

**IMPLEMENTACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN PARA EL MONITOREO Y
CONTROL DE LOS BANCOS Y/O SISTEMAS DE LOS LABORATORIOS DE
TRANSFERENCIA DE CALOR APLICADA, REFRIGERACIÓN Y LA PLANTA
TÉRMICA**

**DARWIN FABIÁN GUIOS HERNÁNDEZ
ROSEMBERTH VALDIVIESO MARTÍNEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2008**

**IMPLEMENTACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN PARA EL MONITOREO Y
CONTROL DE LOS BANCOS Y/O SISTEMAS DE LOS LABORATORIOS DE
TRANSFERENCIA DE CALOR APLICADA, REFRIGERACIÓN Y LA PLANTA
TÉRMICA**

**DARWIN FABIÁN GUIOS HERNÁNDEZ
ROSEMBERTH VALDIVIESO MARTÍNEZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2008

DEDICATORIA

A Dios, y mis padres María Lucía Martínez y Julio Cesar Valdivieso García que me acompañaron y depositaron toda su confianza en mí.

A mis hermanos que estuvieron acompañándome durante mis estudios.

A mis sobrinos, que me brindaron su cariño y me vieron siempre como un ejemplo a seguir.

A mis amigos y compañeros que durante el transcurso de la carrera me brindaron su apoyo.

Rosemberth Valdivieso Martínez

DEDICATORIA

A Dios,

A mis padres, Gustavo y Amparo, por su apoyo y amor incondicional.

A mi hermana Mayerli, por su colaboración y compañía.

A mi familia.

Y a todas las personas que he conocido durante mi vida universitaria y que de alguna forma, hacen parte de mi formación profesional y han hecho de mi una mejor persona.

Darwin Fabián Guíos Hernández

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander por abrir sus puertas y ofrecernos la oportunidad de formarnos profesionalmente para contribuir con el desarrollo del país.

A la escuela de ingeniería mecánica, especialmente al personal docente, por compartir con nosotros el conocimiento y darnos la confianza para desempeñar nuestra profesión.

Al Ingeniero Omar Gelves Arocha, excelente docente de la escuela de ingeniería mecánica y amigo, por su colaboración en el desarrollo de este trabajo de grado.

A todos nuestros amigos y compañeros de la universidad...

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	21
1 FUNDAMENTOS DE CONTROL AUTOMÁTICO	23
1.1 CONCEPTOS SOBRE SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO	25
1.2 SISTEMAS DE CONTROL.....	28
1.2.1 Sistemas de control de lazo abierto	29
1.2.2 Sistema de control de lazo cerrado	29
1.3 ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL.....	30
1.3.1 Control de dos posiciones ON/OFF	31
1.3.2 Control proporcional	32
1.3.3 Control Integral.....	33
1.3.4 Control Proporcional – Integral.....	34
1.3.5 Control Proporcional – Derivativo	35
1.3.6 Control Proporcional – Integral – Derivativo	36
1.4 DISPOSITIVOS DE CONTROL.....	36
1.4.1 Clasificación de los dispositivos de control.....	37
1.5 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	50
1.5.1 Transductores y sensores	51
1.5.2 Conversor Análogo-Digital (ADC) y conversor Digital-Análogo (DAC)	53
2 DESCRIPCIÓN De las herramientas implementadas para el desarrollo de cada uno de los VIs.	55
2.1 Herramienta de desarrollo del Software.	56
2.1.1 Software para el desarrollo de los Instrumentos Virtuales.....	56

2.1.2	Software para la configuración de hardware	63
2.2	Hardware para la adquisición de datos	65
2.2.1	Sistemas modulares de control y distribuido E/S FielPoint.....	65
2.2.2	Tarjetas de adquisición de datos DAQ	74
2.3	Hardware para la captura de variables físicas.....	75
3	Desarrollo de los instrumentos virtuales para cada uno de los bancos y/o sistemas pertenecientes al laboratorio de Plantas TÉRMICAS.....	79
3.1	Aspectos para el diseño de la VI de cada sistema y/o banco.....	80
3.1.1	Definición del objeto de la prueba y elementos del banco y/o sistema.	81
3.1.2	Hardware requerido para la prueba y tabla de conexión de sensores.	81
3.1.3	Implementación del software LabVIEW de monitoreo y control para cada VI.	84
3.2	Descripción de las VI de los bancos del laboratorio de transferencia de calor.....	87
3.2.1	Banco de conducción transitoria	89
3.2.2	Banco de convección	93
3.2.3	Banco de emisividad	97
3.2.4	Banco de intercambiadores de Tubos Concéntricos	101
3.2.5	Banco de Torre de Enfriamiento.....	106
3.2.6	Banco de Intercambiadores de Casco y Tubos.....	111
3.2.7	Banco del Colector Solar.....	116
3.3	Monitoreo y Control de la Planta Térmica	120
3.3.1	Hardware implementado para el monitoreo y control	127
3.3.2	Diseño de la VI para el monitoreo y control de la planta térmica.....	128
3.3.3	Control de Generación de Vapor	129
3.3.4	Control para la generación de la energía	135
3.4	Monitoreo y control del cuarto frío.	142
3.4.1	Equipos de Refrigeración	142
3.4.2	Actuadores, preactuadores y tablero de control	143

3.4.3	Sistema de adquisición de datos y control	144
3.4.4	Control ON/OFF y Control Continuo.....	145
CONCLUSIONES.....		153
RECOMENDACIONES.....		155
BIBLIOGRAFÍA.....		156
ANEXOS		

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Planta o máquina con control automático.....	23
Figura 2. Componentes básicos de control (control de temperatura).	24
Figura 3. Clasificación de señales	27
Figura 4. Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto	29
Figura 5. Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado	30
Figura 6. Diagrama de bloques del controlador de dos posiciones.....	31
Figura 7. Diagramas de bloques de un controlador proporcional.....	33
Figura 8. Diagrama de bloques de un controlador integral.	34
Figura 9. Autómata programable	42
Figura 10. Controlador industrial.....	44
Figura 11. Computador industrial.....	45
Figura 12. Aplicación de microcontrolador.....	46
Figura 13. Sistema de control modular y distribuido FieldPoint	48
Figura 14. Tarjeta de adquisición de datos	49
Figura 15. Sistema de adquisición de datos	51
Figura 16. Señal continua y señal muestreada.....	54
Figura 17. Panel de control Industrial	58
Figura 18. Código fuente en el Diagrama de Bloques	59
Figura 19. Paleta de Herramientas	61
Figura 20. Paleta de control.....	62
Figura 21. Paleta de Funciones	63
Figura 22. Ventana principal del Software "MAX"	64
Figura 23 Modulo de comunicación FP – 1000.....	66
Figura 24. Modulo de entradas analógicas FP-AI-110.....	67

Figura 25. Modulo de Salidas Analógicas FP-AO-210.....	68
Figura 26. Modulo de salidas analógicas FP-AO-200.....	68
Figura 27 Modulo de salidas digitales FP-DO-400.....	69
Figura 28 Modulo de Termocuplas FP-TC-120.....	71
Figura 29. Modulo Contador FP-CTR 500	72
Figura 30. Tarjeta de adquisición de datos NI USB-9006	74
Figura 31. Sensor de Presión Marca Setra.....	77
Figura 32. Sensor de Presión Marca Foxboro	77
Figura 33. Sensor de Humedad HTM 2500	78
Figura 34. Montaje Hardware Fieldpoint.	82
Figura 35. Campo Archivo de configuración	88
Figura 36. Campo Registro de Datos.....	88
Figura 37. Campo Tiempo de muestreo	89
Figura 38. Partes del banco de conducción transitoria	90
Figura 39. Panel frontal para monitoreo del banco de conducción transitoria	92
Figura 40. Error de ejecución.....	93
Figura 41. Partes del Banco de Convección.....	94
Figura 42. Panel frontal para monitoreo del banco de convección	96
Figura 43. Partes del Banco de Emisividad.	98
Figura 44. Panel frontal para monitoreo del banco de emisividad.	100
Figura 45. Partes del Banco de Intercambiadores de Tubos Concéntricos.	102
Figura 46. Panel frontal del banco de intercambiadores de tubos concéntricos.	106
Figura 47. Partes del Banco de Torre de Enfriamiento.	107
Figura 48. Panel frontal para monitoreo del banco de Torre de Enfriamiento.....	111
Figura 49. Partes del Banco de Intercambiadores de Casco y Tubos.	112
Figura 50. Panel frontal del banco de Intercambiadores de Casco y Tubos.....	115
Figura 51. Partes del Banco del Colector Solar	117
Figura 52. Panel frontal para monitoreo del banco del Colector Solar.....	119
Figura 53. Circuito de Tratamiento de agua.....	122
Figura 54. Caldera Pirótubular	122

Figura 55. Sobrecalentador	123
Figura 56. Sistema de Generación de energía	124
Figura 57. Condensador	124
Figura 58. Torre de Enfriamiento	125
Figura 59. Dispositivos de control	126
Figura 60. Esquema de la Planta Térmica.....	127
Figura 61. Módulos FielPoint Planta Térmica	128
Figura 62. Diagrama General de Control	129
Figura 63. Dispositivos de monitoreo y control de la caldera.....	130
Figura 64. Código de monitoreo de las temperaturas.....	131
Figura 65. Diagrama de control.....	132
Figura 66. Acción de control PID	133
Figura 67. Control de velocidad del motor del ventilador	135
Figura 68. Diagrama de control de la turbina/generador.....	136
Figura 69. Acción de control PID para la Turbina/Generador	137
Figura 70. Código para el control de flujo de vapor	138
Figura 71. Panel Frontal Planta Térmica	139
Figura 72. Panel Frontal Planta Térmica (Control).....	140
Figura 73. Diagrama de Bloques Planta Térmica	140
Figura 74. Circuito de refrigeración cuarto frío.....	143
Figura 75. Caja de Control - Cuarto Frío.....	144
Figura 76. Modulo de Red y adquisición de datos	145
Figura 77. Panel de Control - Cuarto Frío	146
Figura 78. Control ON/OFF.....	147
Figura 79. Control PID	148
Figura 80. Panel Frontal - Control Cuarto Frío.....	149
Figura 81. Diagrama de Bloques - Cuarto Frío	150
Figura 82. Restaurar la VI.....	151

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Asignación de Terminales del FP-DO-400.....	70
Tabla 2. Asignación de Terminales del FP-TC-120	71
Tabla 3. Asignación de Terminales del FP-CTR-500.....	72
Tabla 4. Tipos de Termocuplas.....	76
Tabla 5. Plantilla base para el montaje de hardware y conexiones a bases terminales	84
Tabla 6. Distribución del espacio en campos del panel frontal.	86
Tabla 7. Resumen del hardware y conexión de sensores para el banco de conducción transitoria.....	91
Tabla 8. Resumen del hardware y conexión de sensores para el banco de convección.....	95
Tabla 9. Resumen del hardware y conexión de sensores para el banco de emisividad.....	99
Tabla 10. Resumen del hardware y conexión de sensores para el banco de intercambiadores de tubos concéntricos.....	103
Tabla 11. Resumen del hardware y conexión de sensores para el banco de intercambiadores de tubos concéntricos.....	109
Tabla 12. Resumen del hardware y conexión de sensores para el banco de intercambiadores de tubos concéntricos.....	113
Tabla 13. Resumen del hardware y conexión de sensores para el banco de emisividad.....	118
Tabla 14. Relación Aire/Combustible.....	134
Tabla 15. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta.	141

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. DIAGRAMAS DE CONEXIONADO	158
ANEXO B. MANUAL DE OPERACIÓN	167
ANEXO C. MANUAL DE DESARROLLO	203

RESUMEN

TÍTULO:

IMPLEMENTACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE LOS BANCOS Y/O SISTEMAS DE LOS LABORATORIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR APLICADA, REFRIGERACIÓN Y LA PLANTA TÉRMICA.*

AUTORES:

Darwin Fabián Guíos Hernández
Rosemberth Valdivieso Martínez**

PALABRAS CLAVES:

Monitoreo y control de procesos, adquisición de datos, Instrumento virtual.

DESCRIPCIÓN:

El objeto de este proyecto de grado es dotar a la escuela de ingeniería mecánica de la universidad industrial de Santander, de programas que realizan el monitoreo y control de cada banco y/o sistema del laboratorio de transferencia de calor, refrigeración y la planta térmica, y suministrar la información para implementar la herramienta de monitoreo y control en futuras aplicaciones.

Los programas de monitoreo y control son desarrollados en el software LabVIEW y las razones principales por la que ha sido seleccionado son:

- Mejora la confiabilidad de la adquisición o generación de señales para el monitoreo y control.
- Ofrece un entorno grafico con controles similares a los de un panel real, mejorando la interacción con el usuario y logrando una mayor participación de los estudiantes durante el desarrollo de las prácticas de laboratorio.
- El lenguaje de programación es gráfico, esto facilita el desarrollo de aplicaciones y su comprensión.
- Es compatible con el hardware disponible en el Laboratorio de Maquinas Térmicas.

Adicional al desarrollo de los programas de monitoreo y control, se desarrollaron dos manuales denominados “Manual de Operación” y “Manual de Desarrollo”. El “Manual de Operación” suministra al usuario la información correspondiente a la conexión de sensores o actuadores al hardware y operación de los programas desarrollados para los bancos y/o sistemas del laboratorio de transferencia de calor, refrigeración y la planta térmica. El “Manual de Desarrollo” tiene como propósito, suministrar la información necesaria para el entrenamiento en el software e implementar esta herramienta en futuras aplicaciones de investigación o proyectos de grado que requieran la adquisición de datos, control automático de procesos, monitoreo y registro de variables.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director Omar A. Gélvez Arocha.

ABSTRACT

TITLE:

IMPLEMENTATION OF INSTRUMENTATION FOR THE MONITORING AND CONTROL OF BANKS OR HEAT TRANSFER IMPLEMENTED, REFRIGERATION AND THERMAL PLANT LAB SYSTEMS.*

AUTHORS:

**Darwin Fabián Guíos Hernández
Rosemberth Valdivieso Martínez****

KEY WORDS:

Monitoreo y control de procesos, adquisición de datos, Instrumento virtual.

DESCRIPTION:

The purpose of this degree project is to equip the school of mechanical engineering of the Industrial University of Santander with programs that perform the monitoring and control of each bank or heat transfer implemented, refrigeration and thermal plant lab systems. Also, supply information for implementing the monitoring tools and control of future applications.

The software of monitoring and control are developed in the software LabVIEW and the principal reasons for this have been selected are

- It improves the reliability of the acquisition or signal generation for the monitoring and control.
- It offers a graphical environment with similar controls of a real panel, improving the interaction with the user and achieving a greater involvement of the students during the development of the laboratory practices.
- The programming language is graphic; this facilitates the development of applications and understanding.
- It is compatible with the hardware available in the thermal machines laboratory.

In addition, to the development of the monitoring and control programs, have been developed two manuals called "manual of operation" and "manual of development". The "manual of operation" gives to the user the corresponding information to the connection of sensors to the hardware and the operation of the programs development for the bank or heat transfer implemented, refrigeration and thermal plant lab systems. The "manual of development" has the purpose of supplying the necessary information for the training in the software and implement this tool in future applications of investigation or degree projects that require the data acquisition, automatic control of process, monitoring and the registration of variables.

* Degree work

** Physical-Mechanical Engineering Faculty, School Mechanical Engineering, Director Omar A. Gélvez Arocha Eng.

NOMENCLATURA O GLOSARIO

NOTACIÓN

VI Instrumento Virtual

MAX Measurement and Automation Explorer

PID Proporcional – Integral – Derivativo

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años el desarrollo de la electrónica y la microelectrónica ha permitido que el hombre este motivado a implementar metodologías de monitoreo y control cada vez mas eficientes y precisos, con equipos y dispositivos confiables y robustos adecuado para trabajos en ambientes industriales, es por eso, que la industria cada día se ve mas inclinada hacia la implementación de tecnologías cada vez mejores para optimizar la forma de captura y análisis de las variables del medio externo. Por tanto esto ha llevado a despertar el interés a los ingenieros para que estudien y estén cada vez mas comprometidos a implementar sistemas de monitoreo y control a procesos, es así que el monitoreo y control se ha vuelto una parte fundamental en la ingeniería y en la ciencia ya que permite que los procesos sean más eficientes, productivos, seguros y precisos.

Básicamente el desarrollo de elementos y métodos de estudio de los sistemas de monitoreo y control a llevado también que las universidades estén cada vez mas comprometidas a formar ingenieros con conocimientos de automatización, por lo cual a las universidades han tenido que implementar en sus laboratorios elementos que permitan a los estudiantes implementen sistemas de monitoreo a las pruebas del laboratorio. En la universidad Industrial de Santander en la Escuela de ingeniería mecánica cuenta con el laboratorio de maquinas térmicas donde se desarrollan practicas como estudio complementaria practica en el campo de térmicas, por tanto el laboratorio cuenta con el laboratorio de transferencia de calor, refrigeración y la planta térmica. Mediante un conjunto de bancos y/o sistemas correspondientes a cada una de las áreas y un sistema de control y monitoreo hacen posible el desarrollo de las practicas y logrando con esto que

El propósito de este libro es mostrar una herramienta más para implementar en procesos cuando se quiera realizar sistemas de monitoreo y control, por cual este libro cuenta con los siguientes capítulos:

Capitulo 1, en este capitulo encontraremos lo relacionado a los fundamentos de control automático.

Capitulo 2, en este capitulo se muestra y se describe la herramienta implementada para el desarrollo del monitoreo y control de los bancos del laboratorio y el hardware usado para llevar a cabo las pruebas.

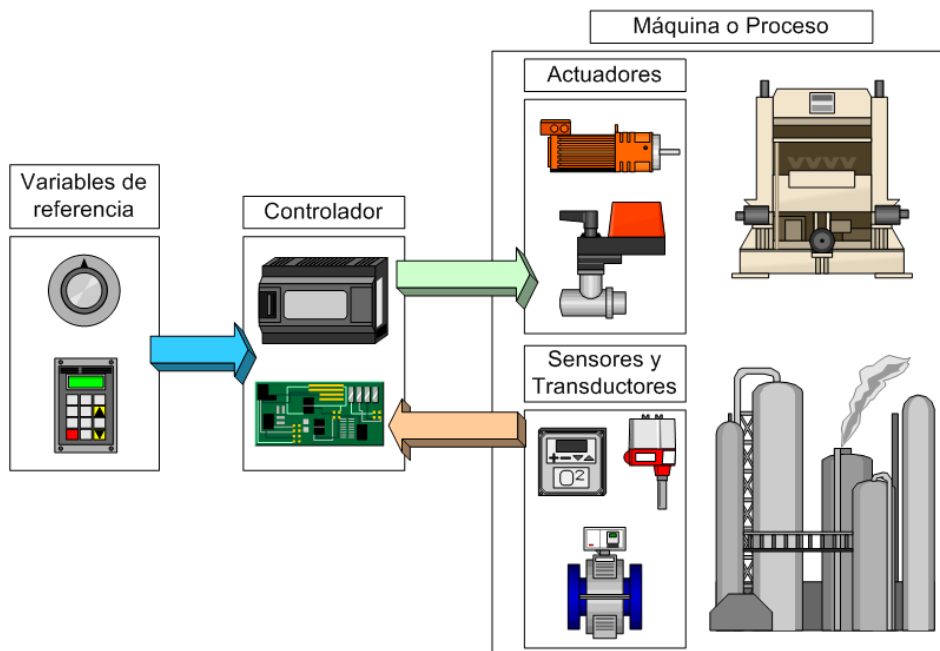
Capitulo 3, es este capitulo se describen cada uno de los programas implementados para el monitoreo y control de los bancos del laboratorio de transferencia de calor, refrigeración y la planta térmica.

1 FUNDAMENTOS DE CONTROL AUTOMÁTICO

El control automático es una herramienta que al ser implementado en un proceso, maquina o planta, busca la condición de operación establecida ante cualquier perturbación externa sin la necesidad humana.

Su aplicación en el sector industrial o en el sector de investigación es determinante para su funcionamiento, desarrollo y modernización. Por tanto, debido a que, es un campo dinámico con avances significativos gracias a la tecnología digital y que tiene una masificación en la industria, a hecho que todo ingeniero independientemente de su especialización que toma acciones sobre el proceso, deba tener conocimiento de este campo. (Ver figura 1)

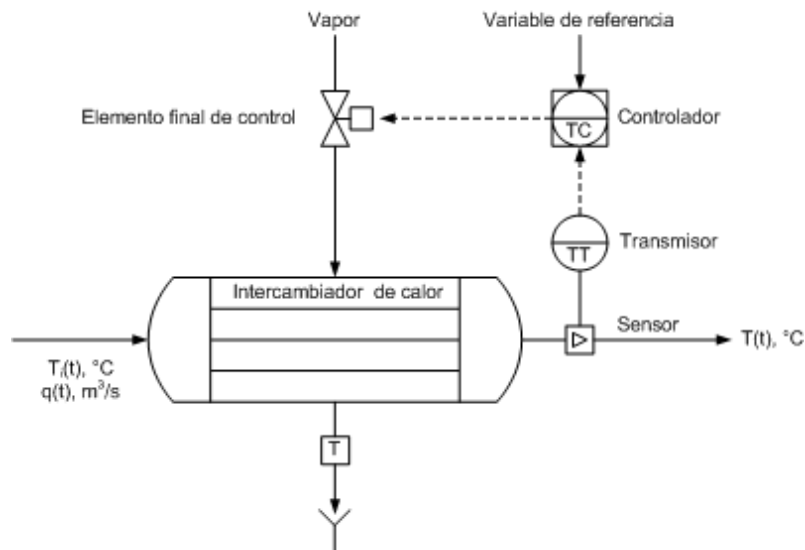
Figura 1. Planta o máquina con control automático.



Fuente: Autores

El control automático consta de los siguientes componentes básicos configurados en el lazo cerrado mostrado en la figura 2.

Figura 2. Componentes básicos de control (control de temperatura).



Fuente: Autores

- Sensor, que también se conoce como elemento primario.
- Transmisor, el cual se conoce como elemento secundario.
- Controlador, que es el “cerebro” del sistema de control
- Elemento final de control (actuadores).

La importancia de estos componentes se debe a que realizan las tres operaciones básicas que deben estar presentes en todo sistema de control, que son:

- **Medición:** la medición de la variable que se controla se hace generalmente mediante la combinación de sensor y transmisión.
- **Decisión:** con base en la medición, el controlador decide qué hacer para mantener la variable en el valor que se desea.

- **Acción:** como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar una acción en el sistema, generalmente ésta es realizada por el elemento final de control.

Algunas razones generales que justifican la implementación del control automático en una planta las cuales son producto de la experiencia industrial son:

1. Evitar lesiones al personal de la planta o daño al equipo. La seguridad se debe considerar como la consideración más importante.
2. Mantener la calidad del producto en un nivel continuo y con un costo mínimo.
3. Mantener la tasa de producción de la planta al costo mínimo.

1.1 CONCEPTOS SOBRE SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO

En el marco del control automático se utilizan algunos conceptos que es pertinente presentar, tales como.

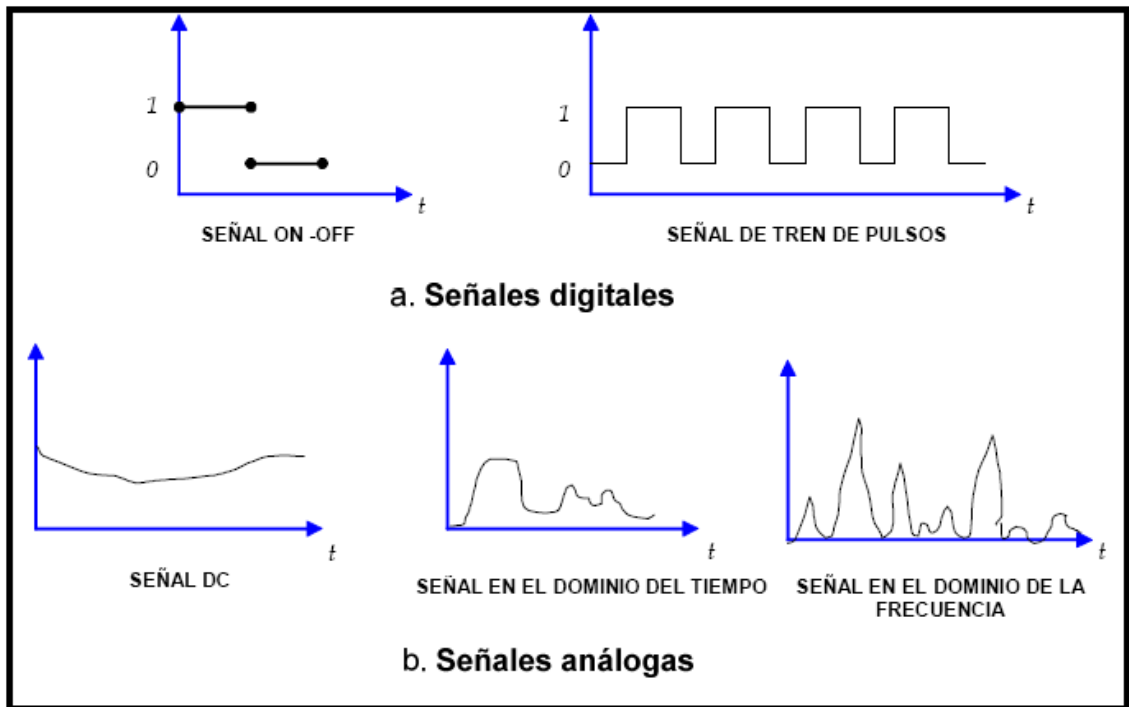
- **Variable controlada:** es la cantidad o condición que se mide y se debe mantener o controlar en un valor deseado.
- **Variable de referencia o punto de control:** es el valor que se desea que tenga la variable controlada.
- **Variable manipulada:** es la cantidad o valor que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.

- **Perturbación:** es cualquier variable que causa que la variable controlada se desvíe del punto de control.
- **Planta:** es cualquier objeto físico que se va a controlar, puede ser una parte de un equipo, o un conjunto de partes de una maquina que funcionan juntas, cuyo propósito es ejecutar una operación particular.
- **Proceso:** es un conjunto de actividades o eventos que se realizan o suceden (alternativa o simultáneamente) con un determinado fin; en control, es cualquier operación que se va a controlar.
- **Señal:** es la variación de una magnitud física de una propiedad o estado, y están clasificadas en señales analógicas o digitales.

Las señales analógicas son continuas en el tiempo y dependiendo de la variación de la amplitud existen tres tipos: señal DC, señal en dominio del tiempo y señal en dominio de la frecuencia. Ver figura 3, b. Señales análogas.

En las señales digitales, su magnitud puede tomar solo dos valores o estados, generalmente se representan como ausencia o presencia, on-off, 1 o 0 etc., o representada como una señal periódica denominada tren de pulsos. Ver figura 3, a. Señales digitales.

Figura 3. Clasificación de señales



Fuente: Tesis de grado “simulación y cuantificación del ahorro energético de una caldera pirótubular bajo control on-off y continuo” de los autores Javier Botia Becerra y Manuel Parra Contreras.

El tipo de información que contiene una señal es única y para cuantificarla es necesario tomar su magnitud o estado, amplitud o rango, forma y contenido espectral (frecuencia).

- Transductores (elemento de medida): son dispositivos o elementos que convierten una señal de entrada en una de salida pero de diferente naturaleza física; sin embargo, hay un tipo de transductor especial denominado “sensor” y su característica es convertir una señal física como presión, temperatura, humedad, radiación, etc. en una señal eléctrica. En los transductores y/o sensores se hace necesario transformar o amplificar la señal de salida para llevarla al rango y unidad requerida por el controlador,

razón por la cual generalmente un transductor y/o sensor se adquiere con su transmisor.

- Actuadores (elemento de control): es el dispositivo o elemento que interviene sobre la variable manipulada en un sistema de control; generalmente la potencia requerida para accionar los actuadores no puede ser suministrada por la parte de control, por lo tanto se requieren de dispositivos intermedios que amplifican la señal de control suministrando la potencia requerida para operar el mecanismo de accionamiento del actuador, dichos elementos se denominan pre-actuadores.

Con la definición de estos términos, se puede establecer el objetivo del control automático, el cuál es:

El objetivo del control automático es utilizar la variable manipulada para mantener la variable controlada en el punto de control a pesar de las perturbaciones.

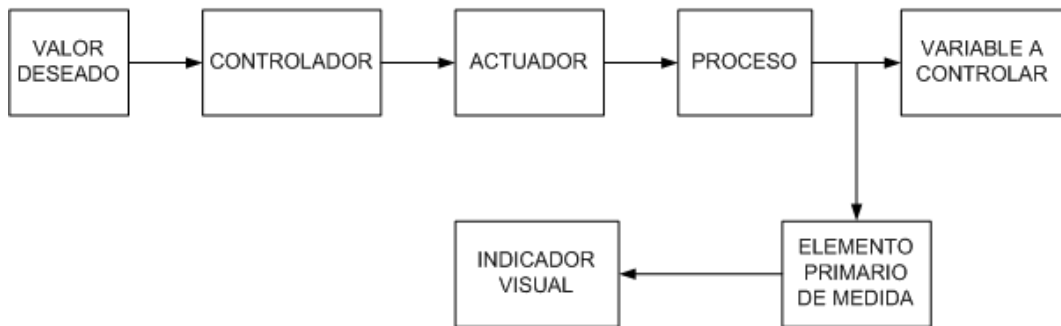
1.2 SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado. Se clasifican en:

1.2.1 Sistemas de control de lazo abierto

Son sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control, es decir, no existe comparación con la variable de referencia. En general estos sistemas operan bajo condiciones estables y la relación existente entre la variable de referencia y la variable de salida; como resultado, la precisión depende de la calibración y ante la presencia de perturbaciones el sistema no trabaja bajo las condiciones deseadas. En la figura 4, se muestra el diagrama de bloques de un sistema de control de lazo abierto.

Figura 4. Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto



Fuente: Autor

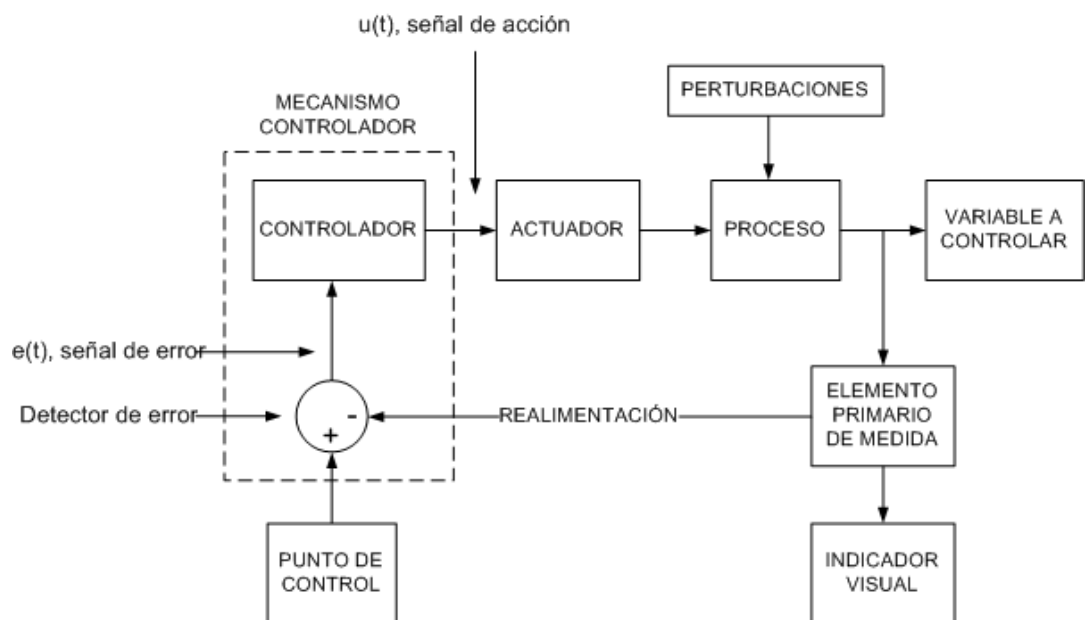
Generalmente este tipo de control se utiliza en equipos que realizan una serie de operaciones siguiendo una lista de instrucciones o con una base de tiempo, algunos ejemplos son la lavadora y el control de tránsito mediante semáforos.

1.2.2 Sistema de control de lazo cerrado

En la figura 5, se ilustra en diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado; a diferencia del sistema de lazo de abierto, es necesaria la señal de retroalimentación y según la diferencia entre el punto de control y esta señal, el

mecanismo controlador toma la decisión de actuar sobre la variable manipulada para llevar esta diferencia a cero o un valor mínimo. La frecuencia de comparar estas dos señales y la acción que toma sobre la variable manipulada para que la variable a controlar llegue al punto de control depende de la tecnología del controlador seleccionado y del tipo de proceso. La manera como el controlador produce la señal de control se define acción de control.

Figura 5. Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado



Fuente: Autor

1.3 ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Las acciones básicas de control que utilizan los controladores industriales se pueden clasificar según su operación o acción de control, por tanto, tenemos:

- Control de dos posiciones ON/OFF
- Control proporcional

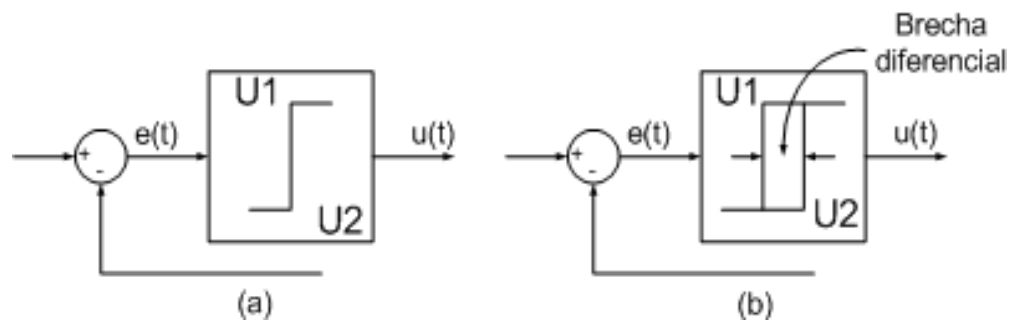
- Control integral
- Control Proporcional - integral
- Control Proporcional - derivativo
- Control Proporcional-Integral-Derivativo

La mayoría de los controladores industriales tienen como base cualquier tipo de estas acciones que se explican a continuación.

1.3.1 Control de dos posiciones ON/OFF

En un sistema de control de dos posiciones, el elemento de actuación solo tiene dos estados o posiciones fijas, generalmente encendido o apagado; este tipo de control es simple y económico, razones suficientes para justificar su implementación masiva en el sector industrial y domestico.

Figura 6. Diagrama de bloques del controlador de dos posiciones



Fuente: Autor

En base a la figura 6 – (a), diagrama de bloques de un controlador de dos posiciones, se explicara brevemente el funcionamiento de este tipo de controlador. Asignemos nombre a las variables de entrada y salida del controlador, $e(t)$ señal de error y $u(t)$ señal de actuación (o control) respectivamente; en el control on/off

el valor de $u(t)$ permanece en máximo o mínimo dependiendo si la señal de error es positiva o negativa, lo cual se resume en:

$$u(t) = U_1, \quad \text{si } e(t) > 0$$
$$u(t) = U_2, \quad \text{si } e(t) < 0$$

Donde U_1 y U_2 son constantes. Generalmente U_2 toma el valor de cero debido a que el tipo de actuadores implementados son de tipo eléctrico.

En los sistemas de control on/off, la señal de error $e(t)$ tiene un rango de operación antes de presentarse el cambio de estado, a esto se le denomina brecha diferencial, la cual se debe a el diseño del mecanismo controlador con el fin de evitar la operación frecuente de los elementos que los conforman.

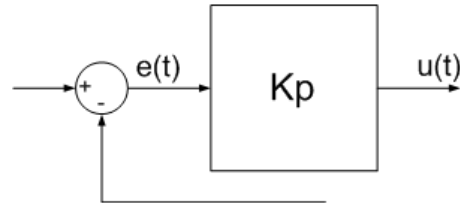
1.3.2 Control proporcional

El controlador proporcional, figura 7, genera a la salida una señal de control que es proporcional a la señal de error. De este modo:

$$u(t) = K_p \times e(t)$$

En donde K_p es la ganancia o constante proporcional. El control proporcional se caracteriza por nunca eliminar el error del sistema, al cual se le denomina error de corrimiento, ya que para un error igual a cero no hay acción de control; sin embargo es posible disminuir el error aumentando el valor de la ganancia proporcional teniendo la precaución de no causar inestabilidad en el sistema.

Figura 7. Diagramas de bloques de un controlador proporcional



Fuente: Autor

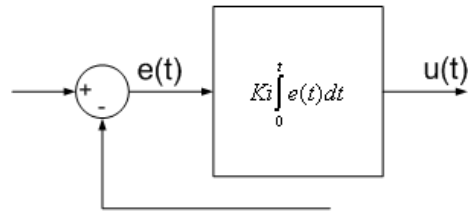
1.3.3 Control Integral

El controlador integral, figura 8, la señal de control $u(t)$ cambia a razón proporcional a la señal de error $e(t)$, o expresado en otra forma, la señal de control es proporcional a la integral de la señal de error:

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i \times e(t) \Rightarrow u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

La característica más importante de este tipo de control es que la acción correctora se efectúa mediante la integral del error; ello permite decir que el control integral proporciona una señal de control en función de la propia historia de la señal de error. También permite obtener una señal de control diferente de cero aunque la señal de error sea cero.

Figura 8. Diagrama de bloques de un controlador integral.



Fuente: Autor

Sin embargo, la acción del control integral empeora de un modo substancial la estabilidad relativa del sistema, aumentando el sobreimpulso de la respuesta transitoria, pudiéndose obtener, inclusive, un sistema inestable. Por esta razón la acción integral en la práctica suele acompañarse por otras acciones de control.

1.3.4 Control Proporcional – Integral

El control proporcional integral combina las ventajas de la acción proporcional y la acción integral; la acción integral elimina el error estacionario mientras que la acción proporcional reduce el riesgo de inestabilidad que implica la introducción de la acción integral, lo anterior se resume mediante la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p * e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

Donde K_p es la ganancia proporcional y $T_i = \frac{K_i}{K_p}$ se denomina el tiempo integral, las cuales son ajustables.

1.3.5 Control Proporcional – Derivativo

Acción de control derivativa

La acción de control derivativa genera una señal de control proporcional a la derivada de la señal de error:

$$u(t) = Kd * \frac{de(t)}{dt}$$

De este modo el control derivativo, obteniendo la derivada de la señal de error, conoce las características dinámicas de la misma (crecimiento o decrecimiento), produciendo una corrección antes de que la señal de error se haga excesiva. A este efecto se le denomina acción anticipativa. Resumiendo, la acción derivativa añade sensibilidad al sistema y tiene un efecto de aumento de estabilidad relativa. Sin embargo, el control derivativo no puede utilizarse en solitario porque es incapaz de responder a una señal de error constante.

El control proporcional derivativo genera una señal resultante de la combinación de la acción proporcional y la acción derivativa conjuntamente. La ecuación diferencial del control PD es:

$$u(t) = Kp * e(t) + Kp * Td * \frac{de(t)}{dt}$$

Donde Kp es la ganancia proporcional y $Td = \frac{Kd}{Kp}$ se denomina el tiempo derivativo, las cuales son ajustables.

El control proporcional derivativo proporciona al sistema una mayor estabilidad relativa, traduciéndose ésta en una respuesta transitoria con menor sobreimpulso;

sin embargo, cuando la influencia del control proporcional derivativo es muy grande, el sistema de control tiende a ofrecer una respuesta excesivamente lenta.

1.3.6 Control Proporcional – Integral – Derivativo

La acción de control proporcional derivativo genera una señal resultante de la combinación de la acción proporcional, la acción integral y derivativa conjuntamente, la ecuación diferencial del controlador PID es:

$$u(t) = K_p * e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p * T_d * \frac{de(t)}{dt}$$

La combinación de las tres acciones de control básicas, permite eliminar el error en estado estacionario logrando una buena estabilidad relativa del sistema de control.

1.4 DISPOSITIVOS DE CONTROL

El tipo de dispositivo de control que se use debe decidirse con base en la naturaleza de la planta y en las condiciones operacionales, incluyendo consideraciones como seguridad, costo, disponibilidad, confiabilidad, precisión, peso y tamaño.

Su selección y aplicación se rigen por la complejidad, eficiencia y costo para un determinado sistema o proceso.

Las funciones de los dispositivos de control más comunes son:

- Gestión de las entradas y salidas
- Operaciones de supervisión (monitorización y diagnóstico de fallas).
- Tratamiento de ecuaciones lógicas
- Seguimiento de la producción
- Funciones de regulación
- Control de calidad.

1.4.1 Clasificación de los dispositivos de control.

Para conocer y analizar los dispositivos de control, estos se clasifican de acuerdo con los siguientes criterios:

- Técnicas de control
 - Tipo de señal a la salida del controlador
 - Tecnología del controlador.
-
- **Según las técnicas de control.**

El término planta o proceso se utiliza para describir la parte del sistema que se controla, ya que esta generalmente muestra las propiedades inherentes que no se pueden alterar por el diseñador y se caracterizan típicamente como dinámicas y continuas. Las acciones de planta son dinámicas en el sentido que existe almacenamiento de energía dentro de la planta y el comportamiento es dependiente de las excitaciones pasadas y presentes; y son continuas porque aunque se pueden muestrear a intervalos de tiempo prudente, las variables son claramente observables como señales continuas.

Con tecnologías que cambian rápidamente es difícil intentar clasificar las técnicas de control, pero se puede realizar una clasificación de acuerdo a cómo se perciben generalmente, esta clasificación es la siguiente:

- ❖ Sistemas de control continuo (a veces denominado control analógico)
 - ❖ Sistemas de control digital utilizando datos muestreados
 - ❖ Sistemas que utilizan acciones discretas que dependen de sucesos discretos (control de eventos discretos).
-
- ❖ **Control continuo.** Es aquel que opera con señales continuas. Los accionadores utilizan componentes electromecánicos, neumáticos, etc., pero la función de control es implementada, la mayoría de veces, utilizando circuitos electrónicos cableados, por ejemplo los amplificadores operacionales. Estos operan en tiempo real con cálculo paralelo. Algunas de las variaciones en la información de control en controladores analógicos se deben a variaciones térmicas, envejecimiento de los componentes o a la presencia de diversas formas de ruido. En el lazo de control, el controlador utiliza amplificadores operacionales.
 - ❖ **Control digital con datos muestreados.** Operan sobre plantas continuas, virtualizando las operaciones que se necesitan para obtener una acción sobre la variable manipulada. Se requiere una conversión digital-análoga (D/A) entre el controlador y la planta y alguna forma de conversión análoga-digital (A/D) en relación con la medida de las variables de la planta. Se denomina de datos muestreados porque el controlador digital no puede estar continuamente convirtiendo las señales de los sensores, procesando y actuando; solo lo puede realizar muestreos a intervalos regulares de tiempo.

Con esta combinación de acciones discretas y continuas, los componentes digitales, generan a algunos retardos no deseados en los tiempos de

conversión, en el manejo de los datos y en el cálculo estructurado de forma secuencial, por lo que se afecta la estabilidad dinámica de la planta; pero se obtienen mejoras en cuanto a inmunidad al ruido y a la variación de los componentes, no se genera variación en la información a menos que las perturbaciones sean muy grandes, posee mayor capacidad para retener y manejar datos y para operaciones matemáticas.

En el lazo de control el controlador utilizado es un controlador digital programable (autómata programable).

- ❖ **Control de eventos discretos.** El control de eventos discretos es algunas veces denominado control secuencial o control lógico programable y como, al menos una parte de la aplicación es dinámica, se conoce también como control dinámico de eventos discretos. Las condiciones de entrada y de realimentación que recibe el controlador son señales binarias y las acciones enviadas por el controlador a la planta también lo son. Utiliza para el control, actuadores on-off, es decir, define solamente dos niveles discretos o estados que están bien definidos en el proceso: apagado/encendido.

➤ **Según el tipo de señal a la salida del controlador.**

Esta clasificación depende exclusivamente del elemento final de control (actuador) que el controlador debe accionar. Pueden ser:

- * De acción continua
- * De acción escalonada
- * De pulsos.

- * **Acción continúa.** La señal de salida del controlador hacia el actuador puede ser cualquier valor dentro de un rango establecido, siendo esta señal de tipo análogo. Un controlador de acción continua mantiene una señal una señal hacia el actuador aún si esta ha sido completamente eliminado el error y se requiere cuando el actuador debe tener una señal permanente. Por ejemplo, una señal de voltaje aplicada permanentemente a una servo válvula.

- * **De acción escalonada.** Tiene tres posiciones. Hacia delante – parada – reversa. Un controlador de este tipo es usado para conducir un actuador que requiera de energización solo cuando deba reposicionarse.

- * **De pulsos.** Cuando se usa este controlador la señal continua de salida es convertida a una señal pulsante (de pulsos). La respuesta del controlador es determinada por el ancho del pulso y su frecuencia.

➤ **Según la tecnología del controlador.**

El desarrollo de los dispositivos de control (hardware y software), su complejidad y eficacia, ha ido asociado al desarrollo tecnológico experimentado a lo largo de los tiempos, de acuerdo a este los dispositivos de control se clasifican en:

- ⊗ Automatismos cableados
- ⊗ Automatismos programados

- ⊗ **Automatismos cableados.** El controlador de los automatismos cableados realiza una función de control fija, que depende de los componentes que lo conforman y de la forma (física) en que se han interconectado; para modificar su función de control deben cambiarse sus componentes o la forma de interconectarlos físicamente. Según los elementos que intervienen en la

implementación de su controlador los hay mecánicos, neumáticos, fluídicos eléctricos y electrónicos.

Frente a los automatismos con lógica programada, presentan los siguientes inconvenientes:

- Imposibilidad de realizar funciones complejas de control.
- Gran volumen y peso.
- Escasa flexibilidad frente a las modificaciones.
- Reparaciones costosas.

⊗ **Automatismos Programados.** Su principal ventaja es que el controlador utilizado en los automatismos programados puede realizar distintas funciones de control sin alterar su configuración, solo se cambia su programa de control. Utiliza tecnología de microcontroladores y de los sistemas programables basados en este: computador, controladores lógicos y autómatas programables.

Frente a los automatismos cableados tiene las siguientes ventajas:

- Gran flexibilidad de control.
- Posibilidad de cálculo científico e implementación de algoritmos complejos de control de procesos.
- Arquitectura de control distribuido.
- Calidad, Comunicaciones con el entorno de trabajo.

Sus desventajas a corto y mediano plazo son: que requieren atención por personal adecuado y, presentan vulnerabilidad frente a condiciones agresivas del medio industrial.

Los dispositivos de control programable más comunes son: los autómatas programables (PLC), controladores industriales, las computadoras industriales (IPC), microcontroladores y el control industrial basado en PC.

- ✘ **Autómatas Programables (PLC).** Un autómata programable es un dispositivo de control (hardware) que se adapta a un proceso mediante un programa específico (software), que contiene la secuencia de las operaciones a realizar. Esta secuencia de operaciones se define sobre las señales de entrada y salida al proceso, conectadas directamente en los bornes de conexión del autómata. Ver figura 9.

Figura 9. Autómata programable



Fuente: www.siemens.com

Las señales de entrada pueden proceder de elementos digitales y analógicos. Las señales de salidas son órdenes digitales todo o nada, o señales analógicas en tensión o corriente, que se envían a los actuadores del proceso.

Los autómatas programables son dispositivos secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa del usuario almacenado en una memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas del proceso; al detectar cambio en las señales, el autómata reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso.

Todas estas acciones se repiten periódicamente, generando un ciclo de operación que necesita de un cierto tiempo para ser ejecutado. Este tiempo será determinante cuando el autómata pretenda controlar procesos rápidos, con señales de muy corta duración o alta frecuencia de conmutación.

- ✘ **Reguladores o controladores industriales.** Un regulador (figura 10) está concebido para generar una salida capaz de causar un efecto correctivo sobre la variable de proceso controlada para llevarla hacia un valor deseado llamado consigna. Esto se consigue mediante la comparación de la consigna con el valor real y la diferencia de estas dos magnitudes (error de regulación) es la base a partir de la cual actúa el control. Aquí se ve la necesidad de medir el valor real de la variable controlada, por ésta razón el sensor es un elemento crítico del sistema y cuando se compra se debe tener en cuenta que es la clave para poder realizar un buen control. De la misma manera, también se debe pensar en la instalación, especialmente en la forma en que se transmite los datos del sensor hacia el regulador y posibles fuentes de interferencias.

Figura 10. Controlador industrial



Fuente: www.omron.com

A pesar de la dura competencia que sufren por parte de los otros dispositivos de control, los reguladores industriales siguen siendo una opción muy válida para controlar variables como la temperatura, caudal, nivel o presión gracias a que se han especializado tanto en sus algoritmos de control como en sus capacidades de comunicación con el entorno.

- ✘ **Computadoras Industriales.** Un computador industrial puede definirse como un sistema basado en un ordenador industrial configurable por el usuario, capaz de realizar múltiples funciones de supervisión, control, monitorización de la producción, manejo de alarmas y coordinación de aparatos.

El computador industrial utilizado como controlador deberá realizar con total normalidad las funciones encomendadas, dentro de un entorno severo de trabajo como es el industrial, al hacer correr sobre él un programa de software de control generalmente adaptado a las necesidades del usuario. En un entorno industrial, el computador industrial cumple las exigencias de un alto grado de seguridad (polvo, agua, interferencias electromagnéticas), accesibilidad y posibilidades de comunicarse con la red de automatización en la que estará incorporado.

Figura 11. Computador industrial



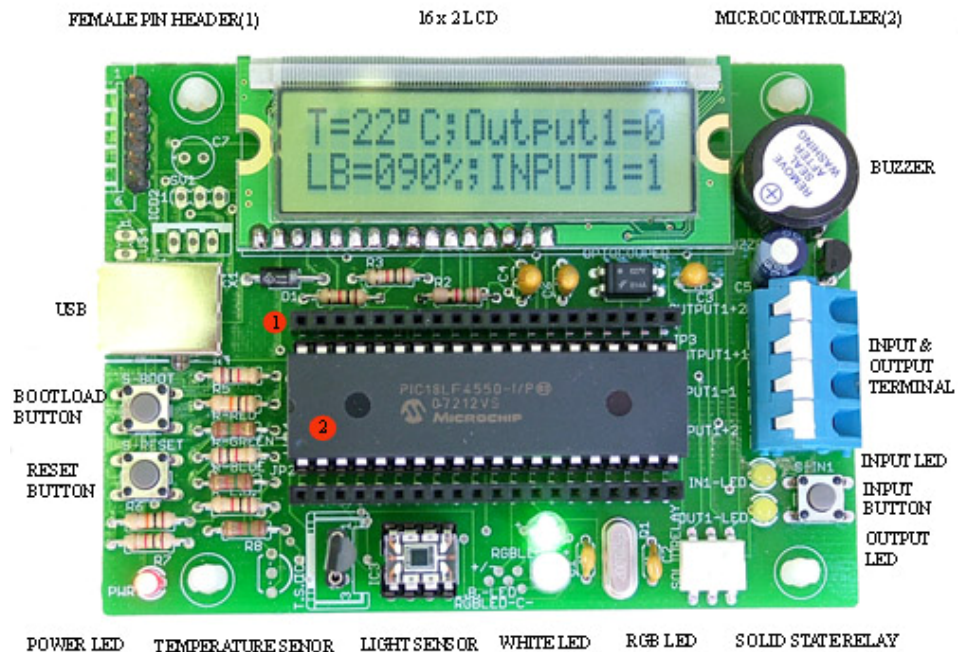
Fuente: www.duropc.com

Si observamos el entorno de un dispositivo de control industrial, podemos constatar que éste trabaja junto a gran cantidad de equipos electrónicos, sensores y accionadores, lo que dificulta la comunicación entre ellos. Por tanto, todas estas diferentes tareas de comunicación no pueden ser llevadas a cabo con cualquier hardware, software y red de comunicación, sino que es preciso una cuidadosa configuración del sistema de comunicación mediante redes que comuniquen todos los componentes, y es precisamente en este ámbito de aplicación donde están siendo utilizados cada vez más los computadores industriales (IPC). En conclusión, los computadores industriales, mejoran la capacidad de monitoreo, incrementan la velocidad y el almacenamiento de datos; éstas son algunas de las virtudes que ofrecen las últimas generaciones de los IPC.

- ✘ **Microcontroladores.** Un microcontrolador es un dispositivo electrónico capaz de llevar a cabo procesos lógicos que incluye en su interior las tres unidades funcionales de un ordenador: CPU, memoria y unidades de E/S, es decir, se trata de un computador monopastilla, aunque de limitadas prestaciones y que normalmente se dedica a resolver una tarea específica. La implementación

del sistema de control basado en microcontroladores se parece al planteado con el autómata.

Figura 12. Aplicación de microcontrolador



Fuente: www.rgbautomation.com/English/RGBAMiniCDS.html

- ✘ **Control Industrial basado en PC.** Dado que una solución basada en PC es fundamentalmente una solución basada en software, el primer elemento a considerar es el motor del software de control, es decir, el programa de software diseñado para controlar una operación. El sistema operativo más apropiado ha sido objeto de muchos debates entre los proveedores de software, ya que el sistema operativo debe estar diseñado para el control del hardware en tiempo real.

Al hablar genéricamente de un PC, en realidad se incluyen equipos de muy diversas características o precios; por tanto, otra decisión por tomar es el tipo de hardware (un computador de calidad comercial o un computador industrial). El computador de calidad comercial se puede adquirir a un bajo precio; para el caso de un computador industrial su costo puede ser sensiblemente elevado ya que tiene un blindaje que puede soportar el ambiente industrial.

Las ventajas para optar por las soluciones basadas en PC se refieren a las mejoras que proporcionan en cuanto a la flexibilidad, conectividad y acceso a la información. Los sistemas basados en PC son fácilmente ampliables y su configuración en redes de comunicación se puede realizar a bajo costo.

Igualmente, la capacidad del PC para operar con un elevado nivel de información lo convierte en una herramienta ideal para aplicaciones que impliquen grandes volúmenes de información y control. Por otra parte, la creciente utilización de dispositivos de red, proporciona cada vez mayor caudal de información de la planta, susceptibles de operar con tecnología de sistemas abiertos disponibles, que permiten conectar fácilmente a los computadores entre sí, y a éstos, con los procesos de planta.

Un sistema de control basado en PC necesita, para su ejecución, un mecanismo (hardware) que le permita intercambiar datos entre el proceso y el computador, ese mecanismo puede ser:

- Sistema modular distribuido basado en PC (Fieldpoint)
- Tarjetas de adquisición de datos.

- ***Sistema modular distribuido basado en PC (FieldPoint)***. Este es un sistema distribuido modular de E/S basado en PC con desempeño de grado

industrial e integración total de software, incluye una variedad de módulos aislados de E/S analógicas y digitales, bases terminales e interfases de red que se conecta con el computador a través del puerto serial RS-232.

El beneficio más obvio para las E/S distribuidas a escala industrial es el ahorro en cableado, pues se usa un simple cable de red de bajo costo que puede ahorrar tiempo significativo y dinero, durante la instalación y mantenimiento.

Adicionalmente, evita los problemas de interferencia de ruido que ocurren al usar cableado de señales analógicas de larga distancia.

Figura 13. Sistema de control modular y distribuido FieldPoint



Fuente: National Instruments

Los módulos FieldPoint presentan unas ventajas con respecto a otros productos del mismo tipo, ya que la proliferación de redes industriales abiertas se ha hecho más fácil la adquisición de datos y funciones de control fuera del campo. Usando tecnología de red robusta para posicionar

aparatos inteligentes de E/S distribuidas más cerca de los sensores, procesos o unidades bajo prueba, se pueden obtener ahorros significativos de costos y mejoras en el desempeño.

- **Tarjetas de adquisición de datos.** Cumplen la misma función que el Fieldpoint pero dejan de ser un sistema distribuido modular y se convierten en tarjetas especiales para cada tipo de señal en particular.

Figura 14. Tarjeta de adquisición de datos



Fuente: National Instruments

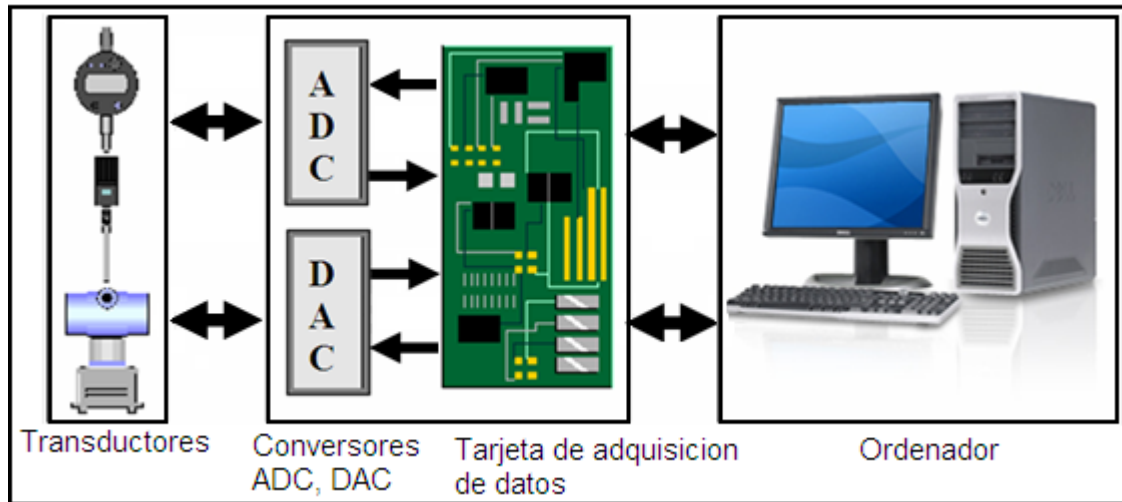
A su vez, para intercambiar datos se necesita de un componente software que realice las operaciones programables de los procesos de transferencia de información; fabricantes como National Instruments suministran el software (LabView), o este puede ser realizado por el usuario en lenguajes estándar como DELPHI, Visual Basic, C++, entre otros.

1.5 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

En todo proceso la captura de información es de suma importancia, ya que, la adquisición de datos permite determinar y configurar según la información las diferentes técnicas de control y monitoreo a implementar. Por tanto, la adquisición de datos tiene como objetivo principal, capturar los datos del proceso (sea presión, temperatura, humedad etc.) para su posterior utilización y así determinar la acción a tomar.

Todo sistema moderno de monitoreo y control tiene como estructura tres etapas como lo podemos ver en la figura 15. La primera etapa es la captura de las variables físicas por medio de sensores o transductores que traducen estas muestras en señales eléctricas para luego ser pasadas por acondicionadores de señales y ser filtradas de perturbaciones y ruido. Como una segunda etapa, tenemos, los módulos convertidores análogo – digital (ADC) que toman las señales de los sensores y la digitalizan de manera que los ordenadores lo puedan procesar, y los módulos digital – análogo (DAC) que van hacia los actuadores del sistema; las señales de los conversores pasan hacia el ordenador por medio de una interfaz que entabla comunicación con el procesador, a esta interfaz se le llama tarjeta de adquisición de datos, que es, la encargada de sincronizar los datos y enviarlos por el bus de datos hacia el procesador, de la misma forma el procesador envía datos hacia la tarjeta. Como una tercera etapa tenemos el ordenador que con ayuda de un software traduce los datos recolectados y los muestra al usuario.

Figura 15. Sistema de adquisición de datos



Fuente: Autor

Por tanto un sistema de adquisición de datos utiliza sensores, transductores, amplificadores, módulos de conversión análogo – digital y módulos de conversión digital–análogo, a continuación se dará el concepto de alguno de estos dispositivos, tomando en cuenta el breve concepto que se dio al inicio de este capítulo.

1.5.1 Transductores y sensores

Los sensores tienen un rol vital en todo sistema de adquisición de datos, ellos tienen la función de convertir la variable física en una magnitud eléctrica (voltaje, corriente, resistencia, capacidad, Inductancia, etc.). Entre las magnitudes físicas más importantes a registrar tenemos: temperatura, humedad, presión, concentración, iluminación, flujo, posición, nivel, peso, etc. Diversas pueden ser las variables ambientales, industriales, biológicas, químicas, etc. que en un momento determinado necesitamos poder controlar, esto provoca que sean también numerosos los tipos de sensores así como su principio de funcionamiento, lo cual determina generalmente el tipo de sensor a utilizar, por

tanto algunos dentro de los tipos de sensores tenemos los sensores de corriente, sensores de voltaje y sensores resistivos.

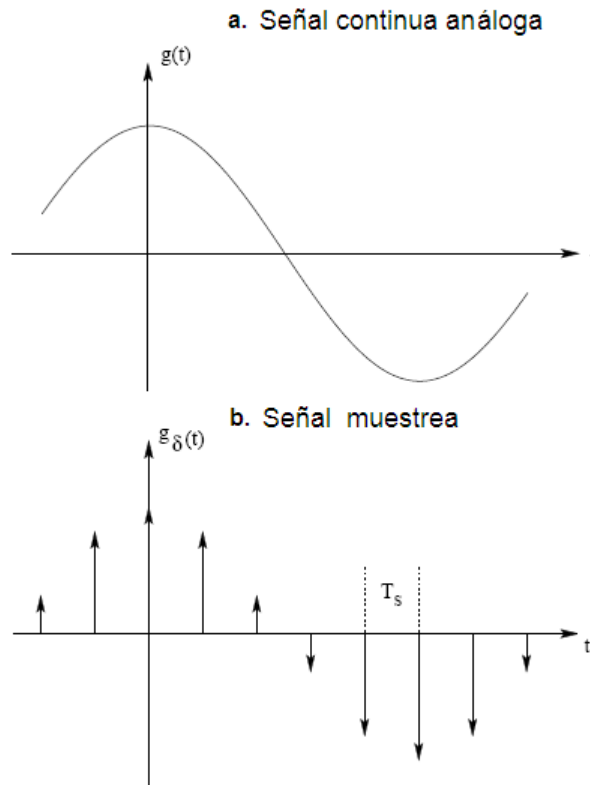
- **Sensor de corriente:** Convierte una magnitud física en un nivel de corriente directa equivalente, este tipo de sensor tiene como ventaja principal que el nivel de corriente obtenido puede ser transportado distancias grandes sin que se produzcan pérdidas significativas, su desventaja a la vez consiste que la corriente siempre tiene que ser convertida a voltaje antes de suministrarse a un conversor análogo-digital.
- **Sensor de voltaje:** Este tipo de sensor es el que entrega un nivel de voltaje equivalente a la señal física que se mide, normalmente los sensores industriales capaces de entregar un nivel de voltaje tienen incorporado circuitos acondicionadores, tales como Amplificadores de instrumentación y operacionales, comparadores, etc. Este tipo de sensores muchas veces incorpora resistores variables que permiten ajustar el rango de voltaje que ellos entregan al rango que nuestro conversor necesita, esta es su gran ventaja a su vez su desventaja es que la señal por ellos generada no puede ser transmitida más allá de unos pocos metros porque sin que se produzcan pérdidas en la misma
- **Sensor resistivo:** Este es un tipo de sensor que convierte la variación de una señal física en una variación de resistencia, entre los más comunes tenemos las termoresistencias. El inconveniente de este tipo de sensor es que se debe utilizar un puente de Wheatstone en algunas de sus variantes para convertir la variación de resistencia en una variación de voltaje.

1.5.2 Conversor Análogo-Digital (ADC) y conversor Digital-Análogo (DAC)

Esta etapa es la encargada de realizar el acondicionamiento de la señal ya sea para enviarla al ordenador (mediante el ADC) o para enviarla hacia los actuadores (mediante el DAC). El conversor ADC es una etapa donde se hace un segundo acondicionamiento y se convierte una señal analógica en un byte o palabra digital, esta conversión se da bajo el teorema de muestreo, cuantificación y codificación. Mientras que el conversor DAC es una etapa donde los datos digitales son convertidos en una señal analógica para ser enviadas a los actuadores.

- **Teorema de muestreo:** Como se puede ver en la figura 16, una señal continua puede representarse y reconstruirse por completo partiendo del conocimiento de sus valores o muestras en puntos igualmente espaciados en el tiempo. Esta propiedad se deriva de un resultado básico que se conoce como el teorema de muestreo, donde se expresa que la frecuencia de muestreo o frecuencia fundamental debe exceder a la frecuencia de la señal de banda limitada por lo menos al doble de esta señal. A este teorema de muestreo también se le conoce como el teorema de muestreo de Whittaker-Nyquist-Kotelnikov-Shannon, criterio de Nyquist o teorema de Nyquist, en honor a sus autores.

Figura 16. Señal continua y señal muestreada



Fuente: Autor

Dicho de otra forma, se tiene que para la reconstrucción exacta de una señal periódica continua en banda base a partir de sus muestras es matemáticamente posible si la señal está limitada en banda y la tasa de muestreo es superior al doble de su ancho de banda.

2 DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS IMPLEMENTADAS PARA EL DESARROLLO DE CADA UNO DE LOS VIS.

Las herramientas del software como el hardware de adquisición de datos implementado en el desarrollo de los instrumentos virtuales para el monitoreo y control son de la empresa “National Instruments”. El hardware implementado esta constituido por los módulos y tarjetas de adquisición de datos y los sensores y/o transductores utilizados en cada uno de los instrumentos virtuales.

El software utilizado para el desarrollo de los instrumentos virtuales esta compuesto por LabVIEW y MAX. LabView es un software con un ambiente de programación como lo son C ++ y Basic, sin embargo “LabView” es una aplicación diferente ya que este utiliza un lenguaje de programación grafico, denominado G, mientras que los demás programas están basados en lenguaje de texto para crear líneas de código. El software MAX (Measurement Automation Explorer) es el programa que se encarga de configurar el hardware de adquisición de datos instalado.

En cuanto al hardware tenemos los dispositivos encargados de la adquisición de datos y los dispositivos para la captura de las variables físicas. Los dispositivos encargados de la adquisición de datos y de transferirlas al PC son los sistemas modulares de control y distribuido E/S FielPoint y las tarjetas de adquisición de datos DAQ y el hardware encargado de la captura de las variables físicas del medio son los transductores y/o sensores.

2.1 HERRAMIENTA DE DESARROLLO DEL SOFTWARE.

National Instruments para el desarrollo de los Instrumentos Virtuales utiliza dos software las cuales se encarga uno de la programación de cada VI y el otro de la configuración de los dispositivos conectados.

2.1.1 Software para el desarrollo de los Instrumentos Virtuales

“LabVIEW” es un sistema de programación gráfico de propósito general con librerías extendidas para la adquisición de datos, GPIB (Bus de Interfase para Propósito General) y control de instrumentos seriales, análisis, presentación y almacenamientos de datos. Es un software que incluye herramientas que permiten animar la ejecución, colocar puntos de interrupción y simular el proceso, además, algunas de las características importantes del software son:

- ❖ Flexibilidad al cambio y actualizaciones del software
- ❖ Sistema de compilador gráfico que permite agilizar su ejecución
- ❖ Integra las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos
- ❖ Los VIs son modulares y jerárquicos.
- ❖ Permite una fácil integración con hardware específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos.
- ❖ Muestra la ejecución secuencial del programa.

Además, LabVIEW es un software que permite diseñar una interfase de usuario mediante una consola interactiva basado en software, donde, se puede diseñar especificando su sistema funcional, su diagrama de bloques o una notación de diseño de ingeniería; LabVIEW a su vez es compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con programas de otra área de aplicación como lo es “MatLab”. Este software es muy utilizado en sistemas de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control. LabVIEW como no es un

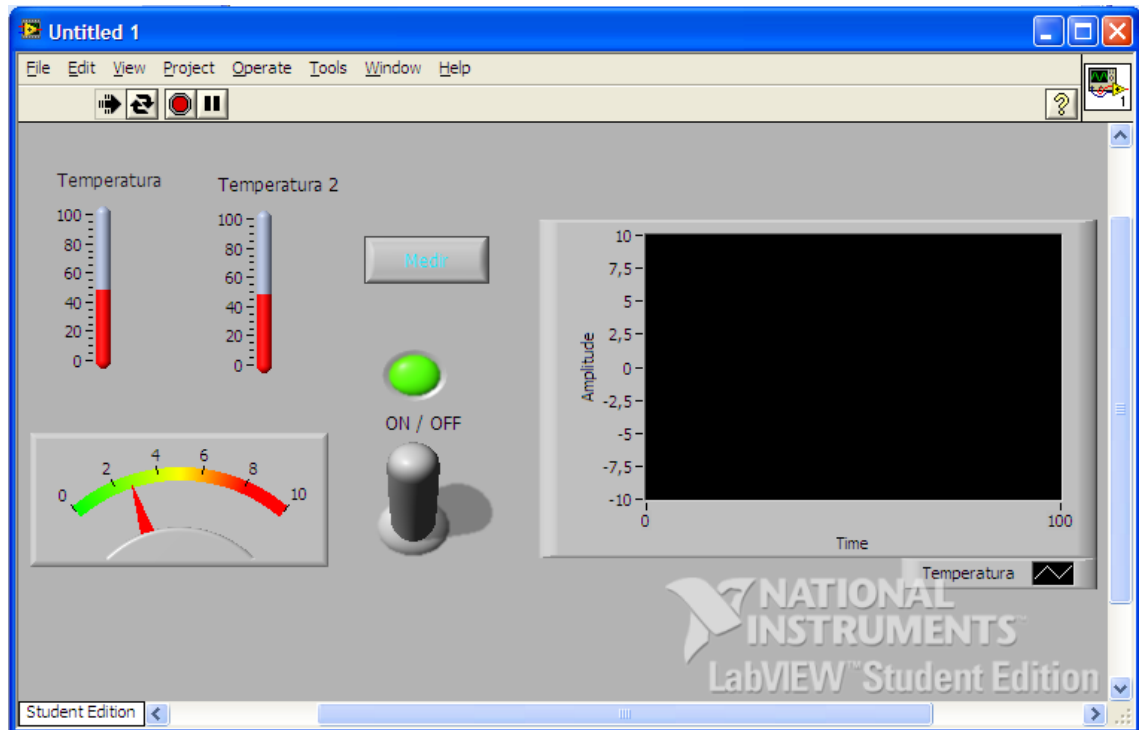
lenguaje propio de texto, este no se ejecuta “línea por línea”, el principio que gobierna la ejecución del programa es llamado Flujo de Dato – “Dataflow”, y consiste simplemente en que un nodo solamente se ejecuta cuando en las terminales de entrada han llegado todos los datos.

Los programas de LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales (VIs), debido a su apariencia y operación a un panel de control industrial. Su similitud a un panel industrial permite que se simule un ambiente industrial, ya que, posee instrumentos virtuales como lo son botones, perillas, switches, gráficos, pulsadores, leds y otros elementos utilizados en la industria. Los VIs constan de una interfase interactiva denominado Panel Frontal, una interfase donde se ubica el código fuente denominado Diagrama de Bloques y unas paletas de herramientas que le permiten crear o modificar el Panel Frontal y el Diagrama de Bloques.

- **Panel Frontal:** Es la interfase donde el usuario interactúa. Como vemos en la figura 17. es donde se simula el panel de control de un instrumento físico industrial, en el se encuentran los botones, switches, perillas, indicadores, gráficos y otros controles, que en conjunto permiten que el panel frontal sea fácil de entender y interpretar por el usuario.

El Panel Frontal es la interfaz que recoge las entradas procedentes del usuario por medio del teclado o Mouse y presenta las salidas proporcionadas por el programa por medio de indicadores o gráficos. Además, el Panel Frontal cuenta con una paleta de control donde se encuentran los dispositivos que le permiten al usuario construir su panel de control industrial, es hay, donde se toman los diferentes dispositivos de control e indicadores que se utilizaran en el desarrollo del instrumento virtual, mas delante de este capítulo se explicara un poco mas acerca de esta paleta de control.

Figura 17. Panel de control Industrial



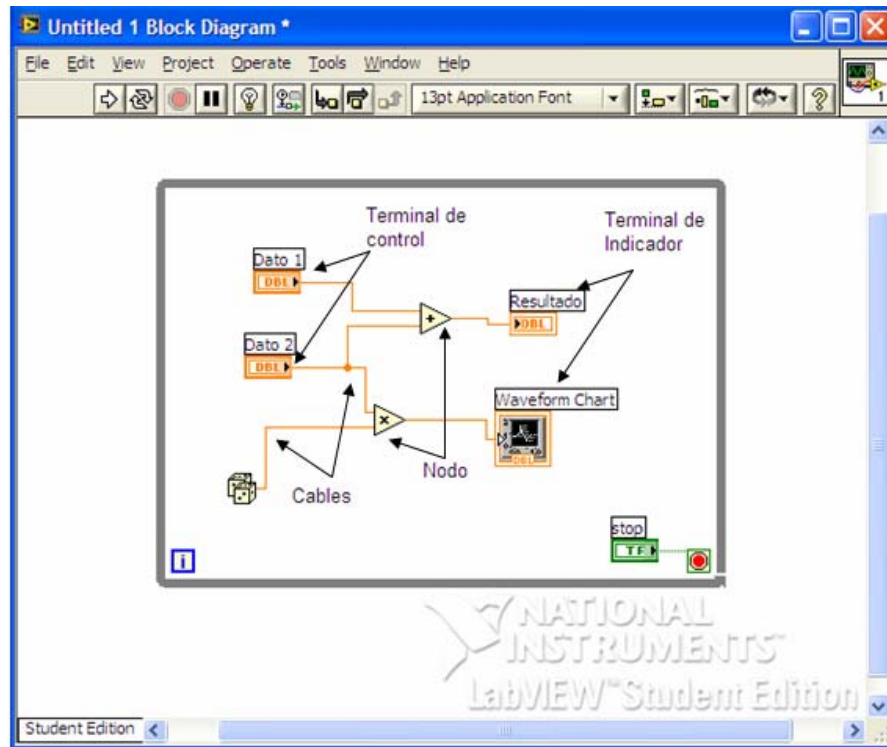
Fuente: Autor

- **Diagrama de Bloques:** El diagrama de bloques es donde se realiza el código fuente del VI y se realiza el control o procesamiento de las entradas y salidas creadas en el Panel Frontal. El diagrama de bloques incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora "LabVIEW" para facilitar su forma gráfica de programación ya que en el lenguaje gráfico (G) las funciones y las estructuras son nodos elementales.

Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal tal como lo muestra la figura 18 se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales, nodos y cables de conexión que se explicarán a continuación. El diagrama de bloques se construye conectando los distintos

objetos entre si, como si de un circuito se tratara, donde los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, permitiendo así que fluya los datos.

Figura 18. Código fuente en el Diagrama de Bloques



Fuente: Autor

- **Terminales:** Son regiones en un VI que a través de las cuales pasan datos. Los datos que se colocan en los controles digitales salen del panel frontal y entran al diagrama de bloque a través de los terminales de control del diagrama, por tanto, los terminales son la fuente u origen de entrada y son el destino o salida de datos. Ver figura 18.
- **Nodos:** Tal como lo muestra la figura 18, son elementos de ejecución del programa, son análogos a operadores, funciones y subrutinas en un lenguaje de programación estándar. Las funciones son un tipo de nodo,

igual que una estructura, en “LabVIEW” también tenemos un nodo especial llamado Nodo de Formula (Formula Node) utilizada para la evaluación de formulas orientadas a textos.

- **Cables:** Un cable es un camino de datos entre nodos, estos cables se coloren según sea el tipo de datos que conduzca, por ejemplo, los cables azules llevan enteros, los naranjas números punto flotante, los verdes llevan boléanos y los púrpuras llevan cadenas. No se puede cablear un Terminal de entrada a otro de entrada, o un Terminal de salida a otro de salida, pero se puede cablear uno de entrada a varios de salidas.

- **Paletas:** Son herramientas que “LabVIEW” proporciona para crear o modificar tanto el panel Frontal como el Diagrama de Bloques. Encontramos tres tipos de paletas las cuales son: La Paleta de herramientas, La Paleta de Control y La Paleta de Funciones.
 - **Paleta de Herramientas (Tools Palette):** Se emplea tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques, contiene las herramientas necesarias para editar y depurar los objetos tanto del panel frontal como del diagrama de bloques, tal como lo vemos en la figura 19.

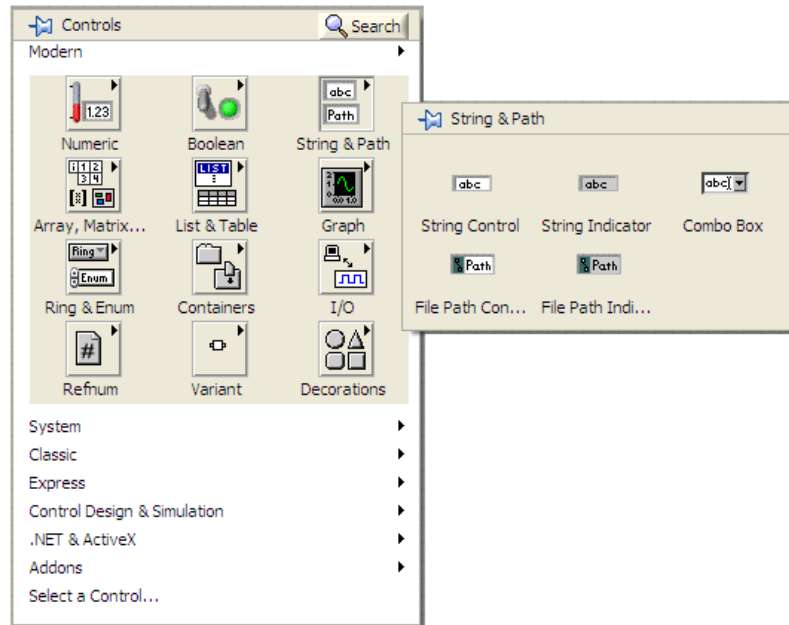
Figura 19. Paleta de Herramientas



Fuente: Autor

- **Paleta de control (Controls Tools):** Como vemos en la figura 20. la Paleta de control se muestra solo en el Panel de Control, en ella encontramos los controles e indicadores con los que se construirá la interfaz de control o VI. Al seleccionar objetos desde el menú Control estos aparecen sobre el panel Frontal y pueden colocarse donde convenga, a demás, tienen su propio menú desplegable que permite la configuración de algunos parámetros específicos de cada tipo de control.

Figura 20. Paleta de control.

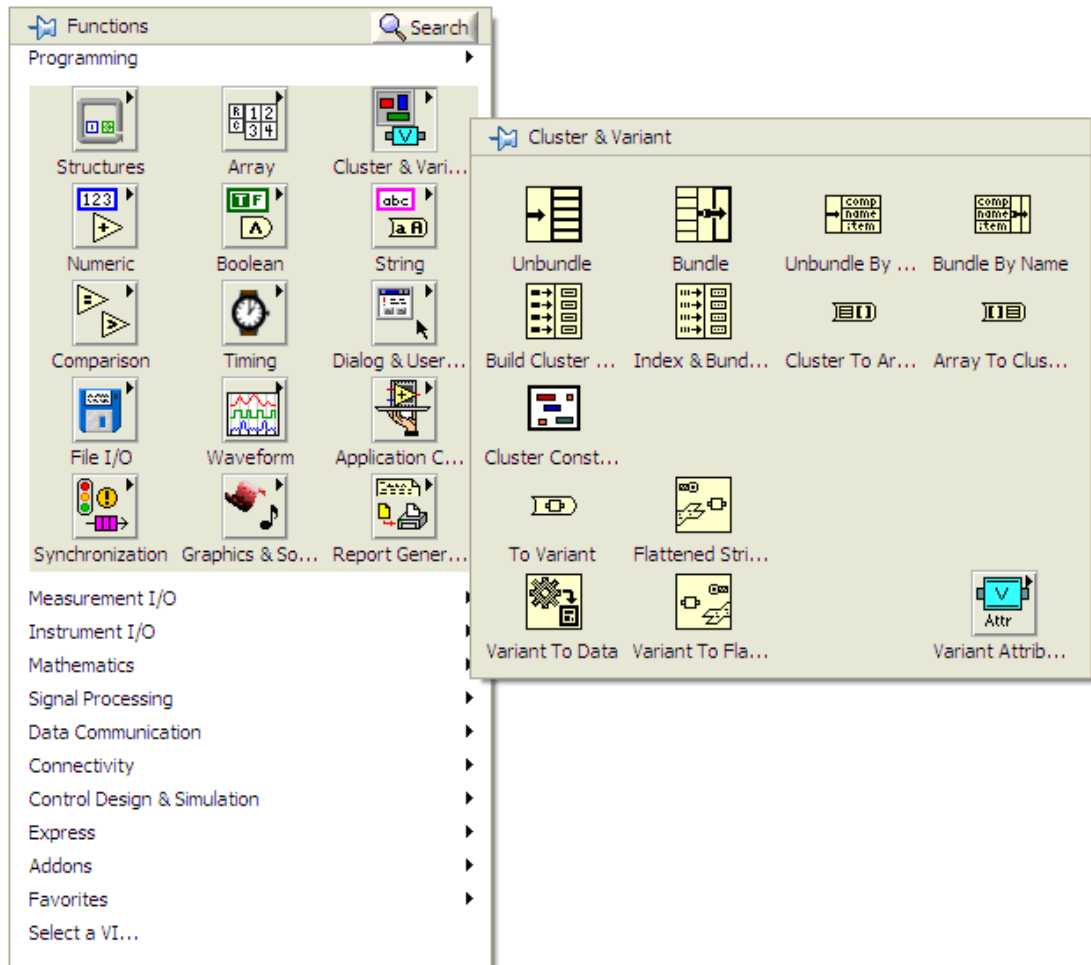


Fuente: Autor

- **Paleta de Funciones (Function Palette):** Esta paleta solo es habilitada en el diagrama de bloques, en ella se encuentran las funciones, subVIs y estructuras disponibles que se emplearan en la construcción del código fuente del VI. Estas funciones pueden ser funciones Aritméticas, funciones de entrada/salida de datos, de adquisición de datos y temporizadores de la ejecución del programa.

En esta paleta igual que en la paleta de funciones tenemos varios submenús que se despliegan dependiendo de la aplicación. La paleta de funciones nos proporciona los elementos necesarios para la programación como lo son los nodos (constantes, indicadores, VIs, etc.) que nos permiten realizar el procesamiento de los datos como lo vemos en la figura 21.

Figura 21. Paleta de Funciones



Fuente: Autor

2.1.2 Software para la configuración de hardware

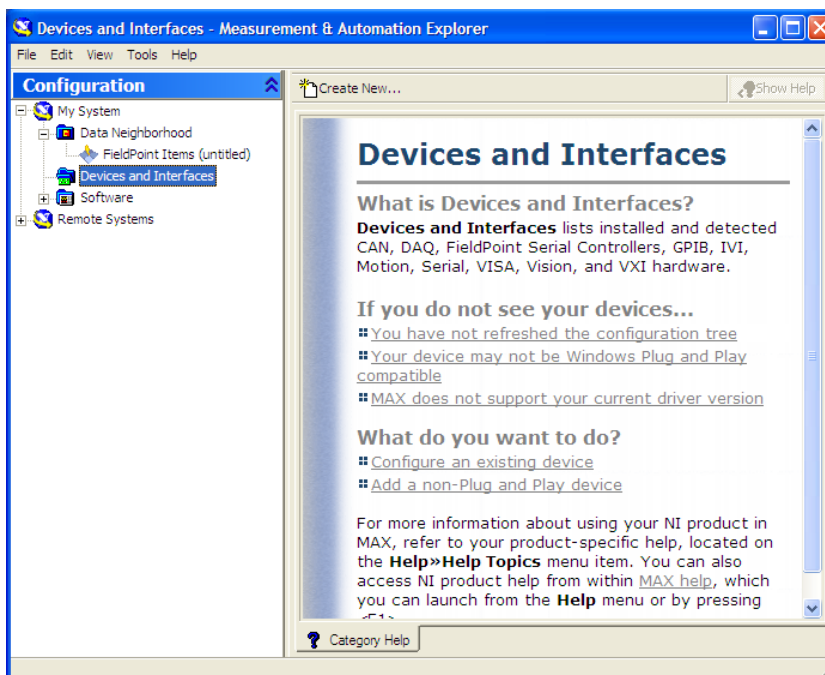
National Instruments además de “LabVIEW”, cuenta con el software “Measurement and Automation Explorer - MAX”, quien facilita el acceso al software y configuración de LabVIEW y los diferentes dispositivos conectados al ordenador como lo son el DAQ, GPIB, IMAQ, IVI, Motion, VISA, and VXI.

MAX realizando un diagnostico del sistema y detectando dispositivos e instrumentos conectados simplifica la configuración de su hardware de medición haciendo que el usuario pueda:

- Detectar y configurar todo el hardware
- Emplear paneles de prueba para verificar la operación de su hardware
- Realizar mediciones simples e interactivas
- Nombrar y colocar escalas a sus canales de E/S a unidades físicas o de ingeniería.

Una vez que MAX detecta automáticamente los dispositivos conectados, le asigna una ubicación dentro del árbol de configuración en la carpeta “Devices and Interfaces” como se muestra en la figura 22, allí el usuario puede acceder al dispositivo y configurarlo a su necesidad, permitiéndole además crear y editar canales virtuales, tareas, interfaces y escalas virtuales, para desarrollar una simulación real.

Figura 22. Ventana principal del Software “MAX”



Fuente: Autor

La configuración que el usuario realiza a cada uno de los dispositivos conectados, MAX permite guardarla con el fin de tener para cada prueba su archivo de configuración y ser utilizado cada vez que se requiera, este archivo tiene como extensión .iak. Una vez guardado la configuración LabVIEW permite desde su programación llamar este archivo y ejecutarlo de tal forma que inicie el proceso de adquisición de los datos y los envíe al VI para ser analizados.

2.2 HARDWARE PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

El hardware utilizado en la adquisición de datos para la construcción de cada uno de los instrumentos virtuales, son los sistemas modulares de control y distribuido E/S FielPoint y las tarjetas de adquisición de datos DAQ. Dentro de los sistemas modulares de control y distribuido E/S FielPoint encontramos módulos específicos según sea la señal a capturar, mientras que para las tarjetas de adquisición de datos DAQ, esta cuenta con puertos específicos de entrada y salida ya sean analógicos o digitales.

2.2.1 Sistemas modulares de control y distribuido E/S FielPoint

Los sistemas modulares son dispositivos encargados de desarrollar tareas específicas o de capturar señales específicas según sea el tipo de módulo, por tanto, estos módulos pueden ser de comunicación con el PC, módulos de entradas o salidas análogas, módulos de entradas o salidas digitales, módulos de termocuplas o un módulo contador.

- ❖ **Módulos de comunicación:** Son módulos que se encargan de comunicar el ordenador con cada uno de los módulos de adquisición de datos, el laboratorio cuenta con el modulo FP-1000 como se puede ver en la figura 23. Es un módulo de interfaz en red para sistemas de E/S FieldPoint, es el encargado de la comunicación entre la PC y los demás módulos de monitoreo y control, la comunicación con el PC lo hace por medio del puerto de red RS232 o el puerto RS485, y la de los módulos de E/S lo hace mediante un bus de datos de alta velocidad formado por las terminales base de los FielPoint; cada modulo FP-1000 puede conectar hasta nueve módulos de entrada salida de señales. El módulo de interfaz de red también proporciona diagnóstico y características de configuración automática para simplificar la instalación, uso y mantenimiento, esto se realiza con ayuda del software de configuración de hardware Measurements & Automation Explorer.

Figura 23 Modulo de comunicación FP – 1000.



Fuente: Autor

❖ **Módulos de entrada y salida de señales análogas:** Dentro de estos módulos tenemos el FP-AI-110 mostrado en la figura 24, es un modulo entradas analógicas, versátil, mide señales dentro del rango de milivoltios hasta niveles de 120 voltios y corrientes desde miliamperios, en la tabla que se esta junto a la figura 24 se muestra la asignación de los terminales; también tenemos, el FP-AO-210 y el FP-AO-200 módulos de salida analógico de voltaje y corriente respectivamente. El FP-AO-210 mostrado en la figura 25, modulo de 8 canales analógicos que van desde cero (0) a diez (10) voltios con una corriente por cada canal de diez miliamperios, en la tabla junto a la figura 25 se muestra la asignación de los terminales, y el FP-AO-200 mostrado en la figura 26 , modulo de 8 canales analógicas que van desde cero (0) a veinte miliamperios (20mA) o cuatro (4) a veinte miliamperios (20mA) por cada canal, en la tabla junto a la figura 26 se muestra la asignación de terminales.

Figura 24. Modulo de entradas analógicas FP-AI-110.



Canal	Numero de los terminales			
	VIN	IIN	Vsup	COM
0	1	2	17	18
1	3	4	19	20
2	5	6	21	22
3	7	8	23	24
4	9	10	25	26
5	11	12	27	28
6	13	14	29	30
7	15	16	31	32

Fuente: autor

Figura 25. Modulo de Salidas Analógicas FP-AO-210.



FP - AO - 210			
Canal	Numero de los terminales		
	Vout	COM	Vsup
0	1	2,18	17
1	3	4,20	19
2	5	6,22	21
3	7	8,24	23
4	9	10,26	25
5	11	12,28	27
6	13	14,30	29
7	15	16,32	31

Fuente: Autor

Figura 26. Modulo de salidas analógicas FP-AO-200.



FP - AO - 200			
Canal	Numero de los terminales		
	Iout	COM	Vsup
0	1	2,18	17
1	3	4,20	19
2	5	6,22	21
3	7	8,24	23
4	9	10,26	25
5	11	12,28	27
6	13	14,30	29
7	15	16,32	31

Fuente: Autor

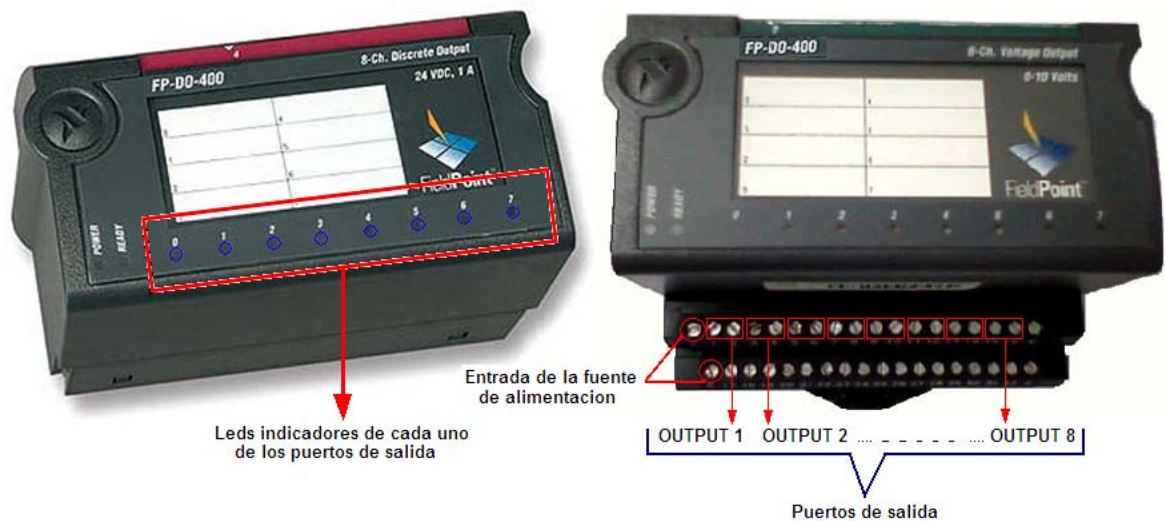
Algunas de las características de estos módulos son:

- ✓ Detección de sobrecorrientes para cableado
- ✓ Depuración de sensores
- ✓ Protección contra corto circuito para errores de cableado

- ✓ Diagnostico para garantizar que no hayan problemas de instalación y mantenimiento.

❖ **Módulo de salida de datos digitales:** Como se muestra en la figura 27, tenemos el módulo FP-DO-400, instrumento que ofrece ocho canales de salidas digitales, cada canal compatible con voltajes desde 5 a 30 VDC, con puerto para conectar una fuente externa y obtener hasta 1,5 amperios por canal y un máximo de corriente de 8 amperios cuadrados por modulo, a demás cuenta con unos leds indicadores de cada canal para indicar si hay datos a la salida del modulo. En la tabla 2 se lista la asignación de cada terminal.

Figura 27 Modulo de salidas digitales FP-DO-400



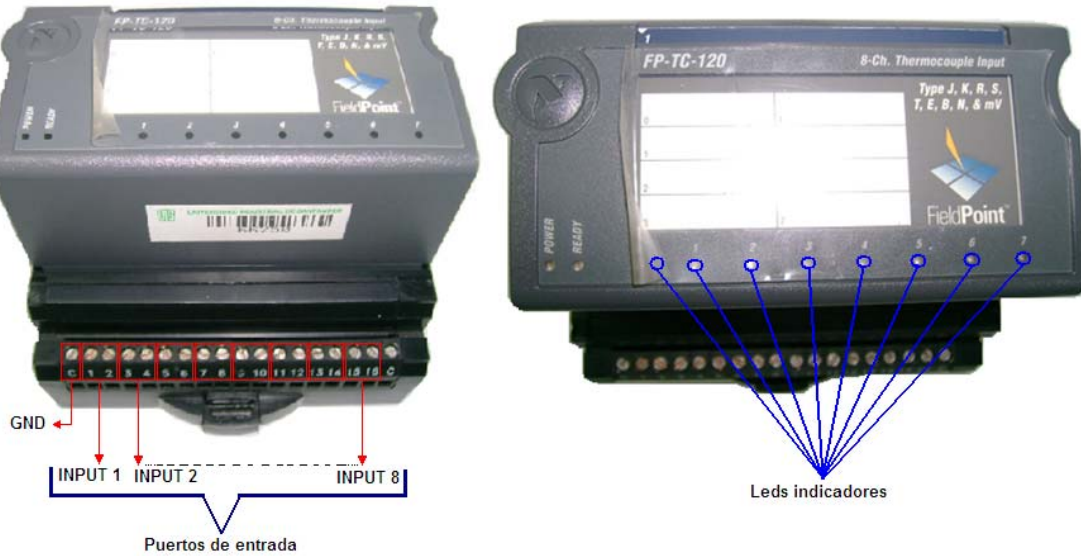
Fuente: Autor

Tabla 1. Asignación de Terminales del FP-DO-400

Canal	Número de terminales		
	V _{OUT}	V _{Sup}	COM
0	1	17	2,18
1	3	19	4,20
2	5	21	6,22
3	7	23	8,24
4	9	25	10,26
5	11	27	12,28
6	13	29	14,30
7	15	31	16,32

- ❖ **Módulo de termocuplas:** El FP-TC-120 como se ve en la figura 28, es un módulo de termocuplas que permite conectar hasta 8 termopares estándares tipo J, K, T, N, R, S, E y B, con conexión directa al modulo sin necesidad de conectar acondicionadores de señal, estos tienen un circuito acondicionador de señales interno, un circuito de aislamiento doble, un circuito de filtrado de ruido en entradas y un convertidor analógico digital para la transferencia de los datos al ordenador por medio del modulo de red. En la tabla 3 se indica la asignación de cada uno de los puertos de entrada con su respectiva numeración.

Figura 28 Modulo de Termocuplas FP-TC-120



Fuente: Autor

Tabla 2. Asignación de Terminales del FP-TC-120

Canal	Número de terminales		
	IN (+)	IN (-)	COM
0	1	2	18
1	3	4	20
2	5	6	22
3	7	8	24
4	9	10	26
5	11	12	28
6	13	14	30
7	15	16	32

❖ **Modulo contador:** Como modulo contador tenemos el FP-CTR-500 mostrado en la figura 29, módulo que posee ocho contadores de entrada, cuatro entradas GATE y cuatro puertos de salida, es un modulo que permite generar o recibir pulsos o señales. Este modulo es usado para contar pulsos, como

también, lo suficientemente rápido para capturar señales de hasta 50 kHz y lo suficientemente flexible para medir frecuencia. En la tabla 4 se indica la asignación de los terminales tanto de entrada como salida con su respectiva numeración.

Figura 29. Modulo Contador FP-CTR 500



Fuente: Autor

Tabla 3. Asignación de Terminales del FP-CTR-500

Canal	Número de terminales			Canal	Número de terminales		
	V _{OUT}	V _{Sup}	COM		V _{OUT}	V _{Sup}	COM
C0	1	17	18	G0	9	25	26
C1	2	17	18	G1	10	25	26
C2	3	19	20	G2	11	27	28
C3	4	19	20	G3	12	27	28
C4	5	21	22	Salidas			
C5	6	21	22	O1	13	29	30
C6	7	23	24	O2	14	29	30
C7	8	23	24	O3	15	31	32
				O4	17	31	32

Un aspecto importante dentro de las características de cada uno de los módulos de adquisición de datos es la velocidad de muestreo que cada modulo tiene para capturar la mayor parte de datos en un segundo, por tanto, tenemos dos factores que limitan la velocidad de muestreo en el proceso de captura, que es, la velocidad de actualización de los canales y la velocidad de los datos sobre la red.

La velocidad de actualización no es mas si no que tan rápido el modulo puede leer los datos del puerto, esta característica es encontrada en cada una de las hojas de datos de cada modulo; y la velocidad de los datos sobre la red, no es mas si no la rapidez con la que el modulo de red pasa los datos desde él hasta el ordenador. Cualquiera de estos dos factores va ser la limitante de la velocidad de muestreo en el proceso y la limitante del procesamiento de los datos en el programa para entregar un resultado correcto y preciso.

Lo que tenemos que recordar es que la velocidad de muestreo de un módulo de E/S y la velocidad de datos sobre la red son completamente independientes. Algunas veces dependiendo del sistema, el módulo E/S puede muestrear datos más rápido que lo que uno puede leerlos, y algunas veces también uno puede leer datos más rápido de lo que uno puede actualizarlos, por lo que siempre se debe sincronizar estos valores para no tener perdida de datos o repetición de datos. No hay ninguna aplicación que se pueda utilizar para prevenir la pérdida de datos, ya que es un proceso continuo y hace que se sobrescriban los datos antes que se actualicen o una aplicación que permita filtrar el mismo valor para prevenir que se repita de ser leído varias veces, por tanto siempre se debe tener en cuenta que la velocidad de muestreo debe estar siempre por debajo de la velocidad de muestreo del modulo mas critico, esto para garantizar que la información este completa y así entregar lo mas preciso posible los resultados.

2.2.2 Tarjetas de adquisición de datos DAQ

Como ya se dijo en el capítulo anterior, la adquisición de datos es la toma de muestras del mundo real para generar datos que pueden ser manipulados por un ordenador. Por tanto, las tarjetas de adquisición de datos son dispositivos encargados de capturar, acondicionar y digitalizar las señales, para luego, ser transmitidas hacia un ordenador y ser procesadas.

La adquisición de datos es la combinación de hardware y software basados en PC para brindar un sistema de medida flexible y definido por el usuario. A menudo, usted debe acondicionar sensores y señales antes que un dispositivo de adquisición de datos los adquiera. Como ejemplo tenemos la tarjeta de adquisición de datos NI USB-9006 que se muestra en la figura 30.

Figura 30. Tarjeta de adquisición de datos NI USB-9006



Fuente: www.ni.com

Es un dispositivo multifunción con conexión USB de ocho (8) entradas analógicas (14 bits, 48Ks/s), dos salidas analógicas (12 bits a 150 S/s), doce Entradas / Salidas digitales y un contador de 32 bits. Estos módulos son lo suficientemente simple para mediciones rápidas, pero lo suficientemente versátil como para obtener más complejas aplicaciones de medición.

2.3 HARDWARE PARA LA CAPTURA DE VARIABLES FÍSICAS

EL hardware para la captura de variables físicas del medio son los transductores, dispositivos que convierten una propiedad física o fenómeno en una señal eléctrica medible, tales como tensión, corriente, el cambio en los valores de resistencia o condensador. Los transductores son sinónimo de sensores en sistemas de adquisición de datos, por tanto, hay sensores o transductores específicos para diferentes aplicaciones, como lo es la medición de temperatura, presión, flujo, humedad, etc.

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron sensores para la medición de la temperatura, presión y humedad, entre estos sensores tenemos: las termocuplas para la medición de las temperaturas, sensores de presión tipo diafragma para la medición de presión y un sensor de humedad de referencia HTM 2500. A continuación se dará una breve descripción de cada uno de estos sensores:

- ▶ **Termocuplas:** Es un sensor para medir temperatura, esta conformado por la unión de dos hilos conductores de diferente aleación en cuyos terminales se genera una diferencia de potencial (Voltaje). El principio de medición de temperatura utilizando termocuplas se basa en tres principios físicos, que son, Efecto Seebeck, Efecto Peltier, y Efecto Thomson, en el cual al aplicar

temperatura en la unión de los dos hilos estos generan un voltaje muy pequeño del orden de los milivoltios. Este valor de voltaje aumenta según el incremento de la temperatura en el punto de unión de los hilos y según sea los materiales de cada uno de los hilos de conducción; por tanto según la aleación de los conductores las termocuplas las podemos dividir en siete tipos que son: la B, R, S, J, K, T y la E. Esta designación de nombrar las termocuplas con letras fue hecha por la Sociedad Americana de Instrumentos (ISA).

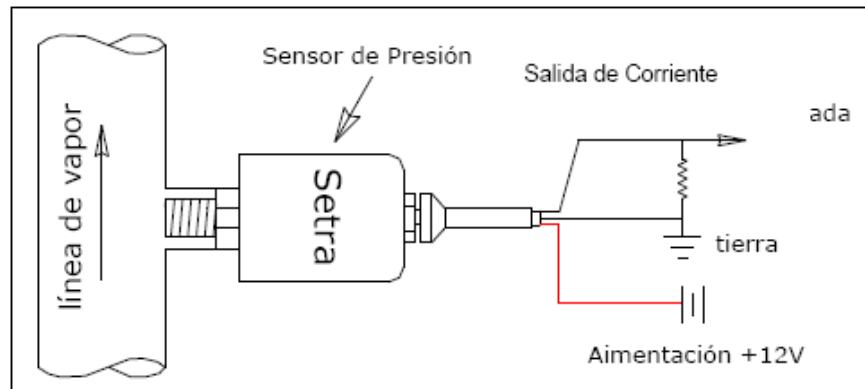
A continuación se tabularan en la tabla 5 los siete tipos de termocuplas, donde se describe el tipo de aleación, el código y el rango de temperaturas.

Tabla 4. Tipos de Termocuplas

TERMOCUPLAS			
Tipo	Aleación	Código	Rango de Temp.
J	Hierro/Constantan	JP	-73°C a 427°C
		JN	427°C a 760°C
K	Cromo/Aluminio	KP	0°C a 277°C
		KN	-101°C a -60°C
T	Cobre/Constantan	TP	-75°C a 93°C
		TN	99°C a 371°C
E	Cromo/Constantan	EP	0°C a 316°C
		EN	316°C a 871°C
R	Platino-Rodio/Platino	RP	Disponible hasta
		RN	1480°C
S	Platino-Rodio	Pt	Disponible hasta
		Rn	1480 °C
B	Platino-Rodio/Platino-Rodio	BP	Disponible hasta
		BN	1700°C

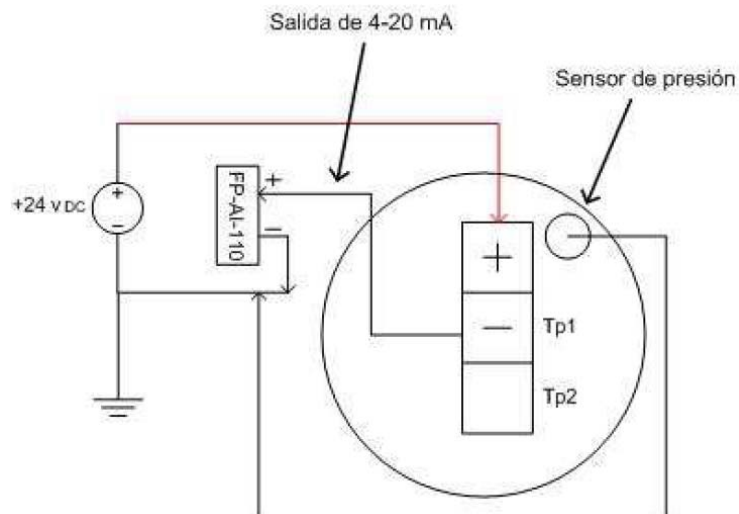
- ▶ **Sensores de Presión:** Para la medición de presión encontramos diferentes tipos de sensores en el mercado, pero el laboratorio cuenta con dos tipos de sensores de presión, uno de marca FOXBORO y otro de marca SETRA, sensores de material piezoeléctrico que producen una corriente proporcional a la presión. A continuación se muestran en la figura 31 y la Figura 32 los dos tipos de sensores y su forma de conexión.

Figura 31. Sensor de Presión Marca Setra



Fuente: Autor

Figura 32. Sensor de Presión Marca Foxboro



Fuente: Autor

- ▶ **Sensor de Humedad (HTM 2500):** Para la medición de la humedad el laboratorio cuenta con el sensor de humedad HTM 2500 mostrado en la figura 33, sensor dedicado a la medición de la humedad y temperatura, es un sensor fiable y veras para mediciones de procesos ya sean industriales o procesos de control. Este transductor nos proporciona una medida exacta dentro del rango de 10 a 95% de humedad relativa, teniendo una respuesta lineal según sea la humedad. Es un dispositivo que internamente posee un microcontrolador que nos entrega una señal de voltaje según sea la humedad y un valor de resistencia según sea la temperatura del medio, estos valores tanto de resistencia como voltaje son niveles que van cambiando proporcionalmente.

Figura 33. Sensor de Humedad HTM 2500



- Hermetic Housing
- Humidity calibrated within +/-2% @55%RH
- Temperature measurement through NTC 10kOhms +/- 3% direct output
- Small size product
- Typical 1 to 4 Volt DC output for 0 to 100%RH at 5Vdc

Fuente: Autor

3 DESARROLLO DE LOS INSTRUMENTOS VIRTUALES PARA CADA UNO DE LOS BANCOS Y/O SISTEMAS PERTENECIENTES AL LABORATORIO DE PLANTAS TÉRMICAS.

En este capítulo se describen los programas desarrollados en Labview para el monitoreo y control de los bancos y/o sistemas que pertenecen al laboratorio de transferencia de calor, refrigeración y la planta térmica. Cada programa, que llamaremos VI (Virtual Instruments), se diseñó en base al objetivo de la prueba que se desarrolla en dichos bancos y/o sistemas, integrando la visualización de datos, gráficos, esquemas y otras herramientas, ofreciéndole al usuario, una interfaz sencilla en su operación.

Los bancos y/o sistemas que tendrán una VI desarrollada en “Labview” y una configuración del hardware en “MAX” para el monitoreo y control son:

- **Bancos del laboratorio de transferencia de calor aplicada**
 - ✓ Conducción transitoria: medición de temperatura
 - ✓ Convección: medición de temperaturas
 - ✓ Emisividad: Medición de temperaturas
 - ✓ Intercambiadores de tubos concéntricos: medición de temperaturas.
 - ✓ Torres de enfriamiento: medición de temperatura, humedad relativa.
 - ✓ Intercambiadores de casco y tubos: medición de temperaturas.
 - ✓ Colector solar: medición de temperatura, radiación solar.

- **Planta térmica**

- ✓ Caldera pirótubular:
 - Sistema de control ON-OFF
 - Sistema de control continuo
- ✓ Turbina: medición de velocidad rotacional.
- ✓ Condensador: medición de temperatura en el agua de entrada de intercambio
- ✓ Sobrecalentador y economizador: medición de temperaturas
- ✓ Generación eléctrica: cuantificación de energía generada.

- **Refrigeración**

- ✓ Cuarto frío:
 - Sistema de control ON-OFF
 - Sistema de control continuo

3.1 ASPECTOS PARA EL DISEÑO DE LA VI DE CADA SISTEMA Y/O BANCO.

Para el diseño de cada VI de los bancos enunciados anteriormente, se consideraron los siguientes aspectos desde el punto de vista operativo:

- Definición del objeto de la prueba y los elementos del banco y/o sistema.
- Selección del hardware requerido para la prueba y tabla de conexión de sensores.
- Implementación del software LabVIEW de monitoreo y control para cada VI.

3.1.1 Definición del objeto de la prueba y elementos del banco y/o sistema.

Los bancos y/o sistemas que pertenecen al laboratorio, fueron construidos para el estudio de algún fenómeno relacionado con la transferencia de calor o simulación de un sistema industrial y cuentan con los transductores y/o actuadores necesarios para registrar o actuar sobre las variables en estudio; por lo tanto es necesario describir el objetivo de la práctica o prueba, las partes del banco y la instrumentación requerida para definir el alcance del VI.

La metodología y teoría para el desarrollo de la practica, no esta dentro del alcance de esta tesis, esta información fue previamente desarrollada en el trabajo de grado titulado “Propuesta para la reorganización y adecuación del laboratorio de maquinas térmicas de la escuela de ingeniería mecánica”¹ del cual hay una copia en la laboratorio denominada “Manual de Protocolo”.

3.1.2 Hardware requerido para la prueba y tabla de conexión de sensores.

En el capitulo 2, se describió la plataforma de hardware utilizada para el desarrollo de las múltiples aplicaciones del laboratorio, la cual es:

- Sistema de control industrial modular y distribuido e/s Fieldpoint fabricados por National Instruments.

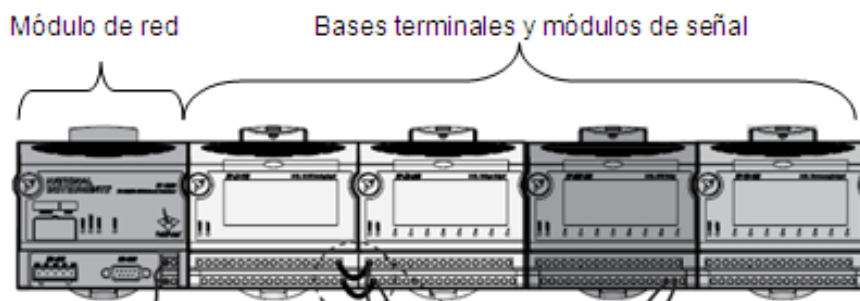
El montaje físico del hardware Fieldpoint es muy sencillo y modular, del cual se dará a continuación una breve explicación. Todo el conjunto se ensambla en un riel DIN, el primer modulo en el montaje es el de red, FP-1000 o FP- 1601, ubicado a mano izquierda de la figura 34-a; seguido al modulo de red se ensamblan las bases terminales (ver figura 34-b), FP-TB-1 (32 terminales) o FP-TB-3 (16

¹ Trabajo de grado elaborado por Cesar Chacon y Luis Flores en el año 2001.

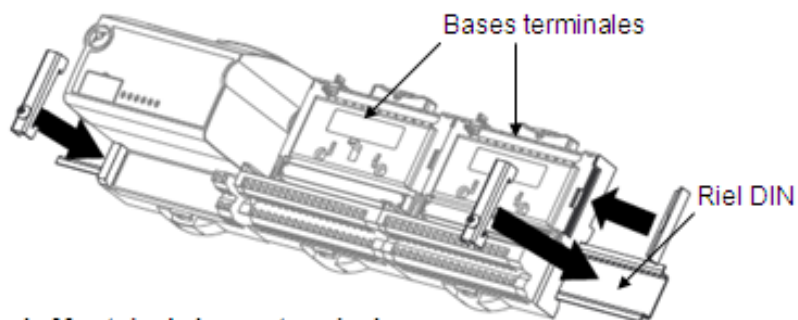
terminales), dependiendo de las cantidad de módulos de señales requeridos, y finalmente, se montan sobre las bases terminales los módulos de señales, figura 34-c.

El instructivo de montaje esta detallado en los documentos que viene incluidos con el hardware, ver referencias “FP-1000 and FP-1001 Quick Start Guide”, “FP-1000 and FP-1001 User Manual” y “FP-TB-1/2/3 Terminal Bases”.

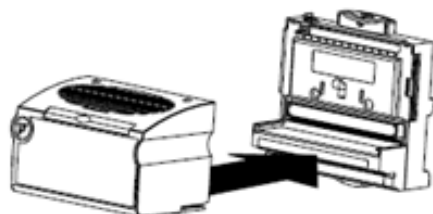
Figura 34. Montaje Hardware Fieldpoint.



a. Vista General Hardware Fieldpoint



b. Montaje de bases terminales



c. Montaje de modulo de señal en base terminal

Fuente: Autor

El paso a seguir una vez montado el hardware es alimentar el modulo de red y los módulos de señales que lo requieran, también se deberán conectar físicamente a las bases terminales los sensores y/o actuadores involucrados en la prueba, el diagrama de conexiones para cada banco y/o sistema esta incluido en el anexo A, “Manual de operación”.

El orden o canal en el cual se conectan los terminales de los sensores y/o actuadores a las bases terminales se define previamente y se deberá conectar siempre con el mismo orden, la razón es que en base a este orden de conexión se diseña el VI. En la descripción de cada VI, se incluirá un resumen del montaje del hardware y conexiones en las bases terminales tal como aparece en la tabla 5.

En la tabla 5 encontramos lo referente a:

- ★ La posición del modulo en el riel: al primer modulo conectado de izquierda a derecha se le da la posición cero y a partir de este se sigue enumerando.
- ★ El modulo a utilizar: en esta columna se especifica el tipo, la referencia y la base terminal.
- ★ Los canales activos o canales a usar
- ★ El tipo de elemento o sensor conectado a cada terminal.
- ★ El rango y unidad: en el se indica el nivel de la señal a manejar.
- ★ El numero del terminal al que estará conectado el sensor
- ★ La polaridad del terminal para su conexión.

Tabla 5. Plantilla base para el montaje de hardware y conexiones a bases terminales

POSICIÓN	MODULO	CANALES ACTIVOS	TIPO DE ELEMENTO	RANGO Y UNIDAD	TERMINAL	POLARIDAD
0	TIPO: RED	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	REFERENCIA: FP-1000					
	BASE TERMINAL: N/A					
1	TIPO: ENTRADAS ANALÓGICAS	2	CANAL 0 HUMEDAD	0-5 V	1 18	+ -
	REFERENCIA: FP-AI-110		CANAL 1 PRESIÓN	0-10 V	3 20	+ -
	BASE TERMINAL: FP-TB-1					
2	TIPO: TERMOCUPLAS	4	CANAL 0 TERMOCUPLA TIPO T		1 2	+ -
	REFERENCIA: FP-TC-120		CANAL 1 TERMOCUPLA TIPO T		3 4	+ -
	BASE TERMINAL: FP-TB-3		CANAL 2 TERRMOCUPLA TIPO T		5 6	+ -
			CANAL 3 TERMOCUPLA TIPO T		7 8	+ -

3.1.3 Implementación del software LabVIEW de monitoreo y control para cada VI.

El software LabVIEW es una herramienta orientada a aplicaciones de control de instrumentación, cada programa realizado es llamado Instrumento virtual (VI) y cada VI se encuentra constituido por un Diagrama de bloques y un Panel frontal.

El diagrama de bloques contiene el código de programación en lenguaje gráfico (Lenguaje G) y el panel frontal que es la interfaz entre el usuario y el banco y/o sistema, en ella se encuentran los controles y variables asociadas a cada entrada y/o salida.

Para el diseño del panel frontal se realizó una distribución del espacio por campos, de tal forma que se muestren los aspectos importantes que se requieren generalmente en todas las pruebas. Dentro de estos aspectos tenemos los que se muestran en la figura 6 en cada uno de los campos.

A continuación se dará una descripción breve de cada uno de estos campos:

1. Título, como su nombre lo indica, es el título de la prueba asociada al VI.
2. Debido a que cada prueba requiere una configuración de hardware definido, es necesario abrir el archivo de configuración, de extensión .iak, para tener la certeza de visualizar (o controlar) los puntos de medida (o acción) definidos.
3. Hace parte esencial de la prueba, guarda todos los datos para un posterior análisis, estos datos serán guardados con el nombre, la extensión y ubicación elegida por el usuario.
4. Son los datos de entrada definidos según el objetivo de la práctica a desarrollar en el banco, generalmente el dato básico en todas las VI es el tiempo de muestra.

Tabla 6. Distribución del espacio en campos del panel frontal.

1. Titulo		
2. Abrir el archivo de configuración del Fieldpoint.	5. Lista de chequeo. 6. Esquema del banco y visualización de datos.	7. Graficas con el histórico de datos.
3. Datos requeridos para generar archivo de registro.		8. Comando para detener el VI.
4. Datos de entrada para ejecución del VI		

5. La lista de chequeo tiene como fin asegurar la integridad de la práctica verificando que todos los componentes que hagan parte del banco y/o sistema tengan la disponibilidad y estén en el estado requerido para iniciar sin problemas, de lo contrario la VI no pasa a modo de ejecución. Esta lista de chequeo son valores de tipo booleano y están ubicados sobre el esquema del banco representado bombas, válvulas, interruptores entre otros.
6. En este espacio se ilustra el esquema del banco con sus partes principales, sobre este esquema se integran los controles que pertenecen a la lista de chequeo y se visualizan los datos de los puntos de medida.
7. En este espacio se inserta un grafico cuyo fin es mostrar el histórico de los datos en función del tiempo.

8. Ubicación del control para detener la VI.

Las variables que hacen parte de los campos del 2 al 5 se deben llenar o activar, dependiendo de la variable, antes de ejecutar la VI, esto garantiza la correcta operación del programa y una buena práctica de laboratorio.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS VI DE LOS BANCOS DEL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

En base a la distribución del espacio en campos del panel frontal representado en la tabla 6, hay campos de interacción entre el usuario y panel frontal similares en todas la VI diseñadas para los bancos del laboratorio de transferencia de calor; estos campos deben ser manipulados antes de ejecutar la VI.

Los campos a los que se hace mención son los siguientes:

* **Archivo de configuración del Hardware**


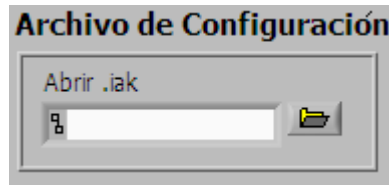
En este campo tal como se muestra en la figura 35, se debe plasmar la ruta de ubicación del archivo de configuración del hardware “Fieldpoint” el cual es elaborado para cada prueba específica; este archivo tiene como nombre “Configuración.iak” y esta ubicado en la misma carpeta donde esta la VI de la prueba. Su operación consiste en oprimir el botón  donde aparecerá un cuadro de dialogo, típico del sistema operativo Windows, para buscar y abrir el archivo de configuración.

Figura 35. Campo Archivo de configuración



Fuente: Autores

* Registro de Datos

Este campo tal como se muestra en la figura 36 tiene como fin darle nombre y extensión al archivo donde será consignado todos los datos de la prueba durante la ejecución de la VI; este archivo puede ser grabado como hoja de cálculo seleccionando la extensión “.xls” o como archivo de texto seleccionando la extensión “.txt”.

Figura 36. Campo Registro de Datos



Fuente: Autor

Una vez ejecutada la VI, el archivo se guardara por defecto en el escritorio del sistema operativo Windows.

* Tiempo de muestro

El tiempo de muestro hace parte de los datos de entrada de la VI y su unidad es en segundos. Este valor es el delta de tiempo en el que se requiere tomar datos de los sensores conectados al hardware y su valor depende de la prueba que se

este realizando, sin embargo el usuario puede ajustar este valor, para el caso de los VIs se tiene un dial donde se ajusta este tiempo tal como se muestra en la figura 37.

Figura 37. Campo Tiempo de muestreo



Fuente: Autor

Se recomienda no modificar este valor durante el desarrollo de la prueba.

A continuación se describen los bancos que pertenecen al laboratorio de transferencia de calor aplicada.

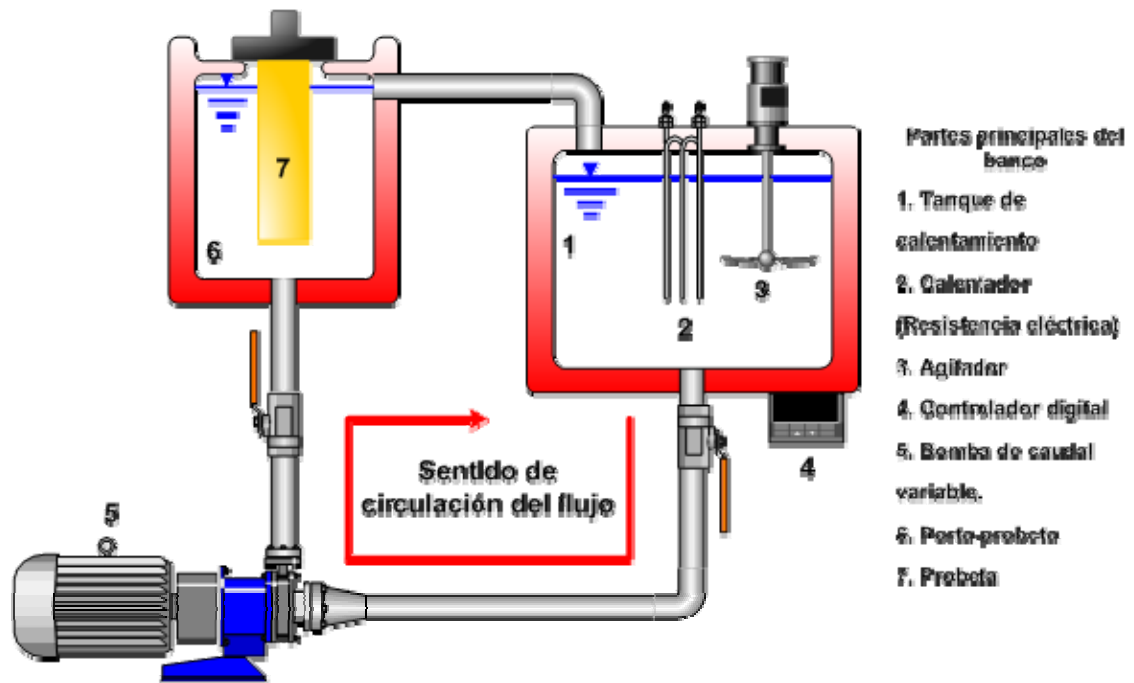
3.2.1 Banco de conducción transitoria

► Objetivo de la prueba y elementos del banco y/o sistema.

Esta prueba de laboratorio tiene como objeto comparar el comportamiento térmico transitorio y la capacidad calórica de un material.

Los objetos a estudiar y comparar son dos probetas cilíndricas de dimensiones similares y materiales diferentes, acero y cobre, que son sometidas a las mismas condiciones de estado transitorio, las cuales son creadas empleando el banco representado en figura 38.

Figura 38. Partes del banco de conducción transitoria



Fuente: Autores

El banco debe mantener las condiciones de convección alrededor de la probeta constantes, temperatura y flujo de agua. El flujo de agua es en ciclo cerrado, tal como lo muestra la figura 38. Para mantener la temperatura constante, el banco cuenta con un controlador on-off, que permite mantener la temperatura del agua de circulación en un valor seleccionado por el usuario; generalmente este valor esta entre 60°C y 70°C.

Para esta prueba se deben registrar los valores de temperatura de cada probeta con respecto al tiempo desde el momento de ser introducida en el porta-probeta hasta llegar a la temperatura del medio; también es necesario registrar el valor de temperatura del agua de circulación para verificar que permanece en un rango constante.

Los sensores de temperatura empleados en esta práctica son termocuplas tipo T; cada probeta tiene insertado una en su interior y hay una adicional ubicada en el porta-probeta.

► **Hardware requerido para la prueba y tabla de conexión de sensores.**

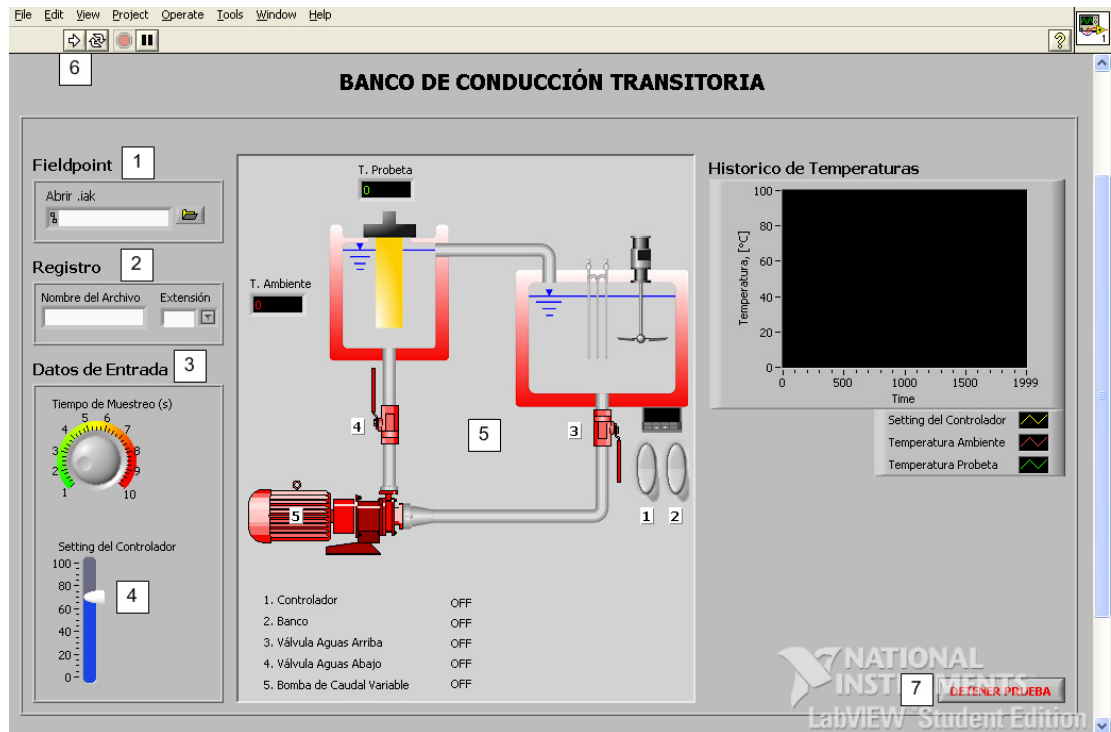
Tabla 7. Resumen del hardware y conexión de sensores para el banco de conducción transitoria

POSICIÓN	MODULO	CANALES ACTIVOS	TIPO DE ELEMENTO	RANGO Y UNIDAD	TERMINAL	POLARIDAD
0	TIPO: RED	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	REFERENCIA: FP-1000					
	BASE TERMINAL: N/A					
1	TIPO: TERMOCUPLAS	2	CANAL 0 TERMOCUPLA TIPO T		1	+
				mV	2	-
	REFERENCIA: FP-TC-120		CANAL 1 TERMOCUPLA TIPO T		3	+
				mV	4	-
	BASE TERMINAL: FP-TB-3					

► **Diseño del panel frontal y operación del VI.**

En la figura 39 se presenta la VI diseñada para el monitoreo de las variables de la prueba realizada en el banco de conducción transitoria.

Figura 39. Panel frontal para monitoreo del banco de conducción transitoria

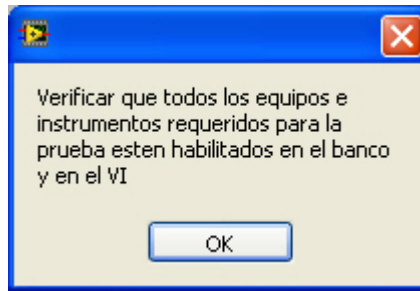


Fuente: Autores


Los pasos para la ejecución de la VI diseñada son los siguientes:

1. Abrir el archivo "Configuración transitoria.iak". (ver anexo B)
2. Dar nombre al archivo de registro y seleccionar la extensión.
3. Ajustar el tiempo de muestreo, por defecto este valor es de 2 segundos.
4. Ajustar el valor del "Setting del controlador" con el valor real del controlador de temperatura del banco.
5. Realizar la lista de chequeo dando clic sobre los controles que están ubicados en el esquema que representan los equipos y dispositivos del banco; si estos controles no son activados, al presionar el comando "Run" la VI no se ejecuta y se muestra la ventana de la figura 40.

Figura 40. Error de ejecución



Fuente: Autores

6. Ejecutar la VI presionando sobre el botón “Run” .
7. Para finalizar la ejecución de la VI se oprime el control “DETENER PRUEBA”.

3.2.2 Banco de convección

▶ **Objetivo de la prueba y elementos del banco y/o sistema.**

El objeto de esta práctica de laboratorio es analizar los fundamentos básicos de los procesos de transferencia de calor por convección forzada, natural y por condensación.

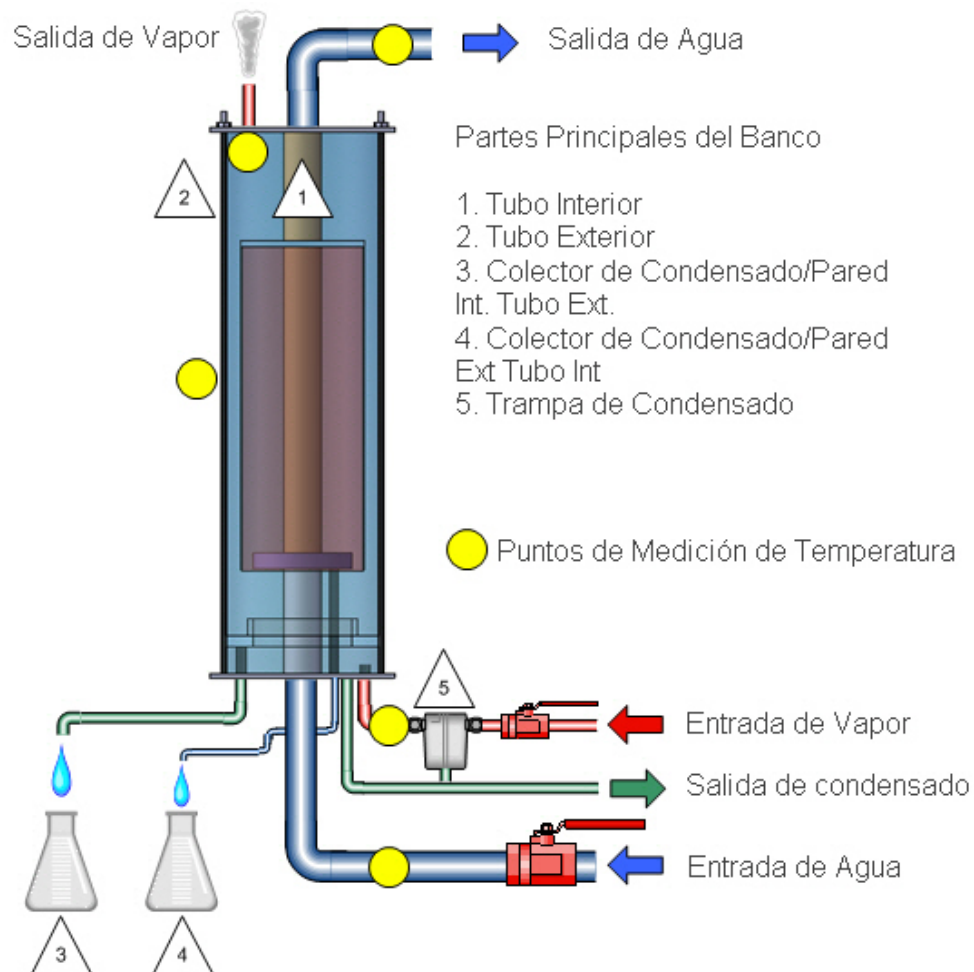
En la figura 41, se ilustra la configuración física y los fluidos que intervienen en el desarrollo de la práctica. Bajo esta configuración se presentan tres casos de convección:

- Convección forzada: el agua que circula por el tubo interior.
- Convección por condensación: el vapor que circula por el anular formado entre las superficies interna y externa de los tubos exterior e interior respectivamente, este se condensa debido a la transferencia de calor entre el

vapor – agua y vapor – ambiente exterior. La cantidad de masa condensada es recolectada durante el desarrollo de la práctica.

- Convección natural: el aire que esta en contacto con la superficie externa del tubo exterior esta relativamente inmóvil razón para considerar este tipo de convección.

Figura 41. Partes del Banco de Convección.



Fuente: Autores

Debido a que los fluidos físicamente no están en contacto directo, hay que considerar la transferencia de calor por conducción a través de las paredes de los tubos interior y exterior.

Durante el desarrollo de la práctica y para el análisis cuantitativo se requiere tomar el valor de temperatura de cinco puntos que son (ver figura 41):

- Temperatura del agua de entrada
- Temperatura del agua de salida
- Temperatura del vapor de entrada
- Temperatura del vapor de salida
- Temperatura de la superficie externa del tubo exterior.

Todas las variables presentes y medidas en el desarrollo de la práctica se deben registrar durante el estado estable del banco.

► **Hardware requerido para la prueba y tabla de conexión de sensores.**

Tabla 8. Resumen del hardware y conexión de sensores para el banco de convección.

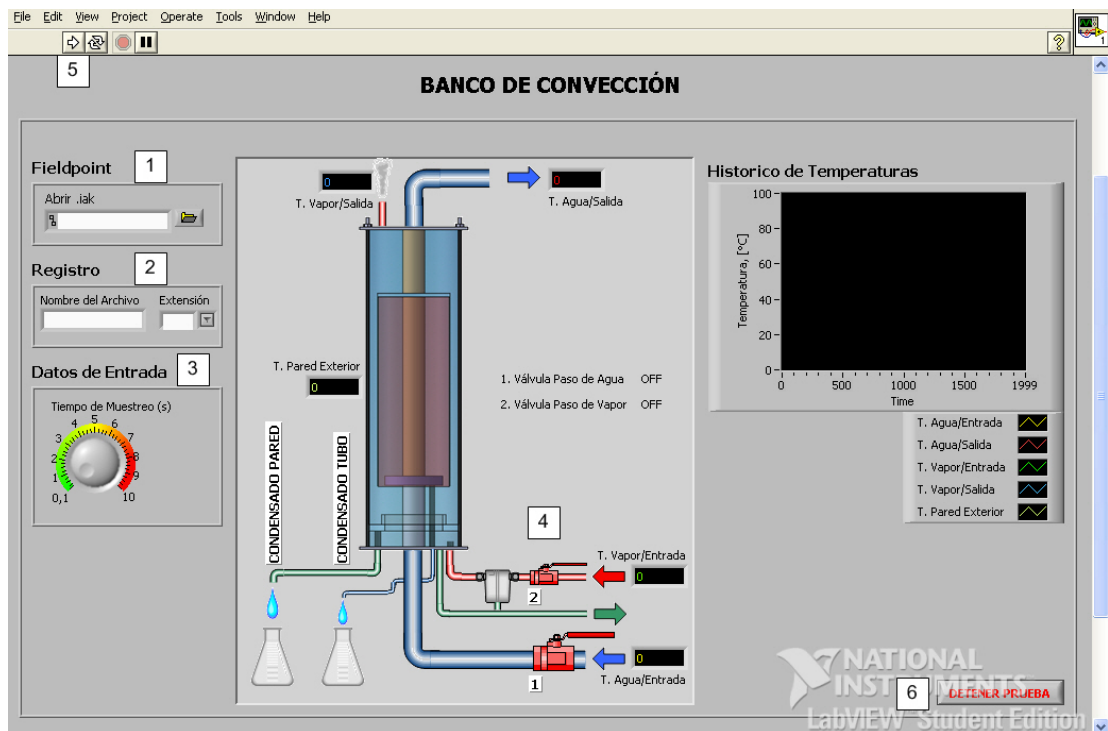
POSICIÓN	MODULO	CANALES ACTIVOS	TIPO DE ELEMENTO	RANGO Y UNIDAD	TERMINAL	POLARIDAD
0	TIPO: RED	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	REFERENCIA: FP-1000					
	BASE TERMINAL: N/A					
1	TIPO: TERMOCUPLAS	5	CANAL 0		1	+
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	2	-
	REFERENCIA: FP-TC-120		CANAL 1		3	+
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	4	-
	BASE TERMINAL: FP-TB-3		CANAL 2		5	+
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	6	-
	CANAL 3		7	+		

			TERMOCUPLA TIPO T	mV	8	-
			CANAL 4		9	+
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	10	-

► **Diseño del panel frontal y operación del VI.**


En la figura 42 se presenta la VI diseñada para el monitoreo de las variables de la prueba realizada en el banco de convección.

Figura 42. Panel frontal para monitoreo del banco de convección



Fuente: Autores

Los pasos para la ejecución de la VI diseñada son los siguientes:

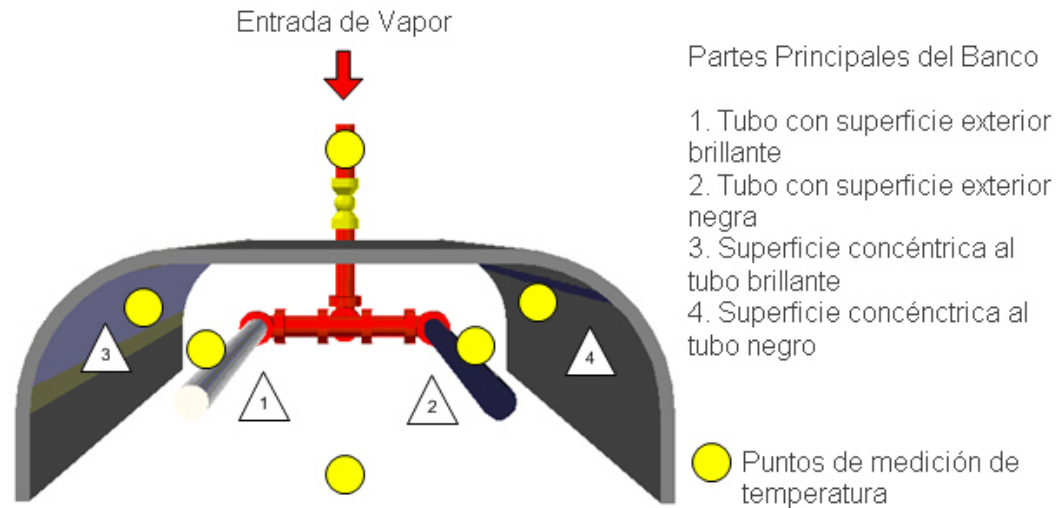
1. Abrir el archivo "Configuración conveccion.iak". (ver anexo B)
2. Dar nombre al archivo de registro y seleccionar la extensión.
3. Ajustar el tiempo de muestreo, por defecto este valor es de 200 milisegundos.
4. Realizar la lista de chequeo dando clic sobre los controles que están ubicados en el esquema que representan los equipos y dispositivos del banco; si estos controles no son activados, al presionar el comando "Run" la VI no se ejecuta y se muestra la ventana de la figura 40.
5. Ejecutar la VI presionando sobre el botón "Run" .
6. Para finalizar la ejecución de la VI se oprime el control "DETENER PRUEBA".

3.2.3 Banco de emisividad

▶ **Objetivo de la prueba y elementos del banco y/o sistema.**

El objetivo de esta práctica de laboratorio es determinar el valor de emisividad superficial mediante evaluación comparativa de la producción de condensado en tubos geoméricamente iguales con diferentes características superficiales.

Figura 43. Partes del Banco de Emisividad.



Fuente: Autores

El banco consiste en dos tubos paralelos geoméricamente similares, la única diferencia es el color de la superficie exterior, uno tiene la superficie de color negro y el otro brillante, a demás alrededor de los tubos hay una superficie semi-cilíndrica, tal como se ilustra en la figura 43. Bajo esta configuración se presentan los tres tipos de transferencia de calor, conducción, convección y radiación debido al flujo interno de vapor saturado que se va condensando a medida que va recorriendo los tubos.

La cantidad de condensado producido durante la prueba depende directamente del coeficiente de emisividad superficial de cada tubo, ya que la transferencia de calor por conducción y convección son similares.

Durante el desarrollo de la práctica y para el análisis cuantitativo se requiere tomar el valor de temperatura de seis puntos que son (ver figura 43):

- Temperatura del vapor saturado.
- Temperatura de las superficies exteriores de los tubos brillante y negro.
- Temperatura de las superficies semi-cilíndricas próximas a los tubos.
- Temperatura del ambiente alrededor de los tubos.

Todas las variables medidas y registradas en el banco, incluyendo la cantidad de condensado, se deben realizar una vez el sistema este en estado estable.

► **Hardware requerido para la prueba y tabla de conexión de sensores.**

Tabla 9. Resumen del hardware y conexión de sensores para el banco de emisividad.

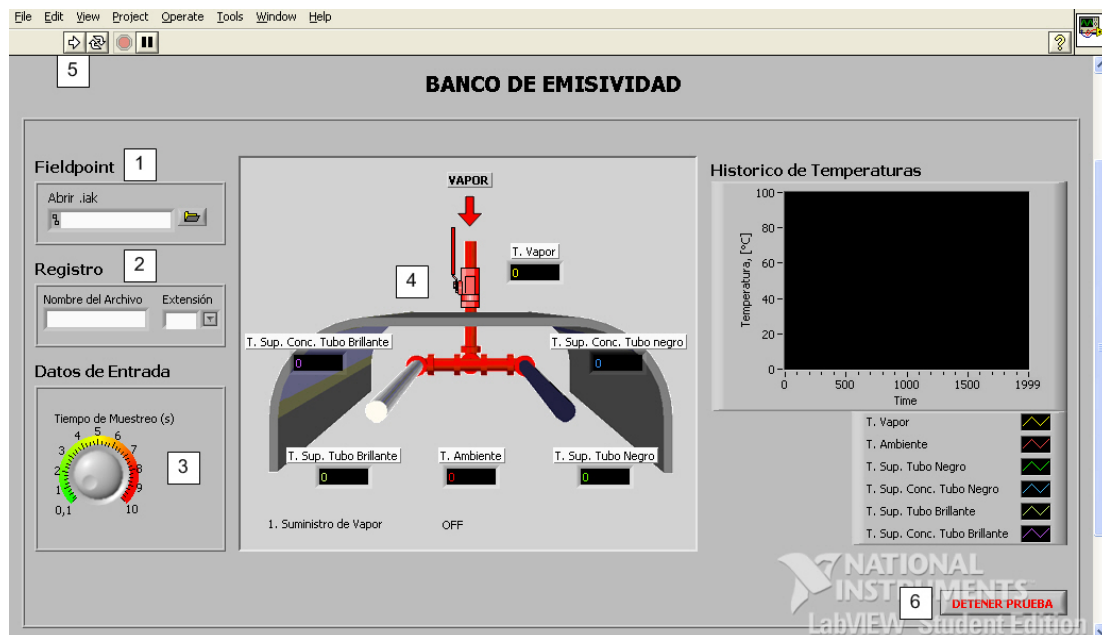
POSICIÓN	MODULO	CANALES ACTIVOS	TIPO DE ELEMENTO	RANGO Y UNIDAD	TERMINAL	POLARIDAD		
0	TIPO: RED	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
	REFERENCIA: FP-1000							
	BASE TERMINAL: N/A							
1	TIPO: TERMOCUPLAS	6	CANAL 0 TERMOCUPLA TIPO T		1	+		
				mV	2	-		
	REFERENCIA: FP-TC-120		CANAL 1 TERMOCUPLA TIPO T		3	+		
				mV	4	-		
	BASE TERMINAL: FP-TB-3		CANAL 2 TERMOCUPLA TIPO T		5	+		
				mV	6	-		
				CANAL 3 TERMOCUPLA TIPO T		7	+	
					mV	8	-	
					CANAL 4 TERMOCUPLA		9	+
						mV	10	-

			TIPO T			
			CANAL 5		11	+
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	12	-

► **Diseño del panel frontal y operación del VI.**

En la figura 44 se presenta la VI diseñada para el monitoreo de las variables de la prueba realizada en el banco de emisividad.


Figura 44. Panel frontal para monitoreo del banco de emisividad.



Fuente: Autores

Los pasos para la ejecución de la VI diseñada son los siguientes:

1. Abrir el archivo “Configuración Emisividad.iak”. (Ver anexo B)
2. Dar nombre al archivo de registro y seleccionar la extensión.

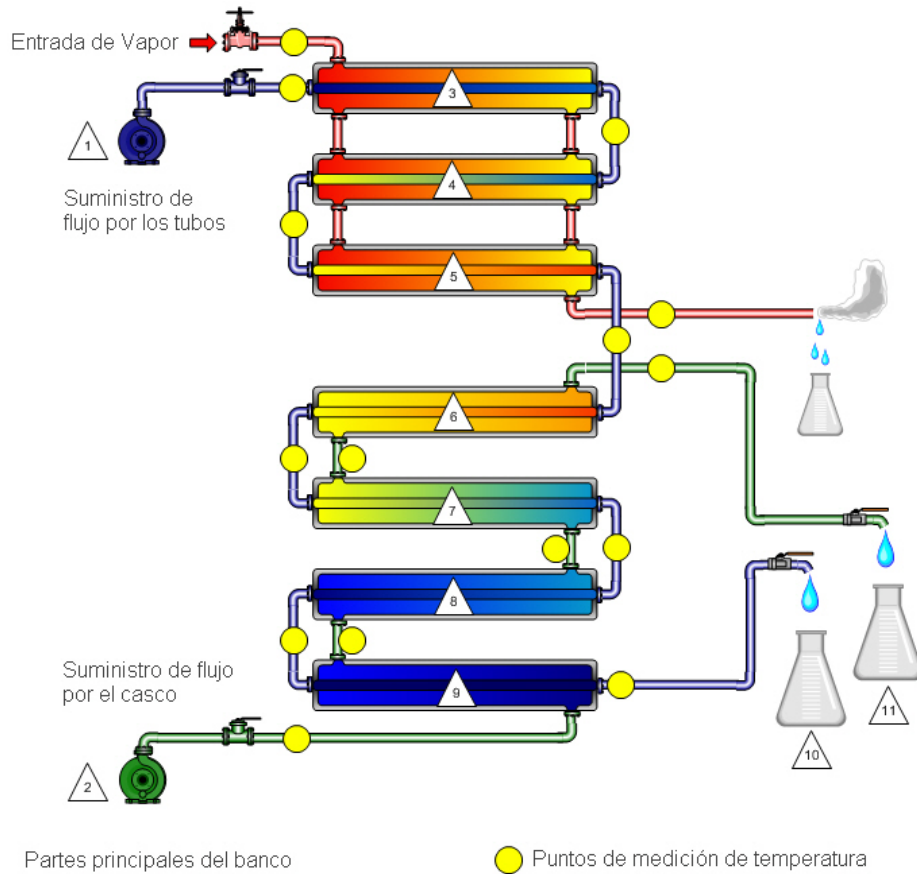
3. Ajustar el tiempo de muestreo, por defecto este valor es de 200 milisegundos.
4. Realizar la lista de chequeo dando clic sobre los controles que están ubicados en el esquema que representan los equipos y dispositivos del banco; si estos controles no son activados, al presionar el comando “Run” la VI no se ejecuta y se muestra la ventana de la figura 40.
5. Ejecutar la VI presionando sobre el botón “Run” .
6. Para finalizar la ejecución de la VI se oprime el control “DETENER PRUEBA”.

3.2.4 Banco de intercambiadores de Tubos Concéntricos

▶ **Objetivo de la prueba y elementos del banco y/o sistema.**

El objetivo de esta práctica de laboratorio es comprobar los métodos para el análisis en intercambiadores de calor, método de la LMTD y la Efectividad; adicional, se debe determinar la efectividad de cada intercambiador de calor y del conjunto total.

Figura 45. Partes del Banco de Intercambiadores de Tubos Concéntricos.



- 1-2. Bombas
- 3-5. Intercambiadores de calor/ Vapor-Líquido.
- 6-9. Intercambiadores de calor/Líquido-Líquido
- 10-11. Medición del flujo volumétrico.

Fuente: Autores

Tal como se aprecia en la figura 45, el banco se compone de 7 intercambiadores de calor de tubos concéntricos de dimensiones y materiales similares; estos se dividen en dos grupos debido al estado de los fluidos que intercambian calor. El primer grupo está conformado por tres intercambiadores ubicados en la parte superior, estos son calentadores desde el punto de vista del fluido que pasa por el tubo interior, este fluido aumenta la temperatura debido al flujo de vapor saturado que fluye a través del casco. El segundo grupo de intercambiadores, está integrado por cuatro intercambiadores de tubos concéntricos, el intercambio de

calor se da entre fluidos en estado líquido, el fluido calentado en el primer grupo de intercambiadores es enfriado por un segundo fluido que fluye a través del casco.

Durante el desarrollo de la práctica y para el análisis cuantitativo se requiere tomar el valor de temperatura de quince puntos ubicados entre las entradas y salidas de cada intercambiador, ver la figura 45. Es necesario medir el flujo volumétrico de los tres fluidos que intervienen en la prueba para completar los datos requeridos para el análisis posterior.

Todas las variables medidas y registradas en el banco se deben realizar una vez el sistema este en estado estable.

► **Hardware requerido para la prueba y tabla de conexión de sensores.**

Tabla 10. Resumen del hardware y conexión de sensores para el banco de intercambiadores de tubos concéntricos.

POSICIÓN	MODULO	CANALES ACTIVOS	TIPO DE ELEMENTO	RANGO Y UNIDAD	TERMINAL	POLARIDAD
0	TIPO: RED	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	REFERENCIA: FP-1000					
	BASE TERMINAL: N/A					
1	TIPO: TERMOCUPLAS	8	CANAL 0 TERMOCUPLA TIPO T		1	+
				mV	2	-
	REFERENCIA: FP-TC-120		CANAL 1 TERMOCUPLA TIPO T		3	+
				mV	4	-
	BASE TERMINAL:		CANAL 2		5	+

	FP-TB-3		TERMOCUPLA TIPO T	mV	6	-		
			CANAL 3		7	+		
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	8	-		
			CANAL 4		9	+		
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	10	-		
			CANAL 5		11	+		
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	12	-		
			CANAL 6		13	+		
TERMOCUPLA TIPO T	mV	14	-					
	TIPO: TERMOCUPLAS		CANAL 0		1	+		
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	2	-		
	REFERENCIA: FP-TC-120		CANAL 1		3	+		
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	4	-		
	BASE TERMINAL: FP-TB-3		CANAL 2		5	+		
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	6	-		
	2			8	CANAL 3		7	+
					TERMOCUPLA TIPO T	mV	8	-
CANAL 4					9	+		
TERMOCUPLA TIPO T		mV			10	-		
			CANAL 5		11	+		
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	12	-		
			CANAL 6		13	+		
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	14	-		

▶ **Diseño del panel frontal y operación del VI.**

En la figura 46 se presenta la VI diseñada para el monitoreo de las variables de la prueba realizada en el banco de intercambiadores de tubos concéntricos.

Los pasos para la ejecución de la VI diseñada son los siguientes:


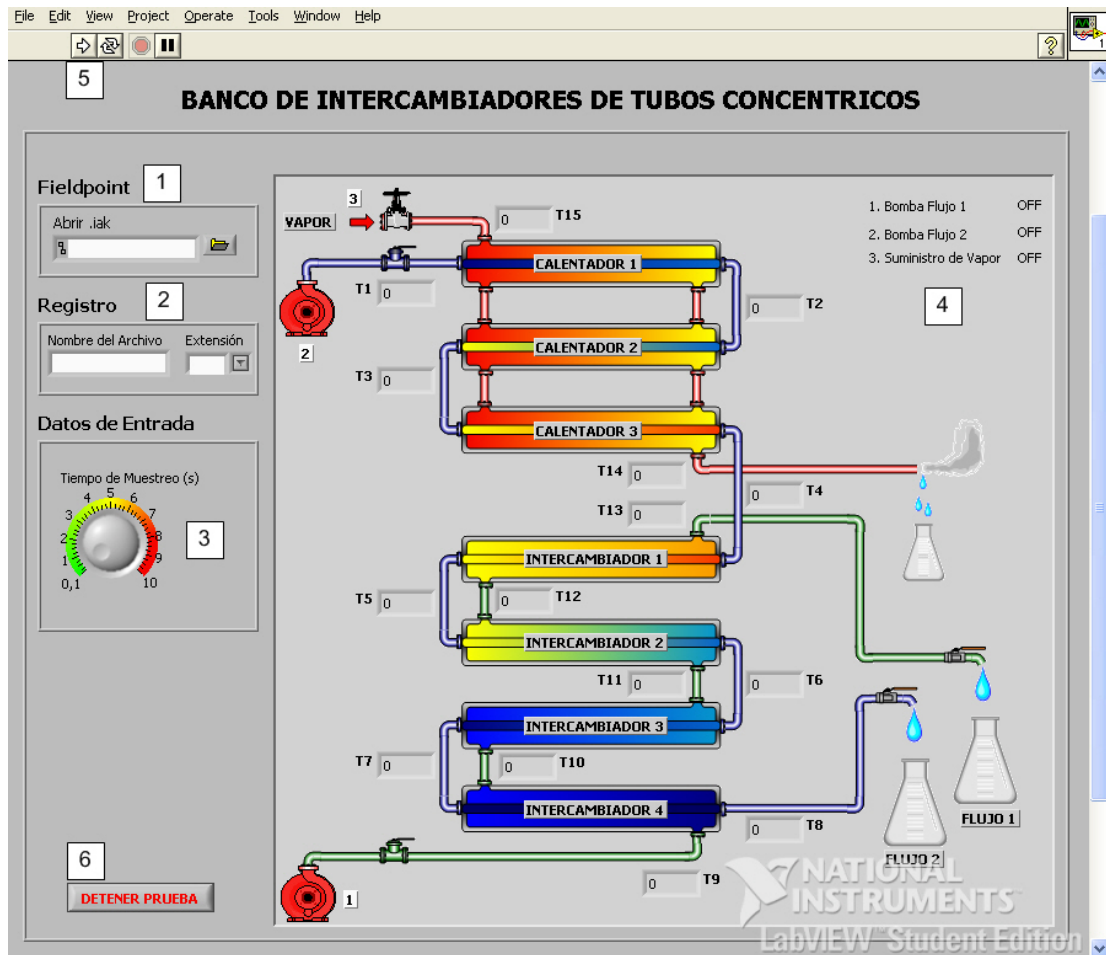
1. Abrir el archivo “Configuración Concentricos.iak” (Ver anexo B).
2. Dar nombre al archivo de registro y seleccionar la extensión.
3. Ajustar el tiempo de muestreo, por defecto este valor es de 200 milisegundos.
4. Realizar la lista de chequeo dando clic sobre los controles que están ubicados en el esquema que representan los equipos y dispositivos del banco; si estos controles no son activados, al presionar el comando “Run” la VI no se ejecuta y se muestra la ventana de la figura 40.
5. Ejecutar la VI presionando sobre el botón “Run” .
6. Para finalizar la ejecución de la VI se oprime el control “DETENER PRUEBA”.

Figura 46. Panel frontal del banco de intercambiadores de tubos concéntricos.



Fuente: Autores

3.2.5 Banco de Torre de Enfriamiento

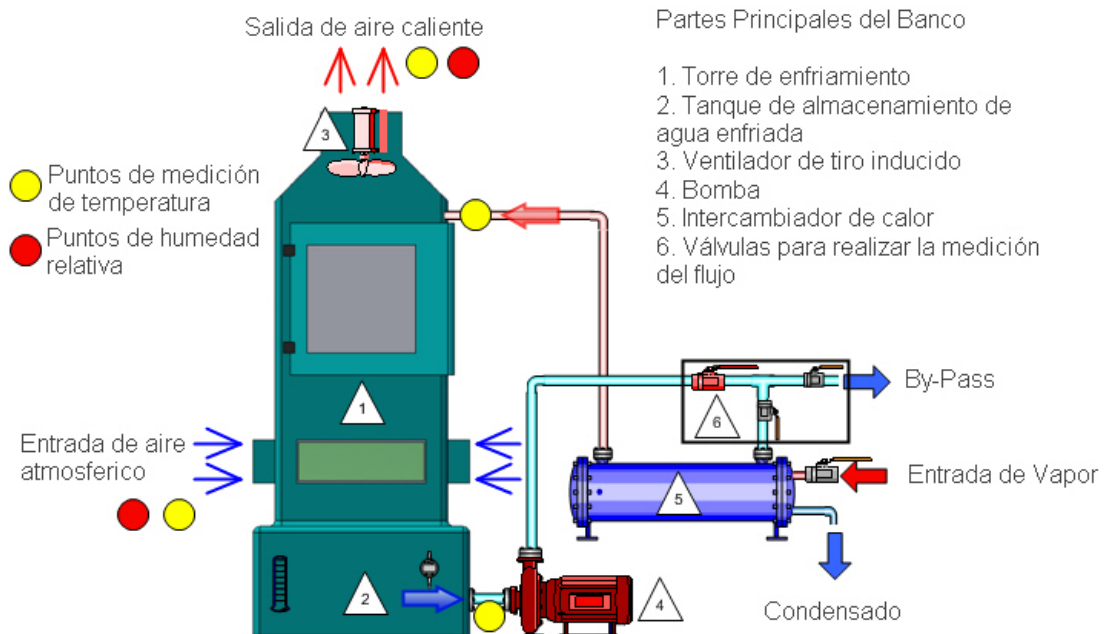
- ▶ **Objetivo de la prueba y elementos del banco y/o sistema.**

Los objetivos de esta práctica de laboratorio son:

- Identificar los elementos que componen un sistema de enfriamiento de ciclo cerrado.

- Identificar las partes componentes y el funcionamiento de una torre de enfriamiento de tiro inducido.
- Determinar la curva característica de la torre de enfriamiento de tiro inducido disponible en el laboratorio, a partir de varios puntos de desempeño. Una vez obtenida la curva característica de la torre de enfriamiento, es posible caracterizar el relleno de la torre.

Figura 47. Partes del Banco de Torre de Enfriamiento.



Fuente: Autores

En la figura 47, se describen los componentes principales que hacen parte de un sistema de enfriamiento de agua en ciclo cerrado, resaltando como el componente de enfriamiento y de análisis la torre de contacto directo de tiro mecánico tipo inducido.

El funcionamiento de la torre de enfriamiento, donde interactúan los demás elementos que pertenecen al banco, se describe en los siguientes pasos:

1. El agua fría es succionada del tanque de almacenamiento y enviada por medio de una bomba al intercambiador de calor.
2. En el intercambiador de calor de casco y tubos, el agua aumenta su temperatura debido a la transferencia de calor con el vapor saturado. La boquilla de salida del intercambiador esta conectada con la entrada a al torre de enfriamiento.
3. Una vez ingresa el agua caliente en la torre, es distribuida por un aspersionador sobre la parte superior del relleno. El agua durante el recorrido por el relleno entra en contacto directo con el aire que ingresa por la parte inferior de la torre, durante este contacto hay transferencia de calor y de masa. El aire es inducido por medio de un ventilador ubicado en la parte superior de la torre de enfriamiento.
4. El agua que ha sido enfriada durante su recorrido por el relleno, cae nuevamente al tanque de almacenamiento quedando disponible para iniciar nuevamente el ciclo.

Es necesario para realizar la curva característica de la torre de enfriamiento y caracterizar el tipo de relleno empleado en la torre de enfriamiento, registrar los siguientes variables (ver figura 47):

- Temperatura de entrada del agua.
- Temperatura de salida del agua.
- Temperatura de entrada del aire, empleando el sensor HTM2500
- Temperatura de salida del aire, empleando el sensor HTM2500
- Humedad relativa del aire de entrada, empleando el sensor HTM2500
- Humedad relativa del aire de salida, , empleando el sensor HTM2500

Durante el desarrollo de la práctica, es necesario registrar el flujo volumétrico del agua que ingresa a la torre y el flujo másico del aire desplazado por el ventilador.

Para medir el flujo volumétrico del agua, se tiene a disposición tres válvulas que sirven para regular, bloquear y realizar el by-pass de medición. Para medir el flujo másico del aire, se emplea un medidor de velocidad o caudal volumétrico de rueda alada denominado anemómetro.

► **Hardware requerido para la prueba y tabla de conexión de sensores.**

Tabla 11. Resumen del hardware y conexión de sensores para el banco de intercambiadores de tubos concéntricos.

POSICIÓN	MODULO	CANALES ACTIVOS	TIPO DE ELEMENTO	RANGO Y UNIDAD	TERMINAL	POLARIDAD
0	TIPO: RED	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	REFERENCIA: FP-1000					
	BASE TERMINAL: N/A					
1	TIPO: TERMOCUPLAS	2	CANAL 0 TERMOCUPLA TIPO T		1	+
				mV	2	-
	REFERENCIA: FP-TC-120		CANAL 1 TERMOCUPLA TIPO T		3	+
				mV	4	-
	BASE TERMINAL: FP-TB-3					
2	TIPO: ENTRADAS ANÁLOGAS	2	CANAL 0 HUMEDAD HTM2500	0-5	1	+
				V	18	-
	REFERENCIA: FP-AI-110		CANAL 1 TEMPERATURA HTM2500	0-5	3	+
				V	20	-
	BASE TERMINAL: FP-TB-1					

Las señales conectadas los canales 0 y 1 del modulo de FP-AI-110, provienen del sensor de humedad y temperatura de referencia HTM2500.

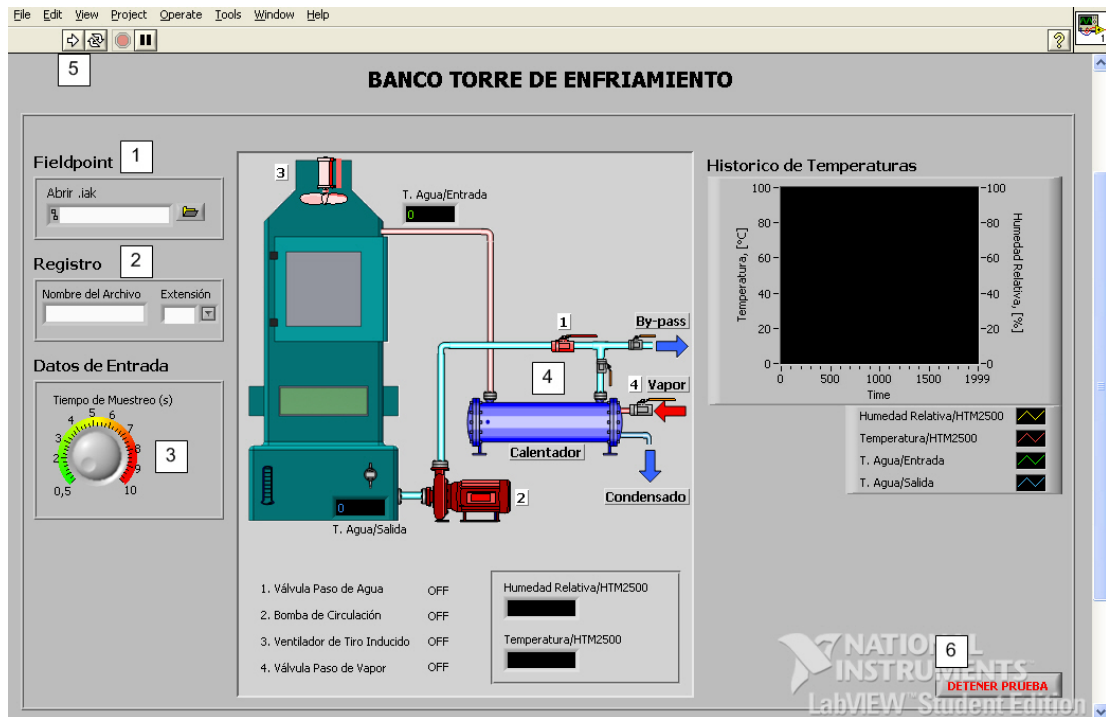
▶ **Diseño del panel frontal y operación del VI.**

En la figura 48 se presenta la VI diseñada para el monitoreo de las variables de la prueba realizada en el banco de la torre de enfriamiento


Los pasos para la ejecución de la VI diseñada son los siguientes:

1. Abrir el archivo "Configuración Torre.iak" (ver anexo B).
2. Dar nombre al archivo de registro y seleccionar la extensión.
3. Ajustar el tiempo de muestreo, por defecto este valor es de 500 milisegundos.
4. Realizar la lista de chequeo dando clic sobre los controles que están ubicados en el esquema que representan los equipos y dispositivos del banco; si estos controles no son activados, al presionar el comando "Run" la VI no se ejecuta y se muestra la ventana de la figura 40.

Figura 48. Panel frontal para monitoreo del banco de Torre de Enfriamiento.



Fuente: Autores

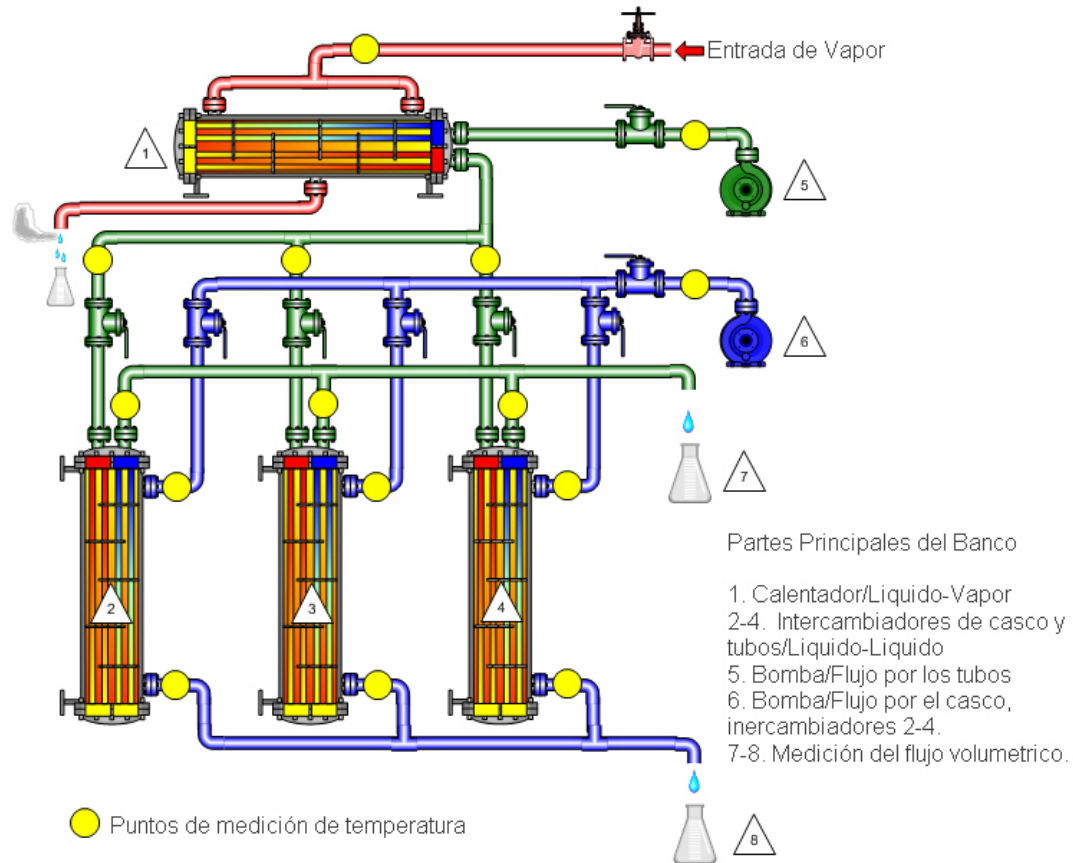
5. Ejecutar la VI presionando sobre el botón “Run” .
6. Para finalizar la ejecución de la VI se oprime el control “DETENER PRUEBA”.

3.2.6 Banco de Intercambiadores de Casco y Tubos

► Objetivo de la prueba y elementos del banco y/o sistema.

El objetivo de esta práctica de laboratorio es determinar los coeficientes de transferencia de calor de los tres intercambiadores de calor de casco y tubos, geoméricamente diferentes, para comprobar las correlaciones y observar como influyen los parámetros geométricos en la transferencia de calor.

Figura 49. Partes del Banco de Intercambiadores de Casco y Tubos.



Fuente: Autores

El banco de intercambiadores de casco y tubos consta de cuatro intercambiadores tal como se aprecia en la figura 49, los intercambiadores están contruidos de materiales similares, sin embargo existen variaciones en la geometría para analizar como influye en la transferencia de calor. El intercambiador ubicado en la parte superior, aumenta la temperatura del agua que pasa a través de los tubos debido al vapor saturado que fluye a través del casco; esta misma agua se distribuye por el lado de los tubos de los tres intercambiadores ubicados en la parte inferior, mientras que por el lado del casco circula agua a temperatura ambiente.

Durante el desarrollo de la práctica y para el análisis cuantitativo se requiere tomar el valor de temperatura de quince puntos ubicados entre las entradas salidas de cada intercambiador, ver la figura 49. Es necesario medir el flujo volumétrico de los tres fluidos que intervienen en la prueba para completar los datos requeridos para el análisis posterior.

Todas las variables medidas y registradas en el banco se deben realizar una vez el sistema este en estado estable.

► **Hardware requerido para la prueba y tabla de conexión de sensores.**

Tabla 12. Resumen del hardware y conexión de sensores para el banco de intercambiadores de tubos concéntricos.

POSICIÓN	MODULO	CANALES ACTIVOS	TIPO DE ELEMENTO	RANGO Y UNIDAD	TERMINAL	POLARIDAD
0	TIPO: RED	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	REFERENCIA: FP-1000					
	BASE TERMINAL: N/A					
1	TIPO: TERMOCUPLAS	8	CANAL 0 TERMOCUPLA TIPO T		1	+
				mV	2	-
	REFERENCIA: FP-TC-120		CANAL 1 TERMOCUPLA TIPO T		3	+
				mV	4	-
	BASE TERMINAL: FP-TB-3		CANAL 2 TERMOCUPLA TIPO T		5	+
				mV	6	-
			CANAL 3 TERMOCUPLA TIPO T		7	+
				mV	8	-

			CANAL 4		9	+
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	10	-
			CANAL 5		11	+
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	12	-
			CANAL 6		13	+
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	14	-
			CANAL 7		15	+
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	16	-
2	TIPO: TERMOCUPLAS	8	CANAL 0		1	+
	REFERENCIA: FP-TC-120		TERMOCUPLA TIPO T	mV	2	-
			CANAL 1		3	+
	BASE TERMINAL: FP-TB-3		TERMOCUPLA TIPO T	mV	4	-
			CANAL 2		5	+
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	6	-
			CANAL 3		7	+
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	8	-
			CANAL 4		9	+
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	10	-
			CANAL 5		11	+
			TERMOCUPLA TIPO T	mV	12	-
			CANAL 6		13	+
	TERMOCUPLA TIPO T		mV	14	-	
	CANAL 7			15	+	
	TERMOCUPLA TIPO T		mV	16	-	

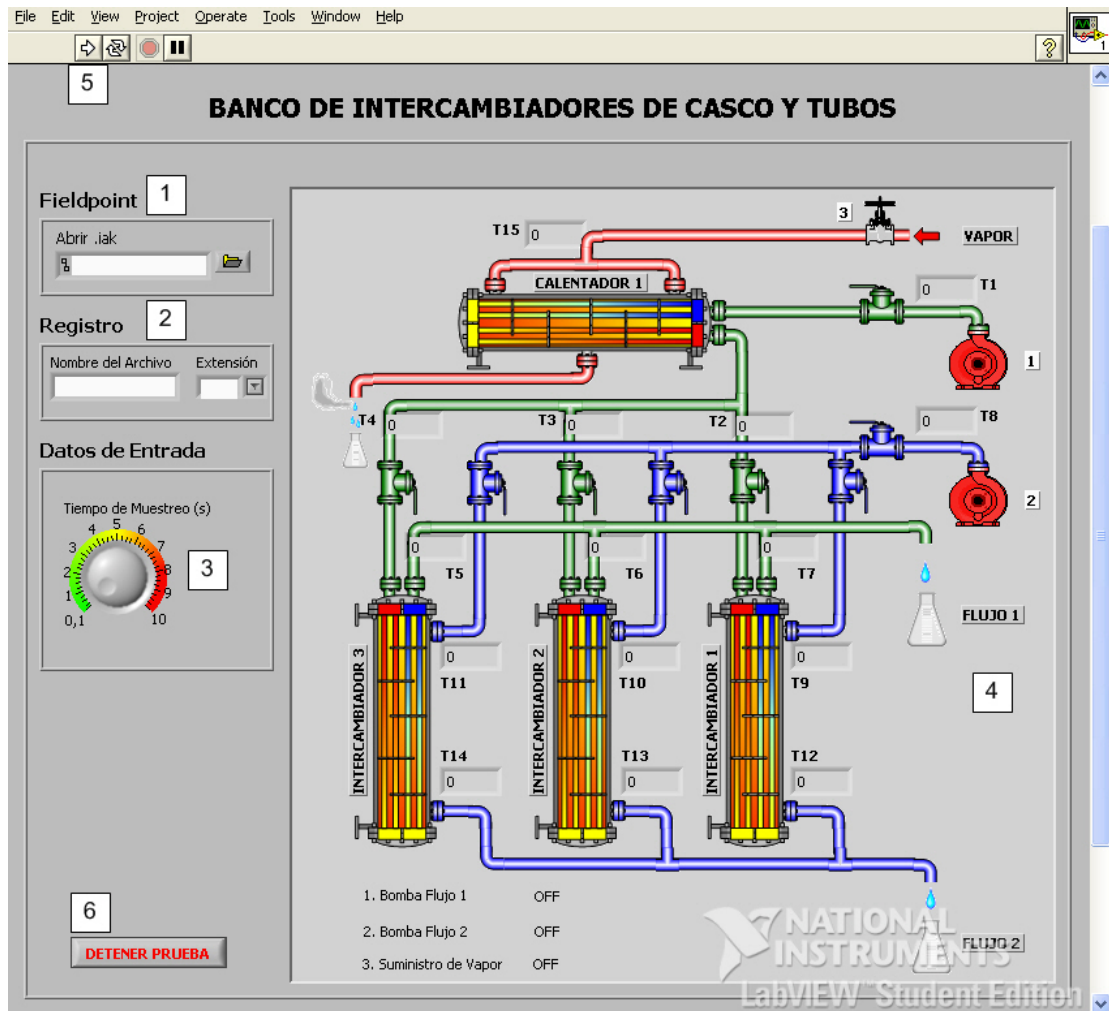
► **Diseño del panel frontal y operación del VI.**

En la figura 50 se presenta la VI diseñada para el monitoreo de las variables de la prueba realizada en el banco de la torre de enfriamiento.


Los pasos para la ejecución de la VI diseñada son los siguientes:

1. Abrir el archivo “Configuración Casco.iak” (ver anexo B).

Figura 50. Panel frontal del banco de Intercambiadores de Casco y Tubos.



Fuente: Autores

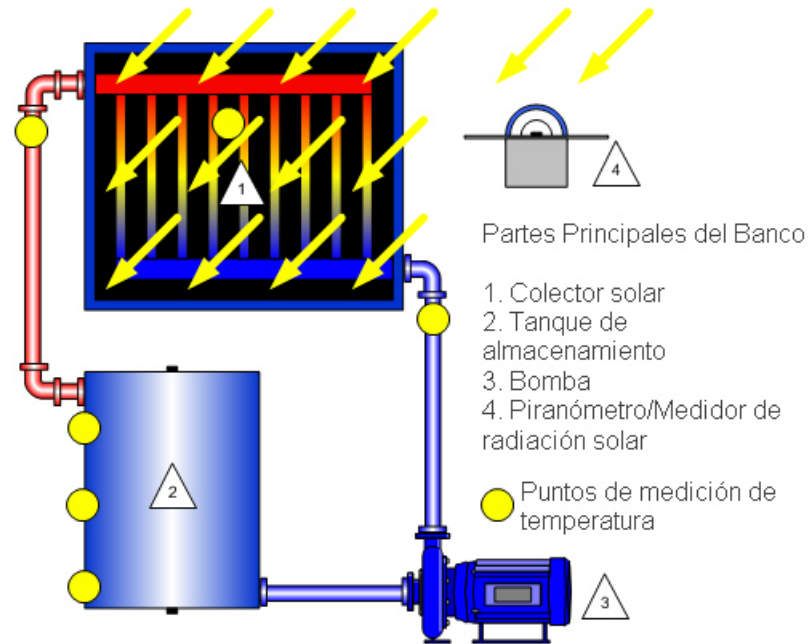
2. Dar nombre al archivo de registro y seleccionar la extensión.
3. Ajustar el tiempo de muestreo, por defecto este valor es de 200 milisegundos.
4. Realizar la lista de chequeo dando clic sobre los controles que están ubicados en el esquema que representan los equipos y dispositivos del banco; si estos controles no son activados, al presionar el comando “Run” la VI no se ejecuta y se muestra la ventana de la figura 40.
5. Ejecutar la VI presionando sobre el botón “Run” .
6. Para finalizar la ejecución de la VI se oprime el control “DETENER PRUEBA”.

3.2.7 Banco del Colector Solar

▶ **Objetivo de la prueba y elementos del banco y/o sistema.**

El objetivo de esta prueba de laboratorio es emplear la radiación solar como una alternativa de energía no convencional.

Figura 51. Partes del Banco del Colector Solar



Fuente: Autores

Para evaluar la eficiencia de la radiación solar, se emplea el banco representado en la figura 51; este tiene un colector solar de placa plana y sobre él, un arreglo de tubos donde circula un flujo continuo de agua que se almacena en un tanque. El agua almacenada, se hace pasar continuamente por el arreglo de tubos mediante una bomba y es calentado progresivamente a medida que pasa el tiempo. El tiempo que tarda el agua en alcanzar su máxima temperatura depende de factores geométricos, geográficos y ambientales.

Durante el desarrollo de la práctica y para el análisis cuantitativo se requiere tomar el valor de temperatura de seis puntos y el valor de la radiación solar, estos puntos se indican en la figura 51 y son:

- Temperatura de entrada del agua al colector
- Temperatura de salida del agua del colector
- Temperatura en tres niveles del tanque de almacenamiento, alto, medio y bajo.

- Radiación solar, medida por el piranómetro. La constante de este sensor es 1 mV por cada 88.63 W/m².

La medición y registro de la variables se debe iniciar una vez el banco es expuesto al sol y arrancada la bomba de circulación.

► **Hardware requerido para la prueba y tabla de conexión de sensores.**

Tabla 13. Resumen del hardware y conexión de sensores para el banco de emisividad.

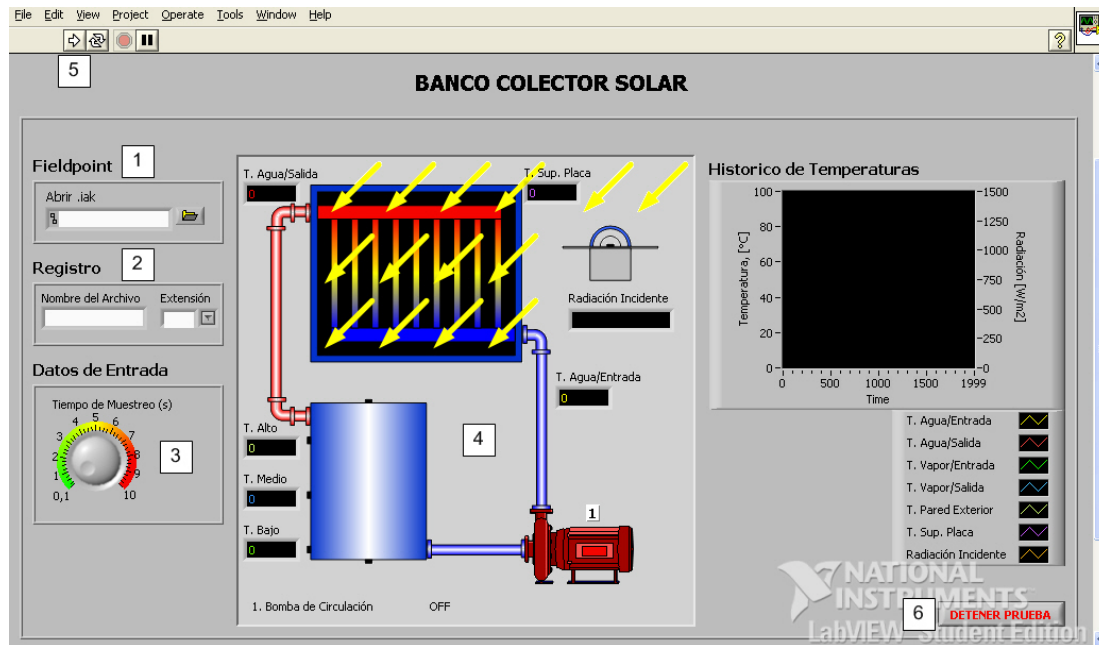
POSICIÓN	MODULO	CANALES ACTIVOS	TIPO DE ELEMENTO	RANGO Y UNIDAD	TERMINAL	POLARIDAD	
0	TIPO: RED	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	REFERENCIA: FP-1000						
	BASE TERMINAL: N/A						
1	TIPO: TERMOCUPLAS	7	CANAL 0 TERMOCUPLA TIPO T		1	+	
				mV	2	-	
	REFERENCIA: FP-TC-120		CANAL 1 TERMOCUPLA TIPO T		3	+	
				mV	4	-	
	BASE TERMINAL: FP-TB-3		CANAL 2 TERMOCUPLA TIPO T		5	+	
				mV	6	-	
				CANAL 3 TERMOCUPLA TIPO T		7	+
					mV	8	-
				CANAL 4 TERMOCUPLA TIPO T		9	+
					mV	10	-
				CANAL 5 TERMOCUPLA		11	+
					mV	12	-

		TIPO T			
		CANAL 6	0-80	13	+
		PIRANOMETRO	mV	14	-

► **Diseño del panel frontal y operación del VI.**

En la figura 52 se presenta la VI diseñada para el monitoreo de las variables de la prueba realizada en el banco del colector solar.


Figura 52. Panel frontal para monitoreo del banco del Colector Solar.



Fuente: Autores

Los pasos para la ejecución de la VI diseñada son los siguientes:

1. Abrir el archivo "Configuración Solar.iak" (ver anexo B).
2. Dar nombre al archivo de registro y seleccionar la extensión.

3. Ajustar el tiempo de muestreo, por defecto este valor es de 200 milisegundos.
4. Realizar la lista de chequeo dando clic sobre los controles que están ubicados en el esquema que representan los equipos y dispositivos del banco; si estos controles no son activados, al presionar el comando “Run” la VI no se ejecuta y se muestra la ventana de la figura 40.
5. Ejecutar la VI presionando sobre el botón “Run” .
6. Para finalizar la ejecución de la VI se oprime el control “DETENER PRUEBA”.

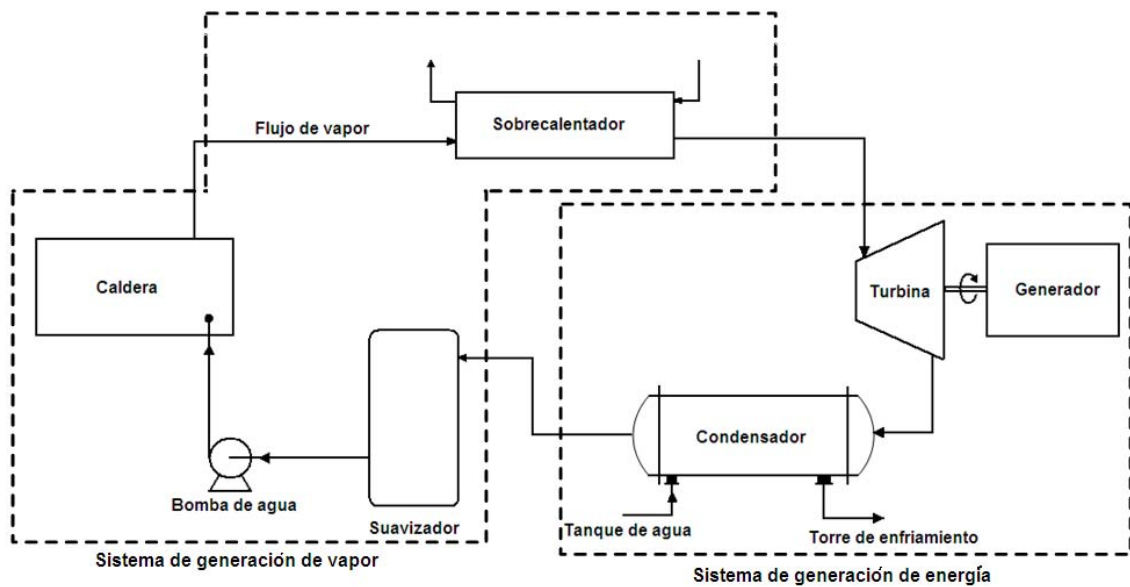
Todas las VI diseñadas para los bancos que pertenecen al laboratorio de transferencia de calor, son similares en su operación, lo cual simplifica su implementación para el buen desarrollo de la práctica.

A continuación se describen las VI diseñadas para el cuarto frío y la planta térmica.

3.3 MONITOREO Y CONTROL DE LA PLANTA TÉRMICA

La planta térmica es un sistema que mediante el aprovechamiento del combustible (gas natural) se produce energía eléctrica, tal como lo vemos en el siguiente diagrama (figura 54).

Figura 54. Diagrama de la Planta Térmica



Fuente: Autor

En el diagrama mostrado en la figura 54 se muestra dos sistemas en el que esta conformado la planta térmica, el sistema de generación de vapor y el sistema de generación de energía eléctrica. En el sistema de generación de vapor esta constituida por un suavizador y tanque de almacenamiento de agua, una caldera pirotubular y un sobrecalentador, en el sistema de generación de energía tenemos una turbina, un generador de electricidad y un condensador. A continuación se dará un breve concepto de cada uno de los elementos.

- **Un suavizador y tanque de almacenamiento:** son los encargados de tratar y suministrar el agua a la caldera, conformado por un circuito que limpia el agua de las sales y otras sustancias disueltas que provocan problemas de sedimentación, corrosión e incrustaciones en los tubos de la caldera (ver figura 55).

Figura 53. Circuito de Tratamiento de agua



Fuente: Autor

- **Caldera pirotubular:** El laboratorio de maquinas térmicas cuenta con una caldera pirotubular, con capacidad de 20 BHP, con una presión de trabajo hasta 120 Psi, de dos pasos y combustible de trabajo gas natural. (ver figura 56)

Figura 54. Caldera Pirótubular



Fuente: Autor

- **Sobrecalentador**, mostrado en la figura 56: permite regenerar la energía de los gases de combustión y adicionar parte de esta energía al agua de entrada a la caldera y parte al vapor generado.

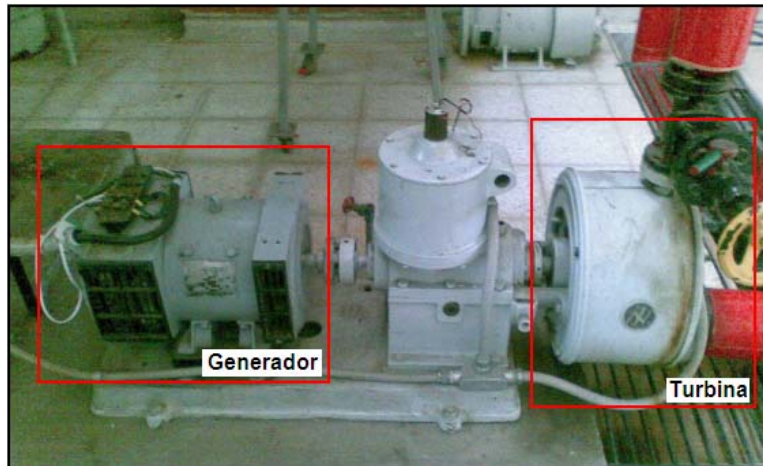
Figura 55. Sobrecalentador



Fuente: Autor

- **Turbina y generador de energía eléctrica** mostradas en la figura 57: Una turbina de marca JOHANNES NADROWSKI Bielefeld, con capacidad de generación hasta 6.5 Hp y velocidad máxima de trabajo de 3000 rpm, y un generador de energía eléctrica con capacidad de generación máxima de 4.5 Hp y velocidad de trabajo de 1800 rpm.

Figura 56. Sistema de Generación de energía



Fuente: Autor

- **Un condensador** mostrado en la figura 58.

Figura 57. Condensador



Fuente: Autor

- **Una torre de enfriamiento:** ubicada a las afueras del laboratorio de maquinas térmicas. (figura 59).

Figura 58. Torre de Enfriamiento



Fuente: Autor

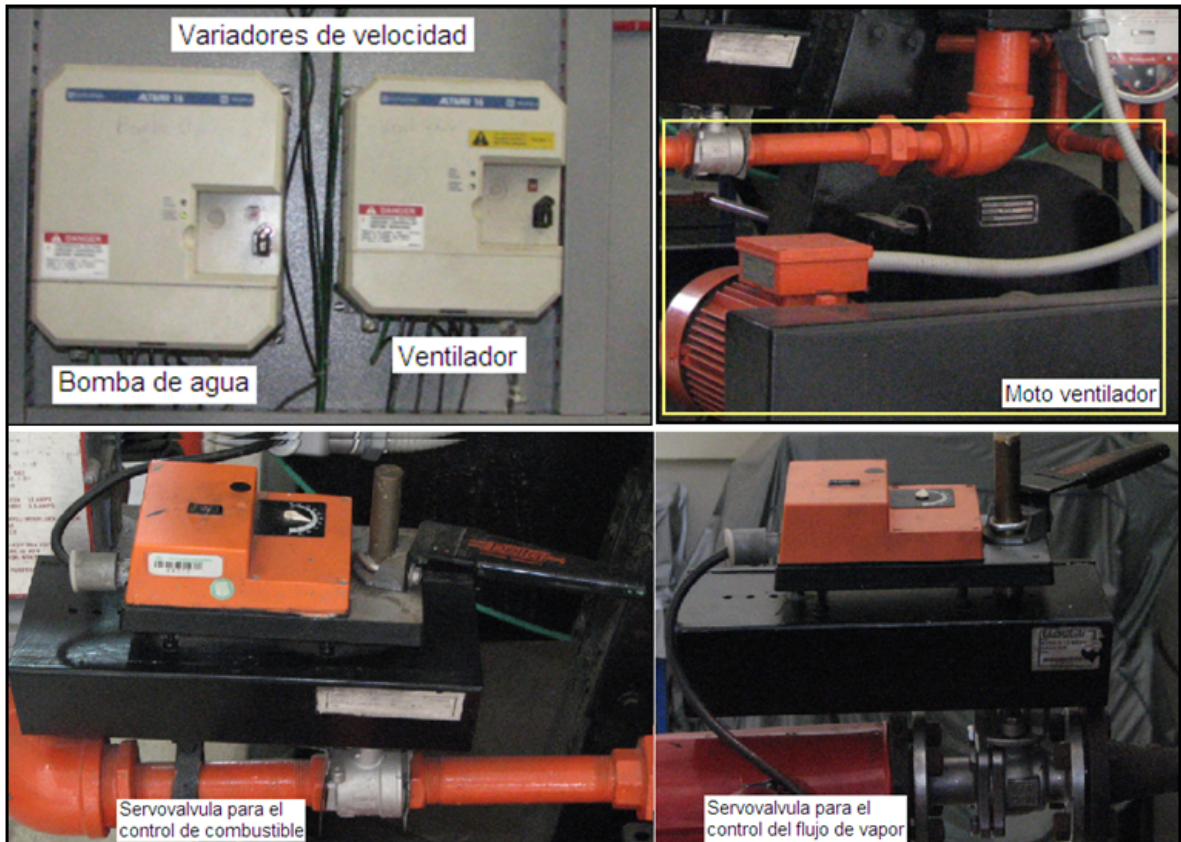
- **Un tanque de agua:** se encuentra ubicado en el laboratorio de Turbomáquinas Hidráulicas.

A demás de los dispositivos antes mencionados, la planta térmica cuenta para el sistema de generación de vapor elementos para su operación como lo son:

- ▶ Un ventilador: encargado de proporcionar el aire necesario para la combustión
- ▶ Una bomba de agua: encargada de mantener el nivel del agua en la caldera,
- ▶ Dos variadores de velocidad: conectados uno para el motor del ventilador y el otro a la bomba de agua,
- ▶ Dos servoválvulas: encargadas de controlar el flujo de combustible de la caldera y el flujo de vapor que se le suministra a la turbina

Elementos que se muestran en la figura 59.

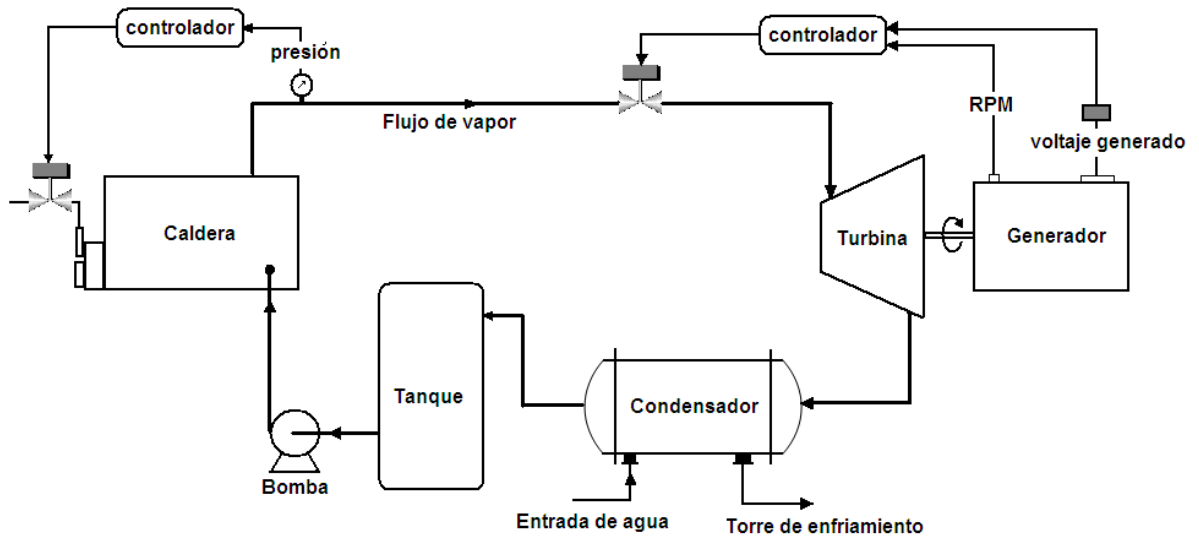
Figura 59. Dispositivos de control



Fuente: Autor

Una vez definidos los elementos que hacen parte de la planta térmica, pasamos a definir las variables a monitorear y controlar. En la figura 60 se muestra el esquema del sistema de generación de energía con los lazos de control donde también se muestran las variables a monitorear y controlar.

Figura 60. Esquema de la Planta Térmica



Fuente: Autores

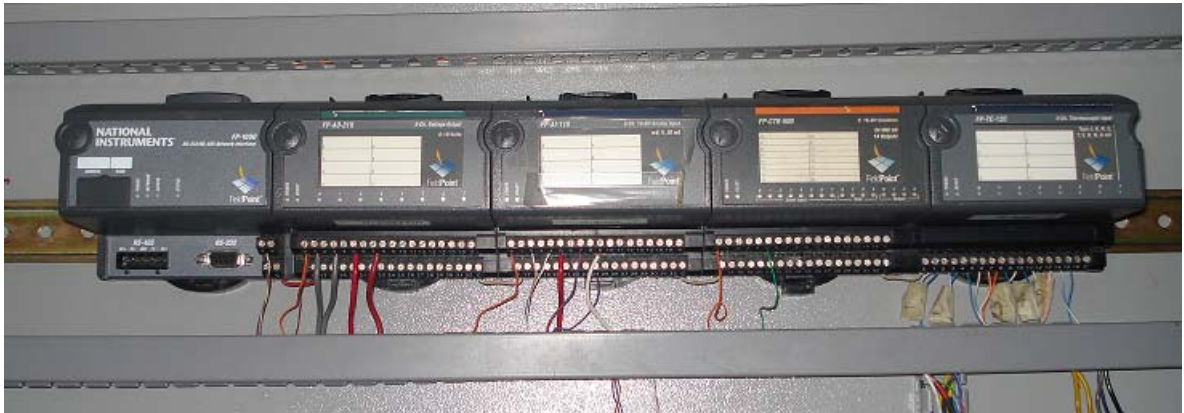
Dentro de los sistemas a controlar en la planta térmica, también tenemos el sistema de generación de vapor, este sistema está relacionado con el sistema de generación de energía ya que según los requerimientos de la carga, al sistema de generación se le debe estar suministrando continuamente vapor, haciendo que la caldera mantenga su presión de vapor siempre constante, por tanto el sistema de la caldera necesita ser monitoreado y controlado para cumplir con lo requerido tanto presión como flujo.

3.3.1 Hardware implementado para el monitoreo y control

El hardware implementado para el monitoreo y control de la planta térmica son: el módulo de red FP-1000, encargado de transferir los datos al ordenador, el módulo FP-TC-120 encargado de capturar la información proveniente de las termocuplas conectadas al sistema, el módulo FP-AO-200 encargado de controlar el variador

de velocidad del ventilador y el modulo FP-AI-210 encargado de recoger las señales de los transductores de presión del sistema. Tal como se mencionó, este es el hardware implementado para el monitoreo y control del sistema tal como se muestra en la figura 61, que junto al código del programa son los encargados de garantizar el buen funcionamiento, operación y seguridad del sistema.

Figura 61. Módulos FielPoint Planta Térmica



Fuente: Autores

3.3.2 Diseño de la VI para el monitoreo y control de la planta térmica

El diseño de la VI para el monitoreo y control de la planta térmica parte de la identificación de las variables del sistema a controlar y/o monitorear, como lo son, la temperatura, la presión de vapor, el nivel del agua en la caldera, flujo de vapor, flujo de gas y el nivel de voltaje generado.

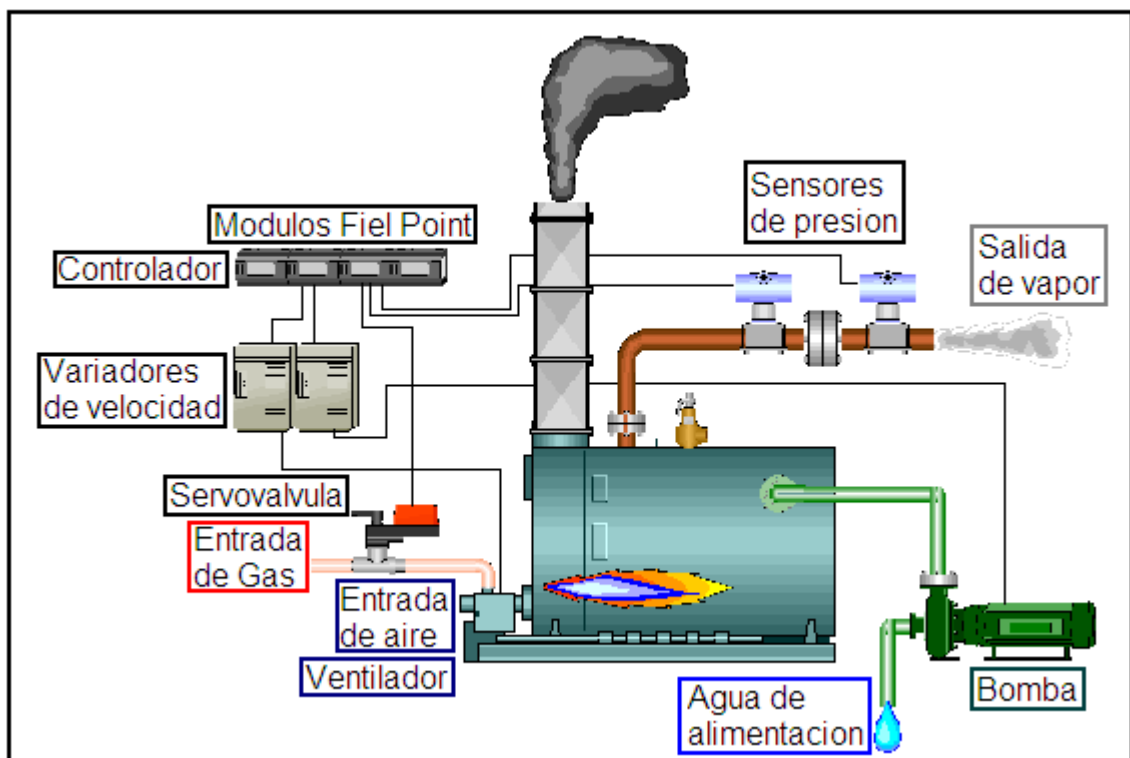
Una vez conocidos las variables a controlar y a monitorear pasamos a realizar el instrumento virtual. El instrumento virtual esta conformado por dos sistemas de control, un control para el sistema de generación de vapor y el otro control para el sistema de generación de energía.

3.3.3 Control de Generación de Vapor

El control de la caldera parte de la identificación de las variables que se van a monitorear y controlar, entre estas variables tenemos: la presión del vapor de salida y la relación aire/combustible.

Por tanto, ya identificados estas variables, pasamos a desarrollar el control del sistema, para este caso aplicamos el método de control PID. LabVIEW cuenta con un algoritmo que permite implementar la acción de control PID, este algoritmo hace que la acción de control sea rápida y fácil de implementar, ya que se presenta como un modulo que tiene las entradas y salidas necesarias para el realizar el control. En la figura 62 se muestra la caldera con cada una de las variables a manipular y las variables a regular.

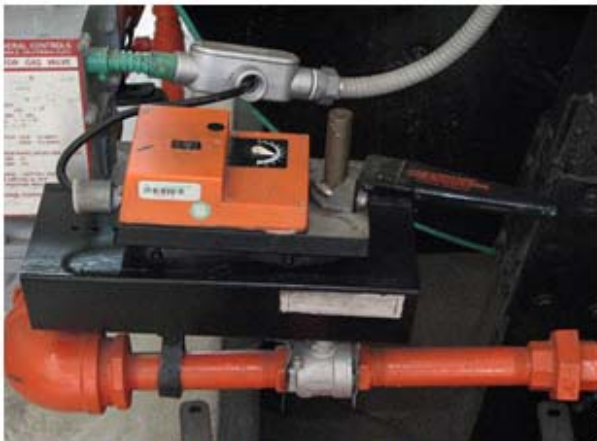
Figura 62. Diagrama General de Control



Fuente: Autor

Como variable a manipular tenemos la servoválvula que controla el flujo de gas, el variador de velocidad que controla el motor del ventilador para la relación aire/combustible, y como variable a regular tenemos la presión del sistema que se medirá por medio de un transductor de presión. A continuación en las figuras 63a, 63b y 63c se muestran los elementos que hacen parte del sistema de control.

Figura 63. Dispositivos de monitoreo y control de la caldera



a) Servovalvula de control, para el flujo de combustible



b) Variadores de velocidad

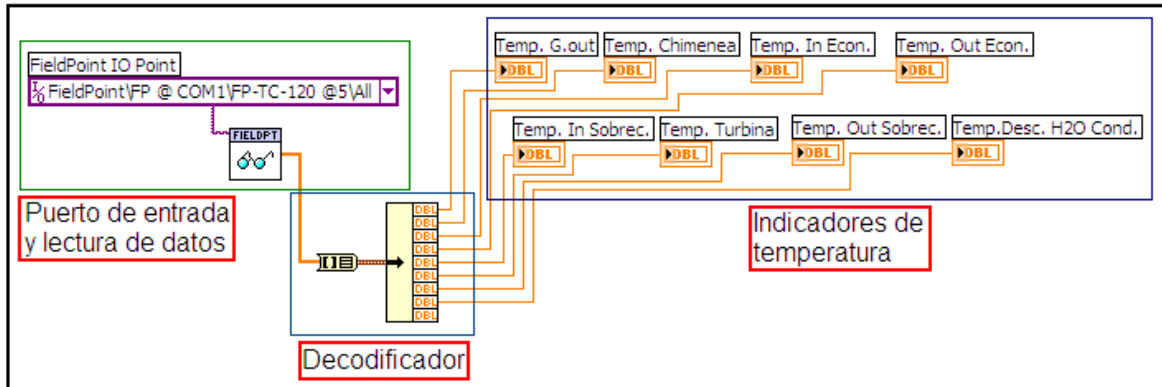


c) Sensores de presión

Fuente: Autor

El programa desarrollado, parte del monitoreo de las temperaturas y de la presión del sistema, una vez capturados estos datos se inicia el control continuo del sistema. En la figura 64 se muestra la el código de programa encargado de la captura de los valores de temperaturas del sistema.

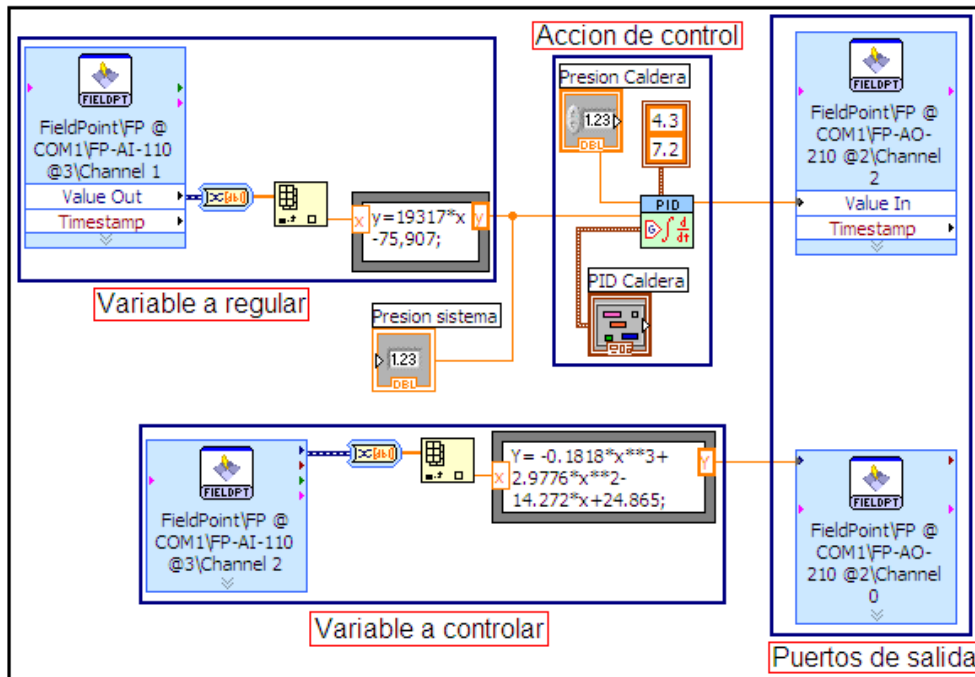
Figura 64. Código de monitoreo de las temperaturas



Fuente: Autor

Para el monitoreo de las temperaturas se parte de tres elementos que son: la lectura de los datos que se realiza por medio del modulo FP-TC-120, la decodificación de los datos capturados y la visualización de la temperatura en el Panel Frontal, tal como se muestra en la figura 65. La captura se realiza por medio de un registro donde se toman todas las temperaturas y se envían como un solo dato, luego estos datos son enviados a un decodificador para tomar cada medida de las temperaturas individualmente y ser mostradas en el panel frontal. A continuación se muestra en la figura 65 el algoritmo implementado para el monitoreo y control.

Figura 65. Diagrama de control



Fuente: Autor

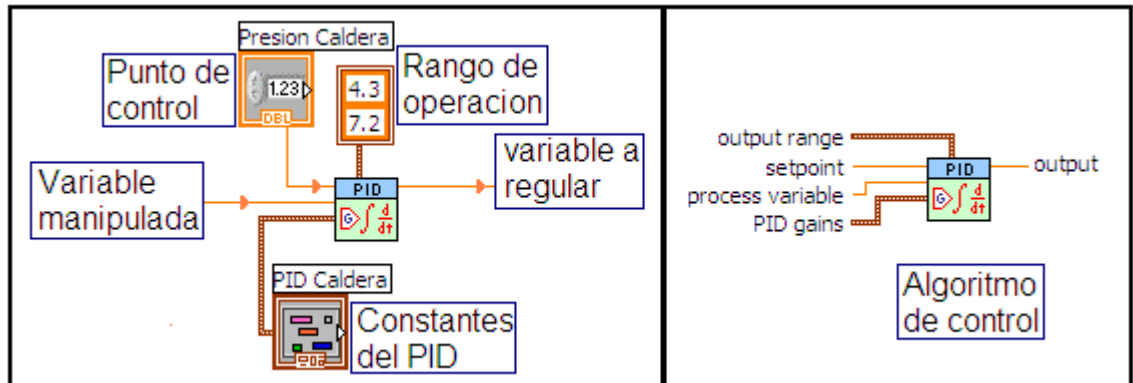
Para el control, se parte de la captura del valor de presión del sistema como variable a regular; esta presión es capturada mediante el transductor de presión quien me proporciona una señal de corriente analógica y es enviada al modulo FP-AI-110. Este valor es aplicado a una ecuación lineal en el programa, ecuación que permite calcular la presión del sistema mediante la variación de corriente. Esta ecuación fue deducida mediante pruebas que se realizaron al transductor a diferentes presiones, midiendo el nivel de corriente proporcionaba por el transductor² a cada presión, la ecuación deducida es la siguiente:

$$P \cong 19317 * i - 75,907$$

² Ecuación deducida ya que no se conocía datos de este transductor.

Donde P es la presión del sistema y i es la corriente del transductor (en miliamperios). Después de que se tiene la ecuación y a su vez el valor de la presión, valor que es la variable a controlar, es enviado a la acción de control PID implementado, como se muestra en la figura 66, para iniciar el control.

Figura 66. Acción de control PID



Fuente: Autor

En esta acción de control PID los datos necesarios para definirlo son: el punto de control o Setpoint, la variable del proceso que es la presión del sistema, las constantes del control PID que están en un Cluster o registro y el rango de operación en el que el valor de salida estará oscilando. El valor de salida o de control es dirigido hacia la servoválvula que controla el flujo de gas, con el fin de ajustar una combustión que mantenga la generación del vapor necesaria. Como la combustión es una relación aire-combustible el sistema debe estar controlando a la vez el suministro de aire, esto se logra controlando el variador de velocidad del ventilador, la señal que comanda el variador es una señal realimentada de la servoválvula, esto debido a que, la respuesta que tiene la servoválvula con respecto a la del variador es muy lenta. Si se conectara el variador del ventilador directamente al control PID la caldera se apagaría por exceso de aire ya que el variador responde mas rápido al momento de suministrar el aire, por tanto la señal de realimentación de la servoválvula es la que controla el variador del ventilador y así garantizar siempre la relación adecuada.

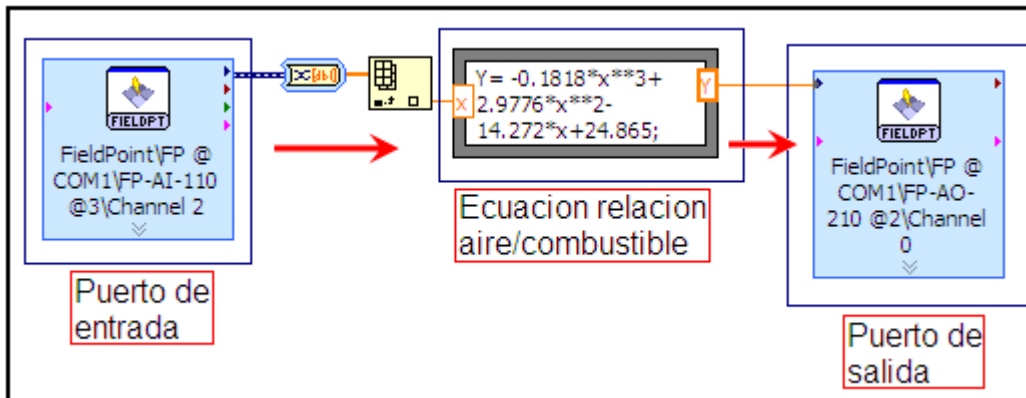
La relación de la posición de la válvula con respecto a la velocidad del motor del ventilador la obtuvimos realizando pruebas, donde consistía en ajustar la relación aire/combustible para diferentes posiciones de la válvula. Para cada posición de la válvula se ajustaba una velocidad del variador, cuando se tenía la posición se media el nivel de tensión tanto de la válvula como el del variador para obtener la relación adecuada, estos datos son mostrados en la tabla 14 con su respectiva ecuación que relaciona estas dos variables de control.

Tabla 14. Relación Aire/Combustible

Relación Aire/Combustible		
Gas (Vdc)	Aire (Vdc)	Ecuación
7.2	8.62	$A = -0.1818.G^3 + 2.9776.G^2 - 14.272.G + 24.865$
6.5	8	
6	7.2	
5.7	6.5	
5.2	5.7	
4.9	5	
4.3	4.1	

Una vez deducida la ecuación que relaciona la servoválvula con el motor del ventilador desarrollamos el programa mostrado en la figura 67 que controlara la variación de la velocidad del motor del ventilador según la posición de la servoválvula.

Figura 67. Control de velocidad del motor del ventilador



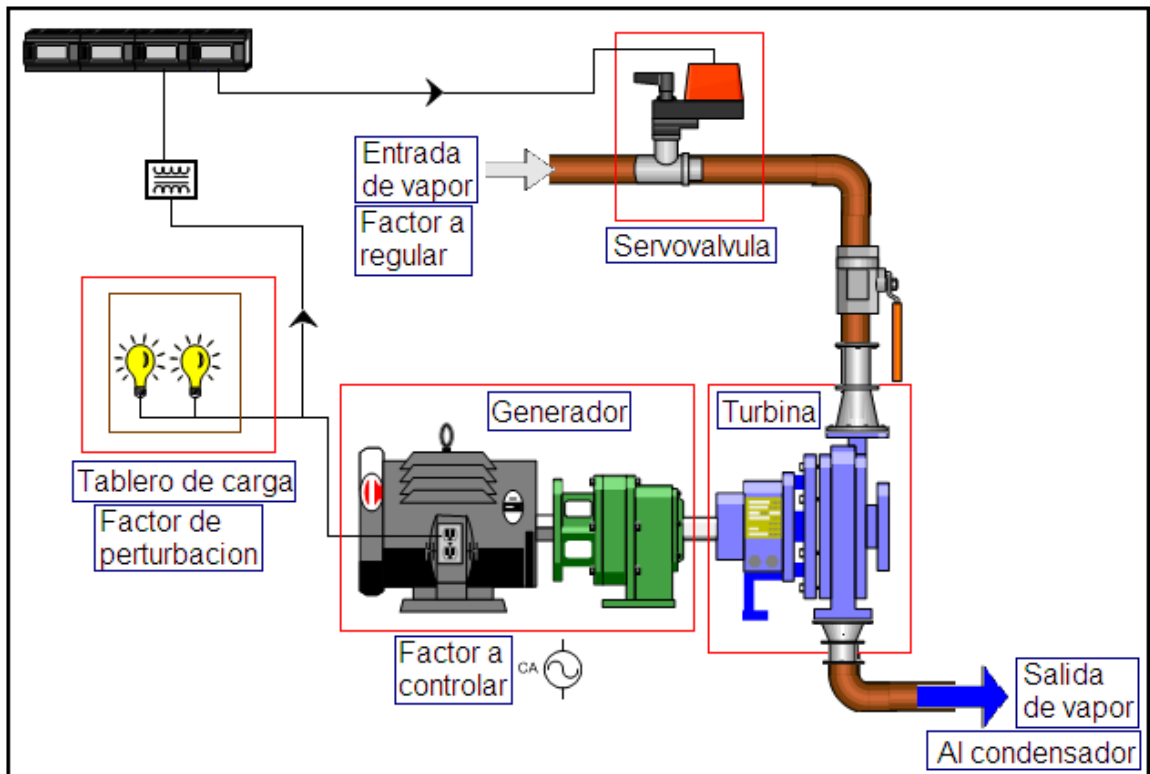
Fuente: Autor

Por el puerto de entrada del modulo FP-AI-110 capturamos el valor de realimentación de la servoválvula, este valor se introduce a la ecuación que es la encargada de relacionarnos el flujo de combustible con el flujo de aire, luego el resultado que proporciona la ecuación es enviado al modulo FP-AO-210 para controlar la velocidad del ventilador; esta señal de control oscila entre cero (0) y diez (10) voltios.

3.3.4 Control para la generación de la energía

El control de la válvula parte de la identificación de las variables que se monitorearan y controlaran para el buen funcionamiento del sistema, como lo son: el flujo de vapor suministrado a la turbina como variable a regular, el voltaje generado como variable a controlar y la potencia a suministrar según la carga impuesta al sistema de generación. En la figura 68 se muestra los elementos que hacen parte del control y las variables antes mencionadas.

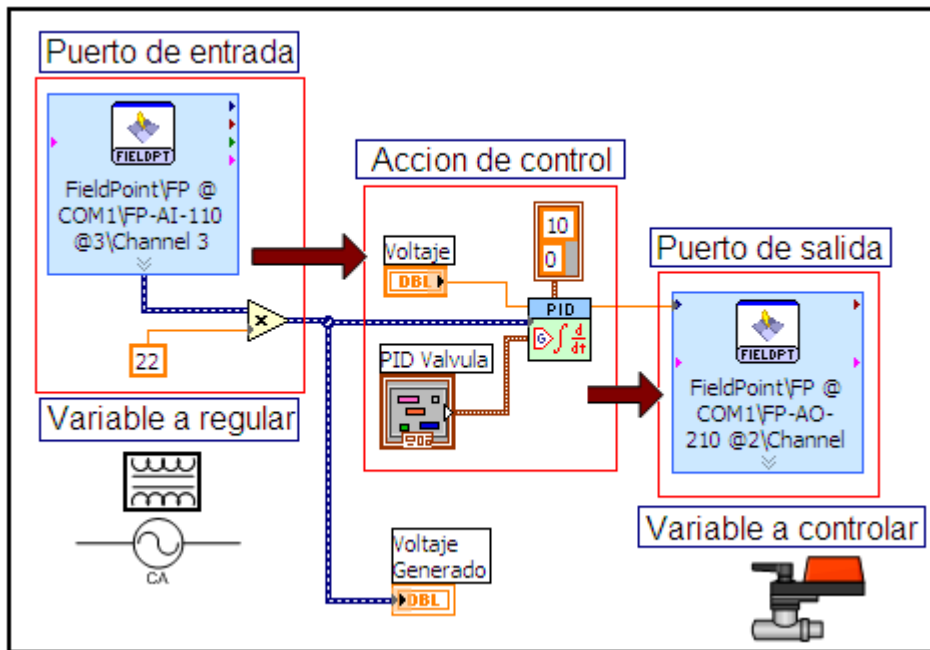
Figura 68. Diagrama de control de la turbina/generador



Fuente: Autor

El monitoreo y control se inicia con la captura del nivel de voltaje generado, este nivel que se monitorea continuamente permite controlar la abertura o cierre de la servoválvula, logrando así que se controle el flujo de vapor que se suministra a la turbina y de esta forma controlar la generación de energía según la carga conectada. En la figura 69 se muestra el código de programa encargado de controlar y mantener el valor deseado del sistema.

Figura 69. Acción de control PID para la Turbina/Generador



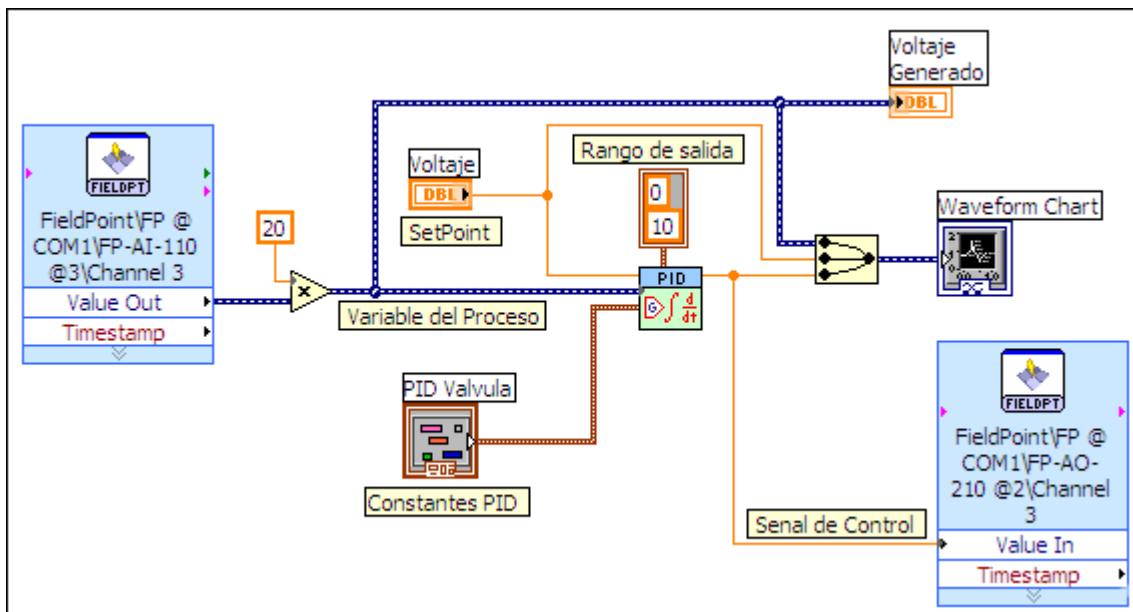
Fuente: Autor

Como primer paso, tenemos el monitoreo del nivel de tensión generado, esta medida se realiza por medio de un transformador reductor quien es el encargado de traducirnos el voltaje generado, valor que oscila entre 0 Vac hasta 120 Vac y acondicionarlo a un nivel que va de -5 Vac a 5 Vac. El voltaje generado es suministrado a un panel de bombillos o panel de carga, este panel de carga tiene la posibilidad de ajustar la potencia a consumir por medio de unos interruptores que van aumentando o disminuyendo la carga cada 300 watios, brindando con esto que la carga sea variable.

La conexión del transformador tiene como objetivo, atenuar el nivel de tensión generado y acondicionarlo a un valor que pueda ser capturado por el modulo de adquisición de datos, que para este caso es el modulo FP-AI-110, modulo que recibe señales que están dentro del rango de 0 a 10 voltios, por tanto, la señal proporcionada por el transformador es convertida en una señal continua con el fin de ajusta niveles positivos y que estén dentro del rango exigido por el modulo.

El código de programa mostrado en la figura 70 es el encargado de interpretar el valor capturado por el modulo FP-AI-110 y multiplicarlo por una constante de atenuación que se obtiene de la relación de transformación del transformador para que así, se obtenga el valor real del voltaje generado y se pueda mostrar en el Panel de Control y utilizarlo como lazo realimentado en el control PID. Esta constante de atenuación es de 1 a 20. Una vez definido las variables, el control PID suministra la señal de control que se enviara a la servoválvula por medio del modulo FP- AI - 210 y asi controlar el flujo de vapor.

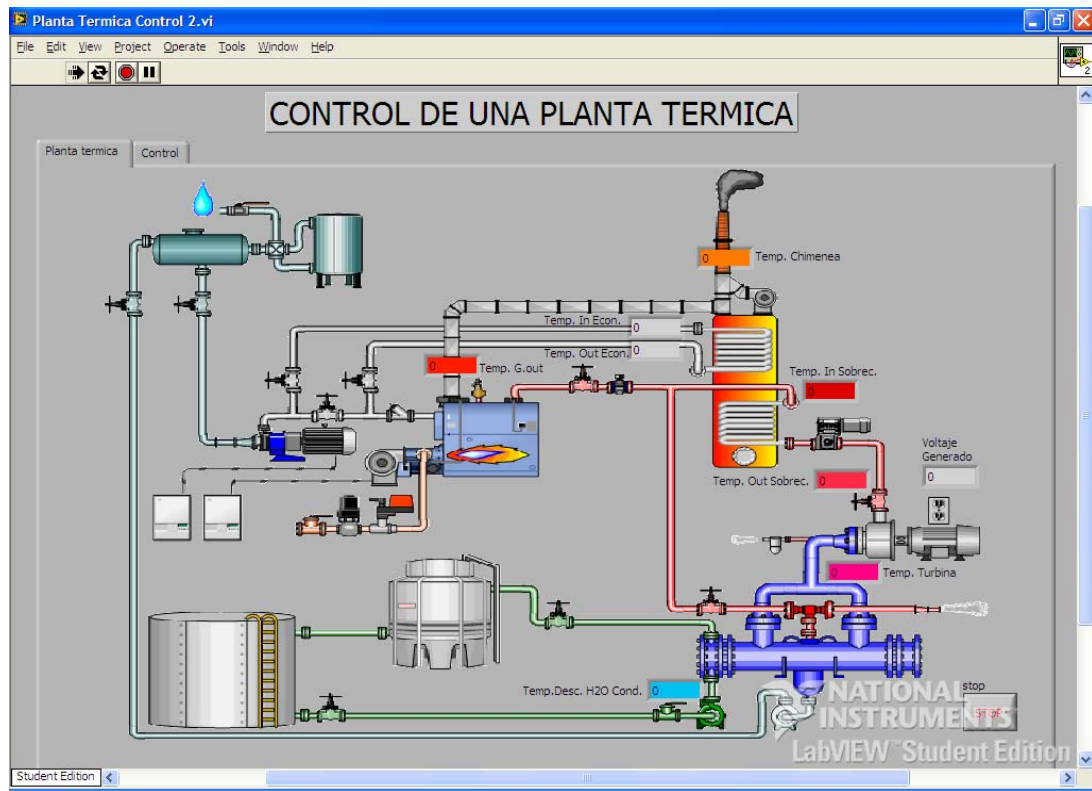
Figura 70. Código para el control de flujo de vapor



Fuente: Autores

De esta forma el control de la planta térmica se desarrolla aplicando dos controladores PID, uno para el control de la generación de vapor a cierta presión y el otro para el control del nivel de tensión generado. A continuación se mostrara en la figura 71, 72 y figura 73, el panel frontal o panel de control y el diagrama de bloques o el código fuente del programa.

Figura 71. Panel Frontal Planta Térmica



Fuente: autores

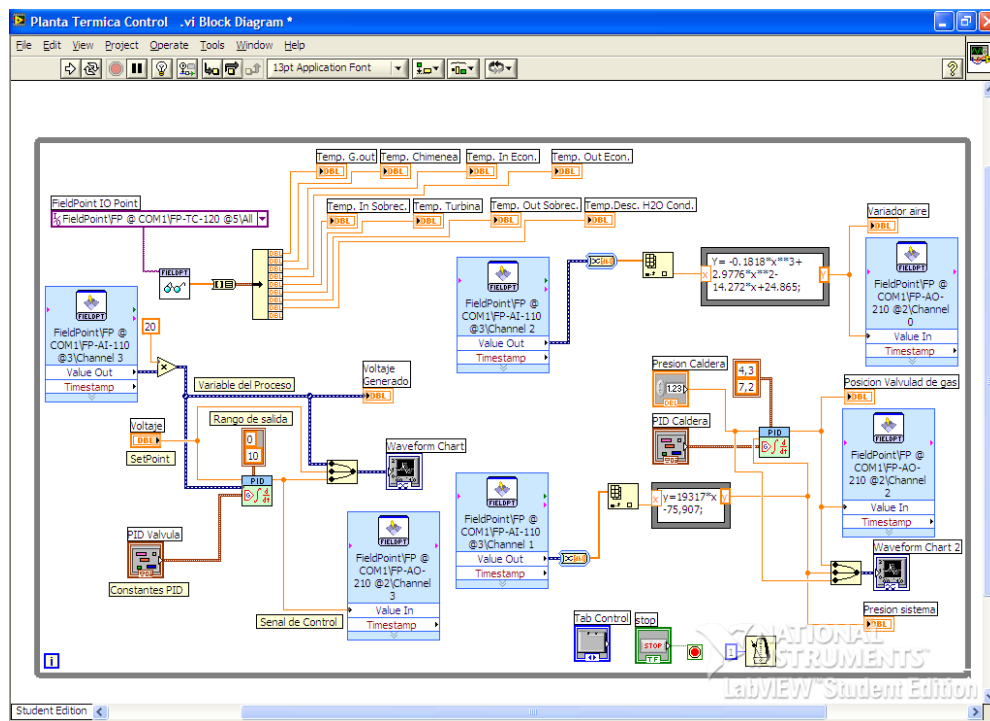
El panel frontal se encuentra dividido en dos partes: una donde se muestra el diagrama de la planta térmica indicándonos los valores de temperatura y la otra parte lo referente al control en si de los sistemas tal como se muestra en la figura 72.

Figura 72. Panel Frontal Planta Térmica (Control)



Fuente: autores

Figura 73. Diagrama de Bloques Planta Térmica



Fuente: autores

La sintonización del control PID implementado tanto para el control de la caldera y el control de la generación de la energía parte de una metodología propuesta por Ziegler y Nichols, esta sintonización parten del cálculo de las constantes del sistema mediante las características de respuesta transitoria de la planta a controlar. Ziegler y Nichols propusieron dos métodos para su sintonización que para el control del sistema aplicamos uno de ellos como una aproximación al cálculo de las constantes de control y que luego se fueron ajustando mediante prueba y error siguiendo la respuesta del sistema a las constantes empleadas.

Este método parte de la aplicación de un escalón unitario al sistema y tomando un valor experimental de la constante proporcional y las demás constantes en cero, se analiza la respuesta del sistema graficando las variables, según este comportamiento llevamos este valor a unas tablas de sintonización para calcular los demás constantes, esta tabla es la 15. De esta forma se determina unos valores base para luego ajustarlos al sistema.

Tabla 15. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta.

Tipo de controlador	K_p	t_i	t_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2\frac{T}{L}$	2L	0.5L

Fuente: Tomado del libro “Ingeniería de Control Moderna”

3.4 MONITOREO Y CONTROL DEL CUARTO FRÍO.

El laboratorio de refrigeración cuenta con un cuarto frío ubicado en el laboratorio de maquinas térmicas, el cual esta constituido por una cámara de enfriamiento, un motocompresor hermético, un condensador de aletas, un evaporador de aletas, un separador de aceite, una trampa de liquido en la succión, un tanque de almacenamiento de liquido y un filtro secador, a demás tiene como indicador un visor, dos manómetros de alta y baja presión y como sistema de control mecánico un presostato.

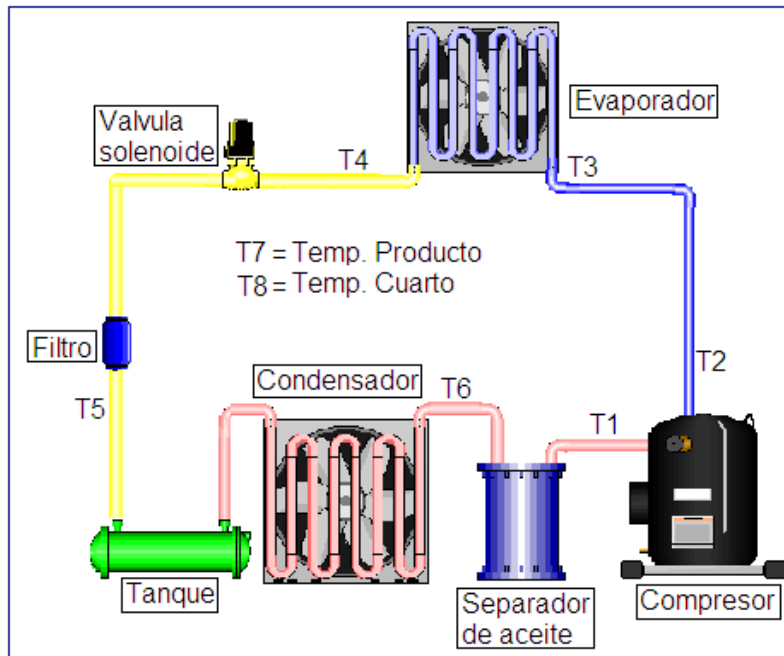
El sistema de refrigeración o cuarto frío a monitorear y controlar esta constituido por tres componentes, que son:

- Equipos de refrigeración
- Actuadores, preactuadotes y tablero de control
- Sistema de adquisición de datos y control

3.4.1 Equipos de Refrigeración

Son los equipos anteriormente mencionados que constituyen el sistema de refrigeración, el monitoreo de estos equipos parte de la captura de las temperaturas en puntos establecidos tal como lo muestra la figura 74, estas datos capturados, son enviados al ordenador por medio de los módulos de adquisición de datos FielPoint.

Figura 74. Circuito de refrigeración cuarto frío.



Fuente: Autor

3.4.2 Actuadores, preactuadores y tablero de control

Son los elementos intermedios entre los circuitos de control y los equipos de refrigeración, son los encargados de acoplar la etapa de control que es una etapa de baja potencia o la que maneja señales de baja tensión, a la etapa de potencia o de alta tensión que maneja los equipos de refrigeración, en la figura 75 se muestran algunos actuadores que acoplan el sistema y el tablero de control. El tablero de control es el espacio donde están ubicados los elementos necesarios para el monitoreo y control. Los elementos involucrados para el control son: un variador de velocidad conectado al motocompresor hermético y los relés actuadores para el control de los ventiladores, en este caso solo se controlara el variador de velocidad, los relés de los ventiladores serán accionados manualmente.

Figura 75. Caja de Control - Cuarto Frío

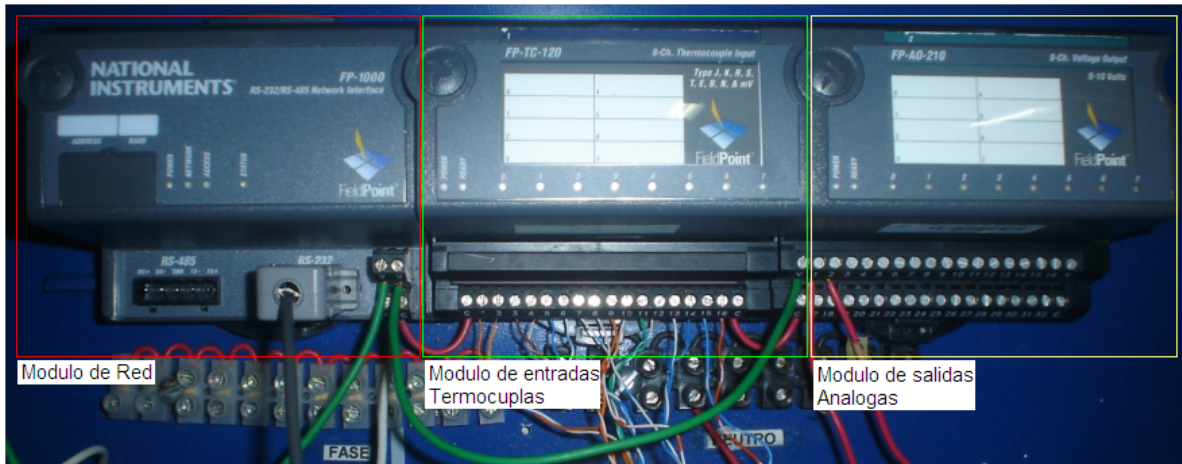


Fuente: Autor

3.4.3 Sistema de adquisición de datos y control

El monitoreo y control del sistema de refrigeración se lleva a cabo mediante los módulos FieldPoint, por tanto los módulos utilizados para el monitoreo y control son, el FP-TC-120 para la monitoreo de las temperaturas del sistema, el FP-AO-210 como modulo de salidas de señales análogas para el variador de velocidad y el FP-1000 modulo de comunicación con el ordenador; cada uno de estos módulos se muestran en la figura 76, donde aparecen conectados en la caja de control.

Figura 76. Modulo de Red y adquisición de datos



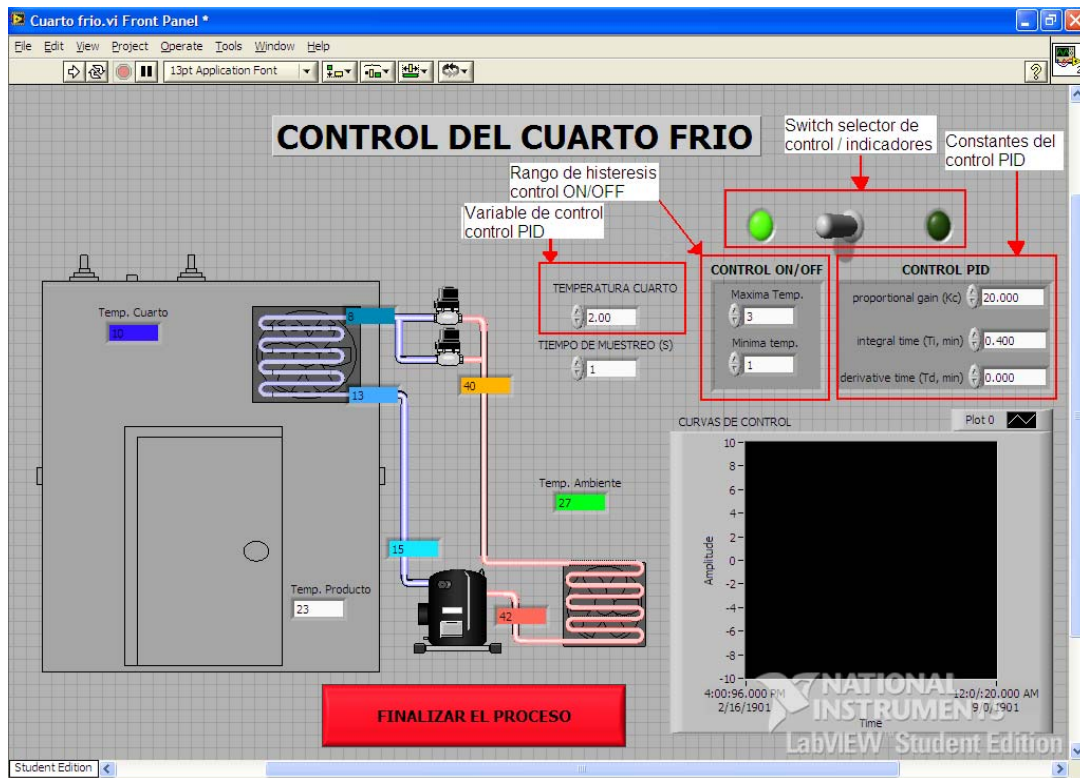
Fuente: Autor

El hardware implementado para el monitoreo y control del sistema es el encargado de recoger los datos medidos de cada equipo y enviarlos al ordenador para su análisis, interpretación y procesamiento, según los datos analizados se pasa a controlar el sistema mediante la variación de la velocidad del motocompresor. Para el control del motocompresor se implemento dos tipos de control que son, el control ON/OFF y el control Continuo.

3.4.4 Control ON/OFF y Control Continuo

El programa implementado para el monitoreo y control del sistema permite al usuario tomar la decisión por cual tipo de control quiere utilizar ya sea control ON/OFF o Control Continuo, tal como se observa en la figura 77, por tanto, ya sea cual sea el control a utilizar el usuario debe de suministrar la información necesaria para el inicio del monitoreo y control deseado.

Figura 77. Panel de Control - Cuarto Frio



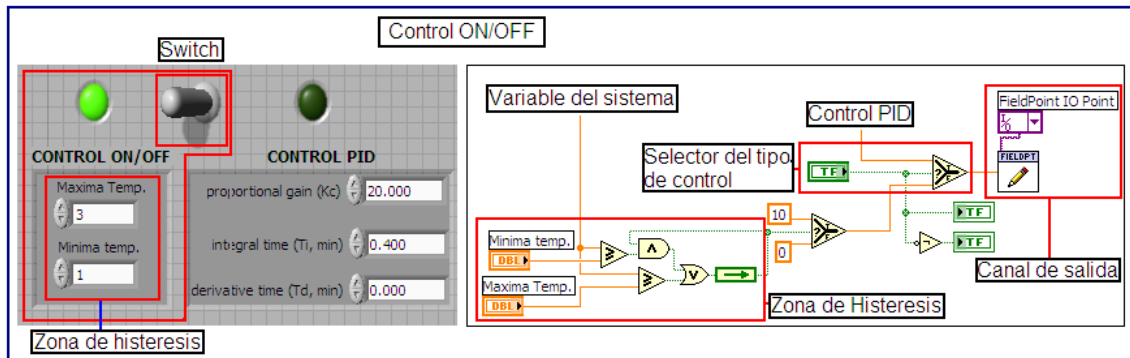
Fuente: Autor

En la figura 78 se muestra el Panel Frontal del VI implementado para el monitoreo y control, es la interfaz con la que el usuario interactuará. En ella se encuentran indicadores, botones y controles, a demás tenemos un Switch que es el encargado de seleccionar el tipo de control a utilizar, por defecto el sistema tendrá como selección el control ON/OFF y unos valores ya definidos como parámetros de inicio de control.

- Control ON/OFF: El control ON/OFF parte de la determinación de un rango de trabajo en el cual la variable del sistema debe permanecer, a este rango o zona se le conoce como rango muerto o zona de histéresis. Por tanto, el usuario debe escribir en las variables de control los valores deseados en el que se quiera controlar el sistema, en la figura 79 se

muestra con detalle las variables de control y la programación requerida para desarrollar esta zona de histéresis.

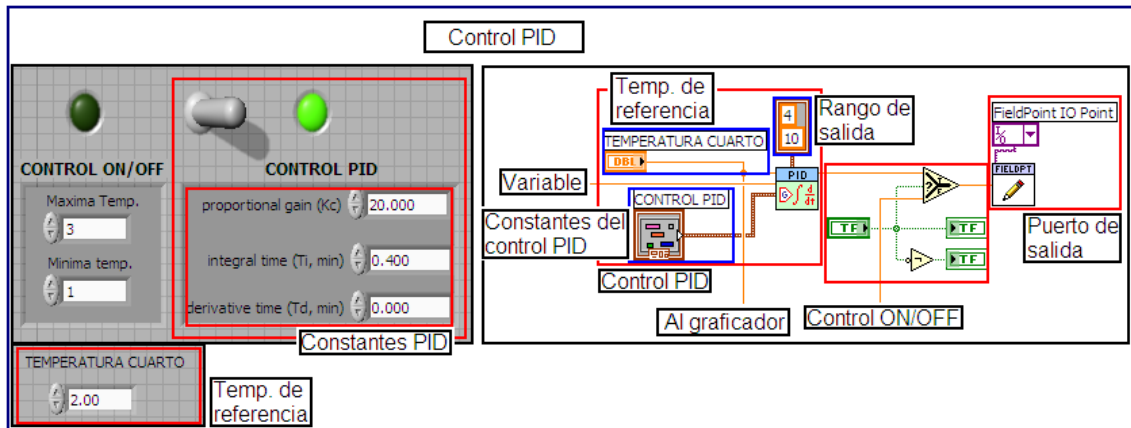
Figura 78. Control ON/OFF



Fuente: Autor

- Control continuo: Para el control continuo se implementó el control PID, este control garantiza corregir cualquier variación del sistema y retornar suavemente a la condición de estado estable. El control PID controla la variación de velocidad del compresor mediante un variador de velocidad, esta variación de velocidad garantiza un ajuste de la capacidad ofrecida por el sistema de forma fina, permitiendo así que se tenga un ahorro energético del sistema durante su operación. En la figura 79 se puede ver parte del Panel Frontal donde aparece la ventana del control PID, el recuadro de las constantes de control y la variable de control, a demás, también se muestra la programación del control PID en el Diagrama de Bloques.

Figura 79. Control PID



Fuente: Autor

Para el control PID recurrimos al algoritmo que proporciona LabVIEW tal como lo vemos en la figura 79, en este algoritmo solo se necesita cumplir algunas de las conexiones, como lo es, la variable de control que es la temperatura del cuarto a la cual se quiere llevar y la variable de entrada o la variable a manipular que es la medición de la temperatura del cuarto, también tenemos un Cluster³ para las constantes del controlador, un rango en el cual el valor de salida del controlador oscilara. El valor proporcionado por la acción PID es enviado al controlador para variar la velocidad del compresor y cumplir con el requerimiento del sistema.

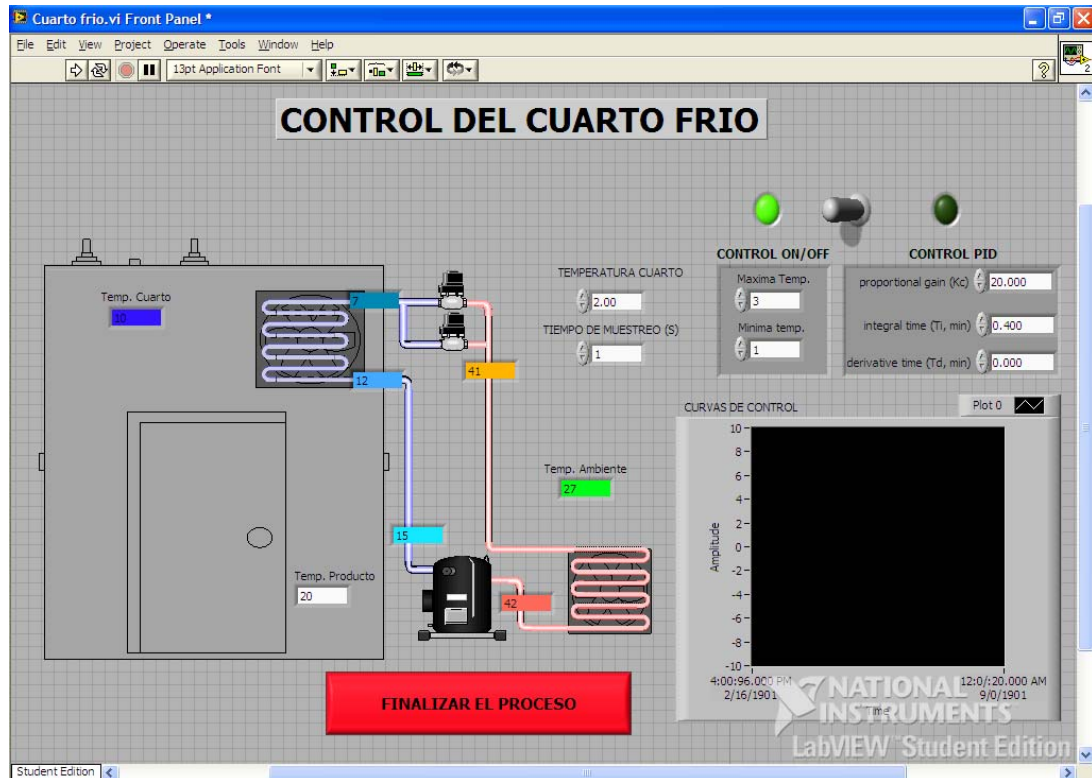
A continuación se mostrara en la figura 80 y figura 81 el Panel Frontal y el Diagrama de Bloques del programa implementado para el monitoreo y control del cuarto frío, en el Panel Frontal se muestra un esquema sencillo de un sistema de refrigeración con indicadores para la temperatura, variables de control y un switch para la selección del control; en el Diagrama de bloques se muestra el algoritmo para el monitoreo de las temperaturas, el algoritmo para el almacenamiento de

³ Un Cluster es una agrupación de elementos dentro de una estructura, para saber un poco mas recúrrase al manual de entrenamiento (anexo B)

datos (si el usuario desea guardarlos) que son exportados a un archivo de tipo .xls. y el algoritmo que se encarga de seleccionar el tipo de control a ejecutar.

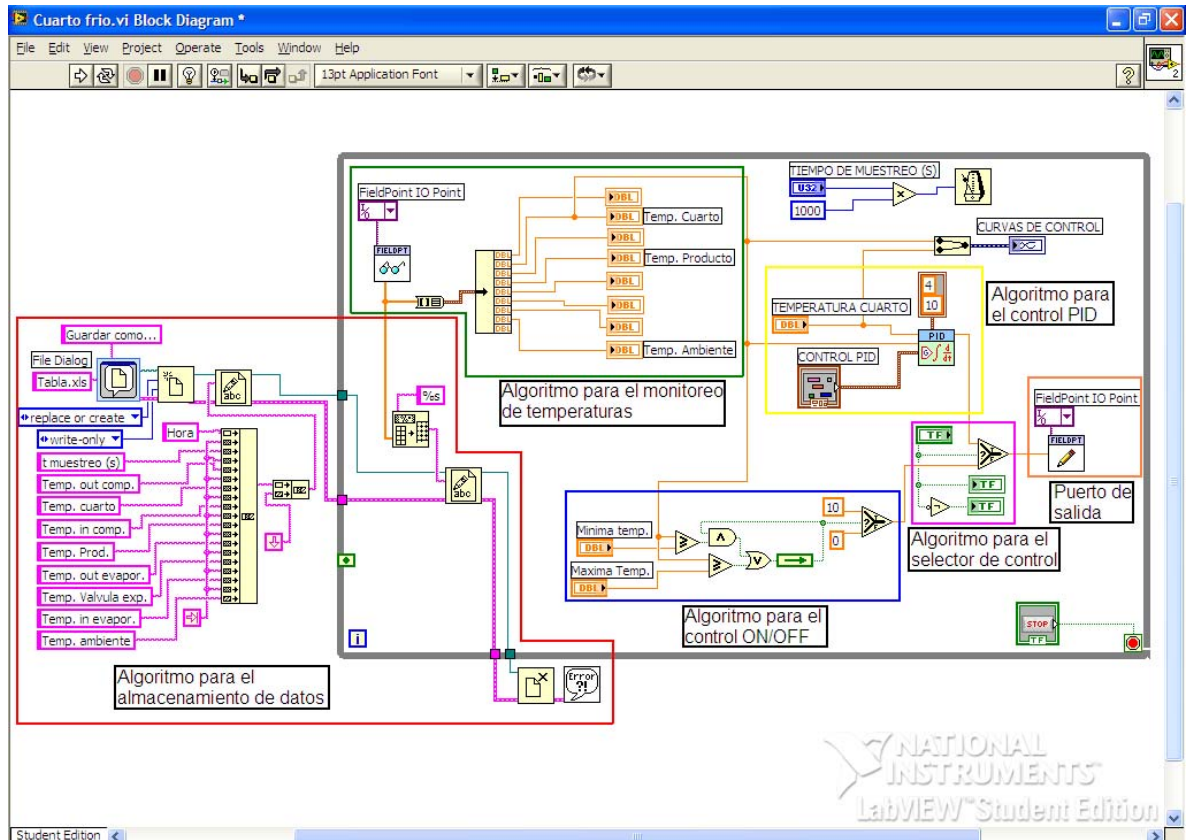
Para encontrar las constantes del controlador PID se siguieron las reglas de Ziegler Nichols tal como se explico en el control de la planta térmica.

Figura 80. Panel Frontal - Control Cuarto Frío



Fuente: Autor

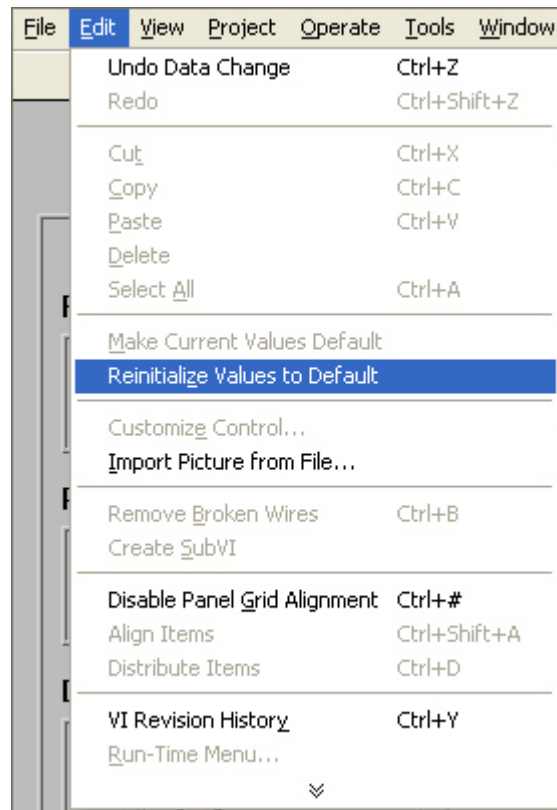
Figura 81. Diagrama de Bloques - Cuarto Frío



Fuente: Autor

Durante el desarrollo de una práctica, se realizan varias tomas de datos debido a la variación de parámetros del banco. El oprimir el control “DETENER PRUEBA”, se detiene la medición y registro de datos pero los campos y graficas quedan con el último valor registrado. Para eliminar estos valores antes de iniciar un nuevo registro, se recomienda seleccionar en el menú “Edit” el comando “Reinitialize Values to Default”, tal como se indica en la figura 82.

Figura 82. Restaurar la VI



Fuente: Autores

CONCLUSIONES

- ❖ Se implementó un sistema para el monitoreo y control de los bancos del laboratorio de transferencia de calor, refrigeración y planta térmica.
- ❖ Se logró que para cada uno de los bancos, los componentes del hardware como los software desarrollados, garanticen la realización de pruebas con un alto grado de confiabilidad.
- ❖ Se logró facilitar a los usuarios las labores de mantenimiento y configuración del hardware básicas tales como:
 - * El conexionado de cada uno de los dispositivos a los módulos de adquisición de datos siguiendo como guía el manual de operación que se encuentra en el anexo A de este libro, manual que muestra para cada uno de los bancos las conexiones que se deben seguir para la realización de la prueba.
 - * La configuración de los módulos de adquisición de datos mediante el uso del software MAX, siguiendo como guía el manual de desarrollo que se encuentra en el anexo B. Este manual mediante un ejemplo, muestra el procedimiento que se debe llevar para la configuración de los módulos y sus puertos de forma sencilla para su aprendizaje.
- ❖ Se logró que las pruebas efectuadas a cada uno de los bancos del laboratorio, aplicando esta herramienta, se realizaran con un alto grado de confiabilidad, disminuyendo así, las fuentes de error que se presentan al momento de realizar las mediciones.

- ❖ Se realizaron dos manuales con el fin tener una guía rápida de programación, configuración y implementación de los dispositivos para cada uno de los banco del laboratorio, a demás con esto se consigue que los auxiliares que vayan llegando al laboratorio les permita tener una herramienta para implementar en la realización de los programas para el monitoreo y control.

- ❖ La elaboración de este proyecto permitió que pudiéramos tener una experiencia a partir de la necesidad de poder implementar un sistema de monitoreo y control a los bancos del laboratorio. Esta herramienta que es el software LabVIEW y el software de configuración MAX permitieron que tuviéramos una opción mas al momento de implementar un sistema de control mediante la medición de variables, como también la experiencia de montar todo un sistema de control y monitoreo a un proceso, dejándonos beneficios como ingenieros mecánicos ya que esta área es parte complementaria a las estudiadas durante la carrera universitaria.

RECOMENDACIONES

- * Se recomienda al usuario estudiar previamente el manual de operación y el manual de desarrollo para una mejor comprensión y fácil acceso.
- * Se recomienda la utilización del Software LabVIEW y el software MAX para futuras aplicaciones que tenga que ver con monitoreo y control de procesos, ya que su forma de programación y de configuración es muy interactivo.
- * Es una forma rápida, precisa y confiable al momento de capturar señales del medio para su posterior análisis, almacenamiento y visualización de estos datos en el panel de operación.

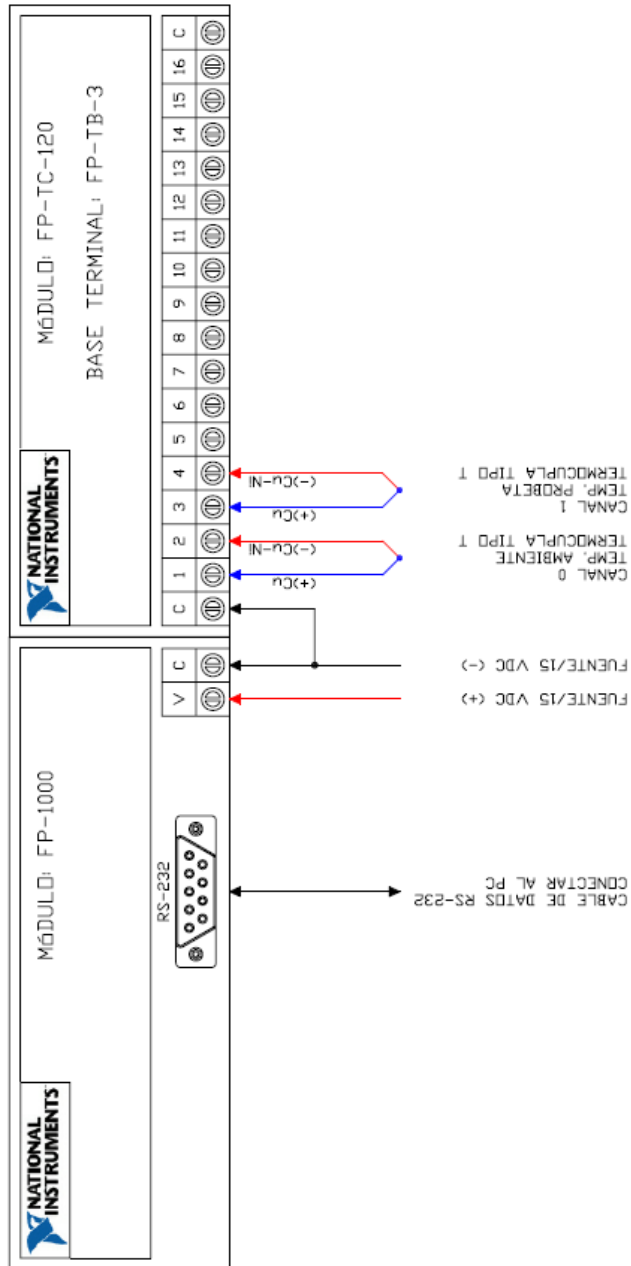
BIBLIOGRAFÍA

- * **LÁZARO**, Antonio Manuel. LabVIEW 6i, Programación grafica para el control de instrumentación. Paraninfo Thomson Learning 2001.
- * **National Instruments**. FP-1000/1001 User manual. April 1999 Edition.
- * **National Instruments**. Manuales de Módulos de señales FieldPoint
- * **National Instruments**. PID Control tooset, User Manuel. November 2001 Edition.
- * **BOTIA**, Javier y **PARRA**, Manuel. Simulación y cuantificación del ahorro energético de una caldera pirotubular bajo control ON/OFF y continuo, trabajo de grado.
- * **SMITH**, Carlos y **CORRIPIO**, Armando. Control Automático de Procesos, Aplicaciones y Práctica. Limusa 1999.
- * **SHINSKEY**, F. G. Sistema de control de procesos, Aplicación, diseño y sintonización. Tomo I, McGraw Hill. 1996.
- * **OGATA**, Katsuhiko. Ingeniero de control moderno. Prentice Hall.
- * **LAJARA**, José Rafael y **PELEGRI**, José, Entorno Grafico de Programación. 1 edición, Marcombo. 2007.

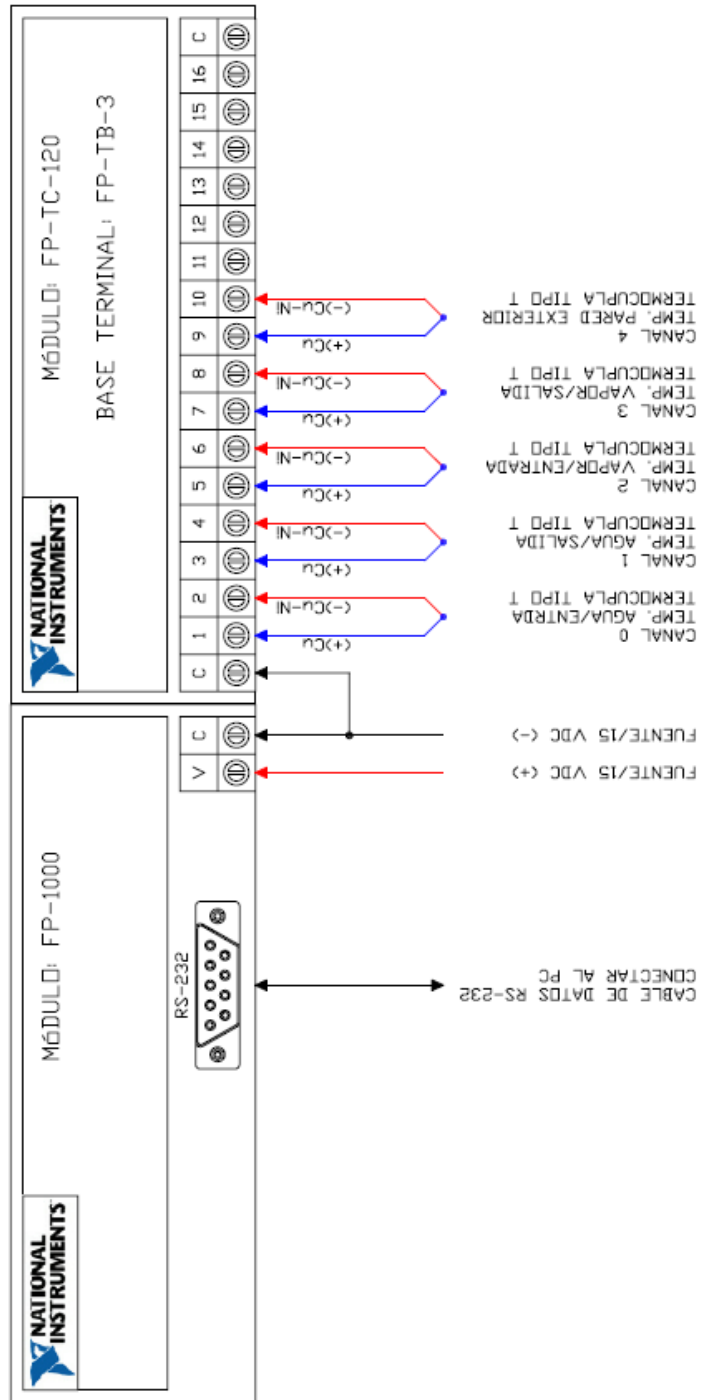
ANEXOS

ANEXO A. DIAGRAMAS DE CONEXIONADO

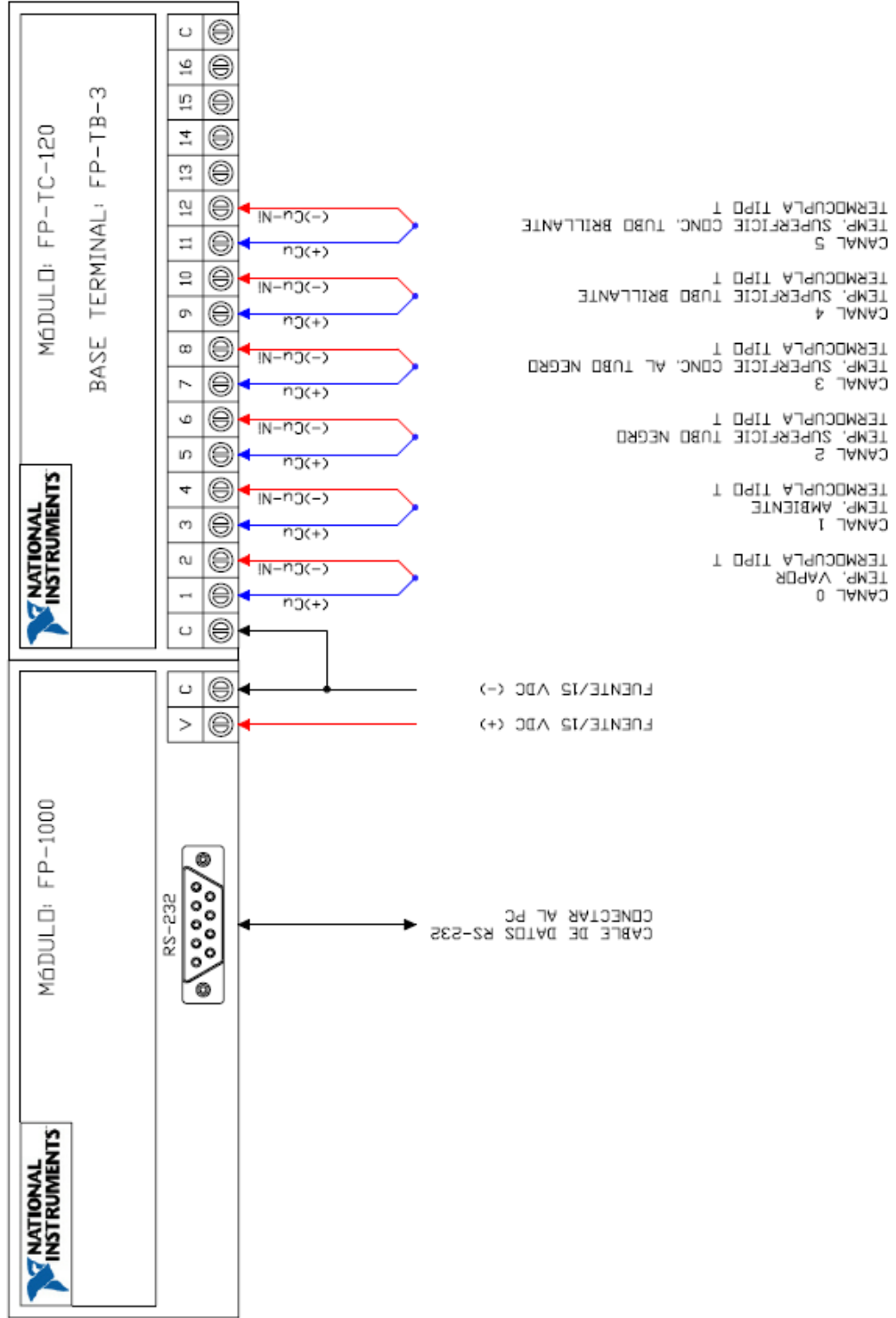
1. Diagrama de conexionado para el banco de conducción transitoria.



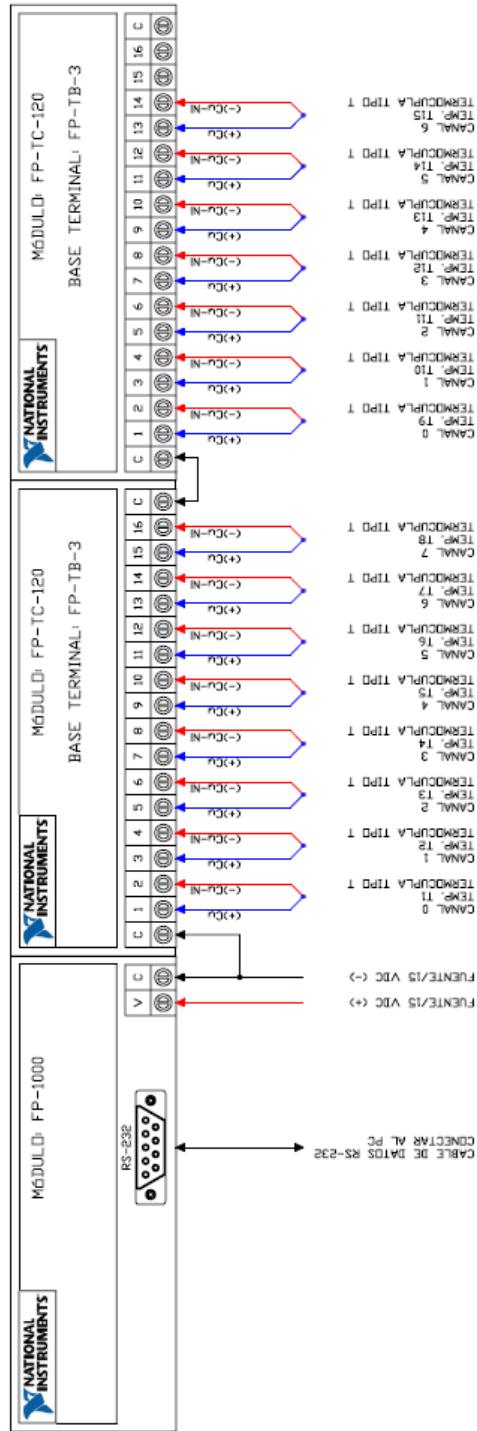
2. Diagrama de conexión para el banco de convección.



3. Diagrama de conexonado para el banco de emisividad.



4. Diagrama de conexionado para el banco de intercambiadores de tubos concéntricos.



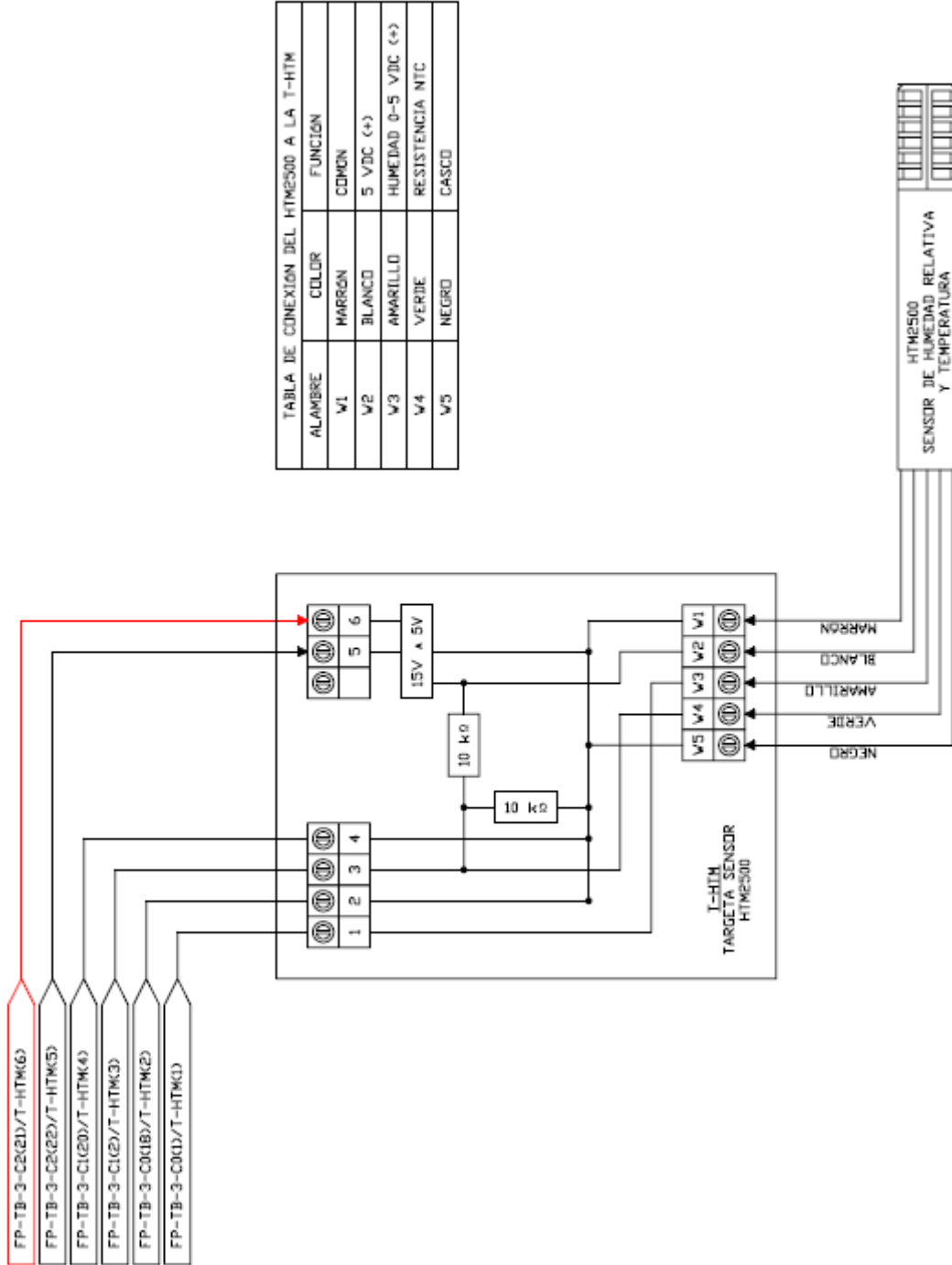
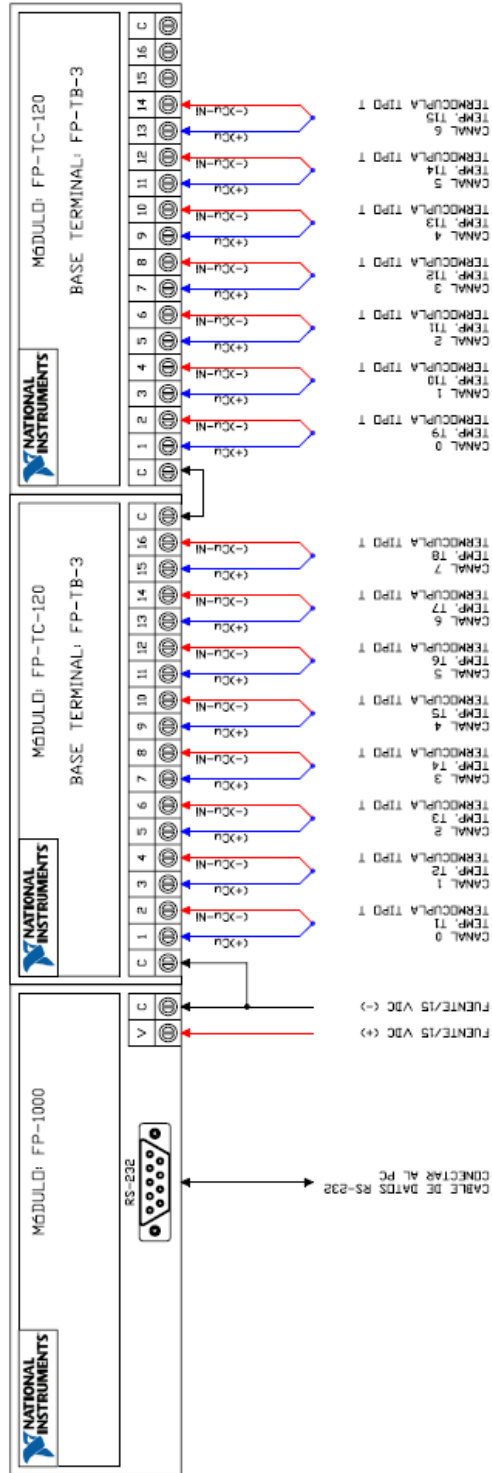


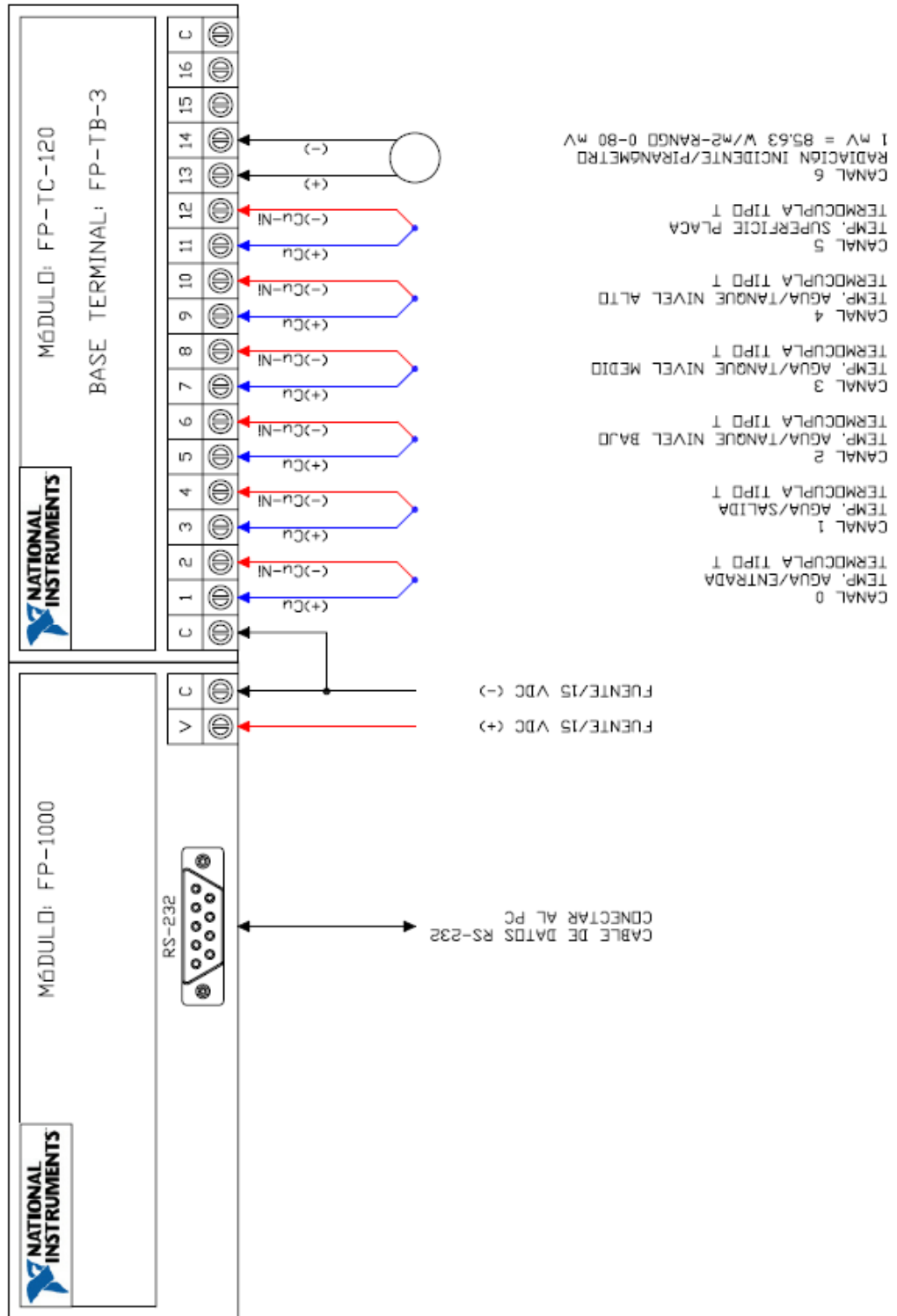
TABLA DE CONEXION DEL HTM2500 A LA T-HTM

ALAMBRE	COLOR	FUNCION
W1	MARRON	COMON
W2	BLANCO	5 VDC (+)
W3	AMARILLO	HUMEDAD 0-5 VDC (+)
W4	VERDE	RESISTENCIA NTC
W5	NEGRO	CASCO

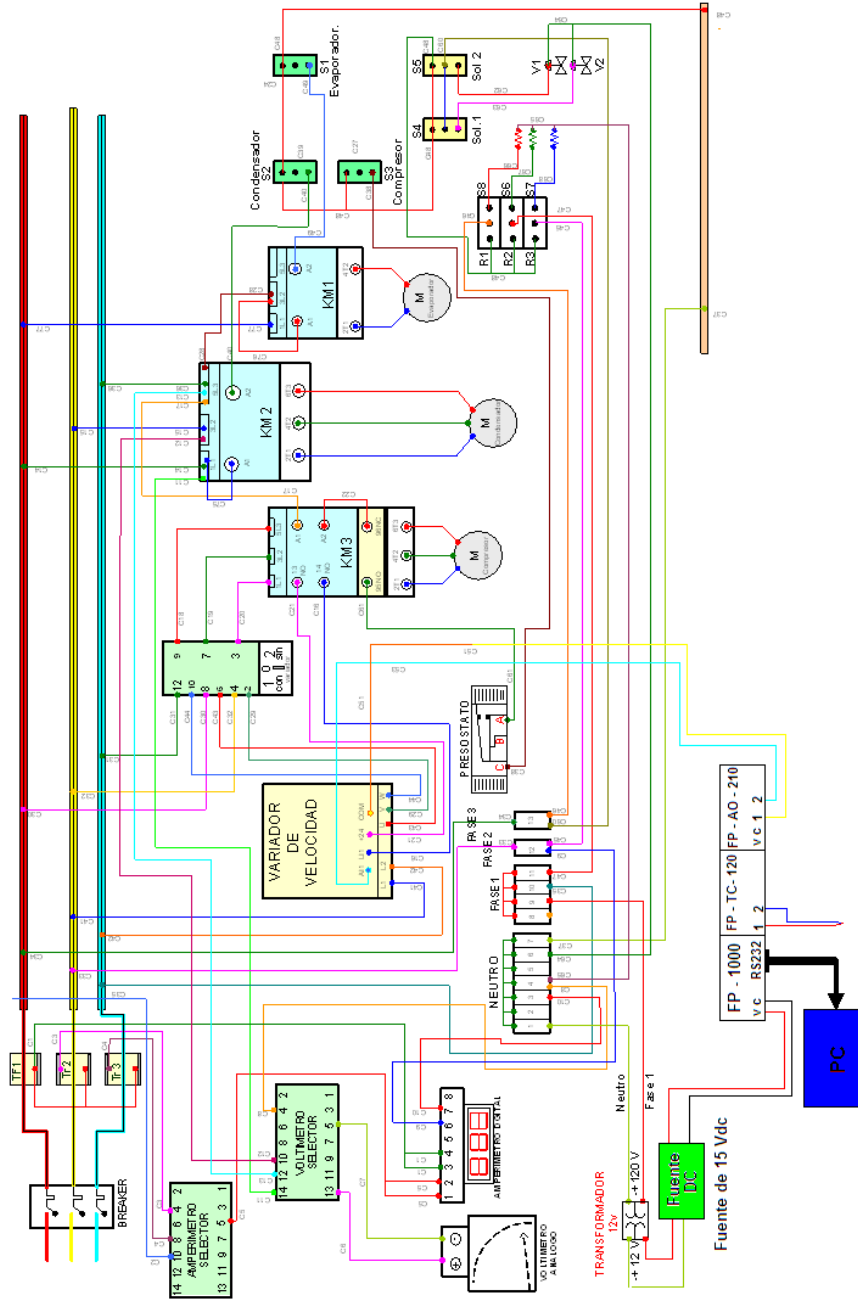
6. Diagrama de conexionado para el banco de intercambiadores de casco y tubos.



7. Diagrama de conexonado para el banco del colector solar.



8. Diagrama de conexionado para el cuarto frío.



ANEXO B. MANUAL DE OPERACIÓN

El capítulo 3 se enfoca en el panel frontal de las VI desarrolladas para los bancos y/o sistemas que hacen parte del laboratorio de transferencia de calor, describiendo los aspectos para su diseño y operación, partiendo del objetivo de la práctica a desarrollar en dichos bancos y/o sistemas.

El manual de operación tiene el mismo punto de partida que el capítulo 3 y está orientado al diagrama de bloques de las VI desarrolladas para los bancos y/o sistemas del laboratorio de transferencia de calor.

PROCESO DE DISEÑO DE UNA APLICACIÓN EN LABVIEW

El proceso de diseño de una aplicación en Labview para los bancos y/o sistemas del laboratorio de transferencia de calor se presenta en el diagrama de la figura 1.

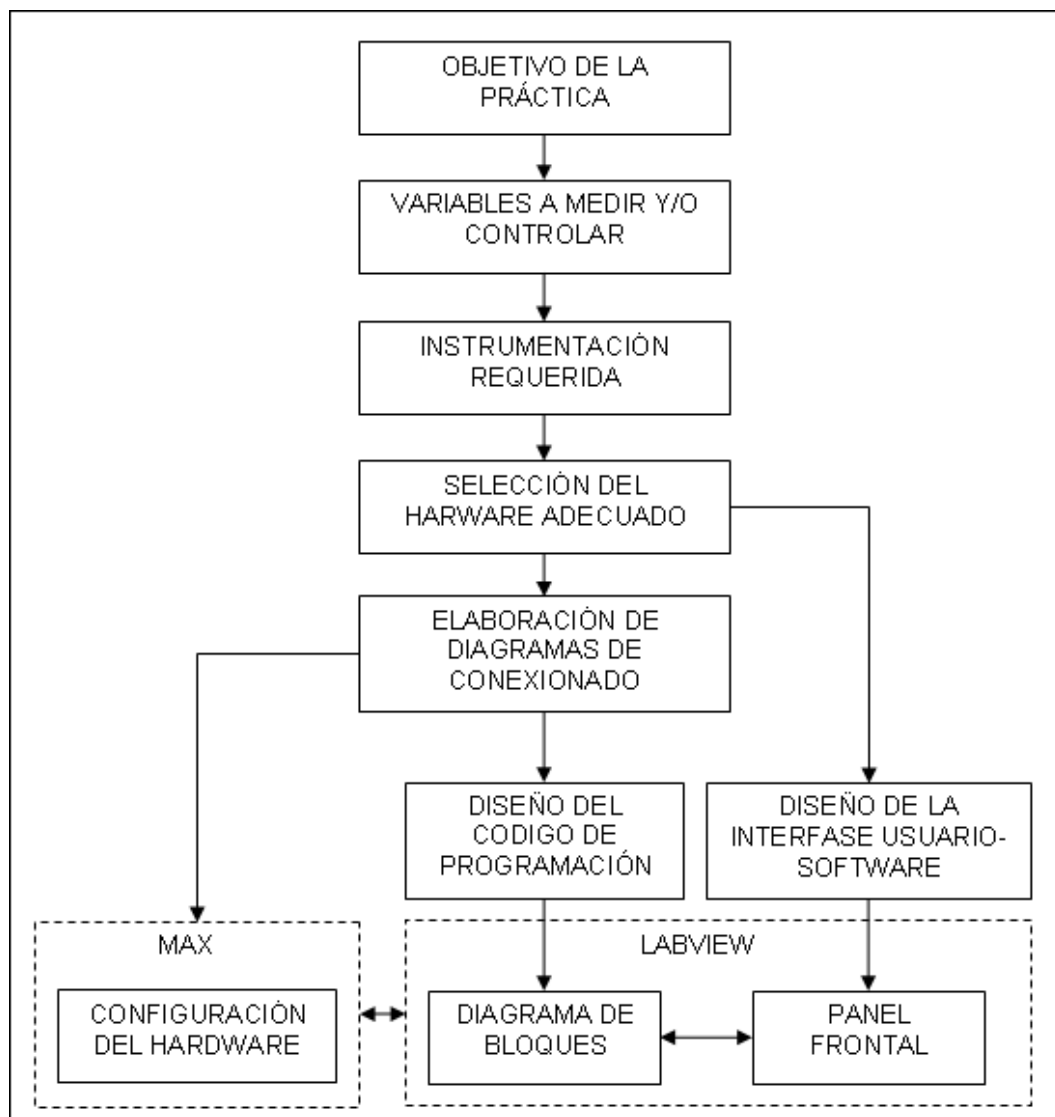
Los cuatro primeros pasos, objetivo de la práctica, variables a medir y/o controlar, la instrumentación requerida y la selección del hardware adecuado, son explicadas en el capítulo 3 y en base a esta información se diseña el panel frontal de la VI en Labview.

La información descrita en el párrafo anterior se emplea para elaborar los diagramas de conexión de cada banco y/o sistema del laboratorio de transferencia de calor. Los diagramas de conexión se encuentran en el Anexo A. En los diagramas se detalla la conexión o cableado de los sensores y/o actuadores de los respectivos puntos a medir o controlar definidos para cada banco y/o sistema.

Estos diagramas no solo se emplean para el conexionado, también son la base para elaborar el archivo de configuración del hardware seleccionado y el diseño del código de programación en el diagrama de bloques de la VI en Labview.

El archivo de configuración del hardware se genera en el software “MEASUREMENT & AUTOMATION EXPLORER (MAX)”.

Figura 1. Proceso de diseño de una aplicación en LabVIEW



Fuente: Autores

Es importante aclarar que el cableado de sensores y/o actuadores al hardware seleccionado para una práctica se debe realizar tal como se indica en el diagrama de conexionado respectivo, o de lo contrario, no se estarán registrando o controlando las variables definidas en el banco y/o sistema.

CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE EN MAX

A partir de los diagramas de conexionado del Anexo A, se elabora el archivo de configuración del hardware en software “MEASUREMENT & AUTOMATION EXPLORER (MAX)”.

Este archivo de configuración se puede elaborar online u offline, lo cual significa que los dispositivos pueden estar o no conectados al PC respectivamente.

A continuación se explicara como elaborar el archivo de configuración offline empleando el diagrama de conexionado de LCT-05 que corresponde al banco de la torre de enfriamiento (Anexo A). En todos los diagramas están detallados el modulo de red, los módulos de señales y las bases terminales empleados para realizar la práctica de laboratorio.

1. Abrir el software “MEASUREMENT & AUTOMATION EXPLORER (MAX)”, identificado con el siguiente icono de la figura 2.

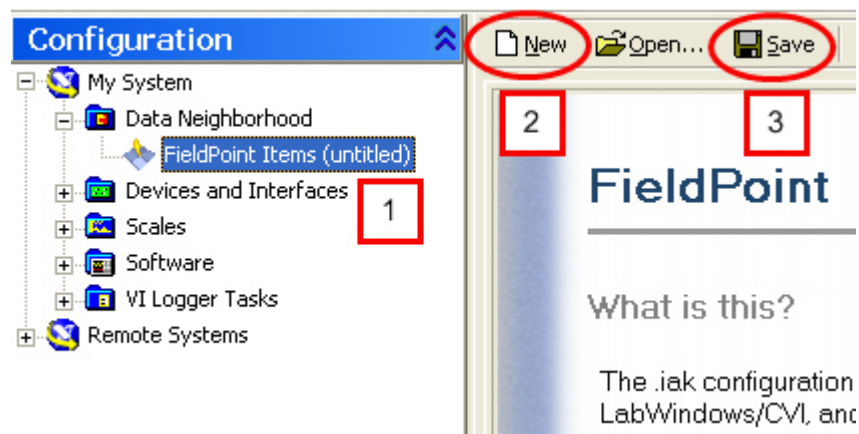
Figura 2. Icono del MAX



Fuente: Autores

2. Abierto el software MAX, ubicamos a la derecha la sub-ventana “Configuration”, allí aparecen las herramientas disponibles para configuración del hardware de National Instruments instalados en el PC o “My System”. De allí se selecciona la siguiente ruta “My System\Data Neighborhood\Fieldpoint Ítems”, se oprime “New” y se guarda el archivo, tal como se ilustra en los pasos indicados en la figura 3.

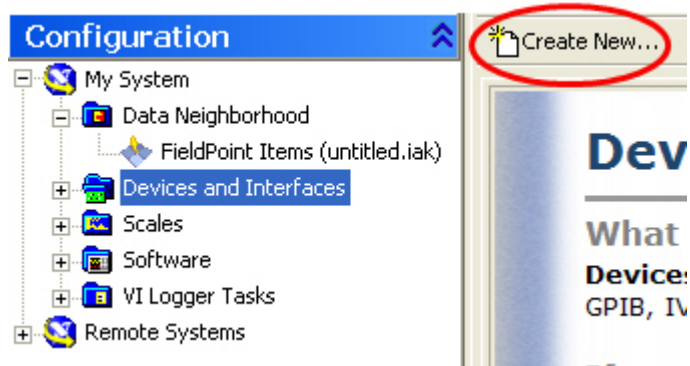
Figura 3. Ventana de configuración



Fuente: Autores

3. Para crear el canal de comunicación entre el PC y el hardware FieldPoint, se selecciona de la sub-ventana “Configuration” la ruta “My System\Devices and Interfaces” y se oprime “Create New...”.Ver figura 4.

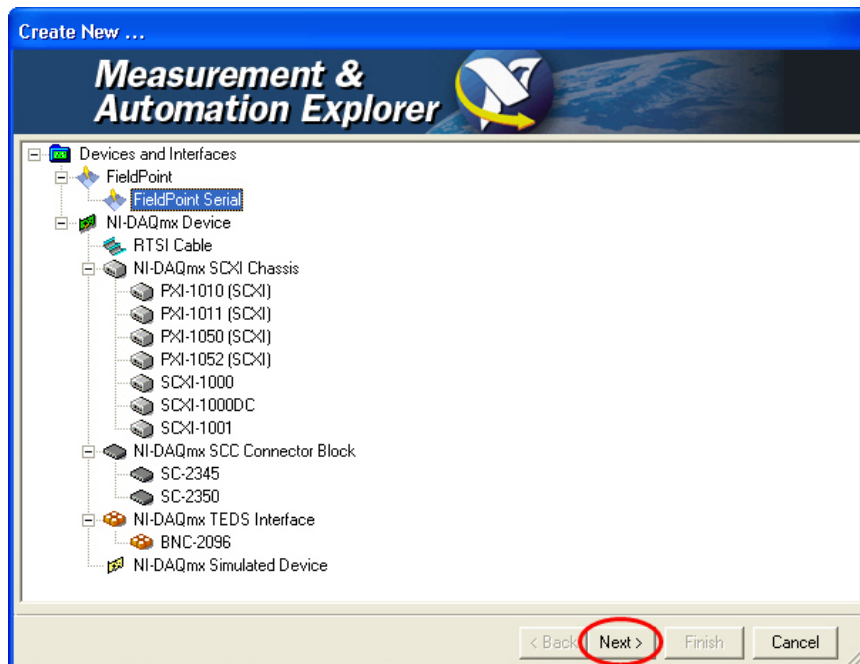
Figura 4. Ventana para una nueva configuración de hardware



Fuente: Autores

Al presionar en “Create New...”, se abrirá una ventana donde se ilustran los controladores instalados en el PC del hardware de National Instruments, tal como se muestra en la figura 5. De este listado seleccionamos la ruta “Devices and Interfaces\FieldPoint\FieldPoint Serial” y se oprime “Next >”.

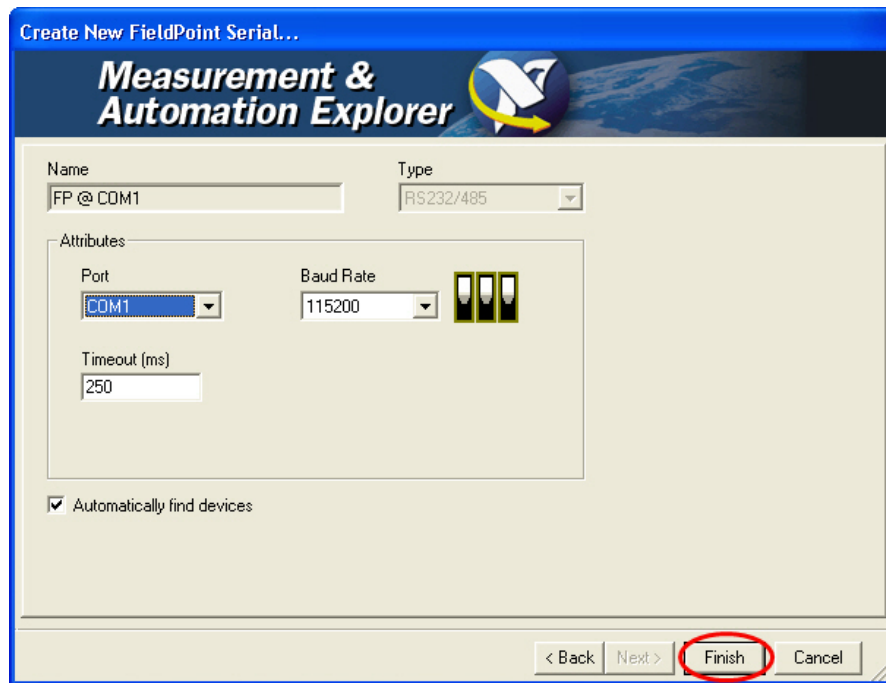
Figura 5. Ventana de controladores disponibles



Fuente: Autores

Se abre una nueva ventana llamada "Create New FieldPoint Serial..." . En esta ventana, se crea el enlace entre el módulo de red del FieldPoint y el PC a través del puerto serial RS-232. Ver figura 6.

Figura 6. Ventana "Create New FieldPoint Serial"



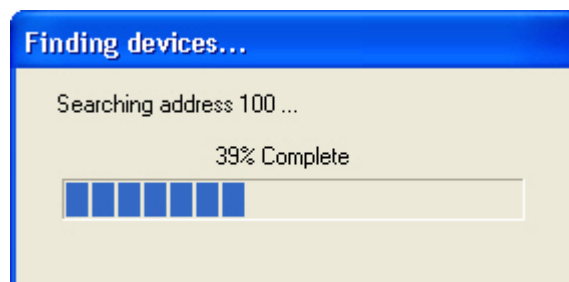
Fuente: Autores

En los "Attributes", se selecciona o escribe la siguiente información:

- Port (Puerto): "COM1". Este es el puerto serial del PC.
- Baud Rate: 115200. Es el valor de la velocidad de transferencia de datos entre el hardware FieldPoint y el PC.
- Timeout (ms): 250. Si la comunicación entre el hardware FieldPoint y el PC es interrumpida, pasados 250 ms el software advierte este problema.

Luego presionamos “Finish” y aparecerá una ventana de dialogo donde podemos cambiar el nombre de la conexión llamada “new comm resource”, esta por defecto es “FP@COM1”. Se presiona “OK” y automáticamente el software inicia la búsqueda del modulo de red y los respectivos módulos de señales conectados al PC por medio del puerto RS-232, tal como lo vemos en la figura 7.

Figura 7. Ventana de búsqueda de dispositivos

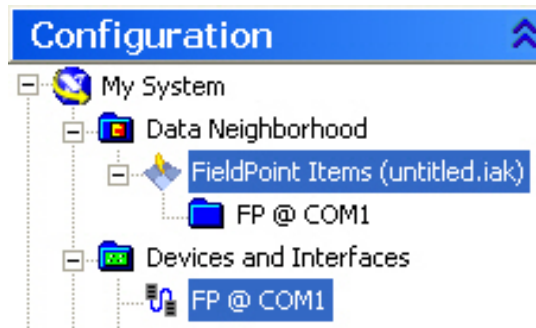


Fuente: Autores

Debido a que se esta realizando la configuración del Hardware en modo offline, aparecerá el mensaje de advertencia “The connection to remote device timeout”, cuando ya se tiene conectado el Hardware (online) no muestra ningún información, el sistema entra automáticamente a la conexión.

Al finalizar el paso anterior, se crean dos carpetas con el nombre “FP@COM1”; la primera esta ubicada en la ruta “My System\Data Neighborhood\Fieldpoint Ítems (nombre del archivo de configuración)\FP@COM1” y la segunda en “My System\Devices and Interfaces\FP@COM1”. Ver figura 8.

Figura 8. Resultado de la configuración del hardware

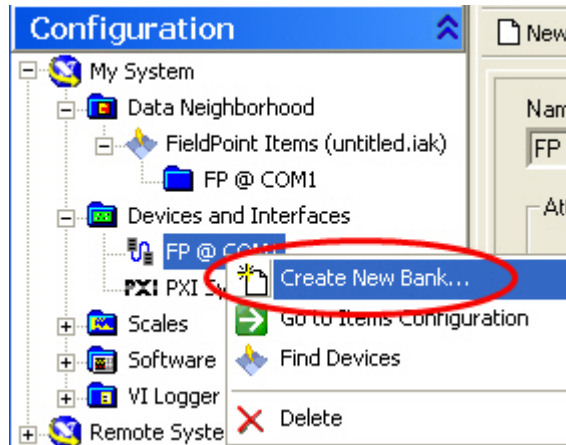


Fuente: Autores

4. Creado el canal de comunicación entre el PC y el hardware, se ensamblan virtualmente el modulo de red y los módulos de señales requeridos para la práctica, a esto se le llama banco. En este caso, donde se va a configurar el hardware requerido para la práctica que se desarrolla en el banco de la torre de enfriamiento, se requiere el modulo de red FP-1000 y los módulos de señales FP-AI-110 y FP-TC-120, ver diagrama de conexionado LTC-005 en el anexo A.

Para ensamblar los módulos, se selecciona la ruta "My System\Devices and Interfaces\FP@COM1", se oprime el botón derecho del Mouse y en el menú se selecciona "Create New Bank" como se muestra en la figura 9.

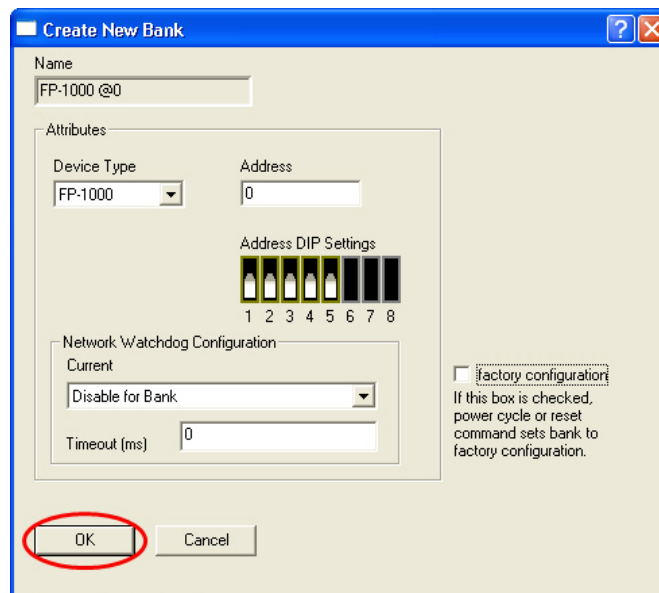
Figura 9. Ventana para crear un "New Bank".



Fuente: Autores

En la ventana de "Create New Bank", se crea virtualmente el "New com resource" FP@COM1 el modulo de red FP-1000, esto se realiza a través del campo "Device Type" que esta en "Attributes", ver figura 10. Las posiciones o "Address" de los módulos inician a partir de cero (0) contando de izquierda a derecha e incluyendo el modulo de red.

Figura 10. Ventana para la configuración del modulo de red

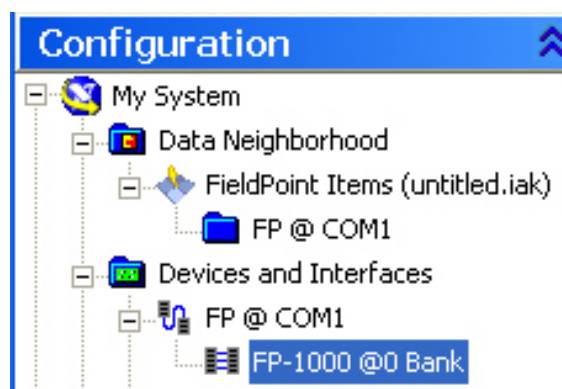


Fuente: Autores

Los atributos “Network Watchdog Configuration” se dejan en estado inactivo.

Finalmente se presiona “OK” y el modulo de red se crea en el FP@COM1 con el nombre FP-1000@0 Bank, como se muestra en la figura 11.

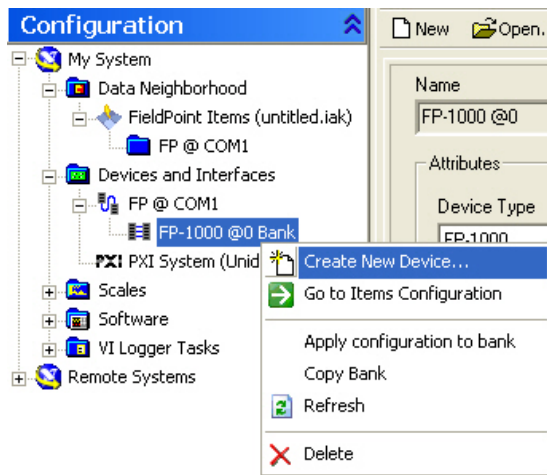
Figura 11. Ventana con el nuevo banco creado



Fuente: Autores

Para adicionar los módulos de señales o dispositivos al banco FP-1000@0 Bank, se selecciona la ruta “My System\Devices and Interfaces\FP@COM1\FP-1000@0 Bank”, se oprime el botón derecho del Mouse y en el menú se selecciona “Create New Device”, como se ve en la figura 12.

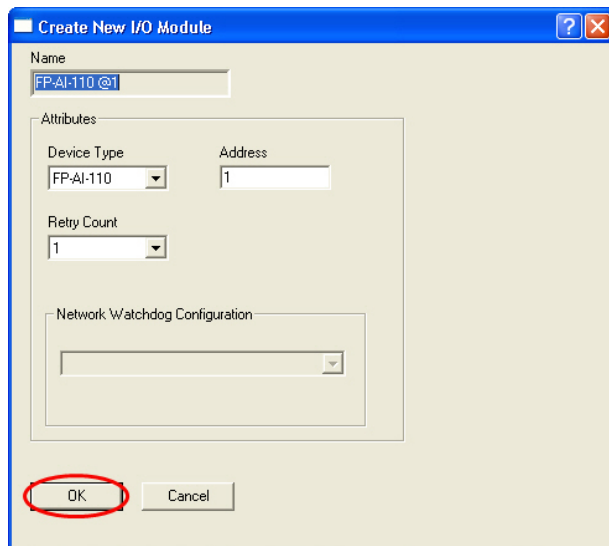
Figura 12. Ventana para adicionar módulos de señales.



Fuente: Autores

En la ventana "Create New Device", se crea virtualmente al "FP-1000@0 Bank" el modulo de señal FP-AI-110, esto se realiza a través del campo "Device Type" que esta en "Attributes", ver figura 12. La posición o "Address" del módulo FP-AI-110 es uno (1).

Figura 13: Ventana Create New Device

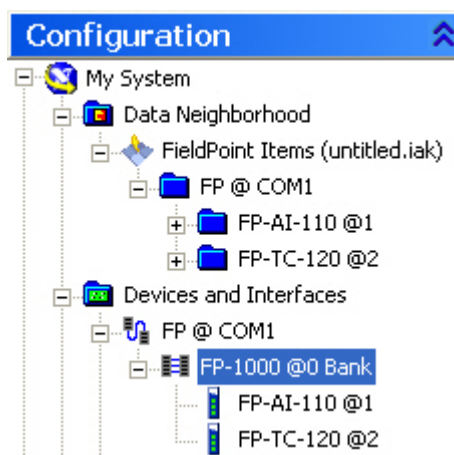


Fuente: Autores

Finalmente se presiona “OK” y el modulo FP-AI-110 se crea en el banco FP-1000@0 Bank.

Para crear el modulo FP-TC-120, se realiza el mismo paso anterior, seleccionando en el campo “Device Type” el modulo FP-TC-120. La posición o “Address” de este modulo es dos (2). Y se muestra como se ve en la figura 13

Figura 14. Ventana de configuración de los módulos.



Fuente: Autores

Hasta este punto, se ha realizado en modo offline la creación del canal de comunicación, el banco con el modulo de red FP-1000 y se ensamblaron dos modulos de señales, FP-AI-110 y FP-TC-120. En el modo online, solo basta con crear el canal de comunicación y el software detecta el modulo de red y los modulos de señales conectados al puerto serial (RS-232).

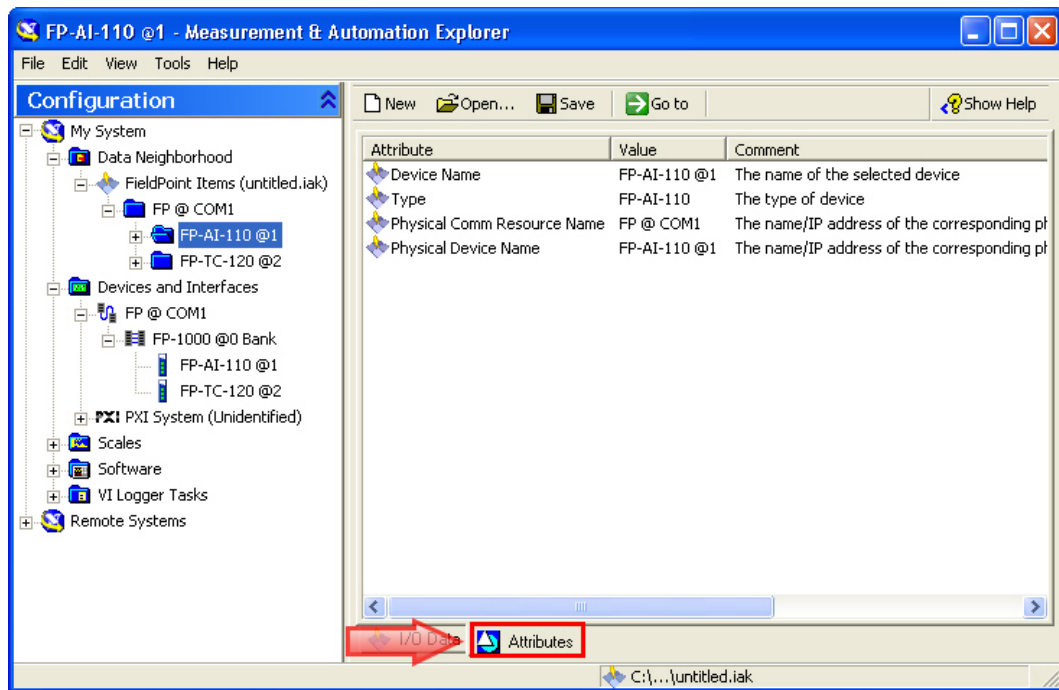
5. Al ensamblar los modulos de señales en el banco FP-1000 @0, se crean automáticamente dos carpetas en la ruta “My System\Data Neighborhood\Fieldpoint Ítems (nombre del archivo de configuración)\FP@COM1” con el mismo nombre de los modulos.

Al seleccionar cada carpeta, se puede visualizar los datos de los canales disponibles (I/O Data) y los atributos del modulo (Attributes).

✘ Atributos del modulo de señal

Los atributos son la identificación del modulo dentro del canal de comunicación y el banco creado. Los atributos del modulo FP-AI-110 se pueden visualizar seleccionado la ruta “My System\Data Neighborhood\Fieldpoint Ítems (nombre del archivo de configuración)\FP@COM1\FP-AI-100@1” y oprimiendo en la pestana “Attributes”, tal como se ilustra en la figura 15.

Figura 15. Atributos del modulo de señal FP-AI-110.



Fuente: Autores

Los atributos del modulo FP-AI-110@1 son los siguientes:

- Device Name: FP-AI-110 @ 1. Nombre del dispositivo seleccionado.
- Type: FP-AI-110. Referencia del modulo seleccionado.
- Physical Comm Resource Name: FP @ COM1. Nombre y dirección del canal de comunicación al que pertenece el modulo.
- Physical Device Name: FP-AI-110 @ 1. Nombre y dirección del modulo dentro del banco creado en el canal de comunicación.

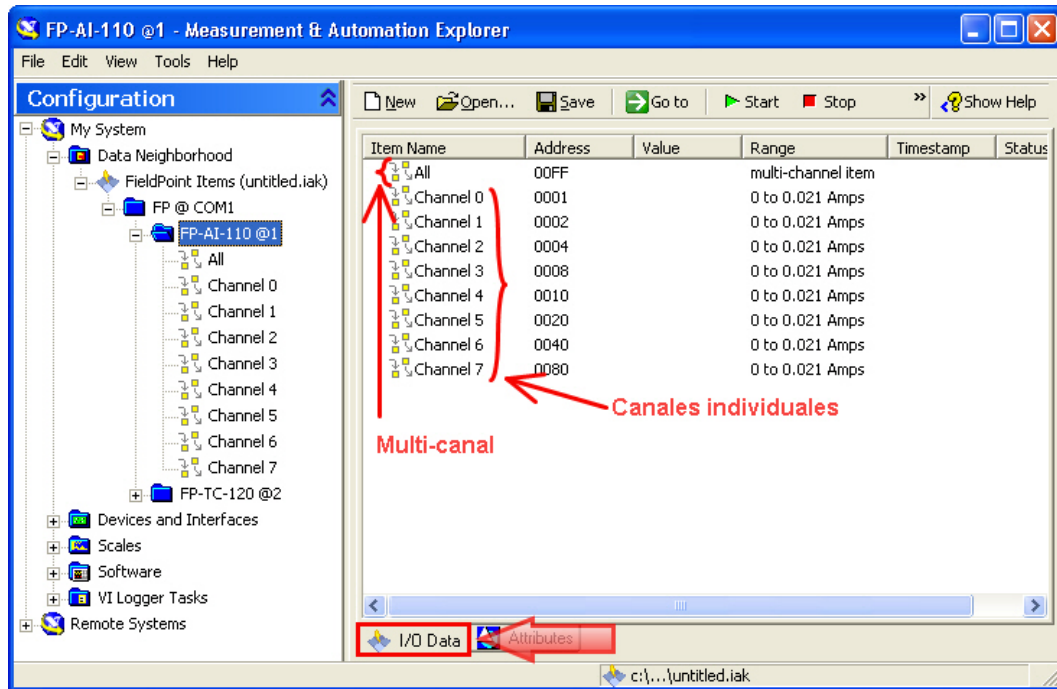
Para visualizar los atributos del modulo FP-TC-120, se pueden se selecciona la ruta "My System\Data Neighborhood\Fieldpoint Ítems (nombre del archivo de configuración)\FP@COM1\FP-TC-120@2".

✘ **Datos de los canales del modulo de señal**

Para visualizar los datos y los canales disponibles del modulo, se selecciona la respectiva carpeta y se oprime en la pestaña "I/O Data", ver la figura 16. Por defecto se crean los canales individuales disponibles del modulo y un multi-canal o vector con los canales del modulo.

Cada canal tiene un nombre, dirección y rango. Su explicación se dará en base a los canales requeridos para el desarrollo de la práctica de laboratorio de la torre de enfriamiento.

Figura 16. Datos y canales disponibles del modulo FP-AI-110.



Fuente: Autores

Según el diagrama de conexionado, se requieren dos canales de entradas análogas de voltaje en un rango de 0-5 VDC que van conectados a la base terminal del modulo FP-AI-110 y dos canales de entrada para termocuplas tipo T que van conectados a la base terminal del modulo FP-TC-120.

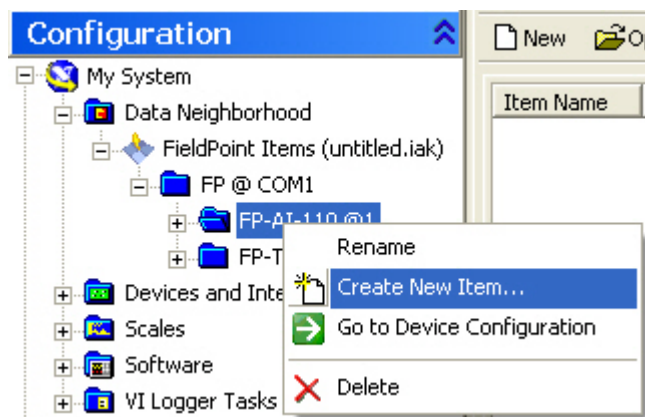
Para crear los canales en el modulo FP-AI-110, primero se deben eliminar los canales existentes en la carpeta "My System\Data Neighborhood\Fieldpoint Ítems (nombre del archivo de configuración)\FP@COM1\FP-AI-110@1".

Para eliminar un canal, se oprime la tecla suprimir y en el cuadro de dialogo se oprime "SI". También se puede seleccionar el canal, oprimir el clic derecho y "Delete".

Se realiza la misma operación para eliminar los canales de la carpeta “FP-TC-120@2”.

Para crear los canales del modulo FP-AI-110, se selecciona la carpeta del modulo, se oprime el botón derecho del Mouse y se selecciona “Create New Item...”. Ver instrucción en la figura 17.

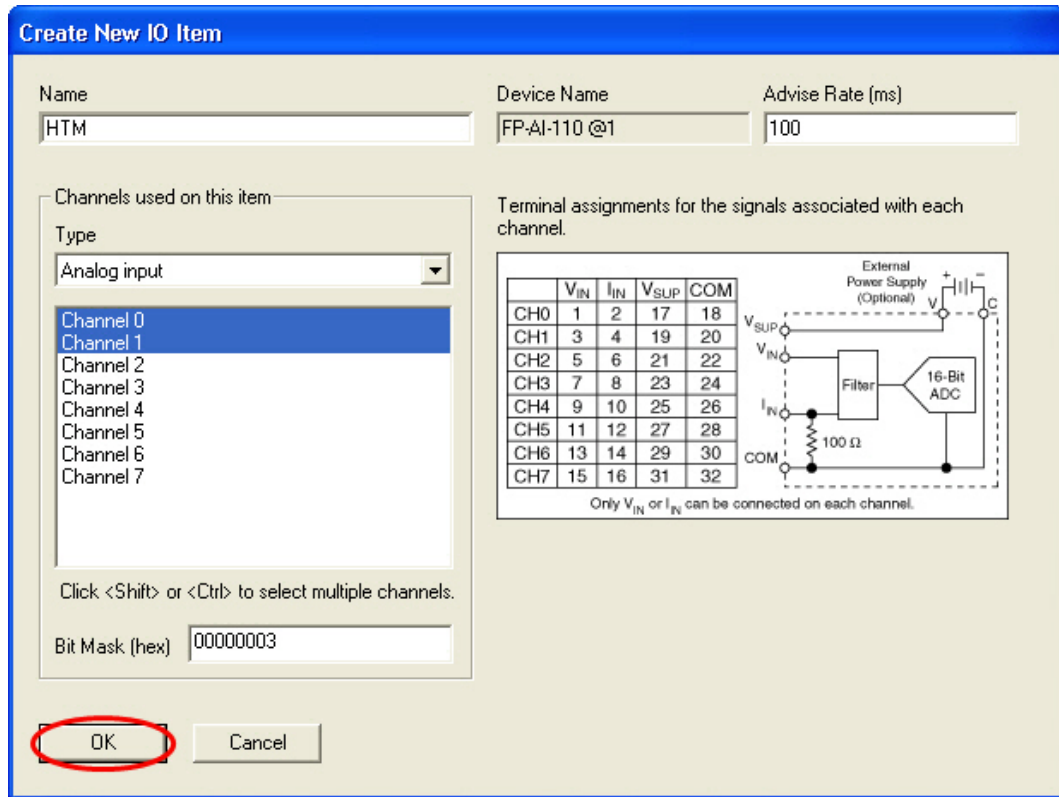
Figura 17. Creación de canales.



Fuente: Autores

Realizado el paso anterior, se abrirá la ventana ilustrada en la figura 18 con el nombre “Create New IO Item” y en ella se puede crear un canal o multi-canal. En este caso, el nombre del item es “HTM”, se seleccionan los canales 0 y 1. Se presiona OK y el nuevo multi-canal aparece dentro de la carpeta del modulo FP-AI-110.

Figura 18. Canales del modulo FP-AI-110.



Fuente: Autores

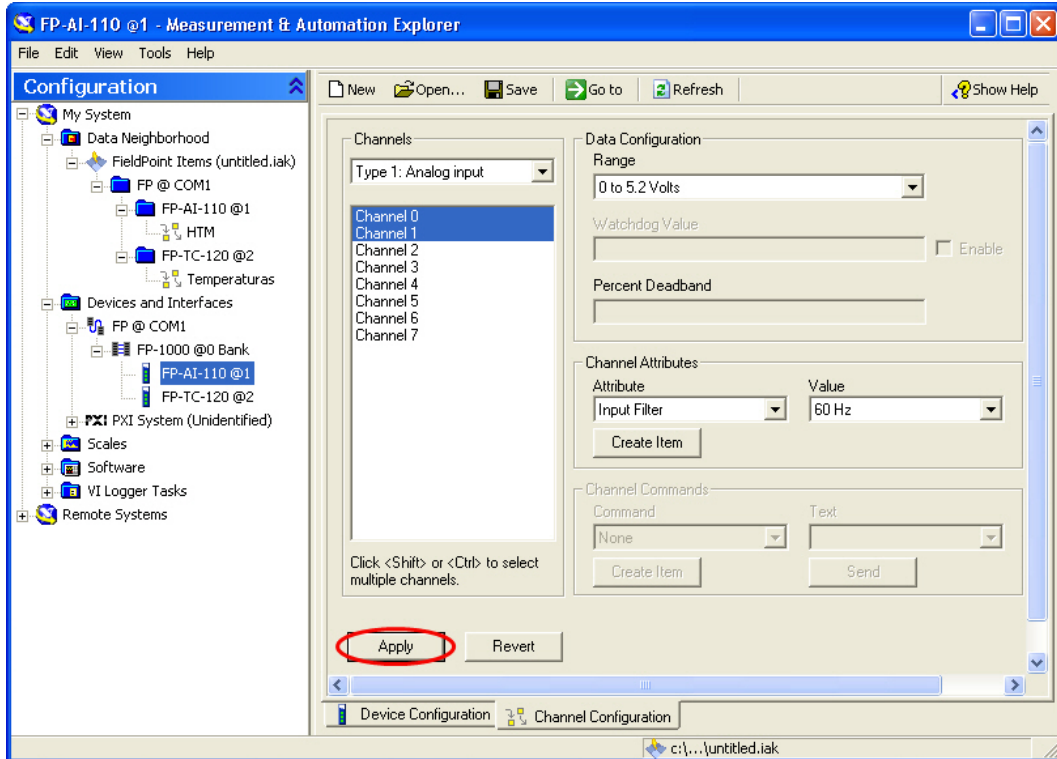
- Hasta el momento los canales o multi-canales han sido creados con un nombre y tienen definida una dirección, pero aún falta definir el rango y unidad de la variable a medir.

Para seleccionar el rango y la unidad de las variables a medir en los canales del modulo FP-AI-110, se selecciona la carpeta de la ruta "My System\Devices and Interfaces\FP@COM1\FP-1000@0 Bank\FP-AI-110@1" y se selecciona la pestaña "Channel Configuration".

En "Channel Configuration", se seleccionan los canales 0 y 1, en la lista del campo "Data Configuration\Rango" se selecciona "0 to 5.2 Volts". Se presiona

“Apply” y el rango y unidad del multi-canal “HTM” es configurado, tal como se ilustra en la figura 20.

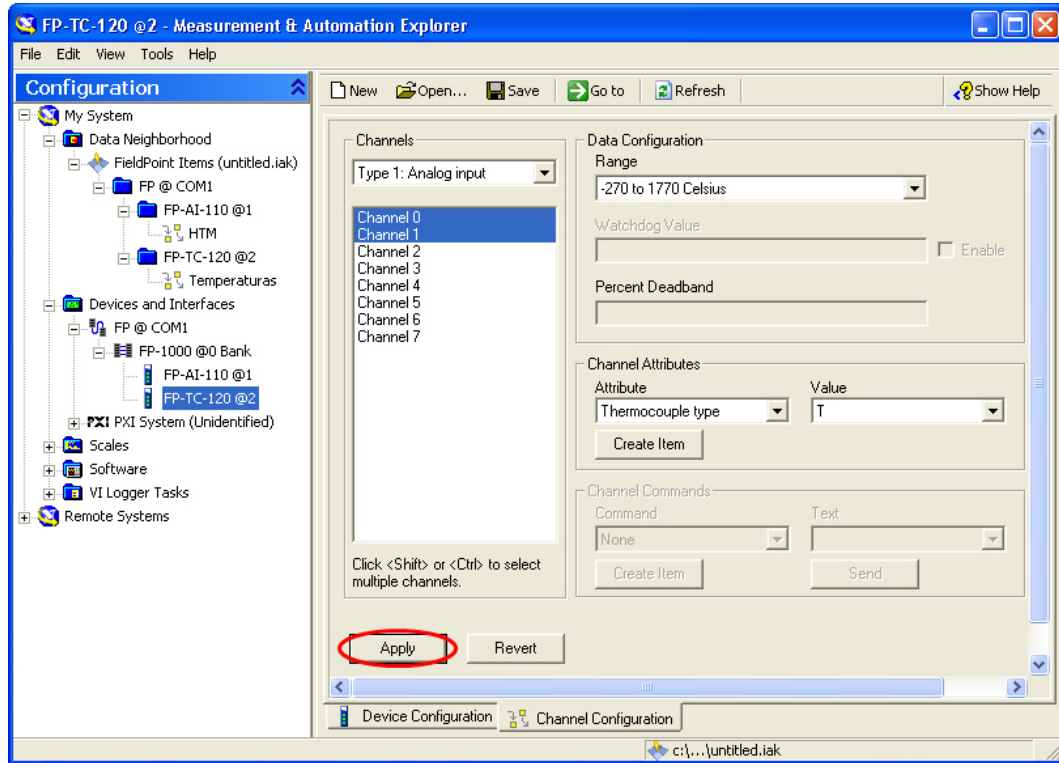
Figura 20. Configuración de los canales del modulo FP-AI-110.



Fuente: Autores

Pero cuando se quiere configurar una termocupla, se debe seguir el mismo procedimiento anterior, o sea, ir a “Channel Configuration”, se selecciona los canales 0 y 1, en la lista del campo rango se selecciona “-270 to 1770 Celsius” y en la lista del campo “Channel Attributes\Value” se selecciona “T”. Se presiona “Apply” y el rango y unidad del multi-canal “Temperaturas” es configurado, tal como se ilustra en la figura 21.

Figura 21. Configuración de los canales del módulo FP-AI-110.



Fuente: Autores

Finalmente, el archivo de configuración del hardware empleado para la práctica desarrollada en el banco de torre de enfriamiento, ha sido creado a partir del diagrama de conexionado del Anexo A, diagrama 5.

Para desarrollar los demás archivos de configuración del hardware de los otros bancos, se realiza el procedimiento anterior teniendo como partida el diagrama de conexionado respectivo.

DISEÑO DEL CÓDIGO DEL PROGRAMA EN EL DIAGRAMA DE BLOQUES DE LABVIEW.

El alcance de este ítem, es ilustrar al usuario las partes del código y su respectiva función, que son comunes en todos los diagramas de bloques diseñados para los bancos y/o sistemas del laboratorio de transferencia de calor. Para continuar con el proceso de diseño de una VI, se continuara tomando como ejemplo el banco de la torre de enfriamiento.

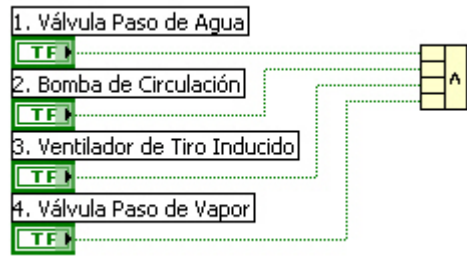
Generalmente antes de iniciar el diseño del código de la VI en el diagrama de bloques, es necesario partir del diseño del panel frontal, sin embargo el panel frontal empleado para la practica de la torre de enfriamiento es presentado en el capitulo 3. Con la información e instrucciones del manual de desarrollo y un poco de práctica, el usuario podrá diseñar los paneles frontales presentados en el capitulo 3.

El código de la VI empleado para los bancos y/o sistemas del laboratorio de transferencia de calor, tiene las siguientes estructuras dentro del diagrama de bloques:

*** Lista de chequeo.**

En el panel frontal hay una lista de chequeo que debe validarse antes de ejecutar la VI. La lista de chequeo son variables de tipo boleano y su símbolo dentro del diagrama de bloques se indica en la figura 22.

Figura 22. Variables de la lista de chequeo.



Fuente: Autores

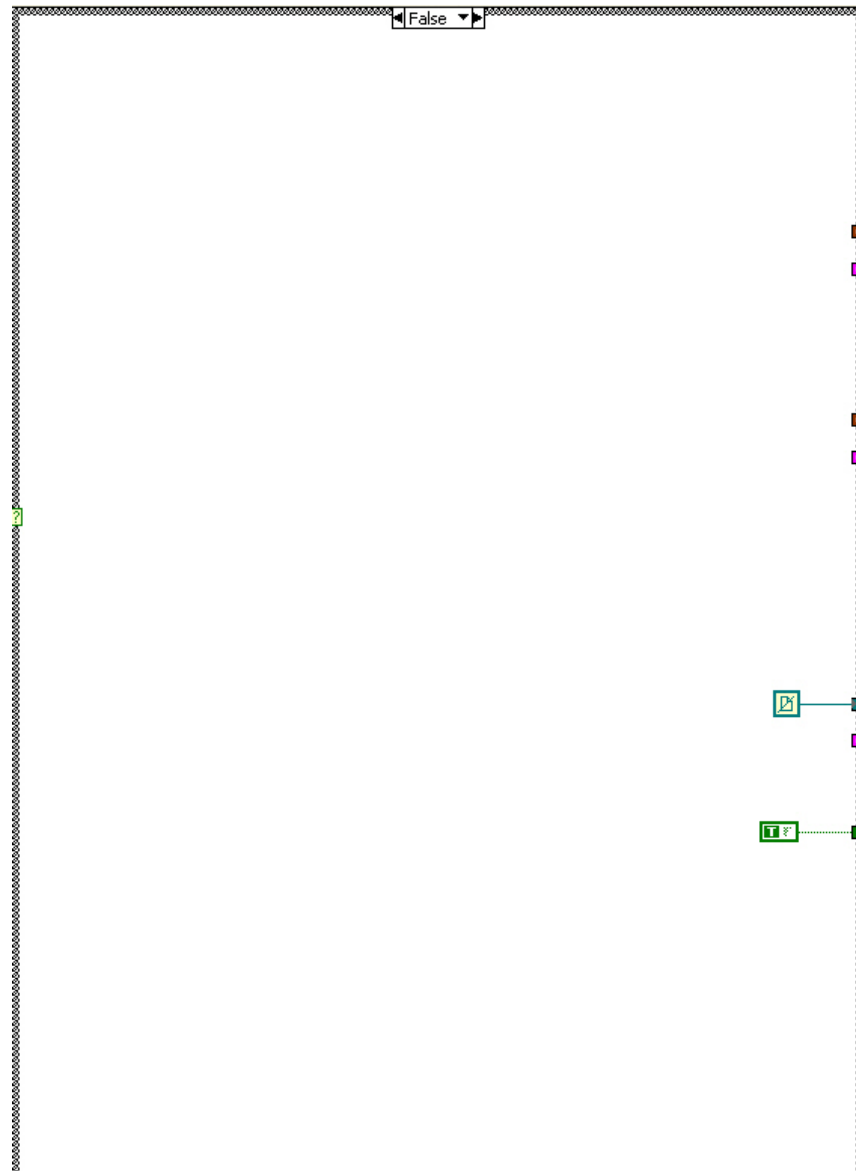
Esta lista de chequeo tiene como fin asegurar la integridad de la práctica y el banco y su ejecución hace parte del procedimiento de operación de la VI.

* Verificación de parámetros de inicio

Este segmento del código está conformado por una estructura del tipo "CASE", y dentro de ella, están las variables y funciones requeridas para abrir el archivo de configuración del hardware y generar el archivo de registro.

Por ser una estructura del tipo "CASE", tiene dos estados, "TRUE" o "FALSE", y el estado respectivo depende de la lista de chequeo. Los dos estados se ilustran en la figura 23 y figura 24, respectivamente.

Figura 24. Estructura Case, Estado False.

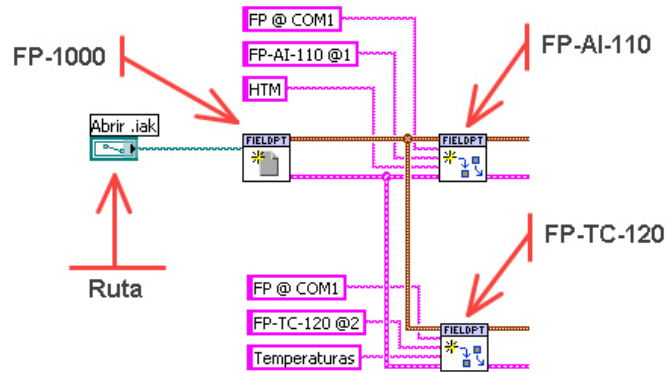


Fuente: Autores

Si los pasos del procedimiento especificado para la operación del panel frontal de la VI diseñado para el banco de la torre de enfriamiento han sido ejecutados normalmente, se abrirá el archivo de configuración del hardware y se creará el archivo de registro de las variables de la práctica al presionar el botón “Run” del panel frontal.

Las funciones y variables que intervienen en abrir el archivo de configuración del hardware se ilustra en la figura 25.

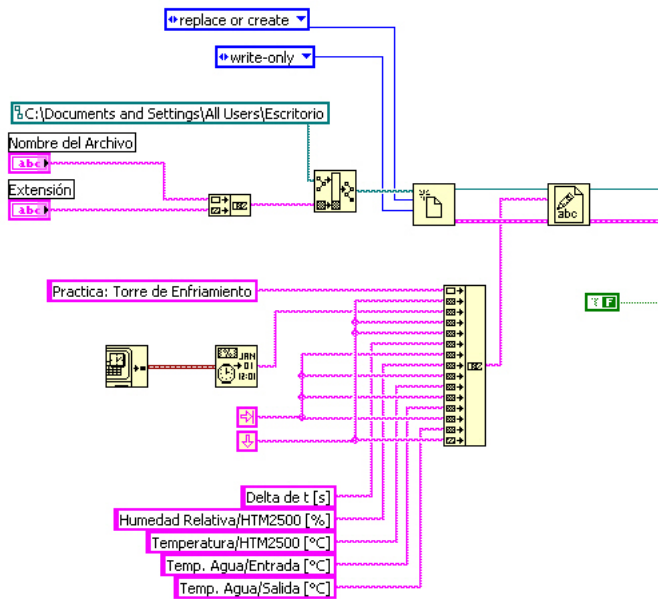
Figura 25. Funciones y variables para abrir el archivo de configuración.



Fuente: Autores

Las funciones y variables que intervienen en crear el archivo de registro se ilustran en la figura 26.

Figura 26. Funciones y variables para crear al archivo de registro.



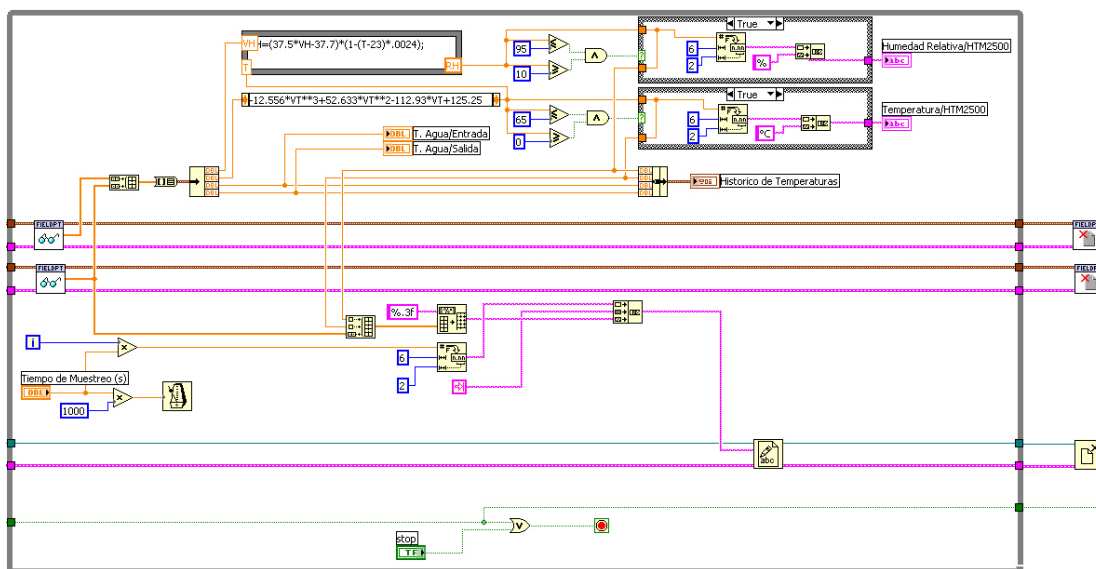
Fuente: Autores

Si los pasos mencionados anteriormente no se realizan debidamente, al ejecutar la VI el estado de la estructura “CASE” será “FALSE”. En este estado, las funciones o variables dentro de la estructura detienen la ejecución y aparecerá una ventana indicando el tipo de error que se esta presentando.

* Programa de Monitoreo

Luego de realizar el procedimiento de operación y presionar el botón “Run” del panel frontal, la estructura indicada en la figura 27 se encarga de tomar y/o enviar datos de los canales del hardware, realizar procesos de cálculo y guardar las variables de la práctica en el archivo de registro.

Figura 27. Estructura While Loop



Fuente: Autores

El tipo de estructura empleada es un “While Loop”, las variables o funciones dentro de esta estructura que realizan las operaciones enunciadas en el párrafo anterior, se ejecutan cada determinado tiempo. A este tiempo se le denomina “tiempo de muestreo”, el cual se puede seleccionar en el panel frontal.

Cuando se presiona el botón “Detener Prueba” ubicado en el panel frontal, se detiene la ejecución de la estructura “While Loop” y todas las funciones dentro de ella, luego se cierra el archivo de registro y la comunicación entre la VI y el hardware. Esta última operación es realizada por las funciones ubicadas a la derecha de la estructura “While Loop”, ver figura 27.

* Informe de errores

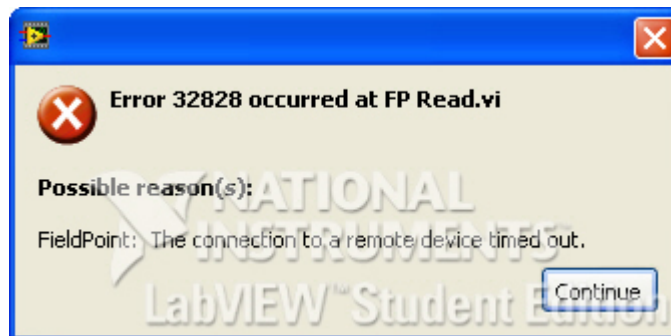
Cuando el procedimiento de operación de la VI es realizado adecuadamente, tal como se indica en el capítulo 3, no se presentará ninguna anomalía que pueda interrumpir el desarrollo de la práctica.

Pero si el procedimiento de operación no es realizado adecuadamente, se pueden presentar los siguientes errores:

- No es seleccionado el archivo de configuración del hardware o no está conectado el cable de comunicación RS-232.

El mensaje o cuadro de diálogo que se abre al presentarse este tipo de error, se ilustra en la figura 28.

Figura 28. Error de comunicación

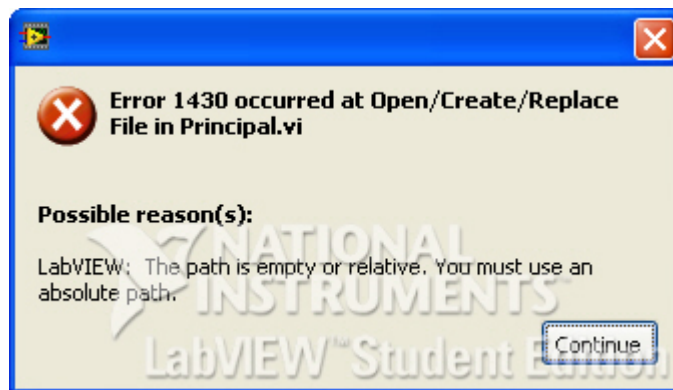


Fuente: Autores

- El archivo de registro no ha sido nombrado y no se ha seleccionado su extensión.

El mensaje o cuadro de dialogo que se abre al presentarse este tipo de error, se ilustra en la figura 29.

Figura 29. Error de creación del archivo de registro.

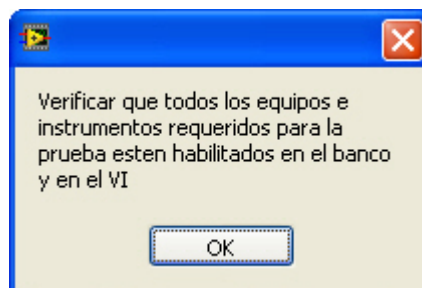


Fuente: Autores

- No se realiza la lista de chequeo antes de ejecutar la VI.

El mensaje o ventana que se abre al presentarse este tipo de error, se ilustra en la figura 30.

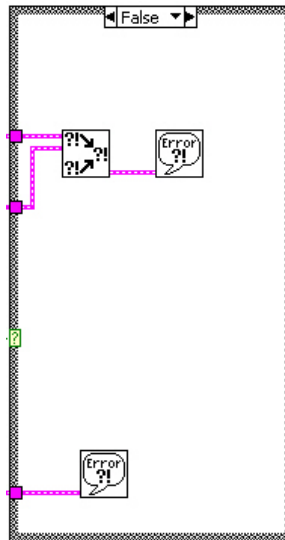
Figura 30. Error al no ejecutar la lista de chequeo.



Fuente: Autores

Los cuadros de dialogo de los dos primeros errores son propios de Labview y sus funciones respectivas están dentro de la estructura "CASE" en el estado "FALSE", tal como se ilustra en la figura 31.

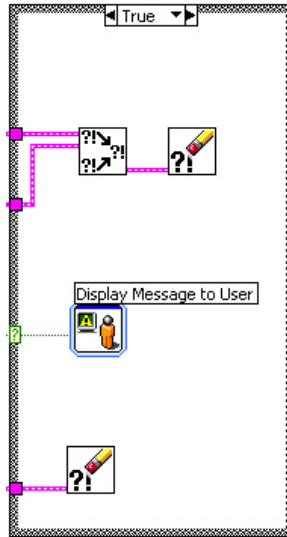
Figura 31. Estructura Case, Estado False.



Fuente: Autores

Las funciones asociadas con el tercer tipo de error, están dentro de la misma estructura "CASE" pero es estado "TRUE", y se activa cuando la lista de chequeo no es realizada. Este estado se ilustra en la figura 32.

Figura 32. Estructura Case, Estado True.



Fuente: Autores

La información expuesta en el capítulo 3 y en este anexo, son el manual de operación de las VI diseñadas para los bancos y/o sistemas de laboratorio del transferencia de calor.

SENSORES Y ACTUADORES INVOLUCRADOS EN LA OPERACIÓN

Los sensores y actuadores tienen un rol importante dentro del monitoreo y control de cualquier proceso, por tanto es de suma importancia ya que estos son los encargados de convertir las variables físicas en señales eléctricas medibles. El laboratorio de Plantas Térmicas cuenta para su monitoreo y control los siguientes sensores o transductores para la medición de temperatura, presión y humedad.

Sensores

* Medición de temperatura

Este monitoreo lo realizamos mediante termocuplas, una termocupla es un sensor para medir temperatura, esta conformado por la unión de dos hilos conductores de diferente aleación en cuyos terminales se genera una diferencia de potencial (Voltaje). El principio de medición de temperaturas, utilizando termocuplas, se basa en tres principios físicos, que son, Efecto Seebeck, Efecto Peltier, Efecto Thomson.

Las termocuplas las podemos dividir en siete tipos que son, la B, R, S, J, K, T y la E, esto dependiendo de las aleaciones que componen los hilos conductores. A continuación en la tabla 1 se describirá cada una de estas termocuplas diciendo el material de los conductores y el rango en el cual operan.

Tabla 1. Clasificación de las termocuplas

TERMOCUPLAS			
Tipo	Aleación	Código	Rango de Temp.
J	Hierro/Constantan	JP	-73°C a 427°C
		JN	427°C a 760°C
K	Cromo/Aluminio	KP	0°C a 277°C
		KN	-101°C a -60°C
T	Cobre/Constantan	TP	-75°C a 93°C
		TN	99°C a 371°C
E	Cromo/Constantan	EP	0°C a 316°C
		EN	316°C a 871°C
R	Platino-Rodio/Platino	RP	Disponible hasta
		RN	1480°C

S	Platino-Rodio	Pt	Disponible hasta 1480 °C
		RN	
B	Platino-Rodio/Platino-Rodio	BP BN	Disponible hasta 1700°C

Fuente: Autores

Las termocuplas utilizadas por el laboratorio para el monitoreo de los bancos son de tipo, T, K y J, en la figura 33 se muestra algunas de las termocuplas instaladas en los bancos.

Figura 33. Termocuplas montadas en los bancos del laboratorio



Fuente: Autores

* **Medición de presión**

El laboratorio cuenta con dos tipos de sensores de presión, uno marca FOXBORO y otro marca SETRA, Estos sensores son de material piezoeléctrico y producen una corriente que es proporcional a la variación de presión. A continuación se muestran en la figura 34.

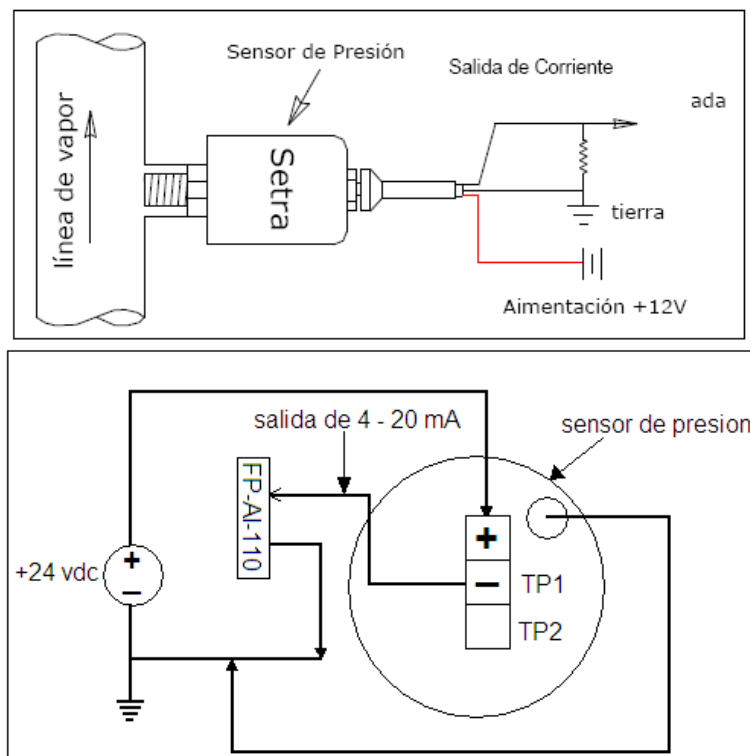
Figura 34. Sensores de presión



Fuente: Autores

El diagrama de conexión de cada uno de ellos se muestra en la figura 35.

Figura 35. Conexión de los sensores de presión

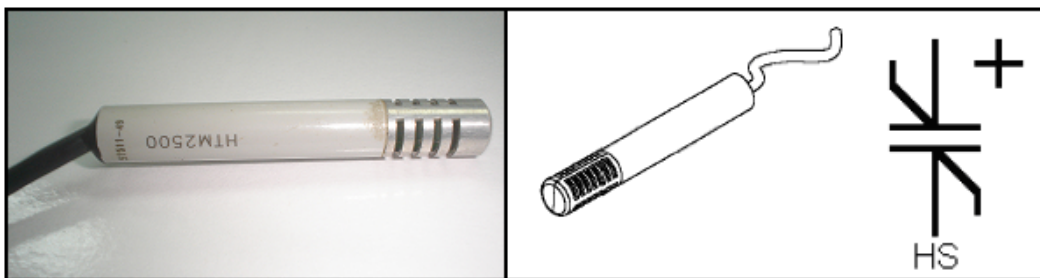


Fuente: Autores

★ **Medición de humedad**

El laboratorio cuenta con un sensor de humedad de referencia HTM2500 mostrado en la figura 36, sensor que proporciona una medida exacta dentro del rango de 10 a 100% de humedad relativa, entregándonos una variación de voltaje de 1 a 4 voltios.

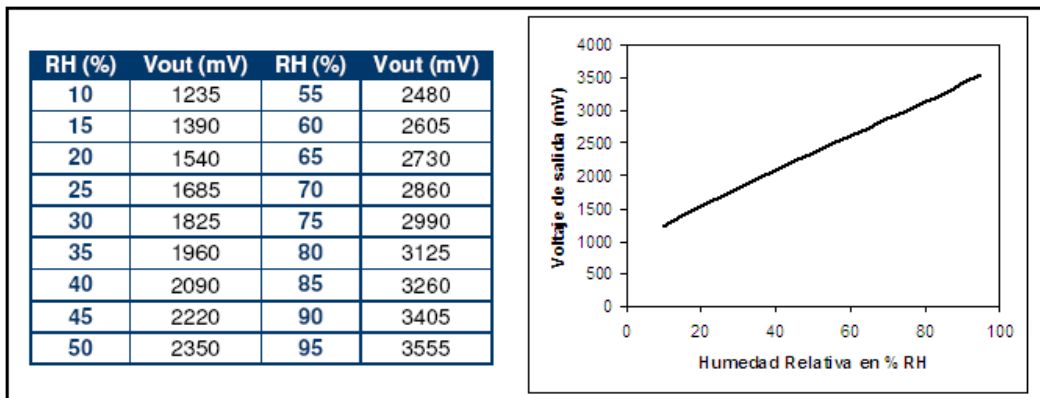
Figura 36. Sensor de humedad HTM2500



Fuente: Autores

El sensor cuenta con una tabla de calibración donde se encuentra relacionado la humedad relativa con respecto al voltaje entregado, en la figura 37, se muestra la tabla donde se dan los valores de voltaje entregados por el sensor según la humedad relativa.

Figura 37. Tabla de calibración



Fuente: Tomada de la hoja de datos del sensor

Según esta tabla de valores y la curva de trabajo, se implementa el monitoreo de la humedad en los bancos donde lo necesite medir, la señal que entrega el sensor es una señal analógica que oscila entre los valores de 1 a 4 voltios.

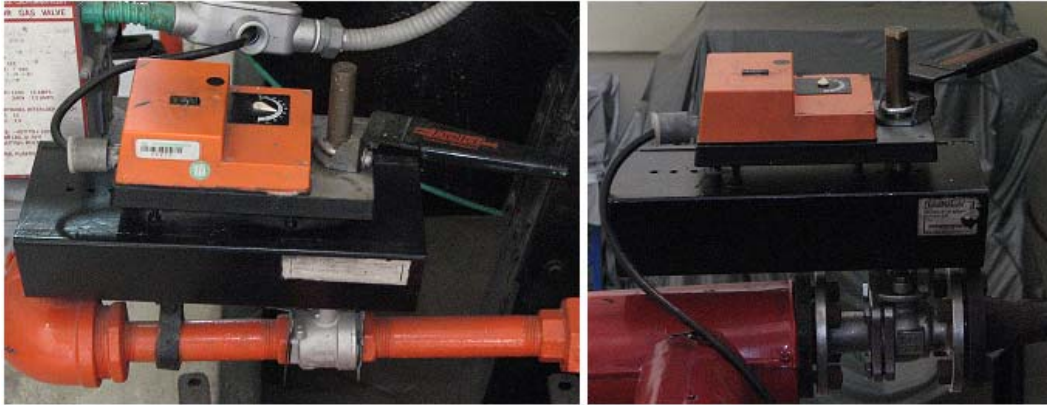
Actuadores

El laboratorio cuenta con cinco actuadores, los cuales son, tres variadores de velocidad y dos servoválvulas. Estos variadores de velocidad se encuentran, uno controlando la velocidad del motor del ventilador, el otro controlando la velocidad del motor de la bomba de agua, ambos ubicados en la planta térmica, y el tercer variador de velocidad es el encargado de controlar la velocidad del motocompresor del cuarto frío. Las servoválvulas están ubicadas en la planta térmica, estas encargadas de controlar el flujo de combustible y de vapor. A continuación se darán algunas características de cada estos dispositivos.

*** Servoválvulas**

Las servoválvulas son válvulas de infinitas posiciones, encargadas de controlar el flujo del fluido de trabajo. En el laboratorio cuenta con dos servoválvulas de referencia SM24-SR de marca DELTA mostrada en la figura 38, encargadas de regular el flujo de combustible a la caldera y de regular el flujo de vapor hacia la turbina.

Figura 38. Servoválvula de control



Fuente: Autores

Esta servoválvulas permite controlar una válvula de globo de 2,54 cm de diámetro, su accionamiento es manual o controlado por software mediante un sistema modular distribuido basado en PC "FieldPoint", esta servoválvulas necesita una señal de control que va de 2 a 10 vdc y una fuente de alimentación de 24 voltios, a demás tiene una señal de realimentación que nos proporciona de forma automática indicándonos la posición en la que se encuentra, esta señal realimentada va desde 2 a 10 vdc de la misma forma que la señal de control.

* Variador de velocidad

Los variadores de velocidad son sistemas electrónicos y eléctricos empleados para controlar la velocidad de los motores eléctricos de corriente alterna. El laboratorio cuenta con tres variadores de velocidad.

- ▶ Un variador marca ALTIVAR 16: se encarga de controlar la velocidad del ventilador de la planta térmica.

- ▶ Un variador marca ALTIVAR: se encarga de controlar la bomba de agua que se le suministra a la caldera.
- ▶ Un variador marca ALTIVAR 18: se encarga de controlar la velocidad del motocompresor del cuarto frío.

ANEXO C: MANUAL DE DESARROLLO

Este manual tiene como objetivo mostrar el software LabVIEW y el software Measurements & Automation Explorer (MAX), como una herramienta y una alternativa para el monitoreo y control de los sistemas.

LABVIEW

LabVIEW es un ambiente de desarrollo de programación que permite diseñar aplicaciones que involucren la adquisición de datos, monitoreo y control, con una interfaz interactiva para el desarrollo de cada programa. Los programas desarrollados en LabVIEW son denominados Instrumentos Virtuales (VIs), ya que su apariencia imita a los instrumentos reales propios de la industria.

INSTRUMENTOS VIRTUALES VIS

Los instrumentos virtuales son programas desarrollados mediante el lenguaje G o lenguaje de programación gráfico, su funcionamiento y apariencia asemejan a un instrumento real, ya que imitan a elementos físicos propios de la industria. Los VIs son jerárquicos y modulares, es decir, se inicia con un VI principal donde se definen las entradas y las salidas de la aplicación, luego se construyen los subVIs o programas que se ejecutaran dentro de un VI principal, estos subVIs llevan a cabo operaciones específicas que son necesarias para que los datos fluyan; por tanto, los VIs pueden ser utilizados como programas únicos o como subprogramas dentro de otros programas.

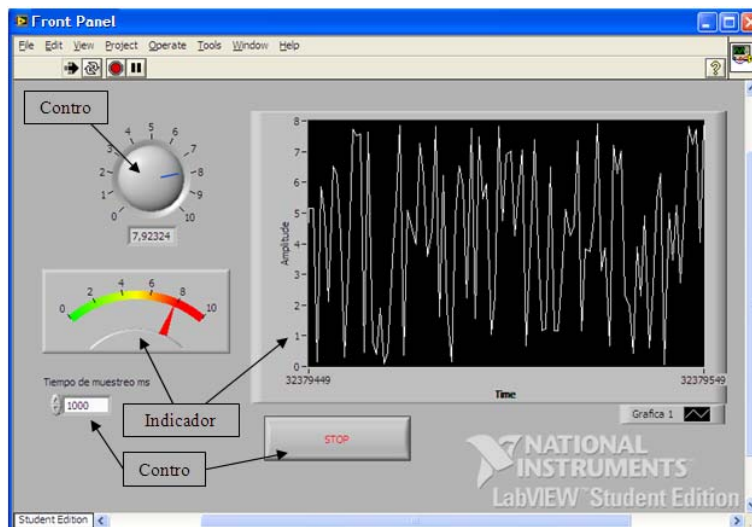
Los VIs están constituidos por un “**PANEL FRONTAL**” donde el usuario interactúa y un “**DIAGRAMA DE BLOQUES**” donde se desarrolla el código de programación.

* **Panel Frontal**

El panel frontal es una interfaz grafica donde el usuario interactúa, permite al operario facilitar su interpretación y recoge las entradas procedentes del teclado, como también representa las salidas proporcionadas por el programa.

Por lo general siempre se tiene que el panel frontal es lo primero que se diseña, para luego realizar el diagrama de bloques y ubicar las funciones que realizara cada bloque del VI según las entradas y salidas del panel frontal. El panel frontal esta constituido por controles e indicadores, las cuales son las entradas y salidas del VI, estos pueden ser botones, pulsadores, interruptores, diales, potenciómetros, leds, gráficos, etc., como se ve en la figura 1. Cada uno de estos dispositivos simula datos de entradas o salidas según sea el proceso, como también se encargan de suministrar los datos al diagrama de bloques.

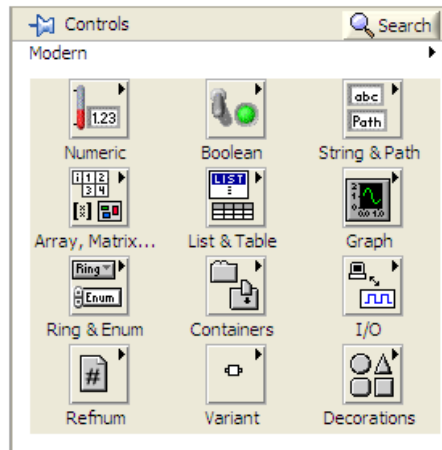
Figura 1. Panel Frontal



Fuente: Autor

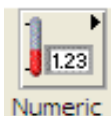
Para el diseño del panel frontal, acudimos a la paleta de controles quien es la encargada de proporcionarnos las herramientas para la construcción de la interfaz con el usuario. En ella encontraremos los diferentes dispositivos de control y los dispositivos de visualización manejados en la industria, tal como vemos en la figura 2. Para la visualización de la paleta de controles hay que seleccionar en el menú “Windows>>Show Control Palette” o dar clic derecho del Mouse sobre el panel frontal.

Figura 2. Paleta de controles

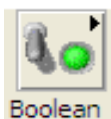


Fuente: Autor

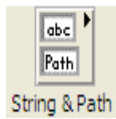
A continuación se dará una breve descripción de cada uno de los botones que aparecen en la paleta de controles.



Numeric: Controles numéricos, en el encontramos los botones para entrar o visualizar datos numéricos.



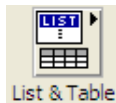
Boolean: Controles Boléanos, para entrar o mostrar los valores verdadero como falso.



String & Path: Control de cuadros de texto, etiquetas y visualizadores de Path, para simular cuadros de entrada de texto, colocar etiquetas o visualizar la localización de un fichero o directorio.



Array, Matrix & Cluster: Control de arreglos, matrices y agrupaciones, para la agrupación de elementos.



List & Table: Control de Cuadros de Listas, se utilizan estos cuadros para presentar al usuario una lista de opciones entre las que elegir, también se pueden configurar para que acepten una o más selecciones.



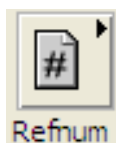
Graph: Control Grafico, para la representación y visualización grafica de datos.



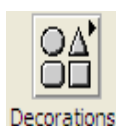
Ring & Enumerated: Controles e indicadores tipo anillo y de enumeración, se utilizan estos controles para crear una lista de strings por la que se pueden mover de forma cíclica.



I/O: Controles e indicadores Nombre I/O, Se utilizan estos controles e indicadores para pasar los nombres de canal DAQ, nombres de recursos VISA y nombres lógicos IVI configurados en los VIs de I/O para comunicación con dispositivos DAQ o instrumentos.



Refnum: Controles e indicadores de número de referencia, Se utilizan para trabajar con ficheros, directorios, dispositivos o conexiones a red. Los controles de referencia se utilizan para pasar esta información al VI.



Decorations: Control de decoraciones, para introducción de decoraciones en el panel de control, no visualiza datos.

Una vez conocido el entorno del panel frontal y su tabla de herramientas con sus elementos, pasamos a desarrollar la interfase que será lo que visualizara el operario con la ayuda de la Paleta de Control. Ya construido el entorno grafico de control y visualización en el panel frontal, continuamos con el desarrollo del código de programación en el Diagrama de Bloques.

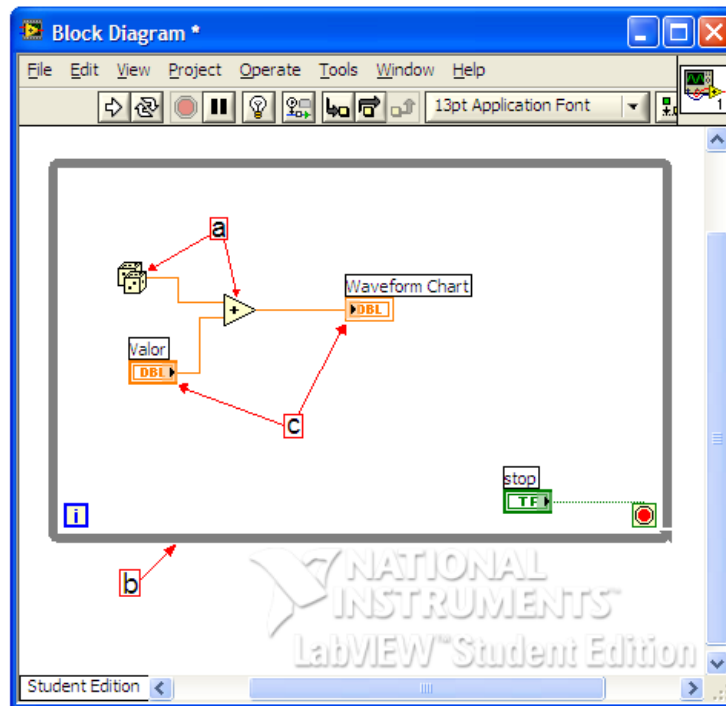
* **Diagrama de bloques**

El Diagrama de Bloques, es lugar donde se realiza el código fuente de programación, ya sea para controlar o realizar cualquier proceso según sea las entradas y así mostrar los resultados en el Panel Frontal. El diagrama de bloques incluyen Funciones y Estructuras integradas en las librerías que incorpora LabView, estas funciones y estructuras son nodos elementales, son análogos a los operadores o librerías de funciones de los lenguajes convencionales.

Los controles e indicadores puestos en el Panel de Control se materializan en el Diagrama de Bloques mediante terminales tal como se puede ver en la figura 3, estas pueden ser divididos en tres grupos:

- ❖ Función (a).
- ❖ Estructura (b).
- ❖ Terminales (Controles o indicadores) (c).

Figura 3. Diagrama de bloques



Fuente: Autor










- ❖ Funciones: LabVIEW posee una gran variedad de funciones, entre ellas tenemos funciones aritméticas, comparaciones, conversiones, funciones de entradas/salidas, de análisis, etc.
- ❖ Estructuras: Son las encargadas de controlar el flujo del programa, bien sea mediante la secuencia de acciones o ejecución de bucles. Las estructuras se comportan como cualquier otro nodo en el diagrama de bloques, ejecutan automáticamente lo que está programado en su interior, una vez tiene disponibles los datos de entrada y una vez ejecutadas las instrucciones requeridas, suministran los correspondientes valores a los cables unidos a sus salidas. Sin embargo, cada estructura ejecuta su subdiagrama de acuerdo con las reglas específicas que rigen su

comportamiento; entre ellas tenemos las estructuras, Case Structure, Sequence Structure, For Loop, While Loop, y Formula Node.

- ❖ Terminales: Los terminales representan el tipo de datos de control o indicador, también, son los encargados del intercambio de información entre el panel frontal y el diagrama de bloques, pueden ser de entrada o salida de datos. Estos son análogos a los parámetros y a las constantes manejadas en el lenguaje de programación basada en texto. Entre los tipos de terminales tenemos los controles, indicadores y los nodos.

Para el intercambio de información entre el panel frontal y el diagrama de bloques tenemos los cables, que son los encargados de comunicar y transferir la información entre cada uno de los terminales o funciones. Los cables son análogos a las variables utilizadas en el lenguaje de programación basado en texto, por tanto, cada cable tiene su función correspondiente según sea el color, estilo, y grosor tal como lo vemos en la tabla 1.

Tabla 1.

<i>Wire type</i>	<i>scalar</i>	<i>1D array</i>	<i>2D array</i>	<i>Color</i>
Numeric				Orange (Floating – point), Blue (Integer)
Boolean				Green
String				Pink

Igual que el Panel Frontal, el Diagrama de Bloques pose como ayuda una Paleta de Funciones, donde se encuentran las funciones y estructuras que ayudaran a desarrollar el código fuente del programa. En la figura 4 se muestra la paleta de funciones que a continuación se explicaran algunos botones.

Figura 4. Paleta de Funciones



Fuente: Autor



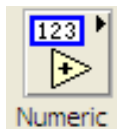
Estructuras: En ella encontramos las estructuras de control del programa, como también las variables locales y globales.



Arrays: Contiene funciones útiles para procesar datos en forma de vectores, así como constantes de vectores.



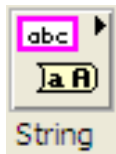
Cluster & Variant: Contiene funciones útiles para procesar datos procedentes de gráficas y destinados a ser representados en ellas, así como las correspondientes constantes.



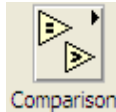
Numeric: Muestra funciones aritméticas y constantes numéricas.



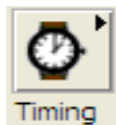
Boolean: Muestra las funciones y constantes lógicas.



String: Muestra funciones para manipular cadenas de caracteres, así como constantes de caracteres.



Comparison: Muestra funciones que sirven para comparar números, valores boléanos o cadenas de caracteres.



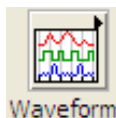
Timing: Contiene funciones para introducir contadores, temporizadores y retardos.



Dialog & User Interface: Contiene funciones para trabajar cuadros de dialogo y funciones que permiten mostrar al usuario mensajes en el panel frontal.



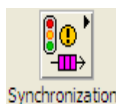
File I/O: Muestra funciones para operar con ficheros.



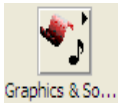
Waveform: Muestra funciones para construir formas de onda incluyendo sus valores y su información, para establecer y recuperar los atributos de forma de onda y sus componentes.



Application Control: Contiene varias funciones que regulan el funcionamiento de la propia aplicación en ejecución.



Synchronization: Muestra funciones para sincronizar la ejecución de tareas en paralelo y el flujo de datos entre tareas paralelas.



Graphics & Sound: Muestra funciones para exportar y/o importar archivos gráficos y de sonido.



Report Generation: Muestra funciones para la creación y manipulación de reportes desde la aplicación LabVIEW.

LabVIEW a demás de tener paletas de ayuda para el panel de control y el diagrama de bloques, también, posee una paleta de herramientas que le permite editar y crear objetos. Ver figura 5.

Figura 5. Paleta de Herramientas



Fuente: Autor

Las opciones que presenta esta paleta de herramientas son las siguientes:



Operating Tool: Cambia el valor de los controles.



Positioning Tool: Desplaza, cambia de tamaño y selecciona los objetos.



Labeling Tool: Edita textos y crea etiquetas.



Wiring Tool: Une los objetos en el diagrama de bloques.



Object Pop – up Menu Tool: Abre el menú desplegable de un objeto.



Scroll Tool: Desplaza la pantalla sin necesidad de emplear las barras de desplazamiento.



Breakpoint Tool: Fija puntos de interrupción de la ejecución del programa en los VIs, funciones y estructuras.



Probe Tool: Crea puntos de prueba en los cables, en los que se pueden visualizar el valor del dato que fluya por dicho cable en cada instante.



Color Copy Tool: Copia el color para luego establecerlo.



Color Tool: Establece el color de fondo y el de los objetos.

Como acceder a un instrumento virtual (VI).


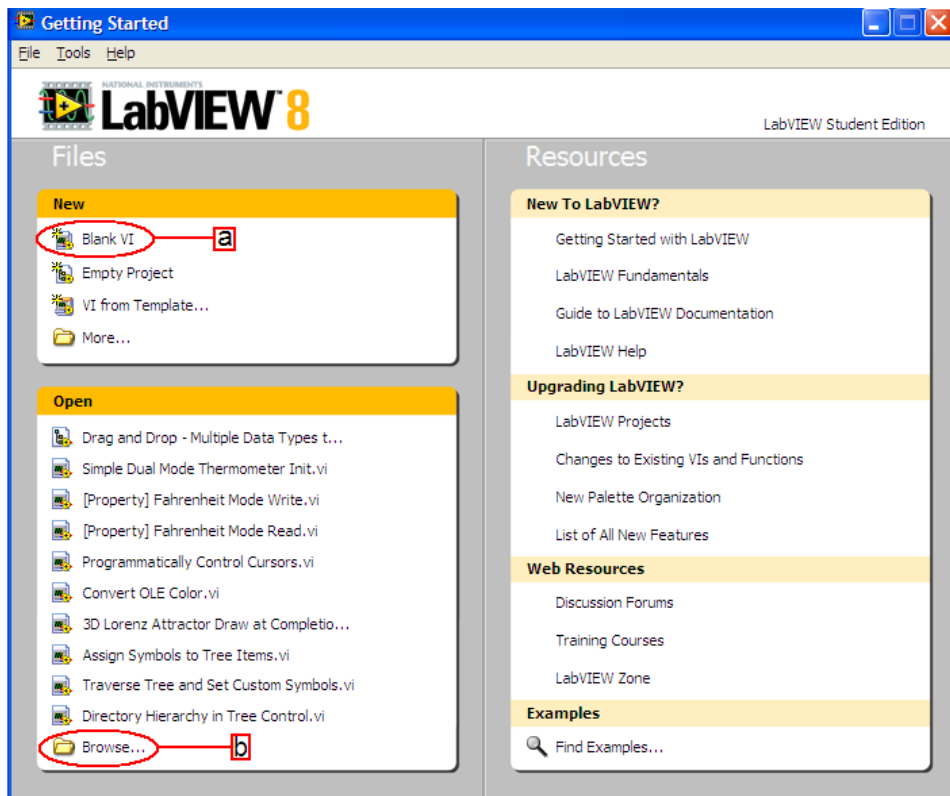
Para acceder a un instrumento virtual (VI), pasamos a hacer clic sobre el icono que aparece en el escritorio o en la barra de programas . Luego de abrir el programa nos encontramos con la ventana “**Getting Started**”, en ella tenemos la opción de acceder a una VI o crear una. Para acceder a una VI damos clic sobre el botón “**Browse ...**” y buscamos el archivo, para crear una nueva VI damos clic sobre el botón “**Blank List**”. En la figura 6, vemos las dos opciones que encontramos en la ventana Getting Started.

Figura 6. Pantalla de inicio del programa LabVIEW.

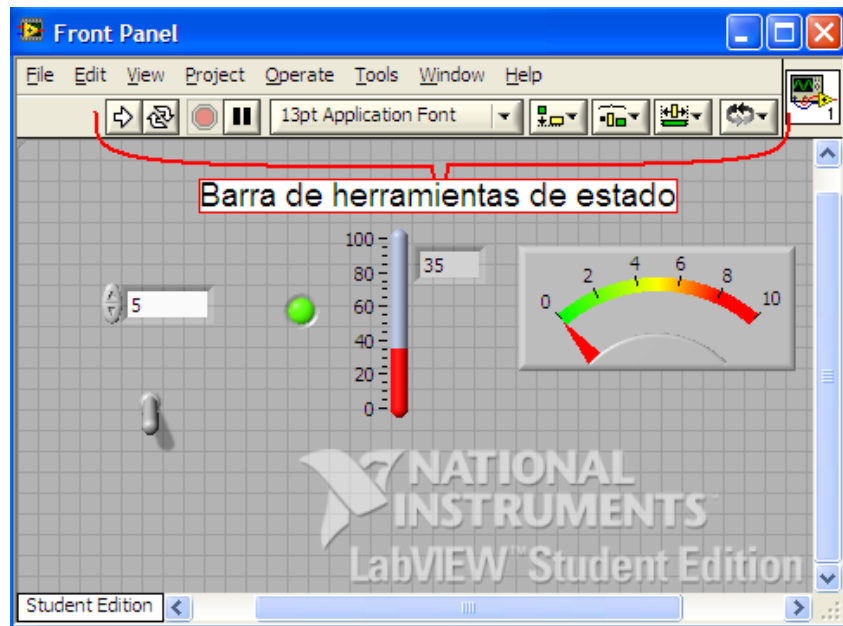


Fuente: Autor

Ejecución de la VI.

Una vez desarrollado el programa o la VI, pasamos a ejecutarlo. Para ello nos ubicamos en el panel frontal, tal como lo muestra la figura 7, el panel frontal tiene una barra de herramientas de estados donde encontramos los botones que son los encargados de la ejecución del programa.

Figura 7. Ejecución de VI desde el Panel Frontal



Fuente: Autor

A continuación se dará una breve descripción de cada uno de los botones que hacen parte de esta barra de herramientas:



Botón de ejecución del programa (RUN).



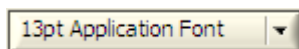
Botón de ejecución continua (Continuous Run)



Cancelación de la ejecución (Abort Execution)



Botón de pausa / continuación.



Configuración de textos (Text Settings)



Alineamientos de objetos (Align Objects)




Distribución de objetos (Distribute Objects)


 Redimensionamiento de objetos de panel frontal (Resize Objects)


 Reordenamiento

También de la misma forma, si se quiere ejecutar el programa, se puede ir al panel del diagrama de bloques, allí tenemos la barra de herramientas con los botones antes mencionados y otro adicionales que se explicaran a continuación.

 Botón de ejecución resaltada (Highlight Execution)

 Botón de entrada al ciclo (Step Into)

 Botón sobre (Step Over)

 Botón de salida del ciclo (Step Out)

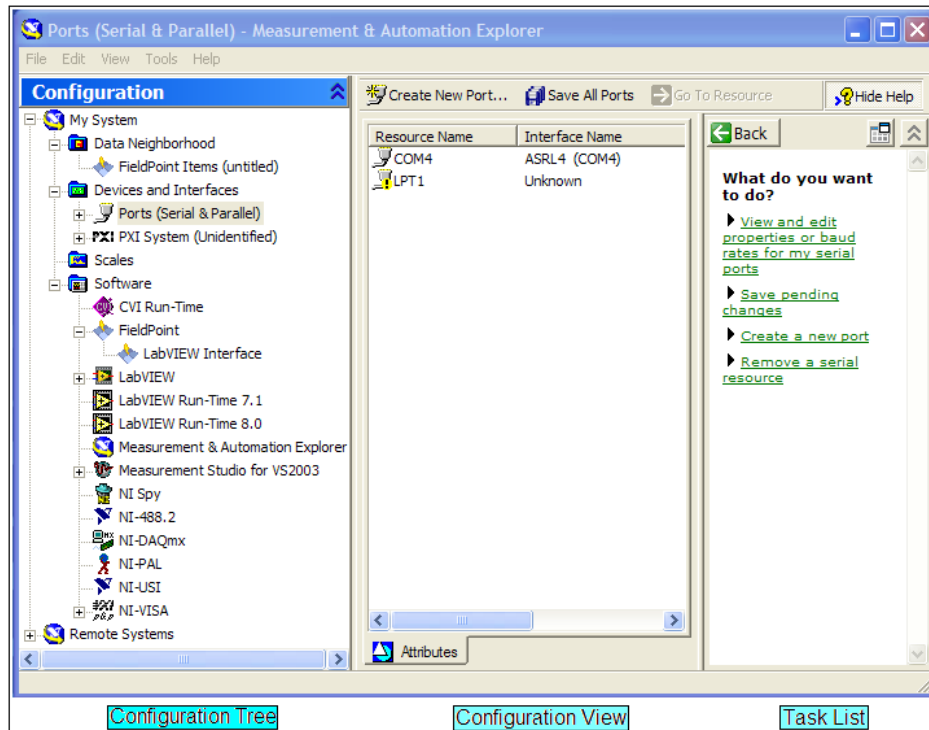
Measurements & Automation Explorer (MAX)

Measurements & Automation Explorer (MAX) es un software que permite tener acceso a todos los dispositivos de “National Instruments” ya sean DAQ, GPIB, IMAQ, IVI, Motion, VISA, y VXI. Con MAX se puede listar y configurar el software y hardware de “National Instruments”, sus canales, su interfase y sus instrumentos virtuales; ejecuta un sistema de diagnostico para detectar los dispositivos e instrumentos conectados en el sistema de forma automática asignándole un nombre. También realiza una copia de seguridad de los datos de configuración y actualiza el software “National Instruments” con los dispositivos conectados.

MAX es un software que nos permite configurar cada uno de las tarjetas conectadas, por tanto, el software nos muestra de forma ramificada las diferentes

maneras que podemos acceder a los dispositivos. Además, contamos con diferentes herramientas que permiten facilitar su configuración como lo vemos en la figura 8.

Figura 8. Ventana Principal del Measurement & Automation Explorer (MAX).



Fuente: Autor

MAX se compone de tres elementos esenciales, el árbol de configuración, la pantalla de configuración y la lista de tareas.

Árbol de configuración (Configuration Tree)

El árbol de configuración muestra la estructura jerárquica de los instrumentos y dispositivos conectados al ordenador; en el árbol de configuración encontramos

diferentes carpetas que nos facilitan tener acceso a los dispositivos y configurarlos, estas carpetas son:

- * La carpeta “Data Neighborhood” : es la encargada de proporcionarnos acceso directo a los canales físicos de cada uno de los dispositivos conectados, como también permite crear canales virtuales, crear tareas, etc..

- * La carpeta “Devices and Interfaces”: en ella encontramos todos los dispositivos e interfaces instalados en el ordenador, nos permite editar los atributos de los diferentes dispositivos, a demás automáticamente guarda un registro de los dispositivos conectados, para que se facilite volver a acceder a ellos cuando lo requiera.

- * La carpeta “Scales”: donde se almacenan y modifican los parámetros relacionados con las escalas que pueden usar las tareas, una escala es una formula que se aplica a todas las muestras.

- * La carpeta “Software”: permite mostrar la información sobre el software instalado, entre ellos se muestra el software LabVIEW, sus librerías y sobre el propio MAX.

Pantalla de configuración (Configuration View)

En este espacio se muestra de forma detallada la descripción de cada de las carpetas que aparecen en el árbol de configuración, como también, los dispositivos conectados. En esta pantalla, podemos configurar a demás, las propiedades de los dispositivos conectados, podemos monitorearlos y controlar los puertos de cada uno de ellos.

Lista de tareas (Task List)

La lista de tareas es una guía interactiva donde el usuario por medio de tareas configura su sistema. Esta lista de tareas cambia su contenido de acuerdo a la interfaz que ha seleccionado ya sea VXI, GPIB, NI-DAQ, etc.

En el manual de operación mediante un ejemplo se explicara la forma como se configura un modulo o tarjeta conectada al PC y/o se configura un modulo de forma virtual, los dos tipos de configuración se realizan de la misma forma