

Desarrollo básico de un Laboratorio Virtual de Control de Procesos basado en Internet

Casallas Ricardo* / Chacón Rafael* / Posso Fausto**

Universidad del Táchira / Universidad de Los Andes Táchira - Venezuela / rcasallas@unet.edu.ve / rchacon@unet.edu.ve / fausto@ula.ve

Resumen

En este artículo se presenta el desarrollo básico de un Laboratorio Virtual de Control de Procesos (LavConPro) a través de Internet, basado en la filosofía cliente/servidor y desarrollado conjuntamente entre la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) y la Universidad de Los Andes-Táchira (ULA-Táchira). Los Laboratorios Virtuales son ambientes que permiten la realización de experiencias y prácticas sin necesidad de presencia física en los laboratorios reales, con las ventajas académicas, operativas y económicas que esto implica. El área del Control de Procesos es una de las más activas en el uso de esta emergente herramienta instruccional. En esta primera etapa se pretende determinar su factibilidad operativa mediante la realización de prácticas para el estudio dinámico de un sistema de control remoto de un proceso típico: un sistema de nivel de líquido. Los resultados obtenidos son satisfactorios tanto en la fase operativa como en el estudio en sí del sistema de control propuesto y auguran que LavConpro en su versión más completa contribuirá a la formación integral y actualizada del estudiante de Ingeniería de las instituciones involucradas y permitirá la realización de investigaciones conjuntas sobre esquemas de control de vanguardia.

Palabras clave: laboratorios virtuales, control de procesos, sistema cliente/servidor.

Abstract

BASIC DEVELOPMENT OF A VIRTUAL LABORATORY FOR PROCESS CONTROL BASED ON INTERNET

In this paper, we present the basic development of a Virtual Laboratory for Process Control (LavConPro) through Internet based on the client-server philosophy; in a jointly development by the Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) and the Universidad de Los Andes-Táchira (ULA-Táchira). In the first stage, we pretend to determine its operative feasibility through the completion of experiments for dynamic studies of a remote control system for a typical process: a liquid level system. The results are satisfactory in both, the operative part as well as the study of the proposed control system itself, and promise, for LavConPro in its final version, a contribution in the integral and up to date training of the engineering students of the institutions involved. Furthermore, it will help in the accomplishments of joint research on advanced control methods.

Key words: virtual labs, process control, client/server system.

Résumé

DEVELOPPEMENT BASIC D'UN LABORATOIRE VIRTUEL DE CONTRÔLE DE PROCESSUS BASÉ SUR INTERNET

Les Laboratoires virtuels sont milieux qui permettent la réalisation d'expériences et de pratiques sans besoin de la présence physique dans les laboratoires réels tout en tenant les avantages académiques, opératives et économiques que ceci implique. La zone de contrôle des processus est une des plus actives dans l'emploi de ce nouvel outil.

Dans cet article on présente le développement de base d'un laboratoire Virtuel de Contrôle des Processus (LavConPro) à travers l'Internet. Fondé sur la philosophie client/serviteur, ce laboratoire a été développé en partenariat entre l'Université Expérimentale du Táchira (UNET) et l'Université des Andes-Táchira (ULA-Táchira). Dans cette première étape, on prétend déterminer la faisabilité opérationnelle du laboratoire grâce à l'étude dynamique et pratique d'un système de télécommande d'un processus typique: un système de niveau de liquide. Les résultats obtenus dans cette recherche sont satisfaisants tant dans l'étape opérationnelle comme dans l'étude du système de contrôle et on prédit que LavConpro dans sa version la plus complète aidera à la formation intégrale et actualisée de l'étudiant en Ingénierie des institutions partenaires et il va permettre de mener à bien des recherches sur les schémas de contrôle d'avant garde.

Mots-clés: laboratoires virtuels, contrôle de processus, systèmes client/serviteur.

* Departamento de Ingeniería Electrónica - UNET - San Cristóbal - Venezuela.

** Departamento de Ciencias - ULA-Táchira - San Cristóbal - Venezuela.

INTRODUCCIÓN

En la última década el avance extraordinario de las nuevas Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), en especial Internet, y de aplicaciones computacionales tales como *LabView*® y *Java*® han generado profundos cambios de la educación en Ingeniería, propiciando el desarrollo de nuevas herramientas didácticas, estimulando el trabajo compartido e incluso cambiando la concepción clásica del proceso de enseñanza/aprendizaje, (Singh y Courtois, 1999). Un compendio bastante completo sobre las herramientas virtuales en el proceso de enseñanza/aprendizaje en Ingeniería es realizado por Ertugrul (2000), donde presentan además las tendencias en educación en Ingeniería utilizando las TIC.

Uno de los desarrollos que intentan explotar al máximo estas ventajas son los Laboratorios Virtuales a Distancia, entendidos éstos como ambientes que permiten a estudiantes autorizados y ubicados en cualquier lugar y en cualquier horario la realización de prácticas y experiencias de laboratorio sin necesidad de su presencia física en el laboratorio real, logrando compartir especialistas, equipos y sistemas con las ventajas académicas, funcionales y económicas que esto representa. Así, su aplicación será cada vez más intensa en la enseñanza e investigación en diferentes áreas de la Ingeniería, en especial en el Control de Procesos, tal como se describe a continuación.

· **Antecedentes de los Laboratorios Virtuales en el Control de Procesos**

Si bien los primeros intentos de controlar procesos en forma remota datan de hace ya veinte años (Reeve, 1998) es en la última década que su desarrollo y aplicación tanto para fines académicos como comerciales deviene en una actividad importante. Ha sido en las universidades donde se han concentrado los esfuerzos; así, la Universidad de Texas dispone desde 1996 de un Laboratorio de Control Automático para la realización de experimentos en forma local y remota, (Comer, 1996). También en la Universidad de Singapur existe un laboratorio para el estudio experimental remoto del modelado y control de un servo motor de cc, a través de una página

web (Travis, 2000). Bandari (1998), en el Laboratorio de Ingeniería de Control de la Universidad del Estado de Oregon, EE.UU., desarrolla una aplicación de aprendizaje a distancia que permite al usuario conducir remotamente experimentos. Ko (2001), también de la Universidad de Singapur implementan experimentos de control remoto para sistemas de tanques acoplados usando las estructuras de control clásicas. En el Instituto Federal de Tecnología de Suiza se ha diseñado una solución cliente-servidor multiplataforma basada en PC, destinada a estudiar sistemas dinámicos a través de Internet, (Shen, 1999). Se conocen también aplicaciones en Robótica (Robinette, 2001), Ing. Electrónica (Zimmer, 1997; Gómez et al., 2000) e Ingeniería Química, (Shin et al., 2002). Recientemente se realizó un evento internacional auspiciado por la Asociación Internacional de Control Automático (IFAC, 2001) sobre la enseñanza del control usando Internet, en este foro se trataron aspectos como laboratorios remotos y virtuales, teleoperación, realidad virtual en la enseñanza del control y otros.

En cuanto al sector industrial, National Instruments (2002) ha sido líder en el desarrollo de aplicaciones comerciales basadas en su *LabView*, tal que la opción de monitorear y controlar procesos a través de Internet ha pasado de ser una innovación de carácter experimental a una aplicación industrial, (Barreiro, 2001) siendo la industria de alimentos y bebidas la pionera en la utilización de este enfoque de control de vanguardia (Sánchez, 2001).

En Venezuela, en su ámbito nacional, no se conoce ni en el ambiente académico ni en el industrial alguna propuesta sobre el tópico en estudio. En el ámbito local se conoce el trabajo de Pulido y Serrano (2000) sobre el control remoto de procesos ubicados en el Laboratorio de Instrumentación y Control (LIC) de la UNET. Sin embargo, su alcance es limitado, ya que sólo puede ejecutarse en ambiente Windows y en una red local, tal que el propósito es mejorar esta propuesta pionera. Así, el objetivo de este trabajo es presentar la primera etapa de un Laboratorio Virtual de Control de Procesos (*LavConPro*) para la realización de prácticas mediante aplicaciones gráficas interactivas que comuniquen un servidor de datos en *LabVIEW*®, corriendo sobre cualquier sistema operativo disponible, con programas clientes desarrollados en lenguaje *Java*®

y ejecutados sobre distintos navegadores *web* estándar. Es un desarrollo basado en la filosofía de diseño *cliente/servidor* y realizado conjuntamente entre la UNET y la ULA, con el cliente ubicado en el Laboratorio de Computación de la ULA-Táchira y el servidor en el Laboratorio de Computación de la UNET.

El trabajo, que se presenta en este artículo es producto de la tesis de grado del estudiante Ricardo Casallas, la cual formaba parte de un proyecto de investigación: **Laboratorios Virtuales a Distancia en la UNET**, inscrito en el Decanato de Investigación, bajo la responsabilidad principal del profesor de la UNET Rafael Chacón Rugeles y el mismo contó con la asesoría del profesor de la ULA Fausto Pozo, experto en el área de control de procesos.

En esta primera etapa se estudió un proceso típico: un sistema de nivel de líquido, representativo de muchos procesos a escala industrial. Los beneficios a los que dará lugar la aplicación de LavConPro son de diferente índole:

- a. Didáctica, al lograr que el estudiante tenga una mejor comprensión de la dinámica del proceso al manipular el proceso en tiempo real. LavConPro le permite al estudiante modificar los distintos parámetros del controlador y observar el comportamiento real del proceso, y extraer sus conclusiones a partir de los conocimientos aprendidos en la teoría del curso, con la ventaja de poder hacerlo a distancia, en un ambiente que pueda ser más adecuado para su aprendizaje.
- b. Seguridad, los programas cliente y servidor fueron diseñados para implementar una política de seguridad, consistente en la aplicación de nombres y claves de acceso con los cuales se limita el ingreso al sistema. El uso del laboratorio está restringido por la aplicación de horarios preestablecidos de trabajo y las propiedades de cada usuario, las cuales determinan si puede controlar o sólo observar el proceso y a qué hora.
- c. Flexibilidad, el programa servidor elaborado en *LabVIEW* permite el monitoreo y control remoto de los datos generados por un proceso. Este programa cuenta con opciones para realizar el control de manera tanto local como remota, permitiendo en ambos casos la utilización de control *PID*, control *todo – nada* o control *manual*. Cuenta además con un selector que permite abrir o cerrar el lazo de realimentación en cualquier

momento. El programa servidor también permite la conexión de múltiples clientes, administrando los turnos en que dichos clientes controlan el proceso mediante una política de distribución de horas. Todos los usuarios del sistema se registran en una base de datos donde se especifica qué tipo de acceso poseen y el horario de trabajo. Esta organización permite que sólo un cliente pueda controlar el proceso a la vez, pero múltiples usuarios pueden monitorear los datos obtenidos e intercambiar opiniones al respecto gracias a un servicio interno de mensajes.

DESARROLLO DEL LABORATORIO VIRTUAL DE CONTROL DE PROCESOS

· El Proceso y su Control

El proceso consiste de un tanque cilíndrico con entrada de fluido por su parte superior y cuenta con sensores para la medición de las variables físicas de nivel y caudal (Unidad TY30A/EV). Para el acondicionamiento, control y visualización de dichas magnitudes se utiliza el panel G30A de Electrónica Venetta. En términos de Teoría de Control, la perturbación es el caudal de entrada, la variable manipulada está representada por el caudal de salida y la altura (nivel) del líquido en el tanque es la variable controlada. El esquema de control a estudiar es el clásico en realimentación de la respuesta. El programa de control de procesos elaborado utiliza la librería *GSIM* («Control and Simulation Software for G») de *LabVIEW*®.

· El Modelo Cliente – Servidor

Un servidor es un programa que presta un servicio a través de una red. Este servicio puede tener diferentes grados de complejidad y de interacción con uno o más clientes. El programa servidor se ejecutó en un computador de arquitectura PC con procesador *Intel Pentium II* de 400 MHz y 128 MB de memoria RAM. La adquisición de datos se realizó a través de una tarjeta AT-MIO-16E-1 de *National Instruments*, con 16 entradas y 2 salidas analógicas de 12 bits de resolución, 8 líneas digitales de entrada/salida y que permite una velocidad de muestreo hasta 1.25 M muestras por segundo. Todos estos equipos estuvieron ubicados en el Labo-

ratorio de Computación de la UNET, durante un periodo de 15 días, tiempo en el cual se realizaron las pruebas al software diseñado, debido a que no se disponía de Internet en el Laboratorio de Instrumentación y Control.

Un programa es un cliente cuando demanda un servicio y espera una respuesta del servidor. El programa cliente desarrollado se ejecuta desde una página web, cargada en un computador con características similares a las que alberga el programa

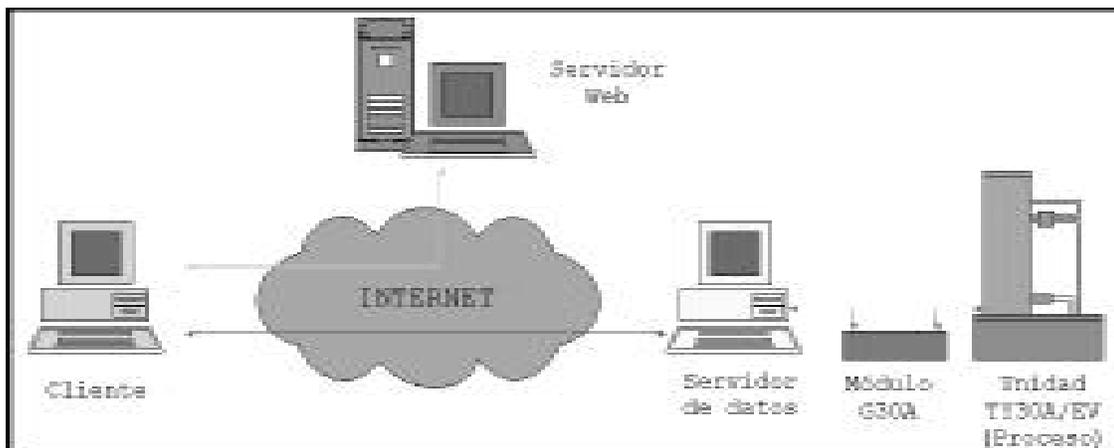
servidor. Se hicieron pruebas internas, dentro del campus de la UNET desde el Laboratorio de Computación del Decanato de Postgrado; pruebas externas, desde el Laboratorio de Computación-Investigación de la ULA-Táchira. La dirección de la página que se utilizó para las pruebas fue :

<http://mipagina.cantv.net/laboratoriovirtual/>

Un esquema del Laboratorio Virtual se muestra en la figura 1

[Figura 1]

Esquema del Laboratorio Virtual



· Política de Acceso y Servicio

1. Todos los usuarios tienen un nombre o «login» y una clave de acceso al sistema, si la petición de «login» y clave al inicio de sesión falla, la conexión es cerrada automáticamente por el servidor.
2. Las funciones administrativas como crear usuario, asignar y/o modificar sus propiedades y asignar horarios se realizan exclusivamente desde el servidor.
3. Cada usuario posee privilegios asignados por el administrador del sistema y determinan las acciones que puede ejecutar (monitoreo, control, o ambas). Dichas propiedades están especificadas en la base de datos de usuarios.
4. El laboratorio virtual tiene diferentes salas o sesiones de acuerdo al tipo de usuario. Así, la interfaz de usuario cambia dependiendo de si el usuario está registrado como profesor, estudiante o invitado.
5. Independientemente del tipo de usuario y los privilegios que éste posea, el programa servidor evi-

ta que en ningún caso el proceso controlado sea forzado más allá de su capacidad nominal. Si la variable controlada llega al límite preestablecido para el equipo, el programa de control desconecta automáticamente el controlador y coloca la variable de control en cero, manteniéndose en este estado hasta que el proceso no alcance el margen de seguridad mínimo programado.

· El Proceso de Comunicación

Se lleva a cabo en dos etapas: primero se realiza la verificación, validación y configuración inicial del cliente; si esta etapa resulta exitosa el servidor crea un nuevo evento para atender las peticiones del cliente. La segunda etapa es el intercambio constante de datos entre el servidor y los clientes.

· La Acción de Control del Sistema de Nivel

Los programas desarrollados corresponden a las acciones clásicas de control:

Está localizada en la misma dirección URL del cliente. Cuenta con una pantalla de bienvenida con opciones para acceder a las prácticas de laboratorio ubicadas por áreas (Figura 2). Estas son implementaciones diferentes del mismo *applet* cliente, la distinción se hace tan sólo para ofrecer al usuario un entorno organizado de trabajo. Tanto el monitoreo como el control se realizan en tiempo real, con un refrescamiento de pantalla de acuerdo al tamaño del buffer de datos del usuario y del tiempo de muestreo del proceso. La página *web* puede ser cargada en los principales navegadores comerciales, como el *Internet Explorer* de *Microsoft*, el *NetScape Navigator* de *NetScape Corporation* y el *HotJava* de *Sun Microsystems*, corriendo sobre distintas plataformas o sistemas operativos. La figura 3 muestra un cliente en plena realización de la Práctica 2.

• Las Prácticas

a. Práctica 1: Análisis Dinámico e Identificación de Sistemas

Objetivo: Obtener la función de transferencia del sistema de nivel.

Procedimiento:

- Ingrese al sistema usando su *login* y clave de acceso.
- Asegúrese que el lazo de control se encuentre abierto.
- Fije la ganancia del controlador en 1, varíe el *set-point* de 0 a 500 mm. Verifique que la velocidad de la bomba (controlador) varíe proporcionalmente, en caso contrario varíe la ganancia hasta lograrlo.
- Fije el *set-point* en 250 mm, espere a que el nivel se estabilice.
- Cambie el *set-point* a 400 mm y mida la curva resultante.
- Calcule la constante de tiempo. El período de muestreo es $T=0.1s$

Repita el procedimiento para dos pares de valores de *set-point*.

Post Laboratorio: Con los datos obtenidos experimentalmente obtenga la función de transferencia, compárela con una simulación de *MatLab*.

b. Práctica 2: Control Realimentado

Objetivos: Verificar el efecto de diferentes acciones de control sobre la respuesta del proceso. Determinar el modo de control óptimo para el proceso.

Procedimiento:

Parte I

- Ingrese al sistema usando su *login* y clave de acceso.
- Asegúrese que el lazo de control se encuentre cerrado.
- Aplicar el control P, observe la forma de la respuesta dinámica para tres valores diferentes de ganancia, y para variaciones en el valor deseado.
- Inserte la acción integral y observe su efecto sobre la desviación permanente.
- Observe la respuesta del sistema para tres valores de K_i con K_p constante y para variaciones en el *setpoint*.
- Inserte la acción derivativa y excluya la integral, observe la respuesta del sistema para tres valores de K_d con K_p constante ante la variación del valor deseado.

Parte II

- Utilice el criterio de diseño de Ziegler-Nichols y compare la respuesta del sistema ante cambios en el valor deseado.

PostLaboratorio:

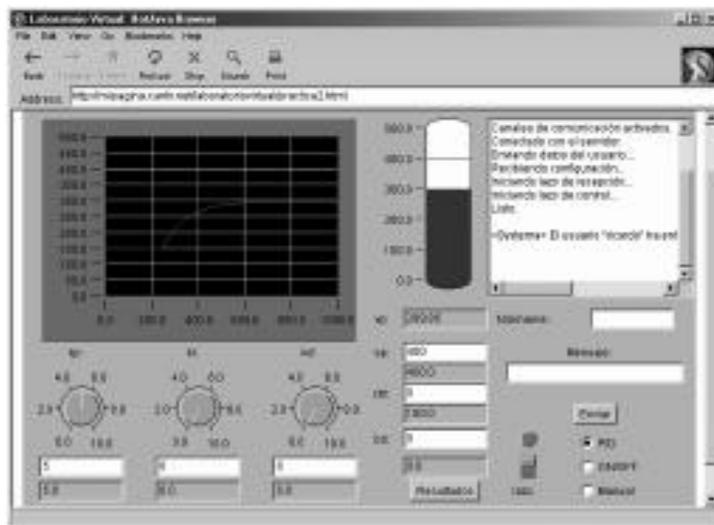
- Obtenga la respuesta dinámica para las diferentes acciones de control
- Calcule el desempeño dinámico de cada acción
- Compare y concluya respecto a la mejor acción de control y el conjunto de parámetros asociados.

RESULTADOS Y SU ANALISIS

1. En cuanto al desempeño de LavConPro

- El programa cliente se ejecutó normalmente en los navegadores comerciales.
- Los usuarios en esta etapa de pruebas fueron: el

[Figura 5]
 Acciones de control



FUENTE : PROCESO DE INVESTIGACIÓN

do estable, la desviación permanente disminuye al aumentar el valor de la ganancia proporcional tal como lo predice el análisis teórico

CONCLUSIONES

Operativamente LavConPro satisfizo las expectativas, permitiendo una continua comunicación de datos, mensajes y comandos, y con mínimos retrasos entre el servidor y los clientes, de esta manera su factibilidad de desarrollo quedó demostrada.

Los resultados obtenidos en la realización de las prácticas son consistentes con lo esperado en la Teoría de Control, mejorando la calidad del proceso de enseñanza/aprendizaje al permitir una participación activa del estudiante y sin limitaciones de tiempo y lugar.

LavConPro demostró, aún en esta etapa básica, la utilidad e idoneidad de Internet como medio ideal para propósitos de aprendizaje interactivo remoto en el área de Control de Procesos y constituye un aporte a la formación integral del estudiante de Ingeniería de ambas instituciones. La segunda etapa, en fase de diseño, pretende incluir análisis de frecuencia para identificación en línea, enlace de video cliente/servidor y el estudio de otros procesos típicos: control de temperatura, mezclado, reacción química, etc.

Referencias

- Barreiro, F. (2001). Servicios remotos para sistemas de supervisión y control. *Ingeniería Química*, 27(3), 177-182.
- Bhandari, A. (1998). Access to an instructional control laboratory experiment through the World Wide Web. En *proc. 1998 Amer. Contr. Conf.*, 1326-1329. Filadelfia, PA.
- Comer, D. (1996). *Redes Globales de Información con Internet y TCP/IP*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.
- Ertugrul N., Towards (2000). Virtual Laboratories: a survey of LabView-based teaching/learning tools and future trends. *Int. J. Eng. Ed.*, 16 (3), 1-9.
- Gómez, F. et al. (2000). A world wide web based architecture for the implementation of a virtual laboratory. *Proceedings of the 26th EUROMICRO Conference*.
- Internet Based Control Education. (2001). IFAC Workshop. Madrid-España.
- Ko, C. et al. (2001). Development of a Web-Based Laboratory for Control Experiments on a Coupled Tank Apparatus. *IEEE-Transactions on Education*, 44(1), 6.
- National Instrument. (2002). Disponible en www.ni.com/academic/distance_learning.htm.
- Pulido, G. y Serrano, C. (2000). *Monitoreo y control del proceso de una planta en LabVIEW*, a través de una página web. UNET. Tesis de pregrado en Ingeniería Electrónica (no publicada).
- Reeve, A. (1998). SCADA on the Internet. *Control&Instrumentation*, 30(5), 33.
- Robinette, M. (2001). Robot Draw, an Internet-Based visualization tool for robotics education. *IEEE Transactions on Education*, 44 (1), 29-34.
- Sánchez, J. (2001). Internet y las nuevas tecnologías en el control de procesos. *Ingeniería Química*, 27 (5), 201-205.
- Shen, H. et al., (1999). Conducting Laboratory Experiments over the Internet. *IEEE Transactions on Education*, 42 (3), 180-185.
- Shin, D., et al. (2002). A web-based, interactive virtual laboratory system for unit operations and process system engineering education: issues, design and implementation. *Computers and Chemical Engineering*, 26, 319-330.
- Singh, P. and Courtois, F. (1999). Conducting Laboratory Experiments via the Internet. *Food Technology*, 53 (9), 54-59.
- Travis, J. (2000). *Internet Applications in LabVIEW*. Prentice Hall, Inc.
- Zimmer, T. (1997). A world wide web based instrumentation pool real testing in a virtual world. *Proceedings of the International Conference on Microelectronics System Education*.