

## DESARROLLO DE UN LABORATORIO DE SISTEMAS Y COMUNICACIONES INDUSTRIALES PARA LA MEJORA DEL PROCESO ENSEÑANZA/APRENDIZAJE

ERNESTO GRANADO<sup>1</sup>, WASHINGTON MARÍN<sup>2</sup>, OMAR PÉREZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Simón Bolívar, Dpto. de Procesos y Sistemas,  
Valle de Sartenejas, Edo. Miranda, Venezuela. e-mail: {granado; operez}@usb.ve

<sup>2</sup>Universidad Nueva Esparta, Escuela de Ingeniería Electrónica,  
Urb. Los Naranjos, Caracas, Venezuela. e-mail: mmarin@une.edu.ve

Recibido: mayo de 2009

Recibido en forma final revisado: enero de 2010

### RESUMEN

Este trabajo muestra un procedimiento para la creación de un moderno laboratorio de sistemas y comunicaciones industriales con la finalidad de mejorar el proceso enseñanza/aprendizaje. Se describe la actualización tecnológica que se le realiza a una planta piloto industrial equipada con instrumentación convencional. La modernización permite dotar a la planta con instrumentos inteligentes y herramientas tecnológicas para la enseñanza de conceptos tales como buses de campo, OPC, SCADA, control/supervisión a través de la web, comunicación inalámbrica (Bluetooth®), etc. El laboratorio desarrollado constituye un completo centro de enseñanza/adiestramiento en el área de sistemas y comunicaciones industriales. El mismo puede ser utilizado por los estudiantes de la Universidad y para el entrenamiento de profesionales.

*Palabras clave:* Buses de campo, Comunicaciones industriales, Enseñanza/aprendizaje, HMI; Laboratorio docente, Maquetas industriales, OPC.

### SYSTEMS AND INDUSTRIAL COMMUNICATIONS LABORATORY DEVELOPMENT AIMED AT ENHANCING THE TEACHING/LEARNING PROCESS

#### ABSTRACT

This paper presents a procedure for a systems and industrial communications modern laboratory development aimed at enhancing the teaching/learning process. A technological upgrade for an industrial pilot plant with conventional instrumentation is depicted. The upgrade allows us to provide the plant with intelligent instruments and technological tools for teaching concepts such as fieldbus, OPC, SCADA, web control/supervision, wireless communication (Bluetooth®), etc. The developed laboratory is a full teaching/training center in systems and industrial communications. It can be used by university students and for training professionals.

*Keywords:* Fieldbus, Industrial communications, Teaching/learning; HMI, Laboratory education, Experimental setup, OPC.

#### INTRODUCCIÓN

El ambiente operativo de la industria manufacturera y de procesos ha cambiado notablemente en los últimos años. Gracias a los avances de la tecnología y de la programación, los sistemas de control y de comunicaciones industriales se han vuelto más complejos y eficientes, y se han convertido en un factor determinante para el aumento de la productividad y la competitividad de las empresas.

Conscientes de la importancia de incluir estos temas en la formación profesional de los estudiantes de la Universidad

Simón Bolívar (USB), se desarrolló un laboratorio de sistemas y comunicaciones industriales dotado de equipos y aplicaciones necesarias para convertirlo en un laboratorio con herramientas tecnológicas tales como: fieldbus foundation (FF) (2009), OLE para control de procesos (OPC), controlador automático programable (PAC), sistema de control supervisorio y adquisición de datos (SCADA), control/supervisión a través de la Web, comunicación inalámbrica (Bluetooth®), etc. De esta manera se ha obtenido como resultado, una avanzada plataforma de enseñanza en el área de sistemas y comunicaciones industriales.

## APLICACIONES Y DISPOSITIVOS

En esta sección se hace una breve descripción de los elementos que están presentes en el laboratorio de sistemas y comunicaciones industriales. Estos permiten reflejar el vertiginoso progreso que se ha producido en los últimos años en la automatización industrial gracias al avance de la tecnología electrónica y la información. El objetivo del laboratorio es proveerle al estudiante los conocimientos teórico/prácticos relacionados con las últimas tecnologías presentes en las industrias modernas.

### Buses de campo

El viejo estándar industrial de corriente de 4-20 mA, es ampliamente utilizado en la actualidad para la comunicación entre dispositivos de campo y el controlador central. Sin embargo, este protocolo tiene sus desventajas ya que requiere que cada dispositivo disponga de su propio grupo de cables y su propio punto de conexión. La información transmitida es unidireccional y limitada, solamente la variable de proceso o la señal de control es transmitida por el conductor.

A finales de la década de los 80, se comenzaron a desarrollar dispositivos de campo inteligentes basados en microprocesadores. Estos instrumentos digitales requerían una nueva generación de redes de campo de comunicación digital. El término genérico dado a todas estas redes de comunicación digital usada en la industria es “buses de campo” que en inglés es *fieldbus*.

La comunicación digital, en comparación con la analógica, permite una mejor calidad de las señales que viajan por la red ya que éstas son menos sensibles a las perturbaciones provenientes del ambiente hostil industrial que la rodean. Además, permite implementar diferentes métodos de detección y corrección de errores. Todo esto hace que la información transmitida sea más confiable, permitiendo cubrir mayores distancias manteniendo la misma calidad de las señales. La comunicación digital es bidireccional, los dispositivos de campo pueden enviar y recibir información referente al proceso. Los instrumentos sólo ocupan el bus cuando necesitan enviar información, dejando desocupado el canal para que pueda ser utilizado por otro instrumento de campo conectado a la red.

Esta tecnología digital de bus de campo permite reducir significativamente los costos de instalación, debido a que múltiples dispositivos pueden compartir el mismo medio para comunicarse sobre la red. Se obtiene un ahorro significativo en el cableado, tuberías, conectores, bandejas, cajas de conexión, etc. Asociados a esta reducción de los materiales en el tendido de la red, se producen otros ahorros como sim-

plificación del diseño, instalación y puesta en marcha de la instrumentación y los lazos de control.

El desarrollo de los buses de campo fue inicialmente impulsado por los fabricantes de dispositivos de control. Esto trajo como resultado, la aparición en el mercado de una gran cantidad de buses de campo con diferentes protocolos de comunicación. Muchos de estos se han convertido en estándares y han sido difundidos y mantenidos por organizaciones o fundaciones sin fines de lucro. Entre los más difundidos están: ASI (AS-Interface, 2009), CAN (CAN in Automation, 2009), HART (HART Communication Foundation, 2009), Profibus (Profibus, 2009), FF (Fieldbus Foundation, 2009), etc.

Después de muchos años de tensas discusiones entre los diferentes fabricantes por la búsqueda de un único estándar de red industrial, similar a Ethernet en ofimática, y a pesar de la fuerte exigencia de los usuarios finales, aún no se ha logrado un consenso. No obstante, algunos de los protocolos, han emergido en el mercado como uno de los estándares de más alta aceptación. Este es el caso de FF.

### Fieldbus Foundation (FF)

FF es un estándar abierto de comunicación digital (IEC 61158-2), desarrollado específicamente para aplicaciones de control de procesos industriales. Permite interconectar en red, diferentes dispositivos de campo como actuadores, medidores y controladores.

La velocidad de transmisión de la señal digital sobre el bus FF, también denominado segmento H1, es de 31.25 kbits/s. Esta velocidad es aceptable para las aplicaciones de procesos industriales. La alimentación de los dispositivos se realiza sobre el mismo bus de comunicación. La señal se modula, usando la codificación Manchester bifase, sobre el voltaje DC de alimentación de los instrumentos. Este voltaje, es generado por una fuente que se coloca en paralelo en el bus, como si fuera un dispositivo de campo más conectado al segmento. El estándar FF cumple con los requisitos de seguridad intrínseca, por lo que puede ser usado en zonas peligrosas.

A diferencia de los lazos de control que emplean comunicación analógica convencional, las redes digitales como FF, requieren de la configuración y parametrización de los dispositivos para poder trabajar. La manera que define FF (2009), para la interacción uniforme entre el usuario y los dispositivos de campo, es mediante tres tipos diferentes de bloques contenidos dentro del instrumento. Estos son los bloques transductores, de recursos y de funciones.

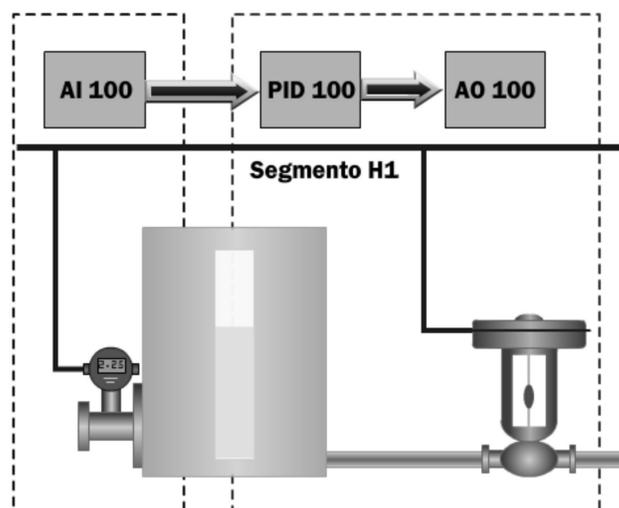
El bloque de recursos describe las características del dis-

positivo como: tipo de instrumento, fabricante, número de serie, versión del firmware, etc. Hay un solo bloque de este tipo por dispositivo. El bloque transductor es el que se encarga de “manejar” los detalles del hardware del dispositivo. En el caso de que el instrumento sea un medidor, realiza la lectura de la variable física y la envía al bloque de función, y en el caso de los actuadores, convierte el valor proveniente del bloque de función en un movimiento físico del dispositivo. Se encarga también del filtraje y escalamiento de las señales. Además, registra información importante para el mantenimiento preventivo, como por ejemplo fecha de calibración.

Para implementar las estrategias de control se utilizan los bloques de funciones. Se unen las entradas y salidas de estos bloques entre los diferentes dispositivos de campo que se encuentran en el bus. Existen varios tipos de bloques de funciones. Por ejemplo, la función típica para los medidores es entrada analógica (AI) o entrada digital (DI), para los actuadores es salida analógica (AO) o salida digital (DO) y para control de procesos el PID. Puede haber más de un bloque de función en un mismo dispositivo de campo, incluyendo el de control PID. Por ejemplo, los medidores o las válvulas, además de sus bloques AI y AO, respectivamente, pueden tener un bloque de control permitiendo que sean estos mismos instrumentos los que ejecuten internamente los algoritmos de control.

Uno de los aspectos más importantes de FF es el descriptor de dispositivos (DD). Los DD son archivos elaborados por el fabricante del dispositivo y pueden estar contenidos en los instrumentos o distribuido separadamente en un medio de almacenamiento. En ellos se describen todas las funcionalidades del dispositivo, se detallan todos los parámetros de los bloques de funciones y transductor contenidos en el dispositivo. Los DD son usados por las aplicaciones de configuración para realizar la correcta programación de los lazos de control y de los dispositivos en el segmento H1, permitiendo el uso de todas sus funcionalidades. Mediante estos archivos FF garantiza la interoperabilidad entre instrumentos ya que los fabricantes pueden incorporar características adicionales a sus dispositivos, además de las mínimas que garantiza el estándar.

La figura 1 muestra un ejemplo de un lazo de control de nivel utilizando los bloques de funciones contenidos dentro de los dispositivos de campo (el PID y el AO contenidos en la válvula de control y el AI del medidor de nivel).



**Figura 1.** Lazo de control implementado con dispositivos FF.

Como se puede apreciar en la figura anterior FF (2009) tiene la capacidad de distribuir la aplicación de control entre los diferentes dispositivos de campo conectados en la red. Esto permite que las tareas de automatización y control se encuentren sobre el mismo segmento H1, alcanzando un verdadero esquema de control distribuido. Debido a que el control puede realizarse en los mismos dispositivos de campo, sólo es necesario disponer de un instrumento medidor y uno actuador para tener un lazo de control sobre un bus FF.

La comunicación de los dispositivos FF se realiza de manera determinística, es decir, el control del acceso al bus es controlado por un gestor, que en base a una “agenda”, dictamina cuál dispositivo puede enviar información a la red en determinado instante de tiempo. Esta agenda se denomina LAS (acrónimo de Link Active Scheduler). El elemento encargado de controlar el acceso al segmento, es un dispositivo denominado maestro del segmento (LM). Aunque generalmente el LM es un controlador industrial o un PLC, también podría ser un dispositivo de campo, por ejemplo, un medidor o un actuador. Desde luego, un instrumento de campo con capacidad para ser LM tendrá un costo superior que uno sin esa característica. FF (2009), permite que exista más de un LM sobre un segmento, esto garantiza la redundancia ya que, si el LM activo deja de funcionar, otro puede tomar el control de la gestión del bus.

En un segmento FF (2009), pueden coexistir dispositivos de diferentes fabricantes. También se garantiza la interoperabilidad, es decir, es posible sustituir un instrumento de campo por uno equivalente de otra marca, y el lazo de control permanece funcionando de manera normal. Debido a que la complejidad de muchos procesos industriales, por

ejemplo, los petroquímicos, no pueden ser interrumpidos para el mantenimiento o reemplazo de dispositivos de campo, FF permite que los instrumentos puedan ser conectados o desconectados sin interrumpir la operación de la red industrial.

### **Dispositivos de campo**

En la actualidad, en el sector industrial es muy común encontrar la coexistencia de los instrumentos convencionales analógicos basados en los estándares neumáticos de 3-15 psi y de corriente de 4-20 mA, junto con los denominados instrumentos inteligentes basados en microprocesadores, especiales para ser utilizados sobre buses de campo digitales.

La instrumentación neumática dominó el ámbito industrial durante la década de los cuarenta y cincuenta. Al inicio de la década de los sesenta, la instrumentación evolucionó al estándar de corriente y a principios de los años noventa, comenzó a aparecer en el mercado la nueva tecnología de instrumentación industrial basada en microprocesadores, la cual se ha mantenido hasta la actualidad. Este microprocesador contenido en el dispositivo de campo, además de realizar las tareas de gestión del protocolo industrial de campo, permite agregarle una gran cantidad de nuevas funcionalidades al instrumento, por ejemplo, compensación de temperatura, autodiagnóstico, control local, conversión de unidades, reconfiguración de parámetros, etc.

La aceptación de cada uno de los nuevos estándares industriales, ha supuesto un lento período de adaptación, y en general ha permitido que la instrumentación precedente pueda ser adaptada a la nueva tecnología. De esta manera, podemos observar como a los dispositivos neumáticos se les pueden adaptar, conversores de presión/corriente (P/I) para el caso de los medidores o conversores corriente/presión (I/P) para el caso de los actuadores, para ser utilizados en lazos de corriente. También se les pueden adaptar módulos inteligentes de buses de campo, por ejemplo, HART, FF, Profibus, etc., para poder utilizar los instrumentos neumáticos en redes de campo digitales.

Es importante que el laboratorio de comunicaciones industriales esté provisto de diversos instrumentos de campo basados en estos diferentes tipos de tecnología. Así, los estudiantes pueden familiarizarse con el uso de cada una de ellas.

### **Tecnología OPC**

En la actualidad, el control y supervisión de procesos industriales, requiere de la interconexión y comunicación

entre dispositivos de diferente naturaleza para permitir el intercambio de información. Por ejemplo, es importante que los datos del proceso obtenidos por los instrumentos de medición ubicados en campo, puedan ser asequibles por los controladores, por los SCADA y por los sistemas donde se realiza la toma de decisiones de la industria.

El empleo de dispositivos y aplicaciones de diferentes fabricantes en un mismo proceso de fabricación, causa problemas de interoperabilidad ya que, los datos propietarios de cada equipo, tienen diferentes formatos y protocolos de comunicación.

OPC (Iwanitz & Lange, 2001) es un estándar basado en las tecnologías OLE (acrónimo de Object Linking and Embedding), COM (acrónimo de Component Object Model) y DCOM (acrónimo de Distributed Component Object Model) de Windows, y ofrece un interfaz abierto que permite un intercambio estandarizado de datos entre aplicaciones y equipos que controlan procesos de automatización. Actualmente la fundación OPC (OPC Foundation, 2009) se encarga de manejar y poner al día este estándar.

OPC permite extraer los datos de campo y comunicarlos con las aplicaciones de automatización, control y/o gerencia, por ejemplo, SCADA, DCS, ERP, etc., de manera estándar e independientemente del fabricante de hardware. Esta tecnología funciona bajo una arquitectura cliente/servidor.

El servidor OPC es una aplicación que se comunica con los instrumentos de campo, para enviar y recibir de esta información del proceso, y “sirven” estos datos a las aplicaciones OPC clientes, para que se encarguen de procesarlos. Además de la comunicación OPC local en un mismo computador, también es posible el intercambio de datos mediante esta tecnología a través de una red, permitiendo la comunicación entre diferentes aplicaciones ejecutándose en diversas computadoras.

### **Interfaz humano máquina**

Las interfaces HMI para realizar supervisión y control de las diferentes variables que intervienen en el proceso o planta, usando aplicaciones SCADA, ofrecen elevados niveles de automatización, eficiencia y optimización de la industria. Estos sistemas permiten la comunicación con los diferentes dispositivos de campo, para supervisar y controlar el proceso desde la pantalla de un computador.

Mediante una interfaz gráfica de alta calidad, el operador puede ver en tiempo real las tendencias de las variables, tener acceso al historial de las alarmas y eventos de manera de disponer de una información exacta del proceso bajo su-

pervisión y poder solucionar en tiempo real, cualquier problema mediante la ejecución de acciones adecuadas desde su puesto de trabajo frente a un computador.

Las aplicaciones HMI/SCADA más importantes que se encuentran en el mercado, además de poseer las facilidades para la comunicación con los dispositivos de campo (controladores, dispositivos de medición y actuadores), vienen con las herramientas necesarias para la fácil programación de páginas web que le permitan al usuario, realizar el monitoreo y control de todas las variables del sistema de manera remota, a través de un navegador web desde cualquier computador conectado a Internet. Así mismo, permiten desarrollar de manera simple, aplicaciones para paneles sensibles al tacto o para dispositivos móviles como PDAs o teléfonos celulares, para poder realizar las tareas de supervisión y control del proceso desde estos equipos de mano.

### Controlador de automatización programable

De la misma manera como han evolucionado los procesos de automatización y control industrial, lo han hecho también los controladores lógicos programables (PLC). De esta manera, se puede observar como los principales fabricantes de dispositivos de control han volcado sus esfuerzos en el desarrollo de los controladores de automatización programables (PAC). Estos son instrumentos electrónicos industriales de altas prestaciones, que combinan en un único equipo, la confiabilidad y robustez de los PLC y la elevada capacidad de procesamiento de los computadores.

Los PACs tienen un procesador de alto desempeño, sobre el que se ejecuta un sistema operativo en tiempo real. Sobre esta plataforma, se puede utilizar programas desarrollados en lenguajes como .NET. Además de encargarse de las E/S y las comunicaciones, soportan un servidor web integrado que permite gestionar aplicaciones a través de Internet.

En el mercado están disponibles PACs de diversos fabricantes que, además de contener el procesador convencional de alta velocidad, tienen adicionalmente un elemento denominado Arreglo de compuertas programable en campo (FPGA). Un FPGA es un dispositivo lógico de propósito general programable por el usuario, contenido en un único circuito integrado. Pueden ejecutar desde simples funciones como la realizada por una compuerta lógica hasta complejas operaciones matemáticas, según como sea su programación. Los FPGAs pueden ejecutar operaciones totalmente en paralelo, por lo que su empleo permite reducir considerablemente el tiempo de procesamiento de las operaciones lógicas realizadas en él (Hauck & DeHon, 2008). Para programar los FPGAs, se usa un lenguaje de programación especial conocido como lenguaje de descripción de hard-

ware (HDL).

Esta combinación especial de procesador convencional y FPGA, permite que estos PAC puedan ser usados para implementar estrategias de control de altas prestaciones y elevado desempeño, como controladores predictivos, robustos, basados en lógica difusa, etc.

### DESARROLLO DE MAQUETAS INDUSTRIALES

La enseñanza de temas relacionados con la automatización y las comunicaciones industriales requiere del uso de equipos reales para una adecuada comprensión de los contenidos programáticos. Para esto, se debe recurrir al diseño y construcción de plantas pilotos dotadas con instrumentos y aplicaciones a escala reducida, que dan una aproximación del equipamiento existente en las instalaciones industriales, las cuales encontrará el estudiante en el campo laboral.

En la siguiente sección, se realiza una explicación del procedimiento seguido para el acondicionamiento de una planta piloto, para trasformarla en una plataforma de enseñanza en el área de sistemas y comunicaciones industriales, dotada de las últimas tecnologías, tanto de hardware como de software, encontradas en el sector industrial.

### Descripción del sistema

La maqueta industrial corresponde a una planta hidráulica, como la que se muestra en la figura 2, la misma está ubicada en el laboratorio de Control de la USB.

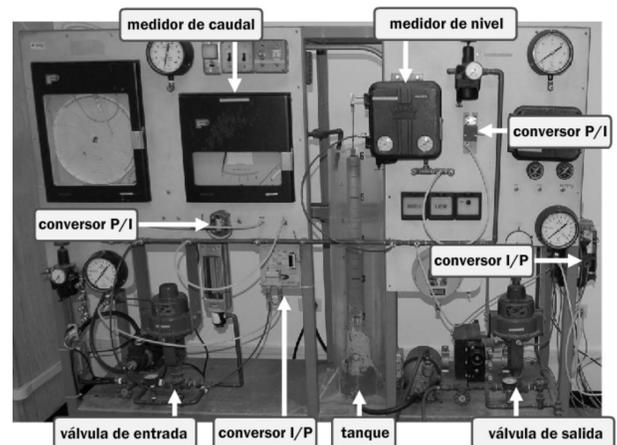


Figura 2. Planta piloto industrial para control de caudal y nivel.

La planta es un sistema multivariable que consta de un tanque, un reservorio y dos líneas de bombeo con válvulas reguladoras para manipular el flujo a la entrada y a la salida del tanque. Posee un medidor de flujo a la entrada del tanque y un medidor de nivel lo que permite realizar el control de estas variables.

Toda la instrumentación de la planta: los actuadores (válvulas), y los medidores (de flujo y de nivel) son completamente neumáticos. Posee un par de conversores presión/corriente (P/I), para transformar las señales de presión provenientes de los medidores en señales de corriente estándar (4-20mA), y un par de conversores corriente/presión (I/P) para convertir las señales de corriente (4-20mA) en señales de presión necesarias para los actuadores neumáticos de las válvulas.

### Actualización realizada a la maqueta

Para poder actualizar la maqueta industrial con tecnología FF, se le incorporó un módulo NI-FP-3000 y de los módulos de entrada/salida NI-AI-110, NI-AO-200 y NI-DO-401. Todos estos equipos de la compañía National Instrument (2009).

El FP-3000 es un dispositivo inteligente que se conecta a un segmento H1 y maneja módulos de entrada/salida, permitiendo que los dispositivos convencionales, discretos o analógicos de corriente y/o voltaje, conectados a estos, sean vistos como dispositivos FF dentro del segmento H1. El FP-3000 posee un procesador donde se ejecutan los bloques de funciones creados por el usuario, según las señales conectadas a los módulos de entrada/salida (AI, AO y DO). Estos bloques tienen funcionalidades tales como escalamiento, tendencia, alarmas, etc. Además, pueden enviar y/o recibir datos desde cualquier dispositivo FF para ser conectados de forma de hacer control distribuido.

Para conectar los instrumentos analógicos de la planta al FP-3000, se usan los módulos de entrada/salida NI-AI-110, NI-AO-200 y NI-DO-401. Los medidores de nivel y caudal (4-20 mA) se conectan al AI, las válvulas (4-20 mA) al AO y las bombas (ON/OFF) al módulo discreto DO.

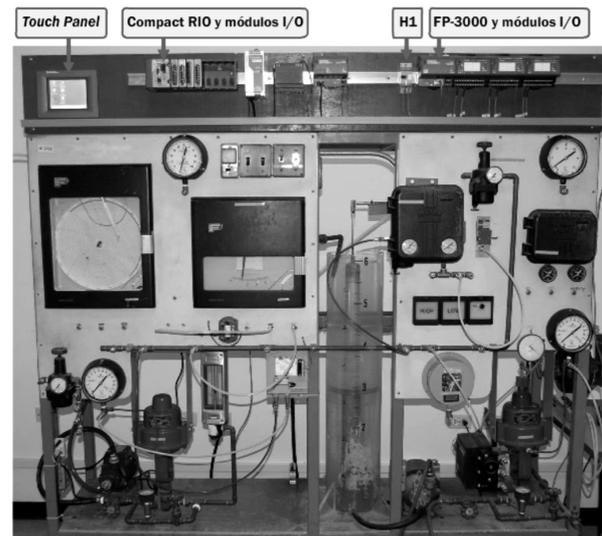
Adicionalmente se añadió un CompactRIO de National Instrument (CompactRIO, 2009), y los módulos de entrada/salida AI-NI-9203, AO-NI-9265 y DO-NI-9474. Este equipo puede conectarse directamente a los instrumentos de la planta (actuadores y medidores), a través de los convertidores de corriente/presión y presión/corriente.

El CompactRIO o PAC, es un sistema de adquisición y controlador industrial de última tecnología, que tiene un procesador en tiempo real y un FPGA. Este dispositivo permite implementar estrategias de control de altas prestaciones y elevado desempeño, que no pueden realizarse con un controlador industrial convencional o con un PLC. Este equipo será utilizado principalmente para investigación por estudiantes de postgrado o profesores, que deseen evaluar sus diseños de controladores avanzados como predictivos,

robustos o basados en lógica difusa. Para ello se aprovecha la velocidad de procesamiento del procesador de tiempo real y el FPGA que contiene el CompactRIO. La programación del PAC se puede realizar utilizando el lenguaje de programación gráfico LabVIEW 8.2 (LabVIEW, 2009) y su módulo para FPGA.

A la planta, también se le añadió un pequeño computador industrial con pantalla sensible al tacto. Este equipo trabaja con el sistema operativo Windows CE y se puede utilizar como interfaz HMI para interactuar con el CompactRIO (2009), para ello puede utilizar comunicación serial RS232 o TCP/IP. La programación de este dispositivo se hace usando el LabVIEW (2009), y el módulo para Touch Panel.

Esta maqueta industrial “actualizada” con la instrumentación electrónica mencionada anteriormente se muestra en la figura 3.



**Figura 3.** Planta piloto “actualizada” con dispositivos de última tecnología.

Para poder comunicar los dispositivos FF (2009), con un computador personal, se requiere de una tarjeta NI-PCI-FBUS. Ésta se usa para conectarse con el FP-3000 que tiene la planta. Esta computadora se constituye en una puerta de enlace dentro de la red, ya que permite comunicar por un lado el bus industrial H1 y por el otro la red Ethernet de ofimática. Esta tarjeta PCI se distribuye junto con la aplicación NI-FBUS OPC Data Access Server. Este OPC permite “servir” a la red, todas las variables contenidas en los bloques de cada uno de los dispositivos que se encuentren conectados al segmento H1.

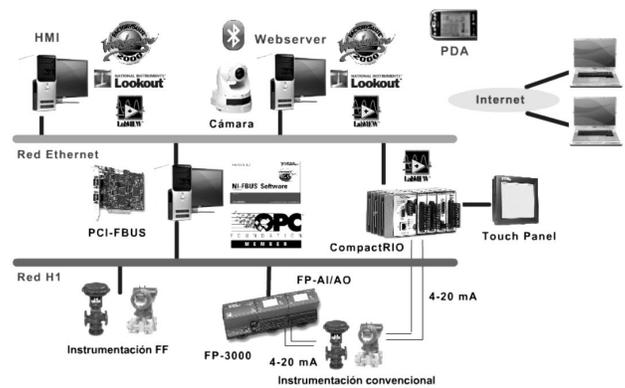
Para realizar la configuración de las estrategias de control de los lazos presentes en el sistema, se requiere el NI-FBUS Configurator (Configurator, 2009), una aplicación con interfaz gráfica, que permite configurar una red H1.

Este programa se ejecuta en el computador que posee la tarjeta NI-PCI-FBUS, y permite “ver” y configurar en línea los diferentes dispositivos conectados en el segmento H1. También permite realizar la creación y configuración de los bloques de funciones en el FP-3000, según los módulos que éste tenga conectados. De manera gráfica y mediante simples comandos de selección y arrastre, se realiza la programación de las estrategias de control. Para esto emplea los diferentes bloques de funciones contenidos en todos los dispositivos de campo conectados al segmento H1. Así mismo, la aplicación se encarga de construir la “agenda” del segmento (según la estrategia de control elaborada), la cual se “descarga” al dispositivo del segmento que se encargará de la gestión del bus, es decir, a LAS.

Un elemento indispensable en el laboratorio de sistemas y comunicaciones industriales es, una aplicación SCADA/HMI (interfaz humano máquina). En este sentido, se consiguió la donación a través de Wonderware de Venezuela del Software de Información y Automatización Industrial Wonderware (2009). Este programa es un líder mundial en soluciones de aplicaciones industriales. Dispone de las herramientas de software necesarias para desarrollar, en un tiempo relativamente breve, aplicaciones de automatización que incluyen la visualización y la comunicación vía OPC, con los dispositivos de campo. También tiene incluido un componente para servidores web que permite el control y la visualización remota vía Internet.

Adicionalmente la USB cuenta con la licencia académica del LabVIEW 8.2 (2009), el cual se instaló en las computadoras del laboratorio junto con el módulo “Datalogging and Supervisory Control” (DSC). Este módulo permite crear aplicaciones HMI en el ambiente de trabajo de LabVIEW 8.2 (2009), y al igual que el Wonderware (2009), permite la comunicación con servidores OPC y la creación de servidores web. También se instaló el módulo PDA, el cual permite que los estudiantes puedan desarrollar aplicaciones HMI para dispositivos móviles, como por ejemplo, teléfonos celulares o PDA, y puedan realizar la supervisión y control de las plantas pilotos desde esos dispositivos de mano.

Se observa cómo con los equipos instalados, se ha podido construir un “avanzado” laboratorio de comunicaciones industriales con tecnología de punta, que ejemplifica los diferentes elementos existentes en los entornos industriales. En la figura 4 se ilustran las posibilidades de comunicaciones entre los diferentes dispositivos del laboratorio para lograr una automatización integral.



**Figura 4.** Posibilidades de comunicación entre los dispositivos del laboratorio.

La arquitectura mostrada en la figura anterior permite que los datos del proceso puedan ser visualizados y manipulados en tiempo real, desde cualquier aplicación que se esté ejecutando en cualquiera de las áreas de la empresa, como por ejemplo, la sala de control o la gerencia.

#### ACTIVIDADES REALIZADAS

A través del uso de la maqueta industrial del laboratorio mencionada anteriormente, se pueden abordar diferentes temas relacionados con la instrumentación y la automatización industrial.

#### Instrumentación industrial

La planta piloto, dotada con instrumentación analógica convencional, permite a los estudiantes familiarizarse y entender el funcionamiento de los dispositivos de campo con tecnología neumática (3-15 PSI) y eléctrica (4-20 mA), que aún siguen siendo utilizados en muchas industrias. Tienen la oportunidad de realizar la calibración de estos instrumentos, lo que le permite estudiar conceptos importantes, tales como, ajuste del cero y del alcance (span), tanto en los instrumentos neumáticos como en los eléctricos.

También pueden hacer el estudio de las características de los instrumentos de campo inteligentes, pueden apreciar la significativa diferencia entre los dispositivos convencionales y los basados en microprocesador. Logran constatar las funcionalidades adicionales que es posible incorporarles a estos instrumentos, como son, la capacidad de autodiagnóstico. También, al igual que la experiencia anterior, tienen la oportunidad de realizar la calibración de los instrumentos inteligentes, lo cual se hace de manera digital usando un software y no de manera mecánica, usando un potenciómetro, como en los dispositivos convencionales presentes en la primera planta.

De esta manera, la instrumentación presente en la maqueta industrial, les brinda a los estudiantes la oportunidad de trabajar con instrumentos de campo basados en todas las tecnologías de señales de transmisión presentes en la industria, como son los dispositivos neumáticos, eléctricos y digitales. Igualmente, repasan los conceptos de medición de las variables de flujo, nivel y de la acción de las válvulas de control, que se realizan en la planta piloto.

### Comunicaciones industriales

Después de haber repasado los conceptos asociados a la instrumentación industrial, el estudiante tiene la oportunidad de realizar la configuración de un segmento H1, el cual tiene conectado dispositivos de campo compatibles con el estándar FF (2009). Esto lo realiza usando el software NI-Configurator.

Para ello los estudiantes deben crear en el FP-3000, los diferentes bloques de funciones correspondientes a cada uno de los dispositivos de campo convencionales con que cuenta la planta. Para este caso, deben crear dos bloques AI, uno para cada variable medida (flujo, nivel), dos bloques AO, uno para cada válvula de control, dos bloques AO, para controlar el encendido y apagado de las bombas de agua de cada lazo. Adicionalmente, deben crear dos bloques PID para poder realizar el control de cada uno de los lazos del sistema.

Una vez que están todos los bloques de funciones para cada uno de los instrumentos de la planta, el estudiante procede a realizar la configuración de cada uno de ellos para la correcta operación dentro del segmento H1. Seguidamente, deben proceder a realizar la configuración de los diferentes lazos de control presentes en las plantas. Finalmente, “descargan” al segmento la programación realizada.

Con esta actividad, los estudiantes además de tener la oportunidad de realizar la configuración de un segmento FF (2009), pueden verificar una de las principales bondades de los buses de campo como es, la realización del control directamente en el segmento H1, es decir, ellos constatan cómo la estrategia de control (bloques de función PID) se está ejecutando en los dispositivos de campo.

### Control supervisorio

La siguiente actividad que deben realizar los estudiantes es, desarrollar una interfaz gráfica de usuario que permita hacer la supervisión y el control de las maquetas industriales, desde cualquier computador que se encuentre en la red del laboratorio, vía web y desde un dispositivo de comunica-

ción móvil con capacidad de comunicación Bluetooth®. Esto lo deben realizar utilizando las aplicaciones de diseño de HMI/SCADA que cuenta el laboratorio: el Wonderware (2009) o el LabVIEW (2009) usando el módulo DSC.

Como se mencionó anteriormente, la computadora que se encuentra conectada a las planta mediante la tarjeta NI-PCI-FBUS, ejecuta la aplicación NI-FBUS OPC Data Access Server; este servidor se comunica con el segmento H1 y “extrae” de allí, los valores de todas las variables de cada uno de los bloques de funciones de los dispositivos de campo conectados a él y los envía a todos los clientes OPC de la red que lo soliciten. Este es el mecanismo que deben usar los estudiantes para realizar la supervisión y control del sistema. Con el software de HMI/SCADA, los estudiantes deben crear una aplicación que contenga un cliente OPC para comunicarse con los dispositivos de campo. Además, la interfaz debe tener todos los elementos que comúnmente contiene un HMI industrial para supervisión y control, como por ejemplo: despliegue de alarmas, de tendencias e históricos, capacidad de ajustar desde la computadora, los valores de referencia de los PID, etc.

Un procedimiento similar se debe seguir tanto para la elaboración de la aplicación que se ejecutará sobre el servidor web como la que servirá a los dispositivos con conexión inalámbrica Bluetooth®. Con estas aplicaciones es posible realizar la supervisión y control de la planta desde cualquier computador conectado a Internet o desde cualquier dispositivo móvil con conexión Bluetooth®. Estos servidores se deben ejecutar en una PC diferente a la que está acoplada a la planta industrial. La aplicación que se ejecuta en el dispositivo móvil o en el explorador web de la computadora remota, se comunica directamente con el servidor correspondiente y éste se conecta a las variables de la planta usando la comunicación OPC. En la figura 5 se muestran las interfaces HMI para la supervisión y control de la planta piloto, vía web y desde una PDA.



Figura 5. Interfaces HMI.

## Esquemas y estrategias de control

Los estudiantes, además de utilizar los equipos de laboratorio para la realización de las prácticas de instrumentación y comunicación industrial, pueden usar la maqueta industrial para poner en práctica sus conocimientos de diseño de controladores adquiridos en los cursos básicos de control. Ésta es un sistema multivariable con dos lazos interactuando entre sí, constituye un sistema ideal para este propósito. Los estudiantes pueden verificar el desempeño del controlador ante cambios en la referencia y ante las perturbaciones. Además, pueden ensayar diferentes esquemas de control, como cascada y adelanto, con la finalidad de comparar cada uno de los resultados.

Adicionalmente la reciente instalación del CompactRIO (2009), permite a estudiantes e investigadores poder implementar avanzadas estrategias de control, aprovechando el alto desempeño de este controlador industrial. Para la programación de este dispositivo se usa LabVIEW (2009) y los módulos de Real Time y FPGA.

## CONCLUSIONES

Para el diseño, configuración y uso de las aplicaciones y sistemas de comunicaciones empleadas en las industrias modernas, se requiere un personal altamente calificado con sólidos conocimientos sobre las últimas tecnologías en esta área. Un objetivo fundamental de la Universidad, debe ser el de formar técnicos e ingenieros con capacidades para afrontar los nuevos retos que demandan las sociedades modernas, entre ellas, las que exige el sector industrial.

La adecuada comprensión de los avanzados sistemas y comunicaciones industriales presentes en las industrias modernas, sólo puede lograrse mediante la manipulación de equipos reales. Por esta razón, es necesario que los estudiantes universitarios de las carreras técnicas o de ingeniería, puedan contar con un laboratorio equipado con modernos instrumentos y aplicaciones industriales.

Las maquetas industriales permiten recrear de manera aceptable la realidad que puede encontrarse en el sector industrial. En este sentido, es importante contar con laboratorios equipados con plantas pilotos provistas de la instrumentación para ilustrar la realidad de las industrias modernas. El trabajo mostró el procedimiento para la construcción de un completo centro de adiestramiento en el área de sistemas y redes industriales. Estas instalaciones pueden ser usadas para asignaturas electivas en las carreras de ingeniería universitaria o para el dictado de cursos a empresas nacionales.

Los avances tecnológicos permiten transformar de manera relativamente simple, viejas plantas pilotos en avanzadas plataformas industriales dotadas de aplicaciones y sistemas de última tecnología, usadas en las industrias modernas. Se mostró un procedimiento para convertir una planta piloto industrial, equipada con instrumentación analógica convencional, en una avanzada plataforma para la enseñanza de comunicaciones industriales. Este procedimiento permite evitar que los costosos equipos de laboratorios, en los centros universitarios, queden obsoletos a los pocos años de adquisición y por lo tanto dejen de ser usados por los estudiantes.

## REFERENCIAS

- AS-INTERFACE (2009). En línea. Disponible en <http://www.as-interface.net/>. Consultado el 30 de abril de 2009. s/n.
- CAN IN AUTOMATION (2009). En línea. Disponible en <http://www.can-cia.org/>. Consultado el 30 de abril de 2009. s/n.
- COMPACTRIO (2009). En línea. Disponible en <http://www.ni.com/compactrio/>. Consultado el 30 de abril de 2009.
- CONFIGURATOR (2009). En línea. Disponible en <http://www.ni.com/pdf/manuals/370514d.pdf/>. Consultado el 30 de abril de 2009. s/n.
- FIELDBUS FOUNDATION (2009). En línea. Disponible en <http://www.fieldbus.org/>. Consultado el 30 de abril de 2009. s/n.
- HART COMMUNICATION FOUNDATION (2009). En línea. Disponible en <http://www.hartcomm.org/>. Consultado el 30 de abril de 2009. s/n.
- HAUCK, S.Y., DEHON, A. (2008). Reconfigurable Computing: The Theory and Practice of FPGA-Based Computation. Elsevier Inc. s/n.
- IWANITZ, F. & LANGE, J. (2001). OLE for Process Control: Fundamentals, Implementation, and Application. Publisher Huthig Verlag Heidelberg. s/n.
- LABVIEW (2009). En línea. Disponible en <http://www.ni.com/labview>. Consultado el 30 de abril de 2009. s/n.
- NATIONAL INSTRUMENT (2009). En línea. Disponible en <http://www.ni.com/>. Consultado el 30 de abril de 2009. s/n.
- OPC FOUNDATION (2009). En línea. Disponible en <http://www.opcfoundation.org/>. Consultado el 30 de abril de 2009. s/n.

PROFIBUS (2009). En línea. Disponible en <http://www.profibus.com/>. Consultado el 30 de abril de 2009. s/n.

WONDERWARE (2009). En línea. Disponible en <http://www.wonderware.com/>. Consultado el 30 de abril de 2009. s/n.