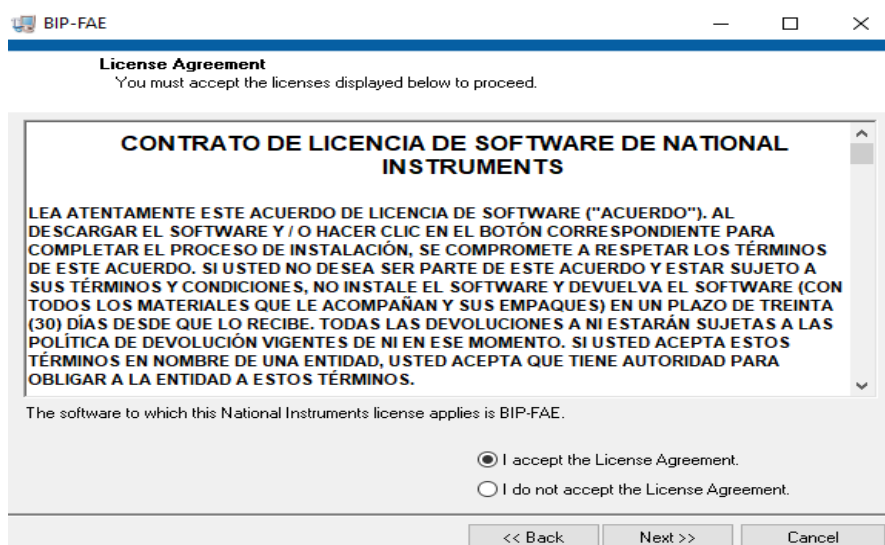


Figura Anexo 1.7 Instalar los archivos de la aplicación de escritorio

Fuente: Autor.

Posteriormente acepte la Licencia de National Instrumens Figura Anexo 1.8.



## Figura Anexo 1.8 Licencia de National Instruments

Fuente: Autor.

En la Figura Anexo 1.9 se muestra la secuencia de instalación y aceptación de opciones que necesita National Instruments para instalar correctamente la aplicación de escritorio.

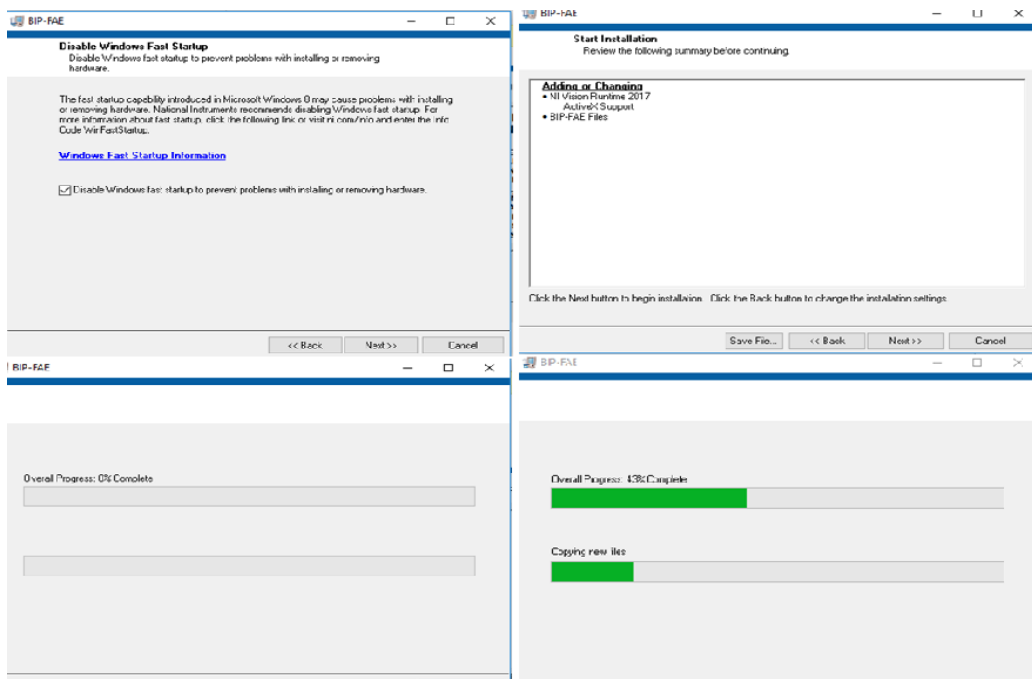


Figura Anexo 1.9 Secuencia de instalación de la aplicación de escritorio.

Fuente: Autor.

Finalmente termine la Instalación Figura Anexo 1.10.

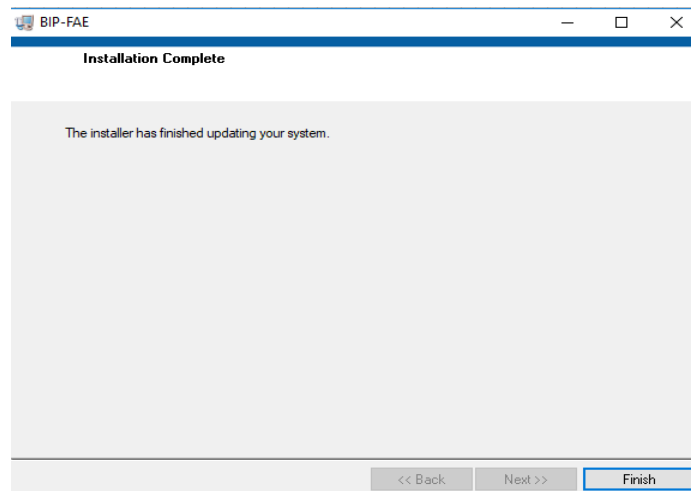


Figura Anexo 1.10 Fin de la instalación de escritorio

Fuente: Autor.

*Nota.* Este software fue desarrollado con fines de investigación y no comerciales con la licencia de desarrollo perteneciente al CIDFAE todos los derechos le corresponden al CIDFAE.

#### 1.4 Funcionamiento del sistema

Una vez instalada la aplicación diríjase a inicio y busque la aplicación cuyo nombre es BPI-FAE que hace referencia al banco de pruebas de la FAE Figura Anexo 1.11.

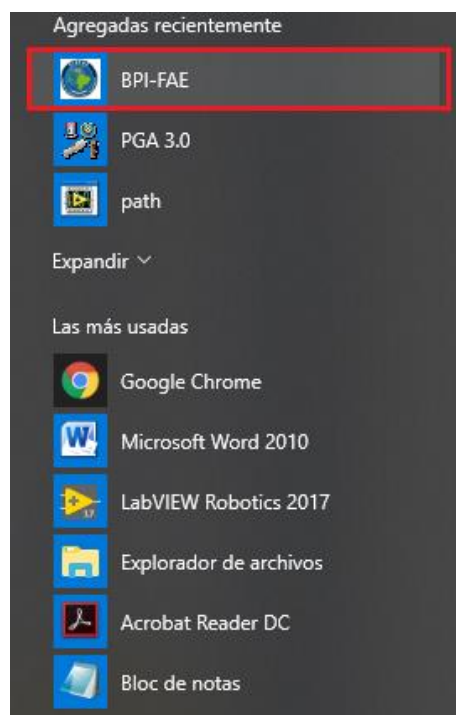


Figura Anexo 1.11 Ejecución de la aplicación de escritorio

Fuente: Autor.

Se ejecutará la aplicación figura Anexo 1.12

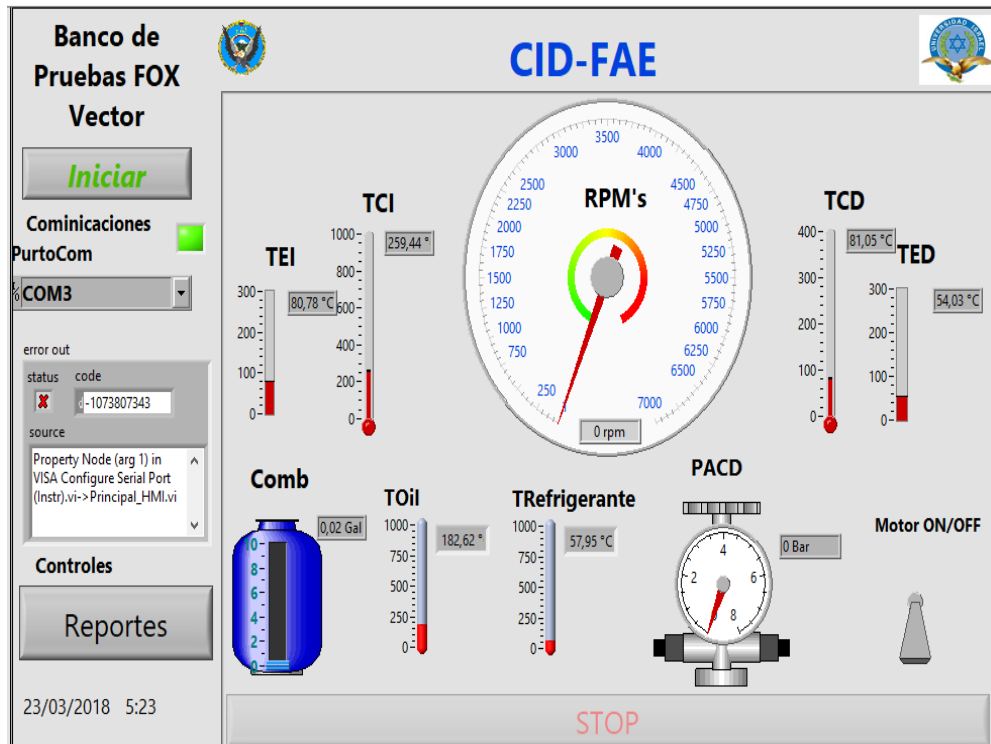


Figura Anexo 1. 12 Aplicación de escritorio

Fuente: Autor.

Los instrumentos de la aplicación de escritorio se dividen en cuatro partes a) configuraciones, b) Indicadores, c) controles, d) consultas. A continuación, se detallan las cuatro partes.

#### a). Configuraciones

La única configuración que es requerida para el funcionamiento del HMI es la selección del puerto de comunicaciones. Con el conversor de *usb a rs-232* conectado al PC se generará un puerto de comunicaciones el mismo que se enlistará en el combo-box. En el presente manual el puerto de comunicación se reconoce como COM3. Figura Anexo 1.13. si el puerto es seleccionado de forma correcta y se encuentra conectado al módulo NI9014 el indicador de Comunicaciones se mostrará de color verde., el estado de salida de error entregará el código 0 correspondiente a comunicación exitosa en LabVIEW.

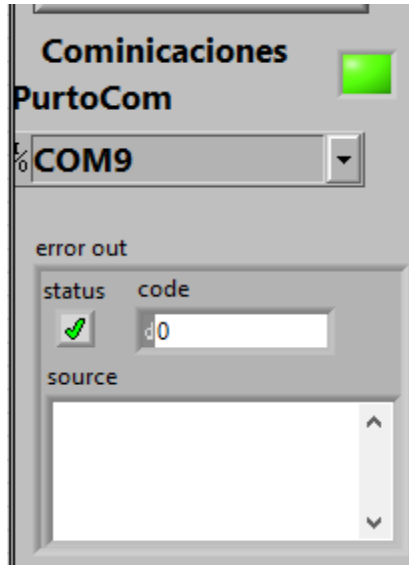


Figura Anexo 1.13 Puerto de comunicaciones del HMI

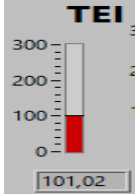
Fuente: Autor.

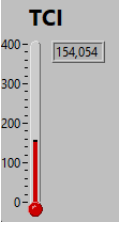
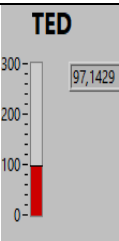
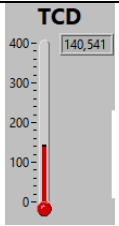
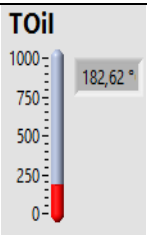
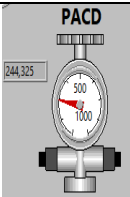
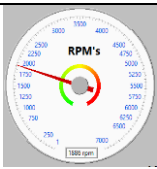
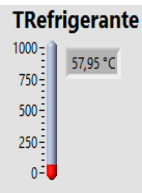
b). Indicadores

El HMI tiene indicadores o visualizadores de señales análogas como son. Temperatura de cilindros y de tubos de escape, RPMs, nivel del tanque de combustible, presión de aceite. La figura del anexo 1.14 contiene los indicadores de las señales con su respectivo identificativo tabla anexo 1.1.

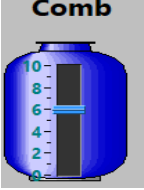
Tabla Anexo 1.1.

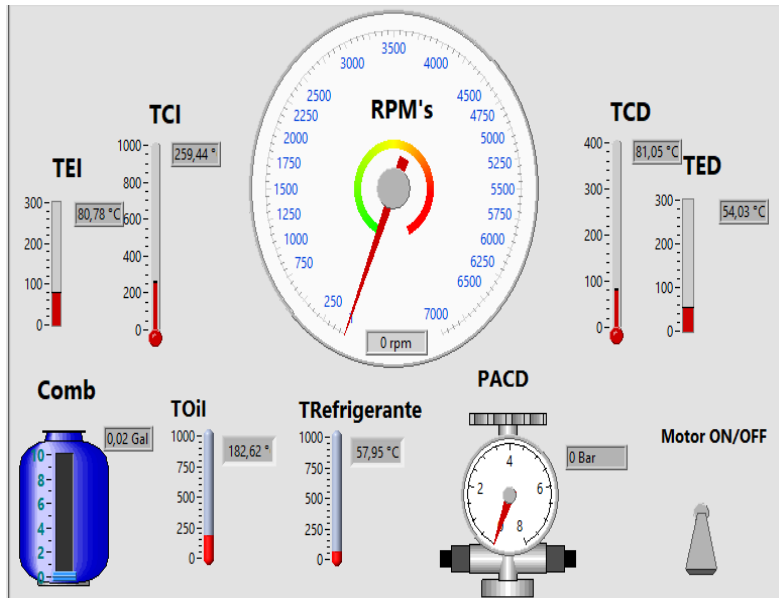
*Asignación de variables físicas con los indicadores del HMI*

Nombre de la Variable Física	ID HMI	Instrumento HMI
Temperatura del Escape Izquierdo	TEI	

Temperatura del Cilindro Izquierdo	TCI	 <p>TCI 400 300 200 100 0 154,054</p>
Temperatura del Escape Derecho	TED	 <p>TED 300 200 100 0 97,1429</p>
Temperatura del Cilindro Derecho	TCD	 <p>TCD 400 300 200 100 0 140,541</p>
Temperatura de aceite Aceite	Toil	 <p>Toil 1000 750 500 250 0 182,62 °</p>
Presión Aceite	PACD	 <p>PACD 244,325 500 1000</p>
Revoluciones por minuto	RPM's	 <p>RPM's 1800 1600 1400 1200 1000 800 600 400 200 0 1800 rpm</p>
Temperatura del refrigerante	TRefrigerante	 <p>TRefrigerante 1000 750 500 250 0 57,95 °C</p>



Nivel Tanque de combustible	Comb	
-----------------------------	------	---



*Figura Anexo 1.14* Indicadores del HMI

Fuente: Autor.

### c). Controles

El HMI tiene controles de inicio de proceso, paro de proceso y encendido (on) y apagado del motor (off). En la figura anexo 1.15 se indica los controles del HMI.

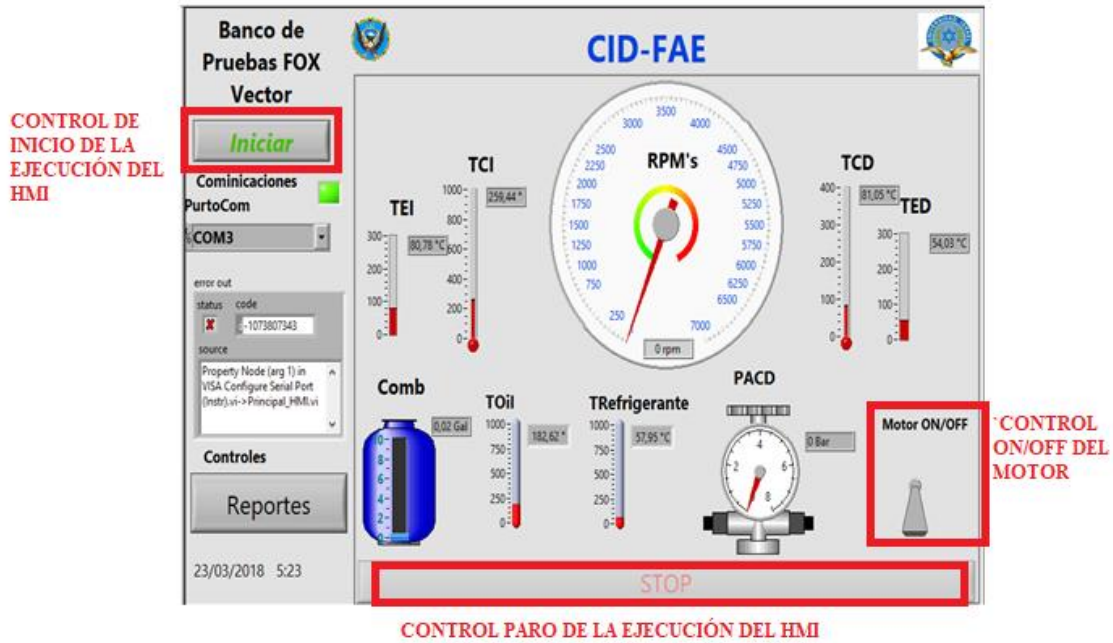


Figura Anexo 1.15 Controles del HMI.

Fuente: Autor.

#### d) Consultas

Las pruebas realizadas en el motor ROTAX 912 ULS son respaldadas en un archivo de extensión *.xls* en un directorio que se crea automáticamente en la ubicación en la que se instaló la aplicación del HMI Anexo 1 sección 1. La figura Anexo 1.16 muestra el directorio de instalación de la aplicación y la carpeta de generación automática en la que almacenaran los archivos de respaldo de las pruebas

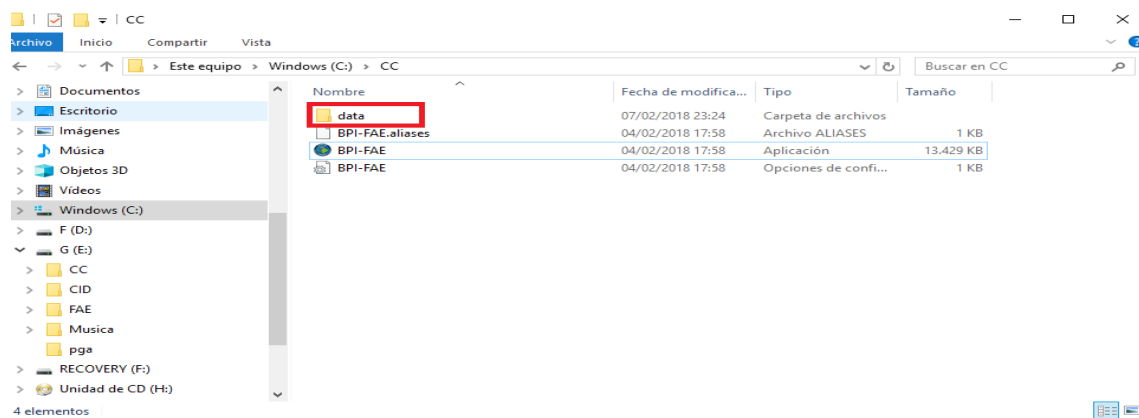
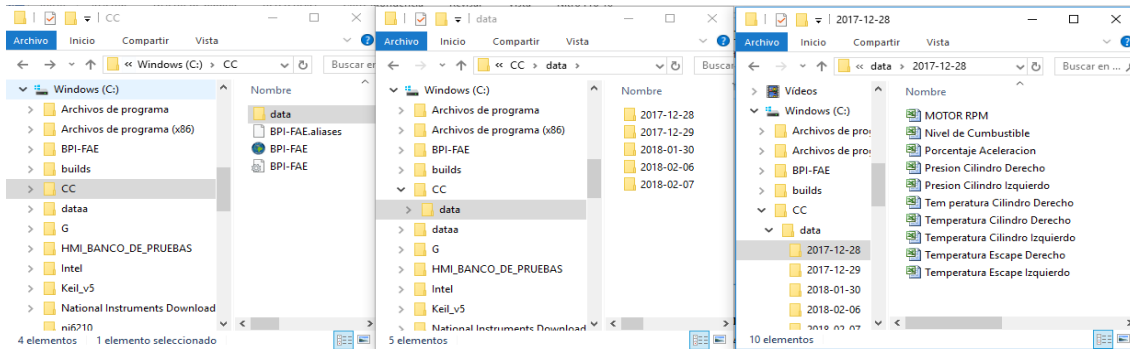


Figura Anexo 1.16 Directorio de almacenamiento de respaldos de pruebas del motor ROTAX 912 ULS.

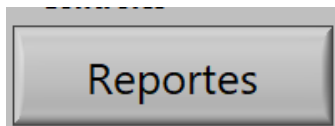
Fuente: Autor.

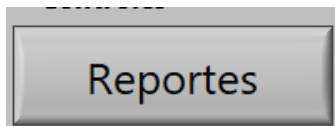
Al interior de la carpeta **data** se generan subcarpetas con la fecha que se realizó la prueba y en esa subcarpeta esta contenido un archivo con el nombre de cada variable del motor ROTAX 912 ULS la figura anexo 1.17 muestra la ruta de los archivos de respaldo.

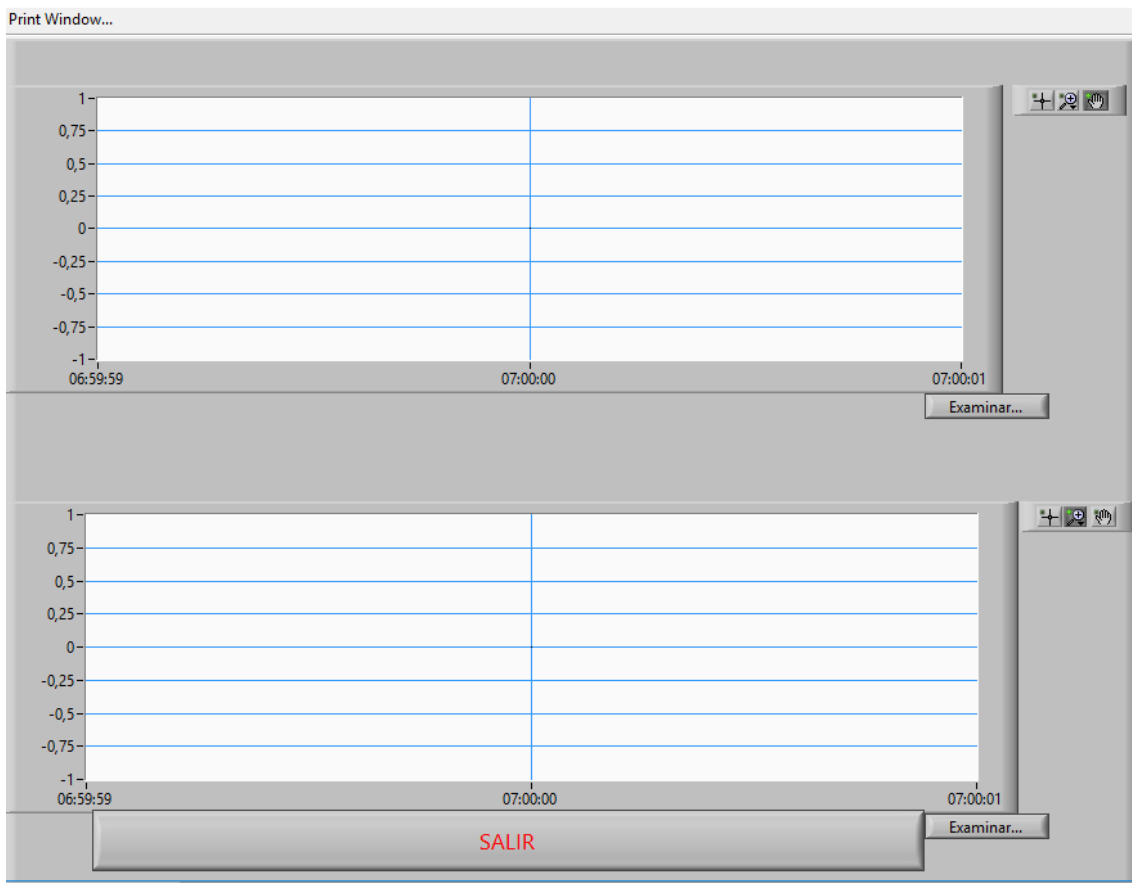


*Figura Anexo 1.17* Direccionamiento de los archivos de respaldos de las pruebas del motor ROTAX 912 ULS.

Fuente: Autor.

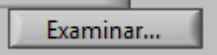


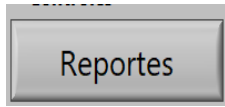
El botón  permite mostrar de forma gráfica los valores generados por las variables físicas del motor ROTAX 912 ULS. Par poder abrir los archivos de clic sobre el botón **Reportes** se abrirá una interface Gráfico Anexos 1.18 que permite cargar dos variables una en la parte superior y otra en la parte inferior y mostrara como título el nombre de la variable y la fecha de las pruebas.



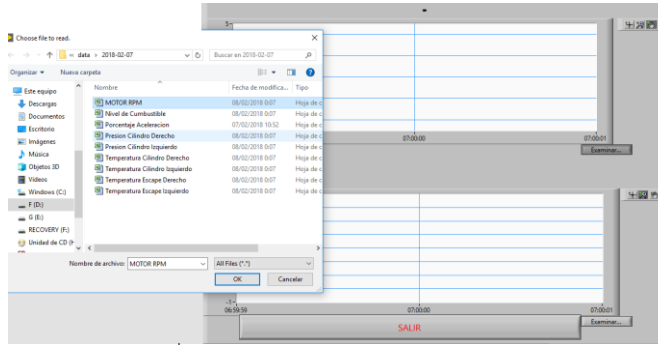
*Figura Anexo 1.18* Interfaz para mostrar de forma gráfica las variables almacenadas en las pruebas.

Fuente: Autor.

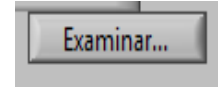
Los botones  permite cargar el archivo la Figura Anexo 1.19 muestra la secuencia de apertura e impresión de variables almacenadas durante una prueba de funcionamiento del sistema de adquisición de variables y control del motor ROTAX 912 ULS.



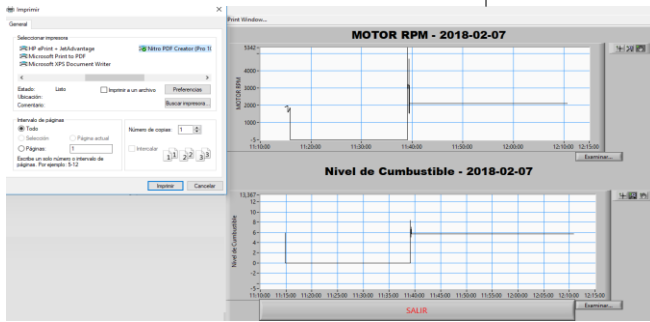
1) Clic en Reportes



2) Clic en examinar y escoger el archivo para mostrar



3) Abrir el archivo



4) Imprimir el reporte



5) Cerrar la aplicación de Reportes

Figura Anexo 1.19 Secuencia de apertura de archivos de respaldo de las pruebas realizadas el motor ROTAX 912 ULS

Fuente: Autor.

Al regresar a a la pantalla principal del HMI mediante el botón



puede cerrar la aplicación.

## Anexo 2 Manual Técnico

### 1. Introducción

El presente manual contiene las indicaciones necesarias para integrar los equipos que forman parte del sistema de monitoreo y control de motor ROTAX 912 ULS.

#### 1.1 Objetivo del manual

Establecer el procedimiento correcto para poder integrar el sistema de adquisición y control del motor ROTAX 912 ULS, preservando la integridad física del personal de aerotécnicos, los componentes, equipos, tarjetas de adquisición de datos y el motor ROTAX 912 ULS.

#### 1.2 Alcance

El manual detalla las características técnicas del sistema en hardware el mismo que deberá ser manipulado por personal técnico capacitado y con conocimiento en sistemas de propulsión aéreos.

### 2. Hardware

#### 2.1. Características del sistema.

El chasis reconfigurable de 8 Slots juntamente con el procesador de tiempo real NI 9014 son los encargados de ejecutar el proceso de adquisición y ejecución de los procesos del sistema de adquisición y control del motor ROTAX 912 ULS.



*Figura Anexo 2.1* Modulo Real-& Chasis reconfigurable de 8 Slots

Fuente: National Instruments

Modulo Real Time

Identificación de los elementos que conforman el panel frontal

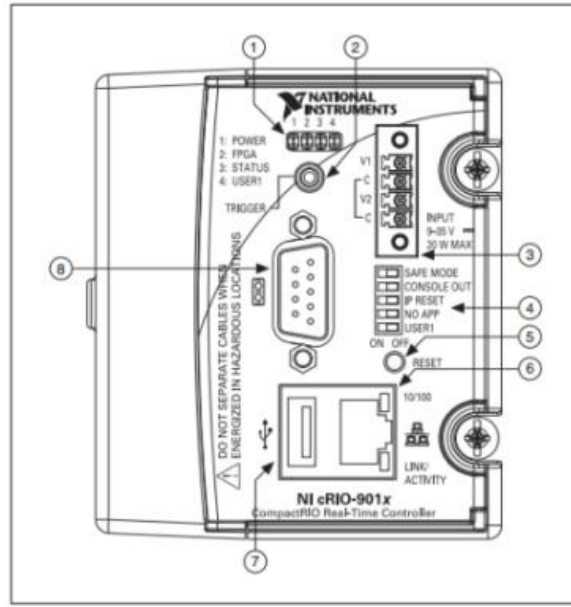
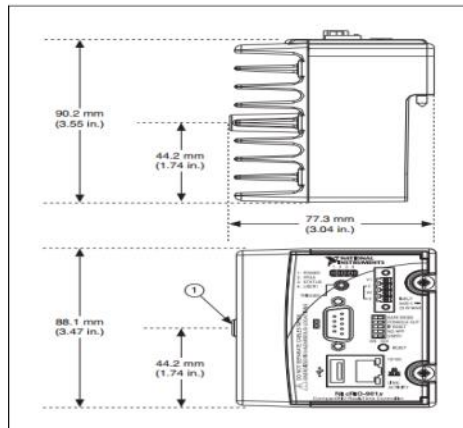


Figura Anexo 2.2 Panel frontal del Módulo Real Time

Fuente: National Instruments

1. Leeds
2. SMB conector miniatura de radio frecuencia
3. Conector de Fuente de alimentación
4. Dio switch
5. Botón de Reset
6. Conector Rj45
7. Conector USB
8. Conector Rs232 Macho

Pasos para instalar la unidad de control en el chasis

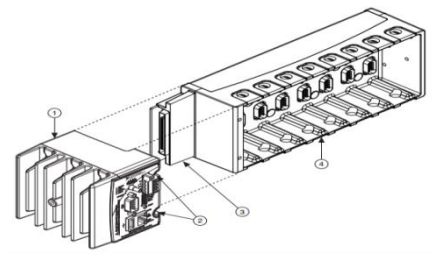


1 seguro (rosca) de adherimiento

*Figura Anexo 2.3* Panel frontal del módulo Real Time

Fuente: National Instruments

- 1.- Asegúrese que el módulo Real-Time y el Chasis no se encuentren energizados
- 2.- Alinear el controlador de tiempo real con el chasis como se muestra en la figura



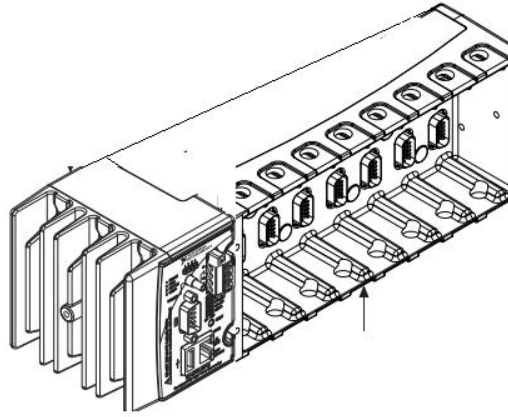
1. Controlador de tiempo Real
2. Tornillos de ajuste
3. Ranura de conexión
4. *Chasis reconfigurable*

*Figura Anexo 2.4* Conectando el módulo Real Time al chasis reconfigurable

Fuente: National Instruments

3. Deslice el módulo de tiempo real en la ranura del controlador en el chasis. Presione con firmeza, para asegurar que el conector del chasis y el conector del controlador se unan.
4. Apriete los dos tornillos cautivos en la parte frontal del controlador a  $1,3 \text{ N} \cdot \text{m}$  (11,5 lb · pulg) de torsión.





*Figura Anexo 2.5 Real Time adherido al chasis*

Fuente: National Instruments

### Alimentación de energía del equipo

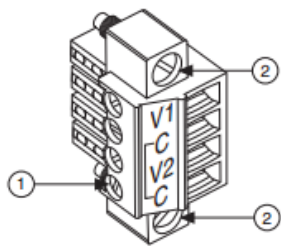
El equipo requiere de alimentación externa de las siguientes características

### Recomendación del Equipo

Consumo	48 W
Recomendado	18 VDC a 24 VDC
Rango permitido	9 Volt a 35 Volt
Consumo de potencia	Solo el Controlador RealTime 6W  El módulo RealTime con los módulos 20 W

### Características físicas

El conector que dispone el módulo se lo indica en la fura siguiente



1. Terminales de conexión
2. Tornillos de sujeción

*Figura Anexo 2.6 Conector de fuente de poder*

Fuente: National Instruments

1.- Conecte el nivel negativo de la fuente de poder a uno de los terminales de identificación C

2.- Opcionalmente el conector con el polo positivo puede ser conectado en la posición V1 o V2

Instale el conector de la fuente en el panel frontal refiérase a la figura 12 del presente documento

Para dotar de energía el módulo mediante este conector utilice cable 16-18-20 AWG

Nota El controlador obtiene la energía de uno de los dos terminales ya sea V1 o V2 dependiendo de qué terminal tiene el voltaje más alto. No extraer energía de las dos terminales. El controlador cambia entre V1 y V2 sin afectar la operación.

#### Precaución

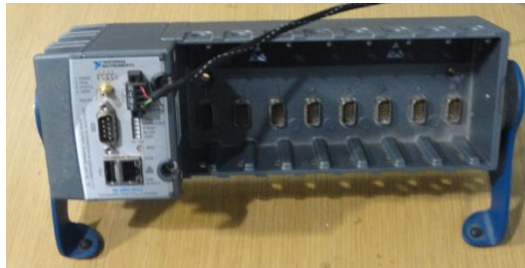
Los terminales C están conectados internamente entre sí. Si utiliza dos fuentes de alimentación, asegúrese de que compartan una tierra común.

Los terminales C están conectados internamente al chasis del controlador para evitar una conexión a tierra defectuosa (evitando tierra flotante).

Si la masa del chasis no es fiable conéctela a tierra.

Precaución No apriete o afloje los tornillos de los terminales del conector de alimentación, mientras que el conector de alimentación está enchufado en el controlador o mientras la alimentación está encendida.

Instalación y montaje de los módulos en el equipo



*Figura Anexo 2. 7 NI-9114 instalado con el módulo NI 9014*


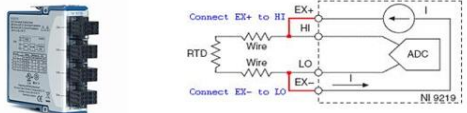
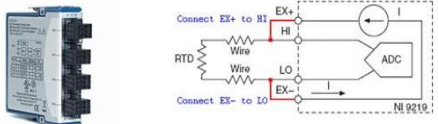
Fuente: Autor.

El sistema es de funcionalidad modular y no necesita que todos los módulos estén conectados (montados en la ranura del chasis) para su normal funcionamiento, sin embargo es menester recalcar que el orden en el que los módulos han sido asignados es el siguiente:

Tabla Anexo 2.1

*Distribución de los módulos en el Chasis NI9114*

<b>Modulo</b>	<b>Slot del Chasis que usa</b>	<b>Descripcion</b>
<b>LIBRE</b>	<b>1</b>	Libre
<b>LIBRE</b>	<b>2</b>	Libre
<b>LIBRE</b>	<b>3</b>	Libre
<b>LIBRE</b>	<b>4</b>	Libre

<b>LIBRE</b>	<b>5</b>	Libre
<b>NI 9401</b> <b>DIGITAL IN / OUT</b> <b>SEÑALES PWM COUNTERS</b>	<b>6</b>	
<b>NI 9219</b> <b>Medidas de termopares, RTD,</b> <b>resistencia, voltaje y corriente.</b>	<b>7</b>	
<b>NI 9219</b> <b>Medidas de termopares, RTD,</b> <b>resistencia, voltaje y corriente.</b>	<b>8</b>	

Fuente: Autor

### Conexión e instalación de los modulo en el chasis NI9114.

Las siguientes figuras muestran la manera como se conectan los módulos en el Chasis

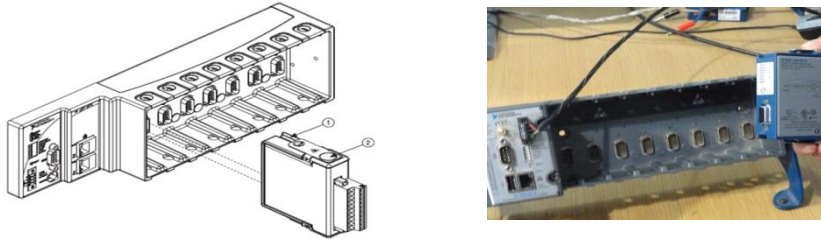
1.- Identifique la posición correcta del módulo fíjese en el conector que se halla en la parte inferior del módulo (conector VGA )



Figura Anexo 2.8 Conector VGA hembra de los módulos NI

Fuente: National Instruments

2.- Alinealo con el conector VGA macho del chasis



*Figura Anexo 2.9* Alineación del módulo con el chasis

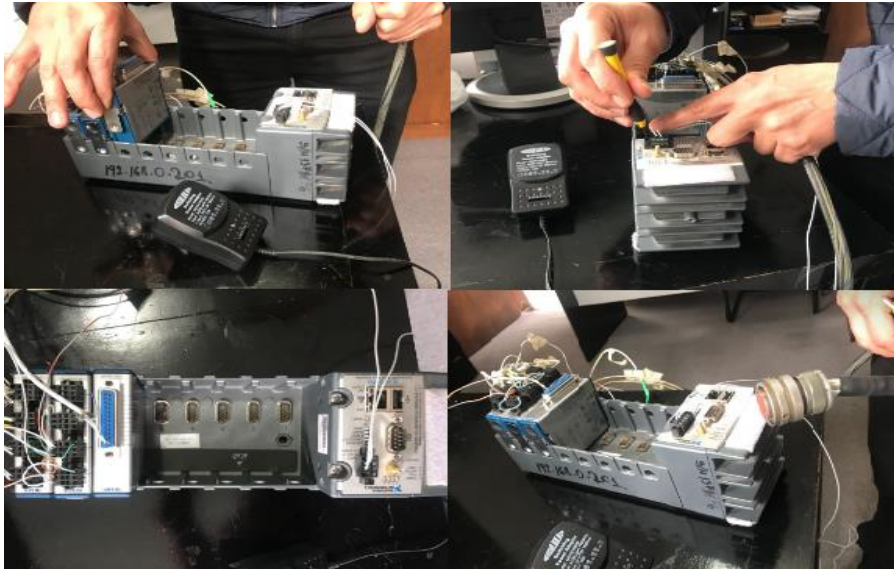
Fuente: National Instruments

3.- Conecte cada módulo al chasis NI9114



*Figura Anexo 2. 10* Conexión de los módulos de la serie C al Chasis NI9114.

Fuente: Autor

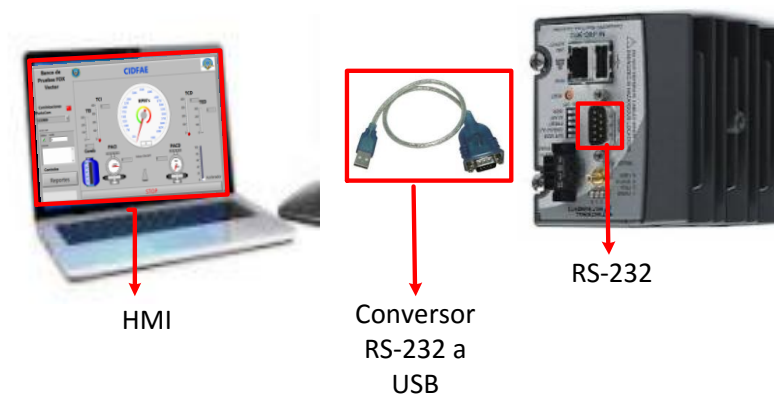


*Figura Anexo 2. 11* Armado final del sistema de adquisición de datos y control del motor ROTAX 912 ULS.

Fuente: Autor.

## 2.2. Instalación del sistema

La instalación del sistema se detalla en la Figura Anexo2.12. el medio físico de conexión entre la PC y el CRIO (9014) se lo realiza mediante un cable conversor USB a RS-232.



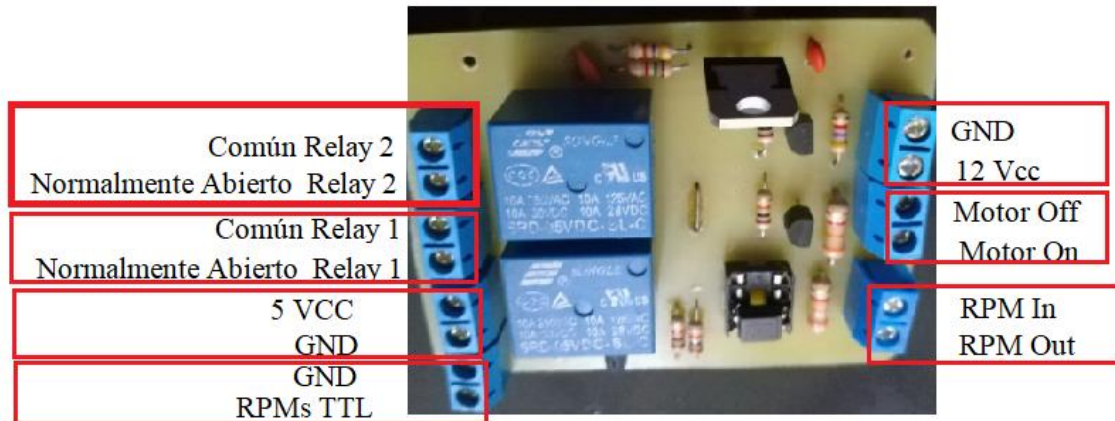
*Figura Anexo 2.12* Conexión PC CRIO 9014

Fuente: Autor

### 2.3. Conexión de señales físicas

Para adquirir los datos desde el motor al HMI se construyó una tarjeta de acondicionamiento de señales y un arnés de cables.

Los conectores de la tarjeta de acondicionamiento se muestran en la figura Anexo 2.13.

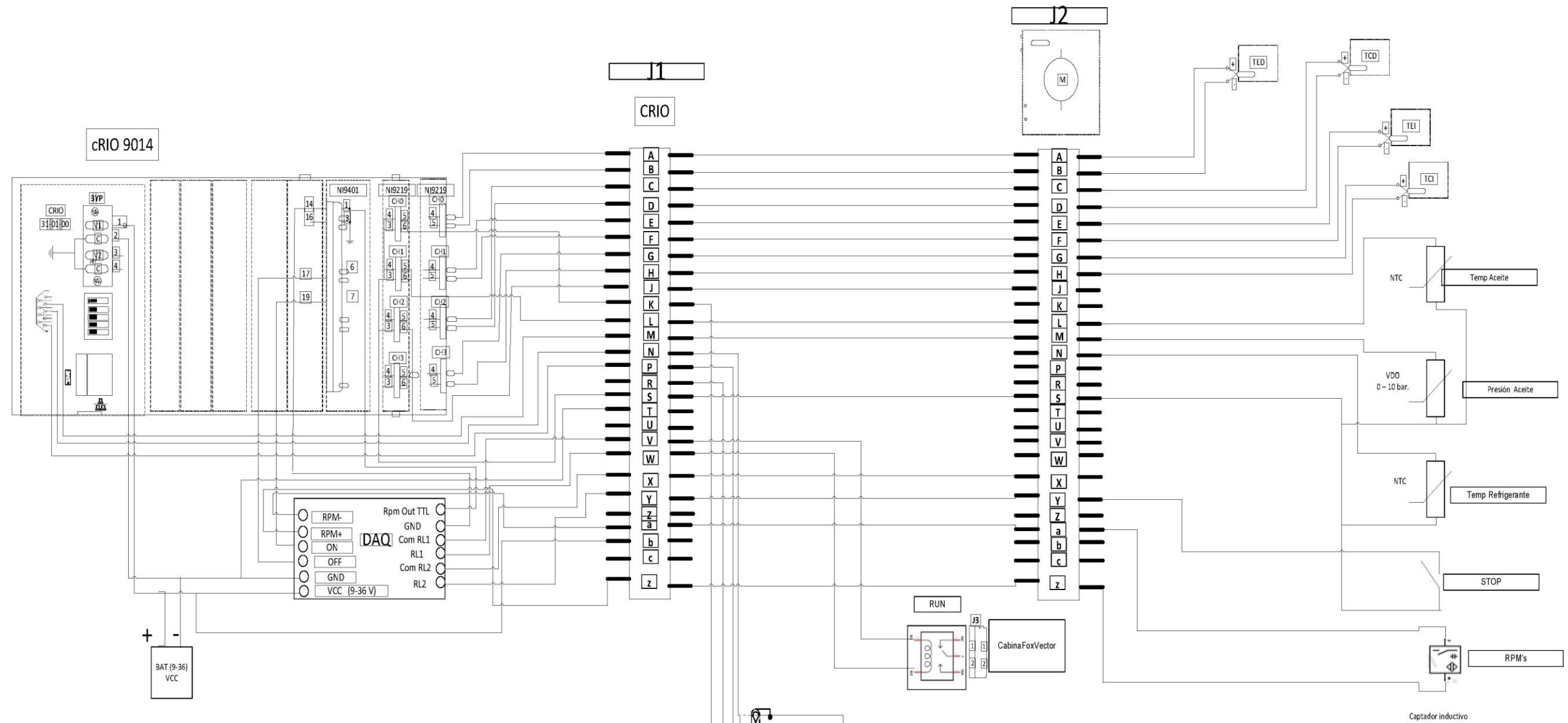


*Figura Anexo 2.13* Tarjeta de acondicionamiento de señales

Fuente: Autor

En el Anexo 3, se puede observar el diseño del cableado eléctrico y electrónico del motor Rotax 912 ULS.

### Anexo 3. Diseño del cableado eléctrico y electrónico del sistema de adquisición de datos para el motor Rotax 912 ULS



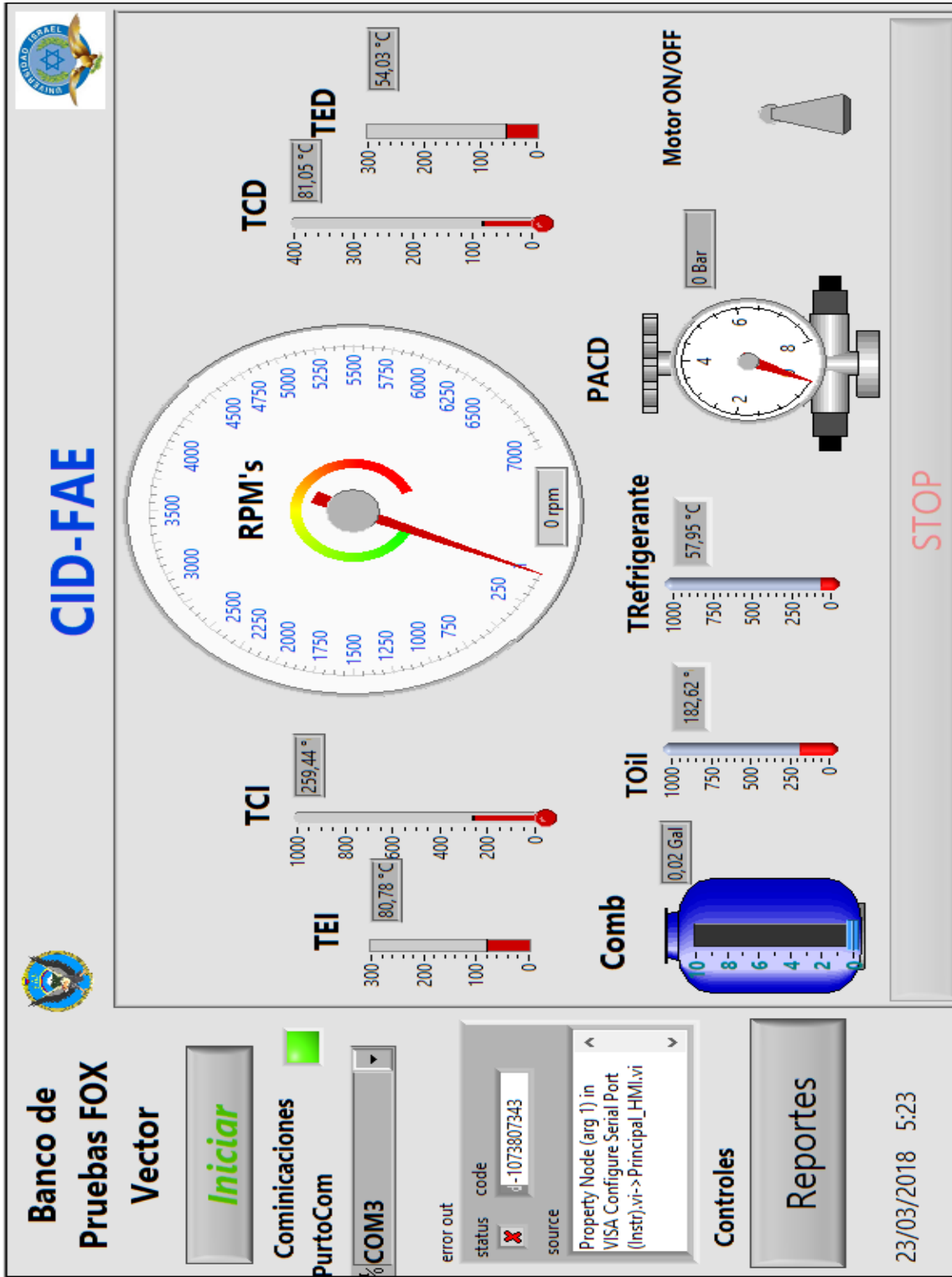
**LEYENDA**

- J1: Conector CD951-06 R 16-26 S 50 / CD951-06 R16-26 P 50 de conexión al arnés de salida principal.
  - J2: Conector CD951-06 R 14-19 S 50 / CD951-06 R 14-19 P 50 de conexión al arnés de control del motor.
  - J3: Conector CD951-06 R 8-3A-S 50 / CD951-06 R 8-3A-P 50 de conexión al arranque del motor.
  - J4/4RCP/: Conversor rs232 usb de conexión con la interfaz HMI (PC).
  - J5 y J6: Conector MS24264R10B5PN (macho) / MS24264R10B5SN (hembra) conectado al sensor de combustible 18-NB-5S.
  - NTC: Termistor con coeficiente de temperatura negativo (Nro. Part. 965531), utilizado para medir la temperatura del refrigerante y aceite del motor.
  - VDO: Sensor de presión de 0-10 bares, utilizado para medir la presión del aceite del motor
  - TED: Temperatura tubo de escape derecho
  - TEI: Temperatura tubo de escape izquierdo
  - TCD: Temperatura cilindro derecho
  - TCI: Temperatura cilindro izquierdo
  - STOP: Switch de parada del motor;
- Son termocoplas tipo K (NICR-NI K, Nro. Part. 966-370)

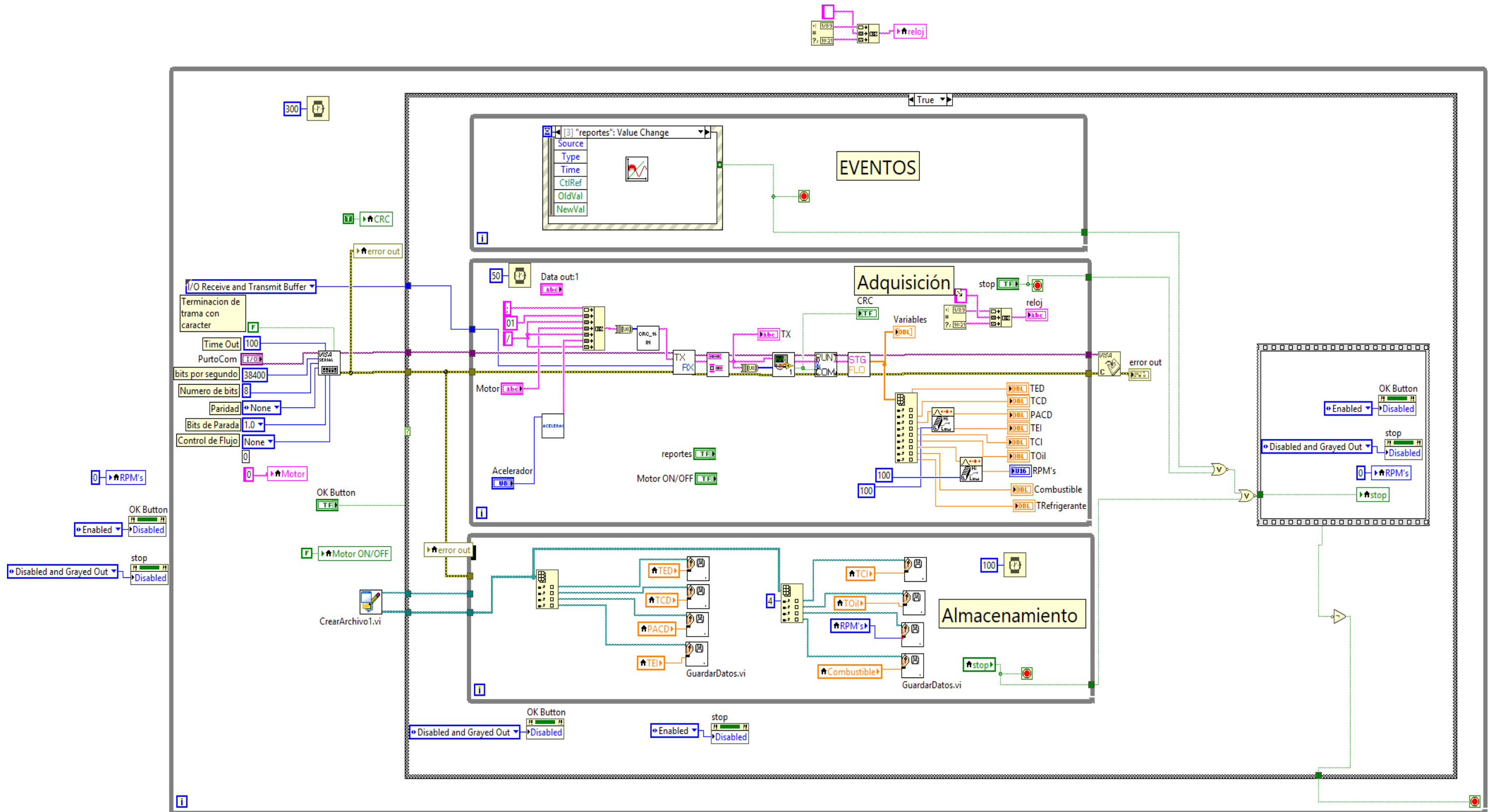
<b>Universidad Tecnológica Israel</b>	
<b>Diagrama de conexión eléctrico del sistema de instrumentación del MOTOR ROTAX 912 ULS</b>	
<b>Autor:</b>	<b>Juan Solina</b>
<b>Quito, 03/2018</b>	<b>Revisado :</b>



Anexo 4. Panel de control del HMI



# Anexo 5. Programación principal de bloques LabVIEW del HMI



# Anexo 6. Panel frontal de la CompactRIO 9014

**Banco de Pruebas FoxVector.. CRO**

Estado: Espera -6,65

error out: status code 0, source

error out 2: status code 0, source

**RPM**: 2500

**TCD**: 0

**TCD**: 0

**TEI**: 0

**TOII**: 0 C

**TRefrigerante**: 0

**POII**: 0 Bar

**STOP**

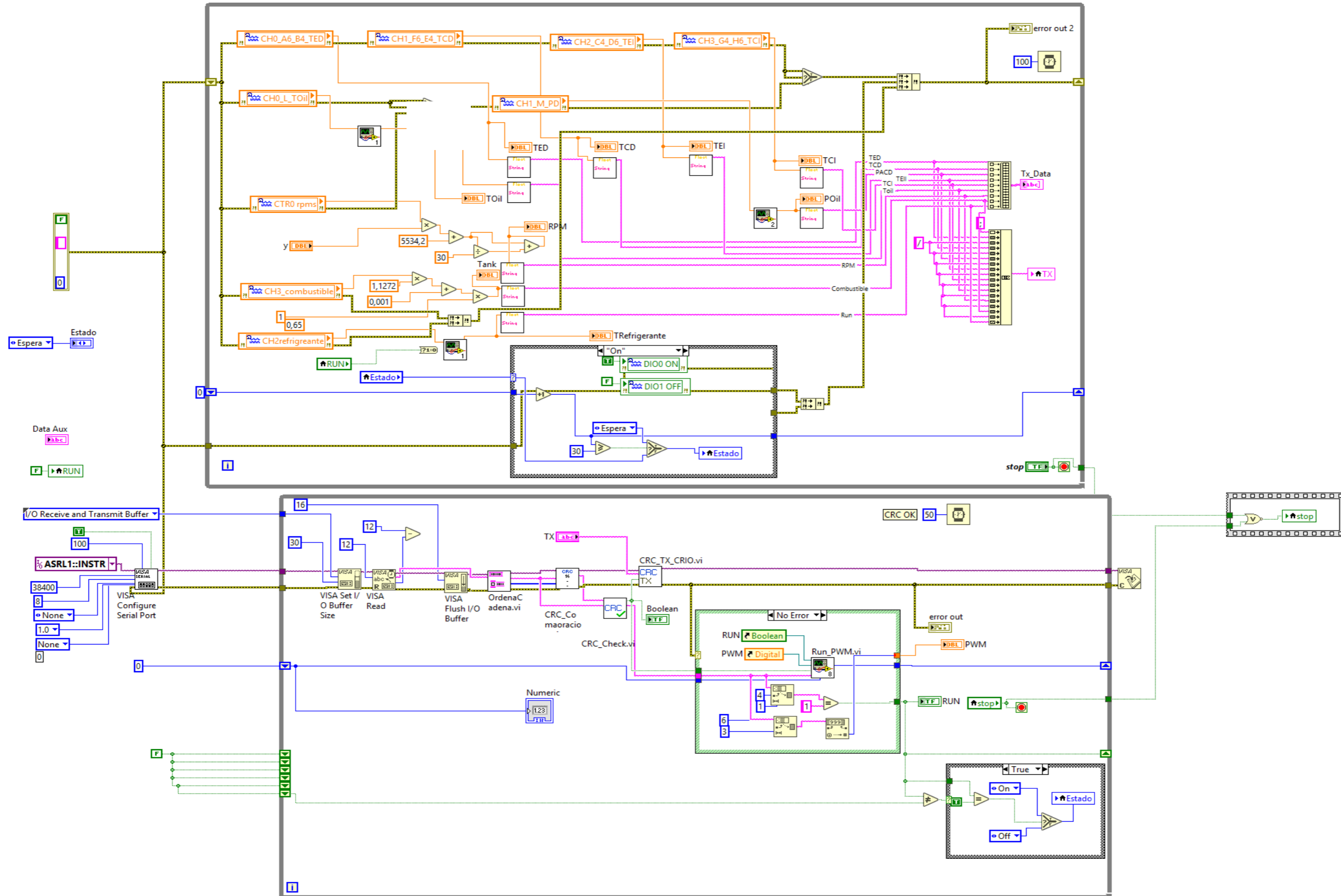
**STOP**

**Tx Data**

**Data Aux**

540 ENG 23/03/2018

### Anexo 7. Programación principal en LabVIEW de la CompactRIO NI 9014



# CompactRIO High-Performance Real-Time Controllers

## NI cRIO-9012, NI cRIO-9014 **NEW!**

- Small and rugged embedded real-time controllers
- Execution target for NI LabVIEW Real-Time applications
- Reliable and deterministic operation for stand-alone control, monitoring, and logging
- 400 MHz Freescale MPC5200 real-time processor
- -40 to 70 °C operating temperature range

### Operating System

- LabVIEW Real-Time (VxWorks)

### Driver Software

- NI-RIO for reconfigurable embedded systems



Product	DRAM Memory (MB)	Internal Nonvolatile Storage (MB)	10/100BaseT/TX Ethernet Port	RS232 Serial Port	USB Port	LEDs	DIP Switches	Power Supply Input Range	Power Consumption	Backup Power Input	Remote Panel Web Server	FTP Server
cRIO-9012	64	128	✓	✓	✓	4	5	9 to 35 VDC	6 W max	✓	✓	✓
cRIO-9014	128	2000	✓	✓	✓	4	5	9 to 35 VDC	6 W max	✓	✓	✓

## Overview and Applications

The National Instruments cRIO-901x controllers feature an industrial 400 MHz Freescale MPC5200 real-time processor for deterministic and reliable real-time applications. Both embedded controllers are designed for extreme ruggedness, reliability, and low power consumption with dual 9 to 35 VDC supply inputs that deliver isolated power to the CompactRIO chassis/modules and a -40 to 70 °C operating temperature range. The cRIO-901x controllers accept 9 to 35 VDC power supply inputs on power-up and 6 to 35 VDC power supply inputs during operation, so they can function for long periods of time in remote applications using a battery or solar power.

With the 10/100 Mb/s Ethernet and serial ports, you can communicate via TCP/IP, UDP, Modbus/TCP, and serial protocols. The cRIO-901x controllers also feature built-in Web (HTTP) and file (FTP) servers. For additional storage capability, cRIO-901x controllers have a full-speed USB host port to which you can connect external USB-based storage media (flash drives and hard drives) for embedded logging applications requiring additional storage. Also, there is a fault-tolerant file system embedded in cRIO-901x controllers that provides increased reliability for data logging.

CompactRIO real-time controllers connect to any 4 or 8-slot cRIO-910x reconfigurable chassis. The embedded FPGA in the chassis controls each I/O module and passes data to the controller through a local PCI bus using built-in communications functions.

## Embedded Software

The cRIO-901x controllers run the National Instruments LabVIEW Real-Time Module on the Wind River VxWorks real-time operating system (RTOS) for extreme reliability and determinism. You can now use the leading VxWorks RTOS technology to quickly design, prototype, and deploy a customizable COTS embedded system using NI LabVIEW graphical programming tools.

### Ordering Information

NI cRIO-9012 .....	779563-01
NI cRIO-9014 .....	779564-01

### Accessories

NI 9978 (4-pos screw-terminal power supply plugs, quantity 5).....	196938-01
NI 9979 (strain relief kit for 4-pos power connector) .....	196939-01

### BUY NOW!

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call 800 813 3693 (U.S.) or go to [ni.com/compactrio](http://ni.com/compactrio).



# CompactRIO High-Performance Real-Time Controllers

## Specifications

### Minimum Software Support Information

CompactRIO Real-Time Controller	Minimum Version of LabVIEW Real-Time Module	Minimum Version of NI-RIO Driver
cRIO-9012	8.2	2.1
cRIO-9014	8.2.1	2.1.3

Specifications subject to change without notice. The following specifications are typical for the range -40 to 70 °C unless otherwise noted.

### Network

Network interface .....	10BaseT and 100BaseTX Ethernet
Compatibility .....	IEEE 802.3
Communication rates .....	10 Mb/s, 100 Mb/s, autonegotiated
Maximum cabling distance.....	100 m/segment

### SMB Connector

#### Output Characteristics

Logic high .....	3.3 V
Logic low .....	0 V
Driver type.....	CMOS
Sink/source current.....	±50 mA
3-state output leakage current.....	±5 µA

#### Input Characteristics

Minimum input level.....	-500 mV
Maximum input low level .....	990 mV
Minimum input high level.....	2.31 V
Maximum input level .....	5.5 V
Input capacitance.....	2.5 pF
Resistive strapping .....	1 kΩ to 3.3 V

### USB Port

Maximum data rate .....	12 Mb/s
Maximum current.....	500 mA

CompactRIO Real-Time Controller	Nonvolatile Storage	DRAM
cRIO-9012	128 MB	64 MB
cRIO-9014	2 GB	128 MB

### Memory

Use the following formula to determine the minimum life span in years of the nonvolatile storage of your cRIO-901x controller:

$$\text{Minimum life span in years} = [\text{Amount of memory in controller (MB)} \times 100,000 / 365 \text{ days}] / [\text{file size (MB)} \times \text{write rate (per day)}]$$

### Power Requirements

**Caution:** You must use a National Electric Code (NEC) UL Listed Class 2 power supply with cRIO-901x controllers.

Recommended power supply.....	48 W secondary, 18 to 24 VDC
Power consumption	
Controller only .....	6 W
Controller supplying power to eight CompactRIO modules.....	20 W
Power supply	
On power-up .....	9 to 35 V
After power-up .....	6 to 35 V

**Note:** The cRIO-901x controllers are guaranteed to power up when 9 V is applied to V and C. After power-up, it can operate on as little as 6 V.

### Physical Characteristics

If you need to clean the controller, wipe it with a dry towel.	
Screw-terminal wiring .....	12 to 24 AWG copper conductor wire with 10 mm (0.39 in.) of insulation stripped from the end
Torque for screw terminals.....	0.5 to 0.6 N · m (4.4 to 5.3 lb · in.)
Weight.....	Approx. 488 g (17.2 oz)

### Safety Voltages

Connect only voltages that are within these limits.

V-to-C .....	35 V max, Measurement Category I
--------------	----------------------------------

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as MAINS voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.

**Caution:** Do not connect to signals or use for measurements within measurement categories II, III, or IV.

### Safety Standards

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1

**Note:** For UL and other safety certifications, refer to the product label or visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

## CompactRIO High-Performance Real-Time Controllers

### Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 EMC requirements; Industrial Immunity
- EN 55011 Emissions; Group 1, Class A
- CE, C-Tick, ICES, and FCC Part 15 Emissions; Class A

**Note:** For EMC compliance, operate this device according to product documentation.

### CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 73/23/EEC; Low-Voltage Directive (safety)
- 89/336/EEC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

**Note:** Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

### Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

**EU Customers:** At the end of their life cycle, all products must be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit [ni.com/environment/weee.htm](http://ni.com/environment/weee.htm).

### Hazardous Locations

U.S. (UL) .....	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nA II T4
Canada (C-UL) .....	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA II T4
Europe (DEMKO) .....	EEx nA II T4

### Environmental

The cRIO-901x controllers are intended for indoor use only. For outdoor use, mount the CompactRIO system in a suitably rated enclosure.

Operating temperature ..... -40 to 70 °C (meets IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)

**Note:** To meet this operating temperature range, follow the guidelines in the installation instructions for your CompactRIO system.

Storage temperature ..... -40 to 85 °C (meets IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)

Ingress protection ..... IP 40

Operating humidity ..... 10 to 90% RH, noncondensing (meets IEC 60068-2-56)

Storage humidity ..... 5 to 95% RH, noncondensing (meets IEC 60068-2-56)

Maximum altitude ..... 2,000 m

Pollution degree ..... 2 (meets IEC 60664)

### Shock and Vibration

To meet these specifications, you must panel mount the CompactRIO system, affix ferrules to the ends of the terminal wires, and install a tie wrap on the USB cable for strain relief. You can use the tie wrap to attach the USB cable to the Ethernet cable.

Operating vibration, random ..... 5 g<sub>rms</sub>, 10 to 500 Hz (meets IEC 60068-2-64)

Operating shock ..... 30 g, 11 ms half sine 50 g, 3 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations (meets IEC 60068-2-27)

Operating vibration, sinusoidal ..... 5 g, 10 to 500 Hz (meets IEC 60068-2-6)

# NI Services and Support



NI has the services and support to meet your needs around the globe and through the application life cycle – from planning and development through deployment and ongoing maintenance. We offer services and service levels to meet customer requirements in research, design, validation, and manufacturing. Visit [ni.com/services](http://ni.com/services).

## Training and Certification

NI training is the fastest, most certain route to productivity with our products. NI training can shorten your learning curve, save development time, and reduce maintenance costs over the application life cycle. We schedule instructor-led courses in cities worldwide, or we can hold a course at your facility. We also offer a professional certification program that identifies individuals who have high levels of skill and knowledge on using NI products. Visit [ni.com/training](http://ni.com/training).

## Professional Services

Our Professional Services Team is composed of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 600 independent consultants and



integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration.

Visit [ni.com/alliance](http://ni.com/alliance).

## OEM Support

We offer design-in consulting and product integration assistance if you want to use our products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem).

## Local Sales and Technical Support

In offices worldwide, our staff is local to the country, giving you access to engineers who speak your language. NI delivers industry-leading technical support through online knowledge bases, our applications engineers, and access to 14,000 measurement and automation professionals within NI Developer Exchange forums. Find immediate answers to your questions at [ni.com/support](http://ni.com/support).

We also offer service programs that provide automatic upgrades to your application development environment and higher levels of technical support. Visit [ni.com/ssp](http://ni.com/ssp).

## Hardware Services

### NI Factory Installation Services

NI Factory Installation Services (FIS) is the fastest and easiest way to use your PXI or PXI/SCXI combination systems right out of the box. Trained NI technicians install the software and hardware and configure the system to your specifications. NI extends the standard warranty by one year on hardware components (controllers, chassis, modules) purchased with FIS. To use FIS, simply configure your system online with [ni.com/pxiadvisor](http://ni.com/pxiadvisor).

### Calibration Services

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. We provide manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software specifically designed for use by metrology laboratories. Visit [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

### Repair and Extended Warranty

NI provides complete repair services for our products. Express repair and advance replacement services are also available. We offer extended warranties to help you meet project life-cycle requirements. Visit [ni.com/services](http://ni.com/services).



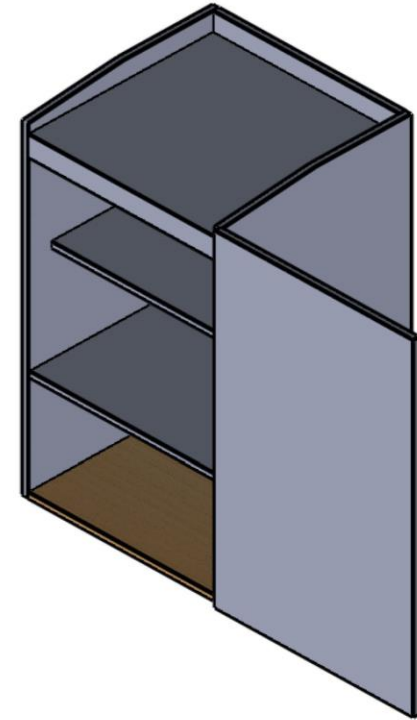
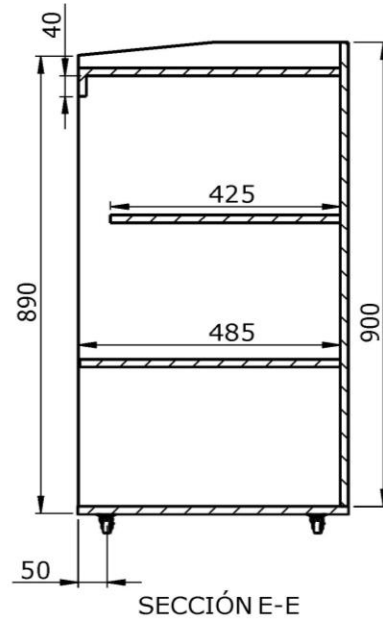
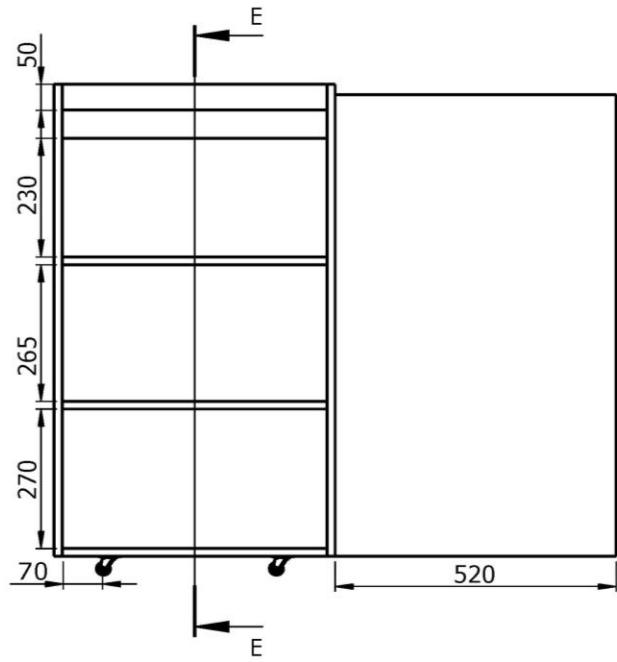
[ni.com](http://ni.com) • 800 813 3693

National Instruments • [info@ni.com](mailto:info@ni.com)





Anexo 9. Repisa de trabajo del banco de pruebas



Tolerancia:		Peso:		Material:	
± 1		gr		Triplex	
FECHA		NOMBRE		Título:	
Dibujó: 16/02/2019		Juan Salina		Banco de pruebas para motor Rotax	
Revisó: 16/02/2019				Escala: 1:10	
Aprobó: 16/02/2019				Registro:	
Edición:		Modificación:		Fecha:	
Nombre:		CIDFAE		N.º De Lámina	
				HOJA 1 DE 1	
				Sustitución:	

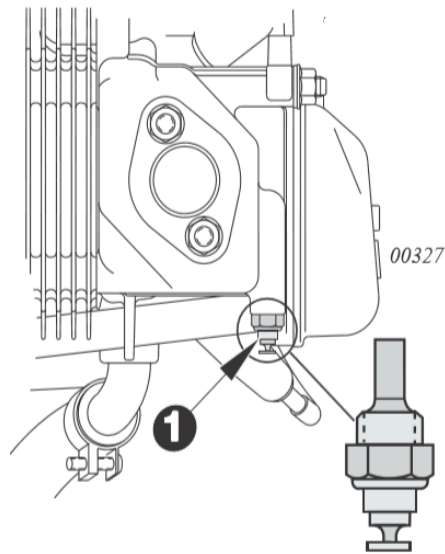


## Anexo 10. Tabla de valores de la termocupla tipo K

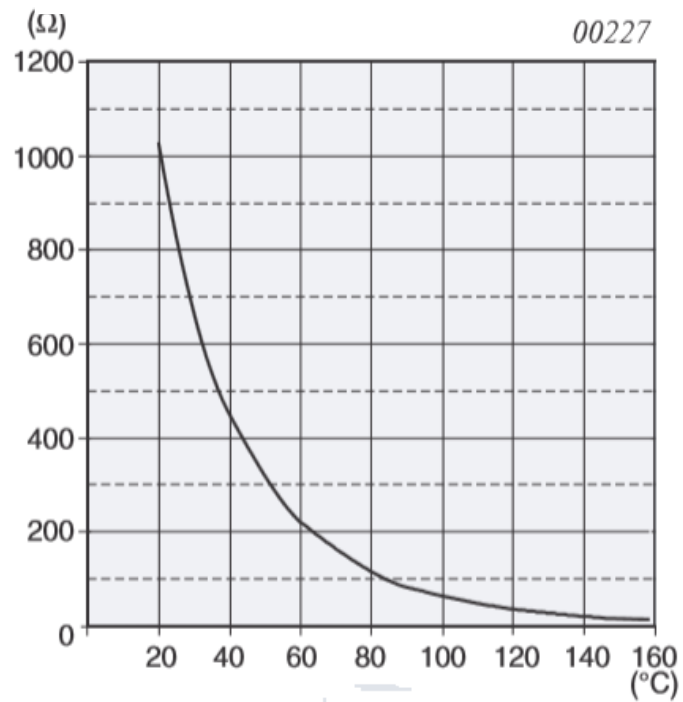
TERMOCUPLA K										
milivolts	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
°C										
-270	-6.458									
-260	-6.441	-6.444	-6.446	-6.448	-6.450	-6.452	-6.453	-6.455	-6.456	-6.457
-250	-6.404	-6.408	-6.413	-6.417	-6.421	-6.425	-6.429	-6.432	-6.435	-6.438
-240	-6.344	-6.351	-6.358	-6.364	-6.371	-6.377	-6.382	-6.388	-6.394	-6.399
-230	-6.262	-6.271	-6.280	-6.289	-6.297	-6.306	-6.314	-6.322	-6.329	-6.337
300	12.207	12.249	12.290	12.332	12.373	12.415	12.456	12.498	12.539	12.581
310	12.623	12.664	12.706	12.747	12.789	12.831	12.872	12.914	12.955	12.997
320	13.039	13.080	13.122	13.164	13.205	13.247	13.289	13.331	13.372	13.414
330	13.456	13.497	13.539	13.581	13.623	13.665	13.706	13.748	13.790	13.832
340	13.874	13.915	13.957	13.999	14.041	14.083	14.125	14.167	14.208	14.250
350	14.292	14.334	14.376	14.418	14.460	14.502	14.544	14.586	14.628	14.670
360	14.712	14.754	14.796	14.838	14.880	14.922	14.964	15.006	15.048	15.090
370	15.132	15.174	15.216	15.258	15.300	15.342	15.384	15.426	15.468	15.510
380	15.552	15.594	15.636	15.679	15.721	15.763	15.805	15.847	15.889	15.931
390	15.974	16.016	16.058	16.100	16.142	16.184	16.227	16.269	16.311	16.353
400	16.395	16.438	16.480	16.522	16.564	16.607	16.649	16.691	16.733	16.776
410	16.818	16.860	16.902	16.945	16.987	17.029	17.072	17.114	17.156	17.199
420	17.241	17.283	17.326	17.368	17.410	17.453	17.495	17.537	17.580	17.622
430	17.664	17.707	17.749	17.792	17.834	17.876	17.919	17.961	18.004	18.046
440	18.088	18.131	18.173	18.216	18.258	18.301	18.343	18.385	18.428	18.470
450	18.513	18.555	18.598	18.640	18.683	18.725	18.768	18.810	18.853	18.895
460	18.938	18.980	19.023	19.065	19.108	19.150	19.193	19.235	19.278	19.320
470	19.363	19.405	19.448	19.490	19.533	19.576	19.618	19.661	19.703	19.746
480	19.788	19.831	19.873	19.916	19.959	20.001	20.044	20.086	20.129	20.172
490	20.214	20.257	20.299	20.342	20.385	20.427	20.470	20.512	20.555	20.598
500	20.640	20.683	20.725	20.768	20.811	20.853	20.896	20.938	20.981	21.024
510	21.066	21.109	21.152	21.194	21.237	21.280	21.322	21.365	21.407	21.450
520	21.493	21.535	21.578	21.621	21.663	21.706	21.749	21.791	21.834	21.876
530	21.919	21.962	22.004	22.047	22.090	22.132	22.175	22.218	22.260	22.303
540	22.346	22.388	22.431	22.473	22.516	22.559	22.601	22.644	22.687	22.729
550	22.772	22.815	22.857	22.900	22.942	22.985	23.028	23.070	23.113	23.156
600	24.902	24.944	24.987	25.029	25.072	25.114	25.157	25.199	25.242	25.284
610	25.327	25.369	25.412	25.454	25.497	25.539	25.582	25.624	25.666	25.709
620	25.751	25.794	25.836	25.879	25.921	25.964	26.006	26.048	26.091	26.133
630	26.176	26.218	26.260	26.303	26.345	26.387	26.430	26.472	26.515	26.557
640	26.599	26.642	26.684	26.726	26.769	26.811	26.853	26.896	26.938	26.980
650	27.022	27.065	27.107	27.149	27.192	27.234	27.276	27.318	27.361	27.403
660	27.445	27.487	27.529	27.572	27.614	27.656	27.698	27.740	27.783	27.825
670	27.867	27.909	27.951	27.993	28.035	28.078	28.120	28.162	28.204	28.246
680	28.288	28.330	28.372	28.414	28.456	28.498	28.540	28.583	28.625	28.667
690	28.709	28.751	28.793	28.835	28.877	28.919	28.961	29.002	29.044	29.086
700	29.128	29.170	29.212	29.254	29.296	29.338	29.380	29.422	29.464	29.505
710	29.547	29.589	29.631	29.673	29.715	29.756	29.798	29.840	29.882	29.924
720	29.965	30.007	30.049	30.091	30.132	30.174	30.216	30.257	30.299	30.341
730	30.383	30.424	30.466	30.508	30.549	30.591	30.632	30.674	30.716	30.757
740	30.799	30.840	30.882	30.924	30.965	31.007	31.048	31.090	31.131	31.173
750	31.214	31.256	31.297	31.339	31.380	31.422	31.463	31.504	31.546	31.587
760	31.629	31.670	31.712	31.753	31.794	31.836	31.877	31.918	31.960	32.001
770	32.042	32.084	32.125	32.166	32.207	32.249	32.290	32.331	32.372	32.414
780	32.455	32.496	32.537	32.578	32.619	32.661	32.702	32.743	32.784	32.825
790	32.866	32.907	32.948	32.990	33.031	33.072	33.113	33.154	33.195	33.236
800	33.277	33.318	33.359	33.400	33.441	33.482	33.523	33.564	33.604	33.645
810	33.686	33.727	33.768	33.809	33.850	33.891	33.931	33.972	34.013	34.054
820	34.095	34.136	34.176	34.217	34.258	34.299	34.339	34.380	34.421	34.461
830	34.502	34.543	34.583	34.624	34.665	34.705	34.746	34.787	34.827	34.868
840	34.909	34.949	34.990	35.030	35.071	35.111	35.152	35.192	35.233	35.273
850	35.314	35.354	35.395	35.435	35.476	35.516	35.557	35.597	35.637	35.678
860	35.718	35.758	35.799	35.839	35.880	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.483
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.684	36.724	36.764	36.804	36.844	36.885
890	36.925	36.965	37.005	37.045	37.085	37.125	37.165	37.205	37.245	37.285

900	37.325	37.365	37.405	37.445	37.484	37.524	37.564	37.604	37.644	37.684
910	37.724	37.764	37.803	37.843	37.883	37.923	37.963	38.002	38.042	38.082
920	38.122	38.162	38.201	38.241	38.281	38.320	38.360	38.400	38.439	38.479
930	38.519	38.558	38.598	38.638	38.677	38.717	38.756	38.796	38.836	38.875
940	38.915	38.954	38.994	39.033	39.073	39.112	39.152	39.191	39.231	39.270
950	39.310	39.349	39.388	39.428	39.467	39.507	39.546	39.585	39.625	39.664
960	39.703	39.743	39.782	39.821	39.861	39.900	39.939	39.979	40.018	40.057
970	40.096	40.136	40.175	40.214	40.253	40.292	40.332	40.371	40.410	40.449
980	40.488	40.527	40.566	40.605	40.645	40.684	40.723	40.762	40.801	40.840
990	40.879	40.918	40.957	40.996	41.035	41.074	41.113	41.152	41.191	41.230
1000	41.269	41.308	41.347	41.385	41.424	41.463	41.502	41.541	41.580	41.619
1010	41.657	41.696	41.735	41.774	41.813	41.851	41.890	41.929	41.968	42.006
1020	42.045	42.084	42.123	42.161	42.200	42.239	42.277	42.316	42.355	42.393
1030	42.432	42.470	42.509	42.548	42.586	42.625	42.663	42.702	42.740	42.779
1040	42.817	42.856	42.894	42.933	42.971	43.010	43.048	43.087	43.125	43.164
1050	43.202	43.240	43.279	43.317	43.356	43.394	43.432	43.471	43.509	43.547
1060	43.585	43.624	43.662	43.700	43.739	43.777	43.815	43.853	43.891	43.930
1070	43.968	44.006	44.044	44.082	44.121	44.159	44.197	44.235	44.273	44.311
1080	44.349	44.387	44.425	44.463	44.501	44.539	44.577	44.615	44.653	44.691
1090	44.729	44.767	44.805	44.843	44.881	44.919	44.957	44.995	45.033	45.070
1100	45.108	45.146	45.184	45.222	45.260	45.297	45.335	45.373	45.411	45.448
1110	45.486	45.524	45.561	45.599	45.637	45.675	45.712	45.750	45.787	45.825
1120	45.863	45.900	45.938	45.975	46.013	46.050	46.088	46.126	46.163	46.201
1130	46.238	46.275	46.313	46.350	46.388	46.425	46.463	46.500	46.537	46.575
1140	46.612	46.649	46.687	46.724	46.761	46.799	46.836	46.873	46.910	46.948
1150	46.985	47.022	47.059	47.096	47.134	47.171	47.208	47.245	47.282	47.319
1160	47.356	47.393	47.430	47.468	47.505	47.542	47.579	47.616	47.652	47.689
1170	47.726	47.763	47.800	47.837	47.874	47.911	47.948	47.985	48.021	48.058
1180	48.095	48.132	48.169	48.205	48.242	48.279	48.316	48.352	48.389	48.426
1190	48.462	48.499	48.536	48.572	48.609	48.645	48.682	48.718	48.755	48.792
1200	48.828	48.864	48.901	48.937	48.974	49.010	49.047	49.083	49.120	49.156
1210	49.192	49.229	49.265	49.301	49.338	49.374	49.410	49.446	49.483	49.519
1220	49.555	49.591	49.627	49.663	49.700	49.736	49.772	49.808	49.844	49.880
1230	49.916	49.952	49.988	50.024	50.060	50.096	50.132	50.168	50.204	50.240
1240	50.276	50.311	50.347	50.383	50.419	50.455	50.491	50.526	50.562	50.598
1250	50.633	50.669	50.705	50.741	50.776	50.812	50.847	50.883	50.919	50.954
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1260	50.990	51.025	51.061	51.096	51.132	51.167	51.203	51.238	51.274	51.309
1270	51.344	51.380	51.415	51.450	51.486	51.521	51.556	51.592	51.627	51.662
1280	51.697	51.733	51.768	51.803	51.838	51.873	51.908	51.943	51.979	52.014
1290	52.049	52.084	52.119	52.154	52.189	52.224	52.259	52.294	52.329	52.364
1300	52.398	52.433	52.468	52.503	52.538	52.573	52.608	52.642	52.677	52.712
1310	52.747	52.781	52.816	52.851	52.886	52.920	52.955	52.989	53.024	53.059
1320	53.093	53.128	53.162	53.197	53.232	53.266	53.301	53.335	53.370	53.404
1330	53.439	53.473	53.507	53.542	53.576	53.611	53.645	53.679	53.714	53.748
1340	53.782	53.817	53.851	53.885	53.920	53.954	53.988	54.022	54.057	54.091
1350	54.125	54.159	54.193	54.228	54.262	54.296	54.330	54.364	54.398	54.432
1360	54.466	54.500	54.535	54.569	54.603	54.637	54.671	54.705	54.739	54.773
1370	54.807	54.841	54.875							

## Anexo 11. Sensor de temperatura (NTC) y curva de resistencia/temperatura



**Figura 831.1. Sensor de Temperatura (NTC)**



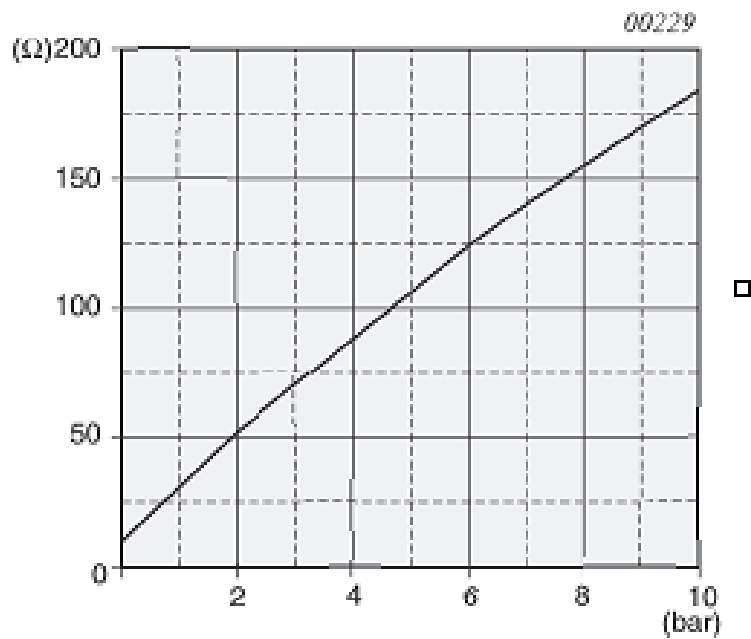
**Figura 821.2. Curva de resistencia/temperatura**

*Nota:* Definida bajo temperatura ambiente  $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ ) e índice de desviación max.  $\pm 10\%$

**Anexo 12. Sensor de presión (VDO) y curva resistencia/presión de aceite del motor Rotax 912 ULS.**



**Figura 842.1. Sensor de presión de aceite de motor Rotax 912 ULS**



**Figura 12.85. Curva de resistencia/presión**

**Nota:** Válida únicamente bajo las siguientes circunstancias:

**Temperatura ambiente:** 20°C (68 °F)

**Voltage:** 12 V

**Índice de desviación:** max.  $\pm 5\%$

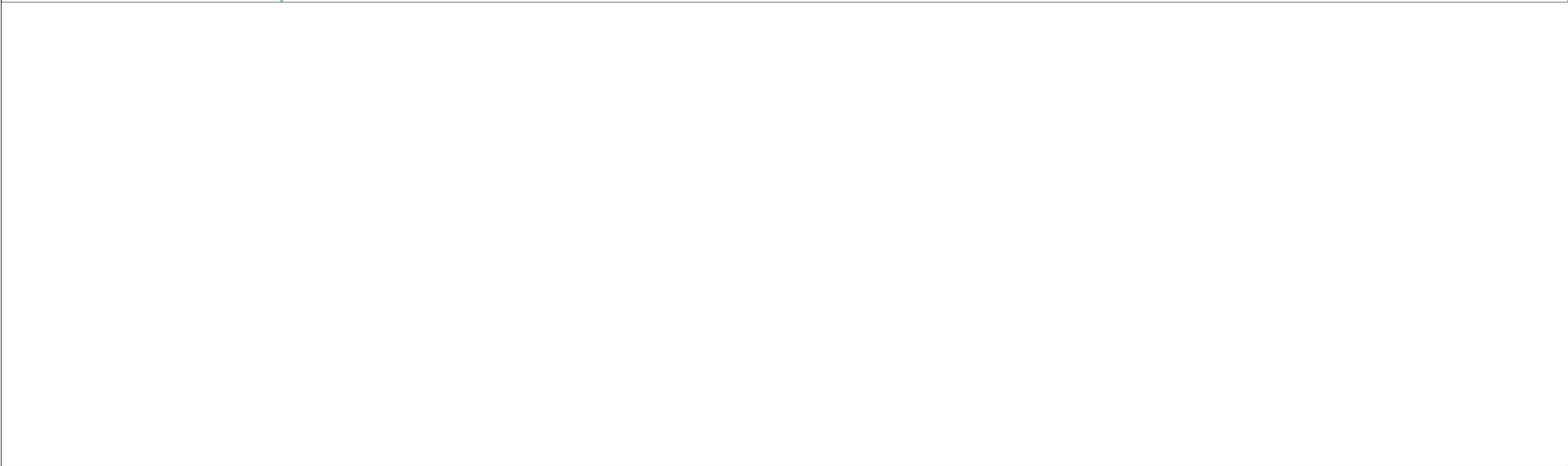


31 jul '17	14 ago '17	28 ago '17	11 sep '17	25 sep '17	09 oct '17	23 oct '17	06 nov '17	20 nov '17	04 dic '17	18 dic '17	01 ene '18	15 ene '18	29 ene '18	12 feb '18	2
L V M S	X D J	L V M S	X D J	L V M S	X D J	L V M S	X D J	L V M S	X D J	L V M S	X D J	L V M S	X D J	L V M S	



Proyecto: Anexo 13. Cronogram Fecha: mar 03/04/18	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			

26 feb '18	12 mar '18	26 mar '18	09 abr '18	23 abr '18	07 may '18	21 may '18	04 jun '18	18 jun '18	02 jul '18	16 jul '18	30 jul '18	13 ago '18	27 ago '18	10 sep '18
S X D J	L V M S	X D J	L V M S	X D J	L V M S	X D J	L V M S	X D J	L V M S	X D J	L V M S	X D J	L V M S	X D J



Proyecto: Anexo 13. Cronogram Fecha: mar 03/04/18	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			