



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA PARA LA
MEDICIÓN DE TEMPERATURA CON SISTEMAS
EMBEBIDOS PARA EL LABORATORIO DE
MECATRÓNICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

**LÓPEZ VELASCO WALTER ESTUARDO
MOYÓN AMAGUAYA NELSON FABIÁN**

TESIS DE GRADO

**PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

RIOBAMBA – ECUADOR

2011

EsPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Abril, 06 de 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

WALTER ESTUARDO LÓPEZ VELASCO Y NELSON FABIÁN MOYÓN AMAGUAYA

Titulada:

“DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA PARA LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA CON SISTEMAS EMBEBIDOS PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Pablo Montalvo J.
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Marco Haro M.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES: WALTER ESTUARDO LÓPEZ VELASCO
NELSON FABIÁN MOYÓN AMAGUAYA

TÍTULO DE LA TESIS: “DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA PARA LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA CON SISTEMAS EMBEBIDOS PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Exanimación: Abril 06 de 2011.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. EDUARDO VILLOTA M.			
ING. PABLO MONTALVO J.			
ING. MARCO HARO M.			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

(f) Walter Estuardo López Velasco

(f) Nelson Fabián Moyón Amaguaya

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, al Ing. Pablo Montalvo J. y al Dr. Marco Haro M. por brindarnos todo el apoyo para la realización de la presente tesis y darnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

También nuestra gratitud a todos los profesores por habernos impartido sus conocimientos, a los compañeros que fueron el pilar fundamental durante nuestra época estudiantil, para ellos los más fraternos reconocimientos.

Walter Estuardo López Velasco

Nelson Fabián Moyón Amaguaya

DEDICATORIA

Con mucha satisfacción al culminar una etapa más de mi vida estudiantil dedico este trabajo a Dios, por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día.

A mis padres: Estuardo López y Fatima Velasco por su amor y apoyo incondicional que me dieron durante toda mi carrera.

A mi hermana: Erika por su cariño y voz de aliento que me ayudo a continuar hacia delante sin desmayar en mi formación personal y profesional.

Walter Estuardo López Velasco

Dedico esté trabajo a Dios por darme la fuerza necesarias para seguir luchando día a día y ayudarme a levantarme en los momentos más difíciles que he tenido que enfrentar durante todo el camino de mi vida estudiantil y así poder cumplir con mi objetivo.

A mis padres: Alfonso Moyón y Lucecita Amaguaya quienes gracias a su cariño y comprensión me apoyaron incondicionalmente durante toda mi vida estudiantil.

A cada uno de mis hermanos que gracias a sus consejos he logrado culminar mi carrera profesional.

Nelson Fabián Moyón Amaguaya

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
2. SISTEMA EMBEBIDO DE MONITOREO Y CONTROL DE MÁQUINAS DE LA NATIONAL INSTRUMENTS.....	3
2.1 Introducción.....	3
2.2 Sistemas embebidos.....	3
2.2.1 Definición.....	3
2.2.2 Desarrollo de los sistemas embebidos.....	4
2.2.2.1 Hardware de sistemas embebidos.....	5
2.2.2.2 Software de sistemas embebidos.....	5
2.2.3 Ventajas de un sistema embebido.....	6
2.2.4 Sistemas embebidos y PLC's.....	7
2.2.5 Nuevo sistema embebido de la National Instruments.....	8
2.2.5.1 Áreas de aplicación.....	8
2.2.5.2 Arquitectura Compact RIO.....	9
2.2.6 La FPGA.....	11
2.2.7 Monitoreo de condición de máquinas por NI.....	12
2.3 Sistema SCADA.....	14
2.3.1 Funciones principales del sistema SCADA.....	16
2.3.2 Elementos del sistema SCADA.....	17
2.3.3 Transmisión de la información con SCADA.....	18
2.4 LabVIEW.....	20
2.4.1 Aplicaciones de LabVIEW.....	20
2.4.2 Instrumentos virtuales (VIs).....	21
2.4.2.1 Partes de un VI.....	21
2.4.3 Programación gráfica con LabVIEW.....	23
2.5 Adquisición de datos.....	24
2.5.1 Transductores y sensores.....	24
2.5.2 Señales.....	25
2.5.3 Acondicionamiento de señal.....	27
2.5.4 DAQ hardware.....	28
2.5.5 Software de aplicación.....	28
2.6 Temperatura.....	29

2.6.1	Concepto de calor y temperatura.....	29
2.6.1.1	Diferencia entre calor y temperatura.....	30
2.6.2	Mediciones de temperatura.....	30
2.6.3	Unidades de medida de temperatura.....	31
2.7	Elementos primarios para medir temperatura.....	33
2.7.1	Termocuplas.....	33
2.7.1.1	Junta caliente o junta de medición.....	34
2.7.1.2	Junta fría o de referencia.....	35
2.7.1.3	Cables de extensión.....	35
2.7.1.4	Ley de las temperaturas intermedias.....	35
2.7.1.5	Ley de los metales intermedios.....	35
2.7.1.6	Principios básicos de operación.....	36
2.7.2	Característica de las termocuplas.....	37
2.7.3	Tipos de termocuplas.....	37
2.7.4	Código de colores para cables de extensión.....	39
2.7.5	Tubos de protección.....	40
2.7.6	Normas de instalación y mantenimiento.....	41
2.7.7	Campos de aplicación.....	42
2.8	Pirómetro.....	42
2.8.1	Tipos de pirómetros.....	43
2.9	Detectores de temperatura resistivos (RTDs).....	44
3.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN Y MONITOREO DE TEMPERATURA.....	46
3.1	Equipo CompactRIO-9074.....	47
3.1.1	Elementos y componentes del sistema NI cRIO-9074.....	47
3.1.1.1	Controlador integrado en tiempo real NI cRIO-9074.....	48
3.1.1.2	Descripción del módulo NI 9213.....	49
3.1.1.3	Compensación de junta fría (CJC).....	50
3.1.1.4	Módulo de salidas digitales NI 9472.....	51
3.1.1.5	Módulo de entrada digital NI 9423.....	52
3.1.1.6	Módulo bidireccional E/S digitales de alta velocidad NI 9401.....	53
3.1.1.7	Fuente de alimentación NI PS-15 de 5A, 24VDC.....	54
3.1.1.8	Sensores de temperatura.....	55
3.1.2	Componentes.....	56
3.1.2.1	Software de desarrollo gráfico LabVIEW 2009.....	56
3.1.2.2	Configuración del cRIO-9074.....	57
3.1.3	Formateo del cRIO.....	62
3.2	Montaje de equipos y sensores.....	63
3.2.1	Instalación de los módulos de la serie C de E/S en el chasis.....	63
3.2.2	Conexión de la fuente de alimentación de 24VDC en El NI cRIO9074.....	64

3.2.3	Conexión del chasis a una red.....	64
3.2.4	Instalación del sensor.....	65
3.3	Calibración de equipos y sensores.....	66
3.4	Calibración del sensor.....	67
3.5	Ensamblaje de los circuitos y accesorios.....	68
3.6	Elaboración del programa de medición y monitoreo.....	70
3.6.1	Consideraciones generales para la implementación del sistema.....	70
3.6.2	Control ON-OFF.....	70
3.7	Medición y monitoreo.....	78
3.8	Generación de hojas de reportes de temperatura.....	79
3.9	Prueba de funcionamiento.....	80
3.9.1	Prueba con los módulos para el control ON-OFF.....	81
3.10	Mantenimiento y normas de seguridad de los equipo.....	86
4.	GUÍAS DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....	87
4.1	Elaboración de las guías de prácticas.....	87
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
5.1	Conclusiones.....	104
5.2	Recomendaciones.....	105

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	Fenómenos y transductores existentes.....	25
2.2	Conversión de unidades de temperatura.....	32
2.3	Tipos de termómetros y sensores de temperatura y sus características...	34
2.4	Tipos de termopar con sus respectivos rangos de operación.....	39
2.5	Norma Americana ASTM, códigos de colores para cables de extensión.	39
2.6	Norma Británica BS4937, códigos de colores para cables de extensión..	40
2.7	Norma Francesa de la NFE, códigos de colores para cables de extensión.....	40
2.8	Norma Alemana DIN, códigos de colores para cables de extensión.....	40
2.9	Aplicación de tubos de protección.....	41
3.1	Especificaciones NI CRIO-9074.....	48
3.2	Especificaciones módulo NI 9213.....	50
3.3	Especificaciones del módulo NI 9472.....	52
3.4	Especificaciones del módulo NI 9423.....	53
3.5	Especificaciones del módulo NI 9401.....	54
3.6	Especificaciones fuente de alimentación NI PS-15 de 5A, 24VDC.....	55
3.7	Información de calibración para termocuplas estándar ISA.....	68
3.8	Controles e indicadores numéricos del programa.....	72
3.9	Indicadores y controles del control ON-OFF.....	76
3.10	Conexiones del sistema de control ON- OFF del horno.....	82

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	Interior de un sistema embebido.....	4
2.2	Plataformas de sistemas embebidos.....	5
2.3	El robusto CompactRIO de National Instruments.....	8
2.4	Arquitectura del CompactRIO.....	9
2.5	NI Single-Board RIO integra un procesador, una FPGA y E/S analógicas y digitales.....	10
2.6	Chasis CompactRIO.....	10
2.7	Módulos de E/S de la serie C.....	11
2.8	NI Compact RIO es un controlador de automatización programable (PAC's).....	14
2.9	Esquema de un sistema SCADA.....	15
2.10	Sistema SCADA en tiempo real.....	15
2.11	Esquema de la conexión para el MTU y el RTU.....	18
2.12	Esquema de los elementos de un sistema SCADA.....	18
2.13	Transmisión de la información SCADA.....	19
2.14	LabVIEW un lenguaje de programación gráfica.....	20
2.15	Vista del panel frontal de LabVIEW.....	22
2.16	Diagrama de bloque de LabVIEW.....	22
2.17	Panel icono/conector de LabVIEW.....	23
2.18	Programación gráfica con LabVIEW.....	23
2.19	Sistema de adquisición de datos.....	24
2.20	Características principales de una señal analógica.....	25
2.21	Características principales de una señal digital.....	26
2.22	Hardware para acondicionamiento de señal.....	27
2.23	Opciones de hardware DAQ.....	28
2.24	Esquema de la transferencia de calor por conducción.....	29
2.25	Comparación de las tres diferentes escalas de temperatura.....	32
2.26	Variedad de termocuplas o termopares.....	33
2.27	Esquema de un termopar.....	35
2.28	Partes de un termopar.....	36
2.29	Curva de f.e.m para termopares.....	36
2.30	Pirómetros.....	43
2.31	Diagrama esquemático de un pirómetro óptico.....	43
2.32	Esquema simplificado de un pirómetro de radiación.....	44
2.33	Detectores de temperatura resistivos (RTDs).....	44
3.1	Equipo NI cRIO-9074.....	47
3.2	NI cRIO-9074 Chasis.....	48
3.3	Módulo NI 9213.....	49
3.4	Asignación de terminales del NI 9213.....	49
3.5	Conexión de una placa protectora a la entrada de la termocupla...	50

3.6	Módulo <i>NI</i> 9472.....	51
3.7	Módulo <i>NI</i> 9423.....	53
3.8	Módulo <i>NI</i> 9401.....	54
3.9	Fuente de alimentación <i>NI</i> PS-15 de 5A, 24VDC.....	55
3.10	Varias presentaciones en termocuplas tipo K.....	56
3.11	Pantalla de inicio LabVIEW 2009.....	56
3.12	Pantalla de presentación LabVIEW 2009.....	57
3.13	Pantalla principal LabVIEW 2009.....	57
3.14	Desactivación los firewalls.....	58
3.15	Measurement & Automation Explorer.....	58
3.16	Configuración de la dirección IP del <i>cRIO</i> 9074.....	59
3.17	Acceso a conexiones de red.....	59
3.18	Propiedades de conexión de área local.....	60
3.19	Dirección IP de la PC.....	60
3.20	Acceso a empty project.....	61
3.21	Localización de tarjetas y dispositivos.....	61
3.22	Selección modo de programación.....	62
3.23	Proyecto cargado.....	63
3.24	Ventana del MAX para el formateo.....	63
3.25	Asistente para el formateo.....	63
3.26	Chasis del <i>NI cRIO</i> -9074 con sus módulos (montaje <i>NI</i> 9213).....	64
3.27	Conexión de la fuente de alimentación.....	64
3.28	Conexión del <i>NI cRIO</i> -9074 al PC.....	65
3.29	Indicadores de modo de trabajo.....	65
3.30	Conexión de terminales de una termocupla.....	66
3.31	Indicador de temperatura.....	67
3.32	Calibración de la termocupla con el indicador de temperatura.....	67
3.33	Tarjeta electrónica.....	69
3.34	Diagrama del circuito electrónico de la tarjeta electrónica.....	69
3.35	Señales de proceso.....	71
3.36	Obtención de una señal discreta.....	71
3.37	<i>VI</i> creado dentro del proyecto.....	72
3.38	Panel frontal de la pantalla principal del proyecto.....	72
3.39	Diagrama de bloques de la pantalla principal del proyecto.....	72
3.40	<i>VI</i> creado para el control ON-OFF.....	74
3.41	Panel frontal de control ON- OFF de temperatura del horno.....	75
3.42	Diagrama de bloques del control ON-OFF de temperatura del horno.....	75
3.43	Hoja de reportes en excel de la temperatura del horno.....	80
3.44	Conexión de los módulos para el control ON-OFF con la tarjeta..	82
3.45	Encerado del registro de datos e indicadores del proyecto.....	83
3.46	Diagrama de bloques del proyecto.....	83
3.47	Diagrama del subVI del apagado de la niquelina.....	84
3.48	Evaluación de las gráficas de las mediciones de temperatura.....	85

3.49	Hoja de reportes en excel.....	85
4.1	Equipos empleados en las prácticas.....	87
4.2	Diagrama de cómo actúa un control ON-OFF.....	88
4.3	Valores eléctricos para señales discretas.....	89
4.4	Diagramas del VI's de la práctica del horno.....	92
4.5	Cámara de acumulación de vapor.....	95
4.6	Diagramas del VI's de la práctica del caldero.....	96
4.7	Diagrama del ciclo de refrigeración.....	99
4.8	Instalación de los sensores de temperatura.....	100
4.9	Diagramas del VI's de la práctica de la cámara de refrigeración...	102

LISTA DE ABREVIACIONES

BNC	Borne de Conexión de Presión por Resorte
CRIO	Compacto Reconfigurable de Entradas y Salidas
DAQ	Tarjeta de Adquisición de Datos.
DMA	Acceso Directo a Memoria
E/S	Entradas/Salidas
FFT	Transformada Rápida de Fourier
FPGA	Arreglo de Compuerta Programable en Campo
FTP	Protocolo de Transferencia de Archivos
GPIB	Bus de Interfaz de Uso General
GPS	Sistema de Posición Global
HMI	Interfaz Hombre Máquina.
HTTP	Protocolo de Transferencia de Hipertexto
IEPE	Electrónica Integrada Piezo Eléctricos
IP	Internet Protocolo
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
LAN	Red de Área Local
MIPS	Millones de Instrucciones por Segundo
NI	National Instruments
NVH	Ruido, Vibración, Dureza
PAC's	Programmable Automation Controllers
PC	Computadora Personal
PLC	Controlador Lógico Programable
RIO	Reconfigurable de Entradas y Salidas
RTU	Remote Terminal Units o Unidades Remotas
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
SBC	Ordenadores de una Sola Tarjeta
TTL	Lógica Transistor a Transistor
TDH	Total Distorsion Harmonic
VCR	Videocassette Recorder
VI	Instrumento Virtual
VHDL	Circuitos Integrados de Alta Velocidad

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1:** CompactRIO cRIO 9072/3/4
- ANEXO 2:** Dimensiones cRIO 9072/3/4
- ANEXO 3:** Montaje de los módulos en el chasis cRIO-9074
- ANEXO 4:** Hoja de características del módulo NI-9213
- ANEXO 5:** Código de colores para termocuplas
- ANEXO 6:** Información de calibración para termocuplas
- ANEXO 7:** Tabla termocupla tipo K
- ANEXO 8:** Pistas de la tarjeta electrónica
- ANEXO 9:** Diagrama de la tarjeta electrónica
- ANEXO 10:** Tarjeta electrónica en 3D
- ANEXO 11:** Circuito de la tarjeta electrónica
- ANEXO 12:** Esquema eléctrico de relé para automóviles
- ANEXO 13:** Diagrama de bloques del control ON-OFF

RESUMEN

El presente trabajo se fundamenta en el desarrollo de un sistema de control, monitoreo y adquisición de datos (*SCADA*), con la aplicación del equipo CompactRIO de la NI el cual tiene módulos para medición de temperatura, voltajes, corrientes, señales digitales, señales analógicas que se basan en la nueva tecnología de Entradas/Salidas (*E/S*), utilizando el modo de Escaneo que permite ejecutar los sistemas en tiempo real.

Nuestro trabajo está enfocado en la aplicación del módulo NI 9213, un sistema embebido para medición de temperatura que nos permite emplear sensores como las termocuplas tipo J, K, T, S, B, N, E, R. El módulo NI 9213 programando en LabVIEW nos permite procesar la temperatura para su control y monitoreo.

Se realizaron tres prácticas de medición de temperatura. En la primera práctica se controla y monitorea la temperatura de un horno, en el cual se instaló una termocupla tipo K, también se empleó un ventor cuya función es enfriar las niquelinas del horno cuando éstas llegan a la temperatura deseada. Se podrá variar la temperatura del horno mediante un setpoint. Todo este proceso lo ejecuta un Control Discreto (ON/OFF).

En la segunda práctica se monitorea la temperatura en un sistema de refrigeración del Laboratorio de Térmicas de la Facultad de Mecánica, en el cual se instalaron cinco termocuplas tipo K.

En la tercera práctica realizamos la medición de la temperatura del vapor de un caldero, todas estas prácticas incluye adquisición de datos y generación de reportes en Excel.

SUMMARY

The present research is about the data acquisition and monitoring controlling system development (SCADA) with the application of CompactRIO of NI which has modules to measure the temperature, voltages, currents, digital signals, analogical signals based on the new technology of inputs and outputs (I/O), by using scanning that permits to execute the systems in real time.

This research is focused on the application of module NI 9213, a system for temperature measurement which permits to use sensors such as thermocouples type J,K,T,S,B,N,E,R. Module NI 9213 programmed at the LabVIEW processes the temperature for controlling and monitoring.

Three practices of temperature measurement were carried out. In the first one, the temperature is controlled and monitored in a furnace in which a thermocouple type K was installed; a fan was also used to freeze the furnace niccolite when these get the desired temperature. The furnace temperature can be varied through a set point. All this process is executed by a Discrete Control (ON/OFF).

In the second one, the temperature is monitored in a refrigeration system of the Thermic Lab at Mechanics Faculty in which five thermocouples Type K were installed.

In the third one, boiler steam temperature measurement was carried out. These practices include data acquisition and excel report generation.

CAPÍTULO I

1 GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.

Para que el Laboratorio de Mecatrónica de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica, esté acorde con el desarrollo tecnológico, es necesario implementarlo con equipos industriales de última tecnología basados en sistemas PAC's que nos permita el desarrollo de sistemas para el control de variables por ejemplo de temperatura, por ello la implementación de equipos industriales es imprescindible para el laboratorio.

Para efectuar el control, monitoreo y adquisición de datos (*SCADA*) de forma más rápida y fiable National Instruments ha desarrollado un sistema embebido denominado CompactRIO, que es un equipo industrial de altas prestaciones que permite realizar programaciones personalizadas usando la plataforma gráfica LabVIEW, empleada en laboratorios de Universidades hasta las grandes industrias.

En primera instancia el equipo se lo adquirió a la National Instruments, empresa dedicada al desarrollo de sistemas embebidos industriales con sucursal en la Ciudad de Cuenca. Una vez efectuada la compra el personal de la empresa nos capacitara en la instalación y utilización del equipo ya que estos son de última tecnología.

1.2 Justificación

La Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica cuenta con un Laboratorio de Mecatrónica, donde existen equipos de automatización en el cual los estudiantes desempeñan prácticas como parte complementaria de la formación profesional, debido a esto surge la necesidad de adquirir un equipo novedoso denominado CompactRIO el cual tiene ocho módulos para medir diferentes variables, que nos permiten desarrollar Sistemas de Control, Monitoreo y Adquisición de Datos (*SCADA*) de manera personalizada que se ejecutan en tiempo real gracias al lenguaje de programación gráfica LabVIEW, cuyo software en la actualidad está siendo utilizado en todo el campo industrial.

1.3 **Objetivos**

1.3.1 **Objetivo General**

- Desarrollar un sistema SCADA para la medición de temperatura con Sistemas Embebidos para el Laboratorio de Mecatrónica de la Facultad de Mecánica.

1.3.2 **Objetivos Específicos**

- Determinar las características del *hardware* y *software* para la adquisición de datos, control y monitoreo de temperatura.
- Implementar el equipo y programar un sistema SCADA.
- Realizar pruebas, mediciones experimentales y evaluar el funcionamiento del sistema de monitoreo desarrollado.
- Elaborar una guía de prácticas de medición, control y monitoreo de temperatura con sistemas embebidos.
- Realizar la donación del módulo NI 9213 para el laboratorio de Mecatrónica de la Facultad de Mecánica; con el cual los estudiantes podrán realizar sus prácticas.

CAPÍTULO II

2 SISTEMA EMBEBIDO DE MONITOREO Y CONTROL DE MÁQUINAS DE LA NATIONAL INSTRUMENTS

2.1 Introducción

El interés por los sistemas que hoy en día se denominan embebidos, ha sufrido un aumento considerable en la última década con su aplicación en los sistemas denominados de tiempo real. No obstante, podemos encontrar referencias a este tipo de sistemas que inician de la época de los 70. [1]

El monitoreo de condición de máquinas puede ayudar a su organización a evitar interrupciones inesperadas, optimizar el rendimiento de máquinas y reducir tiempo de reparación y costos de mantenimiento. Para diagnósticos de máquinas y vigilancia en línea, los sistemas de monitoreo de condición de National Instruments han sido implementados con éxito en una variedad de turbinas, compresores, generadores y otros dispositivos.

Para hacer más fácil los procesos, National Instruments desarrolló CompactRIO, un sistema embebido de bajo costo, robusto, de altas prestaciones que combina la potencia de procesamiento y la flexibilidad de las FPGAs (Field-Programmable Gate Array; son dispositivos lógicos de propósito general programable por los usuarios, compuesto de bloques lógicos comunicados por conexiones programables.) con la fiabilidad de un procesador en tiempo real en un solo paquete fácil de usar.

2.2 Sistemas embebidos

2.2.1 Definición

Un sistema embebido, es un sistema electrónico autocontenido que posee un microcomputador programable y que desarrolla una o más funciones específicas en tiempo real.

Embebido.- Significa “oculto en el interior para que nadie pueda verlo”, también se lo conoce como “incrustado” o “empotrado”.



Figura 2.1: Interior de un sistema embebido

Estos sistemas están diseñados para controlar y operar equipos, dispositivos, máquinas, aparatos domésticos, equipos móviles, automóviles, instrumentos electrónicos, operar máquinas y hasta plantas industriales. En la actualidad los Sistemas Embebidos, tienen una capacidad de cálculo bastante alta de varios MIPS (Millones de Instrucciones por Segundo) necesaria para realizar labores complejas tales como el cálculo de la FFT (Transformada Rápida de Fourier) para realizar filtros digitales, análisis de señales, cálculos matemáticos complejos para tomar decisiones en tiempo real, tan complejas que eran imposibles de hacer en este tipo de dispositivos electrónicos de hace algunos años.

En un sistema embebido la mayoría de los componentes (dispositivos electrónicos) se encuentran incluidos en la placa base (la tarjeta de video, audio, módem, etc.).

Estos circuitos integrados son elementos que integran en sí, todos los subsistemas y elementos necesarios para realizar la labor de operación, control e instrumentación definida para el correcto funcionamiento de la maquinaria o dispositivo.

Su funcionamiento en términos generales consta de:

- Entrada (sensores y/o periféricos)
- Proceso (Tiempo real)
- Salida (respuesta, resultados, periféricos)

2.2.2 Desarrollo de los sistemas embebidos

El desarrollo de los sistemas embebidos, en la mayoría de los casos comprende el desarrollo del *hardware* y el *software*, ya que como hemos indicado, cada desarrollo es específico al producto y su aplicación.

2.2.2.1 Hardware de sistemas embebidos

Los sistemas embebidos trabajan sobre una amplia gama de plataformas de hardware que van desde los 8 hasta los 64 bits actualmente y su selección depende exclusivamente de la aplicación final, es importante por consiguiente saber definir la plataforma de desarrollo y los requerimientos específicos del sistema embebido que será el producto final que se obtendrá.

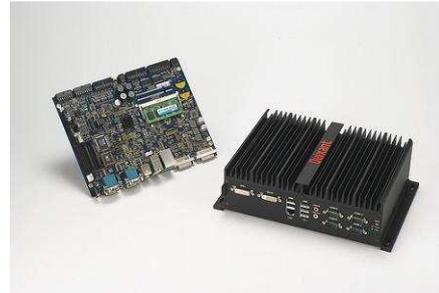


Figura 2.2: Plataformas de sistemas embebidos

2.2.2.2 Software de sistemas embebidos

Así como hay una amplia gama de hardware, también existe una amplia gama de software para desarrollar sistemas embebidos, podemos indicar que hay tantas herramientas de software como plataformas de hardware existentes, hay excepciones claramente pero en modo general es así.

Podemos decir entonces que la gran mayoría del software de desarrollo para sistemas embebidos es propietario y cerrado, es decir son sistemas que permiten generar un código binario para ser cargado en estos sistemas y el desarrollador debe confiar en este a ciegas, ya que no existen manuales de como se está generando por dentro el código y si hay fallas en su generación, difícilmente se sabrá hasta que el sistema falle, además estas herramientas son de un costo relativamente alto de mantenimiento debido a su licenciamiento.

Aplicaciones

Sus aplicaciones abarcan un sin fin de sistemas y aparatos, los cuales se encuentran en nuestra vida cotidiana, mucho más cerca de lo que creemos y el número de aplicaciones aumenta día a día, encontrándose en áreas tan diversas como:

- **Electrónica de consumo:** lavadoras, congeladoras, microondas, relojes, consolas de juegos, control remoto, cámaras de video, fax, VCR, CD, DVD, GPS, televisión digital.
- **Sistemas de comunicación:** sistemas de telefonía, contestadores, celulares, beepers, PDAs, enrutadores, infraestructura de redes.
- **Automóviles:** inyección electrónica, frenos, elevadores de vidrios, control de asientos, instrumentación, seguridad.
- **Industria:** instrumentación, monitoreo, control, robótica, control de tráfico, manejo de códigos de barras, ascensores.
- **Medicina:** monitores cardiacos, renales y de apnea, marcapasos, máquina de diálisis.

2.2.3 Ventajas de un sistema embebido

Los equipos industriales de medida y control tradicionales están basados en un microprocesador con un sistema operativo específico para la aplicación correspondiente. Con los modernos sistemas PC embebida basados en microprocesadores i486 o i586 se llega a integrar el mundo del PC compatible con las aplicaciones industriales. Ello implica las siguientes ventajas:

- Posibilidad de utilización de sistemas operativos potentes que ya realizan numerosas tareas: comunicaciones por redes de datos, soporte gráfico, etc. Estos sistemas operativos pueden ser los mismos que para PC compatibles (Linux, Windows, MS-DOS) con fuertes exigencias en hardware o bien ser una versión reducida de los mismos con características orientadas a los PC embebidos.
- Al utilizar dichos sistemas operativos se pueden encontrar fácilmente herramientas de desarrollo software potentes así como numerosos programadores que las dominan, dada la extensión mundial de las aplicaciones para PC compatibles.
- Reducción en el precio de los componentes hardware y software debido a la gran cantidad de PC en el mundo.

2.2.4 Sistemas embebidos y PLC's

Los PLC's llegaron a la industria para proporcionar una herramienta de control industrial apta para enfrentar los desafíos tecnológicos del control industrial moderno y por ello se han ganado su espacio en la industria que es su principal ventaja. Con el significativo aumento de la calidad de la tecnología, tanto en la electrónica como del software, hoy en día ese reinado de los PLC's en la industria se ha ido disminuyendo en el tiempo, debido a que existen sistemas embebidos tan o más eficientes y con precios muy atractivos.

Desventajas de los PLC's en la industria

- Los PLC's son *sistemas cerrados*, eso significa que una industria al seleccionar un determinado tipo, marca y modelo de PLC debe mantenerlo en el tiempo, sin posibilidad de modificar o intervenirlo en el futuro, debe mantener especialistas, software específico para ese tipo y modelo de PLC, capacitar a su personal en el uso de este, mantener herramientas propietarias de diagnóstico de ese PLC y además mantener un stock para piezas y partes del modelo y marca específicas.
- El software de gestión y control de PLC es propio de la marca y modelo usado, lo que implica que hay todo un sistema de soporte tras el PLC que permite mantenerlo operativo, las bases de datos de control y/o producción se encuentran en formatos propietarios que sólo conoce su fabricante.
- Los PLC's al ser un hardware diseñado para abordar un gran número de aplicaciones industriales deben ser necesariamente sobre dimensionados para cubrir esta amplia gama, lo que lleva además a disponer de una gran cantidad de módulos adicionales para cubrirla, lo que implica necesariamente aumentar considerablemente el hardware de estas unidades.
- La industria para mantener las redes de PLC debe disponer de personal especializado en el tipo y modelo usado, lo que implica que si hay cambios de marcas y modelos, deben recapacitar a su personal o simplemente aumentar la dotación de especialistas, debido a que normalmente no se tiene una sola marca y modelo de PLC en una industria determinada.

- Las aplicaciones de control industrial específicas, basadas en PLC's comerciales por lo general salvo muy pocas excepciones son *estáticas*, eso significa que la aplicación dentro del PLC no varía en el tiempo y posiblemente nunca lo hará a lo largo de su vida útil, por lo que toda esa capacidad de desarrollo necesaria para desarrollar la aplicación queda ociosa después de la puesta en marcha. [2]

2.2.5 Nuevo sistema embebido de la National Instruments

Para hacer más fácil los procesos, National Instruments desarrolló CompactRIO, un sistema embebido de bajo costo, robusto y de altas prestaciones. El CompactRIO se basa en la nueva tecnología de Entradas/Salidas (E/S) reconfigurables (RIO), su funcionalidad básica es proporcionada por una FPGA programable por el usuario. Se puede acceder y configurar la FPGA usando el software de desarrollo gráfico LabVIEW de NI.



Figura 2.3: El robusto CompactRIO de National Instruments

Pero la tecnología NI RIO reduce la complejidad del hardware embebido y de los lenguajes de bajo nivel para proporcionar un acceso sencillo, pero potente a las FPGAs. Por ejemplo, se puede utilizar RIO en LabVIEW para configurar fácilmente la funcionalidad de hardware como E/S, PID, filtrado, procesamiento de señales o transferencia de datos mediante DMA (Direct Memory Access), con sólo unos pocos bloques de funciones.

2.2.5.1 Áreas de aplicación

Debido a su bajo costo, fiabilidad e idoneidad para las aplicaciones de medida y control embebidas de gran volumen, se puede adaptar CompactRIO para satisfacer las necesidades de una amplia variedad de industrias y aplicaciones. Algunos ejemplos son los siguientes:

- Adquisición de datos, registro de datos y control en el interior de vehículos.
- Vigilancia y protección del estado de máquinas.
- Creación de prototipos de sistemas embebidos.
- Vigilancia remota y distribuida.
- Registro de datos embebido.
- Monitorización de la potencia eléctrica y control de la electrónica de potencia.
- Control de la maquinaria pesada y servo-hidráulica.
- Control discreto y por lotes.
- Análisis móvil/portátil de NVH (Noise, Vibration, Harshness).

2.2.5.2 Arquitectura Compact RIO

La arquitectura CompactRIO se compone de tres partes principales:

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

Gracias a la conexión directa entre los módulos de E/S y la FPGA se puede integrar perfectamente la sincronización y el disparo entre los módulos de E/S a través de la FPGA y obtener un alto nivel de flexibilidad del sistema.

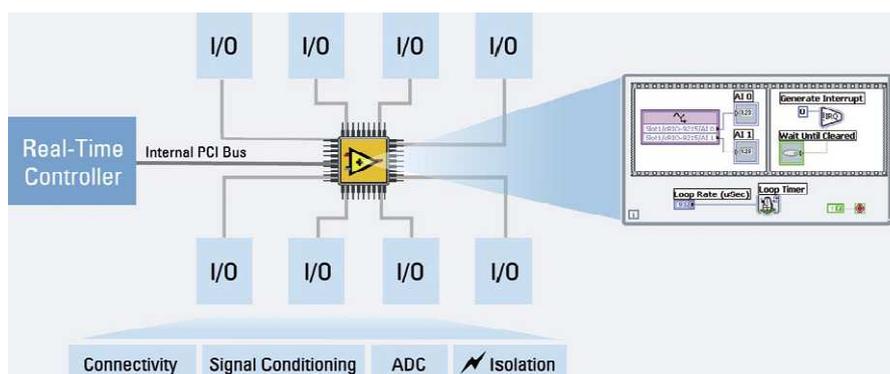


Figura 2.4: Arquitectura del CompactRIO

1. *El controlador de tiempo real embebido.*

El controlador embebido de tiempo real CompactRIO incorpora un procesador industrial de Freescale MPC5200 de 400 MHz que ejecuta las aplicaciones de LabVIEW Real-Time de forma fiable.

Se puede elegir entre miles de las funciones incorporadas de LabVIEW para construir un sistema embebido multi-hilo para control, análisis, registro de datos y comunicación en tiempo real. Solo hay que desarrollar el código de la aplicación de tiempo real en un ordenador mediante la programación gráfica y luego descargar la aplicación para que se ejecute en el controlador de tiempo real de CompactRIO que contiene un sistema operativo en tiempo real comercial. El controlador de tiempo real de CompactRIO dispone de un puerto Ethernet de 10/100 Mb/s para los programas de comunicación a través de la red.

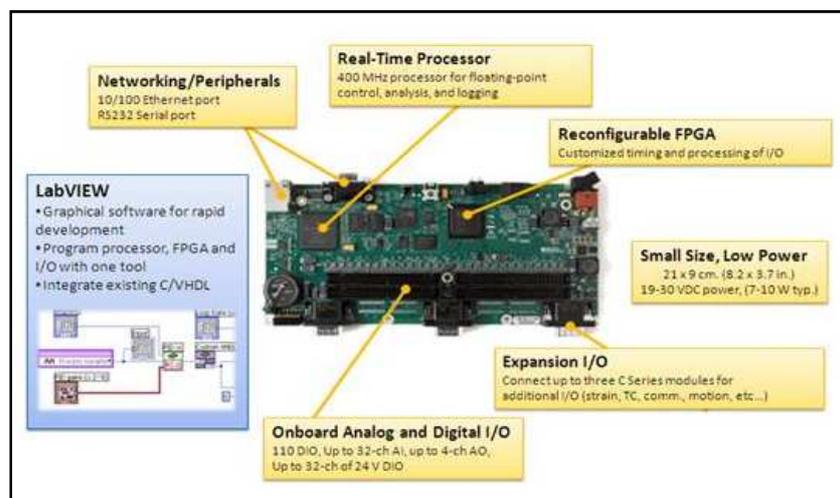


Figura 2.5: NI Single-Board RIO integra un procesador, una FPGA y E/S analógicas y digitales

2. El chasis embebido reconfigurable que contiene la FPGA

El chasis reconfigurable es el corazón de los sistemas embebidos de CompactRIO, contiene el núcleo RIO FPGA. El chip RIO FPGA se conecta a los módulos de E/S, proporcionando un acceso directo a cada módulo para un control preciso y una flexibilidad sin límites de la temporización, disparo y sincronización.



Figura 2.6: Chasis CompactRIO

3. *Los módulos de E/S intercambiables en caliente.*

Cada módulo de E/S de la serie C de NI 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; entradas para acelerómetros; entradas para células de carga y de deformación; entradas analógicas de hasta $\pm 60V \pm 20mA$; salidas analógicas hasta $\pm 10V \pm 20mA$; E/S digitales industriales de 12/24/48V con un suministro de corriente de hasta 1A y E/S digitales de 5V/TTL para encoders, contadores/temporizadores y generadores de pulsos. [3]



Figura 2.7: Módulos de E/S de la serie C

El sistema CompactRIO ofrece un diseño robusto y un factor de forma que proporcionan una carcasa segura para los componentes internos del sistema, eliminando la necesidad de invertir recursos en el desarrollo de una carcasa mecánica personalizada. El diseño del producto está pensado para funcionar dentro de un rango de temperatura nominal de -20 a 55 °C, resistir choques de 50g y funcionar en lugares peligrosos o ambientes potencialmente explosivos. La mayoría de módulos de E/S disponen de un aislamiento que resiste tensiones de corta duración hasta 2.300Vrms y aislamiento para 250Vrms continuos. El consumo típico de potencia de todo el sistema embebido CompactRIO es del orden de 7 a 10W.

2.2.6 La FPGA

La FPGA embebido es un chip reconfigurable y de alto rendimiento que ingenieros pueden programar con herramientas de LabVIEW FPGA. La FPGA reconfigurable dentro de los sistemas de hardware RIO se puede programar rápidamente con LabVIEW FPGA Module para realizar la personalización, el control de alta velocidad, la temporización de las E/S y el procesamiento de señales. LabVIEW FPGA Module incorpora las siguientes características:

- IP a nivel de componentes (CLIP) Nodo para la fácil integración del código HDL existente.
- Asistente de FPGA para crear rápidamente la arquitectura de tiempo real y el código de la FPGA.
- LabVIEW Statechart Module para implementar el control basado en FPGA, máquinas de estados y otras más.
- La simulación de FPGA facilita el desarrollo y la depuración.
- Bloques de funciones FPGA IP en coma fija.

Plataforma Abierta

Con la plataforma abierta CompactRIO se pueden desarrollar módulos de E/S personalizados para satisfacer las necesidades particulares de los productos y de las aplicaciones.

Prestaciones y flexibilidad

Utilizando la potencia del núcleo de la FPGA de CompactRIO se pueden diseñar lazos de control digital de 1MHz sin reducción de las prestaciones cuando se aumenta el número de los cálculos lógicos y también hacer funcionar lazos de control PID analógicos a 100 kHz utilizando cálculos basados en números enteros de 32 bits en la FPGA. Los constructores de máquinas están utilizando la velocidad y la capacidad de personalización de CompactRIO para integrar el control de movimiento de velocidad ultra-elevada para servomotores multi-eje y motores paso a paso.

Con el diseño modular de CompactRIO se puede rediseñar y actualizar fácil y rápidamente los nuevos sistemas embebidos cuando una aplicación necesita cambiar sin tener que implementar interfaces de hardware complejas.

2.2.7 Monitoreo de condición de máquinas por NI

Plataformas hardware necesarias para el control, monitorización y registro.

Podemos citar tres plataformas tradicionales utilizadas para el control embebido de máquinas:

- a. Los controladores lógicos programables (PLCs: Programmable Logic Controllers)
- b. Los ordenadores de una sola tarjeta (SBCs: Single - Board Computers) y el
- c. Diseño de hardware personalizado.

Cada una de estas plataformas presenta sus propios puntos fuertes y débiles.

a. Los controladores lógicos programables

Los PLCs son extremadamente resistentes y fiables. Están programados con un estándar industrial, son ideales para E/S digitales y disponen de una conectividad de primera clase con las redes industriales, lo que facilita la conexión a diversos dispositivos, tales como los controladores de motores. Por otro lado, los PLC's carecen de la capacidad para llevar a cabo medidas y control de alta velocidad, no tienen un software muy flexible y constituyen una plataforma cerrada.

b. Los ordenadores de una sola tarjeta (SBCs: Single-Board Computers)

Los SBCs, que utilizan una arquitectura de PC y están disponibles en varios tamaños y opciones, tienen la ventaja de pertenecer a una gran familia donde existe una amplia selección de productos compatibles, que pueden trabajar con ellos, tales como las entradas/salidas (E/S). Un aspecto negativo, es que estos productos complementarios no funcionan nada más sacarlos de la caja y suelen requerir un importante esfuerzo de integración. Además, los SBC's no están muy bien empaquetados y suelen requerir carcasas personalizadas.

c. Diseño de hardware personalizado.

El diseño de hardware personalizado es una gran opción para las aplicaciones que requieren un control completo sobre el coste de los bienes o sobre el factor de forma.

Los diseñadores utilizan únicamente los componentes que son necesarios para la máquina, por lo tanto optimizan las prestaciones y los costes de la implantación. Por desgracia, el diseño de hardware personalizado requiere un significativo tiempo de desarrollo, los recursos para realizar la validación eléctrica y funcional de la placa y además son mucho más difíciles de mantener debido al final de vida del componente.

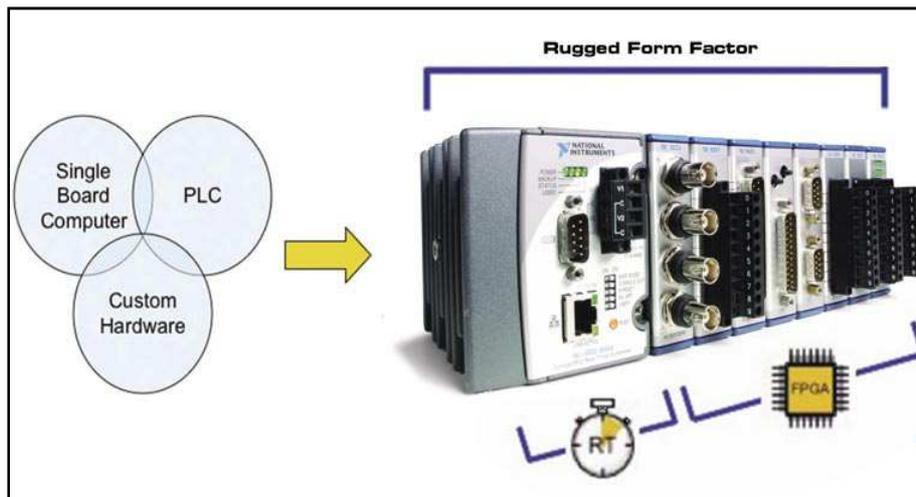


Figura 2.8: NI Compact RIO es un controlador de automatización programable (PAC's)

Los controladores de automatización programables (PAC's: Programmable Automation Controllers) combinan la fiabilidad y la robustez del PLC con la potencia de procesamiento y la flexibilidad del PC para ofrecer una plataforma exclusiva que está optimizada para el control de máquinas, la monitorización y el registro. Al combinar las fortalezas de las tres plataformas tradicionales de control de máquinas, los PAC's proporcionan a los diseñadores de máquinas una solución en una sola caja para sus complejas máquinas, ahorrando tiempo y dinero en el desarrollo e integración del hardware.

2.3 Sistema SCADA

Damos el nombre de SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition, Supervisión, Control y Adquisición de Datos*) a cualquier software que permite el acceso a datos remotos de un proceso y utilizando las herramientas de comunicación necesarias se pueda controlar y supervisar procesos a distancia.

Un sistema SCADA es una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción que proporciona comunicación entre los dispositivos de campo, llamados también RTU (*Remote Terminal Units o Unidades Remotas*), donde se pueden encontrar elementos tales como controladores autónomos o autómatas programables, y un centro de control donde se controla el proceso de forma automática desde la pantalla de uno o varios ordenadores. [4]

Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

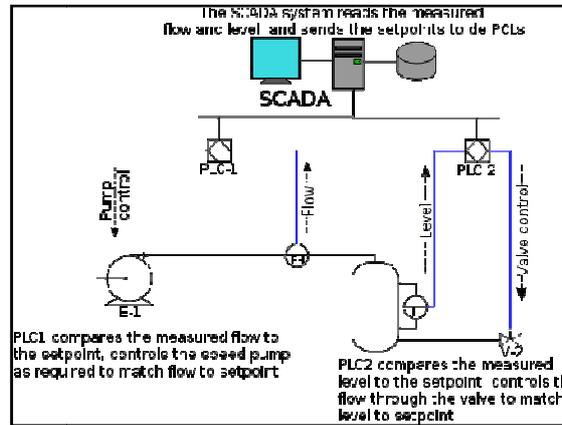


Figura 2.9: Esquema de un sistema SCADA

Cada uno de los ítems de SCADA involucran muchos subsistemas, por ejemplo, la adquisición de los datos puede estar a cargo de un PLC (Controlador Lógico Programable) el cual toma las señales y las envía a las estaciones remotas usando un protocolo determinado. Las tareas de Supervisión y Control generalmente están más relacionadas con el software SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador de cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano, la comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.



Figura 2.10: Sistema SCADA en tiempo real

Tiempo real.- Significa que un dispositivo de medida es capaz de mostrar el valor de una variable en el instante preciso en que la misma efectivamente tiene ese valor.

2.3.1 Funciones principales del sistema SCADA

- **Supervisión remota de instalaciones y equipos:** Permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.
- **Control remoto de instalaciones y equipos:** Mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo abrir válvulas, activar interruptores, prender motores, etc.), de manera automática y también manual. Además es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control, etc.
- **Adquisición de datos:** El conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema, esta información es procesada, analizada, y comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.
- **Visualización gráfica dinámica:** El sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente dentro de una planta real. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo.
- **Generación de reportes:** El sistema permite generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.
- **Representación de señales de alarma:** A través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras.
- **Almacenamiento de información histórica:** Se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos, esta información puede analizarse posteriormente, el tiempo de almacenamiento dependerá del operador.

- **Programación de eventos:** Esta referido a la posibilidad de programar subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas, etc.

2.3.2 Elementos del sistema SCADA.

Un sistema SCADA está conformado por:

- Interfaz Humano – Máquina
- Unidad remota de telemetría (RTU).
- Unidad terminal maestra (MTU).
- Red de comunicación.
- Instrumentación de campo.

Interfaz Humano – Máquina: (Human Machine Interface) es el aparato que presenta los datos a un operador (humano) y a través del cual éste controla el proceso. La industria de HMI nació esencialmente de la necesidad de estandarizar la manera de monitorizar y de controlar múltiples sistemas remotos, PLCs y otros mecanismos de control.

Unidad central (MTU): Conocido como Unidad Maestra. La MTU es el computador principal del sistema, el cual supervisa y recoge la información del resto de las subestaciones; soporta una interfaz hombre - máquina.

La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C, Basic, etc.). También se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

Unidad remota (RTU): Una RTU es un dispositivo instalado en una localidad remota del sistema, está encargado de recopilar datos para luego ser transmitidos hacia la MTU. Esta unidad está provista de canales de entrada para detección o medición de las variables de un proceso y de canales de salida para control o activación de alarmas y un puerto de comunicaciones; físicamente estos computadores son tipo armarios de control.

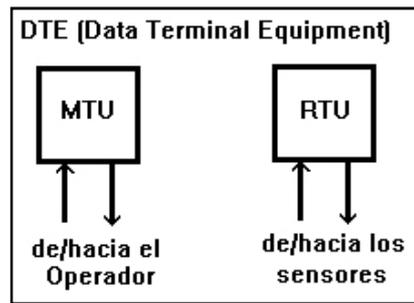


Figura 2.11: Esquema de la conexión para el MTU y el RTU

Sistema de comunicación: El sistema de comunicación es el encargado de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el sistema SCADA. Los sistemas SCADA necesitan comunicarse vía red, puertos GPIB, telefónica, satélite e inalámbrica.

Instrumentación de campo: Los instrumentos de campo están constituidos por todos aquellos dispositivos que permiten tanto realizar la automatización o control del sistema (PLCs, controladores de procesos industriales, y actuadores en general) y son los encargados de la captación de información del sistema.

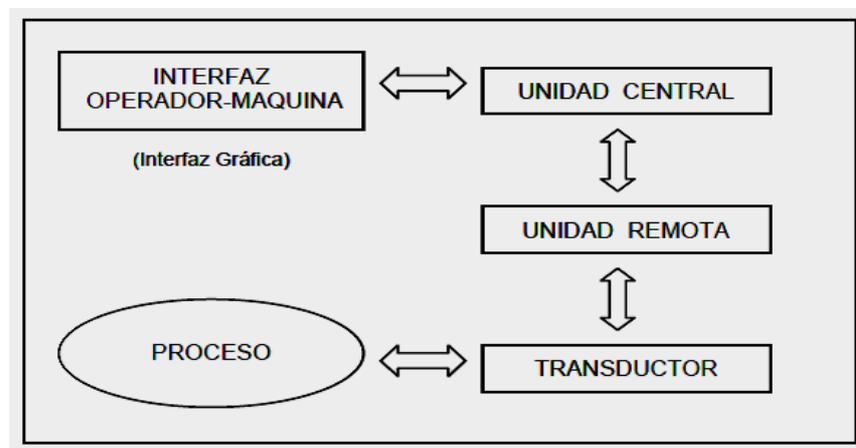


Figura 2.12: Esquema de los elementos de un sistema SCADA

2.3.3 Transmisión de la información con SCADA

El flujo de la información en los sistemas SCADA es como se describe a continuación: El fenómeno físico lo constituye la variable que deseamos medir. Dependiendo del proceso, la naturaleza del fenómeno es muy diversa: presión, temperatura, flujo, potencia, intensidad de corriente, voltaje, pH, densidad, etc.

Este fenómeno debe traducirse a una variable que sea inteligible para el sistema SCADA, es decir, en una variable eléctrica. Para ello, se utilizan los sensores o transductores.

Los transductores convierten las variaciones del fenómeno físico en variaciones proporcionales de una variable eléctrica. Las variables eléctricas más utilizadas son: voltaje, corriente, carga, resistencia o capacitancia.

Sin embargo, esta variedad de tipos de señales eléctricas debe ser procesada para ser entendida por el computador digital. Para ello se utilizan acondicionadores de señal, cuya función es la de referenciar estos cambios eléctricos a una misma escala de corriente o voltaje.

Una vez acondicionada la señal, la misma se convierte en un valor digital equivalente en el bloque de conversión de datos. Generalmente, esta función es llevada a cabo por un circuito de conversión analógico/digital. El computador almacena esta información, la cual es utilizada para su análisis y para la toma de decisiones, simultáneamente se muestra la información al usuario del sistema, en tiempo real.

Basado en la información, el operador puede tomar la decisión de realizar una acción de control sobre el proceso.

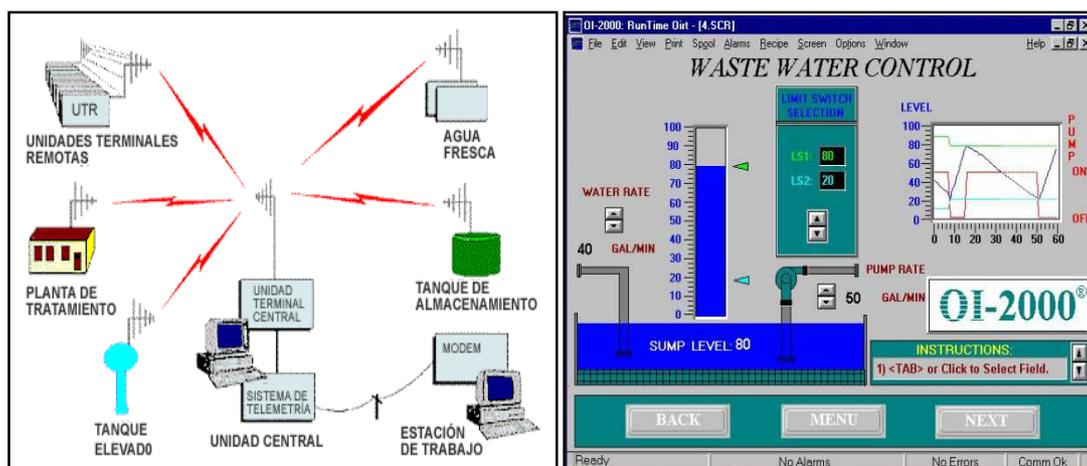


Figura 2.13: Transmisión de la información SCADA

2.4 LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control.

Al ser LabVIEW un lenguaje de programación gráfica y basado en un sistema de ventanas, muchas veces es más sencillo de utilizar que otros lenguajes más típicos. Este tipo de lenguaje se desarrolló a partir de la aparición de la instrumentación virtual, es decir, con el uso de los ordenadores para realizar medidas (temperatura, presión, caudal, etc.), aprovechando las características de estos últimos (potencia de cálculo, productividad, capacidad de visualización gráfica y capacidad de conexión con otros dispositivos,) para optimizar los resultados.

El código de LabVIEW se ejecuta en una amplia variedad de plataformas de hardware, que van desde sistemas autónomos embebidos, como la plataforma CompactRIO puesta de relieve con anterioridad a las FPGAs y a cualquier procesador de 32 bits.



Figura 2.14: LabVIEW un lenguaje de programación gráfica

2.4.1 Aplicaciones de LabVIEW

LabVIEW tiene su mayor aplicación en:

- Adquisición de datos y proceso de señales.

- Control de instrumentos.
- Diseño de control.
- Diseño embebido de microchips.
- Procesamiento digital de señales (wavelets, FFT, Total Distorsion Harmonic TDH).
- Procesamiento en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales.
- Robótica.
- Automatización industrial y programación de PAC's (Controlador de Automatización Programable).

Principales Características

- Su principal característica es la facilidad de uso, personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer programas relativamente complejos.
- Es muy rápido hacer programas con LabVIEW.
- Con LabVIEW pueden crearse programas de miles de VI's (equivalente a millones de páginas de código texto) para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de E/S.

2.4.2 Instrumentos Virtuales (VI's)

Los programas en LabVIEW son denominados instrumentos virtuales, o VIs, ya que su apariencia y operación imita a los instrumentos físicos, tal como osciloscopios y multímetros. LabVIEW contiene un conjunto comprensivo de VIs y funciones para adquirir, analizar, desplazar y almacenar datos, así como herramientas para ayudarle a solucionarle problemas con su código. [5]

2.4.2.1 Partes de un VI

Los VIs de LabVIEW contienen tres partes principales:

- a) El panel frontal.
- b) El diagrama de bloques.
- c) El panel de icono/conector.

a) Panel frontal (*Front Panel*)

El panel frontal es la interfaz del usuario para el VI. La figura 2.15 muestra un ejemplo de panel frontal. Se construye con controles e indicadores, los cuales son los terminales interactivos de entradas y salidas de un VI, respectivamente.

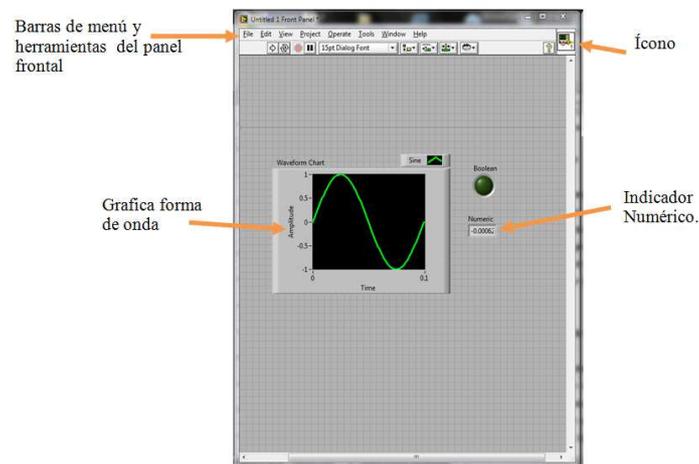


Figura 2.15: Vista del panel frontal de LabVIEW

b) Diagramas de Bloques (*Block diagram*)

Luego que se construye el panel frontal, se puede adicionar código agregando representaciones graficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. La figura 2.16 muestra un ejemplo de diagramas de bloques. El diagrama de bloques contiene este código fuente gráfico. Los objetos del panel frontal aparecen como terminales en el diagrama de bloques.

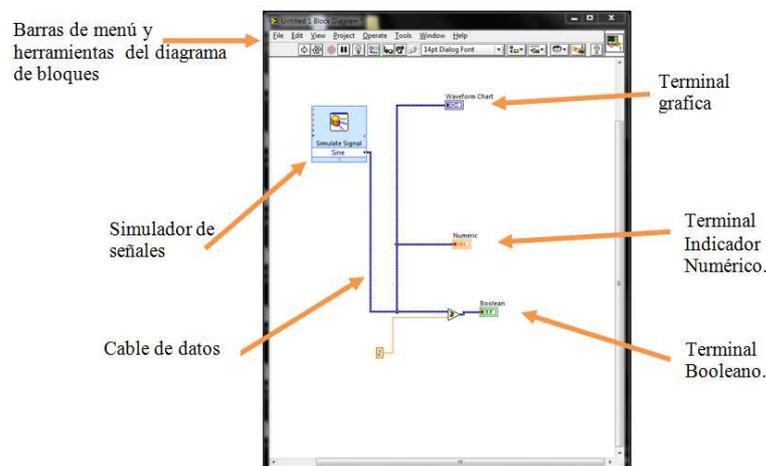


Figura 2.16: Diagrama de bloque de LabVIEW

c) Panel de Icono/Conector

Cada VI despliega un icono, en la esquina superior derecha de las ventanas del panel frontal y el diagrama de bloque. Un icono es una representación gráfica de un VI, el cual puede contener tanto texto como imágenes.

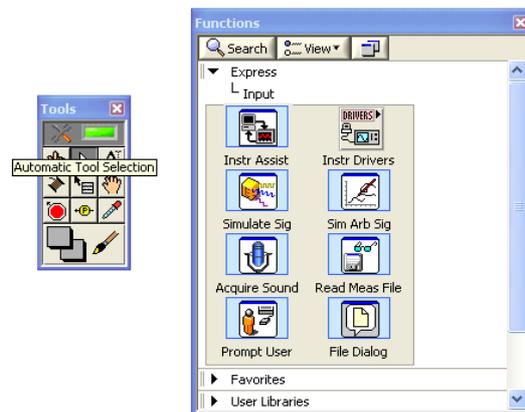


Figura 2.17: Panel icono/conector de LabVIEW

2.4.3 Programación gráfica con LabVIEW

Cuando se diseñan programas con LabVIEW está trabajando siempre bajo algo denominado VI, es decir, un instrumento virtual, se pueden crear VI a partir de especificaciones funcionales que usted diseñe. Este VI puede utilizarse en cualquier otra aplicación como una subfunción dentro de un programa general. Los VI's se caracterizan por ser un cuadrado con su respectivo símbolo relacionado con su funcionalidad, tener una interfaz con el usuario, tener entradas con su color de identificación de dato, tener una o varias salidas y por su puesto ser reutilizables.

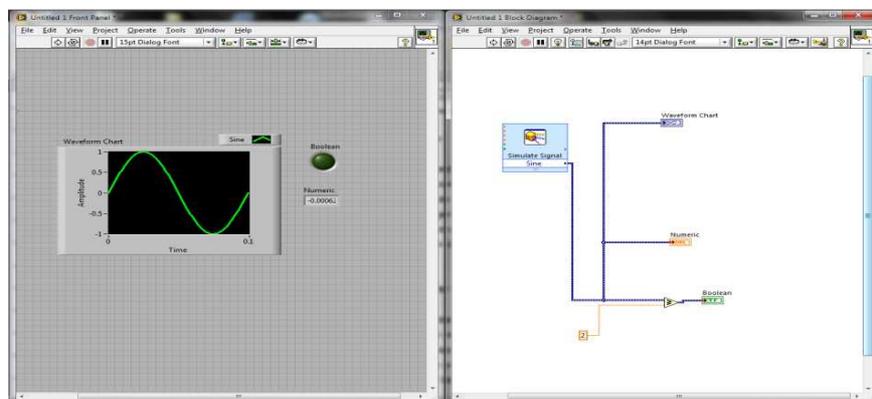


Figura 2.18: Programación gráfica con LabVIEW

2.5 Adquisición de datos

Adquisición de datos implica la recopilación de señales de fuentes de medición y digitalización de la señal para el almacenamiento, análisis y presentación en un PC. En fin el propósito de adquisición de datos es medir un fenómeno eléctrico y físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. La adquisición de datos basada en PC utiliza una combinación de hardware modular, software de aplicación y una PC para realizar medidas.

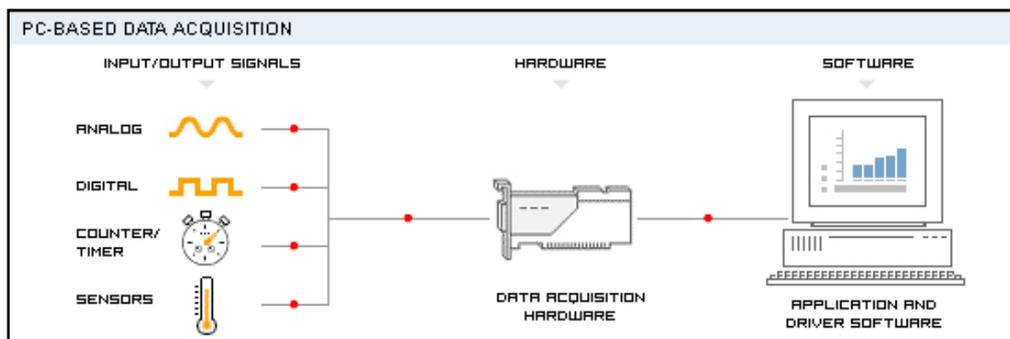


Figura 2.19: Sistema de adquisición de datos

Hay cinco componentes a considerar cuando se construye un sistema básico de DAQ:

1. Transductores y sensores.
2. Señales.
3. Acondicionamiento de señal.
4. DAQ hardware.
5. Software de aplicación.

2.5.1 Transductores y sensores

Un transductor es un dispositivo que convierte un fenómeno físico en una señal medible eléctrica, tales como el voltaje o corriente.

La adquisición de datos se inicia con el fenómeno físico a medir. Este fenómeno físico puede ser: temperatura, intensidad, presión, fuerza. Hay transductores específicos para muchas aplicaciones.

La siguiente tabla nos indica una breve lista de algunos fenómenos comunes y los transductores utilizados para medirlas.

Tabla 2.1: FENÓMENOS Y TRANSDUCTORES EXISTENTES

Fenómeno	Transductor
Temperatura	Termopar, RTD, termistor
Luz	Foto sensor
Sonido	Micrófonos
Fuerza y presión	Transductor piezoeléctrico, Galga
Posición y desplazamiento	Potenciómetro, LVDT, codificador Óptico
Aceleración	Acelerómetro
PH	Electrodos de PH

2.5.2 Señales

Los transductores apropiados convierten fenómenos físicos en señales medibles. Sin embargo, diferentes señales deben medirse de diferentes maneras. Por esta razón, es importante entender los diferentes tipos de señales y sus correspondientes atributos. Las señales pueden ser categorizadas en dos grupos:

1. *Analógico*
2. *Digital*

1. *Señales analógicas*

Algunos ejemplos de señales analógicas incluyen el voltaje, temperatura, presión, sonido, y la carga. Las tres características principales de una señal analógica incluyen el nivel, forma y frecuencia.

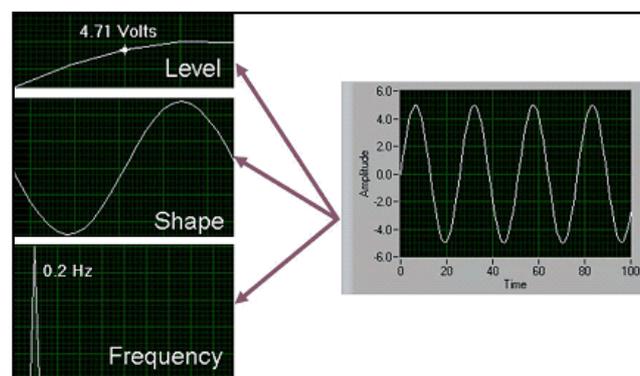


Figura 2.20: Características principales de una señal analógica

Nivel (Level)

Debido a que las señales analógicas pueden tomar cualquier valor, el nivel da información vital sobre la señal analógica medida. La intensidad de una fuente de luz, la temperatura en una habitación, y la presión dentro de una cámara, son ejemplos que demuestran la importancia del nivel de una señal.

Forma (Shape)

Algunas señales tienen el nombre de su forma específica - seno, cuadrada, diente de sierra, y el triángulo. La forma de una señal analógica puede ser tan importante como el nivel, porque al medir la forma de una señal analógica puede seguir analizando la señal, incluidos los valores de pico, los valores de CC, y la pendiente.

Frecuencia (Frequency)

Todas las señales analógicas se pueden clasificar por su frecuencia. A diferencia del nivel o la forma de la señal, la frecuencia no puede medirse directamente. La señal debe ser analizada utilizando el software para determinar la información de frecuencia. Este análisis se realiza normalmente usando un algoritmo conocido como la transformada de Fourier.

2. Señales digitales

Una señal digital no puede tomar cualquier valor con respecto al tiempo, en cambio tiene dos posibles niveles: alto y bajo. Las señales digitales se ajustan en general a ciertas especificaciones que definen las características de la señal. La información útil que puede ser medida a partir de una señal digital incluye el estado y el tipo.

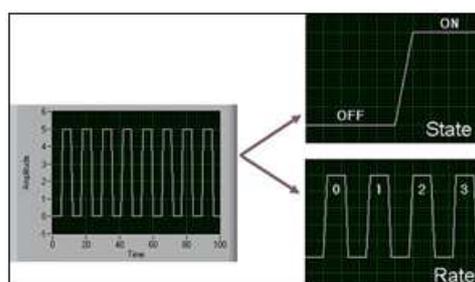


Figura 2.21: Características principales de una señal digital

Estado (State)

Las señales digitales no pueden tomar cualquier valor con respecto al tiempo. El estado de una señal digital es esencialmente el nivel de la señal - dentro o fuera, alto o bajo. El seguimiento del estado de un interruptor - abierta o cerrada - es una aplicación común que muestra la importancia de conocer el estado de una señal digital.

Tipo (Rate)

La velocidad de una señal digital define cómo cambia el estado de señal digital con respecto al tiempo. Un ejemplo de la medición de la velocidad de una señal digital incluye la determinación de la rapidez con que gira el eje del motor. A diferencia de la frecuencia, la velocidad de una señal digital medidas con qué frecuencia una porción de una señal se produce.

2.5.3 Acondicionamiento de señal

A veces los transductores generan señales demasiado difíciles o peligrosas para medir directamente con un dispositivo DAQ. Por ejemplo, cuando se trata de altos voltajes, entornos ruidosos, extrema señales de alto y bajo, o la medición simultánea de señales, el acondicionamiento de señales es esencial para un eficaz sistema DAQ. El acondicionamiento de señal maximiza la precisión de un sistema, permite a los sensores que funcionen correctamente y garanticen la seguridad.

El acondicionamiento de señal se puede utilizar en una variedad de aplicaciones, incluyendo: amplificación, aislamiento, muestreo simultáneo, filtrado, linealización.



Figura 2.22: Hardware para acondicionamiento de señal

2.5.4 DAQ hardware

DAQ (hardware con interfaz entre el ordenador y el mundo exterior) funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza las señales analógicas de entrada para que el ordenador pueda interpretarlos. Otra funcionalidad de adquisición de datos incluye:

Entrada / salida analógica.

Entrada / salida digital.

Control/ Temporizadores.

Multifunción- una combinación de digital, analógica.

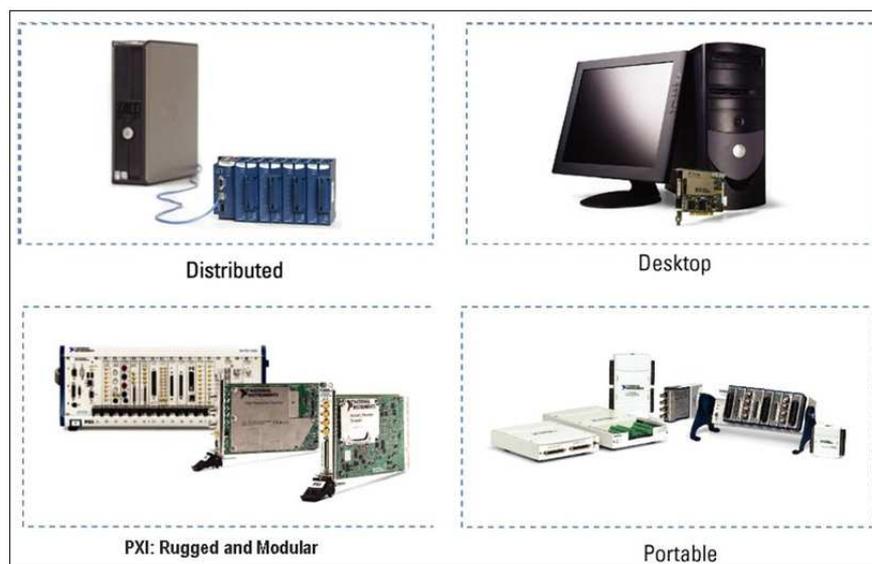


Figura 2.23: Opciones de hardware DAQ

2.5.5 Software de aplicación

La elección del *software* asociado al sistema físico (tarjeta, bus de instrumentación, comunicación serie, etc.) se compone de tres niveles de decisión básicos, sistema operativo, *software* a nivel *driver* y *software* de aplicación.

NI ofrece tres productos de software de desarrollo de medio ambiente para el desarrollo de instrumentación completa, la adquisición, y aplicaciones de control: LabVIEW con la programación gráfica de la metodología, LabWindows™ / CVI™ para programadores de C tradicionales, Measurement Studio para Visual Basic, C++ y .NET. [6]

2.6 Temperatura

La temperatura es difícil de definir, ya que no es una variable tangible como lo es la presión. La física térmica es la disciplina que estudia la temperatura, la transferencia y transformación de la energía. La temperatura es un estado relativo del ambiente, de un fluido o de un material referido a un valor patrón definido por el hombre, un valor comparativo de uno de los estados de la materia.

Por costumbre utilizamos indistintamente el término calor o temperatura para comunicar sensaciones de calor o de frío que percibimos mediante nuestros sentidos de contacto. Sin embargo, el calor y la temperatura son distintos, ya que cada uno representa conceptos diferentes y tienen sus propias unidades de medición.

2.6.1 Concepto de calor y temperatura

Calor

El calor es la transferencia de energía entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas. Este flujo siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia de calor hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico. El calor se puede medir en joules (julios, J) que es la unidad de energía en el Sistema Internacional, o en calorías (cal).

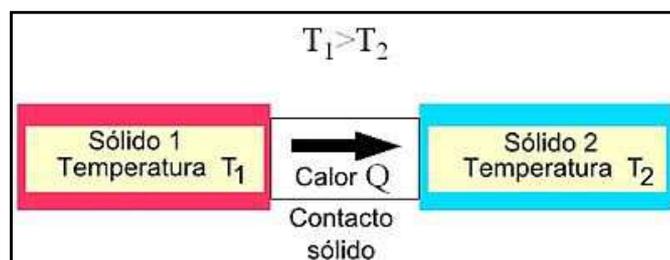


Figura 2.24: Esquema de la transferencia de calor por conducción

Temperatura.

Es aquella propiedad física que permite asegurar si dos o más sistemas están o no en equilibrio térmico (cuando dos cuerpos están a la misma temperatura), esto quiere

decir que la temperatura es la magnitud física que mide cuan caliente o cuan frío se encuentra un objeto. La temperatura se mide en unidades llamadas grados.

2.6.1.1 Diferencia entre calor y temperatura

- El calor es lo que hace que la temperatura aumente o disminuya.
- Una misma cantidad de calor calentará mucho más un cuerpo pequeño que un cuerpo grande, o sea, la variación de temperatura es proporcional a la cantidad de calor.
- Las temperaturas más altas tienen lugar cuando las moléculas se mueven con mayor energía.
- El calor es la energía total del movimiento molecular en un cuerpo.
- La temperatura es la medida de dicha energía.
- El calor depende de la velocidad de las partículas, de su número, de su tamaño y de su tipo.
- La temperatura no depende del tamaño, ni del número ni del tipo.

2.6.2 Mediciones de temperatura

La temperatura es una variable presente en la mayoría de procesos de producción. Como ya se dijo a menudo se confunde la temperatura con el calor, pero en realidad son dos variables íntimamente ligadas y a la vez diferentes.

La temperatura mide el nivel término de un cuerpo, mientras el calor mide la cantidad de energía entregada o ganada por ese cuerpo.

Para medir la temperatura se utilizan los termómetros, los cuales pueden mostrar el valor en dos escalas Fahrenheit y la Centígrada.

La temperatura como variable de proceso está presente en casi todas las actividades industriales, así: se requiere controlar la temperatura en los calderos, en los hornos de secado de madera, en los procesos de tratamientos térmicos de materiales, en la transportación de crudo, en las plantas de generación nuclear, en los quirófanos y termocunas de los hospitales, en las cámaras de frío de los supermercados, etc.

Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesarios; es importante señalar que es de esencial comprensión de los distintos métodos de medida con sus ventajas y desventajas propias para lograr una selección óptima del sistema más adecuado.

Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

- ✓ Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólido, líquido y gases);
- ✓ Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia);
- ✓ Variación de resistencia de un semiconductor (termistores);
- ✓ f.e.m. creada en la unión de dos metales diferentes (termopares);
- ✓ Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).

De este modo se emplea los siguientes instrumentos: Termómetros de vidrio, termómetros bimetalicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termopares, pirómetros de radiación, termómetros de resistencia, termómetros ultrasónicos, termómetros de cristal de cuarzo. [7]

2.6.3 Unidades de medida de temperatura

Las unidades de medida de la temperatura pueden ser absolutas y relativas. Para la graduación de las escalas de temperatura se utilizan como puntos de referencia los puntos de congelación y de evaporación del agua.

En el Sistema Métrico Decimal, la unidad de medida de temperatura es el grado centígrado ($^{\circ}\text{C}$), al punto de congelación le corresponde el 0°C y 100°C para el punto de evaporación del agua.

La escala Absoluta en éste Sistema es el grado Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), la graduación del cero absoluto se encuentra 273°C por debajo del punto de congelación del agua.

En el Sistema Ingles, la unidad de medida de temperatura es el grado Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), al punto de congelación del agua le corresponde la graduación 32°F y 212°F para el punto de ebullición.

La escala Absoluta en este sistema tiene como unidad de medida de la temperatura el grado Rankine ($^{\circ}\text{R}$), su cero absoluto se encuentra 460°R , por debajo del punto de congelación del agua.

A continuación se muestra la relación entre las escalas de temperatura y sus equivalencias.

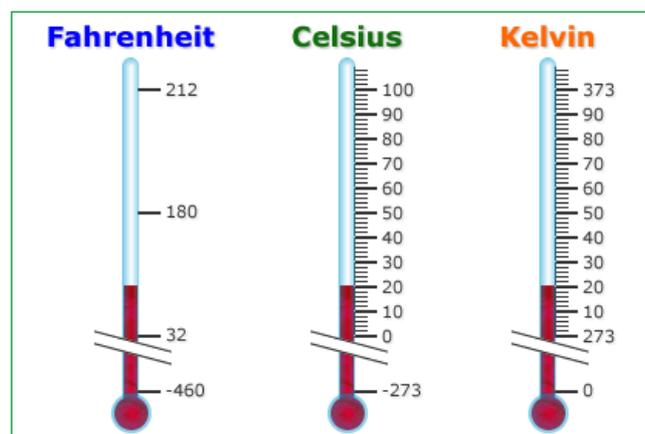


Figura 2.25: Comparación de las tres diferentes escalas de temperatura

Aunque parezca confuso, cada una de las tres escalas de temperatura permite medir la energía del calor de una manera ligeramente diferente. Una medida de la temperatura en cualquiera de estas escalas puede ser fácilmente convertida a otra escala usando las fórmulas de la siguiente tabla.

Tabla2.2: CONVERSIÓN DE UNIDADES DE TEMPERATURA

De	hacia Fahrenheit	hacia Celsius	hacia Kelvin
$^{\circ}\text{F}$	F	$(^{\circ}\text{F} - 32)/1.8$	$(^{\circ}\text{F}-32)*5/9+273.15$
$^{\circ}\text{C}$	$(^{\circ}\text{C} * 1.8) + 32$	C	$^{\circ}\text{C} + 273.15$
K	$(\text{K}-273.15)*9/5+32$	$\text{K} - 273.15$	K

2.7 Elementos primarios para medir temperatura

Dentro de los principales instrumentos que se utilizan para la medición de temperatura se tiene:

2.7.1 Termocuplas

Una termocupla básicamente es un transductor de temperaturas, es decir un dispositivo que convierte una magnitud física en una señal eléctrica. Está constituida por dos alambres metálicos diferentes que unidos desarrollan una diferencia de potencial eléctrica entre sus extremos libres, que es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperaturas entre estas puntas y la unión. Se suelen fabricar con metales puros o aleaciones (caso más común) y la característica más notable es que son empleadas para medir temperaturas en un rango noblemente grande comparadas con otros termómetros. Valores típicos del rango están entre 70 °K y 1700 °K, pudiéndose llegar en algunas circunstancias con aleaciones especiales hasta los 2000 °K.



Figura 2.26: Variedad de termocuplas o termopares

Su funcionamiento, se basa en un descubrimiento hecho por Seebeck en 1821: si se sueldan dos metales diferentes, cuyos extremos están a distintas temperaturas, aparece una f.e.m. (llamada f.e.m Seebeck). Posteriormente, se mostró que esta f.e.m proviene en realidad de dos efectos diferentes:

Primer efecto: resulta solo del contacto entre dos metales disimiles y la temperatura de dicha unión. Este es el llamado efecto Peltier es debido a la difusión de electrones desde el conductor con mayor densidad electrónica al de menor densidad.

Segundo efecto: debido a los gradientes de temperatura a lo largo de los conductores en el circuito. Este es el llamado efecto Thompson es debido al flujo de calor entre los extremos de los conductores, que es transportado por los electrones, induciendo entonces una f.e.m. entre los extremos de los mismos.

En la mayoría de los casos, la f.e.m. Thompson es bastante pequeña en comparación con la f.e.m. Peltier y, dependiendo de los materiales elegidos para la termocupla, la f.e.m. Thompson puede ser despreciada. Históricamente, se llamó efecto Seebeck a la combinación de los efectos Thompson y Peltier.

Debemos mencionar también, que la inserción de un metal intermedio en el circuito de una termocupla no afecta la f.e.m. neta, si las dos uniones con el tercer metal se mantienen a la misma temperatura.

En la siguiente tabla se indican algunos tipos de termómetros y sensores de temperatura junto con algunas de sus características más notables.

Tabla 2.3: TIPOS DE TERMÓMETROS Y SENSORES DE TEMPERATURA Y SUS CARACTERÍSTICAS

Tipo de termómetro	Rango Nominal [°C]	Costo	Linealidad	Características Notables
<i>Termómetro de mercurio</i>	-10 a 300	Bajo	Buena	Simple, lento y de lectura manual
<i>Termorresistencias (Pt, Ni, etc.) RTD (Resistance Temperature Detectors)</i>	-150 a 600	Medio	Alta	Exactitud
<i>Termocupla</i>	-150 a 1500	Bajo	Alta	Requiere referencia de temperatura.
<i>Termistor</i>	-15 a 115	Medio	No lineal	Muy sensible
<i>Integrado Lineal</i>		Medio	Muy alta	Fácil conexión a sistema de toma de datos.
<i>Gas</i>	-20 a 100	Medio	Buena	No muy versátil
<i>Diodos</i>	-200 a 50	Bajo	Alta	Bajo costo

2.7.1.1 Junta caliente o junta de medición

Es el termopar propiamente dicho, se denomina caliente porque es la parte del instrumento que está en contacto con el medio del cual se quiere obtener la temperatura.

2.7.1.2 Junta fría o de referencia

Es la parte del instrumento donde se realiza la medida y que generalmente se mantiene a una temperatura relativamente constante, en la mayoría de casos a la temperatura del ambiente.

2.7.1.3 Cables de extensión

Son los conductores que unen la junta caliente con la junta fría. A cada tipo de termopar le corresponde cables de extensión específicos, de lo contrario se alteraría el valor de la medida por la presencia de un tercer termopar según lo analizamos más adelante en la ley de los metales intermedios.

Los cables de compensación entre el termopar y el instrumento indicador deben cumplir con los requisitos para los cables aislados en sistemas de potencia (VDE 0250). En casos excepcionales, se pueden aplicar las normas para los cables aislados en los sistemas de telecomunicaciones (VDE 0810).

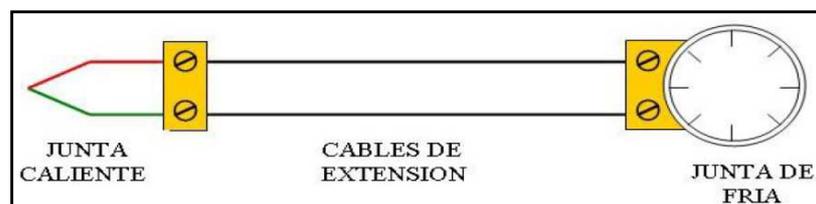


Figura 2.27: Esquema de un termopar

2.7.1.4 Ley de las temperaturas intermedias

La suma de la f.e.m de un termopar con su junta fría a 0 °C. Y su junta caliente a una temperatura T, más la f.e.m de un termopar con su junta fría a la temperatura T y su junta caliente a la temperatura de medición, es igual a la f.e.m de un termopar con su junta fría a 0 °C. Y su junta caliente a la temperatura de medición.

2.7.1.5 Ley de los metales intermedios

Cuando la junta caliente y el instrumento están distantes es necesario introducir cables de extensión de otra naturaleza que el termopar. Esto aparentemente provocaría alteraciones en la respuesta del termopar.

La ley de los metales intermedios dice que el valor de la f.e.m se mantendrá constante, siempre que el tercer metal no esté sujeto al efecto Thompson, es decir que la temperatura a lo largo de él se mantenga constante.

2.7.1.6 Principios básicos de operación

1. Las termocuplas están formadas por la unión de dos metales distintos, los cuales se encuentran soldados por uno de sus extremos y por el otro extremo se dejan separados.

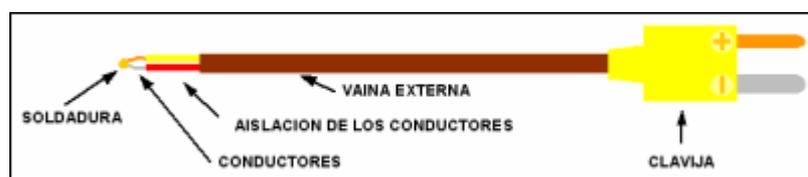


Figura 2.28: Partes de un termopar

2. El voltaje que aparece en los extremos de la unión, conocido como voltaje Seebeck aumenta con la temperatura.
3. La medición de temperatura es relativa, ya que depende de la unión de la temperatura de la unión de referencia.
4. De acuerdo al tipo de metales que forman la termocupla, se clasifican las termocuplas: B, C, E, J, K, L, N, R, S, T, U.
5. La relación voltaje temperatura es no lineal.

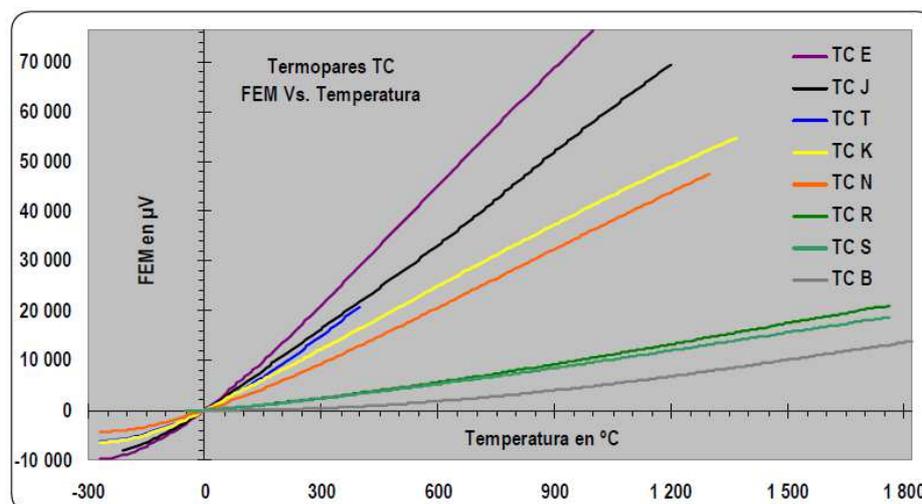


Figura 2.29: Curva de f.e.m. para termopares

6. La medición con termocupla requiere la compensación de la unión de referencia.

La *compensación* es una técnica utilizada en ciertos dispositivos de medición de temperatura (en termopares), para compensar el hecho de que éste se encuentra a una temperatura ambiente que influirá negativamente en una medida absoluta.

2.7.2 Características de las termocuplas

- Presentan el más amplio rango de temperatura con respecto a los otros sensores de temperatura.
- Son resistentes al ambiente.
- Son exactas.
- Son sensibles.
- Autoalimentadas.
- Bajo costo.
- Requieren de otro sensor de temperatura.

2.7.3 Tipos de termocuplas

Para escoger los materiales que forman el termopar se tomó en cuenta algunos factores que garanticen su mantenimiento y comercialización y hasta el momento se han desarrollado los siguientes tipos.

➤ **Cobre - Constantan (TIPO T)**

Están formados por un alambre de cobre como conductor positivo y una aleación de 60% de cobre y 40% de níquel como elemento conductor negativo. Tiene un costo bajo, se utiliza para medir temperaturas bajo 0 °C. Y como límite superior se puede considerar los 350 °C, ya que el cobre se oxida violentamente a partir de los 400 °C.

➤ **Hierro - Constantan (TIPO J)**

En este tipo de junta el hierro es electropositivo y el constantan electronegativo. Mide temperaturas superiores que el anterior ya que el hierro empieza a oxidarse a partir de los 700 °C. No se recomienda su uso en atmósfera donde exista oxígeno libre.

➤ **Chromel - Alumel (TIPO K)**

Una aleación de 90% de níquel y 10% de cromo es el conductor positivo y un conductor compuesto de 94% de níquel, 2% de Aluminio, 3% de manganeso y 1% de Silicio como elemento negativo. Este termopar puede medir temperaturas de hasta 1200 °C. Ya que el níquel lo hace resistente a la oxidación. Se los utiliza con mucha frecuencia en los hornos de tratamientos térmicos. Su costo es considerable lo que limita su utilización.

➤ **Platino rodio - Platino (TIPO R)**

Tienen como conductor negativo un alambre de platino y como conductor positivo una aleación de 87% de platino con 13% de sodio. Este tipo de junta desarrollada últimamente con materiales de alta pureza que son capaces de medir hasta 1500°C si se utilizan las precauciones debidas. Son muy resistentes a la oxidación pero no se aconseja su aplicación en atmósferas reductoras por su fácil contaminación con él.

➤ **Platino rodio - Platino (TIPO S)**

El conductor positivo es una aleación de 90% de platino y 10% de Rodio mientras que el conductor negativo es un alambre de platino. Sus características son casi similares al termopar anterior con la diferencia que no puede usarse a temperaturas elevadas porque los metales no son de alta pureza produciendo alteraciones de la lectura a partir de los 1000 °C en adelante.

➤ **Molibdeno – Renio**

Fue desarrollado recientemente y se utiliza para temperaturas inferiores a los 1650 °C. Se recomienda usarlos en atmósferas inertes ya que el oxígeno destruye al termopar.

➤ **Tungsteno – Renio**

Al igual que el anterior fue recientemente creado y no tiene datos normalizados de temperatura y mili voltajes. Puede medir temperaturas de hasta 2000 °C, el oxígeno y los cambios bruscos de temperaturas destruyen al termopar. Funcionan perfectamente en atmósferas reductoras e inertes si se los protege con funda cerámica.

➤ Iridio - Iridio Rodio

Puede medir como máximo 2000 °C. Su uso es recomendable en atmósferas oxidantes que contienen oxígeno libre. El Hidrógeno produce alteraciones permanentes en el termopar, reduciendo además su vida útil.

Tabla 2.4: TIPOS DE TERMOPAR CON SUS RESPECTIVOS RANGOS DE OPERACIÓN

TIPO	CONDUCTOR POSITIVO	CONDUCTOR NEGATIVO	RANGO DE OPERACIÓN
B	Platino 30% Rodio	Platino 63% Rodio	1370 - 1700°C 2500- 3100 °F
C	W5Re Tungsten 5% Renio	W26Re Tungsten 26% Renio	1650 - 2315°C 3000- 4200 °F
E	Cromel	Constantan	95 - 900°C 200- 1650 °F
J	Hierro	Constantan	95 - 760 °C 200- 1400 °F
K	Chromel	Alumel	95 - 1260 °C 200- 2300 °F
N	Nicrosil	Nisil	650 - 1260 °C 1200- 2300 °F
R	Platino 13% Rodio	Platino	870 - 1450 °C 1600- 2640 °F
S	Platino 10% Rodio	Platino	980 - 1450 °C 1800- 2640 °F
T	Cobre	Constantano	-200 - 350 °C -330 - 660 °F

2.7.4 Código de colores para cables de extensión

La norma americana ASTM define los siguientes códigos de colores para cables de extensión.

Tabla 2.5: NORMA AMERICANA ASTM, CÓDIGOS DE COLORES PARA CABLES DE EXTENSIÓN

TIPO	DENOMINACIÓN	POSITIVO	NEGATIVO	ENVOLTURA
B	Bx	Plomo	Rojo	Plomo
J	Jx	Blanco	Rojo	Negro
K	Kx	Amarillo	Rojo	Amarillo
R/S	Rx	Negro	Rojo	Verde
T	Tx	Azul	Rojo	Azul

La Norma Británica BS4937 de 1993, dispone el uso del siguiente código de Colores.

Tabla 2.6: NORMA BRITÁNICA BS4937, CÓDIGOS DE COLORES PARA CABLES DE EXTENSIÓN

TIPO	DENOMINACIÓN	POSITIVO	NEGATIVO	ENVOLTURA
B	Bx	Plomo	Blanco	Plomo
J	Jx	Negro	Blanco	Negro
K	Kx	Verde	Blanco	Verde
R/S	Rx	Tomate	Blanco	Tomate
T	Tx	Café	Blanco	Café

La Norma Francesa de la NFE dispone el uso del siguiente código de colores.

Tabla 2.7: NORMA FRANCESA DE LA NFE, CÓDIGOS DE COLORES PARA CABLES DE EXTENSIÓN

TIPO	DENOMINACIÓN	POSITIVO	NEGATIVO	ENVOLTURA
J	Jx	Amarillo	Negro	Negro
K	Kx	Amarillo	Café	Amarillo
R/S	Rx	Amarillo	Verde	Verde
T	Tx	Amarillo	Azul	Azul

La Norma Alemana DIN tiene la siguiente codificación:

Tabla 2.8: NORMA ALEMANA DIN, CÓDIGOS DE COLORES PARA CABLES DE EXTENSIÓN

TIPO	DENOMINACIÓN	POSITIVO	NEGATIVO	ENVOLTURA
J	Jx	Rojo	Azul	Azul
K	Kx	Rojo	Verde	Verde
R/S	Rx	Rojo	Blanco	Blanco
T	Tx	Rojo	Café	Café

Los estándares para este fin aún no han sido unificados, por lo que se debe guardar cuidado en la verificación del tipo de termopar que se está utilizando y dependiendo del origen de la termocupla deberá observarse el código de colores.

Debe indicarse también que existen en el mercado termocuplas que no cumplen con ninguna de las normas que se han analizado.

2.7.5 Tubos de protección

La mayoría de termopares, con excepción de pocos casos deben protegerse con envolturas de material cerámico y metálico que evitan su deterioro por golpes y contaminación con la atmósfera en la cual están operando.

Las fundas metálicas vienen en tamaños normalizados y se acoplan al termopar mediante una unión roscada en el bloc de bornes, pudiendo ser fácilmente reemplazables.

Tabla 2.9: APLICACIÓN DE TUBOS DE PROTECCIÓN

Material	Temperatura Max	Atmosfera de Utilización
Acero Dulce	400 °C	Gases no corrosivos, ba; os de Zn, Pb y Zn
Acero Cr – Ni	1100 °C	Empleo menos en medios Sulfurosos
Acero 25% Cr	1100 °C	Medios Sulfurosos
Inconel Cr-Ni-Ti	1200 °C	Baños de Sales

2.7.6 Normas de instalación y mantenimiento

- Elija cuidadosamente el tipo de termopar de acuerdo a las necesidades.
- Escoja el lugar de instalación, el tubo de protección y evite el contacto directo con flama.
- La profundidad de inmersión del termopar tendrá que ser completa a fin de asegurar la mayor transferencia de temperatura.
- El block de bornes debe estar lo suficientemente lejos del punto de medición para que su temperatura corresponda la temperatura ambiente.
- En lo posible instale el termopar en forma vertical para evitar deformaciones.
- Utilice únicamente cables de extensión según el tipo de termopar.
- Observe el color de clave de los alambres y no confunda la polaridad.
- Trate de no realizar empalmes en los cables de extensión, si es necesario suelde y aíse adecuadamente.
- Tienda los cables de extensión dentro de tubos y por lo menos a ½ m de distancia de otros conductores eléctricos (Audio, video, telefonía, etc.).

El mantenimiento de los termopares se reduce a evitar golpes que fisuren la funda de protección, especialmente si es del tipo cerámico. Es conveniente revisar el estado del termopar una vez por mes, pudiendo variar según la rigidez del servicio.

Si se comprueba que el termopar ha sido contaminado con elementos extraños, lo recomendable es verificar el milivoltaje de respuesta y si es del caso reemplazarlo ya que no admite otro tipo de calibración.

2.7.7 Campos de aplicación

En el rango de temperatura negativa, los termopares se pueden utilizar hasta -200 °C. Para temperaturas superiores a 1000 °C, se utilizan termopares de platino y de aleaciones de platino/rodio.

Las ventajas de los termopares son las siguientes:

- Rangos de temperatura muy alta
- Respuesta rápida
- Diseño compacto
- Muy alta resistencia a las vibraciones
- Estabilidad a largo plazo.
- Diseño robusto

Los termopares se utilizan en las siguientes industrias, entre otras:

- Industrias químicas
- Industrias farmacéuticas
- Generación de energía
- Ingeniería mecánica
- Alimentos y bebidas
- Minería
- Hierro y acero
- Cerámica y vidrio

2.8 Pirómetros

Un pirómetro, dispositivo capaz de medir la temperatura de una sustancia sin necesidad de estar en contacto con ella. El término se suele aplicar a aquellos instrumentos capaces de medir temperaturas superiores a los 600 °C. El rango de temperatura de un pirómetro se encuentra entre -50 °C hasta $+4000$ °C. Una aplicación

típica es la medida de la temperatura de metales incandescentes en molinos de acero o fundiciones.



Figura 2.30: Pirómetros

2.8.1 Tipos de pirómetros

➤ Pirómetros ópticos

Los pirómetros ópticos se emplean para medir temperaturas de objetos sólidos que superan los 700°C . A esas temperaturas los objetos sólidos irradian suficiente energía en la zona visible para permitir la medición óptica a partir del llamado fenómeno del color de incandescencia. El color con el que brilla un objeto caliente varía con la temperatura desde el rojo oscuro al amarillo y llega casi al blanco a unos $1\ 300^{\circ}\text{C}$.

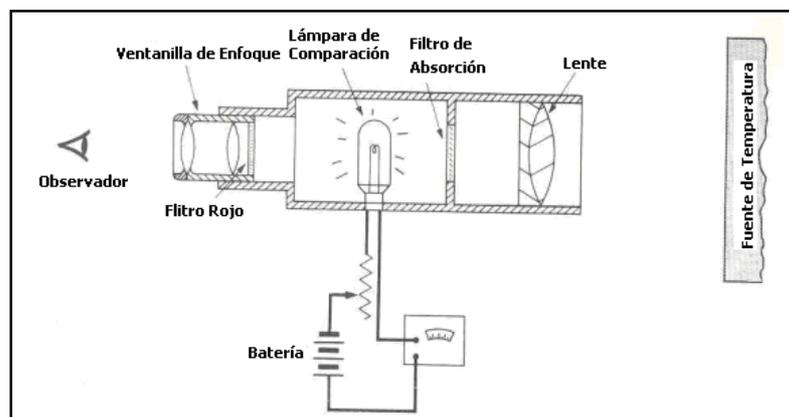


Figura 2.31: Diagrama esquemático de un pirómetro óptico

➤ Pirómetros de radiación

Los pirómetros de radiación se emplean para medir temperaturas mayores de 550°C hasta un poco más de 1600°C captando toda o gran parte de la radiación emitida por el cuerpo a analizar.

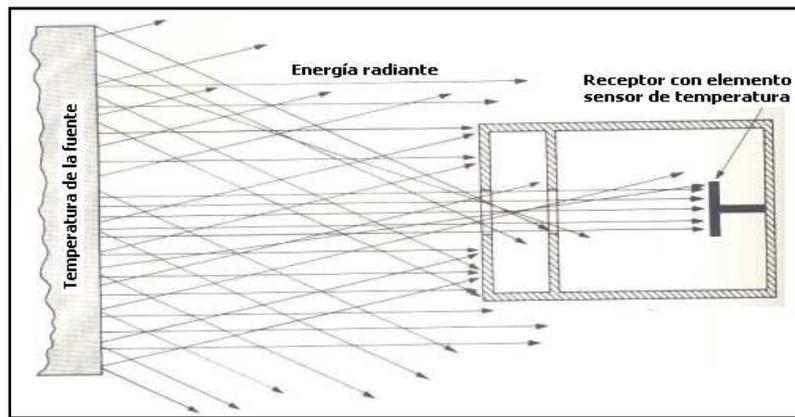


Figura 2.32: Esquema simplificado de un pirómetro de radiación

Aplicaciones del pirómetro de radiación

- Para la medida de temperaturas de superficies.
- Para medir temperaturas de objetos que se muevan.
- Para medir temperaturas superiores a la amplitud de los termopares.
- Cuando se requiere gran velocidad de respuesta a los cambios de temperatura.
- Donde las condiciones mecánicas (vibraciones, choques, etc.) acorten la vida de un par termoelectrico.

2.9 Detectores de temperatura resistivos (RTDs)



Figura 2.33: Detectores de temperatura resistivos (RTDs)

Los detectores de temperatura basados en la variación de una resistencia eléctrica se suelen designar con sus siglas inglesas RTD (Resistance Temperature Detector). Al ser el platino el material empleado con mayor frecuencia, se les denomina a veces PRT (Platinum Resistance Thermometer).

El fundamento de las RTD es la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. En un conductor, el número de electrones libres no cambia apreciablemente con la temperatura. Pero si ésta aumenta, las vibraciones de los átomos alrededor de sus posiciones de equilibrio son mayores, y así dispersan más eficazmente a los electrones, reduciendo su velocidad media. Esto implica un coeficiente de temperatura positivo, es decir, un aumento de la resistencia con la temperatura.

Los detectores de temperatura resistivos (RTDs) operan bajo el principio de los cambios en la resistencia eléctrica de los metales puros y se caracterizan por un cambio lineal positivo en la resistencia con la temperatura. Los elementos típicos utilizados para RTDs incluyen el níquel (Ni) y cobre (Cu), pero el platino (Pt) es mucho más común debido a su amplio rango de temperaturas, precisión y estabilidad.

Los RTDs son populares debido a su excelente estabilidad, y muestran la señal más lineal con respecto a la temperatura de cualquier sensor electrónico de temperatura.

CAPITULO III

3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN Y MONITOREO DE TEMPERATURA.

En los inicios de la era industrial, la operación de los procesos se llevaba a cabo con un control manual, ya que antes solo se utilizaban instrumentos sencillos pero de gran ayuda como son manómetros, termómetros, válvulas, etc.

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de diversos productos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos: como la fabricación de los productos derivados del petróleo, de los productos alimenticios, la industria cerámica, las centrales generadores de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la industria textil, etc.

En todos estos procesos es absolutamente necesario controlar, monitorear y mantener variables como son: presión, nivel, conductividad, velocidad, pero sobre todo temperatura, ya que los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar.

En este trabajo nos enfocaremos únicamente en la variable temperatura, utilizaremos un horno para que podamos manipular y ver cómo se comporta esta variable. En el capítulo anterior se conoció sobre la variable como tal ¿Qué es temperatura?, ¿Tipos de sensores de temperatura?, características, aplicaciones de sensor, etc.

El horno está hecho con material de tol de forma rectangular con capacidad de 600 watts, niquelinas de 300 °C colocadas en la pared superior e inferior del horno, las niquelinas van a ser nuestro elemento calefactor. En la pared posterior del horno va estar ubicado nuestro sensor (termocupla) que va sensar la temperatura.

Para la lectura de la variable se utiliza un instrumento analógico como es la termocupla y para la parte de monitoreo y adquisición de datos se utiliza el software de instrumentación virtual para controlar la variable digitalmente. Para desarrollar este sistema se emplea el equipo CompactRIO-9074.

Del equipo *CompactRIO-9074* se utiliza el módulo de entrada para termopares *NI 9213* el cual consta de 16 canales para entradas de termocuplas, se podrá programar con el software LabVIEW, también se emplean los módulos *NI 9472* para las salidas digitales, el módulo *NI 9423* de entradas digitales y el modulo *NI 9401*.

3.1. Equipo CompactRIO-9074

El NI cRIO-9074 es un sistema embebido reconfigurable que combina confiables capacidades autónomas embebidas con certificaciones extremas y calificaciones para operar en condiciones ambientales industriales severas y en espacios reducidos.

Está calificado para trabajar en un rango de temperatura de -20 a 55 °C, resistir golpes de hasta 50g y operar en sitios peligrosos o potencialmente explosivos (Clase I, Div 2). Cada componente viene con una variedad de certificaciones y calificaciones internacionales de seguridad, compatibilidad electromagnética (EMC) y ambientales.



Figura 3.1: Equipo NI cRIO-9074

3.1.1 Elementos y componentes del sistema NI cRIO-9074

A continuación se clasifican y describen los distintos elementos y componentes que se usan en el presente sistema de medición y monitoreo de temperatura:

Elementos

- Controlador Integrado en Tiempo Real *NI cRIO-9074*.
- Cuatro módulos (*NI 9213*, *NI 9472*, *NI 9423*, *NI 9401*).
- Fuente de alimentación *NI PS-15* de 5A, 24VDC.
- Sensores de temperatura (termocupla).

Componentes

- Software SCADA de Desarrollo Gráfico LabVIEW 2009.
- Software CompactRIO9074 (Measurement & Automation Explorer).

3.1.1.1 Controlador integrado en tiempo real NI cRIO-9074



Figura3.2: NI cRIO-9074 Chasis

Tabla 3.1: ESPECIFICACIONES NI CRIO-9074

Especificaciones	
Formato Físico	CompactRIO
Sistema Operativo / Objetivo	<i>Real-Time</i>
Soporte para <i>LabVIEW RT</i>	Sí
Número de Ranuras	8
Controlador Integrado	Sí
Eléctrico	
Fuente de Alimentación Recomendada: Potencia	48 W
Fuente de Alimentación Recomendada: Voltaje	24 V
Rango de Entrada de Voltaje	19..30 V
Consumo de Potencia	20 W
FPGA Reconfigurable	
FPGA	Spartan-3
Compuertas	2000000
Especificaciones Físicas	
Longitud	28.97 cm
Ancho	8.73 cm
Altura	5.89 cm
Peso	929 gr
Temperatura de Operación	-20..55 °C
Compatibilidad CE	Sí

3.1.1.2 Descripción del módulo NI 9213

El módulo de la Serie C, NI 9213 fue diseñado con 16 canales de entrada para termopares en un espacio compacto, para sistemas de medición de temperatura. El NI 9213 puede medir termopares tipo J, K, T, S, B, E, R, y N a más de 70 S/s con 24 bits de resolución. Con hasta ocho módulos NI 9213 instalado en un chasis NI CompactRIO o NI CompactDAQ, puede medir hasta 128 termopares en un sistema.



Figura 3.3: Módulo NI 9213

Observe la Figura 3.4: Para las asignaciones de terminales.

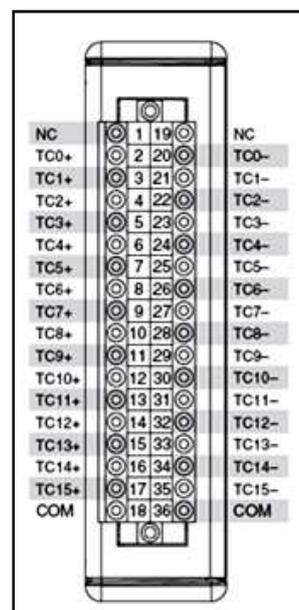


Figura 3.4: Asignación de terminales del NI 9213

El NI 9213 también tiene dos terminales comunes, COM, que se conecta internamente aislando al módulo.

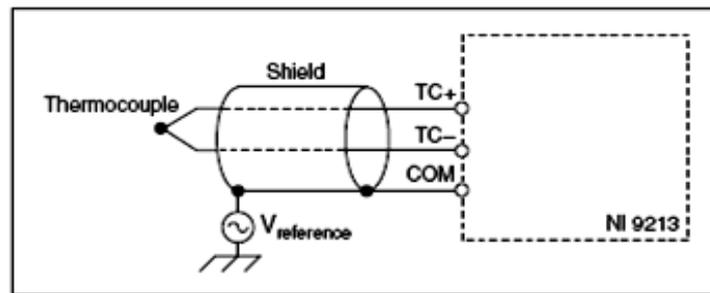


Figura 3.5: Conexión de una placa protectora a la entrada de la termocupla

Tabla 3.2: ESPECIFICACIONES MÓDULO NI 9213

Especificaciones	
Formato Físico	CompactDAQ, CompactRIO
Sistema Operativo / Objetivo	Windows, Real-Time
Tipos de medida	Temperature, Termopares
Soporte para LabVIEW RT	Sí
Compatibilidad con RoHS	Sí
Entrada Analógica	
Número de Canales	16 DI
Velocidad de Muestreo	1200 S/s
Ancho de Banda	78 Hz
Resolución	24 bits
Muestreo Simultáneo	No
Ancho de Banda Máximo	78 Hz
Rango de Voltaje Máximo	-78.125..78.125 mV
Precisión del Rango	38 μ V
Acondicionamiento de Señales	Compensación de unión fría
Salida Analógica	
Números de Canales	0
E/S Digital	
Números de Canales	0
Contadores/Temporizadores	
Número de Contadores/Temporizadores	0

3.1.1.3 Compensación de junta fría (CJC)

El NI 9213 ha incorporado la compensación de unión fría (CJC) para eliminar el error causado por la conexión física del sensor de la instrumentación. El contacto de dos metales diferentes crea un potencial de voltaje, el contacto de los metales disímiles

del termopar con el terminal de resorte debe ser retirado de la operación. Esto se hace a través de un proceso conocido como compensación de unión fría, la unión fría es el acoplamiento del sensor en el instrumento.

Al colocar y conectar los cables de compensación, se debe tener cuidado de conectar el polo positivo del termopar al terminal positivo del instrumento indicador. Si se utilizan cables de extensión o cables de compensación, se debe tener cuidado en no intercambiar los conductores positivos y negativos.

Características tales como la especificación industrial de choque de 50 g y un rango de operación de temperatura de -20 a 55 °C hacen que el *NI 9213* sea ideal para almacenamiento de datos o aplicaciones de control que requieren un gran número de termopares, este módulo tiene terminales de resorte para conectar directamente los termopares al módulo.

3.1.1.4 Módulo de salidas digitales NI 9472



Figura 3.6: Módulo *NI 9472*

El *NI 9472* es un módulo de ocho canales de salidas digitales (DO) para NI CompactDAQ o chasis CompactRIO. Cada canal es compatible con señales de 6-30 V y cuenta con 2,300 Vrms de protección contra sobretensiones transitorias entre los canales de salida y la placa madre.

Cada canal también tiene un LED que indica el estado de ese canal. Con el NI 9472, se puede conectar directamente a una variedad de dispositivos industriales, tales como motores, actuadores y relés.

Cuando se utiliza en CompactRIO, el módulo de salida digital se conectan directamente a E /S reconfigurable (RIO), y programar en FPGA (matriz de puertas programables de campo) del hardware para crear sistemas de alto rendimiento.

Tabla 3.3: ESPECIFICACIONES DEL MÓDULO NI 9472

Especificaciones	
Formato Físico	CompactDAQ, CompactRIO
Sistema Operativo / Objetivo	Windows, Real-Time
Tipos de Medida	Digital
Tipo de Aislamiento	Aislamiento de Canal a Tierra
Compatibilidad con RoHS	Si
Entrada Analógica	
Número de Canales	0
Salida Analógica	
Número de Canales	0
E/S Digital	
Número de Canales	8 DO
Temporización	Hardware
Máximo rango de tiempo	10 KHz
Niveles lógicos	Otros
Máximo rango de salida	6 a 30 V
Salida de flujo de corriente	Sourcing
Capacidad de corriente (canal/total)	0,75 A / 6 A
¿Soporta protocolo de sintonización para E/S?	Si
¿Soporta E/S de patrones?	Si
Contadores/Temporizadores	
Número de contadores/temporizadores	Proporcionado por chasis
Temporización/disparo/sincronización	
Disparo	Digital
Disparo chasis Cdaq	Si

3.1.1.5 Modulo de entrada digital NI 9423

El NI 9423 es un módulo de entradas digitales de ocho canales y alta velocidad, de la Serie C empleado en NI CompactDAQ o chasis CompactRIO. Cada canal puede ingresar hasta 30 niveles discretos de tensión V, es compatible con señales 12 y 24 V, características de protección contra sobretensiones transitorias de 2,300 Vrms entre los

canales de entrada y tierra. Cada canal también tiene un LED que indica el estado de ese canal. El NI 9423 funciona con niveles lógicos y señales industriales para conexión directa a una amplia gama de conmutadores industriales, transductores y dispositivos.



Figura 3.7: Módulo NI 9423

Tabla 3.4: ESPECIFICACIONES DEL MÓDULO NI 9423

Especificaciones	
Formato Físico	CompactDAQ, CompactRIO
Sistema Operativo / Objetivo	Windows, Real-Time
Tipos de Medida	Digital
Tipo de Aislamiento	Aislamiento de Canal a Tierra
Entrada Analógica	
Número de Canales	0
Salida Analógica	
Número de Canales	0
E/S Digital	
Número de Canales	8 DI
Temporización	Hardware
Máximo rango de tiempo	1 MHz
Niveles lógicos	> 24 V
Máximo rango de entrada	0 a 30 V

3.1.1.6 Módulo bidireccional E/S digitales de alta velocidad NI 9401

El NI 9401 es un módulo con ocho canales, bidireccional (100ns) de la Serie C. Se puede configurar la dirección de las líneas digitales en el NI 9401 para la entrada o salida por nibble (cuatro bits). Se puede programar el NI 9401 para tres configuraciones:

ocho entradas digitales, ocho salidas digitales, o cuatro entradas digitales y cuatro salidas digitales con reconfiguración de E / S (RIO).



Figura 3.8: Módulo NI 9401

Tabla 3.5: ESPECIFICACIONES DEL MÓDULO NI 9401

Especificaciones	
Formato Físico	CompactDAQ, CompactRIO
Sistema Operativo / Objetivo	Windows, Real-Time
Tipos de Medida	Digital
Tipo de Aislamiento	Aislamiento de Canal a Tierra
Entrada Analógica	
Número de Canales	0
Salida Analógica	
Número de Canales	0
E/S Digital	
Número de Canales	8 DIO
Temporización	Hardware
Máximo rango de tiempo	10 MHz
Niveles lógicos	TTL
Máximo rango de entrada	0...5.25 V
Máximo rango de salida	0..5.25V
¿Soporta Protocolo de Sincronización E/S?	Sí
Disparo	Digital
Disparo Chasis cDAQ	Sí

3.1.1.7 Fuente de alimentación NI PS-15 de 5A, 24VDC

El cRIO-9074 requiere una fuente de alimentación externa que cumple con las especificaciones en la sección requisitos de alimentación. El cRIO-9074 contiene filtros

y regula la potencia suministrada y proporciona la energía para todos los módulos O/ I. El cRIO-9074 tiene una capa de protección contra la inversión de tensión.



Figura3.9: Fuente de alimentación NI PS-15 de 5A, 24VDC

Tabla 3.6: ESPECIFICACIONES FUENTE DE ALIMENTACIÓN NI PS-15 DE 5A, 24VDC

Especificaciones	
Numero de fase	1
Entrada VAC	115/230
Salida	24 a 28 VDC, 5 A.
Potencia de salida	120 W
Rango de temperatura	-25 a 60 °C

3.1.1.8 Sensores de temperatura

Termocupla tipo K

El sensor que se usa en nuestro proyecto es una termocupla tipo K (Chromel-Alumel), resiste temperaturas de -270 a 1300 °C el cual es económica y fácil de encontrar en el mercado.

La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos. Constituyen el tipo más satisfactorio de termocupla para el uso en atmósferas reductoras, atmósferas oxidantes e inertes. Las termocuplas J y K junto con los Pt100 son los sensores de temperatura de uso industrial más comunes, económicos y fáciles de reemplazar.



Figura 3.10: Varias presentaciones en termocuplas tipo K

3.1.2 Componentes

3.1.2.1 Software de desarrollo gráfico LabVIEW 2009

Para desarrollar este proyecto se utilizará la versión profesional de *LabVIEW 2009* por su amplia gama de librerías que permite ejecutar tareas de programación de forma fácil y dinámica.

Instalación

Se procede a instalar el software *LabVIEW 2009* siguiendo cada una de las instrucciones. Finalizada la misma, se ejecuta el programa donde aparecerán las siguientes ventanas de inicio y presentación.

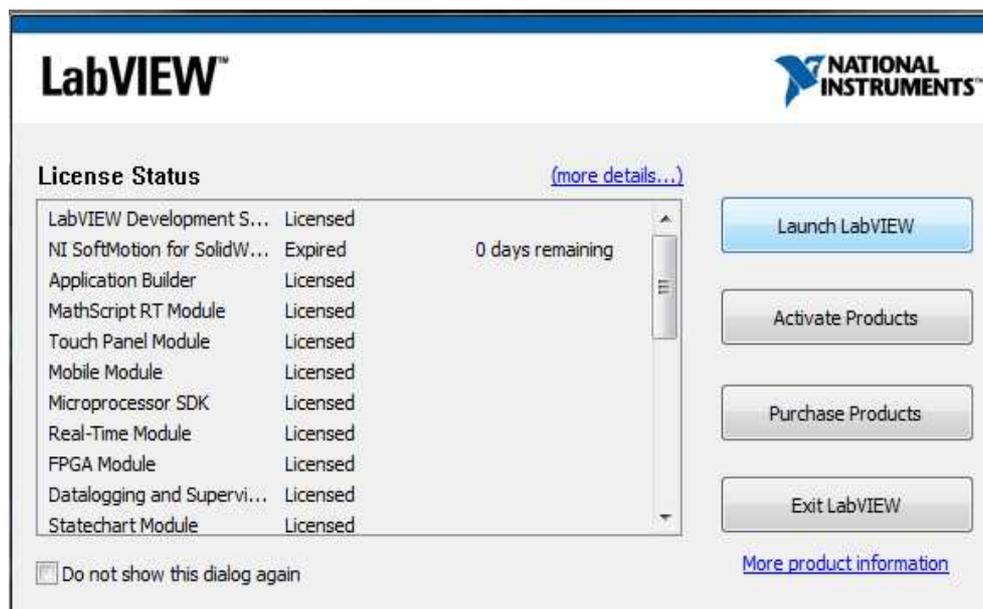


Figura 3.11: Pantalla de inicio LabVIEW 2009

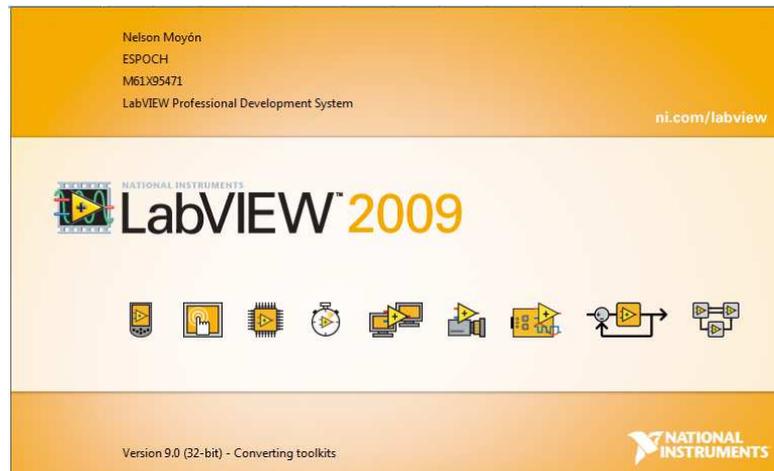


Figura 3.12: Pantalla de presentación LabVIEW 2009

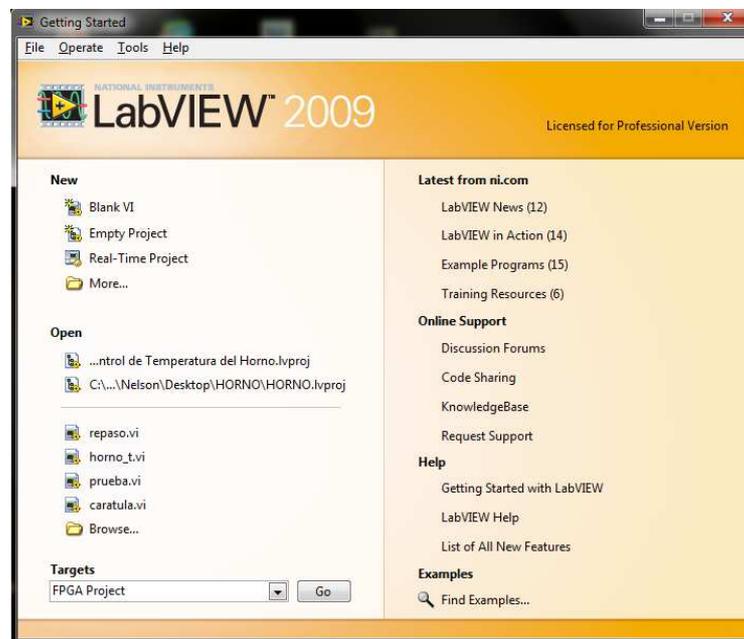


Figura 3.13: Pantalla principal LabVIEW 2009

Software CompactRIO 9074 (*Measurement & Automation Explorer*)

Este software nos permitirá configurar el equipo para crear una interfaz entre LabVIEW y el hardware CompactRIO 9074.

3.1.2.2 Configuración del cRIO-9074

Cuando se realiza la adquisición de cualquier equipo sean estos de prueba, ensayo, análisis, instrumentaciones etc., y si operan con algún tipo de software es necesario que estén de acuerdo a nuestro ambiente de trabajo es decir que deben ser calibrados para

que en el momento de utilizarlos no generen inconvenientes, es por eso que antes de utilizar nuestro equipo como lo es el *NIcRIO-9074* debemos configurar de acuerdo a nuestro sistema operativo.

1. Desactivamos los firewalls del Windows.



Figura 3.14: Desactivación los firewalls

2. Abrir Measurement & Automation Explorer para configurar el sistema remoto CompactRIO y usarlo con el modo LabVIEW Real-Time.



Figura 3.15: Measurement & Automation Explorer

3. Dar clic en Remote Systems y en NI-cRIO9074-014946EA para determinar la dirección IP con la cual trabajará la computadora.

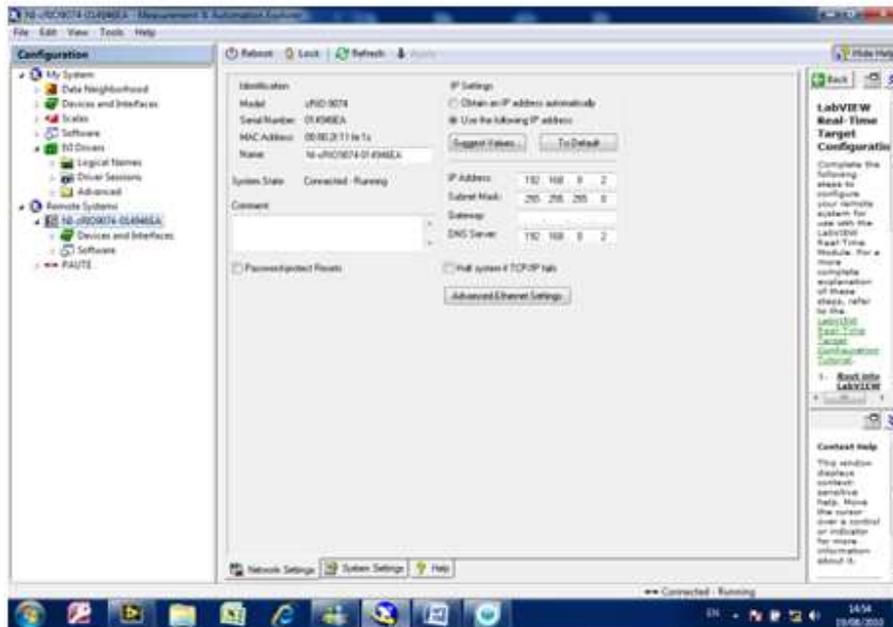


Figura 3.16: Configuración de la dirección IP del cRIO 9074

La computadora y el nuevo hardware deben tener el mismo IP para establecer una comunicación apropiada

4. Para cambiar la dirección IP de la computadora se realizan los siguientes pasos:

Abrir el panel de control – redes e Internet – conexión de redes, dar *clic* derecho en conexión de área local y seleccionar propiedades.

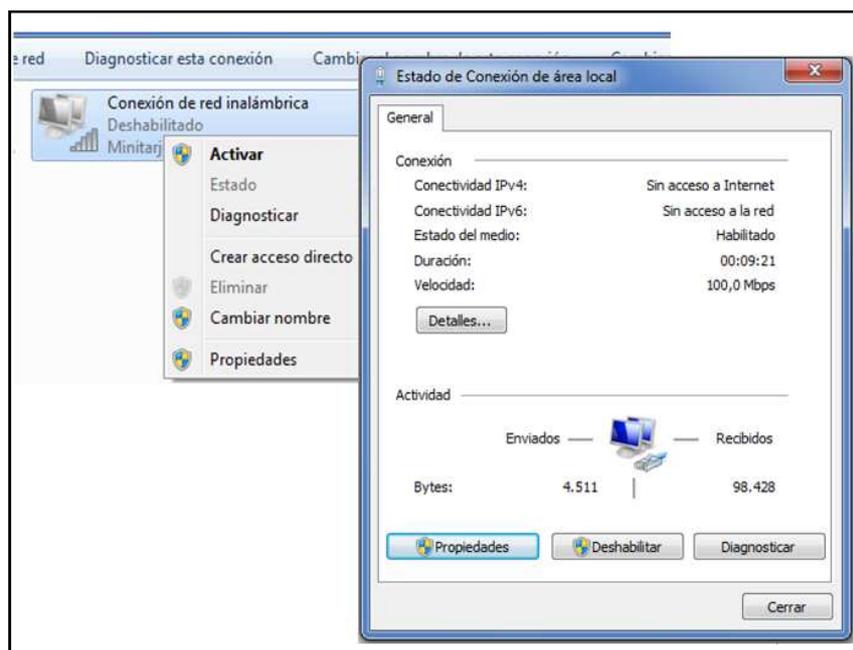


Figura 3.17: Acceso a conexiones de red

Seleccionar protocolo de internet versión 4 (TCP/IPv4) y aceptar.

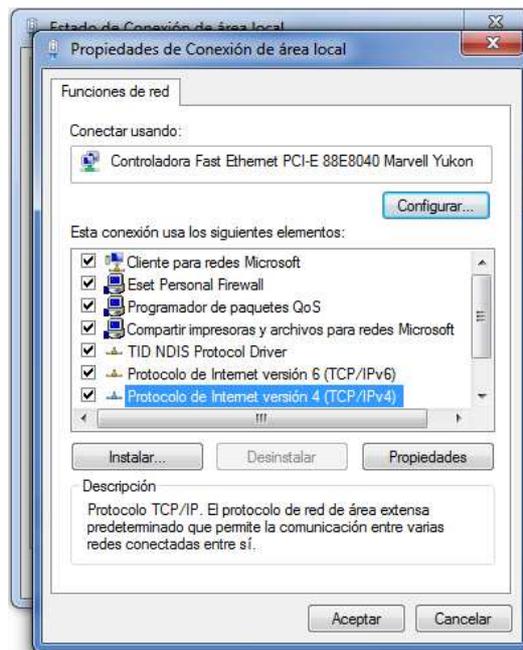


Figura 3.18: Propiedades de conexión de área local

Dar clic en la opción, usar la siguiente dirección IP.

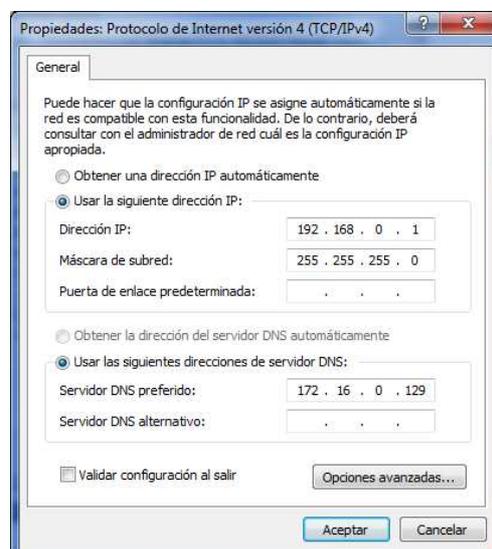


Figura 3.19: Dirección IP de la PC

Para verificar que el CompactRIO esté cargado correctamente y poder programar independientemente, sin la necesidad de tenerlo conectado a la computadora, se debe cargar previamente el chasis cRIO 9074 y sus módulos en un nuevo proyecto; para lo cual se realiza los siguientes pasos:

- a. En la ventana de inicio de LabVIEW seleccionar Empty Project.

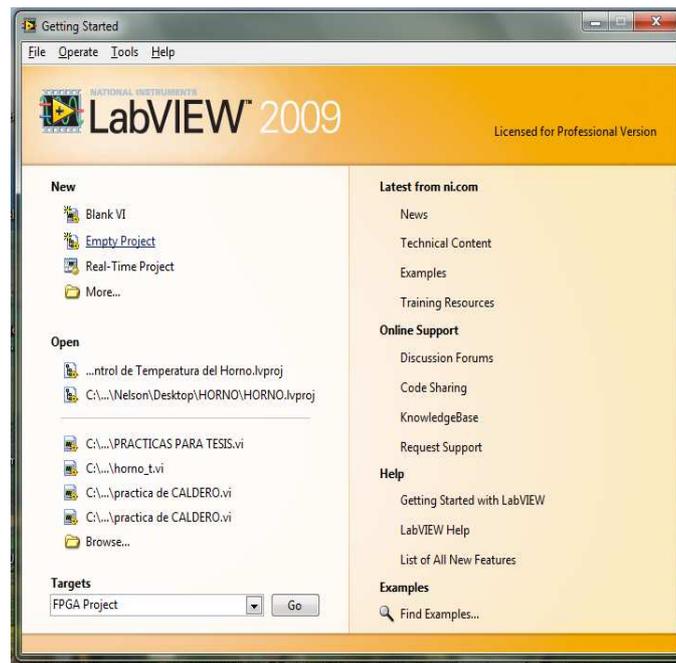


Figura 3.20: Acceso a Empty Project

- b. Dar click derecho en Project: Untitled Project – New – Targets and Devices.

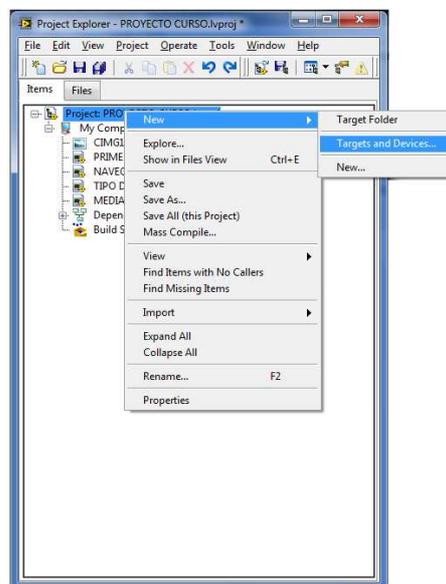


Figura 3.21: Localización de tarjetas y dispositivos

- c. Escoger Real-Time CompactRIO, NI-cRIO 9074-014946EA dar clic en ok. Seleccionar Scan Interface y dar clic en Continue, como se muestra a continuación.

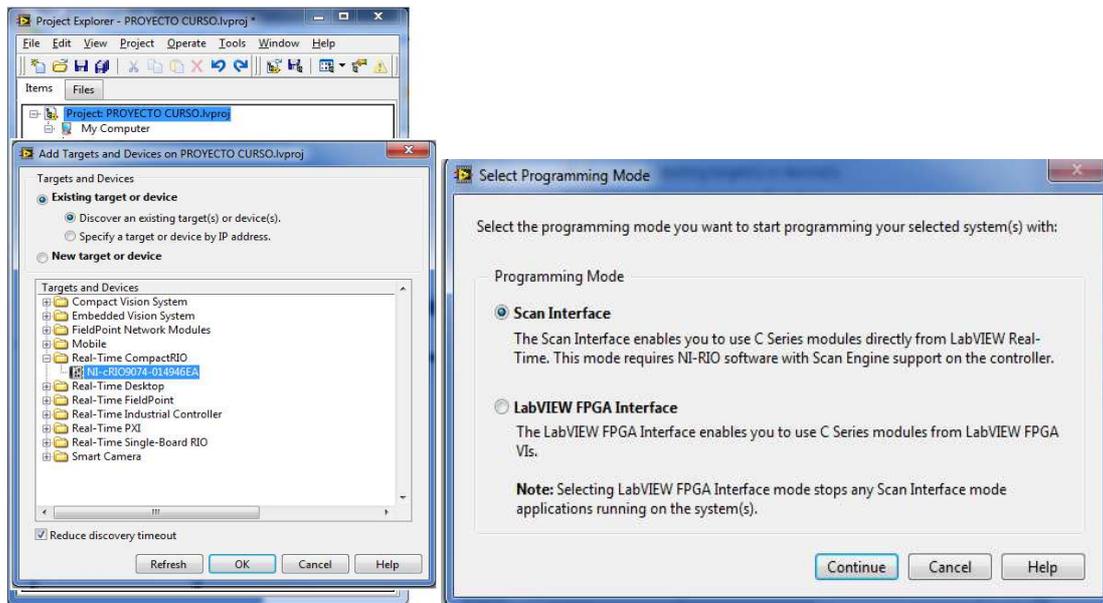


Figura 3.22: Selección modo de programación

A continuación se muestra el proyecto cargado con todos los módulos del CompactRIO mediante el cual se podrá seleccionar las entradas y salidas que se necesite para la programación.

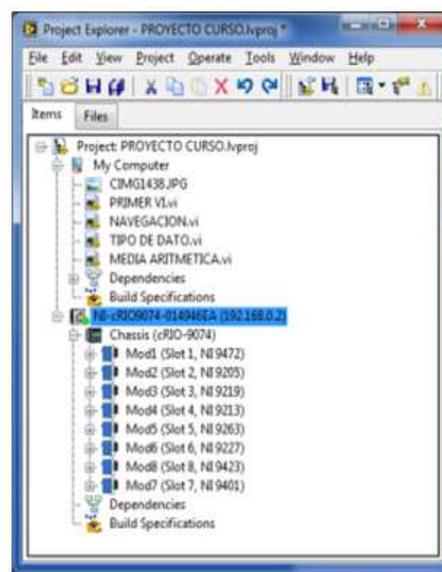


Figura 3.23: Proyecto cargado

3.1.3 Formateo del cRIO

Abrimos el software en cRIO y seleccionamos add/remove software.

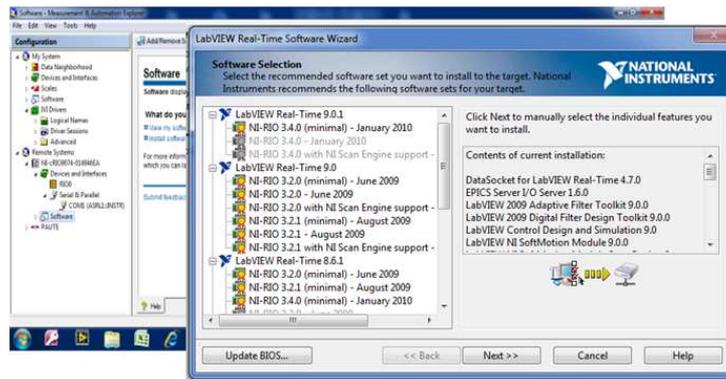


Figura 3.24: Ventana del MAX para el formateo

Se selecciona la versión de ni rio 3.x y pulsamos siguiente

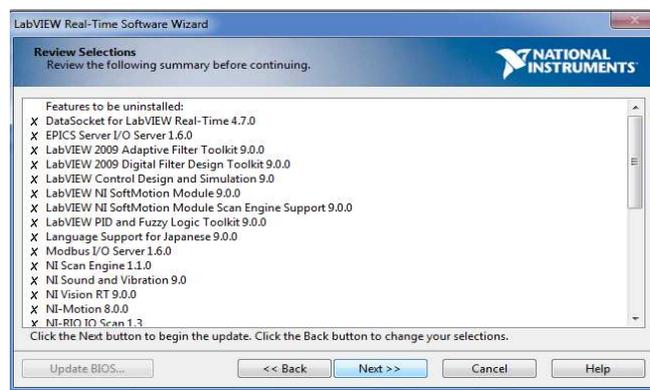


Figura 3.25: Asistente para el formateo

3.2 Montaje de equipos y calibración de sensores.

3.2.1 Instalación de los módulos de la serie C de E/S en el chasis

El chasis del NI cRIO-9074 está diseñado para contener 8 módulos, los mismos que son fáciles de empotrar y se colocan según como indica el fabricante.

Siga los siguientes pasos para instalar un módulo E/S en el chasis.

- ✓ Asegúrese de que no esté conectado el módulo E/S a la alimentación.
- ✓ Alinee el módulo I/O con una ranura E/S del módulo en el chasis (Anexo 3).
- ✓ Las ranuras de módulo están etiquetadas del 1 al 8 de izquierda a derecha.
- ✓ Apriete los pestillos e inserte el módulo E/S en la ranura del módulo.
- ✓ Presione firmemente en el lado del conector del módulo I/O hasta que los pestillos de bloqueo del módulo I/O estén en su lugar.



Figura 3.26: Chasis del *NIcRIO-9074* con sus módulos (Montaje NI 9213)

3.2.2 Conexión de la fuente de alimentación de 24VDC en el NI cRIO-9074

Siga los siguientes pasos para conectar la fuente de alimentación en el chasis.

1. Conecte el cable positivo de la fuente de alimentación a la terminal V del conector COMBICON que se encuentra en el cRIO-9074.
2. Conecte el cable negativo de la fuente de alimentación a una de las terminales C del conector COMBICON el cRIO-9074.
3. Instale el conector COMBICON en el panel frontal de la cRIO-9074.

La figura 3.27 indica la conexión de la fuente al chasis.

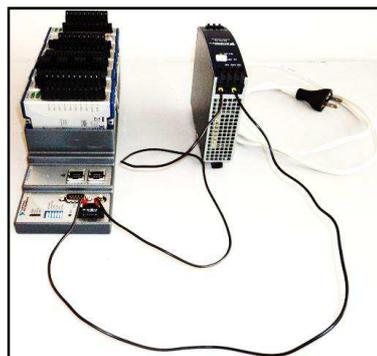


Figura 3.27: Conexión de la fuente de alimentación

3.2.3 Conexión del chasis a una red.

Conecte el chasis a una red Ethernet con puerto RJ-45 Ethernet 1 en el panel frontal del controlador. Utilice un estándar de categoría 5 (CAT-5), o usar un cable cruzado Ethernet para conectar el chasis directamente a un ordenador.

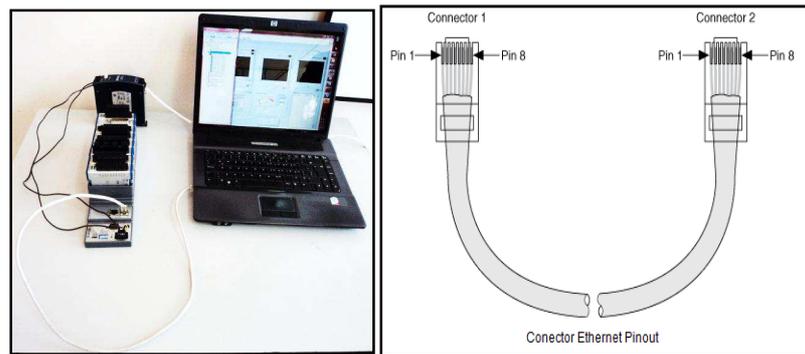


Figura 3.28: Conexión del NI cRIO-9074 al PC

Cuando se aplica energía al cRIO-9074, el controlador ejecuta una prueba de encendido (POST). Durante el POST el Power y LED's de estado se enciende. El LED's de estado se apaga lo que indica que el POST se ha completado.

Un LED's de color verde nos indica el modo en que se está trabajando (*FPGA, STATUS, USER 1*).



Figura 3.29: Indicadores de modo de trabajo

3.2.4 Instalación del sensor

Se puede conectar las señales de entrada de la termocupla al NI 9213 de la siguiente forma: conecte la terminal positiva de la termocupla al término de TC+ y la terminal negativa de la termocupla al TC-.

Para evitar errores, los cables positivo y negativo tienen una marca correspondiente. Todas las conexiones deben estar absolutamente limpias y bien apretadas. Los terminales positivos y negativos correspondientes deben tener el mismo potencial de temperatura.

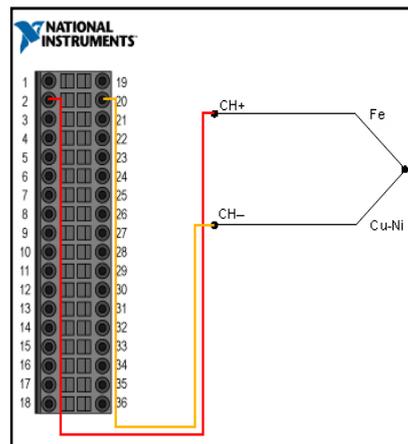


Figura 3.30: Conexión de terminales de una termocupla

3.3 Calibración de equipos y sensores

En primer lugar, se proporciona una definición de calibración como la operación de comparar la salida de un equipo de medida frente a la salida de un patrón de exactitud conocida cuando la misma entrada (magnitud medida) es aplicada a ambos instrumentos. Durante el proceso de calibración el equipo es verificado para un conjunto de puntos representativos de todo su rango de medida.

Consideraciones generales para calibrar.

Ante la necesidad de calibrar un equipo de inspección, medida, o ensayo, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Qué variable física mide el equipo que se desea calibrar.
- Verificar la existencia de procedimientos estándar para calibrar estos equipos de medida.
- Se debe localizar un patrón de trabajo con trazabilidad o material de referencia para poder realizar la calibración.
- Se debe localizar un equipo electrónico que permita llevar a cabo el proceso de medida necesario.
- Si es necesario generar una variable física, se debe disponer de un instrumento o equipo, y la correspondiente instalación, que proporcione con suficiente estabilidad y uniformidad dicha variable. Además este instrumento debe ser regulable en todo el alcance que se precise.

- Todo este proceso y toda esta información debe quedar documentada en el procedimiento de calibración correspondiente a este equipo de medida.

3.4 Calibración del sensor (termocupla)

Antes de utilizar una termocupla debemos saber de qué tipo son, para lo cual se utilizó un indicador de temperatura que es nuestro patrón de medida.



Figura 3.31: Indicador de temperatura

Para identificar qué tipo de termocupla se sigue los siguientes pasos:

- Medir con un multímetro el voltaje que entrega la termocupla.
- Medir la temperatura de ambiente T_a . Ver en una tabla de termocupla que voltaje corresponde a la temperatura.
- Hacer la suma de los dos valores obtenidos $V_{ab}(T) = V + V_{ab}(T_a)$ y ver en la tabla a que temperatura corresponde.
- Se mide en el horno que ese instante alcanza $200\text{ }^\circ\text{C}$ dando una lectura de voltaje de 7.2 mV .
- Si la temperatura de ambiente es de $20\text{ }^\circ\text{C}$, entonces en la tabla esto corresponde a 0.798 mV .
- Luego $V_{ab}(T) = 7.2\text{ mV} + 0.798\text{ mV} = 7.998\text{ mV}$, esto según la tabla corresponde a $196\text{ }^\circ\text{C}$, obteniendo el tipo de termocupla que corresponde al tipo K.



Figura 3.32: Calibración de la termocupla con el indicador de temperatura

Tabla 3.7: INFORMACIÓN DE CALIBRACIÓN PARA TERMOCUPLAS ESTANDAR ISA

Designación de letras según código ANSI	Material conductor	Código de color	Magnético	Rango de temperatura (°F)	Límites de error	
					Están.	Espec.
J	Hierro	+ blanco	Si	32 a 530	±4 °	±2°
	Constantan	-rojo	No	530 a 1400	±3/4 %	±3.8%
K	Cromel	+ amarillo	No	32 a 590	±4 °	±2°
	Alumel	-rojo	Si	590 a 2300	±3/4 %	±3.8%
T	Cobre	+azul	No	-300 a -75	±2%	±1%
	Constantan	-rojo	No	-75 a 200 200 a 700	±1/5 %	±3.8%

3.5 Ensamblaje de los circuitos y accesorios

Para ejecutar el control ON/OFF fue necesario hacer una tarjeta electrónica por las dos siguientes razones:

- Facilitar la activación de las niquelinas ya que estas funcionan a 120V y por ello es necesario que estos aparatos trabajen a bajos voltajes, debido a que NI cRIO-9074 opera con voltajes no mayor a 24V.
- Los circuitos y accesorios que se requirieron en este proyecto fueron para proporcionar una interfaz adecuada entre los módulos NI 9472, NI 9401, NI 9423, NI 9213 y el sistema, para cumplir con las recomendaciones del fabricante.

Se utilizó un transformador de voltaje de 110/220V a 12VAC, 3A, se procedió a rectificar este voltaje mediante un rectificador de onda completa para obtener 12 VDC, el mismo que servirá de alimentación para activar-desactivar el relé que enciende y apaga las niquelinas del horno.

Para la alimentación del ventor se utiliza una batería de 12V, el cual en condiciones normales trabaja a 12V – 7 A.

En la siguiente figura se muestra una vista en 3D del diseño de los circuitos.

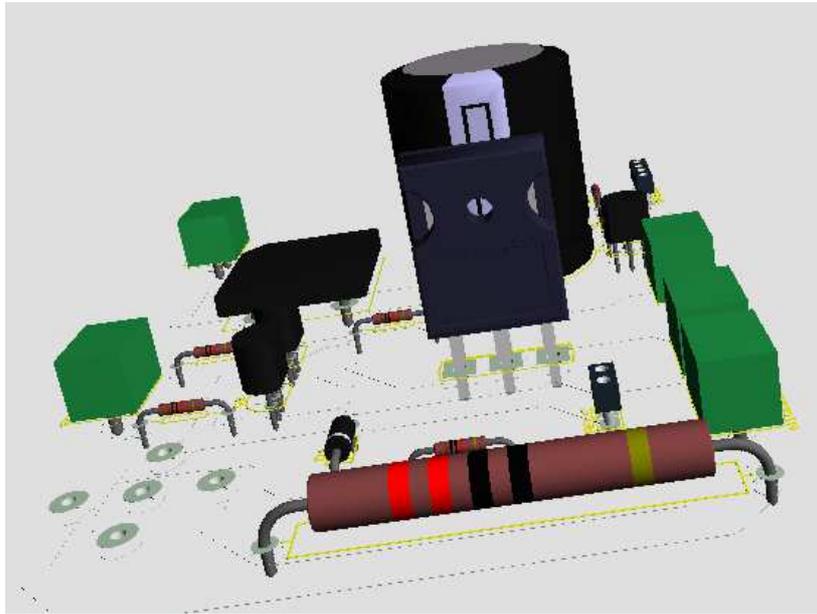


Figura 3.33: Tarjeta electrónica

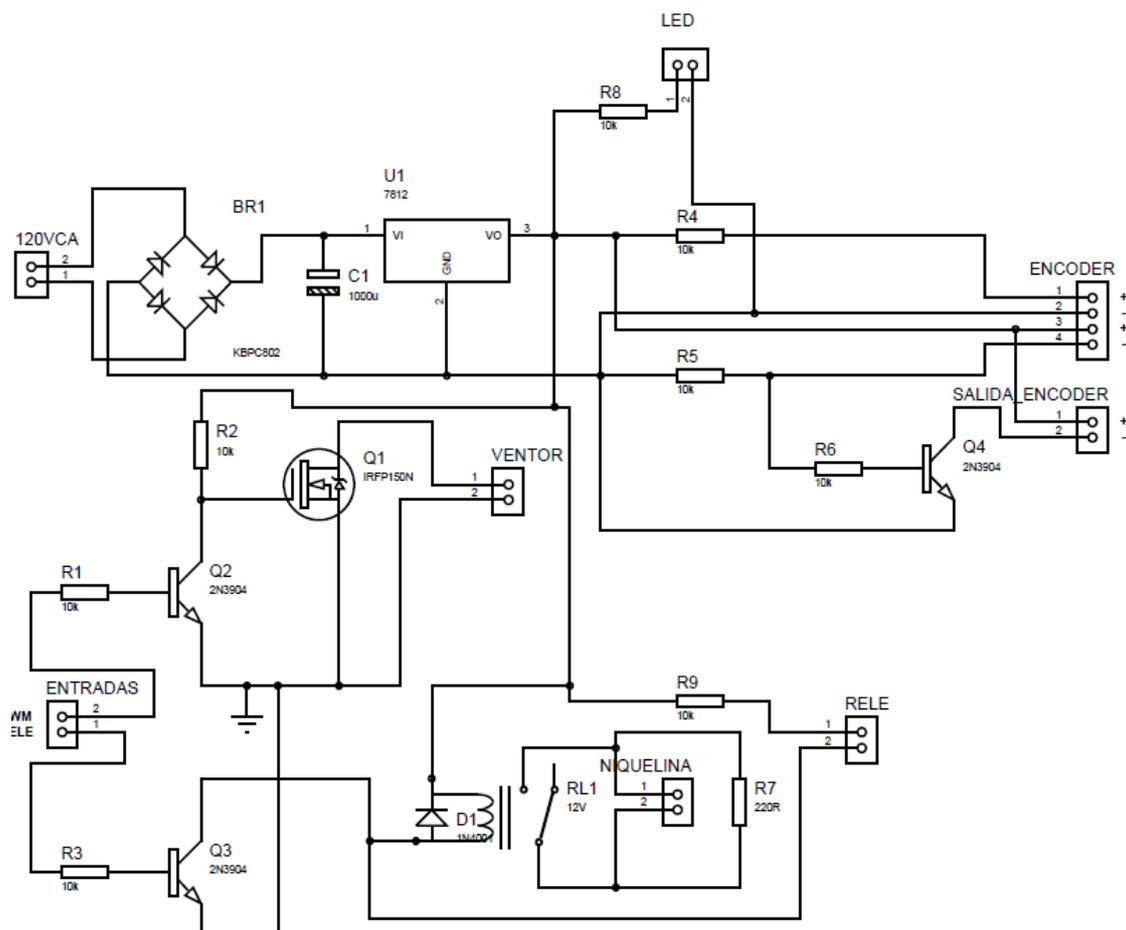


Figura 3.34: Diagrama del circuito electrónico de la tarjeta electrónica

3.6 Elaboración del programa de medición y monitoreo

3.6.1 Consideraciones generales para la implementación del sistema

A continuación se establece algunos puntos a tener en cuenta para el desarrollo del sistema de medición y monitoreo de temperatura.

- El manejo del sistema por el usuario debe ser sencillo. Es decir, de nada sirve desarrollarlo si la persona o las personas que van a operarlo no lo entienden. Este punto indica la necesidad de crear una interfaz amigable. Además, la inclusión de un manual de operación es necesario.
- La temperatura máxima que soporta el horno es de 300 °C, por ello se empleara un sensor los basados en termopares, específicamente los de tipo K son la mejor opción: son económicos con relación a otros, soportan temperaturas altas y son muy comunes.
- Para realizar un registro de la temperatura y la respectiva gráfica, se generara reportes completos y llevar el control del proceso a través de la computadora.

Este proyecto va a contener una pantalla principal, la cual vinculará a las tres prácticas propuestas.

3.6.2 Control ON-OFF

Sistemas Discretos

Las señales que maneja el computador son discretas, por lo tanto se analizará este tipo de señales. Para obtenerlas se comenzará con señales continuas que son más familiares.

Señal de entrada y salida de un proceso. Se convendrá en asignar la señal de entrada a un proceso como “u” (ya sea como $u(t)$ para señal continua ó como $u(k)$ para señal discreta) y la salida como “y” (ya sea como $y(t)$ señal continua ó como $y(k)$ para señal discreta). Para no confundir la señal de entrada con la señal escalón, se señalará explícitamente cuándo corresponda a un escalón.

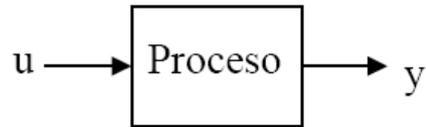


Figura 3.35: Señales de proceso

Concepto práctico de señal discreta: Al hacer pasar una señal continua por un conversor análogo digital y luego seguido por un conversor digital análogo, a la salida se obtiene la señal discretizada que se muestra en la siguiente figura.

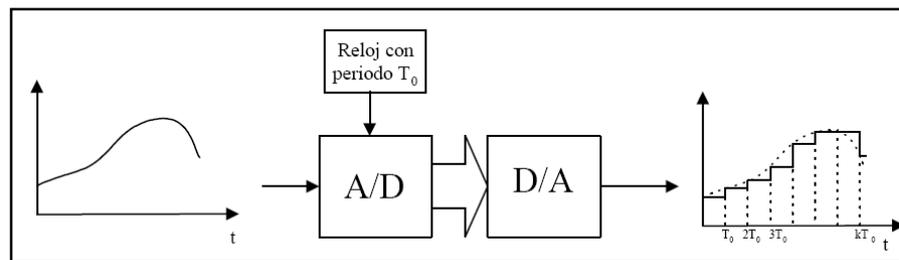


Figura 3.36: Obtención de una señal discreta

El **control ON-OFF**, también llamado todo-nada o abierto-cerrado. Es un control de dos posiciones en el que el elemento final de control sólo ocupa una de las dos posibles posiciones.

Ventajas del controlador ON-OFF

- El control ON-OFF es la forma más simple de controlar.
- El controlador es económico.
- Es comúnmente utilizado en la industria.
- Un controlador ON-OFF es una forma sencilla de implementar un control en realimentación con alta ganancia.
- El sistema es confiable.
- Es fácil de instalar y de ajustar.

Desventajas del controlador ON-OFF

- Hay una oscilación continua
- Si es un controlador ON-OFF con histéresis se producen grandes desviaciones respecto al punto de consigna.

Diseño y programación de la pantalla principal del proyecto con LabVIEW

Panel Frontal

1. Abrimos un VI dentro del proyecto, como indica la figura

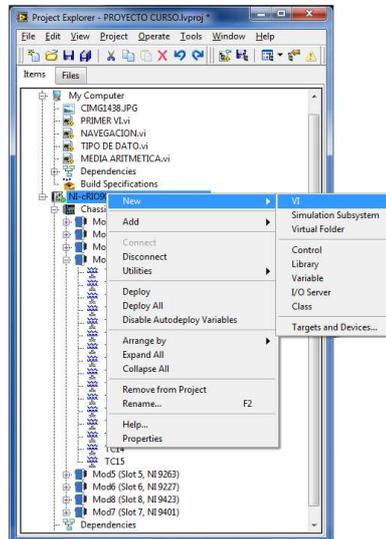


Figura 3.37: VI creado dentro del proyecto

Elaborar el panel frontal de la siguiente figura. En este caso se tiene 3 controles numéricos y 1 control booleano.

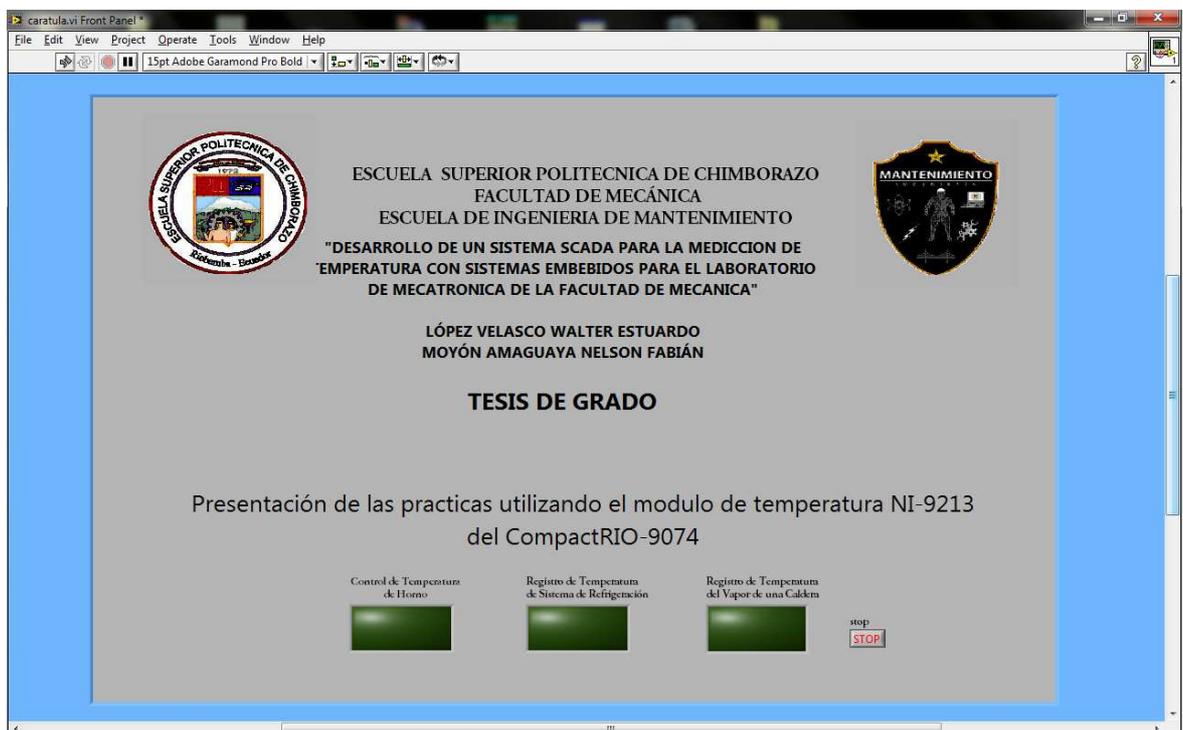


Figura 3.38: Panel frontal de la pantalla principal del proyecto

Se debe dar un clic izquierdo en cada uno de los controles booleanos para que se desplieguen cada una de las prácticas las cuales son:

- Control de temperatura del Horno
- Monitoreo y registro de temperatura del sistema de refrigeración.
- Monitoreo y registro de temperatura del vapor de una caldera.

Se debe presionar conjuntamente las teclas Ctrl + E que nos permite visualizar el diagrama de bloques y viceversa.

Diagrama de bloques

El objetivo es diseñar el diagrama de bloques mostrado en la siguiente figura.

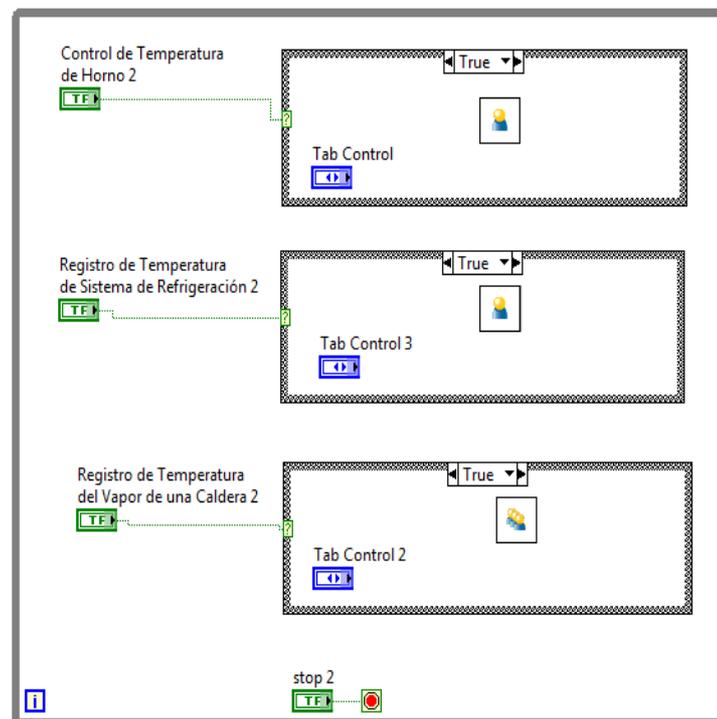
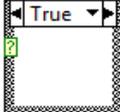


Figura 3.39: Diagrama de bloques de la pantalla principal del proyecto

Tabla 3.8: CONTROLES E INDICADORES NUMÉRICOS DEL PROGRAMA

Panel frontal	Diagrama de bloque	Ubicación de las herramientas
		<p>WhileLoop</p> <p><i>Functions/Structures/WhileLoop</i></p>

		Case Structures <i>Express/Execution Control/Case Structure</i>
Boolean 	Boolean 	Bolean <i>Express/LEDs/Square LED</i>
stop 	stop 	Stop <i>WhileLoop/Create Control</i>
	Tab Control 	Tab Control <i>Modern/Cointarners/Tab Control.</i>

Programación del sub VI: Control ON-OFF de temperatura del Horno

Panel Frontal

1. Abrir un instrumento virtual en blanco desde el proyecto y crear el panel frontal.

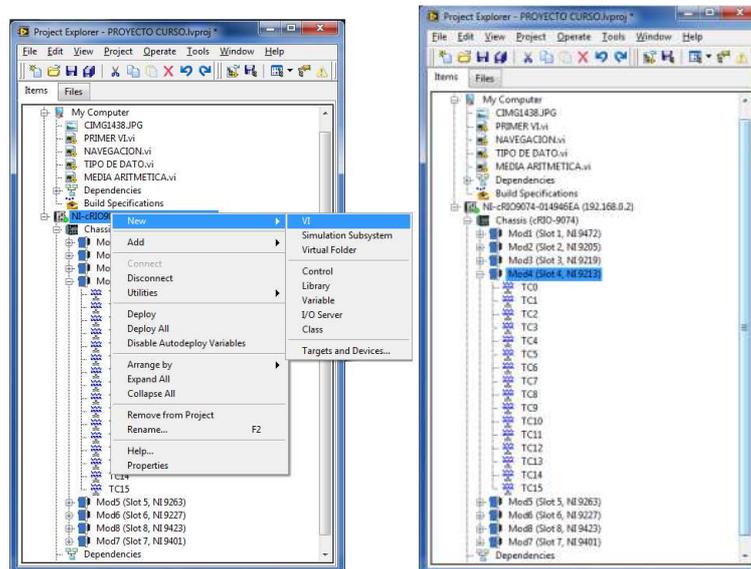


Figura 3.40: VI creado para el control ON/OFF

La siguiente figura muestra el panel frontal creado para el control ON/OFF de temperatura del Horno, mediante el cual se va a controlar, monitorear y adquirir datos de temperatura.

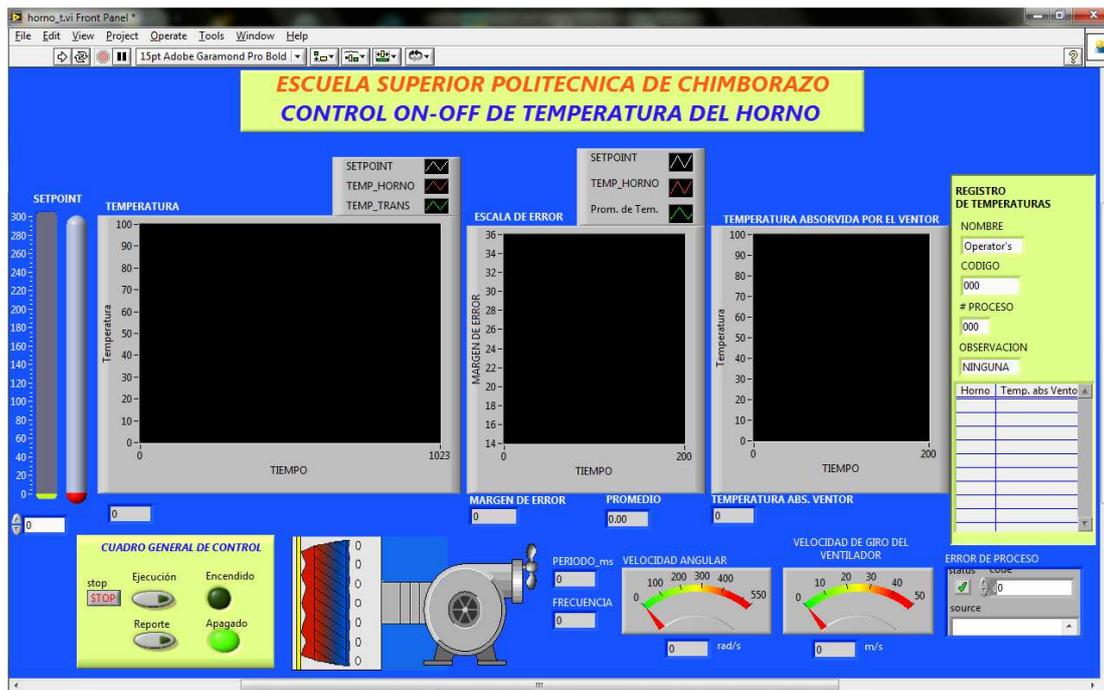


Figura 3.41: Panel frontal de control ON- OFF de temperatura del horno

Diagrama de bloques

La siguiente figura muestra la programación que se realizó para el control ON-OFF de temperatura del horno con su respectiva hoja de reportes en Excel.

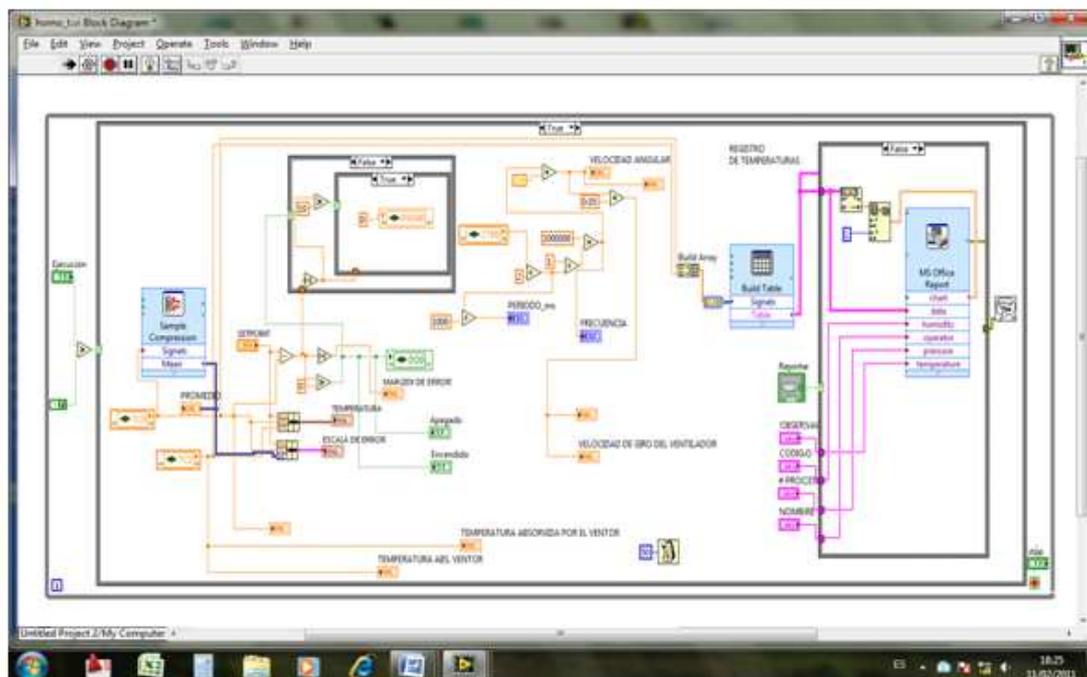
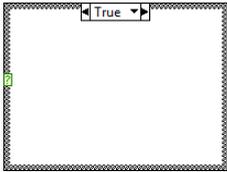
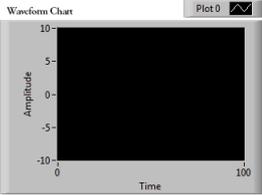
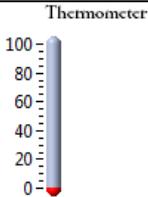
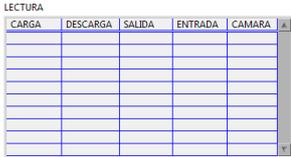
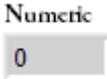
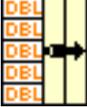
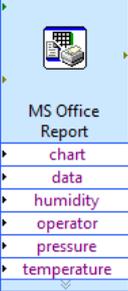
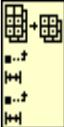


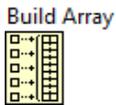
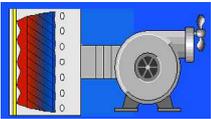
Figura 3.42: Diagrama de bloques del control ON-OFF de temperatura del horno

A continuación se muestra una tabla general que contiene todos los elementos básicos como son los controles e indicadores que se emplea en el trabajo, de elaboración del programa. Cabe mencionar también que en la tabla se encuentran casillas en blanco del Panel frontal ya que estos solo son representaciones graficas utilizadas solo para el diagrama de bloques.

Tabla 3.9: INDICADORES Y CONTROLES DEL CONTROL ON-OFF

Panel frontal	Diagrama de bloques	Descripción y ubicación de las herramientas
		WhileLoop Ejecuta continuamente los diferentes estados. Ubicación Functions/Structures/WhileLoop
		Case Structures Consiste de un caso para cada estado y del código a ejecutar para cada estado. Ubicación Express/Execution Control/ Case Structure
		Waveform Graph La gráfica de forma de onda muestra uno o más gráficos de mediciones igualmente muestreadas. Ubicación Express/Graph Indicators/ Waveform Graph
		Thermometer Es utilizado para mostrar la temperatura y puede ser modificado. Ubicación Controls/Numerec/Thermometer
		Table Es utilizado para mostrar datos y puede ser modificado por el usuario Ubicación Controls/List, Table & Tree/ Table
		Numeric Es utilizado para mostrar datos de algún tipo de función. Ubicación Controls/Numeric/ Numeric Indicator

	<p>Boolean</p> 	<p>Boolean Es utilizado para mostrar estados de una función. Ubicación Controls/Boolean/ Round LED</p>
<p>REPORTE</p> 	<p>REPORTE</p> 	<p>Push Button Es utilizado para los estados de una función. Ubicación Controls/Boolean/ Push Button</p>
		<p>Wait Until Next ms Multiple Controla la velocidad de ejecución Ubicación Programming/Timing/Wait Until Next ms Multiple.</p>
		<p>Bundle Reúne un grupo de funciones para mostrar a un elemento individual Ubicación Functions//Cluster, Class & Variant</p>
		<p>MS Office Report Permite configurar informes Word y Excel utilizando plantillas. Puede utilizar plantillas básicas que la guía incluye la generación de informes Ubicación Functions/Express/Output/MS Office Report</p>
		<p>Fract/Exp String to Number Function Interpreta los caracteres del 0 al 9, más, menos e, E, y el punto decimal. Ubicación Functions/Programming/Fract/Exp String to Number Function</p>
		<p>Array Subset Function Devuelve una parte de la matriz, comenzando en el índice y que contiene elementos de longitud. Ubicación Functions/Programming/Array Subset</p>

		<p>Build Array Function</p> <p>Concatena múltiples matrices o añade elementos a una matriz n-dimensional.</p> <p>Ubicación</p> <p>Functions/Programming/Build Array</p>
		<p>NI-cRIO9074-014946EA/ Chasis/ Modulo 9213/ TC0+, TC0-</p>
		<p>NI-cRIO9074-014946EA/ Chasis/ Modulo 9423/CTR0</p>
		<p>NI-cRIO9074-014946EA/ Chasis/ Modulo 9401/ PWM</p>
		<p>NI-cRIO9074-014946EA/ Chasis/ Modulo 9423/DI0-COM</p>
		<p>Image Navigator</p> <p>Herramientas gráficas</p> <p>Ubicación</p> <p>Tools/ DSC Module Image Navigator</p>

3.7 Medición y monitoreo

Con LabVIEW es posible hacer un interfaz amigable para el usuario cuyo objetivo del programa por PC es mostrar gráficamente el comportamiento de la temperatura y hacer un registro de la misma. Esto viene de la necesidad del usuario por conocer la forma en cómo se está comportando dicha variable.

Las funciones que debe realizar son primeramente, la conexión de la computadora con el cRIO-9074, pues éste funge como unidad de adquisición de datos.

También debe capturar los parámetros iniciales de temperatura objetivo, obtener a intervalos específicos la lectura desde el termopar, la conmutación del relé, el despliegue de la temperatura interna actual del horno y la exposición gráfica de la curva que genera la relación temperatura-tiempo.

Por ello, los elementos que debe contar son indicadores digitales (para la temperatura), indicadores gráficos (para la curva temperatura, la escala de error y la temperatura absorbida por el ventor todas en función del tiempo), también se incluye un MS Office Report para la introducción de datos iniciales por el usuario e indicadores de texto para mostrar el historial de la temperatura. Al último pero no menos importante, un botón de paro de la temperatura.

Ahora, la forma en cómo se van a disponer los elementos visuales debe ser tal que el usuario tenga en una sola pantalla todos los indicadores necesarios para saber qué temperatura está registrándose en el interior del horno, pero deben estar estratégicamente distribuidos para evitar que se pierda interés en la interfaz.

Con el monitoreo se podrá analizar el comportamiento de las temperaturas, para extraer conclusiones que permitirá optimizar y aumentar la calidad en los procesos en tiempo real.

Para realizar mediciones de temperatura precisa y confiable, se requiere acondicionamiento de señales. Para diseñar el sistema de medidas adecuado para el sensor de temperatura, debe considerar amplificación, aislamiento, precisión, resolución y compensación de junta fría.

En este trabajo se realizaron algunas mediciones de temperatura en el horno mediante el control ON-OFF, éste control tiene dos salidas que son para máxima apertura y para mínima apertura. Para este sistema se ha determinado que cuando la medición cae debajo del valor seteado, el relé debe cerrarse permitiendo que las niquelinas nuevamente se activen, para que en el interior del horno empiece a elevar la temperatura hasta el punto deseado, esta temperatura será sensada por la termocupla la cual generara un diferencial de potencial que luego es acondicionada (analógica a digital) por el módulo NI 9213, permitiendo medir la variable ya acondicionada que será presentada en la interfaz para luego ser interpretada por el usuario.

3.8 Generación de hojas de reportes de temperatura

En todo proceso industrial es muy elemental la generación de hojas de reportes de datos del sistema pues permiten obtener información útil que será observada en el

historial de variables medidas, permitirá construir sus gráficas respectivas y realizar un análisis de la información recolectada.

En el panel frontal encontraremos un cuadro general de control en él hallaremos un Push Button con nombre de Reporte que nos permite generar la hoja de reporte en Excel. El guardado del registro de las mediciones de temperatura será a base de archivos, si la operación concluye sin complicaciones, entonces es necesario guardar los datos.

Es pertinente que el programa proponga un nombre al archivo basándose en la fecha de medición. Otro aspecto deseable en el programa es tener la posibilidad de imprimir la gráfica, de hecho, sería mejor que inmediatamente después de guardar los datos en el archivo se le pregunte al usuario si desea imprimir la gráfica.



Figura 3.43: Hoja de reportes en excel de la temperatura del horno

3.9 Prueba de funcionamiento

Antes de cualquier aplicación es necesario realizar pruebas con el fin de observar si todos sus componentes y/o elementos se encuentran en buen estado de funcionamiento y así poder obtener correctamente los datos de los sensores.

Para realizar las pruebas del control discreto de temperatura fue necesario elaborar una maqueta el cual consta de un horno pequeño, ventor, batería de 12 V. Conectamos el CompactRIO a la PC y desde *my computer* añadimos el programa de control y

adquisición de datos que se elaboró en LabVIEW. Para ejecutar el control de la temperatura del horno primeramente el setpoint deberá estar calibrado o regulado a la temperatura que se desea controlar puede ser desde 0 °C a 300 °C.

Para activar las niquelinas del horno hay que hacer clic en el botón ejecución del panel frontal del programa. Al hacer clic en ejecución se cierra el contacto del relé permitiendo que las niquelinas empiecen a calentarse y elevar su temperatura. Digamos que en el setpoint se ubicó a 130 °C entonces las niquelinas tendrán que llegar a esa temperatura para que en ese punto el ventor entra en funcionamiento y las niquelinas se apaguen. La función del ventor es absorber el exceso de temperatura esto es cuando la temperatura deseada es mayor a la sensada (efecto de la inercia térmica).

En el panel frontal hay un indicador que nos muestran el margen de error de temperatura del horno y el setpoint (*diferencia que existe entre el valor instantáneo de la variable y el indicado por el instrumento*), ejemplo: $78,885\text{ °C} - 78\text{ °C} = 0.885\%$ Margen de error.

3.9.1 Prueba con los módulos para el control ON-OFF

Como ya se dijo anteriormente para el presente trabajo se utiliza los módulos: NI 9472, NI 9401, NI 9423, NI 9213, para el control ON-OFF del horno, que durante las pruebas deben ejecutar las funciones ya establecidas en la elaboración del programa.

- Para el control de encendido y apagado de las niquelinas del horno se empleó un relé de auto de 12V - 30 A, el cual va conectado al módulo NI 9472 que tiene canales de salidas digitales (DO).
- Para la activación del ventor se utilizó los módulos NI 9472 y el NI 9401 este último módulo es bidireccional con una alimentación interna de 5V, tiene entradas y salidas digitales, los cuales nos permiten activar el ventor para absorber el calor interno del horno.
- Para la activación del encoder se utilizó el módulo NI 9423 de entradas digitales que nos permite registrar la velocidad de salida del aire que el ventor absorbe del interior del horno.

- Para la medición de temperatura se utilizó el módulo NI 9213 sobre el cual se conectó una termocupla tipo K, que se encuentra en el interior del horno, este módulo convierte la señal analógica a digital.

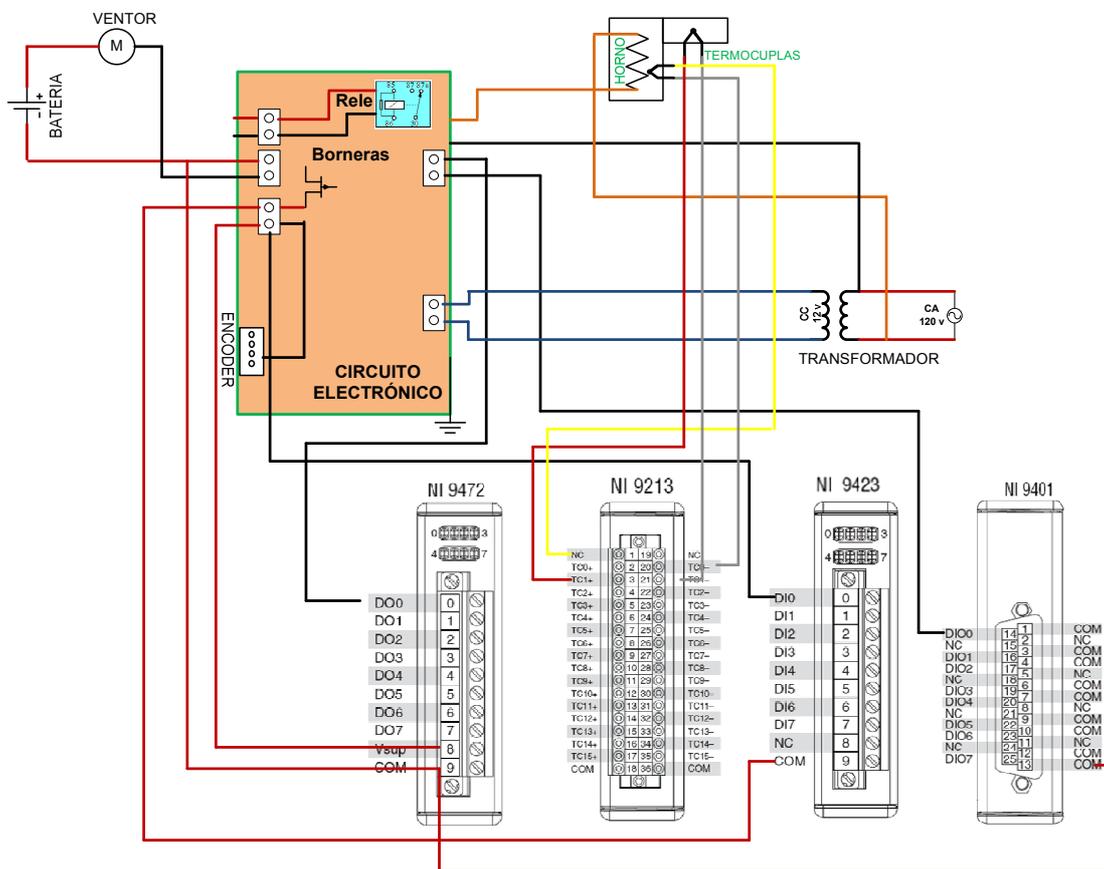


Figura 3.44: Conexión de los módulos para el control ON-OFF con la tarjeta

Tabla 3.10: CONEXIONES DEL SISTEMA DE CONTROL ON-OFF DEL HORNO

	Módulos NI										
	9472			9213				9423		9401	
	Vsup	COM	DO0	TC0+	TC0-	TC1+	TC1-	DI0	COM	DIO1	COM
Termocupla K- Horno				X	X						
Termocupla K- Trans.						X	X				
Niquelinas	X		X							X	
Ventor		X									X
Encoder								X	X		
OBSERVACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede conectar termocuplas en las diferentes ranuras del módulo NI 9213 y configurar el módulo de acuerdo al tipo de termocupla a instalar. • En los módulos NI 9472, NI 9423 y NI 9401 se puede conectar en cualquiera de sus ranuras teniendo siempre en cuenta los puntos comunes. 										

4. Antes de proceder a ejecutar el programa también se verificar en el cuadro general de control que el botón de ejecución se encuentre apagado y el botón de reporte encendido.
5. En el panel frontal nos ubicamos en el indicador del setpoint y escribimos la temperatura a controlar en este caso 78 °C.
6. En la barra de herramientas nos ubicamos en *run* para que se ejecute el programa y luego clic sobre el botón ejecución para el encendido de las niquelinas.
7. El encendido de las niquelinas dura hasta que llegue al valor que se fijó en el setpoint es decir hasta los 78 °C y se desactivan, enseguida el ventor se activa para absorber el calor producida por las niquelinas y eliminar la inercia térmica, permitiendo que en el interior del horno se encuentre a la temperatura deseada.

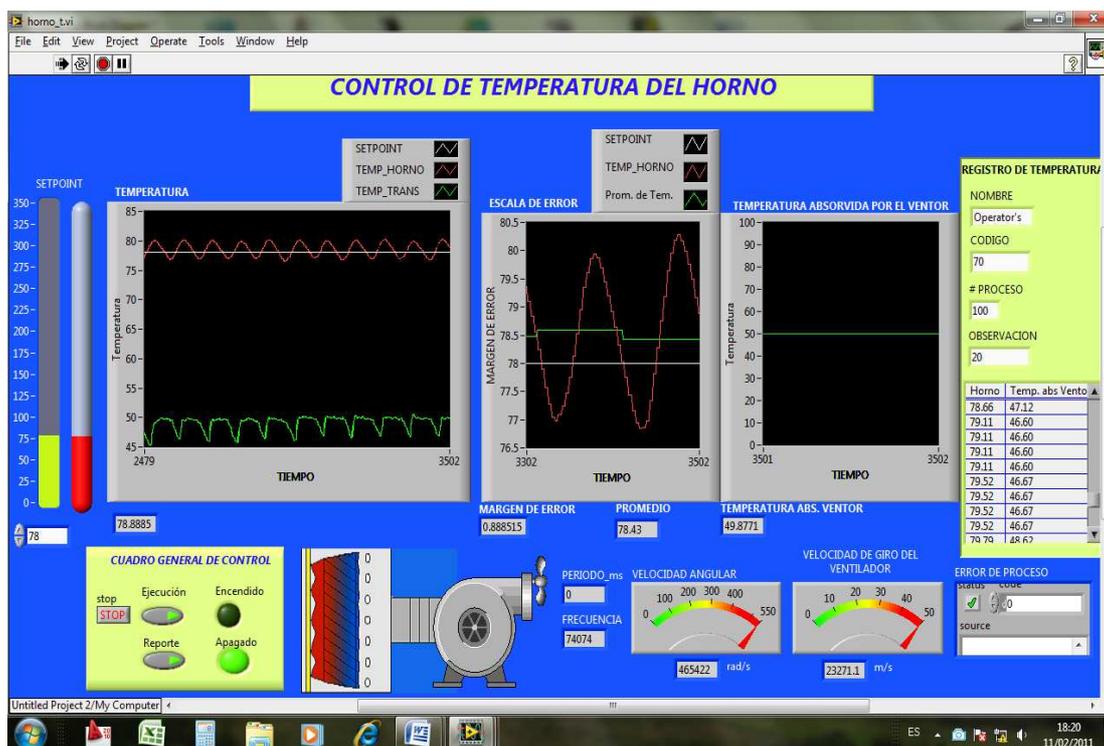


Figura 3.47: Diagrama del VI's del apagado de las niquelinas

8. Por medio del control ON-OFF se trata de estabilizar la temperatura a los 78 °C, es decir que las niquelinas y ventor van estar continuamente activándose y desactivándose.

9. Procedemos a observar en el panel frontal las gráficas de temperatura, escala de error y absorbida por el ventor al igual que el registro de temperatura para realizar las evaluación respectiva del control.

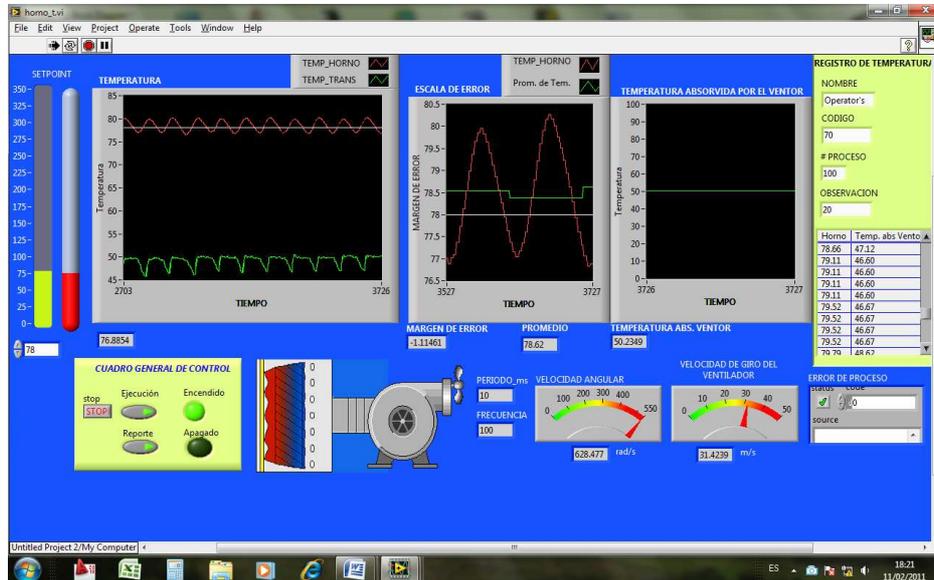


Figura 3.48: Evaluación de las gráficas de las mediciones de temperatura

10. En el cuadro general de control hacer clic en Reportes para generar una hoja en Excel que nos mostrara las lecturas de temperatura registradas por el sistema de control ON-OFF.

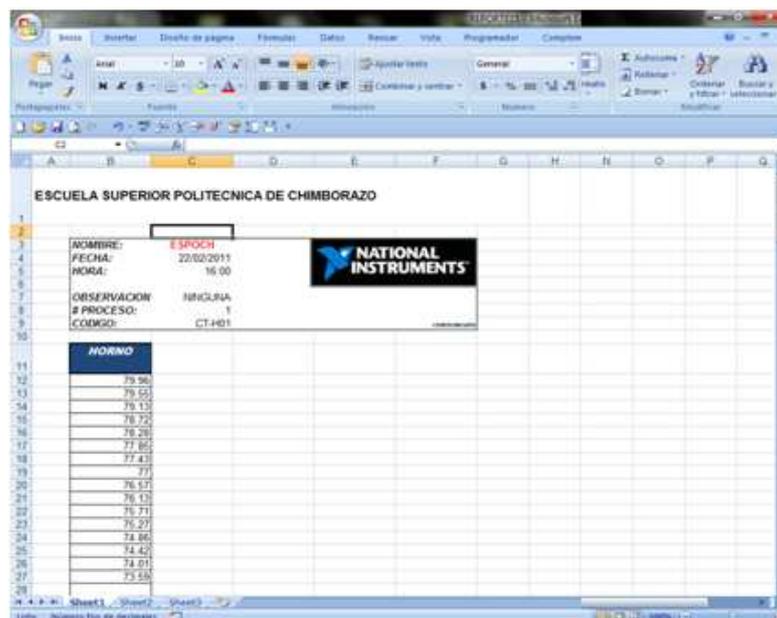


Figura 3.49: Hoja de reportes en excel

3.10 Mantenimiento y normas de seguridad de los equipos

Gran parte de los problemas que se presentan en los sistemas se pueden evitar o prevenir si se realiza un mantenimiento periódico de cada uno de sus componentes.

El CompactRIO es un equipo robusto que no necesita de mucho mantenimiento debido a que está diseñado para trabajar en condiciones ambientales extremas.

Pero como todo equipo debe someterse a mantenimiento para prolongar su vida útil este debe tener los siguientes tipos de mantenimiento.

Mantenimiento de USO.- Este lo realiza el estudiante para mantener el equipo limpio y en buenas condiciones las borneras, tornillos de ajustes y entradas de red. Además de quitar los módulos para ver en qué condiciones se encuentran y limpiarlos.

El mantenimiento y seguridad del compact Ni cRio se basa en las siguientes normas:

Normas de Seguridad

El CompactRIO está diseñado para satisfacer los requisitos de las siguientes normas de seguridad para equipos eléctricos de medida, control y uso en el laboratorio:

- **IEC 61010-1, EN 61010-1**
- **IEC 61010-1, CSA 61010-1**

Estas normas internacionales son de carácter general para la seguridad en la medida, control y uso de equipos eléctricos. Y especifican categorías de sobretensión basadas en la distancia a la que se encuentra el equipo de la fuente de electricidad y en la disipación natural de la energía transitoria que se produce en un sistema de distribución eléctrica. Las categorías más altas son las más cercanas a la fuente de electricidad y requiere protección.

CAPÍTULO IV

4 GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

4.1 Elaboración de guía de prácticas

La presente guía de práctica sobre el uso y funcionamiento del equipo CompactRIO de la NI, se escribió con el fin de apoyar el proceso de aprendizaje de los estudiantes en lo que corresponde al control, monitoreo y adquisición de datos (SCADA) de temperatura, para lo cual se realizaron las siguientes prácticas:

1. Monitoreo y adquisición de datos de temperatura del vapor de un caldero.
2. Monitoreo y adquisición de datos de temperatura de un sistema de refrigeración del Laboratorio de Térmicas de la Facultad de Mecánica.
3. Control y adquisición de datos de temperatura de un horno.



Figura 4.1: Equipos empleados en las prácticas

PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 1

TEMA: CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA DE UN HORNO

OBJETIVO GENERAL.

- Controlar y adquirir datos de temperatura de un horno.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer sobre el control ON-OFF o discreto de temperatura empleado en el horno.
- Realizar el monitoreo de la temperatura del horno.
- Generar hojas de reportes de temperatura.

MARCO TEÓRICO

El *control ON-OFF*, también llamado todo-nada o abierto-cerrado. Es un control de dos posiciones en el que el elemento final de control sólo ocupa una de las dos posibles posiciones.

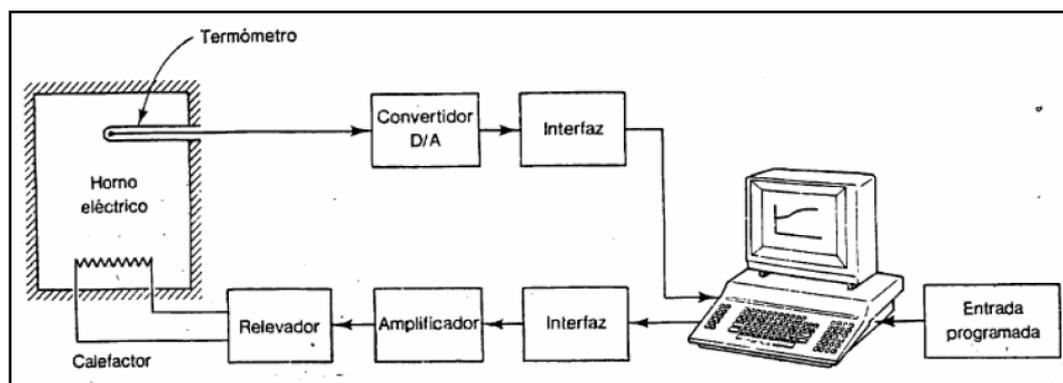


Figura 4.2: Diagrama de cómo actúa un control ON-OFF

Señales Discretas y Analógicas

Las señales que se manejan en los sistemas de control y en la instrumentación se dividen en dos grandes categorías:

- Señales discretas.
- Señales análogas o analógicas.

Las señales discretas están relacionadas con las señales digitales, que manejan dos estados definidos que son el "0" y "1": 0 = OFF y 1 = ON (0 = 0V. y 1 = 5V. para TTL C.I.), estas señales son procesadas por los computadores PC, microprocesadores μ P, microcontroladores μ C, Controladores lógicos programables PLCs o cualquier otro sistema inteligente que maneje señales digitales.

Las señales analógicas se relacionan con el manejo de señales eléctricas de 4 a 20mA y señales neumáticas de 3 a 15 psi, las cuales son estándar de la industria.

Concepto práctico de señal discreta Al hacer pasar una señal continua por un conversor análogo digital y luego seguido por un conversor digital análogo, a la salida se obtiene la señal.

Instrumentos discretos

Se definen como instrumentos discretos como aquellos que trabajan con solamente dos estados: encendido/apagado, ON-OFF, 1 y 0.

Sensores discretos.- Los sensores discretos son aquellos que trabajan solamente en dos estados: encendido o apagado (1 o 0 en términos lógicos).

Los valores eléctricos que pueden tomar las señales discretas son:

0	1
0	110 V.a.c.
0	220 V.a.c.
0	24 V.d.c.
0	5 V.d.c. (TTL)
-12	+12 V.d.c. (CMOS)

Figura 4.3: Valores eléctricos para señales discretas

En la actualidad los más utilizados en la industria con relación a la instrumentación son los tres primeros (110, 220 V.a.c. y 24 V.d.c.).

Ejemplos de sensores discretos de entrada y salida son:

Pulsadores NC y NA

Limit Switches (interruptores):

Mecánicos

Inductivos

Capacitivos

Switches de presión (presostatos)

Switches de temperatura. (Termostatos)

Actuadores discretos

Ejemplos de los actuadores discretos son:

Indicadores

Válvulas ON-OFF de diferentes tipos:

Solenoides (electromagnéticas).

Eléctricas.

Hidráulicas.

Neumáticas.

Contactores y relés.

Cilindros hidráulicos y neumáticos.

EQUIPOS Y MATERIALES

- Controlador Integrado en Tiempo Real NI cRIO-9074.
- Fuente de alimentación NI PS-15 de 5A, 24VDC.
- Módulo NI 9213.
- Termocuplas tipo K.
- Destornillador
- Cortapicos
- Cable de conexión a red

PROCEDIMIENTO

1. Conectamos el NI cRIO-9074 a la PC.
2. Instalamos las dos termocuplas tipo K al módulo NI-9213
3. Conectamos el módulo NI 9472 de salidas digitales para el control del encendido y apagado de las niquelinas del horno.

4. Conectamos los módulos NI 9472 y el NI 9401 para la activación del ventor.
5. Conectamos el módulo NI 9423 para la activación del encoder que nos permite registrar la velocidad de salida del aire que el ventor absorbe del interior del horno.
6. Activamos el NI cRIO-9074 para reconocer los módulos
7. Abrir el programa desde *my computer* que se realizó en LabVIEW para el monitoreo y adquisición de datos.
8. En *Project Explorer* hacemos clic derecho en *Mod4 (Slot4, NI9213)* y seleccionamos propiedades para cambiar el tipo de termocupla a emplear, la tipo K. En la misma ventana nos ubicamos en *Conversion Time* y se puede seleccionar entre *High Resolution* o *High Speed*.
9. En *Project Explorer* hacemos clic derecho en *Mod4 (Slot4, NI9472)* y seleccionamos propiedades para cambiar el tipo de termocupla a emplear, la tipo K. En la misma ventana nos ubicamos en *Conversion Time* y se puede seleccionar entre *High Resolution* o *High Speed*.
10. En *Project Explorer* hacemos clic derecho en *Mod4 (Slot4, NI9423)* y seleccionamos propiedades para cambiar el tipo de termocupla a emplear, la tipo K. En la misma ventana nos ubicamos en *Conversion Time* y se puede seleccionar entre *High Resolution* o *High Speed*.
11. Proceder a correr el programa de supervisión, control y adquisición de datos.
12. Generar una hoja de reportes de temperatura en Excel.

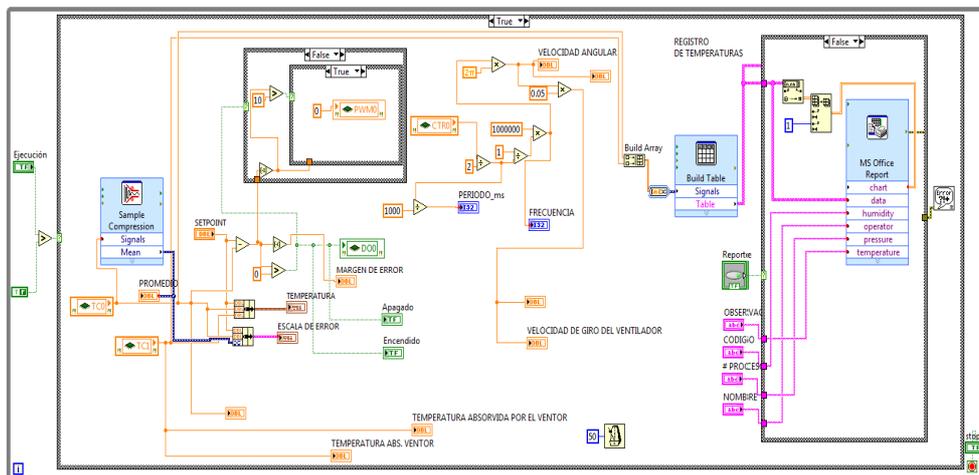
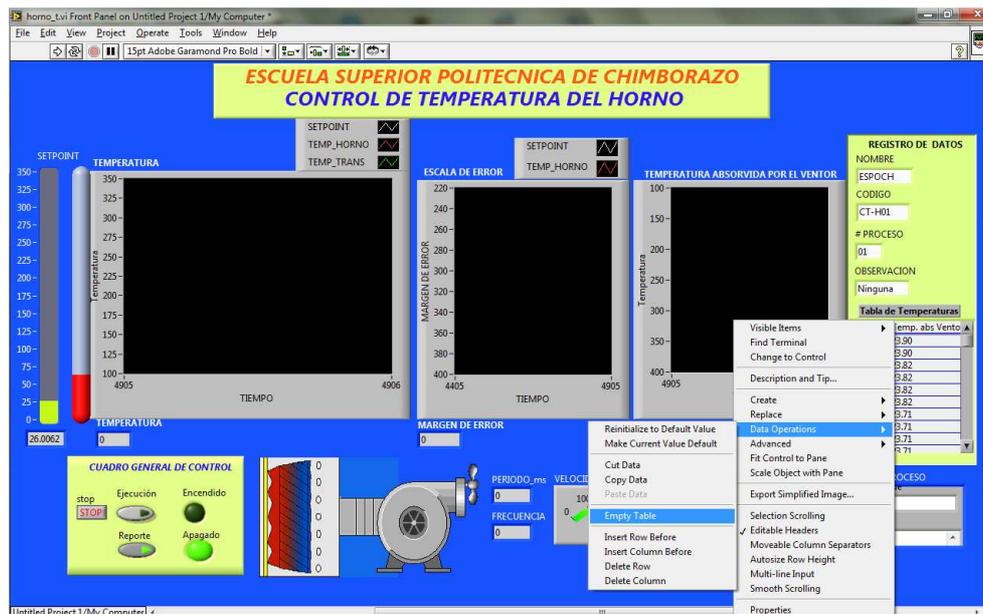


Figura 4.4: Diagramas del VI's de la práctica del horno

CONCLUSIONES

- Se pudo conocer que las señales discretas están relacionadas con las señales digitales, que manejan dos estados definidos que son el "0" y "1": 0 = OFF y 1 = ON
- En el monitoreo del horno se pudo observar que existía un rango de error del 1% de la temperatura deseada con respecto a la temperatura generada por el horno debido a la existencia de la inercia térmica

- Con la ayuda del ventor se puede lograr absorber rápidamente el aire del interior del horno y así enfriar las niquelinas en segundos.
- El encoder ayuda a medir la velocidad del aire que sale por el ventor. La cuantificación de la velocidad se puede apreciar en el panel frontal de LabVIEW
- Con ayuda de LabVIEW se pudo crear una hoja de reportes en Excel en el cual nos indica las temperaturas en grados centígrados.

RECOMENDACIONES

- Utilizar la herramienta adecuada para abrir los canales del NI 9213 caso contrario se dañaran los canales.
- Se debe tomar muy en cuenta el tipo de termocupla que se quiere instalar en el módulo NI 9213, caso contrario las lecturas de temperatura serán totalmente inexactas.
- Si el módulo NI 9213 es cambiado de posición en el chasis, es recomendable enviarle primeramente al modo FPGA para posteriormente enviar al modo SCAN.
- Observar que el cableado en el diagrama de bloques de LabVIEW este correctamente realizado.

PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 2

TEMA: MONITOREO Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA DEL VAPOR DE UN CALDERO

OBJETIVO GENERAL.

- Monitorear y adquirir datos de temperatura del vapor de un caldero con el equipo CompactRIO-9074.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer sobre la generación del vapor en un caldero.
- Realizar el monitoreo de la temperatura del vapor de un caldero.
- Generar hojas de reportes de temperatura del vapor de un caldero.

MARCO TEÓRICO

Caldera de Vapor

Las Calderas o Generadores de vapor son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria.

El calor necesario para caldear y vaporizar el agua puede ser suministrado por gases calientes recuperados a la salida de otro aparato industrial por ejemplo hornos. Cuando el calor es suministrado por el líquido caliente o por vapor que se condensa, se suelen emplear otras denominaciones, tales como vaporizador y transformador de vapor. El sinónimo generador de vapor se emplea de preferencia cuando se habla de calderas de una cierta importancia.

Proceso de Vaporización

El vapor o el agua caliente se producen mediante la transferencia de calor del proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando, de esta manera, su presión y su temperatura.

Debido a estas altas presiones y temperaturas se desprende que el recipiente contenedor o recipiente de presión debe diseñarse de forma tal que se logren los límites de diseño deseado, con un factor de seguridad razonable.

Por lo general, en las calderas pequeñas empleadas para la calefacción doméstica, la presión máxima de operación es de 104000 N/m². En el caso del agua caliente, esta es igual a 232 °C (450 °F).

Las calderas grandes se diseñan para diferentes presiones y temperaturas, con base en la aplicación dentro del ciclo del calor para la cual se diseña la unidad.



Figura 4.5: Cámara de acumulación de vapor

EQUIPOS Y MATERIALES

- Controlador Integrado en Tiempo Real NI cRIO-9074
- Fuente de alimentación NI PS-15 de 5A, 24VDC
- Módulo NI 9213.
- Termocupla tipo K
- Destornillador
- Cortapicos
- Cable de conexión a red RJ-45

PROCEDIMIENTO

1. Conectamos el NI cRIO-9074 a la PC.
2. Instalamos la termocupla tipo K al módulo NI-9213, esto es: la terminal positiva de la termocupla al TC0+ del módulo y terminal negativa de la misma al TC0- del módulo.
3. Activamos el NI cRIO-9074 para reconocer los módulos.
4. Abrir el programa desde *my computer* que se realizó en LabVIEW para el monitoreo y adquisición de datos.
5. En *Project Explorer* hacemos clic derecho en *Mod4 (Slot4, NI 9213)* y seleccionamos propiedades para cambiar el tipo de termocupla a emplear, la tipo K. En la misma ventana nos ubicamos en *Conversion Time* y se puede seleccionar entre *High Resolution* o *High Speed*.
6. Proceder a correr el programa de supervisión, control y adquisición de datos.
7. Generar una hoja de reportes de temperatura en Excel.

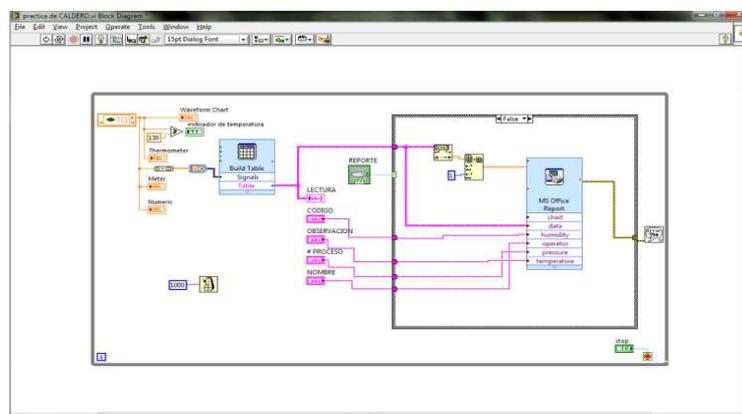
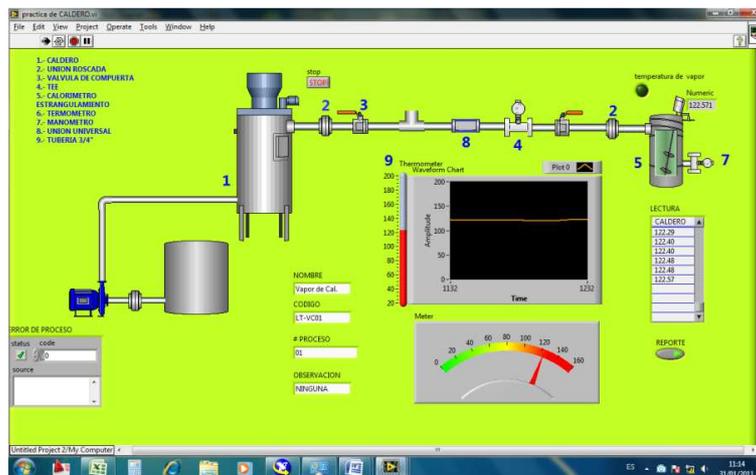


Figura 4.6: Diagramas del VI's de la práctica del caldero

CONCLUSIONES

- Se pudo conocer que el vapor se produce mediante la transferencia de calor del proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando, de esta manera, su presión y su temperatura.
- En el monitoreo del vapor se observó que la gráfica de temperatura era diferente a medida que la presión se iba incrementando.
- Con ayuda de LabVIEW se pudo crear una hoja de reportes en Excel en el cual nos indicará las temperaturas en grados centígrados registrados durante todo el tiempo de funcionamiento de la caldera.

RECOMENDACIONES

- Utilizar la herramienta adecuada para abrir los canales del NI 9213 caso contrario se dañaran los canales.
- Se debe tomar muy en cuenta el tipo de termocupla que se quiere instalar en el módulo NI 9213, caso contrario las lecturas de temperatura serán totalmente inexactas.
- Si el módulo NI 9213 es cambiado de posición en el chasis, es recomendable enviarle primeramente al modo FPGA para posteriormente enviar al modo SCAN.
- Observar que el cableado del diagrama de bloques de LabVIEW este correctamente realizado.

PRÁCTICA DE LABORATORIO N° 3

TEMA: MONITOREO Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

OBJETIVO GENERAL.

- Monitorear y adquirir datos de temperatura en un sistema de refrigeración

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer el funcionamiento de un sistema de refrigeración.
- Realizar el monitoreo de la temperatura del lado de carga y descarga del evaporador y condensador del sistema de refrigeración.
- Efectuar el monitoreo de la temperatura en la cámara de congelación del sistema de refrigeración.
- Generar hojas de reportes de temperatura del sistema de refrigeración.

MARCO TEÓRICO

El sistema convencional de refrigeración y el más utilizado en el aire acondicionado, es el sistema de refrigeración por compresión. Mediante energía mecánica se comprime un gas refrigerante. Al condensar, este gas emite el calor latente que antes, al evaporarse, había absorbido el mismo refrigerante a un nivel de temperatura inferior.

Para mantener este ciclo se emplea energía mecánica, generalmente mediante energía eléctrica. Dependiendo de los costos de la electricidad, este proceso de refrigeración es muy costoso. Por otro lado, tomando en cuenta la eficiencia de las plantas termoeléctricas, solamente una tercera parte de la energía primaria es utilizada en el proceso.

Además, los refrigerantes empleados hoy en día pertenecen al grupo de los fluoroclorocarbonos, que por un lado dañan la capa de ozono y por otro lado contribuyen al efecto invernadero.

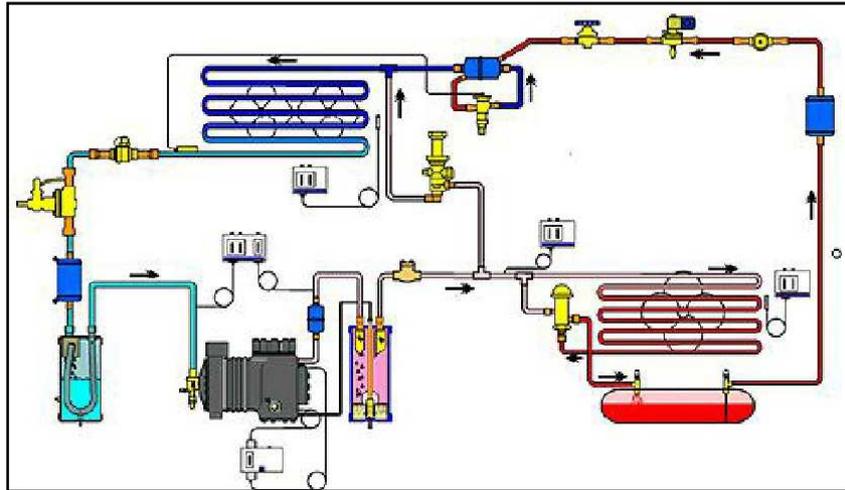


Figura 4.7: Diagrama del ciclo de refrigeración

Un ciclo de refrigeración comprende de cuatro procesos fundamentales:

1. La regulación
2. La evaporación
3. La compresión
4. La condensación

1. La regulación

El ciclo de regulación ocurre entre el condensador y el evaporador, en efecto, el refrigerante líquido entra en el condensador a alta presión y a alta temperatura, y se dirige al evaporador a través del regulador, también conocido como tubo capilar.

La presión del líquido se reduce a la presión de evaporación cuando el líquido cruza el regulador, entonces la temperatura de saturación del refrigerante entra en el evaporador y será en este lugar donde se enfría. Una parte del líquido se evapora cuando cruza el regulador con el objetivo de bajar la temperatura del refrigerante a la temperatura de evaporación.

2. La evaporación

En el evaporador, el líquido se vaporiza a presión y temperatura constantes gracias al calor latente suministrado por el refrigerante que cruza el espacio del evaporador. Todo el refrigerante se vaporizada completamente en el evaporador, y se recalienta al

final del evaporador. Aunque la temperatura del vapor aumenta un poco al final del evaporador debido al sobrecalentamiento, la presión se mantiene constante.

Aunque el vapor absorbe el calor del aire alrededor de la línea de aspiración, aumentando su temperatura y disminuyendo ligeramente su presión debido a las pérdidas de cargas a consecuencia de la fricción en la línea de aspiración.

3. La compresión

Por la acción del compresor, el vapor resultante de la evaporación es aspirado por el evaporador por la línea de aspiración hasta la entrada del compresor. En el compresor, la presión y la temperatura del vapor aumenta considerablemente gracias a la compresión, entonces el vapor a alta temperatura y alta presión es devuelto por la línea de expulsión.

4. La condensación

El vapor atraviesa la línea de descarga hacia el condensador donde libera el calor hacia el aire exterior. Una vez que el vapor ha prescindido de su calor adicional, su temperatura se reduce a su nueva temperatura de saturación que corresponde a su nueva presión. En la liberación de su calor, el vapor se condensa completamente y entonces es enfriado. El líquido enfriado llega al regulador y está listo para un nuevo ciclo.



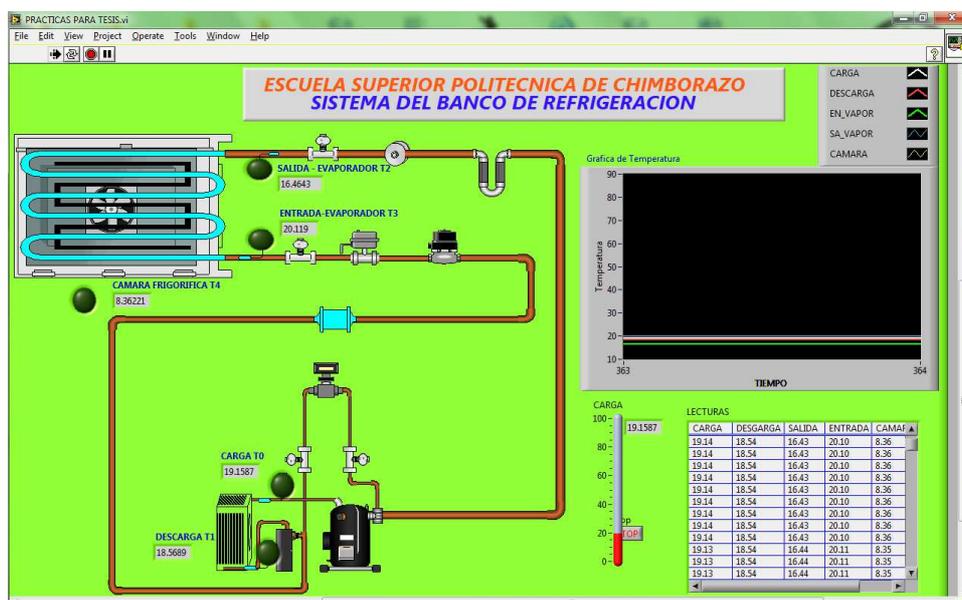
Figura 4.8: Instalación de los sensores de temperatura

EQUIPOS Y MATERIALES

- Controlador Integrado en Tiempo Real NI cRIO-9074.
- Fuente de alimentación NI PS-15 de 5A, 24VDC.
- Módulo NI 9213.
- Termocuplas tipo K.
- Destornillador
- Cortapicos
- Cable de conexión a red

PROCEDIMIENTO

1. Conectamos el NI cRIO-9074 a la PC.
2. Instalamos las cinco termocuplas tipo K al módulo NI-9213
3. Activamos el NI cRIO-9074 para reconocer los módulos
4. Abrir el programa desde *my computer* que se realizo en LabVIEW para el monitoreo y adquisición de datos.
5. En *Project Explorer* hacemos clic derecho en *Mod4 (Slot4, NI9213)* y seleccionamos propiedades para cambiar el tipo de termocupla a emplear, la tipo K. En la misma ventana nos ubicamos en *Conversion Time* y se puede seleccionar entre *High Resolution* o *High Speed*.
6. Proceder a correr el programa de supervisión, control y adquisición de datos
7. Generar una hoja de reportes de temperatura en Excel.



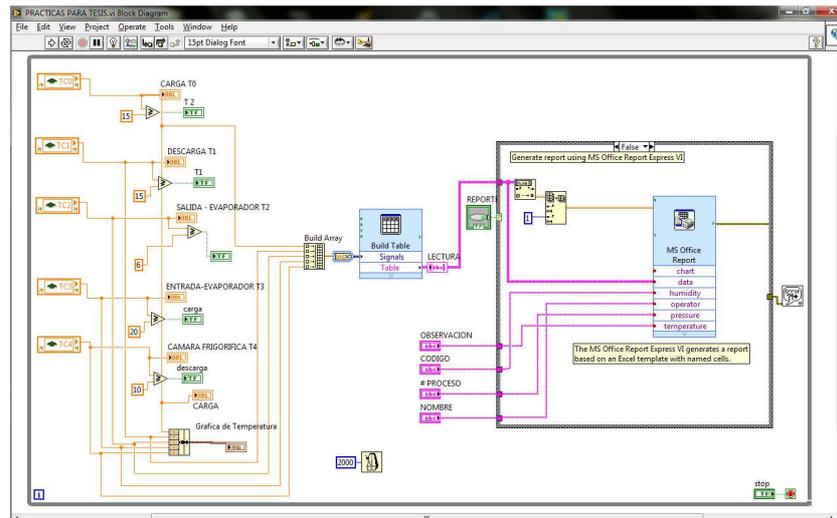


Figura 4.9: Diagramas del VI's de la práctica de la cámara de refrigeración

CONCLUSIONES

- Se pudo conocer que un ciclo de refrigeración se fundamenta en la circulación de un gas refrigerante mediante la aplicación de cuatro procesos fundamentales como son: la regulación, evaporación, compresión y la condensación.
- En el monitoreo del condensador se observó que en el lado de carga la temperaturas es elevada ya que en este punto el refrigerante está a alta presión y a alta temperatura mientras que en el lado de descarga la temperatura disminuye debido a que libera el calor hacia el aire exterior. En la carga y descarga del evaporador las temperaturas disminuyen aún más debido a que la presión del líquido se reduce a la presión de evaporación cuando el líquido cruza el regulador.
- Se logró monitorear la cámara de congelación en el cual la temperatura que se iba registrando cada vez era inferior a 0 °C y esto pudo observar en la PC diseñada en *LabVIEW*. La presión del líquido se reduce a la presión de evaporación cuando el líquido cruza el regulador, entonces la temperatura de saturación del refrigerante entra en la cámara de refrigeración y será en este lugar donde se enfría.

- Con ayuda de LabVIEW se pudo crear una hoja de reportes en Excel en el cual nos indicar las temperaturas en grados centígrados registrados durante todo el ciclo de funcionamiento del sistema de refrigeración.

RECOMENDACIONES

- Utilizar la herramienta adecuada para abrir los canales del NI 9213 caso contrario se dañaran los canales.
- Se debe tomar muy en cuenta el tipo de termocupla que se quiere instalar en el módulo NI 9213, caso contrario las lecturas de temperatura serán totalmente inexactas.
- Si el módulo NI 9213 es cambiado de posición en el chasis, es recomendable enviarle primeramente al modo FPGA para posteriormente enviar al modo SCAN.
- Observar que el cableado en el diagrama de bloques de LabVIEW este correctamente realizado.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Al determinar las características del hardware embebido denominado CompactRIO-9074 se pudo conocer acerca de sus grandes prestaciones para el control y adquisición de datos ya que se basa en la nueva tecnología de entradas y salidas reconfigurable, su funcionalidad básica es proporcionada por una FPGA programable por el usuario. El software LabVIEW se emplea para configurar fácilmente la funcionalidad de hardware como E/S, PID, filtrado, procesamiento de señales o transferencia de datos con sólo unos pocos bloques de funciones.
- Para la implementación del equipo se tenía que conocer su funcionalidad, es por eso que fue necesario estudiar los manuales del fabricante y a la vez tener un mayor conocimientos del programa LabVIEW que nos proporciona una visualización en tiempo real del proceso, permitiendo al operario monitorear, controlar desde un computador y detener el proceso en el caso de ocurrir alguna falla en el sistema.
- El funcionamiento del sistema de control ON-OFF desarrollado cumplió con lo requerido, se pudo medir la variable es decir la temperatura dentro de un proceso y controlando los actuadores se pudo realizar las pruebas necesarias del sistema.
- Se realizaron prácticas fundamentadas en el monitoreo, control y adquisición de datos de temperatura que servirán de guía a los estudiantes con el fin de apoyar el proceso de aprendizaje sobre los sistemas SCADA.
- Mediante el sistema SCADA se pudo monitorear y generar hojas de reportes del control de temperatura para el análisis y la debida toma de decisiones en el proceso sin tener que realizar paradas innecesarias.
- Como parte complementaria de la tesis se realiza la donación del módulo NI 9213 para el laboratorio de Mecatrónica de la Facultad de Mecánica; con el cual los estudiantes podrán realizar futuras prácticas.

5.2 **Recomendaciones**

- Es preciso realizar la adquisición de un switch de varios puertos para cable RJ-45 de conexión a red para conectar el CompactRIO-9074 a uno de los puertos que permitirá la utilización simultánea a varios usuarios y así aprovechar los beneficios del equipo.
- Es necesario que los estudiantes que vayan hacer uso del CompactRIO-9074 y sus módulos se guíen en las especificaciones del fabricante ya que para las diferentes aplicaciones con el equipo el fabricante establece parámetros específicos de conexión.
- Es prescindible que el estudiante tenga un conocimiento básico sobre la programación en el lenguaje de desarrollo gráfico (LabVIEW) para que tenga mayor posibilidad de acceder al equipo y poder descubrir la infinidad de aplicaciones que este ofrece.
- Al ser el CompactRIO un microcomputador y tener una interface de comunicación con una PC, y al trabajar en red está expuesto a infectarse de virus, por lo que se recomienda utilizar un antivirus actualizado
- Se recomienda que a futuro se realicen tesis empleando el CompactRIO-9074 de NI para que toda esa capacidad de desarrollo en aplicación industriales no queda inactiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] www.uhu.es/raul.jimenez/EMPOTRADO/introduccion.pdf
- [2] www.electrolinux.cl/doku.php/sistemasembebido
- [3] [www.ni.com/ CompactRIO/hardware/ modules](http://www.ni.com/CompactRIO/hardware/modules)
- [4] RODRÍGUEZ PENIN AQUILINO. SCADA. Edición 2007. pág. 19
- [5] NATIONAL INSTRUMENTS, LabVIEW Básico I Introducción. Manual de curso 2009. pág. 2-1
- [6] www.ni.com/software/adquisiciondedatos
- [7] CREUS ANTONIO, Instrumentación. Industrial. Edición 2006. pág. 54

BIBLIOGRAFÍA

CREUS ANTONIO, Instrumentación Industrial. Edición 2006. pág. 54.

HARO, M. Introducción a la Instrumentación. Ecuador, ESPOCH. 2007.

LAJARA, JOSÉ. LabVIEW Entorno Gráfico de Programación. México: Alfaomega, 2007.

LÁZARO, A. Programación Gráfica para el control e instrumentación LabVIEW 6i. México: Paraninfo. S.A. 2002.

NATIONAL INSTRUMENTS, LabVIEW Básico I Introducción. Manual de curso 2009. pág. 2-1.

RODRÍGUEZ PENIN, AQUILINO. SCADA. Edición 2007. pág. 19.

LINKOGRAFÍA

Sistema Embebido

http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_embebido

2010-11-28

<http://www.mastermagazine.info/termino/6694.php>

2010-11-28

<http://www.sistemasembebidos.com.ar/oldfmt/>

2010-11-29

CompactRIO

<http://www.ni.com/compactrio/>

2010-12-09

<http://www.ni.com/compactrio/esa/>

2010-12-09

<http://www.ni.com/compactrio/whatis.htm>

2010-12-09

<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/208788>

2010-12-09

Sistema SCADA

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

2010-12-09

<http://en.wikipedia.org/wiki/SCADA>

2010-12-10

<http://www.tech-faq.com/scada.html>

2010-12-10

<http://www.monografias.com/trabajos11/sisco/sisco.shtml>

2010-12-10

LabVIEW y NI

<http://www.ni.com/labview/>
2011-01-09

<http://www.ni.com/labview/whatis/esa/>
2011-01-09

<http://en.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>
2011-01-15

http://www.gte.us.es/ASIGN/IE_4T/Tutorial%20de%20Labview.pdf
2011-01-15

Temperatura y termocuplas

<http://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura>
2011-01-28

<http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/medida-temperatura.htm>
2011-01-28

<http://www.pemex.com/files/content/NRF-148-PEMEX-2005.pdf>
2011-02-10

<http://html.rincondelvago.com/termocuplas.html>
2011-02-10

http://www.vignola.cl/pdf_secciones/04/4-15-47.pdf
2011-02-13

<http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/temperatura/termocuplas.pdf>

Control ON-OFF

http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/on_off.pdf
2011-02-13

<http://materias.fi.uba.ar/7609/material/Clase%2001%20Intro/07%20-%20Control%20Todo%20o%20Nada.pdf>
2011-02-13

http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~con2/CapituloIII_parte1.pdf
2011-02-13.