



Revista Facultad de Ingeniería
ISSN: 0717-1072
facing@uta.cl
Universidad de Tarapacá
Chile

San Martín S., César; Torres V., Flavio; Barrientos S., Rodrigo; Sandoval D., Magaly
Monitoreo y control de temperatura de un estanque de agua entre Chile y España usando redes de
alta velocidad

Revista Facultad de Ingeniería, vol. 11, núm. 1, 2003, pp. 41-46
Universidad de Tarapacá
Arica, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11411205>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

MONITOREO Y CONTROL DE TEMPERATURA DE UN ESTANQUE DE AGUA ENTRE CHILE Y ESPAÑA USANDO REDES DE ALTA VELOCIDAD

César San Martín S.¹ Flavio Torres V.¹ Rodrigo Barrientos S.¹ Magaly Sandoval D.²

Recibido el 05 de mayo de 2003, aceptado el 28 de julio de 2003

RESUMEN

En este trabajo se presenta la implementación de un laboratorio en tiempo real para fines educacionales e investigación colaborativa en el área de Control Automático. La infraestructura de red de datos utilizada es Internet de alta velocidad (Internet2 en América). Se presentan las principales consideraciones de su desarrollo, como son: los procedimientos de verificación del enlace de red, procedimiento de instalación de aplicaciones y puesta en marcha. El proceso utilizado es el control de temperatura de un estanque de agua. La aplicación final muestra que una adecuada evaluación del enlace de red, una buena caracterización de la planta y el uso de adecuados protocolos de comunicación y videoconferencia, permiten desarrollar sistemas con un aporte significativo a la educación y al trabajo colaborativo.

Palabras claves: Internet, sistema de control, monitoreo, trabajo colaborativo

ABSTRACT

In this work, the implementation of a real-time laboratory for educational purposes and collaborative research in the area of Automatic Control is presented. The infrastructure of data network used is High-Speed Network (Internet2 in America). Here are the principal considerations of its development, they are: the procedures for monitoring network link, installation of applications and start up operation. The process used is the control of temperature of a water reservoir. The final application shows that a suitable evaluation of the network link, a good characterization of the plant and the use of suitable communication and video conference protocols, allow development of systems with a significant contribution to education and to collaborative work.

Keywords: Internet, control system, monitoring, collaborative work

INTRODUCCIÓN

La educación a distancia tiene hoy un rol importante en nuestra sociedad actual, y esto debido fundamentalmente a los continuos avances en las tecnologías de información. Una de las condiciones necesarias para este tipo de educación es el alto grado de interactividad que debe existir entre instructor y estudiante y que sea independiente de la ubicación geográfica de éstos. Además debe cumplir con las características de: máxima flexibilidad en tiempo y distancia, activa participación de profesores y estudiantes y que exista un medio de comunicación efectivo [1]. Un conjunto de apuntes y ejercicios (en papel o archivo digital) puede generar un menor interés que el uso de recursos multimediales, que junto con entregar conocimiento entretiene y motiva más a los estudiantes.

Por estas razones, actualmente se utiliza Internet para brindar una interacción en tiempo real, que mediante otros medios no es posible conseguir. Internet es la red más eficiente a escala mundial y que cuenta con un servicio WWW como una efectiva herramienta de aprendizaje. Sin embargo, ya que la capacidad de Internet ha sido sobre pasada debido al crecimiento de aplicaciones y usuarios alrededor del mundo, es difíciloso el intercambio de grandes volúmenes de información multimedial, y la realización de sesiones prácticas de laboratorio *on-line* [2].

Esto ha motivado la creación de una nueva plataforma de comunicaciones que sea capaz de entregar seguridad, calidad de servicio y la disponibilidad de anchos de banda muchísimo mayores a los que nos ofrece en estos instantes Internet tradicional. Esta nueva red se denomina Internet2, y permite desarrollar aplicaciones

¹ Universidad de La Frontera, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Casilla 54-D, Temuco-Chile. Fono (56) (45) 325534, csmarti@ufro.cl
² Universidad de La Frontera, Departamento de Ingeniería de Sistemas, Casilla 54-D, Temuco-Chile, msandova@ufro.cl

que antes eran imposibles de realizar con eficiencia; como por ejemplo en el campo del monitoreo a distancia de procesos industriales, ofreciendo seguridad, calidad de servicio y transferencia de datos en tiempo real [3]. Esto facilita el intercambio tecnológico de ideas y trabajo colaborativo entre investigadores mediante videoconferencias de alta calidad [4], el uso de herramientas remotas para monitoreo y control de procesos industriales, aportando significativamente a la educación en Control Automático en las carreras de Ingeniería. Sin duda que el ofrecer a los estudiantes que interactúen con procesos reales tiene los beneficios de poder entregar valiosos conceptos de control, como por ejemplo los efectos del ruido, variación de los parámetros en el tiempo, perturbaciones externas y efectos no lineales [5].

En este trabajo se presenta el monitoreo y control usando Internet2 desde un punto remoto ubicado en España, de un proceso localizado en el laboratorio de Control Automático de la Universidad de La Frontera. Para el envío de las variables, a través de la red, se puede usar la metodología sugerida en [6] y [7], mediante un sitio WEB diseñado para estos fines [8]. Sin embargo, en este trabajo se utiliza el protocolo OPC [9] para acceder a las variables de proceso y herramientas de videoconferencia para elevar la interacción entre profesor y estudiante mediante la tecnología MBONE [10] y así desarrollar actividades de laboratorio de Control Automático en línea.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso consta de un estanque, con entrada y salida continua de agua, un calefactor eléctrico y un sensor de temperatura. El diagrama de proceso e instrumentación se muestra en la Fig. 1. Este proceso es controlado por un PLC Siemens S7-200, que se programa mediante un computador personal (PC) vía cable RS-485, ambos ubicados físicamente en el laboratorio de control de la Universidad de La Frontera.

El calefactor es el encargado de elevar la temperatura, mientras que el agua que ingresa al estanque está a temperatura ambiente, y se encarga de disminuir la temperatura al interior del estanque. Las curvas de respuesta de temperatura, frente a distintos escalones de potencia eléctrica del calefactor, se muestran en la Fig. 2. De ellas se observa el comportamiento no lineal del proceso, en particular se aprecia que el tiempo de subida no es constante, lo que posibilita analizar el comportamiento de la planta con diferentes técnicas de control.

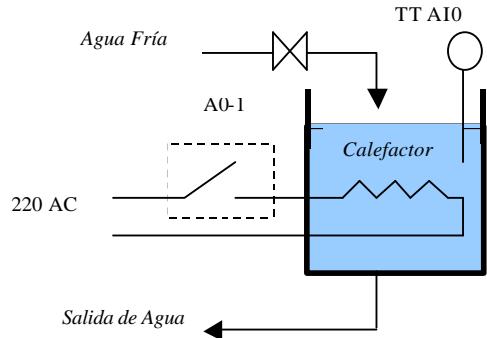


Fig. 1.- Diagrama de proceso e instrumentación

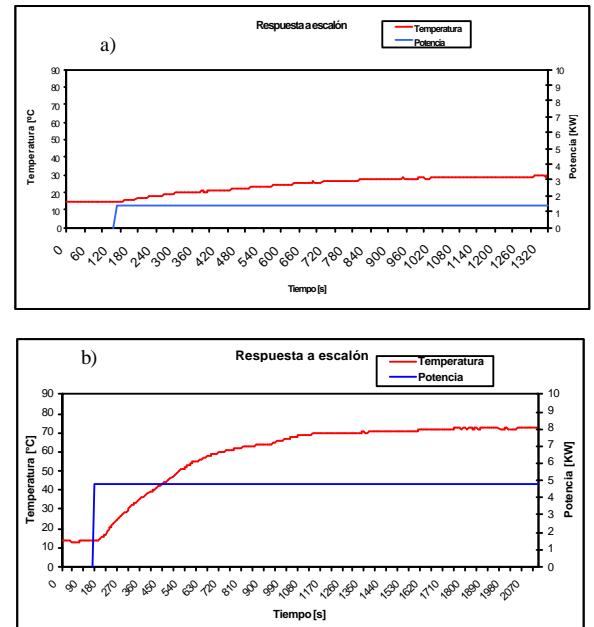


Fig. 2.- Respuesta a Escalón, a) $\Delta u(t)=0.1$ [KW], b) $\Delta u(t)=0.5$ [KW]

Para este proceso, el desafío es diseñar un controlador proporcional-integrador (PI) que mantenga la temperatura en el estanque a un valor establecido por el operador. Para ello debe elegirse algún procedimiento de sintonía de controladores usando la teoría clásica de control automático, o bien técnicas más avanzadas.

DESCRIPCIÓN DEL ACCESO VÍA INTERNET AL LABORATORIO

Para operar y monitorear las variables de proceso, se desarrolla un servidor en LabVIEW 6i (National Instruments <http://www.ni.com>) que, por un lado, interactúa con la planta y por el otro, establece la

comunicación con el cliente. Este servidor puede estar en el mismo computador junto al proceso o bien, en otro computador dentro de la misma red local. Este servidor utiliza el protocolo de comunicación OPC [11] para la comunicación con el proceso y el protocolo IP para los clientes Internet [6]. La aplicación cliente también está escrita en LabVIEW 6i y puede operar en modo monitoreo o controlador (Fig. 3). La identificación de variables se indica en la Tabla 1.

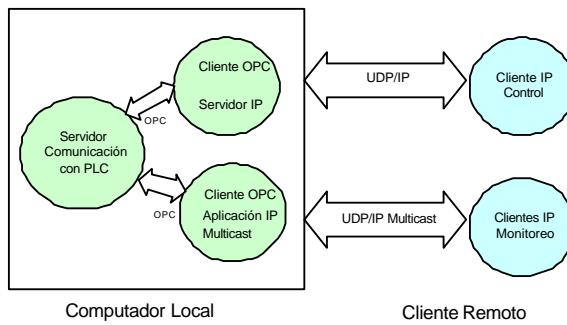


Fig. 3.- Diagrama del acceso al proceso vía Internet

Tabla 1.- Señales de Control

Variable	ID PLC	Item OPC
Temperatura	AI00	Temperatura
Estado del Calefactor	Q00.00	Calefactor
Potencia del Calefactor	V00	Control

Junto a las aplicaciones cliente/servidor necesarios para la manipulación de la planta, se instala una cámara de video (TV-PC301) para la captura de información multimedia (Fig. 4) y un conjunto de herramientas multicast para el uso de videoconferencia (disponible en http://www.mice.cs.ucl.ac.uk/multi_media/software/). Esto apoya directamente la realización de demostraciones a un grupo de clientes IP que monitorean el proceso, pudiendo intercambiar opiniones en tiempo real sobre Internet2.

Para este trabajo se ha supuesto que el cliente IP (operador remoto) está ubicado en la Universidad de Alicante (España), y a través de una nube Internet2 accede al proceso servidor (donde existe un operador local) ubicado en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Frontera (DIE-UFRO), en la ciudad de Temuco (Fig. 5). La ruta entre la Universidad de La Frontera y la Universidad de Alicante se observa en la Fig. 6.

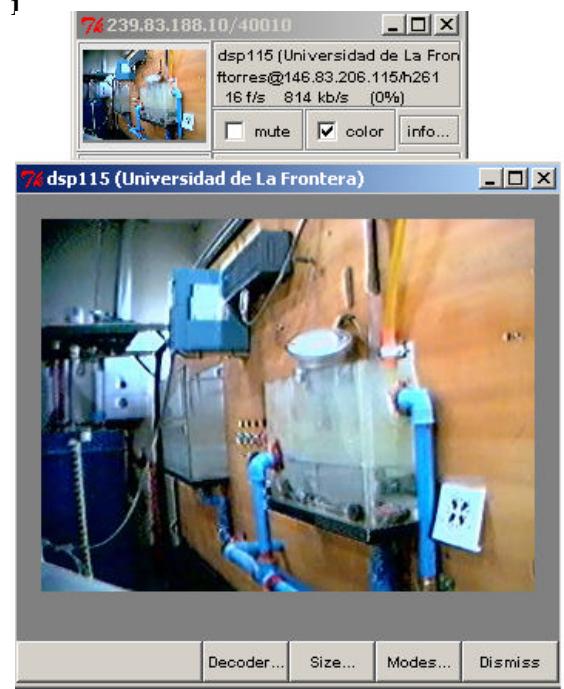


Fig. 4.- Imagen de videoconferencia utilizando herramientas Mbone (VIC)

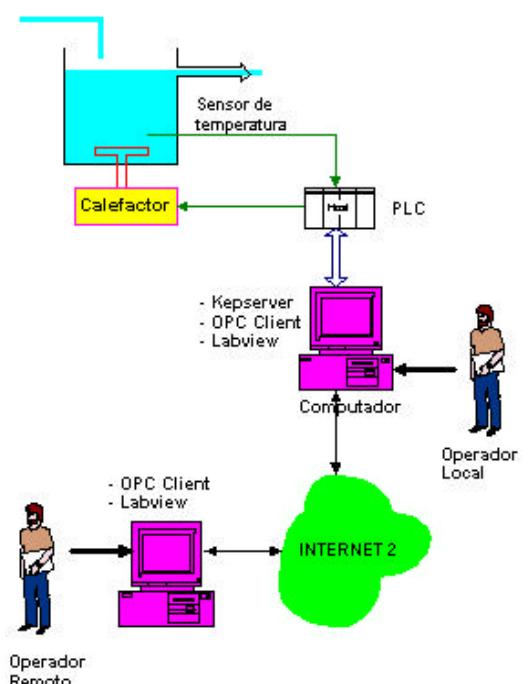


Fig. 5.- Arquitectura general del sistema implementado

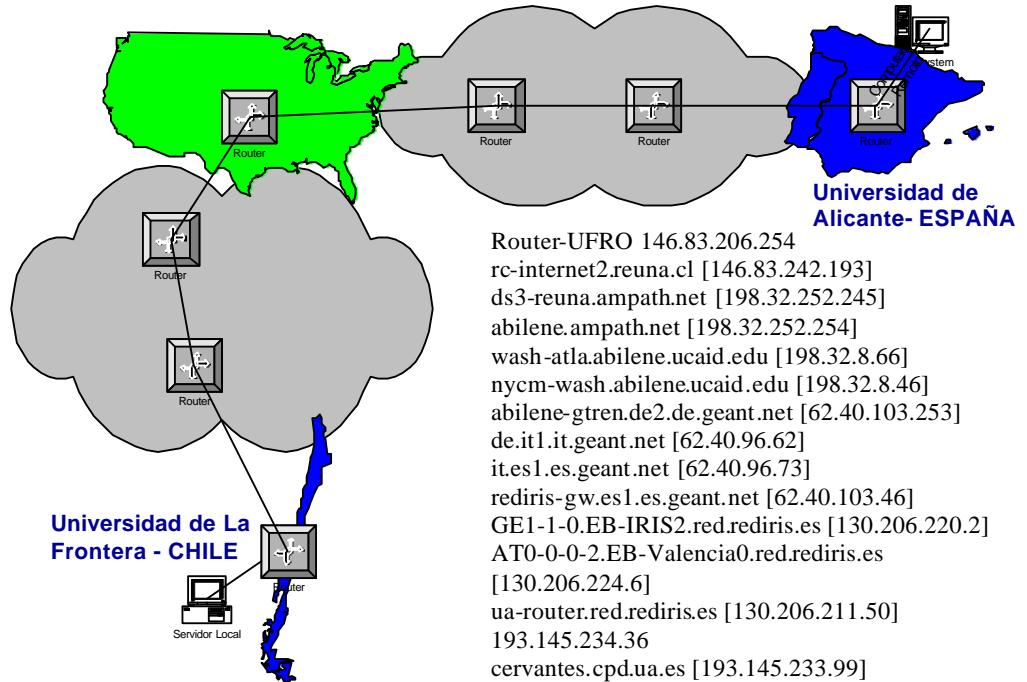


Fig. 6.-Ruta entre la Universidad de La Frontera (Internet2) y la Universidad de Alicante, España (Red Iris).

EVALUACIÓN DEL ENLACE INTERNET ENTRE CHILE Y ESPAÑA

Para el control a distancia, el tiempo que transcurre desde el requerimiento de la señal de medición de temperatura, continuando luego con el cálculo de la rutina de control hasta que finalmente llegue la respuesta al calefactor, corresponde a la suma entre el tiempo de procesamiento remoto (algoritmo de control) y el tiempo de viaje de la información sobre la red de datos (tiempo de latencia o round-trip time RTT). Es por ello que resulta crucial mantener la suma de estos dos tiempos inferior a la constante de tiempo del proceso. En una red IP, el tiempo de latencia es totalmente aleatorio y no es posible determinar un valor exacto como lo exige un proceso de control, debido a que no se puede tener un conocimiento acabado de todas las estaciones conectadas a la red. No obstante, si el tiempo de latencia es lo suficientemente pequeño respecto a la constante de tiempo del proceso, es posible entonces pensar en una estrategia de control a distancia utilizando esta conexión.

En este trabajo se ha realizado un modelo de la red que enlaza el laboratorio DIE-UFRO, basado en la medición del RTT. Este asume que existe un tiempo constante D

asociado a un retardo constante más otro (r), que depende de la sobrecarga de Internet, Fig. 7, es decir

$$rtt_n(\text{ms}) = D + r \quad (1)$$

Usando la metodología presentada en [12] se obtuvo que D es igual a 300 ms y r es un proceso aleatorio con distribución exponencial de parámetro 100. Esto significa que, si imponemos la condición de que el RTT no debe sobrepasar 500 ms (impuesto por algún proceso) la probabilidad de que éste sea superado es 8.322×10^{-7} .

Para nuestro caso el proceso tiene una constante de tiempo de 7 minutos, y se ha fijado un tiempo de muestreo de 28 segundos; entonces la probabilidad de que exista una retraso considerable en la transmisión de información es despreciable, lo cual valida la implementación de un control a distancia usando este enlace Internet. Con respecto a las pérdidas de paquetes, éstas son mínimas, ya que, debido al uso de Internet2, se contó con un ancho de banda de 1 Mbps dedicado para este proyecto. Debe notarse que además los 28 segundos permiten que, en caso de pérdida de paquetes, se reenvíe la información.

Con el fin de probar el funcionamiento general del sistema de monitoreo a distancia, se implementó un controlador PI para la planta. La respuesta de la planta en lazo de control se muestra en la Fig. 8. Nótese la forma de onda de salida es obtenida en la ciudad de Alicante, España, en el software cliente que es donde se aplica el controlador PI.

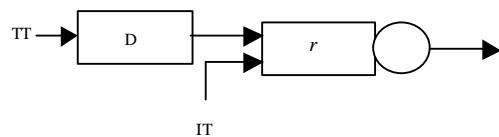


Fig. 7.- Modelo de red utilizado en donde se observa el tráfico de Internet (IT), el tráfico de prueba (TT), la constante D y el proceso aleatorio r.

CONCLUSIONES

Del trabajo realizado, podemos señalar que las ventajas que se aprecian de la investigación realizada con redes de computadores son las siguientes:

- A partir de un ambiente virtual usuarios externos pueden relacionarse con un ambiente industrial real.
- Desde el punto de vista educativo, se puede lograr un entrenamiento de los principios básicos de operación, reduciendo 1 nivel de abstracción que

existe inherentemente en la enseñanza de control automático a un bajo costo por estudiante, al aprovechar la costosa infraestructura de red instalada.

- Capacidad de monitorear y/o controlar a distancia las condiciones de un proceso.

La aplicación en estudio funciona de manera estable, principalmente por el uso de software, aumentando la robustez del sistema en todos sus niveles. Además, se comprobó el uso integrado del *PLC* y *LabVIEW* para realizar en conjunto tareas de adquisición y comunicación.

El sistema permite sentar las bases para lo que podría ser una comunicación segura de transmisión de datos industriales a través de Internet2.

Respecto al trabajo futuro que se realizará, podemos decir que se desarrollara un sitio WEB, en el cual se podrá apreciar un despliegue de páginas activas, en donde se dispondrá de información actualizada del proceso de control en línea, además de datos y parámetros en forma automática, junto con ofrecer una plataforma de video WEB del proceso industrial a implementar.

Para finalizar, se espera a un corto plazo realizar un trabajo de transición de protocolo IPv4 a IPv6 que se emplea en las rutas de direccionamiento de los enlaces, para lo cual se empleará una de las islas IPv6 que se encuentra en la Universidad de La Frontera.

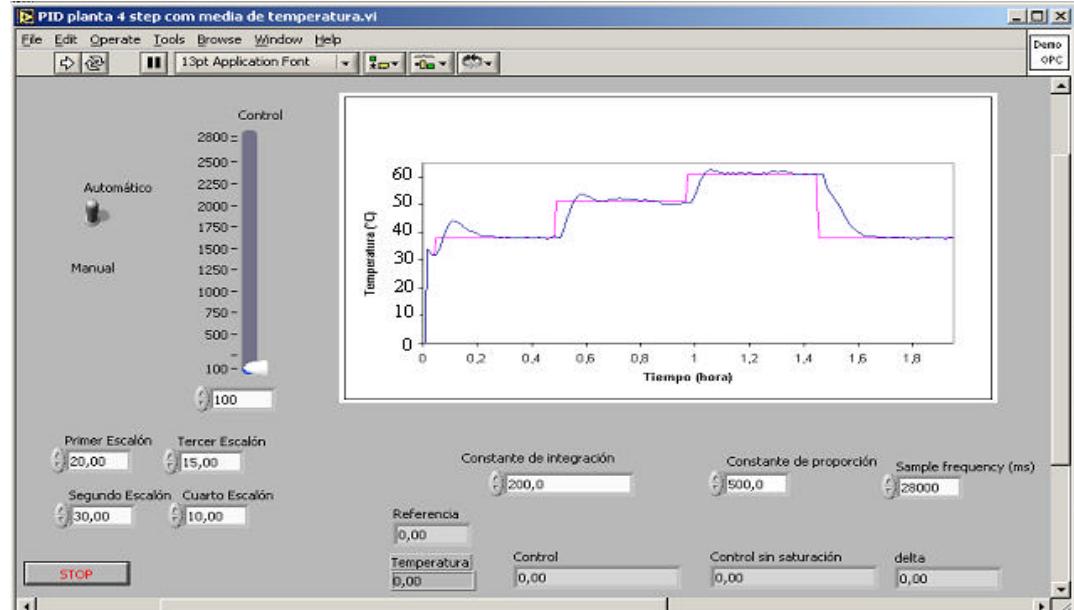


Fig. 8.- Curva de control de temperatura observada en el cliente Alicante, España

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se ha realizado gracias al financiamiento otorgado por la Universidad de La Frontera, en el Proyecto DIUFRO-INI N° IN-0111, gracias al aporte de REUNA en el marco de Proyectos de Aplicaciones de Banda Ancha y a FONDEF en el proyecto N° D01I1027.

Un especial agradecimiento a Ignacio Gullón del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Alicante, España, por su continua colaboración en el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] L. Sherry; "Issues in Distance Learning", International Journal of Educational Telecommunications, Vol. 1, N° 4, pp. 337-365, April 1996.
- [2] K.K Tan, T.H. Lee and F.M. Leu; 'Development of a Distant Laboratory using LabVIEW", International Journal of Engineering Education, Vol. 16, N° 3, pp. 273-282, March 2000.
- [3] S. Corbato; "Internet2 Network in the Future", disponible en http://encuentro-internet2.reuna.cl/programa/docs/s_corbato_reuna.pdf, 2001.
- [4] J. Brow; "Plenarias: Herramientas para la Educación", disponible en http://encuentro-internet2.reuna.cl/programa/plenarias/pt_edu.htm.
- [5] S. Deepak and J. Babu; "An Internet-Mediated Process Control Laboratory", IEEE Control Systems Magazine, pp. 11-18, February 2003.
- [6] C. Bohus, B. Aktan, M. Shor and L. Crowl; "Running Control Engineering Experiments Over the Internet", Technical Report 95-60-07, Department of Computer Science, Oregon State University, Corvallis, Oregon, 97331-3202, August 1995.
- [7] K. Taylor and J. Trevelyan; "A Telerobot On The World Wide Web", disponible en <http://telerobot.mech.uwa.edu.au/robot/telerobo.htm>, 1995.
- [8] C. Hall Jr. and S. Mukhejee; "Teleoperated Experiments On Board Remotely Piloted Vehicles Using the World Wide Web", disponible en <http://membrane.com/video/chuck/TEOBRPV.htm>, 1997.
- [9] OPC Foundation; "Data Access Automation Interface Standard Version 2.02", disponible en <http://www.opcfoundation.org>, Octubre 1999.
- [10] J. M. Goyeneche; "Cómo Hacer Multicast Sobre TCP/IP HOWTO", disponible en <http://jungle.dit.upm.es/~jmseyas/linux/mcast.como/Multicast-Como.html>, 1998.
- [11] E. Cone and H. Edwards; "Developing an OPC Client Application Using Visual Basic". Nota de Aplicación 139, disponible en <http://www.ni.com>, Diciembre 1999.
- [12] D. Shangi, A. K. Agrawala, and B. Jain; "Experimental Assessment of End-to-End Behavior on Internet", Proc. of IEEE INFOCOM'93, pp. 867-874, March 1993.