



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Diseño de un Sistema Dedicado para el Monitoreo de
Temperatura en una Torre de Destilación

TESIS

Que para obtener el título de:
Ingeniero Eléctrico Electrónico

Presenta:

Isahí Rodríguez Díaz

Director de Tesis:

Dr. Christopher Lionel Heard Wade

Codirectora de Tesis:

Ing. Gloria Mata Hernández



México D. F., Ciudad Universitaria.

Febrero
2005.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Al Dr. Christopher Heard
A la Ing. Gloria Mata Hernández
por haber dirigido este trabajo.

Al resto de los sinodales:

Presidente: M. en I. Ricardo Garibay Jiménez
Secretario: Ing. Rodolfo Peters Lammel
Suplente: M. en I. Lauro Santiago Cruz

Por su tiempo dedicado a sus comentarios y revisión del trabajo de tesis.

A mis amigos y compañeros del Instituto Mexicano del Petróleo
quienes me recibieron y me regalaron su tiempo
para aconsejarme, escucharme y alentarme.

Dedicatoria

Este trabajo de tesis lo dedico orgullosamente a mis padres y hermanos:

Fernando Rodríguez Aguilar

Hermila Díaz Santos

Esau Rodríguez Díaz

Fernando Rodríguez Díaz

Así como yo tomé de ustedes lo que me pareció valioso, quiero ahora compartirles este logro para que lo tomen como propio, porque cada uno de ustedes, a su manera y en su momento, han sido esenciales para la culminación de este esfuerzo.

PRÓLOGO

Esta tesis se elaboró en colaboración con el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) para el proyecto de investigación llamado “Investigación y Desarrollo Tecnológico de Procesos de Destilación Diabática” (D.00018) que se desarrolla dentro del Programa de Investigación de Medio Ambiente y Seguridad (PIMAS); consiste en un sistema de adquisición de datos de temperatura basado en un sistema de cómputo dedicado que sirve como herramienta para el estudio y análisis experimental del proceso de destilación diabática, el cual se fundamenta en aportar y retirar calor dentro de una torre de destilación a diferentes temperaturas. En la investigación es necesario implementar los sistemas de adquisición de datos que se adecuen a las condiciones particulares de la torre de destilación mencionada, esto es, que el sistema sea altamente confiable, de sencilla operación y que facilite el análisis de los datos experimentales.

En la torre de destilación las condiciones del proceso son intrínsecamente complejas y de alto riesgo para el personal de operación, las instalaciones y los propios equipos; por ello es necesario asegurar un desempeño que dé prioridad a la ejecución de las tareas de medición y control. Esto se logra con un sistema dedicado de medición y control, también conocido como Sistema de Tiempo Real. En los sistemas computarizados, un sistema en tiempo real se consigue mediante un Sistema Operativo de propósito específico.

El fin que se persigue con esta tesis es instrumentar un sistema dedicado en tiempo real de monitoreo y registro de temperatura para que, a partir de éste, se facilite el desarrollo de los subsistemas de control y adquisición de datos complementarios de una torre de destilación. Este desarrollo optimiza el aprovechamiento de recursos de hardware y software de una línea de productos de instrumentación disponible en el mercado y propone, mediante el empleo del sistema dedicado, una opción para la adquisición de datos donde el entorno es riesgoso, o bien, cuando las pruebas son costosas y difíciles de repetir. El sistema servirá de plataforma para el desarrollo de los subsistemas de control y adquisición de datos complementarios de la torre de destilación. Se detalla la concepción de la configuración de un sistema que cumple con requerimientos de confiabilidad y gran capacidad de procesamiento, la creación de una interfaz de sencilla operación, el establecimiento de procedimientos de comunicación entre elementos de medición, procesamiento y despliegue de datos y la generación de programas que administran estas funcionalidades.

En el primer capítulo se abordan las bases del proceso de destilación con las que es necesario familiarizarse para contemplar las peculiaridades y características que el diseño del sistema de adquisición de datos debe observar. El capítulo dos define la estructura general del sistema de control y adquisición de datos como un marco de referencia al que se debe ajustar el sistema dedicado de monitoreo de temperatura objeto de este trabajo. El tercer capítulo plantea las etapas del diseño del Sistema de Monitoreo, e incluye el desarrollo del software, la configuración del hardware y el estudio de las interfaces de comunicación. En el cuarto capítulo se confrontan los resultados obtenidos con procedimientos estandarizados a fin de validar el trabajo realizado. El capítulo cinco

contiene un manual de operación del sistema. Al final se presentan las observaciones y conclusiones producto del desarrollo.

Es pertinente aclarar que debido a la naturaleza predominantemente práctica de esta tesis, se han empleado términos técnicos propios de las jergas de la instrumentación, las operaciones químicas, el control y la computación, los cuales se detallan en un glosario anexo.

Cabe mencionar, como una referencia a los resultados de esta tesis, que una versión condensada de este trabajo ha participado y fue publicada en las memorias del *Congreso de Instrumentación SOMI XIX* organizado por la Sociedad Mexicana de Instrumentación, el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la UNAM y la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Así mismo, y a petición del fabricante del equipo de instrumentación National Instruments, se ha presentado en el *Seminario Especializado sobre Investigación Científica y Tecnológica* donde se ha sido posible difundir este desarrollo ante otros centros de investigación.

CONTENIDO

PRÓLOGO	v
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	
1.1. GENERALIDADES DE LA DESTILACIÓN	1
1.1.1. Bases del proceso de destilación	1
1.1.2. Equipo para la destilación	2
1.1.3. Estrategias de control de la composición	4
1.2. CONTEXTO DEL CASO DE APLICACIÓN	8
1.2.1. Torre de destilación diabática	8
1.2.2. Importancia del Sistema de Monitoreo de Temperatura.....	10
CAPÍTULO 2. ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS	
2.1. SISTEMA DE CÓMPUTO	11
2.2. ARQUITECTURA GENERAL	11
2.2.1. Arquitectura de Software	11
2.2.2. Generalidades de LabVIEW Real Time	12
2.2.3. Plataforma de Hardware	12
2.3. CONFIGURACIÓN GENERAL PROPUESTA	13
2.3.1. Arreglo del Hardware PXI	14
2.3.2. Equipo de instrumentación	15
2.4. DETALLES DEL SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA	17
CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA DEDICADO	
3.1. CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR PXI	19
3.2. ASIGNACIÓN DE NIVELES DE PRIORIDAD DEL RTOS	19
3.3. COMUNICACIÓN DEL CONTROLADOR A LOS MÓDULOS FIELDPOINT	20
3.3.1. Estándar RS-485 e implementación del modo de transmisión full duplex	20
3.3.2. Software de comunicación PXI – FieldPoint	21
3.3.3. Protocolo Optomux	22
3.3.4. Comandos de configuración del módulo FP-TC-120	24
3.3.5. Comandos de lectura del módulo FP-TC-120	28
3.4. TRANSMISIÓN DE DATOS DE MEDICIONES ENTRE EL CONTROLADOR PXI Y LA PC	30
3.4.1. Generalidades del protocolo DataSocket	30
3.5. ESTRUCTURA LÓGICA DE LA APLICACIÓN	31
3.5.1. Comunicación entre programas y plataformas	31
3.5.2. Diagrama de flujo de eventos	32
3.6. PROGRAMAS DE LABVIEW RT	33
3.6.1. Configuración de los módulos FP-TC-120	33
3.6.2. Lectura de los módulos FP-TC-120	35
3.6.3. Registro en disco duro del PXI	36
3.6.4. Transferencia de archivos de registro de PXI a PC	37
3.7. PROGRAMAS DE LABVIEW PARA WINDOWS	39
3.7.1. Programas de solicitud de información	39

3.7.2. Interfaz de usuario	42
CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DEDICADO	
4.1. ESPECIFICACIONES DE COMPONENTES	43
4.1.1. Termopares	43
4.1.2. FieldPoint TC-120	43
4.2. DISEÑO DEL SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA	45
CAPÍTULO 5. MANUAL DE USUARIO	
5.1. CONVENCIONES	53
5.2. PROCEDIMIENTOS PREPARATORIOS	54
5.2.1. Establecimiento de parámetros físicos de red e interconexiones	54
5.2.2. Servidor FTP	57
5.2.3. Servidor DataSocket	57
5.2.4. Inicialización de LabVIEW	58
5.3. OPERACIÓN DE LA APLICACIÓN	58
5.3.1. Interfaz de usuario	58
RESULTADOS Y CONCLUSIONES	65
ANEXOS	
A SIMBOLOGÍA Y NOMENCLATURA PARA LOS INSTRUMENTOS	67
B DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN DE LA TORRE DE DESTILACIÓN DIABÁTICA	70
C ESPECIFICACIONES DE HARDWARE	71
D GLOSARIO	78
REFERENCIAS	91

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES DE LA DESTILACIÓN

1.1.1. BASES DEL PROCESO DE DESTILACIÓN

(i) Definición

La destilación es una operación química unitaria de gran importancia en la elaboración de productos químicos y particularmente en las industrias de refinación del petróleo y petroquímicas. La destilación es un proceso de separación de una mezcla en dos o más componentes con diferentes puntos de ebullición. Cuando una mezcla líquida de dos componentes es calentada, el vapor que asciende, tiene una concentración mayor en el componente más volátil (el componente con el punto de ebullición más bajo). Contrariamente, si el vapor es enfriado, el componente menos volátil (el componente con el punto de ebullición más alto) tiende a concentrarse en mayor proporción que el componente más volátil en el líquido condensado. Los vapores se condensan aparte constituyendo el destilado [1], [2].

(ii) Modos de operación

La destilación puede llevarse a cabo de muchos modos, algunos de ellos indicados en la [figura 1.1](#). Hay dos tipos básicos de operación: destilación sin reflujo o destilación simple y destilación con reflujo, comúnmente llamada rectificación.

La destilación simple es la operación de hervir el líquido de un recipiente (la caldera) condensándose aparte los vapores que constituirán el destilado, quedando en la caldera el residuo.

En la destilación con reflujo o rectificación, el proceso consta de múltiples contactos entre las fases de líquido y vapor. Los contactos se realizan frecuentemente en platos horizontales dispuestos en una columna vertical tal como se muestra en la [figura 1.2](#). El vapor que abandona la cabeza de la columna se condensa, y una fracción del líquido condensado se devuelve a la columna, lo que constituye el reflujo, el resto se retira como producto destilado. La condensación se suele hacer con un intercambiador de calor con agua fría o con otras corrientes de proceso más frías.

En el interior de la columna se ponen en contacto el vapor ascendente con el líquido descendente. En un nivel dado de la columna estas dos corrientes no están en equilibrio entre sí, por lo que hay una transferencia de materia: pasan los componentes más volátiles del líquido al vapor, y los componentes menos volátiles del vapor al líquido, con lo que el vapor se enriquece en componentes volátiles a medida que asciende por la columna [1].

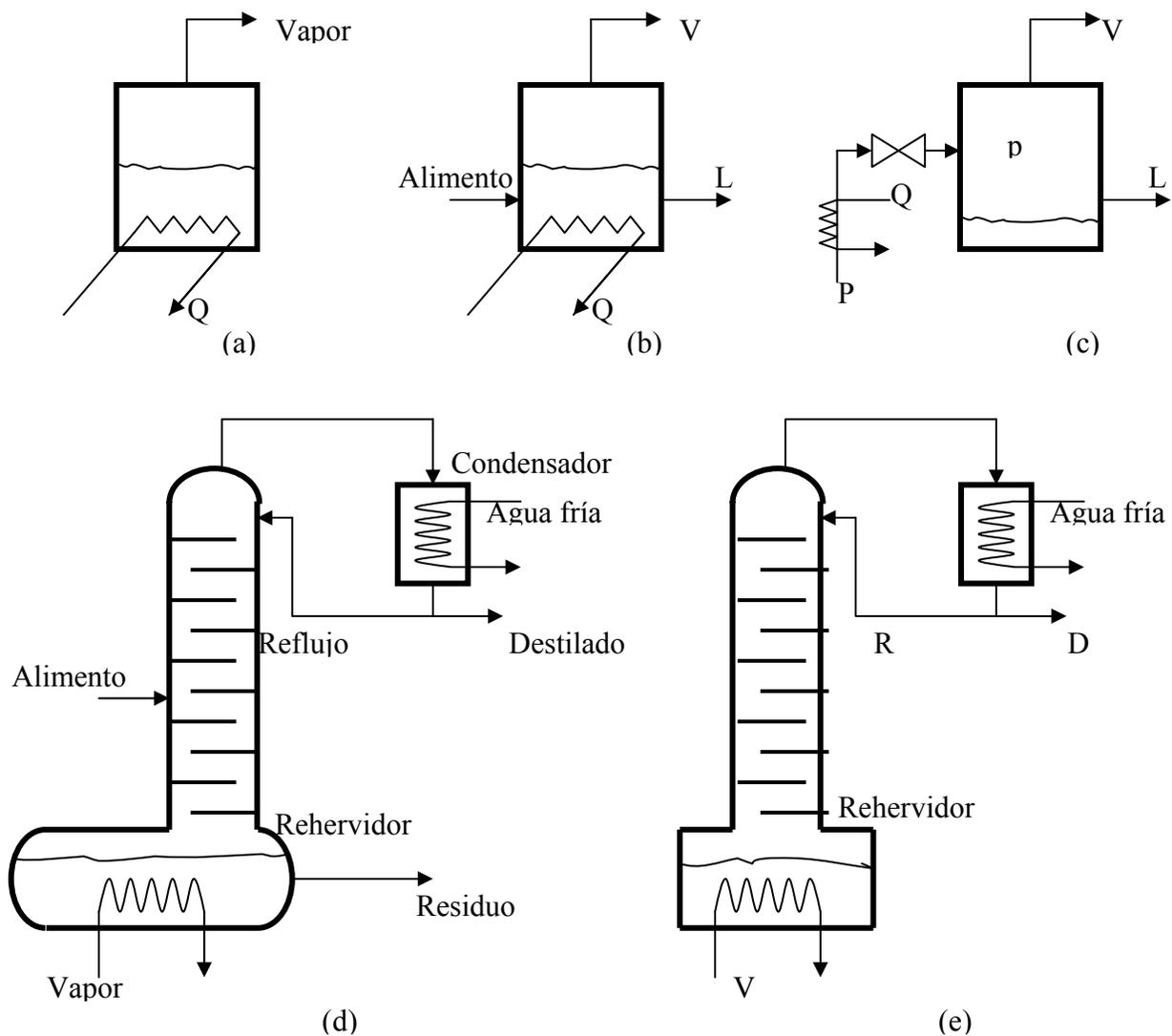


Figura 1.1. Distintos tipos de destilación: (a) simple discontinua, (b) simple continua, (c) súbita, (d) rectificación continua, (e) rectificación discontinua.

1.1.2. EQUIPO PARA LA DESTILACIÓN

Los distintos tipos de destilación se suelen llevar a cabo en las columnas o torres de destilación. Son recipientes cilíndricos verticales con una entrada de la corriente de alimentación a destilar por un punto intermedio de la columna y con una salida por la parte superior o cabeza para extraer los vapores a condensar. Estos pueden volver en parte a la columna como reflujo a través de otra entrada por la cabeza. Se dispone asimismo una salida inferior en la base de la columna o cola, para retirar los residuos de la destilación. Pueden existir igualmente entradas o salidas laterales en diversos niveles de la columna. La calefacción de la columna se realiza por la base, bien por calefacción directa o mediante un serpentín o un cambiador de calor alimentado con vapor a alta temperatura. A su vez el alimento puede ser precalentado previamente en intercambiadores de calor o en hornos.

Para asegurar un buen contacto entre el vapor y el líquido, se han diseñado varios dispositivos, basados principalmente en dos criterios distintos: las columnas de contacto continuo o columnas de relleno y las columnas de contacto por etapas o columnas de platos o charolas. Por sencillez, en adelante sólo se refiere a este último tipo.

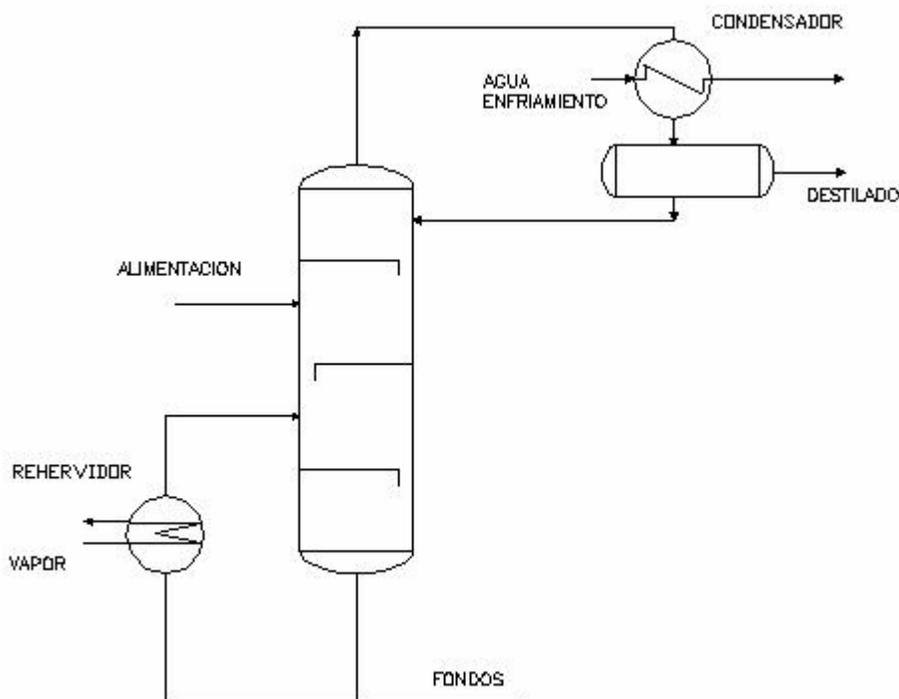


Figura 1.2. Esquema de una torre de destilación convencional.

Los platos son superficies planas que dividen la columna en una serie de etapas. Tienen por objeto retener una cierta cantidad de líquido en su superficie, a través de la cual se hace burbujear el vapor que asciende del reboilador, consiguiéndose así un buen contacto entre el vapor y el líquido. El líquido de un plato cae al plato siguiente por un rebosadero y un bajante situado usualmente en un extremo del plato. Según la forma del dispositivo que permite el paso del vapor a través del líquido, se distingue entre platos perforados, platos de cachuchas, de válvulas y otros. En la [figura 1.3](#) se muestra la disposición de los platos en la columna y el detalle de un plato perforado.

Cuando el vapor que llega a un plato por debajo, y el líquido que le llega por encima, no están en equilibrio. En el plato tiene lugar la mezcla íntima de ambas corrientes, produciéndose allí la transferencia de materia. El vapor que abandona el plato hacia arriba es más rico en componente más volátil, y el líquido que cae al plato inferior es más rico en el componente menos volátil. La fuerza impulsora en esta operación unitaria es la diferencia de composiciones entre las corrientes que llegan al plato y las composiciones correspondientes al equilibrio entre vapor y líquido [1].

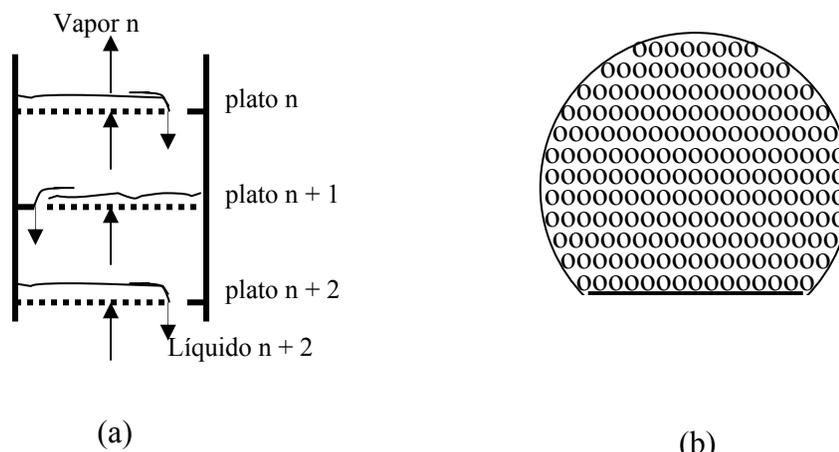


Figura 1.3. Columnas de platos: (a) disposición relativa, (b) detalle de un plato perforado.

1.1.3. ESTRATEGIAS DE CONTROL DE LA COMPOSICIÓN

Dos grandes enfoques de control de la composición de la mezcla (destilado o fondos) han sido ampliamente usados en las columnas de destilación:

1. Control de balance de energía o control indirecto del balance de material.
2. Control del balance directo de material.

Control de balance de energía. Es un método en el cual, una corriente que entrega energía es ajustada para mantener controlada la calidad del destilado. La corriente ajustada puede ser:

- a) Flujo de vapor al rehvador.
- b) Reflujo de la torre de destilación.

El control de balance de energía ha sido el procedimiento usado tradicionalmente. A continuación se muestran dos ejemplos donde la temperatura es la variable a controlar para mantener la separación deseada. Si la temperatura es constante en el punto seleccionado de la torre, se mantiene la separación a pesar de las variaciones en el flujo y en la composición de la alimentación [3].

En el Diagrama de Tubería e Instrumentación¹ (DTI) de la [figura 1.4](#) el control se logra con base en el ajuste del reflujo de la siguiente manera:

- El controlador de temperatura (TIC 01) actúa ajustando el reflujo para mantener la temperatura constante en la sección de la torre.
- La válvula de control del destilado es manipulada por el controlador de nivel del condensador de la torre (LIC 01).

¹ La nomenclatura y simbología empleada en este trabajo aparece detallada en el Apéndice A.

- El flujo de vapor al rehervidor se mantendrá constante por medio de un control de flujo (FIC 02).
- La válvula de control de los productos de fondo es manipulada por el control de nivel de la columna (LIC 02).
- El flujo de alimentación a la torre se mantiene constante por medio de un controlador de flujo (FIC 01).
- La presión de la columna se mantiene constante por cualquiera de los distintos métodos existentes, cuya selección depende principalmente de :
 1. Presencia o no presencia de incondensables en el destilado
 2. Tipo de condensador
 3. Localizador del condensador

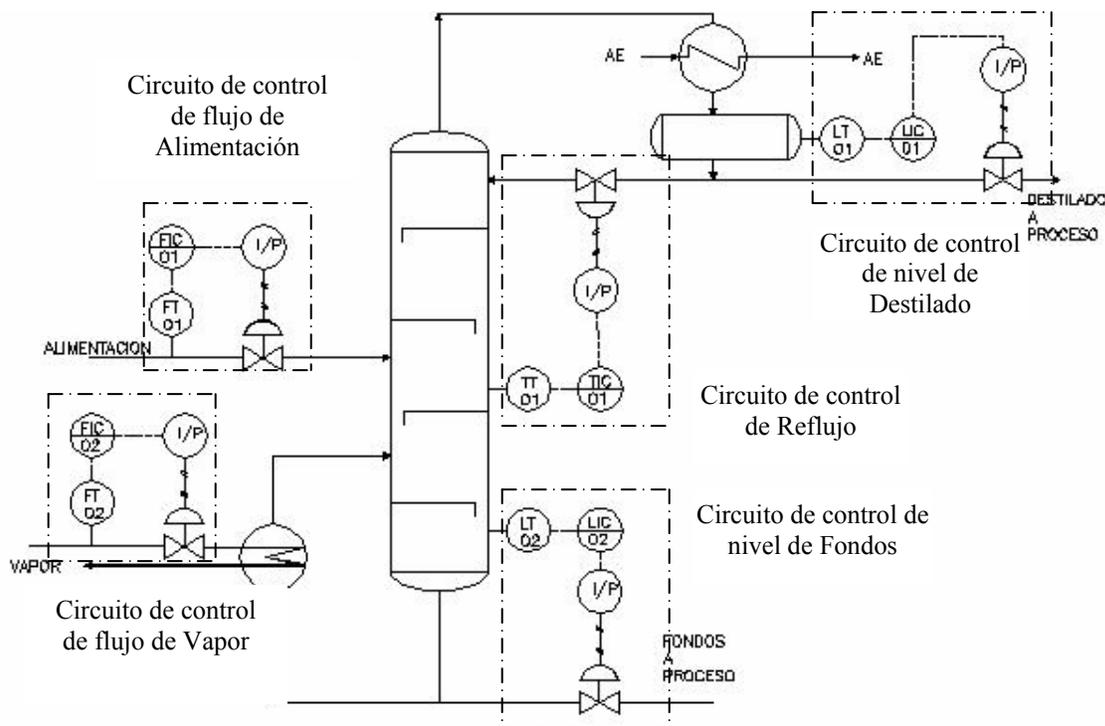


Figura 1.4. Control por balance de energía en una columna de destilación.

Para no hacer más complicado el diagrama, no se muestra el sistema de control de presión sin embargo, aparece en la [figura 1.5](#).

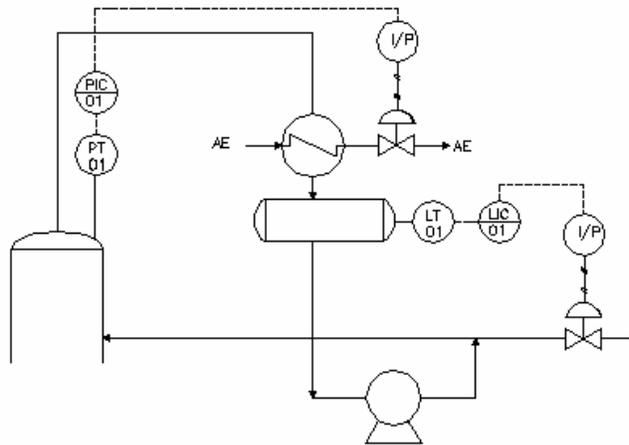


Figura 1.5. Control de Presión en la columna.

En el otro ejemplo del DTI de la [figura 1.6](#), el sistema de control se basa en la manipulación del flujo de vapor al rehervidor del modo siguiente:

- El controlador de temperatura (TIC 01) y el controlador de flujo de vapor al rehervidor (FIC 02) se encuentran en cascada. El punto de ajuste del controlador de flujo es fijado remotamente por la salida del controlador de temperatura. De esta manera la temperatura en la sección de la columna se mantiene constante.
- La válvula de control del destilado es manipulada por el control de nivel del condensador de la columna (LIC 01).
- El reflujo se mantiene constante por medio de un controlador de flujo (FIC 03).
- La válvula de control de los productos de fondo es manipulada por el control de nivel de la columna (LIC 02).
- El flujo de alimentación a la torre se mantiene constante por medio de un controlador de flujo (FIC 01).
- La presión en la columna se mantiene constante.

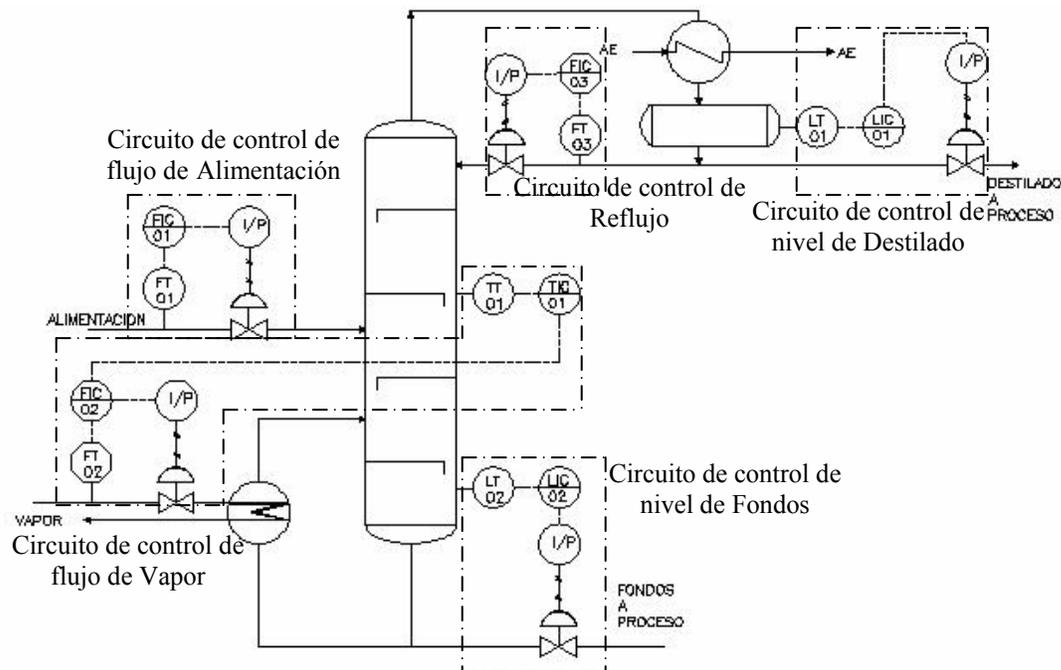


Figura 1.6. Control en cascada de balance de energía.

Control directo del balance de material. En éste concepto de control, un flujo de algún producto saliendo de la columna de destilación es manipulado para mantener la calidad del producto. Las tres corrientes cuyos flujos pueden ser manipulados son:

- Destilado
- Productos de fondo
- Alguna salida lateral

La [figura 1.7](#) es un ejemplo de aplicación del concepto de control directo de balance de material en el cual se controla la corriente de los productos de fondo de la siguiente manera:

- La válvula de control de los productos de fondo es manipulada por el control de temperatura de la columna (TIC 01).
- El flujo de vapor al rehervidor es manipulado por el control de nivel de la columna (LIC 02).
- El flujo de destilado es manipulado por medio del control de nivel del acumulador del condensado (LIC 01).
- El flujo de alimentación a la torre se mantiene constante por medio de un controlador de flujo (FIC 01).
- El reflujo se mantiene constante por medio de un controlador de flujo (FIC 03).

- La presión en la columna se mantiene constante.

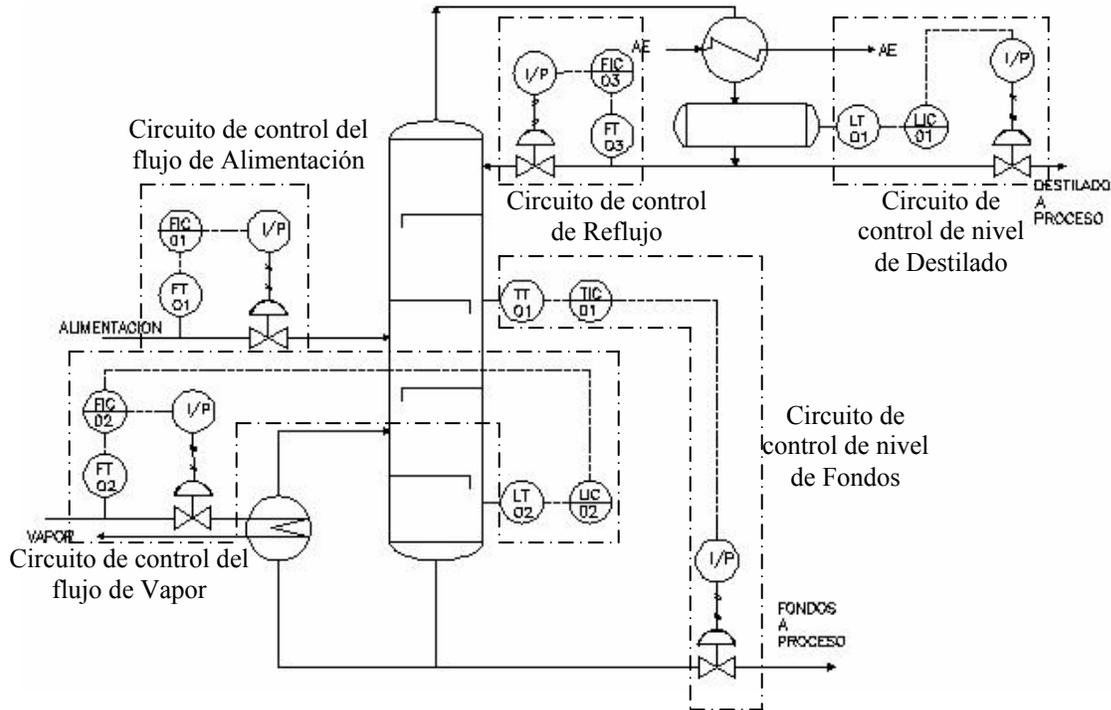


Figura 1.7. Control Directo de balance de materia.

1.2. CONTEXTO DEL CASO DE APLICACIÓN

1.2.1. TORRE DE DESTILACIÓN DIABÁTICA

El proyecto de investigación del IMP para el cual desarrollo esta tesis se vale de una planta de pruebas que tiene como función el desarrollo de experimentos útiles para la caracterización del proceso de destilación diabática, así mismo de aquellos que sirvan para la validación de otras investigaciones realizadas sobre ese tópico. Debido al carácter experimental que implica la operación de la planta, la instrumentación requiere un diseño singularizado que emplea equipo de alto desempeño y alta calidad. En esta planta se exceden los recursos de instrumentación que una columna de destilación convencional requiere para su operación.

El proceso de destilación diabática, al que refiero es una modificación del proceso convencional de destilación que consiste en aportar y retirar calor dentro de la columna a diferentes temperaturas. Las definiciones y conceptos hasta ahora empleados son extensivos a esta variante y su estudio detallado cae fuera de los propósitos de este trabajo pero se menciona a fin de presentar una panorámica de la aplicación que da sustento al desarrollo de esta tesis.

En este caso, además del control de la composición, es necesario manipular la razón de transferencia de calor, así como conocer el perfil de temperaturas en la sección de

prueba, (plato diabático). Otra parte importante es el análisis en distintos puntos de variables como la temperatura, la presión, el flujo y el nivel que son como ya lo advierten los diagramas de instrumentación mostrados, indicativas del comportamiento del proceso.

Los sistemas de la torre se componen de instalaciones a escala semi-industrial en el parque industrial “La Reforma” en Pachuca, Hidalgo. Por tratarse de una torre de destilación para petróleo cuyos productos son naftas², la operación del complejo implica la necesidad de cumplimiento estricto de medidas de seguridad para el personal, el equipo y las instalaciones mismas, esollo que se acentúa cuando se considera que la estructura principal de la torre está diseñada para tolerar eventuales modificaciones a fin de satisfacer otras líneas de investigación que se aborden en el futuro.

El sistema de operación de la torre se compone de los siguientes subsistemas:

- Sistema de agua de enfriamiento.
- Sistema de distribución de fluido térmico.
- Columna de destilación.
- Sistema de seguridad (desfogue).

En la [figura 1.8](#) se muestra el esquema general basado en el DTI de la planta, el cual se muestra detallado en el Apéndice B.

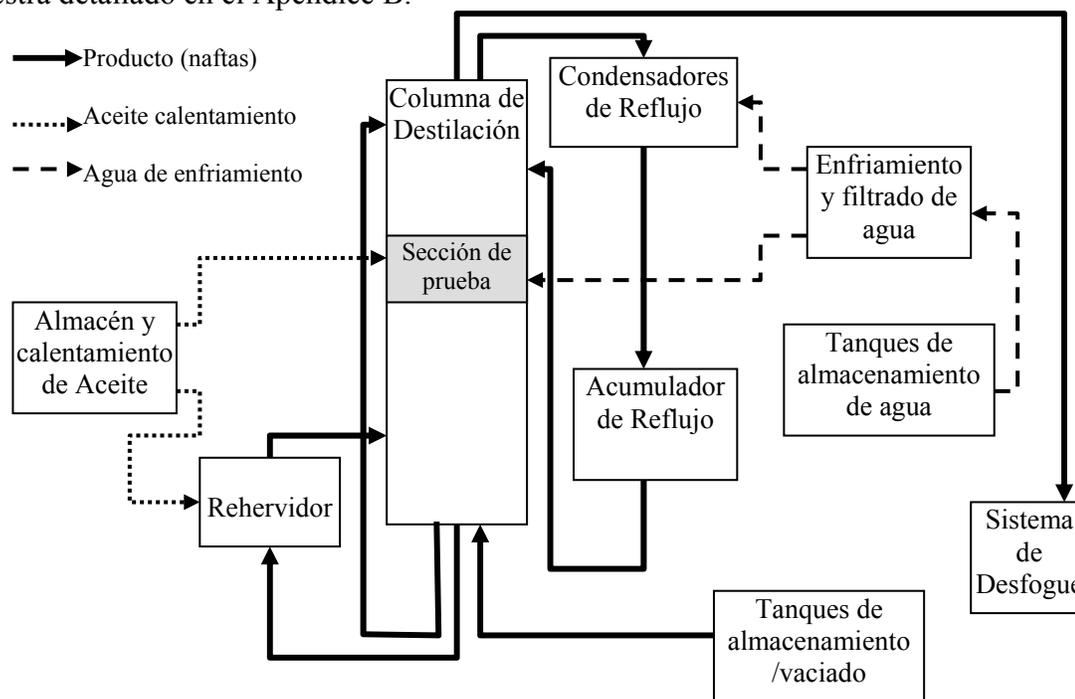


Figura 1.8. Esquema de la planta de destilación diabática

² Las naftas o gasolinas son una mezcla de hidrocarburos obtenida a partir de la destilación de petróleo, altamente inflamable por lo cual su manejo y almacenamiento requieren de un manejo extremadamente cuidadoso y especial.

Se puede advertir que en la torre de destilación las condiciones del proceso son intrínsecamente complejas y exigen un alto grado de confiabilidad en su manejo; por ello es necesario asegurar un desempeño que dé prioridad a la ejecución de las tareas de medición y control. Esto se consigue con un sistema dedicado de medición y control, también conocido como sistema de Tiempo Real (RT). En los sistemas computarizados, un sistema en tiempo real se puede conseguir mediante el uso de un Sistema Operativo (OS por sus siglas en Inglés) de propósito específico. Los sistemas operativos de propósito general, como lo son Windows, Mac OS, Unix Solaris, etc. no logran asegurar la ejecución determinística de una tarea predeterminada debido a la variedad de tareas otras que deben atender tales como acceso a archivos, o las relativas a las conexiones en red, a las interrupciones producidas por dispositivos periféricos, eventos del teclado y el ratón, entre otras.

1.2.2. IMPORTANCIA DEL SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA

El proyecto de control y adquisición de datos del sistema completo se puede dividir en subsistemas abocados a cada una de las variables de interés.

En este caso la temperatura tiene una doble función: por una parte se emplea como variable de realimentación en los lazos de control (específicamente en el control de composición de la mezcla) y, por la otra, es una variable clave para las investigaciones que se desarrollen en el proyecto de investigación del IMP, pues el registro de los datos de la temperatura se analizarán para evaluar los resultados de los experimentos en la columna. En particular el conocimiento del perfil de temperatura en las áreas bajo prueba recobra gran importancia debido a que es el medio más sencillo para inferir la transferencia de calor en la sección diabática de la columna, lo que constituye a su vez el punto medular de la investigación del IMP.

Es así que debido a la múltiple funcionalidad que envuelve al monitoreo de la temperatura, se decidió iniciar con este subsistema el diseño del sistema total de adquisición de datos y control de la columna de destilación experimental.

2. ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA TORRE DE DESTILACIÓN

2.1. SISTEMA DE CÓMPUTO

Se optó por implementar el sistema con base en una configuración innovadora y además muy robusta bajo un enfoque nuevo que no se ha empleado en el IMP y probablemente en ningún otro lado.

Los requerimientos de confiabilidad (la mezcla a destilar esta constituida por gasolinas) y la naturaleza experimental de la planta determinan las características del sistema de instrumentación a implementar:

- Para asegurar su operación confiable se ha optado por recurrir a un sistema dedicado basado en un Sistema Operativo de Tiempo Real (RTOS por sus siglas en inglés).
- La gran cantidad de variables a monitorear y la calidad de la información que se necesita obtener sugiere la utilización de dispositivos de instrumentación de alto desempeño, superiores en calidad y número a los empleados en una planta de destilación convencional.

La plataforma de instrumentación con la que se dispone es LabVIEW³- Real Time que permite el procesamiento dedicado gracias a su RTOS, con las adicionales facilidades de sus características: programación gráfica y sencilla creación de interfazs amigables.

La peculiaridad del sistema involucra tanto al software como al hardware y radica en el empleo de una computadora dedicada que se vale de módulos distribuidos de lectura de variables de proceso, esto mediante el uso de equipo del fabricante National Instruments (NI).

2.2. ARQUITECTURA GENERAL

2.2.1. ARQUITECTURA DE SOFTWARE

La robustez en software del sistema se basa en la confiabilidad y capacidad. La confiabilidad se debe al empleo del sistema operativo de tiempo real con la capacidad que permite un procesador dedicado. Esta configuración cumple con las exigencias del sistema de medición y control que habrá de implementarse para la torre de destilación, esto es:

1. Confiabilidad. El sistema operativo dedicado no tiene la complejidad de los sistemas operativos de propósito general, lo que significa que puede operar con menores recursos a la vez que no es afectado por las inestabilidades inherentes a los sistemas operativos complejos.

³ LabVIEW es una marca registrada de National Instruments Corporation.

2. Procesamiento determinístico. El Sistema Operativo de Tiempo Real tiene la capacidad de asignar prioridades a cada programa; así el RTOS garantiza que la adquisición de datos y su procesamiento para efectuar el control consuman recursos del procesador cuando así sea debido, mientras que el almacenamiento y la presentación de la información emplean los ciclos restantes.

2.2.2. GENERALIDADES DE LABVIEW REAL TIME

Al emplear LabVIEW RT se consigue la ejecución de programas de tiempo real en un procesador dedicado independiente de la PC. Cuando un programa se ejecuta, si la PC anfitriona se colapsa, su comunicación con el sistema de RT cesa, mientras que en el hardware dedicado, el programa se sigue ejecutando.

Debido a que los programas de LabVIEW RT se ejecutan bajo un sistema operativo de propósito específico que no cuenta con los mismos recursos que Windows, las aplicaciones embebidas de LabVIEW RT no tienen interfaces de usuario. Estas aplicaciones se crean desde un Sistema de Desarrollo Anfitrión en una PC y posteriormente se descargan al hardware dedicado. De manera inversa, la interfaz de usuario que corresponde a la aplicación embebida, se despliega bajo Windows en el Sistema de Desarrollo Anfitrión, como se esquematiza en la [figura 2.1](#). [4].

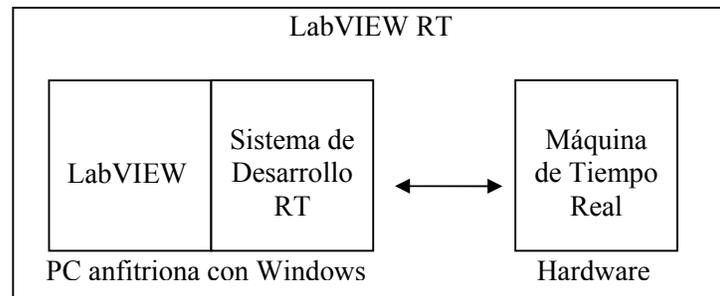


Figura 2.1. Componentes de LabVIEW RT

2.2.3. PLATAFORMA DE HARDWARE

El enfoque que se utilizó en esta aplicación optimiza las capacidades de dos de las plataformas de hardware que NI ofrece para la implementación de sistemas de instrumentación y control en tiempo real. Por una parte, la robustez del sistema PXI⁴-RT (modelo PXI 8176 RT) se aprovecha para cumplir con las premisas de confiabilidad y capacidad, y por la otra, saca partido de la naturaleza simple y modular de la plataforma FieldPoint⁵ (FP).

⁴ PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) libera una plataforma modular de instrumentación diseñada específicamente para aplicaciones de medición y control basada en tecnología de PC. PXI integra la rapidez del bus PCI con habilidades de disparo y temporización, entre otras [8].

⁵ FieldPoint es una marca registrada de National Instruments Corporation.

Dispositivo de RT	Procesador	RAM	Tasa de ciclos PID simple
Compact FieldPoint (cFP-2000)	Intel x86	32 MB	200 Hz
PXI 8170 RT	Pentium III 850 kHz	256 MB	35 kHz
PXI 8176 RT	Pentium III 1.26 MHz	128 MB	38 kHz

Tabla 2.1. Características de los dispositivos de RT [5].

La configuración elegida es innovadora y se clasifica así por el personal de NI y también por mi experiencia (hasta el momento no he encontrado alguna referencia a una aplicación similar en la página Web o en las publicaciones de NI). La peculiaridad radica en la conjunción de las plataformas de PXI RT como computadora dedicada y de los módulos FP como unidades distribuidas de sensado y acondicionamiento de señales.

Con dicha configuración se logra obtener características muy importantes:

- El empleo del Sistema Operativo de Tiempo Real determina que el sistema sea altamente confiable, requisito indispensable debido a que la columna procesará naftas.
- La conexión a un puerto RS-485 de 25 bancos de hasta 9 módulos cada uno, esto es, 225 módulos, donde cada módulo puede ser de 8 o 16 canales de entrada (hasta 3600 I/O por puerto). Esto determina una muy alta densidad de entradas en un solo puerto de comunicación RS-485.
- En el caso de los módulos de lectura de termopares se elimina la necesidad de la etapa de acondicionamiento de señal y también se prescinde del proceso de linealización.
- El orden del cableado al controlador PXI se mejora pues en lugar de llegar un par de alambres para cada señal de entrada, se utiliza el cable del bus RS-485 (4 hilos) el cual transmite la información de todos los termopares e instrumentos analógicos conectados a los módulos FieldPoint.
- Capacidad de ampliación sencilla y a bajo costo para contemplar la información de más puntos de medición.

2.3. CONFIGURACIÓN GENERAL PROPUESTA

Una vez satisfechos los requerimientos del sistema de control y adquisición de datos para la torre, este estará estructurado de la manera que a continuación se describe (en el Apéndice C se describen a detalle las características del hardware empleado).

Una computadora PXI se encuentra en el cuarto de control a 20 m de las instalaciones de la torre, ahí mismo se encuentra la PC anfitriona que sirve de interfaz de usuario y de sistema de desarrollo. Una sala adjunta constituye la sala de control de cargas donde se encuentran los variadores de velocidad para las bombas. En las instalaciones se encuentran montados termopares, medidores de flujo, medidores de nivel y medidores de presión (absoluta y diferencial), con sus respectivos transmisores. En la [figura 2.2](#) se muestra el arreglo general del sistema.

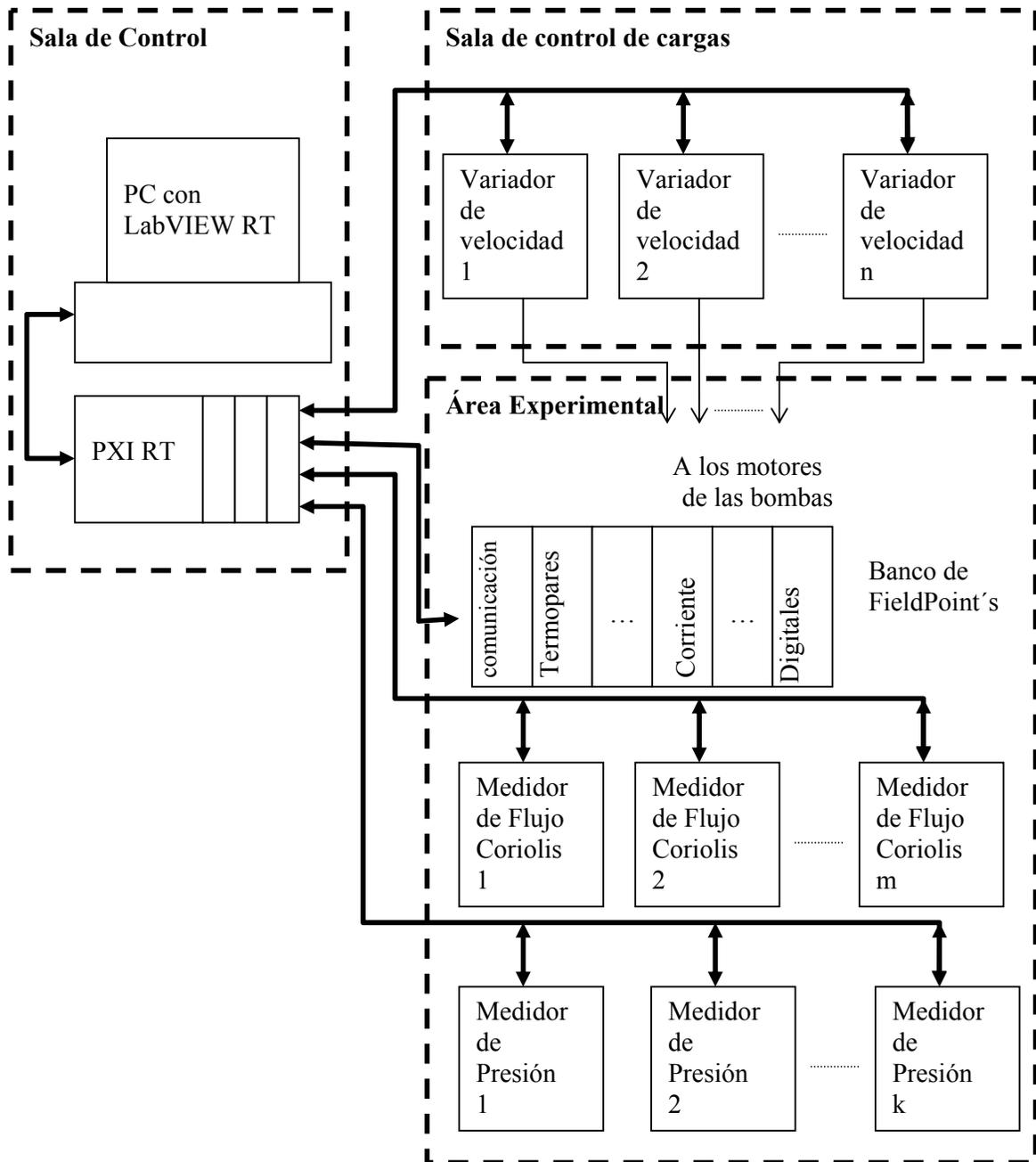


Figura 2.2. Estructura general de la instrumentación del sistema de control y adquisición de datos

2.3.1. ARREGLO DEL HARDWARE PXI

El chasis PXI alberga una tarjeta PXI-8176 con el controlador de Tiempo Real (RT por sus siglas en Inglés), una tarjeta PXI-8421 con 4 puertos de comunicación RS-485 y una tarjeta PXI-2503 de matriz de conmutación de relevadores. El chasis y las tarjetas PXI se muestran en la [figura 2.3](#).



Figura 2.3. Controlador y Tarjetas de expansión PXI.

El sistema estará gobernado por el controlador PXI-8176. En éste se ejecutarán los algoritmos de control y las rutinas de comunicación con los instrumentos de campo y con la PC anfitriona.

La tarjeta de comunicación PXI-8421 es la interfaz entre los instrumentos de campo y el controlador. Inicialmente esta tarjeta sólo se emplearía para dos tipos de equipos. Un puerto para conectar hacia un banco de módulos FieldPoint. El otro canal de comunicación se emplearía como medio de interfaz del controlador hacia los variadores de velocidad; sin embargo, después de revisar detalladamente los manuales de los transmisores de presión y de flujo, se determinó que además de transmitir una señal analógica de 4 a 20 mA, pueden transmitir información digitalmente bajo distintos sistemas de comunicación industrial (estándares que definen algún sistema de comunicación y un código de línea bajo un protocolo), particularmente en HART y MODBUS, siendo éste último el código que emplean los variadores de velocidad. Teniendo en cuenta que la transmisión digital permite la funcionalidad de los instrumentos en red, con lo que se ahorran puntos de entrada analógica, y considerando otras ventajas como las capacidades de recibir información sobre el estado de los instrumentos, de realizar lecturas de múltiples variables, de efectuar ajustes remotos de rangos y ceros, etc., se optó por utilizar otros dos puertos de la tarjeta de comunicación RS-485, uno para un arreglo multipunto (“daisy chain”) de los flujómetros y el otro puerto para un arreglo del mismo tipo de los transmisores digitales de presión.

La tarjeta PXI-2503 de matriz de conmutación de relevadores se empleará para controlar solenoides que activarán actuadores neumáticos para la toma de muestras simultáneas del producto en distintos niveles de la columna.

2.3.2. EQUIPO DE INSTRUMENTACIÓN

El banco de módulos FieldPoint se muestra en la [figura 2.4](#). Está constituido por un módulo de comunicaciones RS-485, dos de entrada de corriente para las lecturas de señales analógicas de presión y nivel; uno de entradas discretas para sensar el estado de interruptores, y varios de lectura de termopares. Este banco se instalará en una caja metálica a prueba de explosión a fin de cumplir con las normas de instrumentación en áreas de riesgo.



Figura 2.4. Banco de módulos FieldPoint

Para la medición de flujo se emplearán medidores de efecto coriolis. Es un dispositivo que contiene un procesador embebido que se encarga de procesar las señales de deformación que se produce al pasar fluido a través de los brazos de la “U” que constituye el cuerpo del flujómetro, tal como se observa en la [figura 2.5](#); también efectúa rutinas de comunicación. Este tipo de instrumento se caracteriza por su alta exactitud y precisión, así como por su amplio rango de operación y elevado costo.



Figura.2.5. Medidor de Flujo de efecto Coriolis.

La presión se medirá con elementos sensores de presión tanto absoluta como diferencial con sus respectivos transmisores. Son elementos que operan bajo el principio de diafragma y que transmiten una señal analógica de corriente o bien datos digitales proporcionales a la presión que se ve sometido su elemento sensor. En el [figura 2.6](#) se muestra la apariencia de un transmisor de presión diferencial.



Figura 2.6. Sensor y transmisor de presión.

El nivel se medirá mediante medidores de efecto capacitivo de transmisión analógica de corriente del tipo de la [figura 2.7](#).



Figura 2.7. Sensor y transmisor de nivel.

La medición de temperatura se efectuará mediante termopares tipo K elaborados a partir de un carrete de par de alambres cromel - alumel, lo que permite obtener termopares a bajo costo y de distintas longitudes. Para la formación de la junta se dispone de un soldador de descarga capacitiva especial para dicho propósito. En la [figura 2.8](#) se muestran algunos tipos de termopares tipo K.



Figura 2.8. Termopares tipo K.

2.4. DETALLES DEL SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA

Para el desarrollo del sistema de control integral se iniciará por conseguir establecer la arquitectura elegida de software en la plataforma de hardware descritas con anterioridad para lograr monitorear y registrar la información de temperatura en distintos puntos de la columna de destilación.

Los compuestos con los que se trabajará en el interior de la columna son componentes ligeros y pesados de nafta. En el sistema se trabajará con temperaturas que varían entre la temperatura ambiente y los 300 grados Celsius, esta última es la temperatura a la que se destilan los componentes ligeros de las naftas.

En el DTI del sistema existen 36 puntos de interés de medición de temperatura, distribuidos de la siguiente manera:

Ubicación	rótulo
rehervidor- columna	TI 01
aceite calentamiento - columna	TI 02
domo – plato1	TI 03
plato1 - plato2	TI 04
plato2 - plato3	TI 05
plato3	TI 06 a TI 21
plato3 - plato4	TI 22
plato4 - plato5	TI 23
base columna	TI 24
domo - condensador reflujo	TI 25
condensador reflujo A (agua)	TI 26
condensador reflujo A (producto)	TI 27
condensador reflujo B (agua)	TI 28
condensador reflujo B (producto)	TI 29
condensador reflujo C (agua)	TI 30
condensador reflujo C (producto)	TI 31
agua enfriamiento - columna	TI 32
acumulador reflujo	TI 33
tanque almacenamiento	TI 35
Enfriador de aceite	TIC 36

El sistema debe ser capaz de monitorear cualquiera de estos puntos; el mayor interés está definido por los 16 termopares distribuidos en el plato 3 que constituye la sección de prueba, tal como se muestra en la [figura 2.9](#). Considerando esto, se ha contemplado el uso simultáneo de dos módulos FP-TC-120 (8 canales cada uno) en el desarrollo de la aplicación.



Figura 2.9. Sección de prueba con termopares instalados.

3. DISEÑO DEL SISTEMA DEDICADO

3.1. CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR PXI

3.1.1. PARAMETROS DE CONFIGURACIÓN DESDE LA PC ANFITRIONA

El sistema PXI es un estándar que define características de computadoras para entornos industriales optimizadas para aplicaciones de instrumentación y control. En función del sistema operativo del que se valga, estas máquinas PXI pueden trabajar en dos modos: como PC, o bien, como un sistema de Tiempo Real (RT).

En el modo PC, el PXI tiene cargado un sistema operativo de propósito general (típicamente Windows) y se comporta igual a una computadora de escritorio, con las características mejoradas de sus capacidades de temporización y disparo, además de que puede soportar altos niveles de vibración y su rango de temperatura de operación es extendido (condiciones necesarias para su operación en un entorno industrial).

En el modo RT el PXI tiene cargado un Sistema Operativo de Tiempo Real. El procesador ejecuta solo aplicaciones de LabVIEW RT, dejando sin efecto aplicaciones convencionales de la PC como interfaz de monitor, teclado, ratón, bocinas, etc.

Es el modo RT de PXI que se empleó lo que determina las características de Tiempo Real del sistema desarrollado.

El controlador PXI RT se comporta como una unidad en red, se accede a ella mediante Ethernet y es posible transferir archivos mediante protocolos como FTP. A la máquina PXI se le asigna para este fin una dirección IP que la identifica como a otros elementos de una red de computadoras. El controlador PXI presenta parámetros de acceso y seguridad.

3.2. ASIGNACIÓN DE NIVELES DE PRIORIDAD DEL RTOS

Lo primero que se requiere considerar cuando se implementa un sistema con LabVIEW Real-Time es si se necesita o no determinismo. Si la aplicación sólo necesita las cualidades de Sistema Embebido que posee LabVIEW RT, incluyendo la fiabilidad, la habilidad de procesamiento dedicado, y la ejecución autónoma, no es necesario emplear técnicas especiales de programación. Si de cualquier manera, es necesario que la aplicación se desempeñe en tiempo real y se requiere asegurar su ejecución determinística, la aplicación debe garantizar una respuesta a eventos externos en un tiempo dado o encajar con lineamientos cíclicos y predecibles.

Con LabVIEW RT es posible jerarquizar tareas codificadas en programas en uno de cinco niveles de prioridad. La más alta prioridad es de Tiempo Crítico. Si una tarea tiene asignado un nivel de prioridad de Tiempo Crítico, esa tarea se realiza determinísticamente, es decir, el tiempo del procesador será acaparado para la ejecución del programa que

contiene dicha tarea. Algún otro programa que intente ejecutarse concurrentemente, sólo podrá utilizar los recursos del procesador cuando el programa con la más alta prioridad suspenda su ejecución (ya sea que llegue al fin del programa, o que este ceda deliberadamente tiempo del procesador, es decir que opere en modo “sleep”). LabVIEW RT no puede garantizar el tiempo de ejecución del procesador del sistema para tareas con otro nivel de prioridad [6].

En esta tesis no se contempla la implementación de tareas de tiempo crítico debido a que los alcances del trabajo no incluyen el sistema de control, sino solamente el sistema de monitoreo y registro de datos. Aunque las tareas de medición también podrían codificarse en un sistema determinístico, el programar bajo un esquema de tiempo real resultaría poco ventajoso. Esta aseveración se justifica con base en dos aspectos de sistema al cual se dirige la aplicación; uno tiene que ver con la naturaleza del proceso físico con el que se trabaja, y el otro se relaciona con las características de la configuración del sistema de medición empleado. El fenómeno físico particular que se va a monitorear es el comportamiento de la variable temperatura, el cual se caracteriza por presentar una lenta dinámica en comparación con otros tipos de sistemas físicos, y cuya señal esta contenida en un reducido ancho de banda y por lo tanto no se requiere una respuesta extremadamente rápida del sistema de monitoreo. Por otra parte, recordemos que la medición de la temperatura estará a cargo de módulos distribuidos FieldPoint de lectura de termopares, los cuales se comunican (a través de un módulo de comunicaciones) al controlador PXI empleando comunicación serial RS-485, la cual por su naturaleza asíncrona impide contemplar la medición vía un proceso determinístico.

Por lo anterior, se ha decidido que las tres tareas básicas que requiere la aplicación (medición, comunicación y almacenamiento) revistan el mismo nivel de prioridad y compartan entonces el tiempo ejecución del procesador en el controlador PXI. De esta manera, se aprovechan las características de sistema embebido ya mencionadas y se deja abierta la posibilidad de abordar en etapas posteriores del desarrollo (externo a este trabajo y por parte del IMP) la implementación determinística de tareas.

3.3. COMUNICACIÓN DEL CONTROLADOR A LOS MÓDULOS FIELDPOINT

3.3.1. ESTÁNDAR RS-485 E IMPLEMENTACIÓN DEL MODO DE TRANSMISIÓN FULL DUPLEX

Los módulos FP-TC-120 reciben las señales de los termopares, y para su transmisión al PXI se valen del módulo de comunicaciones FP-1001, que emplea el estándar RS-485. Este módulo puede transmitir en modo full duplex (4 hilos) o bien, half duplex (dos hilos). La topología multipunto de la red RS-485 en esas dos configuraciones se protege en el caso de fallas de energía en bancos FP individuales.

Para el sistema dedicado de monitoreo, se eligió la configuración de comunicación bidireccional simultánea (full duplex), para ello se requiere el empleo de cuatro hilos (Rx+, Rx-, Tx+ y Tx-). A fin de acoplar las impedancias y evitar reflexiones e interferencias en la red que conforman los módulos FP y el PXI se colocan resistencias de terminación en cada

extremo del bus. Estas resistencias se conectan entre las terminales Rx+ y Rx- y entre Tx+ y Tx-. Por especificaciones del fabricante el valor de las resistencias de terminación debe ser de 120Ω [6].

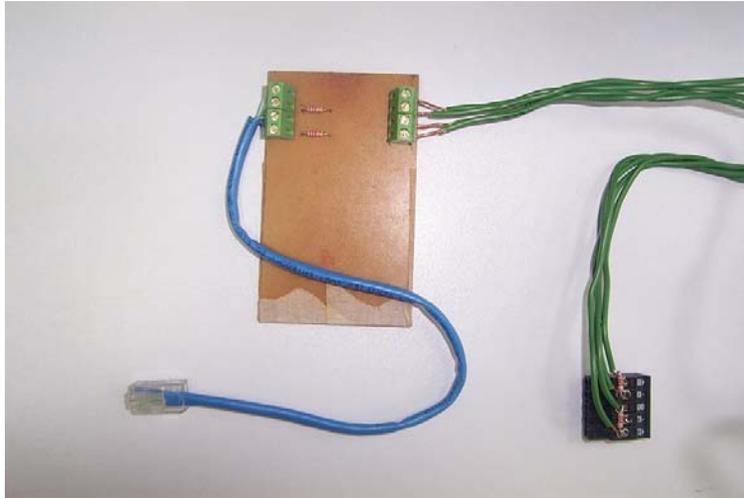


Figura 3.1 Alambrado del bus RS-485

3.3.2. SOFTWARE DE COMUNICACIÓN PXI - FIELDPOINT

National Instruments provee software que consiste en manejadores (*drivers*) y servidores para comunicarse con los dispositivos FieldPoint. Estos servidores y drivers son programas ejecutables que se añaden en forma similar a un conjunto de herramientas (*toolkit*) al paquete de software de la aplicación respectiva.

También es posible comunicarse con un sistema FieldPoint usando un servidor compatible Optomux, o bien, directamente enviando y recibiendo caracteres ASCII hacia y desde el puerto serial. Los casos en que se requiere el empleo de esta alternativa, en menoscabo de otras opciones de software son:

- Cuando se intenta comunicar dispositivos FieldPoint con una computadora con un Sistema Operativo distinto de Windows.
- Cuando se quiere comunicar a un FieldPoint con un dispositivo como un PLC; para integrar al FP a un sistema basado en Optomux.
- Cuando se utiliza un entorno de software que no soporta la interfaz OPC⁶.

En la aplicación a la que se enfoca este trabajo, el sistema operativo empleado no es Windows sino el RTOS de LabVIEW Real-Time discutido en la sección 3.2. Entonces, ninguna de las opciones de software para configuración o comunicación disponibles es aplicable al sistema dedicado; debido a ello la aplicación se desarrolló con base en el protocolo Optomux.

⁶ OPC (Object Linking and Embedding for Process Control) es una interfaz de estándar industrial que usa el Component Object Model (COM) de Microsoft para comunicar distintos equipos electrónicos industriales empleando una PC como servidor.

Es pertinente aclarar que aunque existen VI⁷'s para comunicación entre LabVIEW y los dispositivos FieldPoint, estos están diseñados para trabajar en la plataforma de LabVIEW para Windows y no en LabVIEW Real-Time, que es la plataforma que se emplea en el sistema dedicado de monitoreo de temperatura.

3.3.3. PROTOCOLO OPTOMUX

El protocolo Optomux es el código de línea industrial que emplea el módulo FP-1001 de comunicaciones para recibir comandos y enviar datos seriales.

El protocolo y la sintaxis para los comandos del FieldPoint utilizan caracteres ASCII en su representación numérica hexadecimal (ASCII-hex). Los comandos pueden ser de dos tipos: estándares y extendidos. El conjunto de instrucciones estándar es un subconjunto de los comandos Optomux que provee National Instruments para compatibilidad con servidores o software de terceros. El conjunto extendido de instrucciones FieldPoint es mas completo, y NI recomienda su uso preferentemente.

Campos de los comandos

Todos los comandos FieldPoint tienen la sintaxis descrita aquí y contiene los cinco campos siguientes:

[inicio] [dirección] [comando] [checksum] [fin]

[inicio] Todos los comandos inician con el carácter '>' (valor ASCII 0x3E⁸)

[dirección] Son dos caracteres ASCII-hex que definen la dirección del módulo que será afectado por el comando. Este campo puede estar entre 0x00 y 0xF9 para redes construidas con los módulos de red FP-1000 ó FP-1001.

[comando] Es el cuerpo del comando. Se compone de 4 subcampos, algunos de los cuales pueden no ser necesarios para todos los comandos. Los cuatro subcampos son los siguientes:

[caracteresdecomando] Es uno o dos caracteres ASCII-hex. Los comandos estándar tienen un solo carácter de comando; los comandos extendidos tienen dos caracteres, el primero de los cuales es '!' (valor ASCII 0x21).

[posiciones] De cero a cuatro caracteres ASCII-hex. Especifica los canales del módulo que serán afectados por el comando. Este campo es una máscara donde cada bit representa un canal, por ello puede tener hasta 4 caracteres hexadecimales, es decir, 16 bits. El bit 15 representa el canal 15, y el bit 0 representa al canal 0.

⁷ VI. (Virtual Instrument) Programa codificado en LabVIEW.

⁸ Para designar números en base hexadecimal se emplea la representación de lenguaje C.

- [modificador] Cero o más caracteres ASCII-hex que determinan una elección para los módulos que soportan múltiples opciones de ejecución.
- [datos] Cero o más caracteres ASCII-hex. Este campo contiene caracteres específicos de comando.
- [checksum] Son dos caracteres ASCII-hex. Este campo permite la detección de errores. Es calculado sumando los valores numéricos de todos los caracteres en los campos de [dirección] y [comando] determinando el módulo 256 de la suma. El módulo (residuo) de la división es convertido a dos caracteres ASCII-hex. Si no se requiere la detección de errores, el contenido del campo se puede sustituir por dos signos de interrogación “??”.
- [fin] Un carácter ASCII-hex. Indica el fin del comando. Puede ser, ya sea un carácter de Retorno de Carro (valor ASCII 0x0D), o un punto ‘.’ (valor ASCII 0x2E) [7].

La respuesta a un comando FieldPoint puede ser de éxito o bien indicar un error.

La respuesta de éxito puede tomar una de dos formas:

- **A [retorno de carro]** Es la respuesta a un comando que se ejecutó con éxito. Con este tipo de respuesta no se envía el campo de **[checksum]**.
- **A [responsedata] [checksum] [retorno de carro]** Esta respuesta se genera cuando el comando solicita algún tipo de información del módulo.

La respuesta de error a un comando FieldPoint tiene la siguiente forma:

N [error number] [retorno de carro]

El campo **[error number]** consiste de dos caracteres ASCII-hex. La lista de errores se puede consultar en los manuales del FP 1001 [7].

A fin de atender las recomendaciones de NI, en los programas se manejará, hasta donde sea posible, el conjunto extendido de comandos FieldPoint.

Tipo de Comando y Nombre	Sintaxis del Comando	Respuesta de Éxito
Comandos Utilitarios		
Read Module ID	!A	A [modID]
Read All Module IDs	!B	A [number] [modarray]
HotSwap Reporting Mode	!b [flag]	A
Resend Last Response	!c	A
Read Firmware Revision	!e	
Read Module Status	!N	A [mod_status]
Read Channel Status	!O [positions]	A [chnl_status]
Read Bank Status	!P	A [bankl_status]
Reset Module	!Z	A
Execute Channel Command	!n [positions] {[command type] [command] pairs}	A
Comandos de Configuración		
Set Attributes	!D [positions] {[attrMask] [rangeMask] [settings] triplets}	A
Get Attributes	!E [positions] {[attrMask] [rangeMask] pairs}	A {[settingsa] array}
Comandos Discretos		
Read Discrete	!J	A [data]
Read Discrete with Status	!K	A [status] [data]
Write Discrete	!L [positions] [data]	A
Write Discrete with Status	!M [positions] [data]	A [status]
Comandos Análogos		
Read 16-bit Data	!F [positions]	A [data]
Read 16-bit Data with Status	!G [positions]	A [status] [data]
Write 16-bit Data	!H [positions]	A [positions] [data]
Write 16-bit Data with Status	!I [positions] [data]	A [status]

Figura 3.2. Conjunto extendido de comandos FP [7].

3.3.4. COMANDOS DE CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO FP-TC120

Cuando los módulos FP de entrada/salida se reciben del fabricante, no están configurados. Para poder emplearlos es necesario valerse de los comandos FieldPoint de configuración.

En el caso del módulo FP- TC-120 de lectura de termopares, la configuración define el atributo de tipo de termopar a emplear, así como el rango de temperatura de entrada, esto para cada uno de los 8 canales del módulo.

Los comandos FieldPoint de configuración empleados son: Set Attributes (!D) y Store Attributes (!f). A continuación se hace la descripción detallada de cada uno de ellos.

Set Attributes (!D). Establece los atributos especificados y rango para cada canal especificado del módulo direccionado.

Sintaxis:

!D [positions] {[attrMask] [rangeMask] [settings]}

De acuerdo con lo indicado anteriormente, los cuatro subcampos de este comando son:

[caracteresdecomando]	!D
[posiciones]	[positions]
[modificador]	[attrMask] [rangeMask]
[datos]	[settings]

[positions] Un '1' en cualquier bit significa que los atributos y/o rango del canal correspondiente serán establecidos.

{[attrMask] [rangeMask] [settings]} Por cada bit en '1' del campo [positions], debe haber una tripleta con estos tres campos. La primera de esas tripletas corresponde al bit en '1' más significativo del campo [positions].

[attrMask] Cuatro caracteres ASCII-hex. Este campo es una máscara de 16 bits. El bit más significativo corresponde al atributo 15 y el bit menos significativo corresponde al atributo cero. Un '1' en cualquier bit significa que el atributo correspondiente será asentado. Por cada '1' en este campo, debe haber un dato en el campo [settings].

[rangeMask] Un carácter ASCII-hex. Si este carácter es '1', el rango del canal respectivo será asentado y deberá suplirse un dato en el campo [settings]. Si es un '0' el rango no es afectado.

[settings] Dos caracteres ASCII-hex por dato. Por cada '1' en el campo [attrMask] debe haber un dato en este campo. Si el campo [rangeMask] es '1' un dato adicional debe ser incluido. Cada dato es un byte identificador de atributos representado por dos caracteres ASCII-hex.

El primer dato en [settings] corresponde al primer '1' en el campo [attrMask]. Si un dato de rango es incluido, es el último dato en éste campo.

Respuesta de éxito:

A

Respuesta de error:

- E_INVALID_CMD** Comando no definido.
- E-INSUFF_CHARS** Número incorrecto o insuficiente de caracteres recibidos.
- E_ILLEGAL_DIGIT** Uno o mas caracteres del comando no se han podido convertir a un dígito (decimal o hexadecimal).
- E_INV_CHNEL** Uno o más canales direccionados por el comando no existe o no soporta la operación solicitada.
- E_INV_ATTR** Uno o más atributos especificados por el comando no existe o no soporta la asignación especificada.
- E_INV_RANGE** Uno o más rangos especificados por el comando no existe o no soporta la asignación especificada.
- E_NO_MODULE** El módulo direccionado no existe.

Ejemplo.

>33!D0001000112244??[retorno de carro]

Dirección: 33 (51 decimal)
Posiciones: 0001 (canal 01)
Máscara de atributos: 0001 (depende del modulo direccionado)
Máscara de rangos: 1 (se va a establecer el rango)
Atributos especificados: 22 (depende del modulo direccionado)
Rangos especificados; 44 (depende del modulo direccionado)

Store Attributes (!f). Almacena en la memoria EEPROM del módulo FP los atributos y rango especificados para cada canal especificado del módulo direccionado.

Sintaxis:

!f [positions] {[attrMask] [rangeMask] [settings]}

Los subcampos de este comando se emplean igual que los del comando Store Attributes.

Las respuestas del módulo a este comando son análogas a las del comando Store Attributes.

Las siguientes tablas enlistan los datos válidos para establecer los atributos y rangos.

Nombre de Módulo	Nombre de Atributo	Entrada en [attrMask]	Atributos	Valor [settings]
FP-TC-120 (Canales de Entrada)	Tipo de termopar	0001	Filtro de 60 Hz Filtro de 50 Hz Filtro de 500 Hz	00 01 02
FP-TC-120 (Canal de Unión Fría)	Temperatura de compensación de Unión Fría	0001	Sensor Interno 0 °C 25°C	00 01 02

Figura 3.3. Atributo de Tipo de Termopar [4].

Nombre de Módulo	Rango	Valor en [settings]
FP-TC-120 (Canales de Entrada)	± 50 mV ± 25 mV -20, +80 mV ± 100 mV 0, 2048 K -270, +1770 °C -454, +3218 °F	0A 0B 0C 0D 20 21 22
FP-TC-120 (Canal de Unión Fría)	223, 358 K -50, +85 °C -58, +185 °F	23 24 25

Figura 3.4. Rangos de temperatura del módulo FP TC-120 [7].

3.3.5. COMANDOS DE LECTURA DEL MÓDULO FP-TC120

El módulo FP-TC120 entrega un arreglo de 8 números de 16 bits resultado de la amplificación, filtrado, linealización y conversión A/D intrínseca de sus 8 canales de entrada de termopar. Adicionalmente es posible leer los parámetros de configuración de los canales y el estado que guardan.

Esas lecturas se obtienen mediante el comando de lectura de datos de 16 bits que se emplea también para lectura de cualquier otro módulo de entradas analógicas. Ahora se describe el comando Read 16-bit Data with Status.

Read 16-bit Data with Status (!G). Lee datos de los canales de entrada y/o salida del módulo direccionado. Adicionalmente reporta el estado de los canales

Sintaxis:

!G [positions]

[positions] Un '1' en cualquier bit significa que el canal correspondiente será leído.

Respuesta de éxito:

A[status][data]

[status] Cuatro caracteres ASCII-hex, especificando el estado de los canales. El bit más significativo representa al canal 15 y el menos significativo representa al canal 0. Un '1' en cualquier bit significa que existe algún error. Un '0' indica que el canal está funcionando correctamente.

[data] Cuatro caracteres ASCII-hex por cada canal especificado. El primer valor (cuatro caracteres) corresponde al '1' más significativo en el campo [positions]. Cada conjunto de cuatro caracteres representa un número no signado de 16 bits.

Respuesta de error:

E_INVALID_CMD	Comando no definido.
E_INSUFF_CHARS	Número incorrecto o insuficiente de caracteres recibidos.
E_ILLEGAL_DIGIT	Uno o más caracteres del comando no se han podido convertir a un dígito (decimal o hexadecimal).
E_INV_CHNEL	Uno o más canales direccionados por el comando no existe o no soporta la operación solicitada.
E_NO_MODULE	El módulo direccionado no existe.

Ejemplo.

>**33!G000C??**[retorno de carro]

Dirección: 33 (51 decimal)
Posiciones: 000C (canales 2 y 3 '0000 0000 0000 1100')

A00030455F001 [checksum][retorno de carro]

Estado: 0003 (canales 0 y 1 en estado de error '0000 0000 0011')
Datos: 0455F001 (lecturas 0x0455 en canal 3 y 0xF001 en canal 2).

Get Attributes (!E). Lee los atributos especificados establecidos en los canales.

Sintaxis:

!E [positions] {[attrMask] [rangeMask]}

[positions] Un '1' en cualquier bit significa que los atributos y/o rango del canal correspondiente serán leídos.

{[attrMask] [rangeMask]} Por cada bit en '1' del campo [positions], debe haber un par con estos dos campos. El primero de esos pares corresponde al bit en '1' más significativo del campo [positions].

[attrMask] Cuatro caracteres ASCII-hex. Este campo es una máscara de 16 bits. El bit más significativo corresponde al atributo 15 y el bit menos significativo corresponde al atributo cero. Un '1' en cualquier bit significa que el atributo correspondiente será leído.

[rangeMask] Un carácter ASCII-hex. Si este carácter es '1', el rango del canal respectivo será leído.

Respuesta de éxito:

A{[settings]}

{[settings]} Es un arreglo por cada bit en '1' del campo [positions]. El primer arreglo corresponde al '1' más significativo del campo [positions].

[settings] Dos caracteres ASCII-hex por dato. Por cada bit en '1' del campo [attrMask] hay un dato en este campo de respuesta. Si el campo [rangeMask] es '1' hay un dato adicional para reportar el rango. El primer dato en [settings] corresponde al primer (más significativo) '1' en el campo [attrMask].

Respuesta de error:

E_INVALID_CMD Comando no definido.
E_INSUFF_CHARS Número incorrecto o insuficiente de caracteres recibidos.
E_ILLEGAL_DIGIT Uno o más caracteres del comando no se han podido convertir a un dígito (decimal o hexadecimal).
E_INV_CHNEL Uno o más canales direccionados por el comando no existe o no soporta la operación solicitada.

E_INV_ATTR Uno o más atributos especificados por el comando no existe o no soporta la asignación especificada.

E_INV_RANGE Uno o más rangos especificados por el comando no existe o no soporta la asignación especificada.

E_NO_MODULE El módulo direccionado no existe.

Ejemplo.

>01!E00110000100001??[retorno de carro]

Dirección:	01 (01 decimal)
Posiciones:	0011 (canales 4 y 0 ‘0000 0000 0001 0001’)
Máscara de atributos:	0000 (no se van a leer los atributos del canal 4)
Máscara de rangos:	1 (se va a leer el rango del canal 4)
Máscara de atributos:	0000 (no se van a leer los atributos del canal 0)
Máscara de rangos:	1 (se va a leer el rango del canal 0)

A4411[checksum][retorno de carro]

Datos:	44 (canal 4 con rango 0x44)
Datos:	11 (canal 0 con rango 0x11)

3.4. TRANSMISIÓN DE DATOS DE MEDICIONES ENTRE EL CONTROLADOR PXI Y LA PC

El protocolo de transmisión de datos DataSocket⁹ es una aplicación para intercomunicación de software de NI que está basado en TCP/IP. Un servidor en una máquina anfitriona almacena datos y los VI's pueden escribir o leer esa información, ya sea en la misma máquina o en un equipo remoto. De esta manera es posible compartir datos entre plataformas distintas que soportan software de NI. En este caso, el servidor DataSocket permite actualizar el despliegue de lecturas de los módulos FP-TC-120 en la interfaz de usuario en la PC que son obtenidas por el programa que realiza la lectura de los termopares en el PXI. También sirve de medio de transmisión de parámetros variables que el resto de programas en el PXI emplean como entradas y que se generan a partir de las decisiones del usuario que interactúa en el entorno de Windows.

3.4.1. GENERALIDADES DEL PROTOCOLO DATASOCKET

DataSocket Transfer Protocol (dstp) es un mecanismo útil para monitorear los valores cambiantes de mediciones que están distribuidas a través de una red de Internet hacia y desde un servidor dstp. Los clientes que proveen datos de mediciones al servidor son referenciados como publicadores (*publishers* o *writers*) y los clientes que toman los datos son identificados como suscriptores (*suscribers* o *readers*).

⁹ DataSocket es una tecnología propiedad de National Instrumens Corporation.

Un sistema participando de transferencia de datos mediante dstp usualmente consiste de tres componentes: el servidor (DataSocket server), un publicador y suscriptores. El publicador adquiere datos y los envía al servidor. El servidor puede estar en la misma máquina donde esta el publicador o puede ser otra maquina en Internet. Los suscriptores que tienen interés en los datos publicados pueden suscribirse para recibirlos del servidor. La [figura 3.5](#) esquemaliza el modelo de transferencia de datos de dstp.

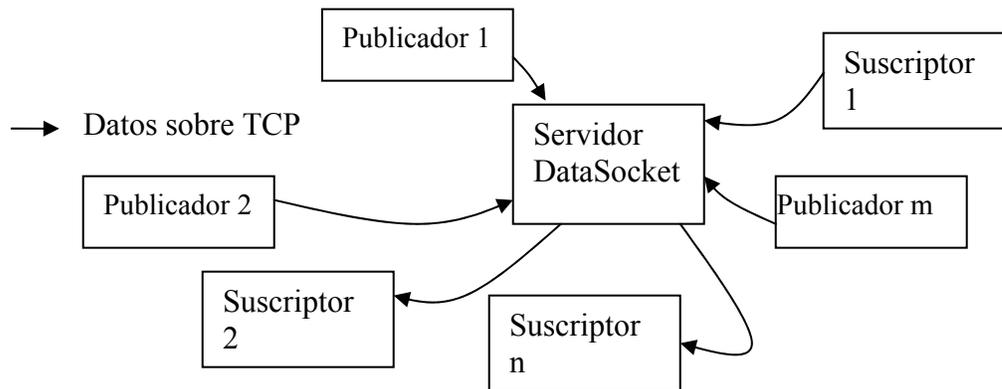


Figura 3.5. Componentes del protocolo DataSocket.

Por defecto, dstp transfiere el valor más reciente en el servidor a los suscriptores, es decir, los suscriptores no tienen asegurado el recibir todos los datos publicados, sino sólo el último publicado por el servidor.

Típicamente los usuarios interactúan con el dstp sólo mediante el DataSocket Application Program Interface (API por sus siglas en inglés) del software de NI. Para establecer una conexión es suficiente indicar el URL (Uniform Resource Locator) del dato en el servidor. Detrás de ello se inician los procesos de (1) establecer la sesión con el servidor enviando un mensaje de solicitud de acceso, (2) si el servidor acepta la conexión, remite al cliente la notificación de admisión, y (3) el cliente dirige una petición de conexión a un URL particular en el servidor.

Para transferir datos al servidor, el cliente envía un mensaje en cuya cabecera solicita al servidor que escriba el dato encapsulado como el nuevo valor. Para solicitar datos del servidor, un cliente manda un mensaje que solicita el valor más reciente del dato. Para terminar la conexión el cliente envía una petición de desconexión [9].

3.5. ESTRUCTURA LÓGICA DE LA APLICACIÓN

3.5.1. COMUNICACIÓN ENTRE PROGRAMAS Y PLATAFORMAS

Un aspecto importante de la aplicación final que efectúa el monitoreo y almacenamiento de datos de temperatura es la comunicación entre programas. Debido a la filosofía modular que se sigue, la ejecución de programas requiere para su correcto funcionamiento información ya sea constante o esporádica que depende de otros programas que se ejecuten previa o simultáneamente. El hecho que significa trabajar en dos

plataformas distintas (Windows y el RTOS) añade cierto grado de complejidad al desarrollo. Se ha contemplado para este fin un sistema de comunicación entre programas y plataformas esquematizado en la [figura 3.6](#).

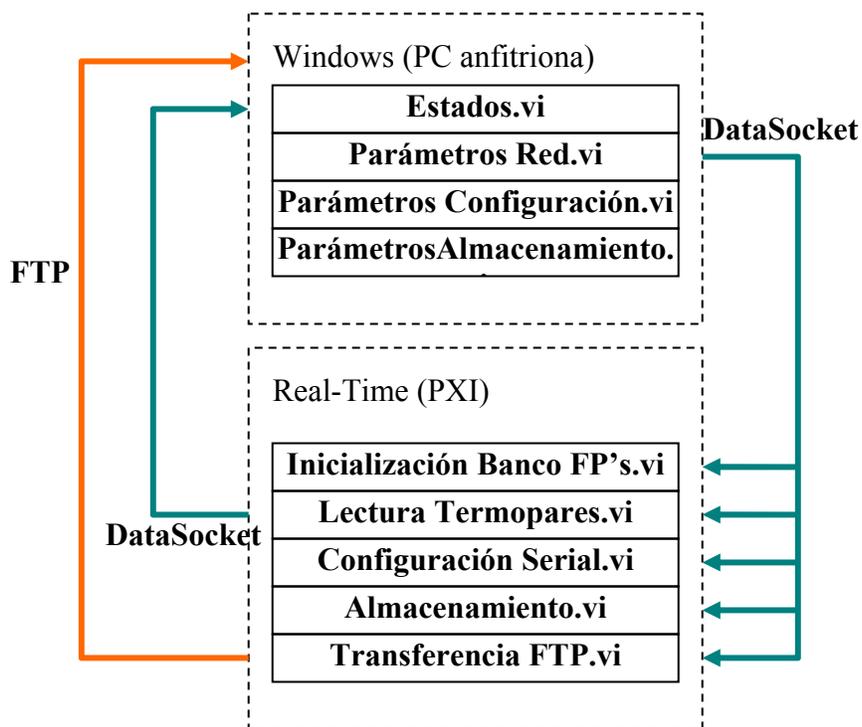


Figura 3.6. Esquema de comunicación entre programas y plataformas.

3.5.2. DIAGRAMA DE FLUJO DE EVENTOS

La aplicación es básicamente un administrador de funcionalidades que ejecuta dinámicamente programas de LabVIEW RT en el PXI en función de los eventos que genere el usuario desde una interfaz de usuario en Windows. El diagrama de flujo de la [figura 3.7](#) muestra la secuencia de eventos que contempla la aplicación. Esencialmente se obtiene del usuario información acerca de la distribución de la red RS-485, se inicializan los bancos FP instalados, y se verifica cíclicamente la petición del usuario. Cuando se solicita por parte del usuario una función (Selección de módulos activos, Configuración de canales, Almacenamiento de datos, Terminar Almacenamiento o Salir) se lanza un programa en Windows que solicita y en algunos casos manipula la información necesaria para la realización de la tarea solicitada, y una vez hecho esto se manda a ejecutar de manera remota el programa de LabVIEW RT que efectúa propiamente la tarea.

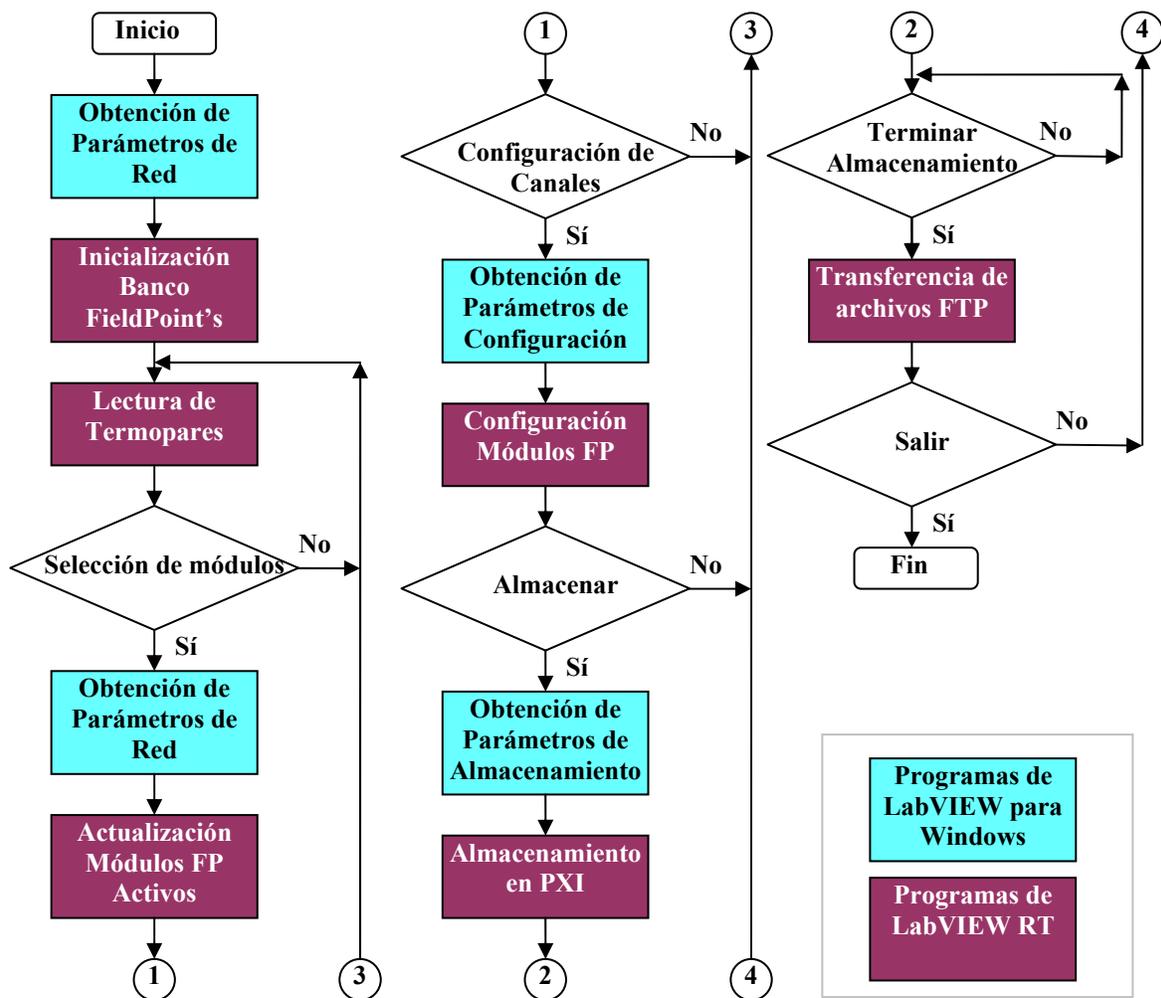


Figura 3.7. Diagrama de flujo de eventos.

3.6. PROGRAMAS DE LABVIEW RT

El núcleo de estos programas es la librería de subVI's¹⁰ de Optomux. Esta librería contiene las funciones que toman parámetros numéricos y cadenas de caracteres y les dan la sintaxis y el formato del protocolo. También se encargan de interpretar las cadenas de respuesta recibidas y darles formato de alto nivel.

3.6.1. CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS FP TC-120

El programa que realiza la configuración debe ser versátil para poder reconfigurar el módulo sin necesidad de modificar el código. Para ello, se emplean controles que permiten seleccionar el tipo de termopar y su rango. Adicionalmente se emplean controles útiles para la depuración del programa que definen el puerto serial donde está conectado el bus RS-

¹⁰ Subprogramas de LabVIEW reducidos a un bloque con entradas y salidas.

485, la dirección del módulo, la tasa de transferencia en Bauds por segundo, y el timeout (tiempo que se espera la respuesta del FP antes de indicar error). Estos detalles del panel frontal se presentan en la [figura 3.8](#).

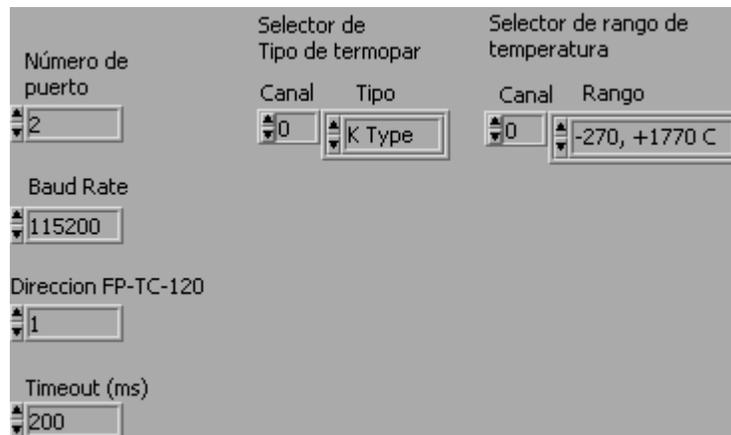


Figura 3.8. Panel frontal del programa de configuración del módulo FP TC_120.

Las funciones principales del programa son: presentar en forma amigable las opciones de configuración, recibir las peticiones de configuración deseada del usuario, ensamblar las cadenas ASCII-hex de los comandos a partir de la información recibida del usuario, y finalmente mandar los comandos a través del puerto serial.

Como puede apreciarse en la [figura 3.9](#) el diagrama de bloques del programa de configuración está basado en el manejo de arreglos y cluster's (arreglos de variables de distintos tipos) para formar los comandos FieldPoint y en los subVI's de manejo de comandos Optomux para escribir y leer cadenas en y desde el puerto serial.

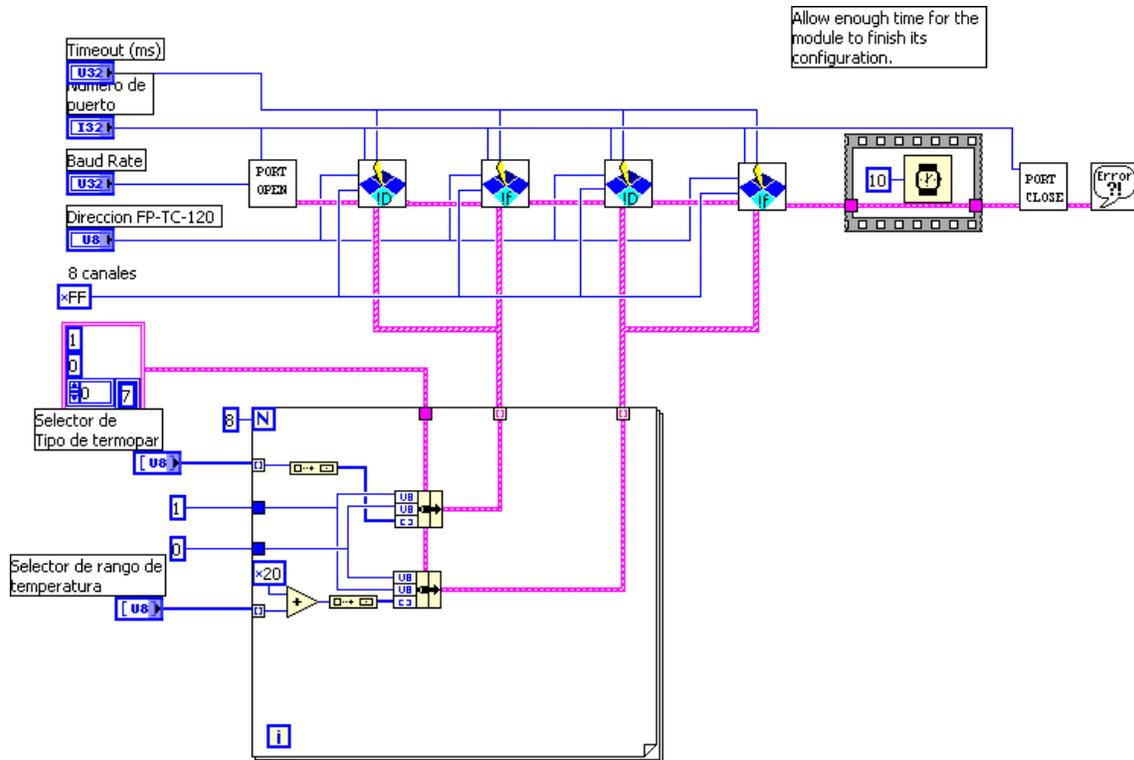


Figura 3.9. Diagrama del programa de configuración del módulo FP TC-120.

3.6.2. LECTURA DE LOS MÓDULOS FP TC-120

Una vez configurados los canales del módulo de termopares, la siguiente operación consiste en poder visualizar las lecturas. El programa de lectura debe indicar cómo está configurado cada canal y presentar su lectura y el estado del canal en el panel frontal, tal como se muestra en la [figura 3.10](#).

Numero de puerto serial	Canal	Tipo	Rango	Estado	Lectura
2	0			Good	0.00
	0			Good	0.00
	0			Good	0.00
	0			Good	0.00
	0			Good	0.00
	0			Good	0.00
	0			Good	0.00
	0			Good	0.00

Figura 3.10. Panel Frontal del programa de lectura de 8 canales del módulo FP-TC120.

Este programa requiere de la información de ubicación del módulo FP-TC120 en la red RS-485 para enviar primero el comando de identificación de configuración y después cíclicamente el comando de lectura de los canales.

El diagrama de bloques del programa que aparece en la [figura 3.11](#) se vale del bloque de lectura de atributos, que entrega a su salida el tipo y el rango de los canales del módulo FP-TC120. Una vez obtenidos los rangos el programa realiza una petición cíclica de lectura de datos de 16 bits mediante el comando respectivo y emplea el rango para escalar linealmente los enteros de 16 bits que transmite el módulo entre los valores mínimo y máximo del rango. La información del tipo de termopar se usa para desplegar la clase de termopar que debe estar conectado en cada canal.

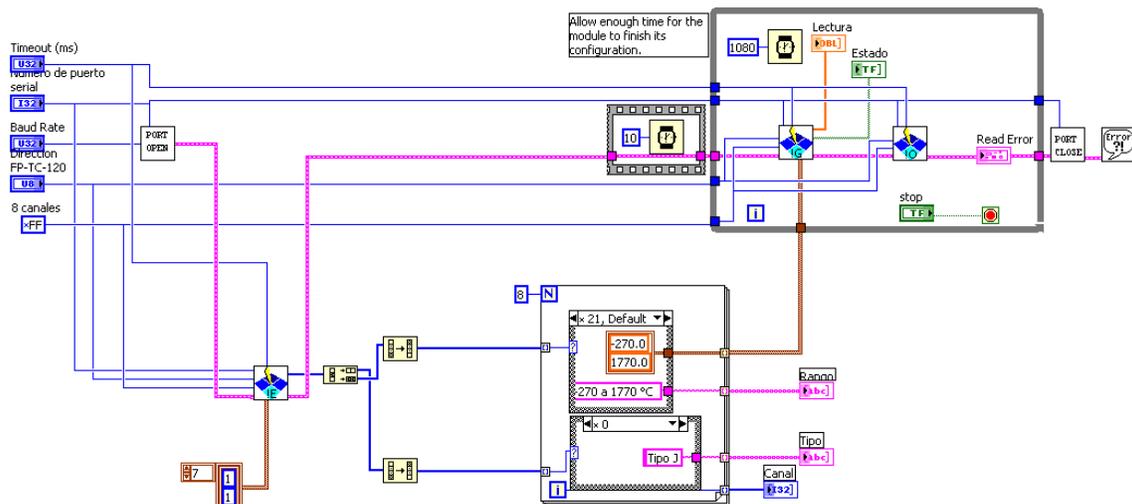


Figura 3.11. Diagrama del programa de Lectura del módulo FP TC-120.

3.6.3. REGISTRO EN DISCO DURO DEL PXI

El registro de los datos de temperatura durante las corridas de prueba de la planta en un archivo permitirá su posterior análisis. El almacenamiento en el disco duro del PXI permite asegurar que no se perderán datos como podría suceder si el almacenamiento se realiza desde el PXI (máquina remota) a la PC anfitriona. El panel frontal del programa que se muestra en la [figura 3.12](#) permite seleccionar el archivo de destino, ajustar la tasa de registro y despliega las lecturas actuales, indicando la fecha y hora del último dato registrado.

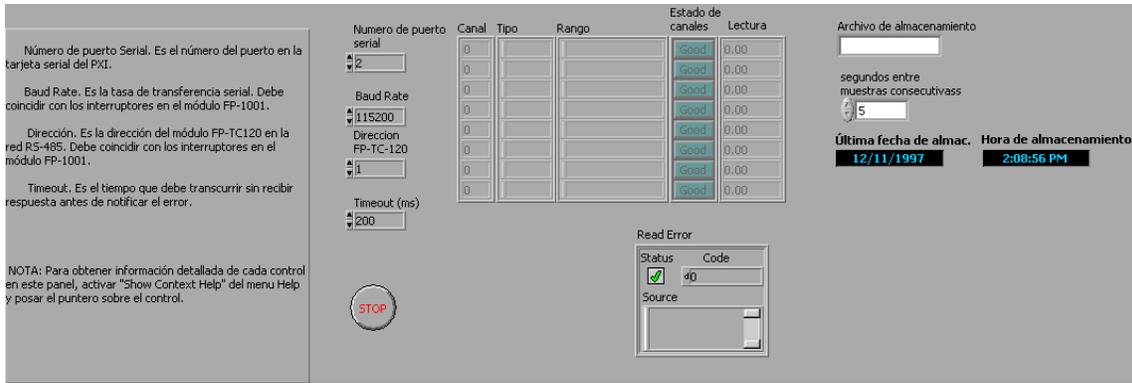


Figura 3.12. Panel Frontal del programa de almacenamiento de datos de 8 canales del módulo FP-TC120.

Este programa requiere de la información de ubicación del módulo FP-TC120 en la red RS-485 para enviar primero el comando de identificación de configuración y después cíclicamente el comando de lectura de los canales, efectuando el registro de los datos. Cuando este programa se detiene se ha elaborado un archivo en formato de hoja de cálculo con el registro de la fecha, la hora y los valores de temperatura de los 8 canales del módulo FP-TC120.

El diagrama de bloques del programa que aparece en la figura 3.13 se vale de los ya empleados en los programas de configuración y lectura además de los bloques de generación de archivos y registro de datos.

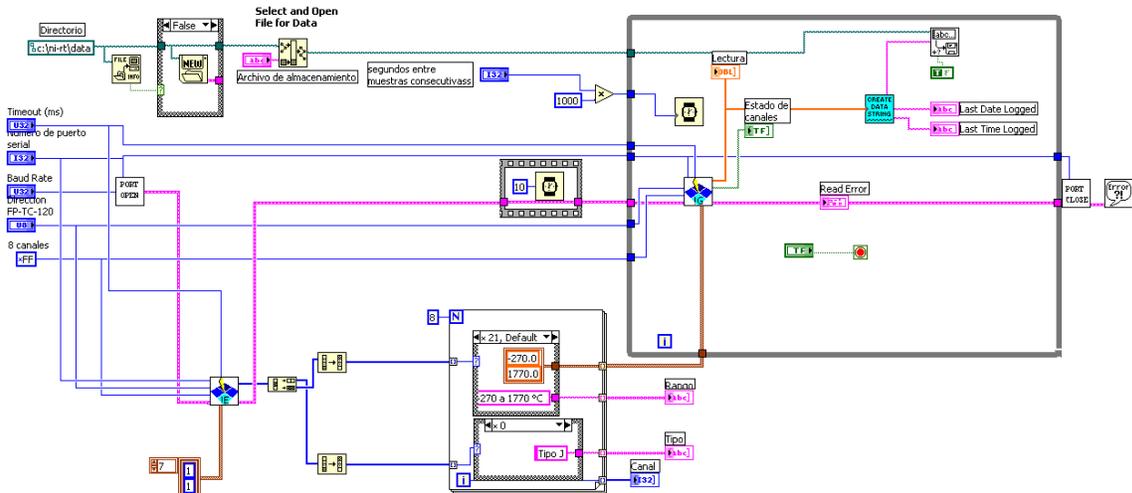


Figura 3.13. Diagrama del programa de almacenamiento de datos del módulo FP TC-120 en disco duro del PXI.

3.6.4. TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS DE REGISTRO PXI A PC

Los archivos almacenados temporalmente en el disco duro del PXI serán transferidos a la PC anfitriona mediante el protocolo FTP. Hay dos razones de peso para desear la transferencia de los archivos con los datos de temperatura adquiridos en el PXI

hacia la PC anfitriona: la liberación de espacio en el disco duro del PXI y el manejo de los datos en una plataforma versátil.

A fin de administrar eficientemente el uso de la memoria ROM del PXI es necesario liberar espacio en su disco duro; previniendo de esta manera que el disco llegue a saturarse y perder información. Así mismo se evita que en esos casos extremos, los archivos de datos ocupen regiones de memoria que el procesador del PXI emplea como memoria virtual.

Por otra parte, existe una gran diversidad de paquetes de procesamiento y análisis de datos soportados por los SO's de la PC's de escritorio, pero no hay tales diseñados para un RTOS tal como el del PXI.

Este programa, cuyo panel frontal se muestra en la [figura 3.14](#), se vale de un servidor de FTP que existe en la PC anfitriona para transferir programáticamente archivos. Los parámetros de entrada son la dirección IP del servidor así como las rutas del archivo a transferir y de la ubicación destino del archivo. El control **Enviar** inicia la transmisión FTP y los indicadores de error explican cualquier error que pudiera presentarse tanto errores de la conexión de red como de manejo de los archivos.

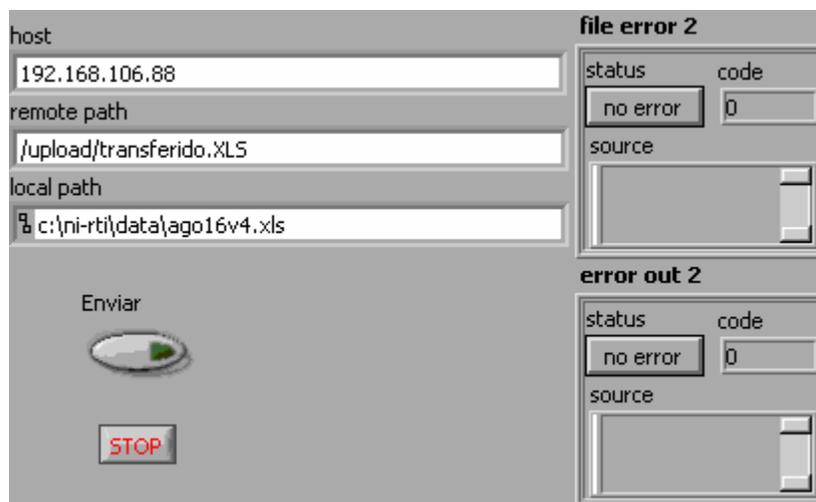


Figura 3.14. Panel frontal del programa de transferencia de archivos PXI a PC.

El sencillo diagrama de bloques mostrado en la [figura 3.15](#) emplea un subVI de transferencia FTP de archivos que abre una conexión FTP con un servidor, manda el archivo y cierra la conexión. Este procedimiento se repite cada vez que el control **Enviar** contiene un valor verdadero (True).

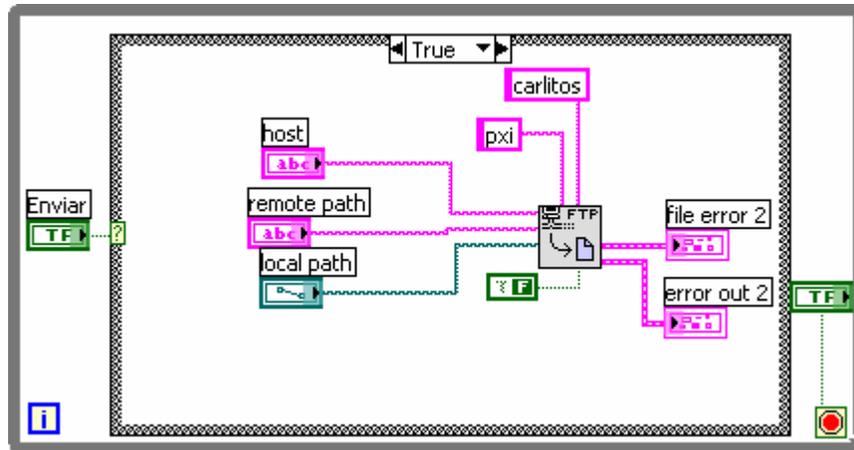


Figura 3.15. Diagrama de bloques del programa de transferencia de archivos PXI a PC.

3.7. PROGRAMAS LABVIEW PARA WINDOWS

3.7.1. PROGRAMAS DE SOLICITUD DE INFORMACIÓN

A fin de obtener los parámetros que los programas descritos en la sección anterior emplean como entradas y que dependen tanto de la distribución física de los módulos FieldPoint como de las preferencias y necesidades del usuario, se han desarrollado programas auxiliares. La funcionalidad de esos programas no se incluyó dentro del programa principal de interfaz de usuario para no hacer más complicada la aplicación en lo que al diseño del panel frontal y a la depuración del diagrama de bloques se refiere.

Esencialmente los programas se emplean como cuadros de diálogo que detienen momentáneamente la ejecución del programa principal para solicitar al usuario información necesaria para ejecutar la función que solicito, o bien, al principio del programa para inicializar las entradas a los programas de LabVIEW RT.

El programa que obtiene los parámetros de la red RS-485 de número de puerto serial, Baud Rate, Timeout, las direcciones de los módulos FP-1001 y de los dos FP-TC-120 se muestra en su panel frontal y diagrama de bloques en las [figuras 3.16](#) y [3.17](#), respectivamente.

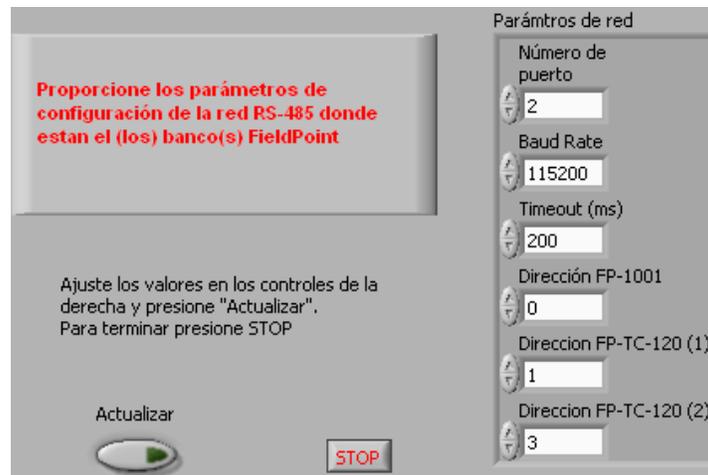


Figura 3.16. Panel frontal del programa de solicitud de parámetros de red.

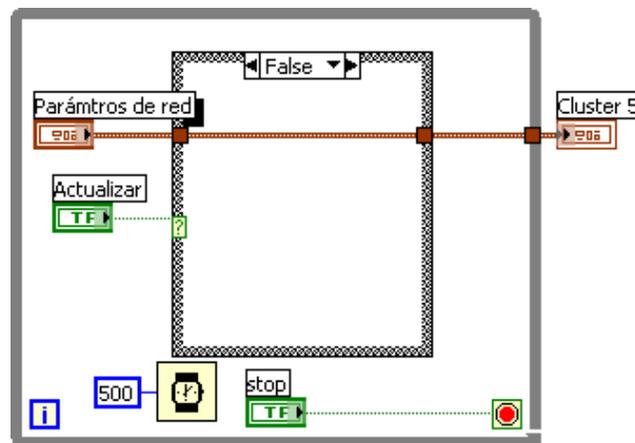


Figura 3.17. Diagrama de bloques del programa solicitud de parámetros de red.

Los parámetros de configuración de los módulos FP-TC-120 de arreglo de tipo de termopar y escala de las lecturas se consiguen a través del programa cuyo panel frontal y diagrama de bloques se muestran en las figuras 3.18 y 3.19, respectivamente.

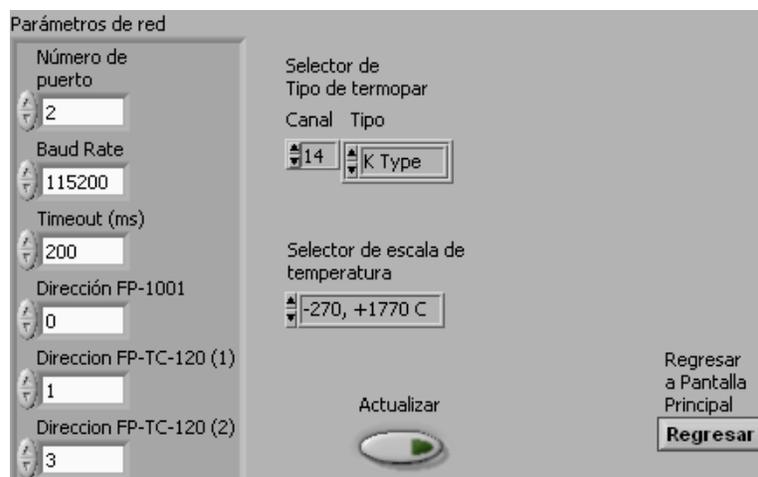


Figura 3.18. Panel frontal del programa solicitud de parámetros de configuración.

3.7.2. INTERFAZ DE USUARIO

Una vez satisfechas todas las funcionalidades independientes de la aplicación, se desarrolló un programa principal que desde la PC anfitriona y mediante llamadas a los programas en el controlador PXI administra la secuencia natural de eventos que el sistema de monitoreo contempla, es decir, la inicialización de parámetros, la configuración de módulos, la visualización de los datos, el almacenamiento y la transferencia de archivos. La [figura 3.22](#) muestra el panel frontal de la aplicación.

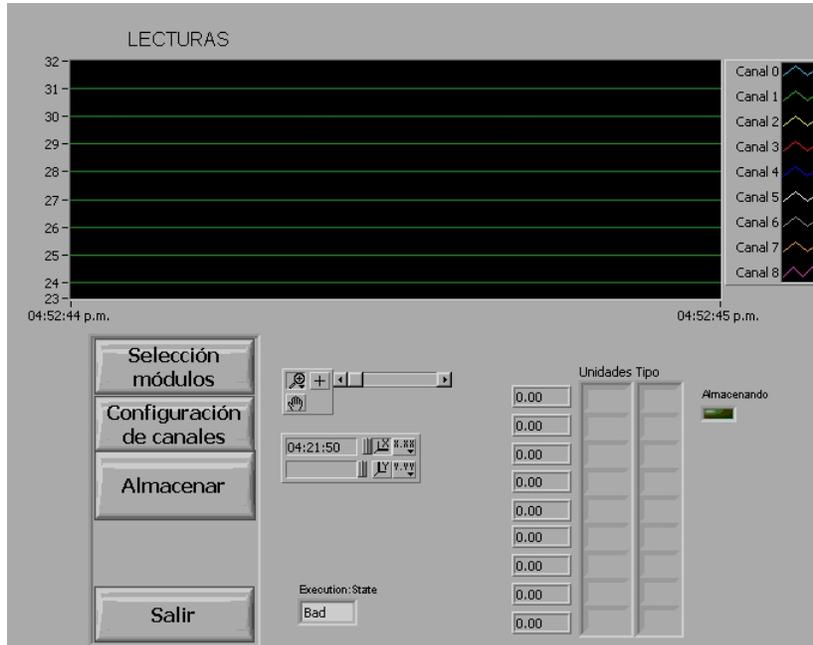


Figura 3.22. Interfaz de usuario.

Este programa se basa en una máquina de estados que produce la ejecución dinámica de programas embebidos en el PXI; para ello se sirve de un servidor de aplicaciones de LabVIEW llamado VI Server. El diagrama de bloques de la [figura 3.23](#) muestra la inicialización de la aplicación y la estructura general de la máquina de estados.

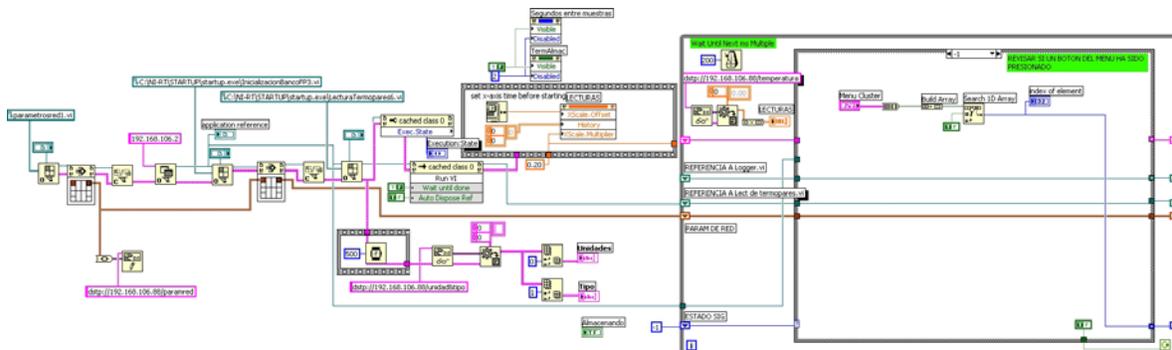


Figura 3.23. Diagrama de bloques de la interfaz de usuario del sistema de monitoreo de temperatura.

4. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DEDICADO

4.1. ESPECIFICACIONES DE COMPONENTES

4.1.1. TERMPOPARES

Los termopares tipo K que se emplean como elementos sensores, están elaborados a partir de un par de alambres cromel – alumel de Límite de Error Especial producidos por Omega Engineering Inc. Son un par de alambres aislados y recubiertos en los conductores por aislante resistente al polvo y a la abrasión. Para formar la junta se dispone de un equipo soldador por descarga capacitiva del mismo fabricante. Las características de los termopares elaborados están definidas por las especificaciones de los alambres y de la calidad de la junta producida.

Los alambres para la elaboración de los termopares tipo K son cromel (níquel 90%, cromo 10%) y alumel (níquel 95%, manganeso 2%, aluminio 2%, silicio 1%). La terminal positiva es el alambre de cromel y la negativa corresponde al alumel; estos alambres están fabricados para cumplir con las tablas NIST¹⁰-90 de referencia para termopares. Según estas tablas, las especificaciones para el alambre tipo K grado termopar son:

- Máximo rango de temperatura: -200 a 1250 °C
- Límite de Error Estándar:
 - por encima de 0 °C 2.2 °C ó 0.75%,
 - por abajo de 0 °C 2.2 °C ó 2.0%
- Límite de Error Especial:
 - en el rango completo 1.1 °C ó 0.40%.

Según el catálogo del fabricante los límites de operación para los termopares elaborados con el tipo de alambre descrito se ve limitado por la resistencia a la temperatura de la cubierta aislante de los conductores, la cual es de 316 °C.

4.1.2. FIELDPOINT TC-120

Desde su entrada de voltaje hasta entregar la salida como números enteros proporcionales a la temperatura medida por los termopares, el módulo FP-TC-120 realiza funciones de amplificación, filtrado, digitalización, linealización y compensación. En estos procesos, se producen errores, debidos al ruido añadido por las etapas de amplificación y filtrado, a la cuantización de la señal analógica, a los algoritmos de linealización del voltaje digital y a los errores en la medición de la temperatura de compensación.

Mediante un certificado de calibración, NI garantiza que las salidas del módulo FP-TC120 se adecuan a las tablas NIST-90 cuando el canal se configura para lectura de termopares de un tipo específico, en este caso K.

¹⁰ National Institute of Standards and Technology.

El fabricante NI no explica un método preciso para determinar la exactitud del módulo FP-TC-120 de lectura de termopares. Lo más cercano a esta información es una gráfica no muy detallada que muestra el error en función de la temperatura leída, con la temperatura de operación del módulo como parámetro y que no considera el error de los termopares. Esta gráfica se reproduce en la [figura 4.1](#).

En la gráfica se muestran el error obtenido experimentalmente para dos condiciones distintas de exposición de temperatura del módulo FPTC-120 durante su operación. La primera es a “Temperatura de Habitación” (“Room Temp”) y “Sobre Temperatura de Habitación” (“Over Temp”). La primera condición se refiere a aquella que se presenta cuando el módulo se encuentra expuesto a temperaturas entre 15 y 35 °C, y la segunda cuando la temperatura de operación se encuentra entre 35 y 70 °C. Para cada una de estas condiciones se grafican dos curvas: una con el error típico (Typ), y la otra con el error máximo (Max). Las leyendas de las curvas se pueden interpretar así:

- Max Over Temp: Error máximo cuando el módulo esta colocado en un ambiente con temperatura entre 35 y 70 °C.
- - - - Max at Room Temp: Error máximo cuando el módulo esta colocado en un ambiente con temperatura entre 15 y 35 °C.
- Typ Over Temp: Error típico cuando el módulo esta colocado en un ambiente con temperatura entre 35 y 70 °C.
- - - - Typ at Room Temp: Error típico cuando el módulo esta colocado en un ambiente con temperatura entre 15 y 35 °C.

De la gráfica sólo es posible inferir aproximadamente un error máximo a Temperatura de Habitación de ± 0.60 °C y un error máximo de ± 1 °C Sobre Temperatura de Habitación para la región de medición de interés que es de 0 a 300 °C.

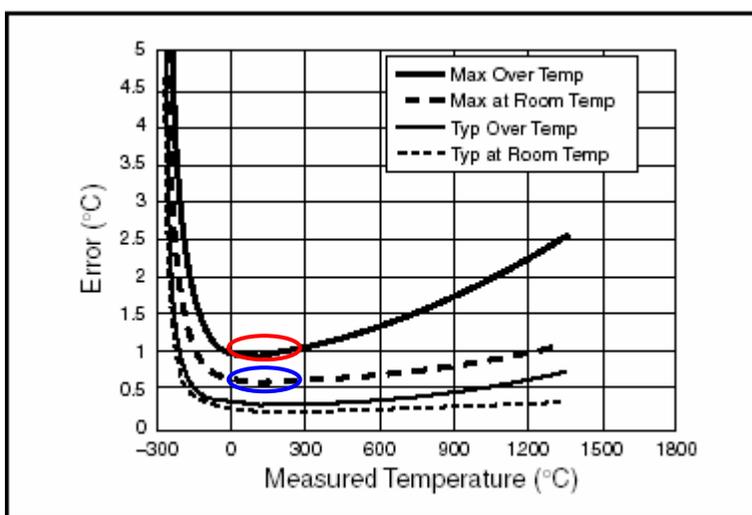


Figura 4.1. Error del módulo FP-TC-120 en lecturas de termopares tipos J, K, N, T y E [10].

4.2. DISEÑO DEL SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA

Necesidades para realizar el experimento

Se tienen disponibles características de exactitud aproximadas de los dos principales componentes del sistema de medición de temperatura (módulos FP-TC-120 y alambre termopar), no obstante, es necesario llevar a cabo pruebas propias a fin de lograr lo siguiente:

- Verificar que sean fidedignas las lecturas de temperatura entregadas por el sistema constituido por un Termopar tipo K, un módulo FieldPoint FP-TC120 y el software desarrollado en LabVIEW RT.
- Obtener las características estáticas del sistema instrumentado.

Equipo empleado

El procedimiento que se emplea para efectuar la calibración de un instrumento de medición puede estar basado ya sea en la comparación de la lectura producida por el instrumento con una magnitud patrón conocida, o bien, mediante el cotejo contra otro instrumento que tenga una exactitud de cuando menos un orden mayor.

Debido a que no fue posible contar con una cámara térmica para controlar temperaturas patrón en el rango de interés de esta aplicación, se empleó el método indirecto de que se vale de otro instrumento que sirve de patrón.

El mejor equipo del que fue posible disponer para ser utilizado como instrumento patrón es un Indicador de Calibración, conforme al estándar NBS¹¹ para termopares K, J y T marca Omega modelo CL-477, número de serie 704945, el cual se muestra en la [figura 4.2](#).

¹¹ National Bureau of Standards hoy National Institute of Standards and Technology.



Figura 4.2. Calibrador para Termopares.

El aparato calibrador simula en su salida un nivel de voltaje correspondiente a la temperatura seleccionada, de manera análoga a lo que entregaría un termopar calibrado según las tablas del NIST. Las características de exactitud de sus salidas se muestran en la tabla 4.1.

Función	Rango	Exactitud
K	-189 a 1372 °C	1.0 °C
	-139.8 a 203.7 °C	0.1 °C
J	-194 a 1014 °C	1.0 °C
	-117.4 a 203.5 °C	0.1 °C
T	-217 a 403 °C	1.0 °C
	-148.2 a 203.9 °C	0.1 °C
mV	-37.3 a 111.9 mV	0.1 mV

Tabla 4.1. Características de salida del instrumento patrón.

Metodología

Considerando que la exactitud del calibrador en el rango mayor a los 200 °C no es lo suficientemente buena para caracterizar un sistema basado en módulos FieldPoint, los cuales son capaces de entregar lecturas con resolución de décimas de grado centígrado, se decidió realizar la calibración en un rango en el cual la exactitud del calibrador fuese mas adecuada para tales fines, este rango elegido es de 0 a 200 °C.

El procedimiento efectuado fue el siguiente:

La calibración se efectuó en el canal 0 del FieldPoint considerándolo de comportamiento característico del conjunto de canales.

Primero se conectó cable tipo termopar tipo K calidad de extensión al conector para termopar que tiene el calibrador; el otro extremo del cable de extensión se atornilló a las terminales del canal 0 en el módulo FieldPoint FP TC-120. El cable de extensión emplea el código de colores de la ISA, esto es, la terminal positiva tiene cubierta amarilla y la negativa roja.

El FieldPoint se configuró para entrada Termopar tipo K en escala de -270 a 1770 °C en su canal 0; ello mediante el programa de configuración serial del módulo.

Por otra parte, se manipularon los controles del calibrador para poder obtener salidas de termopar tipo K en el rango -139.8 a 203.7 °C.

La calibración se realizó para el rango de 0 a 200 °C utilizando el calibrador para ajustar temperaturas incrementales de 10.0 °C. Se tomaron 5 lecturas consecutivas en cada valor ajustado. Cuando se llegó a 200 °C se repitió el proceso en forma descendente para terminar en 0.0 °C. Los registros de lecturas se efectuaron mediante el empleo del programa de almacenamiento de lecturas, estableciendo la tasa de registro a 2 segundos y haciendo pausas después de cada muestra de 5 lecturas para reajustar el valor del calibrador.

Al final de este procedimiento se contaba con 41 muestras de 5 lecturas cada una, de las cuales se obtuvieron estadísticas de media, desviación estándar de la muestra, desviación estándar de la media y precisión. Utilizando las medias en cada grupo y la temperatura patrón del calibrador se determinó el error.

Para la obtención de las características del instrumento se emplearon las siguientes ecuaciones y definiciones [11].

Calibración Estática. Comparación de las señales de salida con respecto a un patrón. Para conocer el comportamiento del instrumento y validar que la salida corresponda a la entrada definiendo incertidumbre. La calibración permite encontrar todas las características estáticas del instrumento. El instrumento con el cual calibramos debe tener al menos un orden de exactitud mayor al estimado del sistema bajo prueba.

Error (E). Diferencia máxima existente entre el valor patrón y el valor leído con el instrumento calibrado.

$$E = x_p - x_l$$

$$E_{\%} = \frac{x_p - x_l}{x_p} \cdot 100$$

donde:

x_p : valor patrón

x_l : valor leído

Precisión (P). Capacidad del instrumento para repetir las lecturas.

$$P = \bar{x} - x_{\max}$$

$$P_{\%} = \frac{\bar{x} - x_{\max}}{\text{escala}_{total}} \cdot 100$$

donde:

\bar{x} : media aritmética

x_{\max} : valor leído mas alejado de la media

Sensibilidad (m). Variación de la variable de salida respecto a la variación de la variable de entrada. Es la pendiente de la curva de calibración.

$$m = \frac{\partial}{\partial x_p} x_l$$

donde:

x_p : valor patrón

x_l : valor leído

Linealidad. Máxima desviación desde cualquier punto de la curva de calibración a la curva teórica de comportamiento.

Umbral. Valor mínimo de entrada que puede ser detectable en la salida.

Resolución. Valor mínimo incremental que puede ser legible en la salida.

Histéresis. Cuando para un mismo valor de entrada existe una diferencia en las lecturas debido a que el proceso de medición se haya realizado en forma ascendente o descendente.

Legibilidad. Facilidad para tomar la lectura.

Rango. Intervalo comprendido entre los valores máximo y mínimo legibles.

Gama. Valor absoluto de la variación posible de la lectura o bien, la diferencia entre los valores máximo y mínimo legibles.

A fin de obtener los mejores valores del valor leído se emplean las siguientes estadísticas:

Media aritmética: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

Desviación Estándar de la muestra $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$

Desviación Estándar de la media: $s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$

Desviación Estándar de la desviación estándar $\sigma_s = \frac{s}{\sqrt{2n}}$

Análisis de datos

A partir del análisis estadístico podemos determinar las características estáticas del sistema desarrollado. En la [figura 4.3](#) se muestra la curva resultado de la calibración.

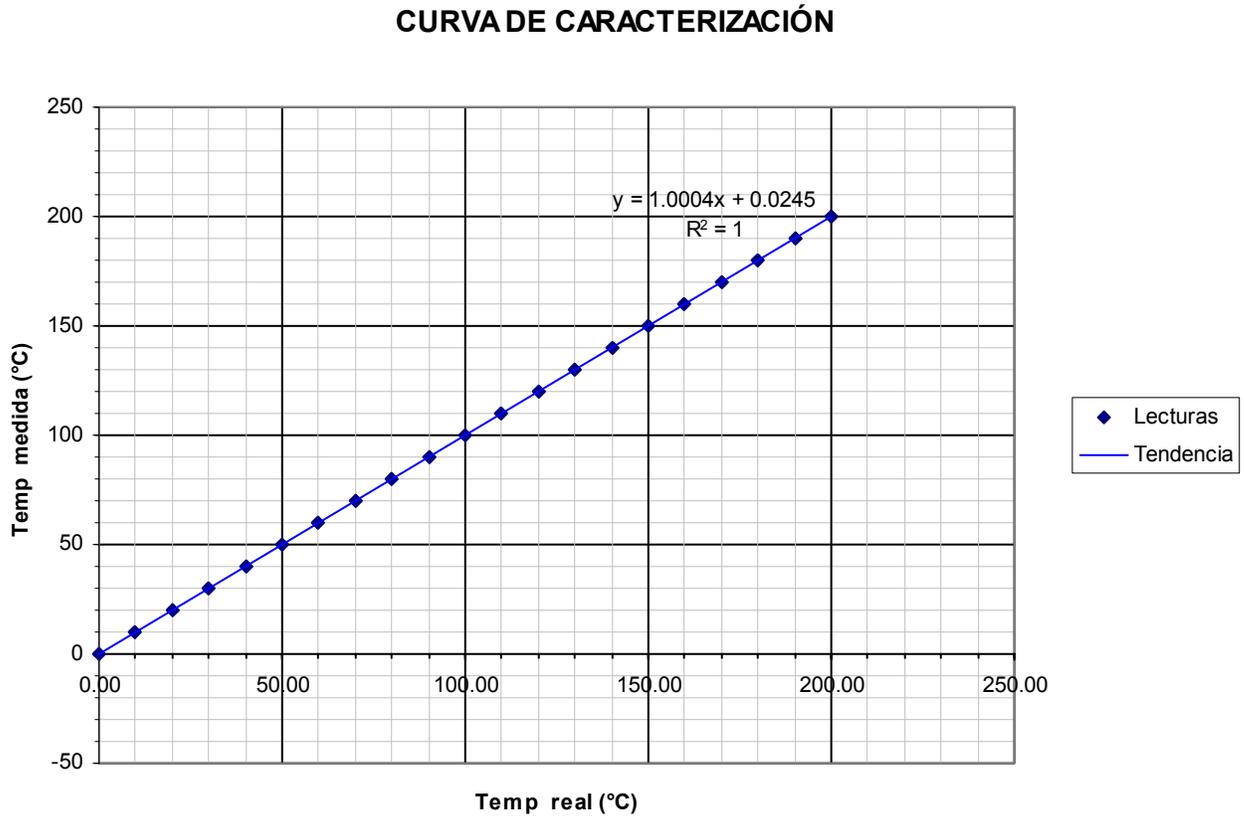


Figura 4.3. Curva de calibración del sistema FieldPoint- LabVIEW.

Con respecto a las lecturas del instrumento patrón, se encontró el comportamiento para la sensibilidad mostrado en la [figura 4.4](#), así como el error en la [figura 4.5](#).

Sensibilidad

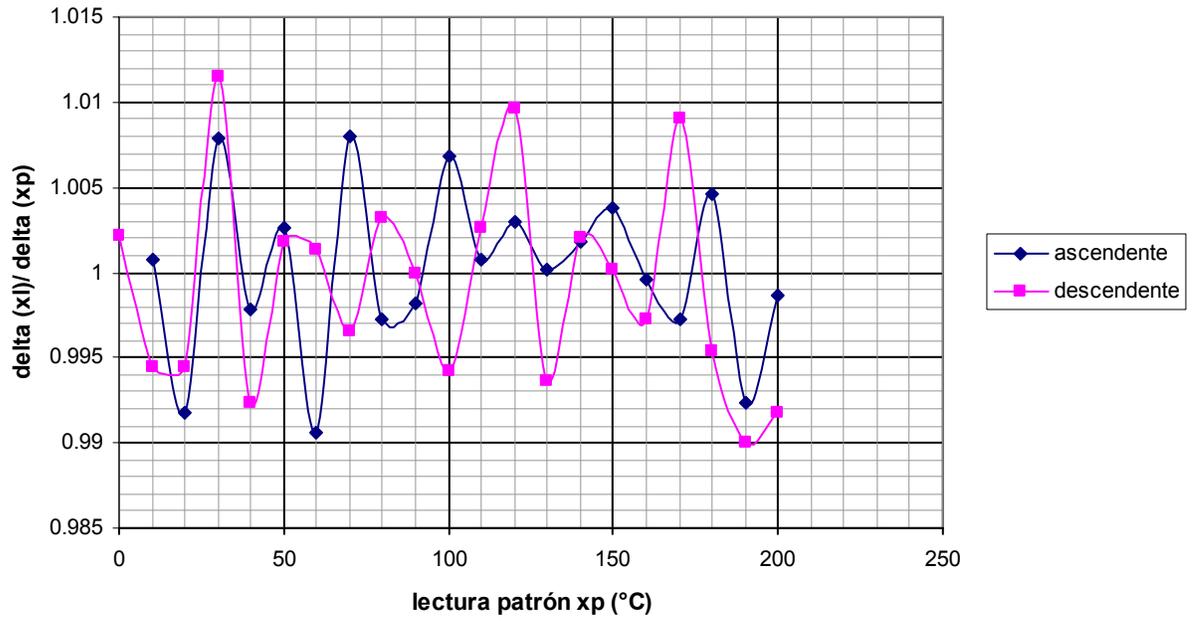


Figura 4.4. Sensibilidad en función de la temperatura leída.

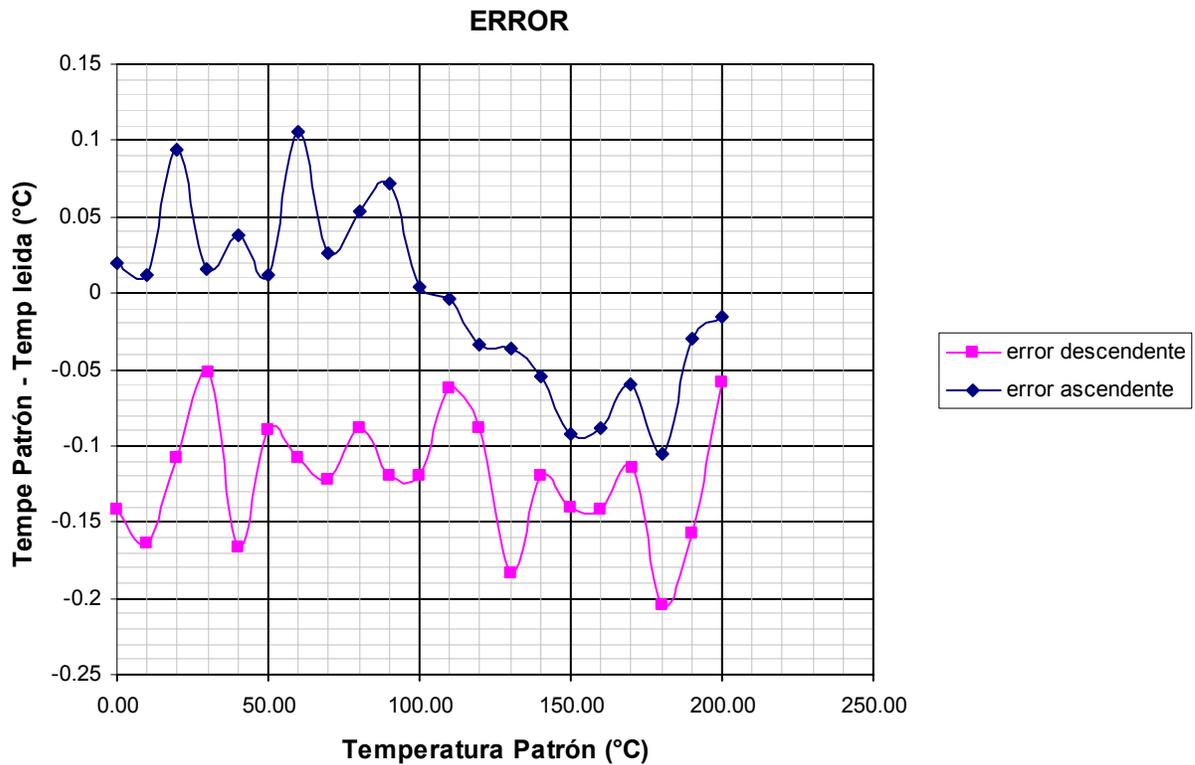


Figura 4.5. Error en las lecturas para el sistema FieldPoint- LabVIEW en relación al calibrador de termopares.

Resultados

La figura 4.3 que muestra la curva de caracterización deja claro que la respuesta del sistema de medición a una entrada es muy apegada al patrón y solo presenta un error de la ordenada al origen de $0.0245\text{ }^{\circ}\text{C}$ (*offset*).

La gráfica que aparece en la figura 4.4 tiene por objeto apreciar con mayor detalle la pendiente de la curva de calibración. En un sistema ideal la sensibilidad permanecería constante en el valor unitario. En el sistema evaluado, la pendiente se altera en un valor no mayor a 12 milésimas de unidad. Esta pequeña degradación de la calidad de la lectura se muestra también en la gráfica del error la cual advierte claramente una tendencia a producirse errores mayormente negativos cuando la lectura se realiza en orden descendente y viceversa cuando el orden es ascendente.

La tabla 4.2 muestra el resultado de la calibración.

Característica	Rango de aplicación
Error <i>E</i>	0.106 °C 0.0047 %
Precisión	0.080 °C 0.040 %
Sensibilidad	1 ±0.01151
Linealidad	0.106 °C 0.0047 %
Umbral	0.0 °C
Resolución	0.0311 °C
Histéresis	0.268 °C
Legibilidad	excelente
Gama	200 °C

Tabla 4.2. Características estáticas del sistema dedicado de medición.

Las características estáticas del sistema dedicado son muy buenas en el rango de 0 a 200 °C. El error aleatorio que conlleva la medición, así como el resto de sus características es en general aceptable. Para obtener las características del sistema de medición instrumentado sobre un más amplio rango señal de entrada, se debería establecer otro sistema experimental que salve la principal limitante que se presentó en este desarrollo, esto es, que se cuente con una magnitud o señal patrón de buena exactitud sobre el rango de prueba deseado.

5. MANUAL DE USUARIO

5.1. CONVENCIONES

Las siguientes convenciones se emplean en este manual:

- >> Este símbolo indica la trayectoria a seguir través de menús o cuadros de opción anidados hacia una acción final. La secuencia **Herramientas>>Opciones>>Ortografía y gramática** indica que se despliegue el menú **Herramientas**, se seleccione el detalle de **Opciones**, y se elija **Ortografía y gramática** del último cuadro de opción.
- Negritas** El texto en negritas denota elementos que el usuario debe seleccionar en el programa, tales como elementos de menú u opciones de cuadro de diálogo. También se utilizan para hacer referencia a nombres de parámetros, controles y botones del panel frontal, cuadros de diálogo, secciones de cuadros de diálogo y nombres de menús.
- itálicas* Texto en itálicas denota variables, énfasis en alguna palabra o la introducción a un concepto clave. Esta fuente también indica que el texto es un indicador del lugar donde el usuario debe introducir palabras o valores.
- arial narrow Esta fuente se emplea para designar texto que el usuario debe introducir mediante el teclado. También se utiliza para identificar nombres de unidades de disco, rutas, directorios, archivos, nombres de dispositivos y funciones.
- arial narrow negritas** Con esta fuente se indican los mensajes y respuestas que la computadora imprime en la pantalla.

5.2. PROCEDIMIENTOS PREPARATORIOS

5.2.1. ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS FÍSICOS DE RED E INTERCONEXIONES

El sistema de cómputo estará localizado en el cuarto de control. Los módulos FieldPoint estarán montados en las instalaciones de la estructura de la torre. Para intercomunicar los módulos con el controlador central en el sistema PXI se requiere el empleo de cable UTP¹ categoría 5 preferentemente. Este cable lleva 8 alambres, de los cuales se emplearán 4 que servirán de bus de comunicaciones RS-485. La longitud máxima del cable según el estándar es de 1200 m; la instalación de la red que se constituirá con el resto de instrumentos digitales, deberá observar estas limitaciones. Es necesario puntualizar que los resistores de terminación (120 Ω) deberán colocarse entre las terminales Tx+ con Tx- y Rx+ con Rx-, lo mas cerca posible del puerto RS-485 por un lado, y del banco FieldPiont que sea último nodo en la red. En la [figura 5.1](#) se esquematiza el cableado y terminación del bus RS-485.

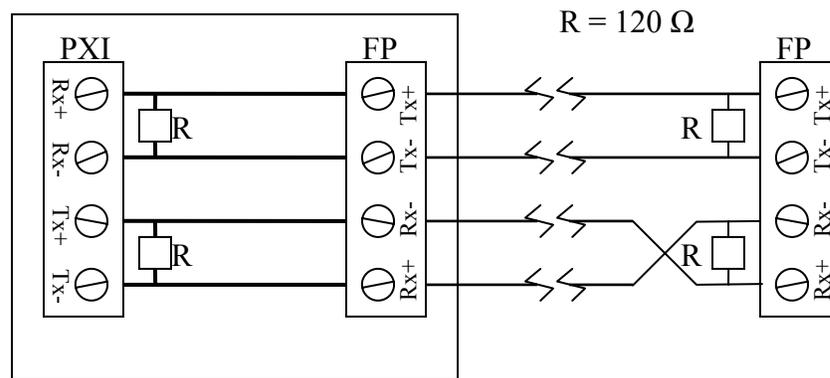


Figura 5.1. Esquema de cableado del bus RS-485.

En el cuarto de control, la PC se conecta con el PXI mediante un cable de Ethernet cruzado del mismo tipo que se emplea para conexión de PC's a una red local. La PC debe estar configurada con la dirección IP² estática 192.168.106.88; por su parte el PXI debe tener asignado el IP 192.168.106.2 pues con estos parámetros de dirección se configuró el sistema. De acuerdo con esto, el controlador PXI debe permitir acceso total a la PC con el primer IP mencionado.

En el módulo FP-1001 de comunicaciones reside un conjunto de interruptores que determinan algunos parámetros de red del banco de FieldPoint's, estos son: la tasa de transferencia (Baud Rate) y la propia dirección del módulo en el bus RS-485. El primero de estos atributos debe permanecer fijo en 115200 Bauds por segundo de acuerdo con lo que se indica en la [figura 5.2](#). El parámetro de dirección se puede modificar como lo muestra la [figura 5.3](#) según las necesidades de la operación (en caso de querer monitorear módulos en bancos distintos, o bien, si cambia la disposición del banco de FP's al expandir el sistema).

¹ Unshielded Twisted Pair: Cable de par trenzado sin blindaje.

² Internet Protocol

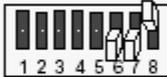
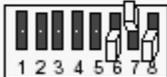
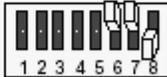
Switch Positions 6–8	Network Module Baud Rate	Switch Positions 6–8	Network Module Baud Rate
	300		19200
	1200		38400
	2400		57600
	9600		115200

Figura 5.2. Interruptores de selección de Baud Rate.

Antes de proseguir deben encenderse la PC, el PXI y energizar el banco de módulos FieldPoint. La máquina PC debe estar conectada directamente al PXI empleando el cable de ethernet vía sus respectivos puertos para Internet.

Para ejecutar el programa principal de LabVIEW es necesario iniciar otros paquetes de software de los que se vale la aplicación; particularmente se requiere del servidor DataSocket y del servidor FTP.

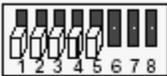
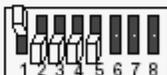
Switch Positions 1-5	Network Module Address (Decimal)	Switch Positions 1-5	Network Module Address (Decimal)
	0		130
	10		140
	20		150
	30		160
	40		170
	50		180
	60		190
	70		200
	80		210
	90		220
	100		230
	110		240
	120	Other Settings	Not Allowed

Figura 5.3. Interruptores de selección de dirección.

5.2.2. SERVIDOR FTP

La función del Servidor FTP es gobernar la transmisión de archivos de registro desde el PXI a la PC que representan clientes del servidor. Se lanza a través de los menús de **Inicio>>Programas>>GuildFTPd >>GuildFTPd server daemon**. Cuando se arranca el servidor, el estado por defecto es de permitir el acceso a los usuarios. En caso de que el servidor este encendido pero no permita el acceso a usuarios, es necesario ir a través de los menús **Admin>>Allow Loggins**, tal como se muestra en la [figura 5.4](#).

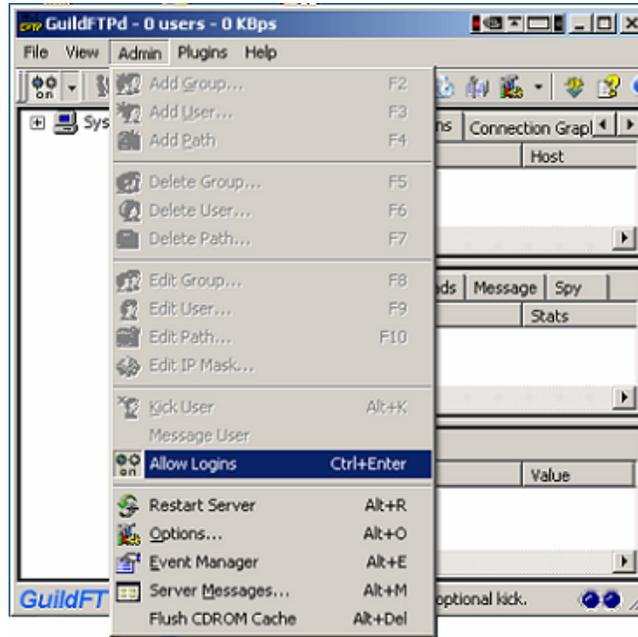


Figura 5.4. Habilitación de acceso a usuarios del servidor FTP.

5.2.3. SERVIDOR DATASOCKET

El Servidor DataSocket habilita la transmisión y recepción continua de datos cambiantes de mediciones y así permite el monitoreo remoto de las lecturas de los termopares desde la aplicación principal de interfaz de usuario. Es accesible a través de la ruta: **Inicio>>Programas>>National Instruments>>DataSocket>>DataSocket Server**, cuando se lanza el servidor, este toma alrededor de dos minutos para resolver las direcciones IP que tienen acceso al mismo. En la [figura 5.5](#) se muestra la ventana de actividad del servidor DataSocket en el estado que se encuentra inmediatamente después de su lanzamiento.

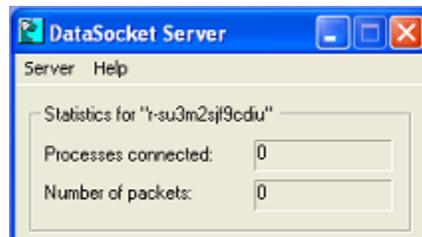


Figura 5.5. Ventana de actividad del servidor DataSocket.

5.2.4. INICIALIZACIÓN DE LabVIEW

El programa principal se ejecuta desde LabVIEW, para lanzar este software se sigue la siguiente trayectoria en los menús: **Inicio>>Programas>>National Instruments>>LabVIEW 6.1>>LabVIEW**.

5.3. OPERACIÓN DE LA APLICACIÓN

5.3.1. INTERFAZ DE USUARIO

Desde el entorno de LabVIEW, seleccionando la plataforma de ejecución Windows (LabVIEW for Windows) como se muestra en la [figura 5.6](#) y posteriormente seleccionar abrir VI (Open VI). El programa con la interfaz de usuario es `estados5.vi` y esta localizado en la siguiente ruta: `C:\sahilestados5.vi`

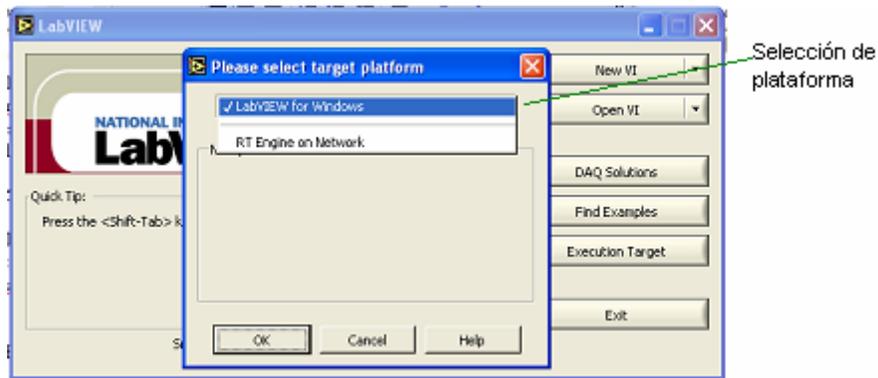


Figura 5.6. Selección de plataforma de ejecución de LabVIEW.

Una vez que se abre el programa, el usuario debe ejecutar la aplicación presionando el botón **Run** de la zona de menús de LabVIEW, como se indica en la [figura 5.7](#).

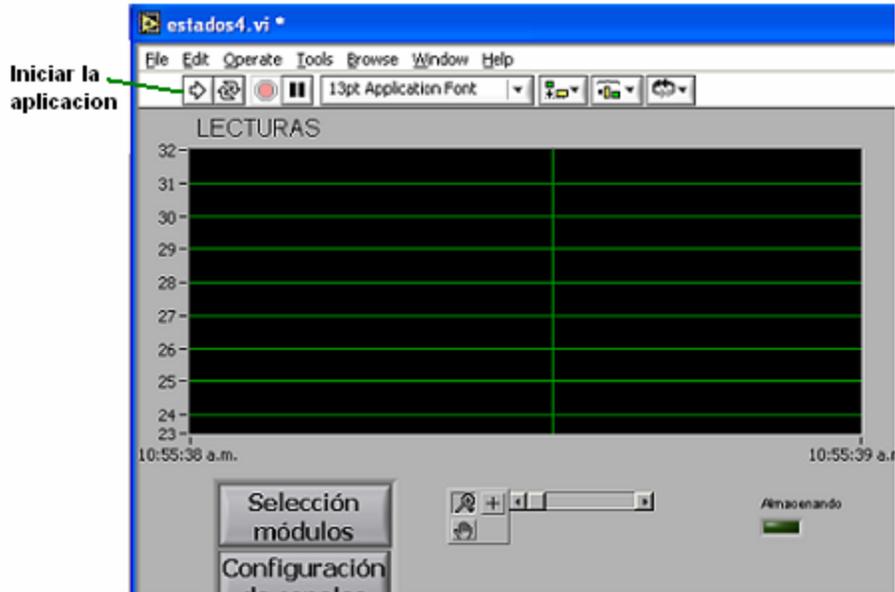


Figura 5.7. Lanzamiento de la aplicación de monitoreo de temperatura.

Aparecerá un cuadro de diálogo solicitando información acerca de la conexión física y otros parámetros de la red RS-485 donde se encuentran los módulos FieldPoint. De ser necesario el usuario puede modificar dichos parámetros. Esta información definirá cuáles serán los módulos afectados por las operaciones ejecutadas posteriormente. Cuando el usuario esté de acuerdo con la información de los controles en el cuadro de diálogo, deberá presionar el botón **Aceptar**, con lo que proseguirá la ejecución.

A continuación el programa tomará tiempo para establecer una conexión entre las instancias local y remota de LabVIEW, en la PC y PXI, respectivamente. Este proceso *toma un par de minutos* durante los cuales la PC momentáneamente se sobrecarga de operaciones y *no responde*, lo cual no debe sorprender ni preocupar al usuario ya que este es un comportamiento debido a la conexión de ambas instancias del software que se requiere establecer y que no afecta la ejecución posterior de la aplicación. Una vez transcurrido este lapso, la aplicación mostrará la tendencia histórica de los datos de temperatura de los canales de los módulos seleccionados. Después de un periodo de tiempo de monitoreo, la aplicación desplegará una pantalla parecida a la que se muestra en la [figura 5.8](#).

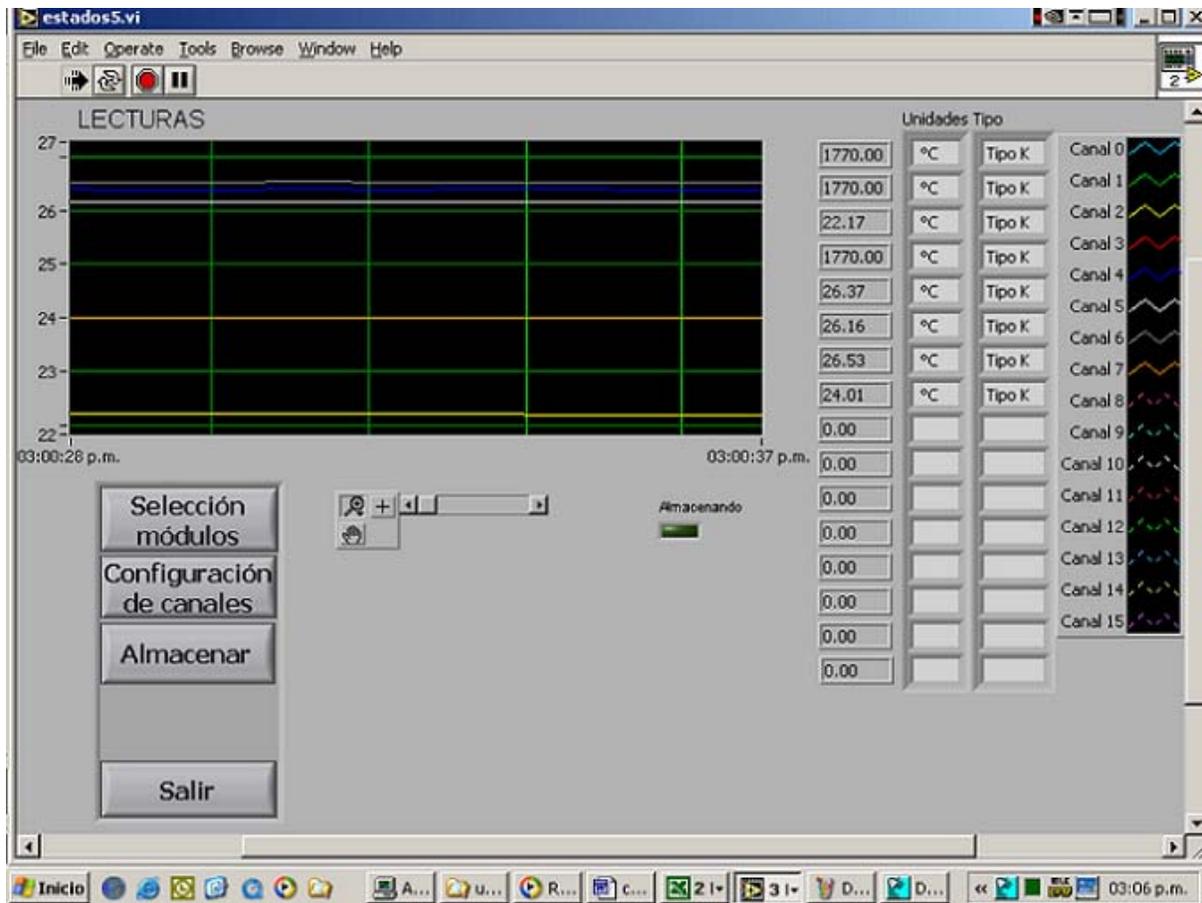


Figura 5.8. Interfaz de usuario durante la ejecución de la aplicación.

Las funcionalidades que puede manejar esta interfaz de usuario se describen en función de los controles e indicadores. Así se muestra en la [figura 5.9](#).

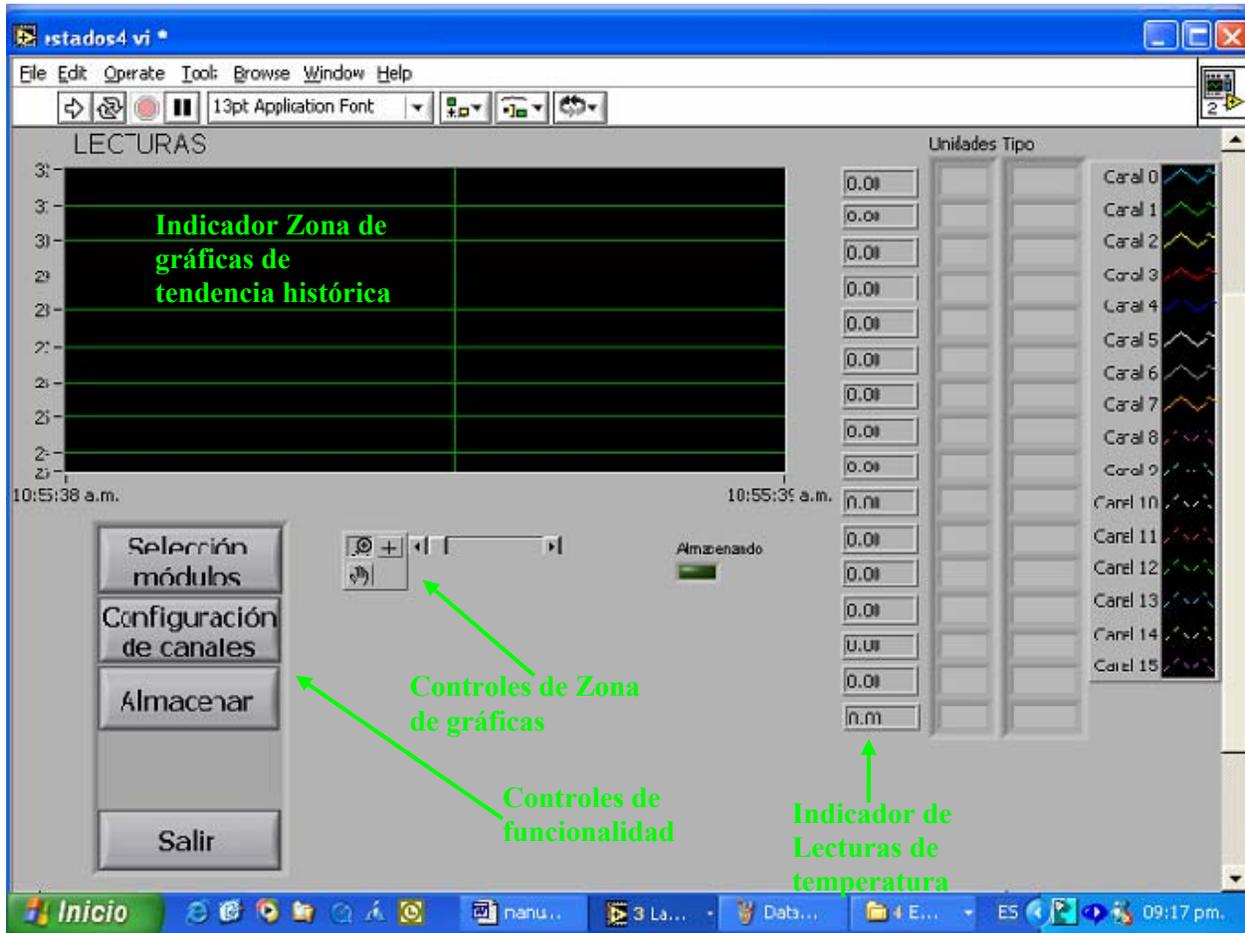


Figura 5.9. Controles e indicadores en la interfaz de usuario.

El botón **Selección módulos** permite definir un par de módulos FP TC-120 *activos* en la red RS-485. Cuando se elige un par de módulos determinado, las lecturas que se reciban, así como todas las acciones que se ejecuten desde la interfaz de usuario, tendrán como objetivo dichos módulos y sus canales respectivos. Los módulos están identificados como FP-TC-120 (1) y FP-TC-120 (2); sus canales son canal 0 a canal 7 para el primero y canal 8 a canal 15 para el segundo. De esta manera son tratados en las funciones restantes de la aplicación.

El botón **Configuración de canales** ejecuta un subprograma que establece el tipo de termopar a conectar en cada canal de los módulos activos, así como la escala del conjunto de 16 lecturas. El usuario puede seleccionar entre tipos J, K, N, R, S T y B de termopar y entre las escalas de grados Celsius, Fahrenheit o Kelvin. Los primeros 8 elementos (canal 0 a canal 7) corresponden a la configuración del módulo FP-TC-120 (1) y los restantes (canal 8 a canal 15) corresponden a la configuración del módulo FP TC-120 (2). La selección de la escala aplica a todos los canales, es decir, no es posible elegir distintas escalas para canales diversos. En la [figura 5.10](#) se muestran los controles selectores de tipo y escala de configuración.

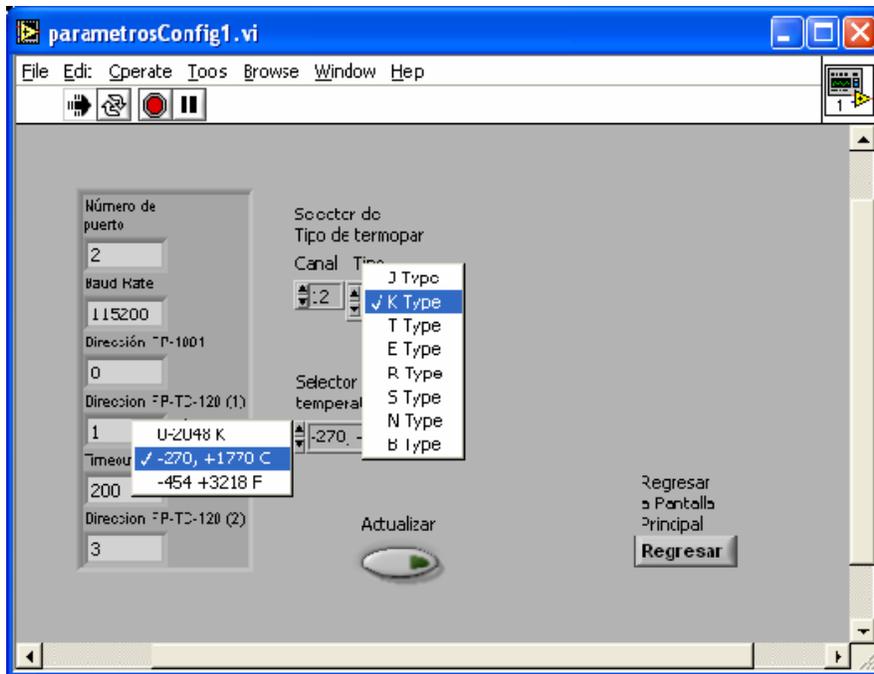


Figura 5.10. Configuración de canales de módulos FP-TC-120.

Para proseguir la ejecución de la aplicación el usuario debe presionar el botón **Regresar a Pantalla Principal**; es en ese momento cuando se envían los comandos de configuración al banco de módulos.

El control **Almacenar** inicia el proceso de almacenamiento de los datos de temperatura de 16 canales de los módulos FP-TC-120 activos (con los parámetros de tipo y escala establecidos previamente por la configuración) en la unidad de disco duro del controlador PXI. Un cuadro de diálogo solicita al usuario el nombre del archivo de hoja de cálculo donde se habrán de escribir los datos y la tasa de registro, esto es, el intervalo de tiempo que transcurrirá entre muestras consecutivas escritas al archivo de registro. El nombre por defecto del archivo esta formado a partir de la fecha corriente en un formato *ddmmmaa*, donde *dd* son dígitos para el día, *mmm* son caracteres del mes y *aaa* son los últimos 3 dígitos del año; por ejemplo el nombre de archivo creado el 3 de noviembre de 2004 es: **03Nov004.xls**.

Durante el almacenamiento de datos en el PXI, el indicador **Almacenando** enciende y las funciones de **Selección módulos**, **Configuración de canales**, **Almacenar** y **Salir** se encuentran inhabilitados y la única función permitida es **Terminar Almacenamiento**. En la [figura 5.11](#) se muestra esta condición.

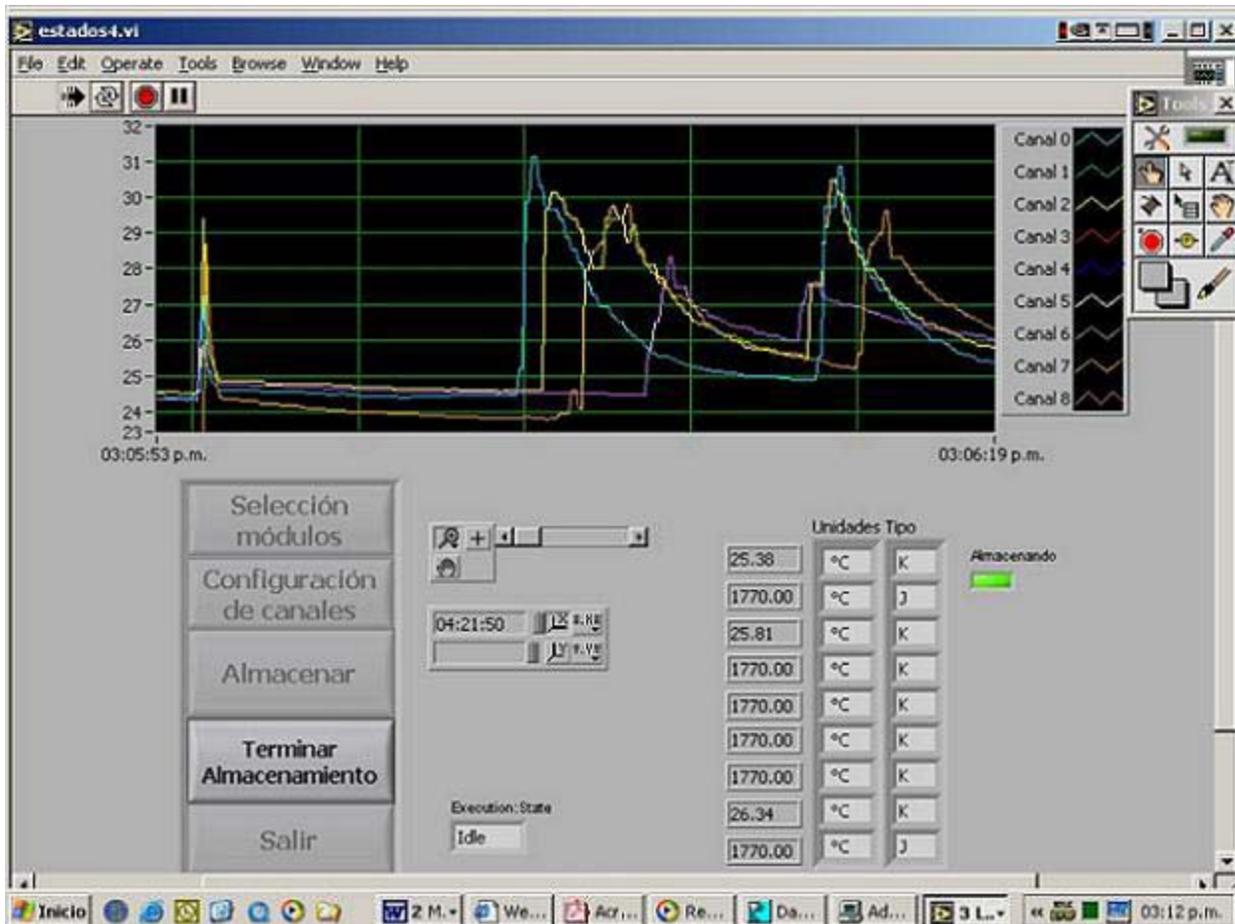


Figura 5.11. Interfaz de usuario mientras durante el almacenamiento de datos en PXI.

El control **Terminar Almacenamiento** únicamente es visible durante el almacenamiento. Su función es producir el cese de la escritura de los datos en el disco duro del PXI y transferir el archivo generado a la PC. Es importante señalar que si bien en el cuadro de diálogo es posible elegir cualquier ruta de directorio para guardar el archivo, el archivo de registro se transferirá al directorio del servidor FTP C:\FTPdir\upload, y de la ruta original seleccionada sólo se conserva el nombre del archivo.

Este procedimiento transfiere una copia del archivo almacenado en la unidad del disco duro del PXI, por lo tanto, será necesario periódicamente borrar de la memoria del PXI los archivos que se encuentren ya en la PC a fin de evitar que se sature el disco duro del PXI y se produzca pérdida de datos.

Cuando la transferencia de archivos finaliza, los botones de función **Selección módulos**, **Configuración de canales**, **Almacenar** y **Salir** retoman su estado habilitado.

El control **Salir** termina la ejecución de la aplicación.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se logró diseñar un sistema integral de hardware y software que es capaz de asegurar la prioridad de ejecución de tareas de medición y control. El alcance de este trabajo está acotado por el monitoreo y registro de temperatura, mas deja asentada la base de un sistema dedicado de tiempo real para el posterior desarrollo del sistema general de adquisición de datos y control que permitirá la ejecución de tareas determinísticas sobre los sistemas críticos de la torre de destilación; con ello se ha cumplido el objetivo de este trabajo de tesis.

Con base en la tecnología de cómputo PXI y en la plataforma de instrumentación distribuida FieldPoint, este sistema es capaz de ejercer un monitoreo pasivo de la variable temperatura privilegiando la obtención de registros útiles y muy fiables. Puede adaptarse a cualquier aplicación en la que sea necesario implementar sistemas DAQ en entornos riesgosos o cuando se requieren realizar pruebas que son costosas y difíciles de repetir.

Se produjo una aplicación final donde un usuario sin entrenamiento previo es capaz de operar el sistema de monitoreo y almacenamiento de datos de temperatura desde el entorno amigable de una PC anfitriona que sirve de interfaz de usuario.

El punto más álgido del desarrollo del sistema de monitoreo fue el establecimiento de comunicación entre la computadora dedicada PXI y el banco de módulos de lectura de señales FP. El atolladero lo originó un conflicto entre la tarjeta de puertos seriales PXI 8421/8 y el módulo de comunicaciones FP-1001. El problema radicaba en el acoplamiento de impedancias, y no se solucionó sino hasta que se cambió el modelo de la tarjeta de puertos seriales por una de 4 puertos modelo 8421/4.

La tarjeta con 8 puertos por razones de espacio no tiene en su parte frontal alojados los 8 conectores necesarios, en vez de ello tiene un conector SCSI de 68 pines con todas las terminales de los 8 puertos. Este conector no esta diseñado para conectar directamente los buses de cada puerto, sino que mediante un cable adaptador se derivan 8 conectores estándar DB9. La longitud de este cable adaptador es de aproximadamente un metro y fue la causa del deficiente acoplamiento de impedancias. Un par de las resistencias de terminación estaba relativamente alejada del punto de inicio del bus RS-485, lo que ocasionaba una resistencia adicional debida a la longitud de los cables adaptadores, la cual producía que las impedancias del bus y de la tarjeta de puertos seriales no se acoplara adecuadamente. Con ello las señales se reflejaban y la comunicación no se lograba establecer.

Una vez que se estableció la comunicación serial y con base en el envío de cadenas de caracteres ASCII se depuraron los programas de ejemplo que provee LabVIEW, lo que significó la corrección del empleo del formato de las cadenas de comandos Optomux (de decimal a hexadecimal) y del error de power-up que se había ignorado.

El paso siguiente fue la creación de nuevos programas con funcionalidades personalizadas que se pudieran incluir dentro del concepto y filosofía que la aplicación buscaba fraguar.

Las características destacables del sistema desarrollado se pueden enlistar como sigue:

- Uso eficiente de recursos de hardware cuando se trabaja con proceso, que implica dinámica lenta. Si se colocan chasis con tarjetas PXI los costos se disparan debido a que ese equipo está diseñado para trabajar con señales de amplio ancho de banda.
- El diseño empleado tiene la ventaja de que aunque el control es centralizado, la adquisición de datos es distribuida y modular lo que reduce los costos de cableado desde los puntos de medición (FieldPoint's y transmisores digitales) a la unidad de procesamiento (PXI).

Finalmente se puede afirmar que con este trabajo queda ejemplificada la capacidad de desarrollo de la plataforma de instrumentación LabVIEW RT como una alternativa viable para el desarrollo de sistemas dedicados y/o de tiempo real con todas las características de un sistema embebido pero mucho más simple de implementar y con el mérito que significa la generación tácita de las interfaces gráficas.

ANEXO A SIMBOLOGÍA Y NOMENCLATURA PARA LOS INSTRUMENTOS

En este apéndice se presentan los símbolos y nomenclaturas que se utilizan en los diagramas de instrumentos de esta tesis. La mayoría de las compañías tienen sus propias normas y, aún cuando son muy semejantes entre sí, no son exactamente iguales. Los símbolos y nomenclatura que se utiliza aquí se apegan a la norma que está vigente para su uso en el Instituto Mexicano del Petróleo que esta basada en la norma publicada por la Instrument Society of America (ISA). En general, la identificación de los instrumentos se conoce también como número de placa, y es de la forma:

T	IC	021	A
Primera letra	Letras sucesivas	Número de circuito	Sufijo (no se requiere)
Identificación funcional		Identificación del circuito	

En la tabla A-1 se da el significado de algunas letras.

	Primera letra	Letras sucesivas
A	Análisis	Alarma
B	Flama del quemador	
C	Conductividad	Control
D	Densidad o gravedad específica	
E	Voltaje	Elemento primario
F	Razón o flujo	
H	Manual	Alto
I	Corriente	Indicador
J	Potencia	
K	Tiempo o tabla de tiempos	Estación de control
L	Nivel	Ligero o bajo
M	Humedad	Medio o intermedio
O		Orificio
P	Presión o vacío	Punto
Q	Cantidad o evento	
R	Radiactividad o razón	Registro o impresión
S	Velocidad o frecuencia	Interruptor
T	Temperatura	Transmisor
V	Viscosidad	Válvula, amortiguador o respiradero
W	Peso ofuerza	Depósito
Y		Relevador o conmutador
Z	Posición	Manejo

Tabla A-1. Significado de las letras de identificación.

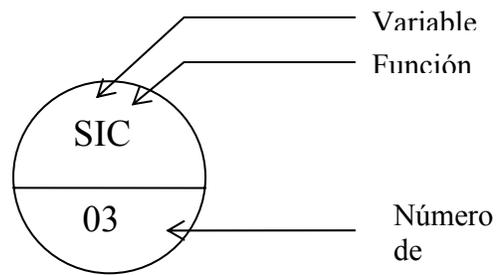


Figura A-1. Identificación de Instrumentos.

SEÑALES DE INSTRUMENTOS

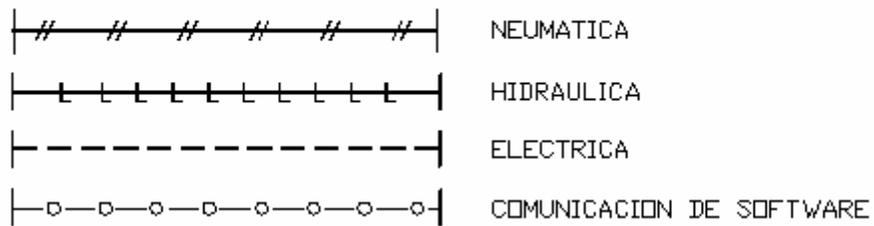


Figura A-2. Señales de instrumentos-

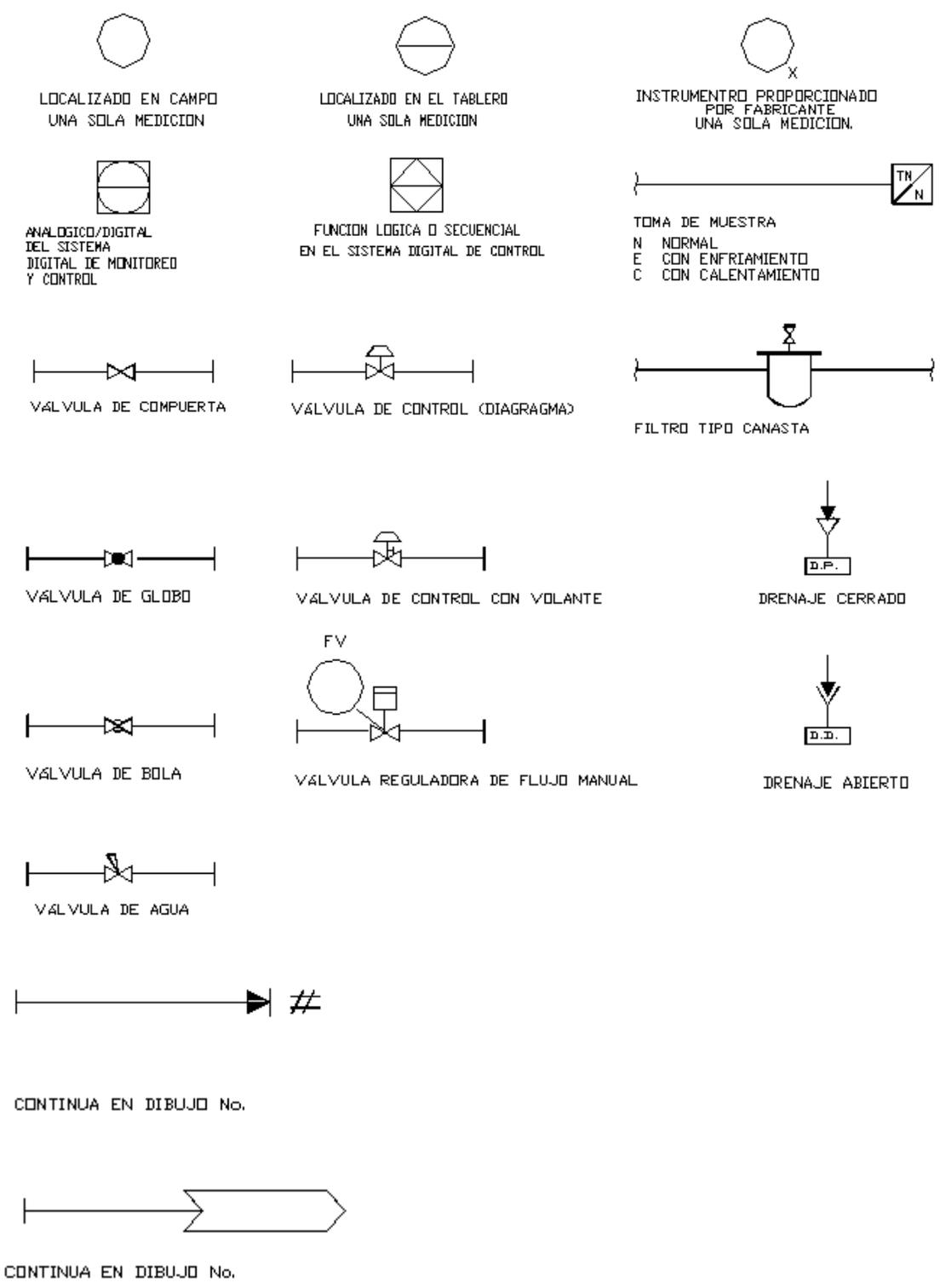


Figura A-3. Símbolos de los instrumentos y significado.

ANEXO C

ESPECIFICACIONES DE HARDWARE

El desarrollo del sistema dedicado de monitoreo y adquisición de datos contempla el empleo del siguiente equipo del fabricante National Instruments:

- 1 PXI 1002 Chasis PXI
- 1 PXI 8176/1.2 RT Controlador Embebido
- 1 PXI 8421/4 Tarjeta con 4 puertos seriales RS-485
- 1 PXI 2503 Matriz de conmutador de relevadores
- 1 FP 1001 Módulo FieldPoint de comunicaciones
- 1 FP AI-111 Módulo FieldPoint de entradas analógicas (16 canales)
- 1 FP DI-330 Módulo FieldPoint de entradas digitales (8 canales)
- 1 FP TC-120 Módulo FieldPoint de entrada de termopares (8 canales)
- 2 FP TB-1 Base universal para FieldPoint
- 1 FP TB-3 Base isotérmica para FieldPoint
- 1 PS 24V,0.8 A Fuente de alimentación para FieldPoint
- 1 CB-68LP Tarjeta de bases con tornillo con conector 68 pines
- 1 Cable ASSY 68 Cable extensión 68 pines (hembra - hembra)

C.1. CHASIS PXI 1002

Los chasises PXI basan su alto desempeño eléctrico en su *backplane* que combina las utilidades del bus CompactPCI con avanzadas funciones de disparo y temporización. Debido al alto desempeño de los conectores que emplea, el número de ranuras disponibles en el backplane, es mucho mayor al disponible usualmente que con el bus PCI de la PC. Las funciones de disparo y temporización consisten en:

- Señal de reloj de 10 MHz disponible en todos los módulos.
- Una señal de disparo (Star Trigger) con un retraso de propagación menor a 5 ns y un retraso Inter-módulo menor a 1 ns.
- Bus de disparo PXI a través del cual los módulos pueden recibir y pasar las señales de disparo y temporización de alta velocidad.
- Bus local entre módulos adyacentes capaz de conducir señales digitales y analógicas de alta velocidad.

Mecánicamente, el chasis es robusto y confiable, diseñado para entornos industriales, y dotado de una fuente de alimentación y sistema de enfriamiento.

El chasis de bajo costo PXI 1002 tiene cuatro ranuras PXI, es compacto y muy adecuado para aplicaciones embebidas. En la tabla C-1 se enlistan algunas características de este equipo.

Tipo de ranuras	4 ranuras (3U PXI, 3U CompactPCI)
Sistema de Enfriamiento	Por aire forzado
Especificaciones	PXI y CompactPCI
Diseño mecánico	Acorde a IEEE 1101.10
Fuente de poder	170 W con entrada AC
Rango de temperatura de operación	0 a 50 °C
Nivel de vibración soportado	Básico

Tabla C-1. Características del chasis PXI-1002.

C.2. PXI 8176 RT

Controlador embebido que integra un procesador Pentium III con periféricos estándar y extendidos además de componentes en una sola unidad modular, conservando libres el resto de ranuras del chasis respectivo para módulos de medición, comunicación, etc. Con este arreglo, el disco duro, la unidad de floppy, y un puerto GPIB están montados directamente en el módulo y es posible instalar y remover la unidad entera intacta.

Procesador	Pentium III
Máxima tasa de ciclos PID simples	40 kHz
Conectividad de Ethenet	100BaseTX/10BaseT
Puertos seriales	2
Puertos GPIB	1
Memoria no volátil	Disco duro 20 GB Ultra DMA
DRAM	512 MB SDRAM máxima
Watchdog	Configurable por software
Nivel de Shock y vibración soportado	Básico

Tabla C-3. Características del controlador PXI 8176.

C.3. PXI 8421/4

El Estándar Recomendado 485/422 (RS-485/422) define características eléctricas de sistemas de comunicación serial asíncronas entre computadoras. La tarjeta PXI 8421/4 es la interfaz entre el procesador y periféricos seriales; en la tabla C-3 se detallan sus principales características.

Bus	PXI
Puertos	4 puertos RS-485/422
Tamaño de Buffer FIFO	64 B (Bytes)
Máxima tasa de transferencia:	460.8 kb/s
Compatibilidad de señales:	Solo RXD, TXD, GND, RTS y CTS
Conector:	rj45
Protección ESD de las líneas de datos (HBM):	2 kV
Aislamiento	Sin aislamiento
Corriente típica (+5 VDC):	700 mA
Corriente máxima (+5 VDC):	1.3 A

Tabla C-3. Características de la tarjeta de interfaz serial PXI 8421/4

C.4. PXI-2503

Tarjeta Multiplexora o de Matriz de 24 canales de bajo voltaje para conectar numerosos puntos de prueba a instrumentos.

Los módulos de switches de propósito general consisten de relevadores múltiples, independientes y aislados. Son usados comúnmente para controlar dispositivos tales como motores, ventiladores, calentadores y lámparas.

Los módulos de switches multiplexores son útiles para expandir la capacidad de canales de un dispositivo de un solo canal. Son usados comúnmente para conectar multímetros digitales o digitalizadores a muchos puntos de medición, o bien, una fuente de señal a varios puntos para su excitación.

Los módulos de switches de matriz permiten conectar cualquier renglón con cualquier columna, de manera simple o en combinación. En la tabla C-4 se muestran las especificaciones del módulo de switches PXI 2503.

CARACTERISTICAS DE ENTRADA	Voltaje de entrada:	Canal a canal:	30 Vrms/60 VDC
		Canal a tierra:	30 Vrms/60 VDC
	Voltaje de switcheo máximo diferencial o absoluto	AC	30 Vrms
		DC	30 VDC
	Corriente de switcheo máxima diferencial o absoluta	30 VDC (carga resistiva)	1A
Potencia de switcheo máxima por canal	diferencial o absoluta	30 W	
Resistencia de pistas		< 1 Ω	
CARACTERISTICAS DE TRANSFERENCIA	Offset térmico		< 2 μ V
	Frecuencia máxima, ancho de banda de 3 dB, terminación de 50 Ω	Peor caso	10 MHz mínimo
	Aislamiento canal a canal (dos hilos), terminación 50 Ω	10 kHz	>100 dB
		100 kHz	>80 dB
1 MHz		>55 dB	
	10 MHz	>30 dB	
CARACTERISTICAS DINAMICAS	Velocidad de operación		100 operaciones/segundo
	Tiempo de operación de 1 relevador (20 °C)		3ms típico
			5ms máximo
	Tiempo de liberación del relevador (20 °C)		1.5ms típico,
			5ms máximo
Vida esperada (a 120 cpm)	mecánica (tasa de 3 Hz)		5×10^7 operaciones
	eléctrica a máxima carga		2×10^6 operaciones
BUS DE DISPARO PXI	Tipo de Interfaz:		esclavo
	Líneas de disparo		8
	disparo estrella		1
REQUERIMIENTOS DE POTENCIA	5 VDC		370 mA típica
			700 mA máxima

Tabla C-4. Especificaciones del módulo de switches PXI 8421

C.5. FieldPoint 1001

El módulo FP-1001 es la interfaz de red entre un banco con módulos de entrada/salida y una red serial estándar. El módulo FP-1001 puede conectar hasta 9 bancos de entrada/salida a la red serial. Es posible poner en red hasta 25 módulos de red en una sola red RS-485. Maneja la comunicación con la computadora anfitriona y provee funciones de diagnóstico y configuración.

RED	Puertos seriales	1 RS485
	Baud Rate	Seleccionable 300, 1200, 2400, 9600, 38400, 57600, 115200 bps
	Parámetros de comunicación	1 bit inicio, 8 bits de datos, 1 bit de paro, sin paridad
	Integridad	Verificación estándar de Optomux
	Máxima distancia	1200 m
	Aislamiento	Ruptura 2300 V rms
CONSUMO DE POTENCIA		1 W + 1.15 por módulo I/O
SEGURIDAD		EN 61010-1, IEC 61010-1, UL 3121-1, UL 61010C-1, CAN/CSA C22.2 NO. 1010.1

Tabla C-6. Características del módulo FP 1000.

C.6. FieldPoint AI-111

Módulo de entrada de señales de corriente que entrega valores escalados proporcionales a la señal de entrada con las especificaciones que aparecen en la tabla C-6.

CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA	Canales	16	
	Conversión A/D	Delta-sigma con filtro pasabajas en cada canal	
	Resolución	16 bits	
	Filtrado	50, 60, 500 hz	
	Rangos de Entrada		0 a 20 mA
			4 a 20 mA
			±20 mA
	Periodo de actualización	Con filtro 50 Hz	1.23 ms
		Con filtro 60 Hz	1.05 ms
		Con filtro 500 Hz	0.29 ms
	BW señal entrada	Con filtro 50 Hz	13 Hz
		Con filtro 60 Hz	16 Hz
		Con filtro 500 Hz	130 Hz
	Impedancia de entrada	100 Ohms	
Ruido de entrada	+/- 1 LSB		
Error de offset (25 °C)		1 µA típico	
		10 µA máximo	
Error de ganancia (25 °C)		0.04 % típico	
		0.20 % máximo	
VOLTAJE DE AISLAMIENTO	Transitorio	2300 V rms	
	Operación	250 V rms	
	Canal a canal	Sin aislamiento	
CONSUMO DE POTENCIA		350 mW	

Tabla C-6. Especificaciones FP-AI-111

C.7. FieldPoint DI-330

Módulo de entrada de señales digitales. En la tabla C-7 se muestran sus características.

CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA	Canales	8
	Límite de corriente de entrada	1.5 mA
VOLTAJE DE AISLAMIENTO	Transitorio	2300 V rms
	Operación	250 V rms
	Canal a canal	Sin aislamiento
CONSUMO DE POTENCIA		200 mW

Tabla C-7. Especificaciones FP-DI-330.

C.8. Bases de terminales FieldPoint-TB

Son las bases de conexiones de los sistemas FieldPoint. Cuando están instaladas forman un bus local que lleva información y energía a los módulos de entrada/salida además de proveer terminación de las señales. La base TB-1 es de propósito general, mientras la TB-3 es isotérmica, para mejorar la estabilidad de la lectura de termopares.

INSTALACIÓN	Calibre de alambre	16-26 AWG
	Par	0.5 -0.6 N
V MAX. DE OPERACIÓN	Canal a tierra	250 V
	Canal a canal	Depende del módulo I/O
ADICIONALES	Termistor para Compensación de temperatura de referencia	Incluido

Tabla C-8. Especificaciones Bases de terminales para módulos FieldPoint.

C.9. FieldPoint TC-120

Módulo de entrada para lectura de temperatura que recibe señales generadas por termopares, las mide y linealiza para entregar valores escalados. Las características de este equipo de enlistan en la tabla C-9.

CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA	Canales	8	
	Conversión A/D	Delta-sigma con filtro pasabajas en cada canal	
	Resolución	16 bits	
	Filtrado	50/60 hz	
	Tipo de entrada	Termopar Tipos: J, K, N, R, S, T, W, B, milivoltaje	
	Rangos válidos de temperatura	J	-210 a 1,200 °C
		K	-270 a 1,372 °C
		R	-50 a 1,768 °C
		S	-50 a 1,768 °C
		T	-270 a 400 °C
		N	-270 a 1,300 °C
		E	-270 a 1,000 °C
	B	40 a 1,770 °C	
	BW señal entrada	3 Hz	
	Periodo de actualización canales	1.13 s	
	Impedancia de entrada	20 M Ohms	
	Corriente de entrada	35 nA típica, 140 nA máxima	
	Protección sobrevoltaje	+/- 40 V	
	Voltaje de modo común referenciado a tierra aislada	1 V	
	Ruido de entrada	+/- 1 LSB	
	Compensación	Vía termistor de la base de terminales	
	Exactitud Temp de compensación	0.25 °C típica, 0.5 °C máxima	
	Error de ganancia (25 °C)	0.01% típico 0.03% máximo	
Linealización	Por microcontrolador al Estándar NIST-90		
Opciones de escalamiento	Temperatura (°C, °F, K) o mV		
Autodiagnóstico	Termopar abierto		
VOLTAJE DE AISLAMIENTO	Transitorio	2300 V rms	
	Operación	250 V rms	
	Canal a canal	Sin aislamiento	
CONSUMO DE POTENCIA		350 mW	

Tabla C-9. Especificaciones FP-TC-120

ANEXO D GLOSARIO

A

Acondicionamiento de señal	Etapa de manipulación de una señal analógica previa a la etapa de digitalización que consiste esencialmente de amplificación y filtrado.
Acoplamiento de impedancias	Correspondencia de las características de impedancia de una línea de transmisión o un circuito eléctrico a las características de otro al cual se habrá de conectar.
Alumel	Aleación (95% níquel, 2% manganeso, 2% aluminio, 1% silicio) con propiedades termoeléctricas empleado para la elaboración de termopares tipo K.
Aplicación embebida	Programa ejecutable que se ejecuta en hardware dedicado.
Arreglo	Conjunto de variables del mismo tipo de datos.
ASCII	American Standard Code for Information Interchange.

B

Backplane	Tarjeta posterior. Se refiere a una tarjeta de circuitos principal montada verticalmente en la parte trasera de un gabinete o chasis.
Banco FieldPoint	Conjunto de módulos FieldPoint que consta de por lo menos un módulo controlador o de comunicaciones y hasta nueve módulos de entrada/salida.
Baud	Número de veces que cambia el estado del medio de transmisión en un segundo. Como cada cambio de estado puede afectar a más de un bit de datos, la tasa de bits de datos transferidos (por ejemplo, medida en bps) puede ser superior a la correspondiente tasa de baudios.
Baud Rate	Velocidad de transmisión en Bauds por segundo.
Bit	Unidad mínima de información digital que puede ser tratada por un procesador. Proviene de la contracción de la expresión binary digit (dígito binario).

bps	Bits por segundo. En comunicaciones asíncronas, medida de velocidad de transmisión de datos.
Bus RS-485	Medio de transmisión del estándar RS-485. Está constituido por 4 alambres para el modo de transmisión full duplex, o bien, por 2 alambres en el modo de transmisión half duplex.
Byte	Octeto de bits que representa un carácter.
C	
Canal de entrada	Terminal o alambre desde el cual se lee una señal.
Características estáticas	Conjunto de características de comportamiento de un instrumento cuando opera en estado estable dentro de las que se encuentran: error, precisión, sensibilidad linealidad, umbral, resolución, rango, gama, histéresis y legibilidad.
Circuito de control	Estructura general de un sistema de control con realimentación que incorpora tres elementos principales: elemento primario o sensor, controlador y elemento final o actuador.
Cluster	Tipo de datos en LabVIEW que consiste de elementos ordenados no indexados, los cuales pueden pertenecer a cualquier tipo de datos.
Código de línea	Codificación en tramas de datos digitales a través de un canal de transmisión banda base.
CompactPCI	Una configuración Eurocard del bus PCI para aplicaciones industriales.
Componentes ligeros	En una mezcla, los compuestos más volátiles.
Componentes pesados	En una mezcla, los compuestos menos volátiles.
Comunicación serial asíncrona	Tipo de comunicación en la que tanto el transmisor como el receptor tienen incluido el reloj de sincronización de tal forma que no se transmite a lo largo de la línea de comunicación.

Controles	Objetos del panel frontal de LABVIEW que sirven de entrada de datos a un programa.
Controles Activex	Una forma especial de Automation Object, similar a los controles personalizados de Visual Basic, pero su arquitectura está basada en OLE.
Cromel	Aleación (90% níquel, 10% cromo) con propiedades termoeléctricas empleado para la elaboración de termopares tipo K.
Cuantización	Proceso de limitar la amplitud de una señal analógica a un número finito de niveles. El método más común de cuantización es el uniforme en el cual todos los niveles iguales. El número de niveles es una potencia de 2 ($M = 2^n$, donde M es el número de niveles y n es el número de bits).
Curva de calibración	Curva generada durante el proceso de calibración de un instrumento contra un patrón en la que se grafica el valor leído contra el valor patrón y que permite identificar las características del instrumento.
Ch	
Checksum	La suma de un grupo de valores de datos. Usualmente transmitido con datos para asistir en detección de errores.
D	
Daisy Chain	Cadena en margarita. Método para conectar varios dispositivos a lo largo de un bus y controlar las señales de cada uno de ellos.
DAQ	Data Acquisition. Proceso de obtener datos en formato digital, típicamente de canales de entrada con convertidores analógico – digital o de entradas digitales.
Datsocket Transfer Protocol	Protocolo sobre TCP/IP de National Instruments útil para transferir datos cambiantes de mediciones que están distribuidos a través de una red de Internet.
dB	Decibel.

Destilación	Proceso de separación de una mezcla de dos o más componentes con diferentes puntos de ebullición.
Destilación diabática	Variante del proceso convencional de destilación que consiste en aportar y retirar calor dentro de una columna de destilación a diferentes temperaturas.
Destilado	Compuesto separado de una mezcla a partir de la condensación de vapor.
Determinismo	Cualidad de un sistema de hardware y software de garantizar una respuesta a eventos externos en un tiempo dado y encajar con lineamientos de tiempo cíclicos y predecibles.
Direccionamiento	Acción de hacer referencia a un recurso de hardware en una red empleando para ello su dirección.
Dirección IP	Dirección de 32 bits definida por el Protocolo Internet en STD 5, RFC 791. Serie de caracteres, numéricos o alfanuméricos, que identifican un determinado recurso de forma única y permiten acceder a él.
Dirección RS-485	Serie de caracteres numéricos o alfanuméricos, que identifican un determinado recurso de forma única y permiten acceder a él en una red RS-485.
Disparo	Estímulo externo que inicia una o más funciones en un sistema, usualmente empleado como señal de sincronización para ser compartida por distintos recursos de hardware.
Driver	Software que controla un hardware específico.
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación.
E	
Efecto capacitivo	Propiedad de un sistema de modificar su capacitancia eléctrica en función de otra variable.
Ejecución dinámica de VI's	Técnica de programación que busca evitar sobrecargar la memoria de programa de procesador mediante la llamada a un código de manera que éste sólo se carga en la memoria del procesador cuando va a ser utilizado y se elimina una vez culminada su ejecución.

Estado de canales de entrada	Condición booleana de operabilidad en canales de entrada de señales que indica si un canal se desempeña adecuadamente o no.
Ethernet	Tipo de Red de Área Local (LAN). Puede conectar hasta 1024 nodos a 10 Megabits por segundo (Mbps) sobre cables de par trenzado, coaxial o fibra óptica. Basado en el estándar IEEE802.3. Las nuevas versiones de Ethernet se conectan a 100 Mbps y 1 Gigabits por segundo (Gbps).
Eurocard	Formato que define características mecánicas y eléctricas para tarjetas electrónicas en sistemas modulares.
F	
FieldPoint	Familia de productos industriales de módulos entrada/salida de National Instruments.
Firmware	Programa grabado permanentemente en memoria ROM o EEPROM.
FP	FieldPoint.
FTP	File Transfer Protocol. Protocolo que transfiere archivos sobre Internet.
H	
Hardware dedicado	Sistema digital diseñado para ejecutar exclusivamente procesos determinados y específicos.
HART	Highway Addressable Remote Transducer. Sistema de comunicación industrial que consiste de transmisión digital mediante una señal de frecuencia modulada (FSK) superpuesta a una señal analógica de 4 a 20 mA.
I	
IEC	International Electrotechnical Commission.
IEEE	Institute of Electric and Electronic Engineers.

Incondensables	Gases presentes en una mezcla de dos fases que no son susceptibles a licuarse debido a las condiciones físicas del medio.
Indicadores	Objeto del panel frontal de LABVIEW que despliega una salida.
Instancia de LABVIEW	Modalidad que hace referencia de computadora, Sistema Operativo, y versión de software en el que se ejecuta un programa de LABVIEW.
Instancia Local de LabVIEW	Instancia de LABVIEW de un sistema en red tomada como referencia.
Instancia Remota de LabVIEW	Instancia de LABVIEW localizada en una red en relación a otra local tomada como referencia.
Intercambiador de calor	Dispositivo tubular con forma de “s” diseñado para procurar la transferencia de energía entre dos corrientes de fluido.
Interfaz de usuario	Programa de PC que permite la interacción entre un sistema digital y el usuario final de una aplicación.
IP estático	Dirección IP definida por el administrador de una red que no es modificada continuamente.
ISA	Instrument Society of America.
J	
Juntura	Unión por fundición de dos metales disímiles para la elaboración de termopares.
L	
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbenck. Lenguaje de programación gráfico orientado a aplicaciones de medición y control.
LabVIEW Real Time	Versión de LabVIEW destinada a ejecutarse en hardware dedicado bajo un Sistema Operativo de Tiempo Real.

OLE	Object Linking and Embedding. Sistema de servicios que provee medios para la interoperabilidad e interacción de aplicaciones.
OPC	OLE para control de procesos. Una estándar industrial de interfaz abierta que provee interoperabilidad entre dispositivos de campo, sistemas de control, automatización y sistemas de administración de negocios. Está basado en Activex, OLE, COM y DCOM.
Optomux	Protocolo de comunicación industrial que emplea la familia FieldPoint.
P	
Panel frontal	Interfaz de usuario interactiva de un VI.
Par	Momento aplicado a una fuerza rotacional.
Parámetros de red RS-485	Parámetros que definen aspectos físicos y lógicos de una red RS-485 con módulos FieldPoint. Incluyen el número del puerto RS-485 donde comienza la red, la velocidad de transferencia, tiempo de latencia, y direcciones de módulos específicos.
PC anfitriona	En un Sistema de LabVIEW RT, Computadora Personal que sirve de interfaz de usuario y sistema de desarrollo de aplicaciones.
PCI	Peripheral Component Interconnect. Un estándar de la industria para un bus de datos de alta velocidad.
Plataforma de ejecución	Conjunto de hardware y sistema operativo bajo el cual se ejecuta un programa.
Plato de contacto	Superficie plana que divide una columna de destilación en una serie de etapas. Tiene por objeto retener una cierta cantidad de líquido en su superficie, a través de la cual se hace burbujear vapor.
Plato diabático	Plato de contacto que tiene incorporado un intercambiador de calor para forzar una transferencia de calor adicional y controlada.
PLC	Progammable Logical Controller.

Principio de diafragma	Medio para medición de presión de un fluido basado en la deformación de un diafragma de material flexible.
Prioridad de Tiempo Crítico	En un sistema de tiempo real, máxima jerarquía de preferencia de ejecución que puede atribuirse a una tarea.
Productos de fondo	Mezcla de componentes pesados localizados en la base de una columna de destilación.
Programático	Característica que implica la capacidad de realización de una actividad mediante su codificación en un programa.
Protocolo de comunicación	Secuencia exacta de bits, caracteres y códigos de control empleados para intercambiar información entre computadoras y periféricos a través de un canal de comunicaciones.
Publicador	Elemento de un sistema cliente servidor que deposita datos en el servidor para dejarlos a disposición de otros clientes.
PXI	Sistema robusto abierto para instrumentación modular basado en CompactPCI, con características mecánicas, eléctricas y de software especiales.
PXI RT	PXI que tiene cargado un Sistema Operativo de Tiempo Real.
R	
Reflujo	Porción de condensado que se reintegra al interior de una columna de destilación.
Rehervidor	Fuente térmica encargada de proveer la energía necesaria para provocar la ebullición de un compuesto de una mezcla a destilar.
Resistores de terminación	Elementos resistivos que se colocan al inicio y final de una línea de transmisión de datos eléctrica a fin de acoplar impedancias.

RS-485	Estándar de comunicación serial, diferencial de topología multipunto con alta inmunidad al ruido.
RTOS	Real Time Operating System. Sistema Operativo de Tiempo Real.
Ruta	Secuencia de caracteres que definen la ubicación de un archivo en una máquina o a través de una red.
S	
Servidor	Computadora que ejecuta uno o más programas simultáneamente, con el fin de distribuir información a las computadoras que se conecten con ella para dicho fin. Computadora que suministra espacio de disco, impresoras u otros servicios a máquinas conectadas con ella a través de una red.
Sistema de comunicación industrial	Red de comunicaciones digitales estandarizadas usadas en aplicaciones de automatización industrial.
Sistema de Control	Conjunto de elementos que interactúan para mantener una variable física u otra propiedad de un sistema en un punto de referencia deseado
Sistema de Control y Adquisición de Datos	Sistema de Control que contempla el monitoreo y registro de múltiples variables de interés de proceso.
Sistema de Desarrollo Anfitrión	En LabVIEW RT, el sistema comprendido por una PC anfitriona y software de desarrollo y comunicación que permite la creación de aplicaciones que serán ejecutadas por hardware dedicado.
Sistema dedicado	Conjunto de Hardware y Software diseñado para ejecutar exclusivamente procesos determinados y específicos.
Sistema de Tiempo Real	Conjunto de Hardware y Software que se desempeña conforme a lineamientos de tiempo real.
Sistema Embebido	Sistema electrónico que incluye un microprocesador o microcontrolador programado para desempeñar una tarea específica mediante software que no esta al alcance del usuario final.

Sistema Operativo	Conjunto de programas que se encarga de coordinar el funcionamiento de una computadora, cumpliendo la función de interfaz entre los programas de aplicación, circuitos y dispositivos de una computadora. Algunos de los más conocidos son el DOS, el Windows, el UNIX.
Sistema Operativo de Tiempo Real	Un Sistema Operativo con tiempos de respuesta determinísticos y niveles de prioridad ajustables.
Sistema PXI	Sistema modular de instrumentación del estándar PXI.
Solenoides	Actuador manejado eléctricamente. La aplicación de corriente produce el movimiento de un interruptor o palanca.
SubVI	Subprograma de LabVIEW reducido a un bloque con entradas y salidas usado en el diagrama de bloques de otro VI.
Suscriptor	Elemento de un sistema cliente servidor que toma datos alojados en el servidor.
T	
Tasa de registro	Frecuencia con la cual se escriben datos de mediciones en un archivo de almacenamiento
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol. Formato estándar para transmitir datos en paquetes de una computadora a otra. TCP se encarga de la construcción de los paquetes de datos, mientras que IP enruta los paquetes de computadora a computadora.
Temperatura de compensación	En una conexión de termopares dícese de la temperatura que se emplea para compensar el efecto del voltaje producido al conectar las terminales del termopar a las terminales del instrumento medidor de voltaje. También conocida como temperatura de unión fría.
Temporización	Cualidad de un sistema de generar señales de sincronización para ser compartidas por distintos recursos de hardware.

Tendencia histórica	Registro de comportamiento de una variable a través del tiempo.
Termistor	Sensor de material semiconductor que produce un cambio en su resistencia eléctrica como función de la temperatura. Generalmente tienen coeficiente de temperatura negativa
Termopar	Sensor de temperatura creado por la juntura de dos metales disímiles. La unión produce un pequeño voltaje en función de la temperatura (efecto Seebeck).
Tiempo real	Propiedad de un sistema en el cual los datos son procesados y generan acciones dentro de un límite máximo de tiempo. El tiempo máximo depende de las características del sistema de interés.
Timeout	Tiempo de latencia que determina cuánto tiempo esperará un dispositivo maestro de comunicación la respuesta de un dispositivo esclavo.
Tipo de termopar	Designación estandarizada que indica los materiales con los que está elaborado un termopar, puede ser: R, S, T, B, J, K, N, etc.
Topología multipunto	Estructura de conexión de sistemas digitales en la que existe un bus de datos al cual se conectan los componentes del sistema de comunicación.
Torre de destilación	Recipiente cilíndrico vertical con una entrada de mezcla a destilar por un punto intermedio de la misma y con una salida por la parte superior o cabeza para extraer vapores a condensar.
Transmisión full duplex	Modo de transmisión diferencial que permite la transmisión bidireccional simultánea.
Transmisión half duplex	Modo de transmisión diferencial que permite transmisión bidireccional pero sólo en un sentido a la vez.
Transmisor	Dispositivo encargado de recibir una señal de un elemento sensor, acondicionarla y transmitirla a través de un sistema de transmisión.

U

URL El nombre o cadena de caracteres que identifica de manera única cada sitio web.

UTP Unshielded Twisted Pair. Cable de par trenzado sin blindaje.

V

Variador de velocidad Dispositivo basado en dispositivos de estado sólido que permite modificar la frecuencia de una señal de ca a fin de controlar la velocidad de un motor de ca.

VDC Volts de corriente directa.

VI Virtual Instrument. Instrumento basado en PC que emplea adquisición digital de datos y algoritmos de software. Programa de LAbVIEW.

VI Server Servidor de aplicaciones de LabVIEW capaz de ejecutar métodos y modificar propiedades de VI's de manera programática.

Volatilidad Propiedad de un fluido que tiene que ver con su punto de ebullición relativa a la facilidad con que se evapora, respecto de otro fluido, en las mismas condiciones físicas del medio. La volatilidad relativa es una medida de la facilidad con que una mezcla binaria puede separarse por destilación.

Vrms Volts efectivos o voltaje raíz media cuadrática.

W

Watchdog Periférico de un microprocesador que se emplea para evitar que éste caiga en ciclos infinitos indeseados.

REFERENCIAS

1. Costa López, et al. *Curso de Química Técnica*, (Ed. Reverté, Madrid España), pp 43-45, (1985).
2. Oropeza Grande A et al, *Aplicación de un Sistema de Control Distribuido a un Proceso Industrial*. Tesis Licenciatura, UNAM FES Zaragoza, p 59, (1994).
3. Martínez Aguilar, R. y Torres Espinoza, M. *Estrategias básicas para el control de la composición en columnas de destilación*. Tesis Licenciatura, UNAM FES Zaragoza, pp 82-90, (1998).
4. National Instruments. *LabVIEW Real-Time User Manual*, p 1_3, (2001).
5. National Instruments. *The Measurement and Automation Catalog*, pp 144, 163, 537,(2004)
6. National Instruments. *FP-1000/1001 User Manual*, p 2_10, (2001).
7. National Instruments. *FP-1000/1001 Programmer Reference Manual*.pp 5_1-5-20, (1999).
8. <http://www.pxisa.org>
9. <http://www.ni.com>
10. National Instruments. [c]*FP-TC-120 Operating Instructions*, p 9, (2002).
11. Holman, J.P. *Métodos experimentales para Ingenieros*, (Ed. Mc Graw Hill, México), pp 8-10, 321-389, (1989).