

## WEB based process control laboratory implementation

**Edgar Chacón-Montiel, Oscar Camacho\* y Oscar Cárdenas**

*Postgrado en Automatización e Instrumentación. Universidad de Los Andes.  
Mérida, Venezuela. Tel.: 58-274-402891. Fax: 58-74-2402890.  
E-mail: ocamacho@ula.ve*

### Abstract

This paper describes the development and implementation of a "Web based Process Control Laboratory", which will be part of the curricula of the Electrical Engineering School at Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. The Laboratory uses instructional techniques throughout Web collaborative learning.

**Key words:** Laboratory, control, internet.

## Implementación de un Laboratorio de Control de Procesos Vía Internet

### Resumen

El presente artículo describe el desarrollo e implementación del "Laboratorio de control de procesos vía Internet", el cual funcionará como complemento al laboratorio tradicional de "Sistemas de Control" en el plan de estudios de la Escuela de Ingeniería Eléctrica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes, Mérida Venezuela. El laboratorio utiliza técnicas de aprendizaje colaborativo a través de Internet.

**Palabras clave:** Laboratorio, control, internet.

### Introducción

El desarrollo experimentado en los últimos años por las tecnologías de la información y comunicación ha estimulado el uso de las redes de informática en el campo de la educación con la finalidad de compartir recursos y romper barreras de tiempo y espacio. En el estudio de ingeniería, la mayoría de los cursos están sustentados en las clases tradicionales de aula y luego a las prácticas en laboratorios. Las tecnologías emergentes (software de cálculo y simulación) permiten al estudiante entrenarse previamente antes de asistir a las prácticas de laboratorios, con la ventaja de superar las dudas, acelerar el proceso de aprendizaje y proteger los equipos contra una mala operación.

Una vía para aprovechar estos medios, es proporcionar a los estudiantes instrumentos de simulación accesibles vía Internet que hacen las veces de equipos de laboratorio, así como conec-

ción en tiempo real a módulos didácticos que hacen las veces de un laboratorio. De esta forma se comparten todos los recursos instruccionales disponibles, de manera flexible de acuerdo a las necesidades del usuario. El desarrollo de "Laboratorios Remotos Accesibles Vía Internet" además de las características señaladas, permiten aumentar la matrícula de las instituciones, así como llevar el conocimiento a lugares remotos bajo la figura de educación a distancia.

El concepto de "Laboratorio Remoto" no es nuevo, existen desarrollos activos desde 1995 como el "Control System Lab" de la Universidad de Tennessee en Chattanooga (Estados Unidos de América), el "Control Laboratory" en ECOSEE University (Reino Unido), "Virtual Control Laboratory" en Bochum University (Alemania), "Laboratorio de Control" en la Universidad Técnica Federico Santa María (Chile), "Virtual Laboratory"

(Singapur), el "Laboratorio de Instrumentación en Automática" (Cuba), y así muchas más.

Esta tendencia ha estimulado la idea por incursionar en este campo dado las grandes ventajas que pudiesen ser obtenidas en su aplicación en las diferentes labores de la actividad académica, no solamente universitaria, en las cuales pueda ser utilizada. La implementación y evaluación de este trabajo está dirigido a ser usado por los estudiantes de la Universidad de Los Andes (Mérida-Venezuela), pero su alcance permitirá la implementación más allá de esta meta inicial.

Este trabajo está dividido de la siguiente manera: En la sección 2 se explican brevemente los conceptos de educación colaborativa-participativa. La sección 3 explica la arquitectura general del sistema y el software de soporte. En la cuarta parte se expone la implementación del laboratorio de control vía Internet. Finalmente se analizarán los resultados y se proporcionarán algunas conclusiones.

## 2. Educación colaborativa-participativa

A continuación se exponen las definiciones relacionadas con la educación colaborativa-participativa bajo Web, técnicas instruccionales que se aplicarán en el desarrollo de las prácticas de laboratorio.

- Educación Colaborativa es una filosofía en la cual, se estimula a un grupo de estudiantes a cooperar entre sí, en busca de la realización de una meta, en contraste con la típica competencia entre sus miembros. El objetivo de este enfoque busca integrar las ventajas y habilidades que tiene cada uno de los miembros en la solución de una tarea [1].
- Educación Cooperativa se define como un conjunto de procesos que ayuda a los estudiantes a interactuar entre sí para así lograr objetivos específicos [1].
- Educación Colaborativa - Cooperativa es un enfoque instruccional, donde los estudiantes trabajan en pequeños grupos para la consecución de una determinada meta de aprendizaje. Algunas de sus características son: Los estudiantes trabajan en pequeños grupos (2-5 personas), sus tareas

son cuidadosamente diseñadas, para que puedan ser alcanzadas por el grupo, aparece una interdependencia positiva, fruto de la cooperación entre los estudiantes. Los estudiantes son evaluados individualmente sobre su participación y aprendizaje [1].

## 3. Arquitectura del sistema

En esta sección se describen los componentes que integran el laboratorio, las herramientas informáticas (software) y el equipo (hardware).

LabVIEW® es el software, en el que se realizaron todas las aplicaciones de este proyecto. LabVIEW® es un software para el desarrollo de aplicaciones de propósito general que National Instruments ha creado para facilitar la programación de instrumentos virtuales. LabVIEW®, se encarga de gestionar los recursos del PC a través de un entorno sencillo, rápido y eficiente [2].

La arquitectura básica del laboratorio, Figura 1, consiste en un PC principal o servidor conectado y un cliente o remoto. En el PC principal reside LabVIEW® con su principal herramienta, el servidor HTTP, junto con las aplicaciones práctica virtual y práctica remota (tele operada). Por otro lado las características recomendadas del PC cliente, para un adecuado funcionamiento de la aplicación, son: Procesador de 750 MHz o superior, Memoria RAM de 256 MB o superior,

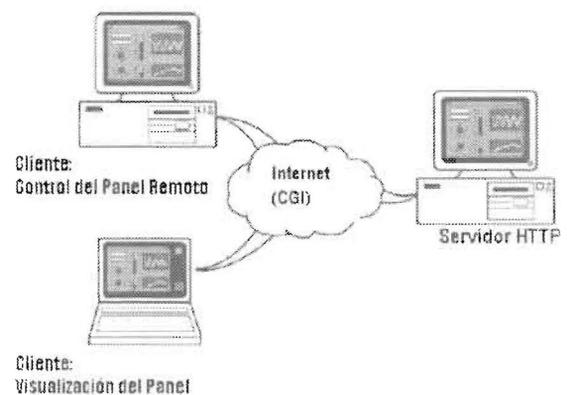


Figura 1. Arquitectura básica de un laboratorio vía Internet.

hardware que facilite las funciones multimedia (tarjeta de video, de sonido, cornetas, micrófono) y monitor VGA. Además, el Servicio de acceso a Internet debe proporcionar velocidades de transmisión superiores a los 56 kbps (banda ancha). Se aconseja utilizar la plataforma Microsoft Windows 2000® con Microsoft Explorer 6.0® o Netscape Navigator 7.0® ya que permite ejecutar las prácticas de forma local o remota. También podría utilizarse la plataforma LINUX® y el navegador Conqueror®, pero esta opción no permite el uso de los ejecutables para la realización local de las prácticas.

Para la realización de la práctica virtual, esta arquitectura es suficiente, pero para la implementación de la práctica remota se adiciona hardware de adquisición y procesamiento de datos que se describirá a continuación [2].

#### **Internet Toolkit® (National Instruments®)**

Se ha explotado la posibilidad que ofrece LabVIEW® para ejercer de servidor de Internet, permitiendo así a cualquier usuario autorizado acceder a la página Web de la Planta Piloto mediante un "Navegador" y poder visualizar en-línea el estado del proceso (variables, alarmas, etc) Figura 1.

Esta alternativa proporciona gran flexibilidad a la aplicación, al mismo tiempo que no ocasiona ningún gasto adicional, pues hace uso de la red de área local que ya está instalada, y además el tiempo de desarrollo de esta nueva funcionalidad es mínimo. La comunicación entre el usuario y la aplicación que se está ejecutando en el servidor, se realiza utilizando la interfaz o pasarela conocida como "Common Gateway Interfaz" (CGI).

#### **G. Simulation and Control Toolkit® (National Instruments®)**

Este es un bloque diseñado especialmente para facilitar la simulación de sistemas de control en LabVIEW®, ofrece facilidades tales como el desarrollo de modelos continuos, aquellos sistemas que se construyen a partir de las ecuaciones diferenciales, y que no se desean aproximar aun modelo lineal. Además, este bloque permite desarrollar algoritmos de control PID y modelos discretos.

#### **NetMeeting® (Microsoft®)**

Es una utilidad de comunicación de Windows® que habilita funciones de audio, video o chat sobre "Internet Protocol" o IP. Cada práctica de laboratorio incluye un forum de discusión, organiza para el fomento del trabajo colaborativo y el intercambio de información tanto escrita como de audio y video entre estudiantes, profesores y expertos que accedan a la práctica remota.

### **4. Implementación del Laboratorio de Control Vía Internet**

En esta sección se describen dos de las cinco prácticas que se desarrollaron y se implementaron en este proyecto. Se presentan una práctica simulada y luego una remota en la cual se usa un horno para control de temperatura.

Para llevar a cabo las prácticas, en primer lugar se debe realizar el acceso al enlace que permitirá la conexión dinámica entre el PC Servidor y la página, (<http://150.185.146.99/Zona.htm>), con el propósito de ejecutar las prácticas desde el navegador Web

En la Figura 2 se muestra el diagrama de organización de la página, esto ayuda a comprender mejor la descripción hecha anteriormente.

A continuación, Figuras 3 y 4, muestran algunas de las páginas que forman parte del ambiente Web. Figura 3 muestra la pagina principal, y la Figura 4 corresponde a la zona de descarga, donde están cada uno de los tutoriales de las prácticas, así como los ejecutables que se pueden llevar a cabo en este laboratorio.

#### **4.1. Práctica Virtual**

##### **Descripción de la práctica**

Se desarrolló la simulación de un tanque de reacción de agitación continua, a partir de las ecuaciones diferenciales [3], los datos del ejemplo se encuentran en las tutorías y podrán descargarse desde la página Web (<http://150.185.146.99/Zona.htm>). La estrategia de control implementada es un PID, el cual controlará la temperatura del tanque a través de la manipulación del flujo del refrigerante que transita por la cha-



Figura 2. Diagrama Organizativo de la Página o Portal Web.

queta. El objetivo de esta práctica es evaluar el desempeño del controlador ante cambios tanto de la consigna como de la constante de tiempo del transmisor.

En la interfaz gráfica se pueden observar los siguientes controles (Figura 5).

- Parada/arranque (de la simulación).
- Control de la acción del controlador (directa/inversa).
- Control del punto de consigna (%).
- Control de la acción proporcional (%/%).
- Control de la acción integral (s).
- Control de la acción derivativa (s).
- Control de la temperatura de alimentación al tanque (°C).
- Control de la constante de tiempo del transmisor (s).

y se pueden observar los siguientes valores.

- Salida del transmisor (TO) (%).
- Salida del controlador en (CO) (%).

- Consigna (o temperatura a fijar) (°C).

Adicionalmente puede observarse una gráfica dinámica donde puede visualizarse la variable controlada "temperatura del reactor".

#### 4.2. Práctica Remota

Para la realización de esta etapa, se utilizó un sistema de control de temperatura. La razón de esta elección, se soporta en la importancia de esta variable, ya que junto con nivel, presión y flujo, constituyen las mediciones más comunes en los procesos industriales [3].

Como todo proceso real, la arquitectura implementada cuenta con los componentes que definen a un sistema de control: proceso o planta, transductor, interfaz de comunicación, controlador, actuador y la Interfaz Humano Máquina (HMI), [4], los cuales se representan en la Figura 6 y se describen a continuación.

Los equipos reales utilizados en la implementación de la práctica remota aparecen en la Figura 7, en ella aparecen el computador personal(a), todo lo referente al interfaz de comunicación (b), el actuador (c) y el horno eléctrico (d) para llevar a cabo el control de temperatura.

##### Planta o Proceso

Se adaptó un horno eléctrico comercial de resistencias (1450 W, 120 V, 500°C máximo.) al cual se eliminó su termostato, representando así a un sistema a lazo abierto.

##### Transductor

Se utiliza un termopar tipo K, cuyo rango de medición es (-100, 1200°C). Para filtrar, linealizar y amplificar la señal proveniente de este dispositivo, se emplea el módulo "FieldPoint FP-TC-120@" National Instruments®.

##### Interfaz de Comunicación

El módulo "FieldPoint FP-1000@" de "National Instruments®" es una interfaz que trabaja por puerto serie (RS-232) y se encarga de gestionar la información entre los módulos de adquisición y procesamiento de datos y el PC. El módulo FP-TC-120@ entrega su señal al PC a través de esta interfaz. El módulo FP-PWM-520@ recibe la señal de control desde el PC por medio de la interfaz. Es evidente que el lazo de control se cierra en el PC.

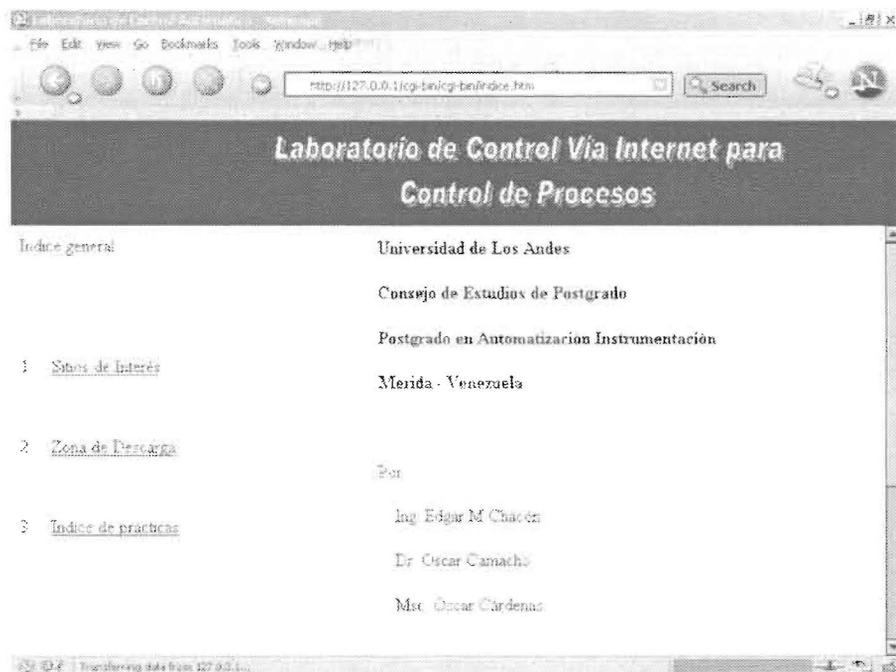


Figura 3. Página principal.

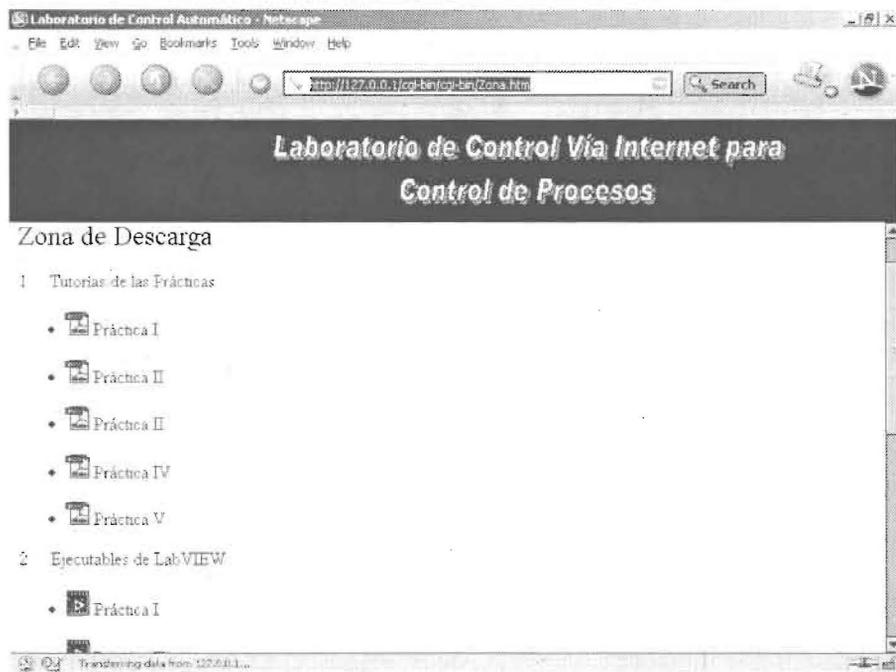


Figura 4. Zona de descarga.

### Actuador

Para regular la energía entregada a las resistencias, se recurre la técnica de modulación por ancho de pulso (PWM por sus siglas en

Ingles). El arreglo consiste en un Triac y un circuito de disparo por detección de cruce por cero lo cual define un interruptor industrial de estado sólido (Intercontinental Industries® modelo

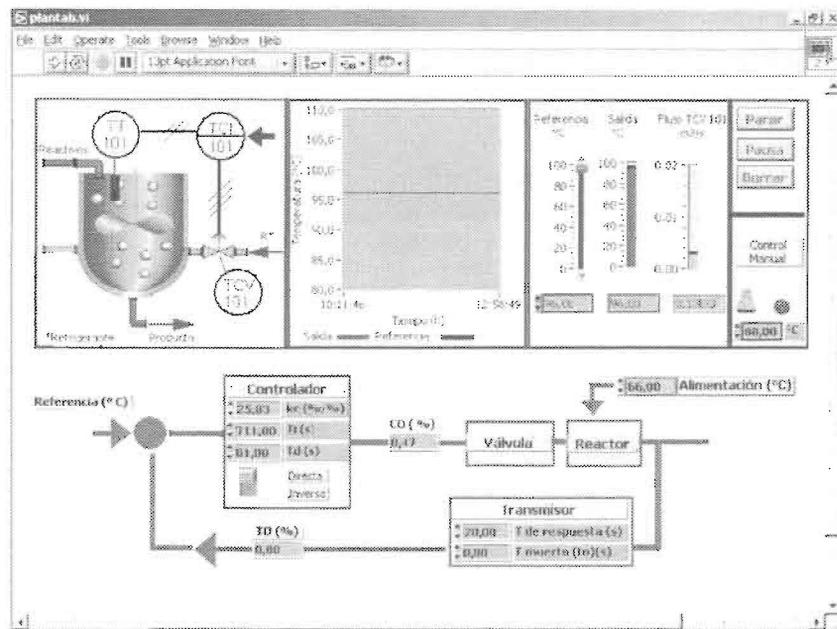


Figura 5. Interfaz de la práctica virtual.

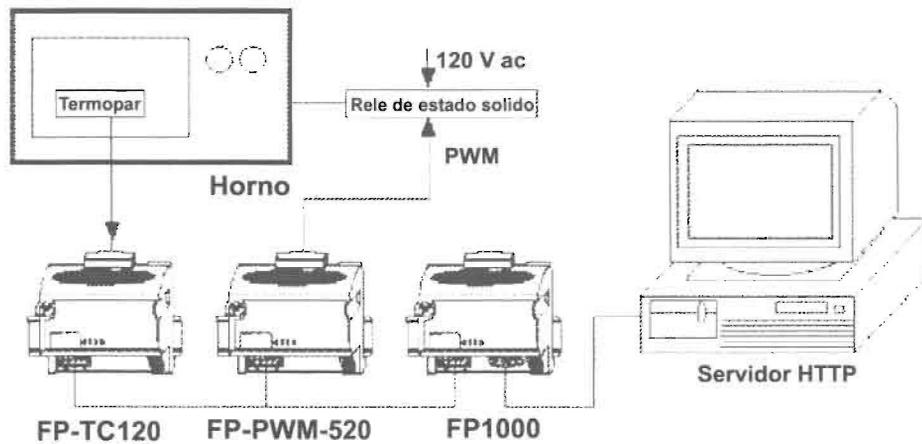


Figura 6. Ubicación de los componentes para la práctica remota.

SS-20-25), que es excitado por un generador de pulsos con ciclo de servicio variable. El ciclo de servicio es manipulado por la salida del controlador PID. El equipo utilizado para generar el tren de pulsos es el "FieldPoint FP-PWM-520®" de National Instruments®.

#### Interfaz Humano Máquina

Cuando se desea realizar la práctica localmente, el panel de control proporcionado por LabVIEW®, en el servidor, esta habilitado para interactuar con los parámetros. Si por el contra-

rio, se desea realizar una práctica remota, una página Web interactiva ofrecerá una imagen dinámica de dicho panel (Figura 8), desde donde se pueden invocar las funciones de la aplicación real a través de los comandos CGI.

#### 4.3. Descripción de la práctica

##### Prelaboratorio

Desde el sitio Web, el alumno descargará un documento de Microsoft® Excel® en donde se encuentra los datos experimentales de identifica-

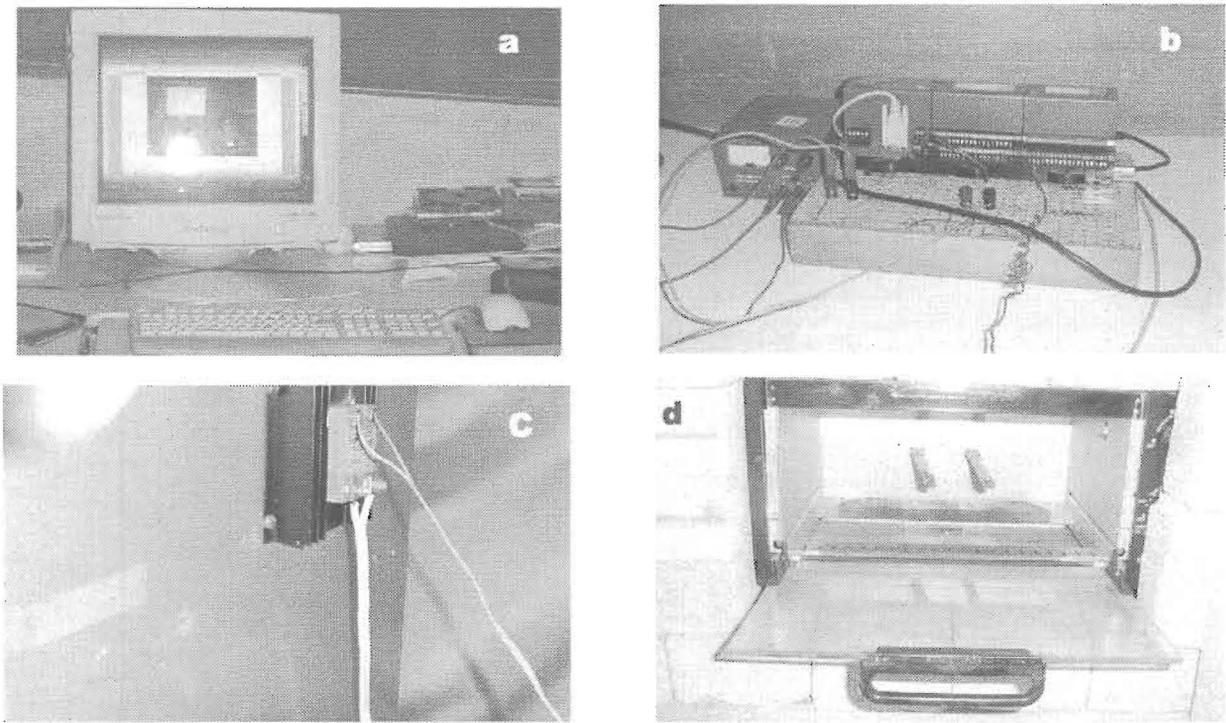


Figura 7. Equipos reales usados para implementar la práctica remota.

ción del proceso, es decir la curva de reacción real del sistema [3]. Estos datos son: base de tiempo, valor de la consigna y temperatura del horno o respuesta del sistema. A partir de esta información y con ayuda de un algoritmo desarrollado en Matlab®, el cual también se podrá descargar, el usuario deberá calcular los coeficientes correspondientes: ganancia del sistema ( $K$ ), constante de tiempo del sistema ( $\tau$ ) y tiempo muerto ( $t_d$ ).

Una vez obtenidos los parámetros de identificación, el estudiante utilizará las ecuaciones de Dahlin, o de Ziegler y Nichols [5] para calcular los valores de sintonización para un controlador PID.

#### Consideraciones Previas

Si el usuario que se conecta al laboratorio observa que el equipo (horno) está desocupado, puede comenzar a desarrollar la práctica, sin el inconveniente de coincidir con otro usuario. Si al conectarse observa que hay otro usuario, puede utilizar la herramienta conversación para preguntar sobre el progreso de las medidas y saber cuándo estará disponible. También podrá interactuar de forma amena con su profesor, o simplemente observar el desarrollo de la práctica.

Una vez que el profesor apruebe los cálculos hechos en el apartado anterior, este le suministrará la clave de acceso al experimento. Por tratarse de un sistema de dinámica lenta, el horno debe precalentarse previamente por espacio de una hora o más y estabilizarse cerca del punto de operación en modo manual. Finalmente, el estudiante ingresará a la página Web que tiene los controles y realizará las siguientes actividades:

- Utilizar el control manual del punto de consigna y buscar acercarse lo más posible al valor determinado.
- Cambiar el modo de operación de manual a automático y esperar que el sistema estabilice.

Una vez realizado lo anterior, se está listo para hacer las pruebas de desempeño, tales como: variar el punto de consigna, producir perturbaciones (abrir la puerta del horno, o variar la amplitud de la señal de potencia). Las perturbaciones serán solicitadas al técnico de laboratorio vía video conferencia (MS NetMeeting).

El estudiante puede hacer ajuste fino de los valores que obtuvo por cálculo. De esta manera se dará cuenta que el desempeño puede mejorar o

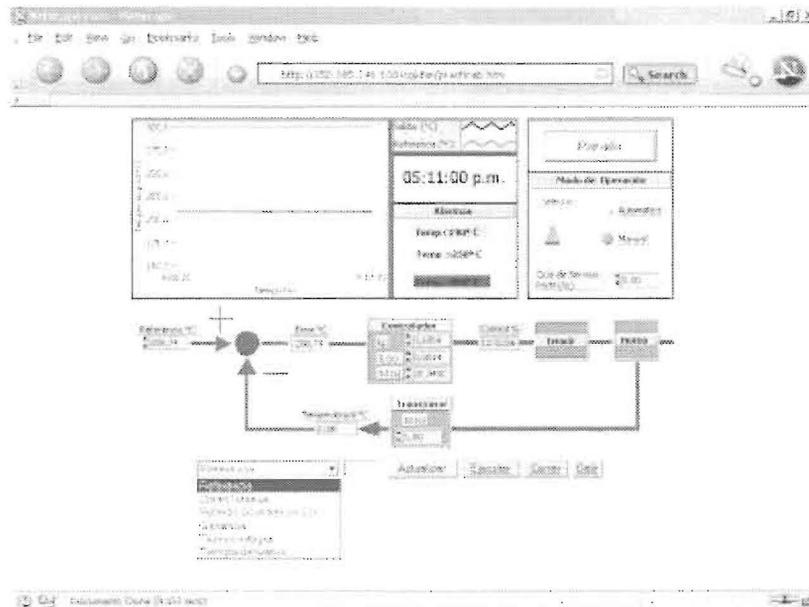


Figura 8. Interfaz de la práctica remota.

desmejorar y notar las diferencias entre un sistema real y una simulación.

## 5. Resultados

Se tomó una muestra de diez (10) estudiantes con conocimientos teóricos previos sobre sistemas de control. Esta elección se hizo para fortalecer y comprobar los principios básicos referentes a la materia. De esta forma el estudio no se ve afectado por este factor y es más objetivo.

Se evaluó la Práctica III (simulación) y la Práctica V (Tele operación del horno) en sesiones de trabajo distintas, es decir los 10 estudiantes realizaron la Práctica I y V por separado. El lugar de evaluación fué el laboratorio de computación de la Escuela de Eléctrica (Laboratorio Néstor Angulo Reina) desde el cual los estudiantes se conectaron vía Internet a la página Web de este desarrollo (Laboratorio LABIDAI). El instrumento de evaluación consistió en aplicar una encuesta, donde se le preguntó al alumno sobre aspectos de diseño de las prácticas, su utilidad y claridad de los manuales.

Del estudio realizado se observa que los alumnos valoran positivamente este desarrollo como complemento a la enseñanza tradicional, lo que hace viable su aplicación en el pensum de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Los Andes. Las sugerencias hechas por los estudian-

tes fueron consideradas y forman parte de la versión final del conjunto de prácticas del manual de laboratorio.

### Otros aspectos que se lograron:

- Al interactuar con el sistema, el alumno identificó y justificó las limitaciones que tienen los diferentes algoritmos de control PID en un sistema de temperatura.
- Las prácticas realizadas permitieron al alumno familiarizarse con tareas tales como la monitorización de procesos, cambios de puntos de consignas, diferenciar entre los algoritmos de control, etc.
- El módulo horno eléctrico sirvió para identificar los diferentes componentes de un sistema de control en montaje real.
- Las prácticas realizadas lograron evidenciar las diferencias entre el comportamiento de un sistema simulado (modelo) y el comportamiento de un sistema real.

## 6. Conclusiones

Se implementó un laboratorio remoto que sirve de complemento a la enseñanza impartida en el laboratorio tradicional de control en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Los Andes.

La utilización del laboratorio remoto ofrece una nueva posibilidad en la formación de los profesionales en Ingeniería Eléctrica, como medio de enseñanza actualizado para el aprendizaje de la asignatura sistemas de control.

### Referencias Bibliográficas

1. Kwan, F., Camacho, O., Moreno, W., Smith, C. A Cooperative/Collaborative And Web Learning Based Interdisciplinary Instrumentation Laboratory. IFAC-IBCE'01. Madrid, España. Diciembre 2001.
2. National Instrument. Labview 6i Users Manual. Austin, Texas. USA 1999.  
[www.ni.com/labview/manuals](http://www.ni.com/labview/manuals). (Revisado el 15/07/03).
3. Camacho, O., Rojas, R. Apuntes de Control. Publicaciones de la Facultad de Ingeniería. ULA 1999.
4. National Instrument. Internet Toolkit Users Manual. Austin, Texas. USA 1998.  
[www.ni.com/labview/manuals](http://www.ni.com/labview/manuals) (Revisado el 10/11/03).
5. Smith, C., Corripio, A. Principles and Practice of Automatic Process Control. Second Edition 1997. Wiley and Sons. New York.

Recibido el 23 de Marzo de 2004

En forma revisada el 05 de Octubre de 2004