

Desarrollo de un Laboratorio Remoto de Automatización de Procesos vía Internet

Zerpa, Sergio

Universidad Politécnica "Antonio José de Sucre" UNEXPO, Barquisimeto, Venezuela, szerpadiatz@gmail.com

Giménez, Donnaly

Universidad Politécnica "Antonio José de Sucre" UNEXPO, Barquisimeto, Venezuela,

donnaly.gimenez@gmail.com

Díaz-Granados, Magda Yamile

Auxiliar Docente IV. Universidad Politécnica "Antonio José de Sucre" UNEXPO, Barquisimeto, Venezuela,

mdiaz@unexpo.edu.ve

De La Cruz Freitez, Francisco, M. Sc.

Profesor Asociado. Universidad Politécnica "Antonio José de Sucre" UNEXPO, Barquisimeto, Venezuela,

fdlcruz@unexpo.edu.ve

RESUMEN

La supervisión y control de procesos a nivel industrial utiliza actualmente la conectividad a Internet. Este trabajo presenta un laboratorio virtual con facilidades que permiten a los alumnos interactuar y realizar, a través de Internet, prácticas de automatización y control de procesos. Se propone un sistema Hardware-Software que permite monitorizar y controlar variables, remotamente desde una página Web, del prototipo de un proceso industrial localizado en el Laboratorio de Automatización Industrial del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica "Antonio José de Sucre", UNEXPO, Barquisimeto, Venezuela. El objetivo es implementar una red Modbus/TCP/IP para el desarrollo de una práctica no presencial mediante un Controlador Lógico Programable o PLC. Se conformó una red compuesta por un computador servidor, un PLC y una cámara IP; la interacción de estos elementos permite el control y monitorización remota de una maqueta que simula un proceso de fabricación de alimentos. El software está constituido por una aplicación Servidor que contiene un Servidor Modbus TCP/IP, embebido en el PLC, y un Servidor Web, a través del cual los usuarios accederán al laboratorio remoto y una aplicación Cliente que constituye un conjunto de applets de JAVA que permite controlar, monitorizar el sistema, y visualizar el proceso en tiempo real a través de la cámara IP.

Palabras Claves: Laboratorio Remoto, Modbus TCP/IP, Controlador Lógico Programable, Ethernet.

ABSTRACT

The supervision and control of industrial processes is nowadays using an Internet connection. This paper presents a virtual laboratory with facilities that allow students to interact and perform, via internet, experiments in automation and process control. It proposes a Hardware-Software system which allows to monitor and to control remote variables from the Website of a prototype of an industrial process to be implemented at the Industrial Automation Laboratory of the Department of Electronic Engineering at the UNEXPO "Antonio Jose de Sucre" (Barquisimeto, Venezuela). The main objective is to implement a Modbus TCP/IP network for the development of a remote practice using a Programmable Logic Controller or PLC. The network was finally constituted by: a Server computer, a PLC and an IP camera. The interaction of each one of these elements allows the monitoring and controlling of a concentrated food maker prototype remotely. The software has two applications: the Server and the Client; the first being composed of an embedded Modbus TCP/IP Server into the PLC and a Web server which allows students to access the remote laboratory. The second component is integrated by a group of Java applets to control and monitor the system and also allows the students to visualize real images through an IP camera.

Key words: Remote Laboratory, Modbus/TCP/IP, Programmable Logic Controller, Ethernet.

1. INTRODUCCIÓN

La realización de actividades prácticas que ilustren los aspectos teóricos de las nuevas tecnologías de automatización y control es de vital importancia en el ámbito de la ingeniería de control, ya que, en comparación con otro tipo de actividades, tal como la simulación de procesos, permite de manera didáctica la aplicación de conocimientos y adquisición de destrezas del estudiante, haciéndolo más competente para enfrentarse a un ámbito laboral exigente y cambiante.

Todo esto, aunado al rápido desarrollo tecnológico en este campo, y el difícil acceso o disposición por parte de los estudiantes a la infraestructura necesaria para la realización de prácticas específicas, hace necesaria la incorporación de nuevas herramientas que faciliten el aprendizaje de la tecnología de control y automatización de procesos.

El presente proyecto consiste en la elaboración de un laboratorio remoto de automatización de procesos vía Internet para programar y controlar un proceso a través de la Web. El sistema será instalado en el Laboratorio de Automatización Industrial (LABAI) de la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” (UNEXPO) Vicerrectorado Barquisimeto, y permitirá a los estudiantes disponer del material práctico para la programación y control de un proceso a distancia.

2. LABORATORIOS REMOTOS

Los laboratorios remotos (a veces llamados "laboratorios controlados vía Web o, simplemente, WebLabs), ofrecen acceso remoto a los verdaderos equipos de laboratorio e instrumentos en tiempo real. La principal ventaja de los WebLabs radica en la realidad de los sistemas con los que trabajan los alumnos. Su principal inconveniente se basa en una pérdida de la observación y control de manera directa: el sistema se visualiza mediante una cámara Web y las herramientas del sistema remoto se manejan mediante un teclado, ratón o joystick (Coquard et al, 2008).

El campo de los WebLabs es muy activo en la actualidad y permite implementaciones con muy diversas técnicas. Las principales estrategias de diseño de WebLabs, según García y Sáenz (2005), son:

- **WebLab basado en una aplicación específica Cliente/Servidor TCP/IP.** En este caso, el usuario desde su PC (cliente) envía al servidor, vía Internet, un archivo con el software que quiere descargar en, por ejemplo, un PLC conectado al servidor. Para enviar y recibir el archivo, la aplicación utiliza el protocolo TCP/IP soportado por Internet. Este es el caso del WebLab-PLD (García et al., 2005)
- **WebLab implementado como una aplicación Web.** El alumno accede al servidor a través de una página Web. Un microservidor, con una IP propia, sirve como puente entre el servidor y el dispositivo programable. El usuario envía el archivo o programa vía Internet, por ejemplo, a un PLC conectado al microservidor. (Lorenzo, 2006; Ruiz y otros, 2004; Garrido, 2003)
- **WebLab implementado con Terminal Server de Windows o similares.** Esta estrategia se basa en utilizar el servicio Terminal Server del sistema operativo Windows. La idea básica es ceder el control del servidor a un cliente para que descargue los archivos o programas y luego los ejecute directamente en el servidor (Wu y Kuo, 2008; Coquard et al, 2008)
- **Implementaciones basadas en plataformas de desarrollo de Software como LabView o Matlab.** Esta es una solución bastante utilizada, y sus principales ventajas son su potencia, su conocimiento por parte de la comunidad universitaria y la disponibilidad de servicios ya orientados al diseño de WebLab. (Chacón-Montiel et al. 2004; Valera et al, 2005)
-

3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Para la implementación de una red de instrumentación y control industrial con conectividad a Internet, se plantea una solución Hardware-Software tal como se ilustra en la figura 1.

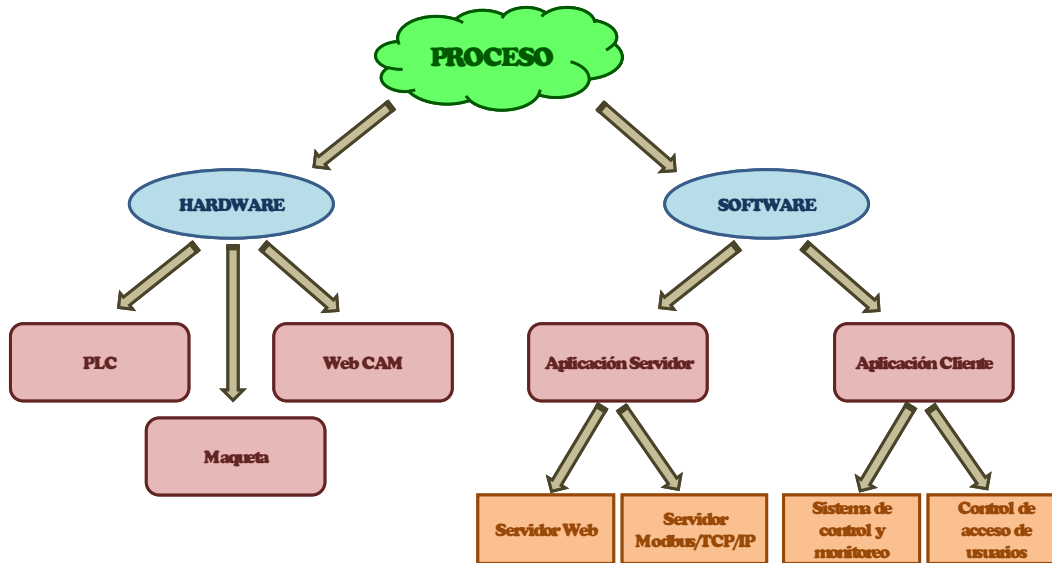


Figura 1. Esquema general del proceso

HARDWARE

El hardware está constituido por:

- Un PLC Twido modelo TWDLCE40DRF de Schneider-Electric el cual posee conexión TCP/IP mediante cable Ethernet y que admiten conexiones TCP usando el protocolo Modbus.
- Una cámara IP Villar Modelo AIP-088 con conexión Ethernet (conector RJ-45), la cual, permite la visualización de imágenes a través de una página Web.
- Un prototipo de un proceso industrial titulado: Preparación de Alimentos Concentrados, que se esquematiza en la figura 2.

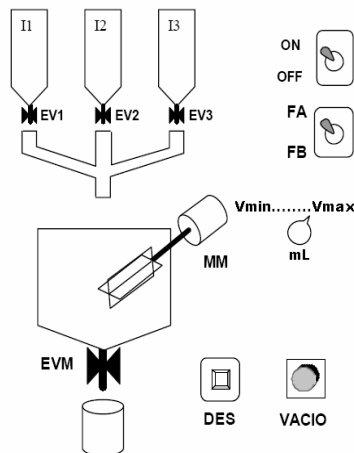


Figura 2. Esquema del proceso

El proceso dispone de tres tolvas para el almacenaje y dosificación de los ingredientes. En cada ciclo del proceso, se preparan entre 500 y 2000 mililitros de dos fórmulas diferentes (FA, FB) de acuerdo a una proporción específica de ingredientes. La cantidad de fórmula se ajusta mediante un selector continuo ml (potenciómetro). Tres electroválvulas (EV1, EV2 y EV3) controlan las salidas de las tolvas de ingredientes. Un interruptor ON-OFF permite el encendido y apagado del sistema. EV1, EV2 y EV3 se abren secuencialmente dejando caer la cantidad requerida de los ingredientes dentro del molino-mezclador. Una vez depositados los ingredientes, se enciende el motor MM y se procesan durante un tiempo determinado. Un operador descarga el producto pulsando DES en una o varias tandas para abrir la electroválvula EVM. La figura 3 muestra una fotografía de la maqueta.



Figura 3 Fotografía de la maqueta

SOFTWARE

El software está compuesto por una aplicación Cliente y una aplicación Servidor

- Aplicación Servidor:

Se desarrolló tanto un servidor Web, como un servidor Modbus TCP/IP (MODBUS-IDA, 2006). Para el caso de las comunicaciones Modbus TCP, fue necesario un servidor Modbus TCP y un cliente Modbus TCP. Sin embargo, no fue necesario construir ningún circuito electrónico para esta aplicación, debido a que la aplicación servidora se encuentra embebida en el PLC utilizado (Schneider Electric, 2005).

La interconexión de los elementos que conforman la red MODBUS/TCP se muestra en la figura 4. Los recursos principales del servidor Web son: Servidor HTTP, manejador de base de datos y un lenguaje de programación del PLC. Se utilizó una herramienta denominada AppServ, que facilita la instalación de Apache, MySQL y PHP en una sola aplicación, facilitando de esta manera la configuración de estos recursos. En la figura se muestra el servidor Web, donde residen dichos elementos, el Firewall donde se definen las reglas de acceso a los distintos componentes de la red local, cada uno de los cuales tiene un puerto asociado, el PLC, y la cámara IP. En este sentido, existe una dirección IP pública única, mediante la cual el cliente realiza sus peticiones, de tal manera que una petición por el puerto asignado a un componente determinado será redireccionado por el firewall a la dirección IP local que posea dicho componente.

Finalmente el Laboratorio Remoto de Automatización de Procesos pueda ser accedido ingresando la dirección electrónica: <http://labai.bqto.unexpo.edu.ve>

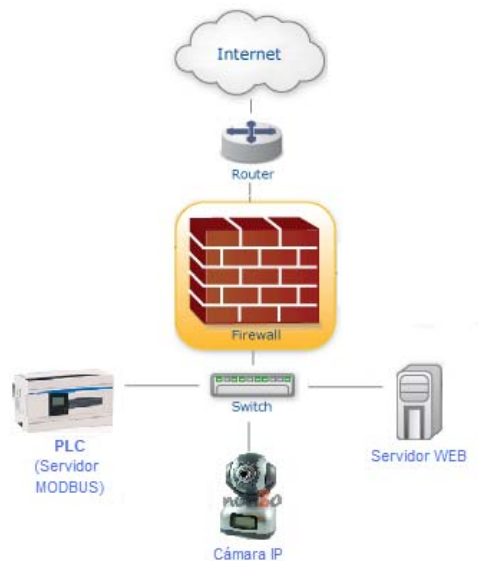


Figura 4. Red MODBUS TCP/IP

- Aplicación cliente:

Esta aplicación es ejecutada en la máquina del cliente y provee una aplicación Web que permite realizar el control de acceso de los usuarios registrados en el sistema (alumnos y profesores), mostrar información importante relativa al laboratorio, y establecer parámetros de configuración del software. De acuerdo a los requerimientos funcionales la estructura del Sitio Web se muestra en la Figura 5.

<p>1. Menú Principal</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Inicio b. Prácticas: <ul style="list-style-type: none"> i. Descripción ii. <u>WebLab</u> iii. Calificaciones c. <u>PLCs</u> <ul style="list-style-type: none"> i. Estructura ii. Reseña iii. Fabricantes iv. Normas d. Materia <ul style="list-style-type: none"> i. Aspectos Generales ii. Bibliografía iii. Horario e. Contáctenos 	<p>3. Menú alumnos</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Módulo 1 b. Módulo 2 <ul style="list-style-type: none"> i. Monitorización ii. Cámara Web iii. Transferencia de programa
<p>2. Acceso <u>WebLab</u></p> <ul style="list-style-type: none"> a. Enviar b. Instrucciones 	<p>4. Menú Profesor</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Módulo 1 b. Configuración Módulo 2 c. Configuración general <ul style="list-style-type: none"> i. Calificaciones ii. Mensajes del profesor y parámetros iii. Agregar/eliminar usuarios iv. Datos de asignaturas v. Modificar horario LABAI <p>5. Noticias</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Mensajes del profesor

Figura 5. Estructura del Sitio Web.

Además ofrece una interfaz gráfica que permite la interacción entre el usuario y el proceso, la cual implementa el protocolo Modbus TCP de forma simple estableciendo una conexión TCP al puerto 502 en el destino (servidor) deseado, se encarga de enviar y recibir solicitudes Modbus hacia y desde el esclavo. De esta manera se pueden monitorizar continuamente los estados de los registros y bobinas del PLC, mostrando mensajes al usuario que indican el estado de las operaciones que se están ejecutando. Adicionalmente se muestra una imagen en tiempo real proveniente de la cámara IP y permite transferir un programa al PLC.

La interfaz gráfica fue desarrollada en Java, de esta manera el alumno accede desde cualquier parte en Internet, se conecta a la página Web del sistema y utilizando solamente un navegador, independientemente de la plataforma en que se encuentre, descarga el applet correspondiente a la aplicación. La programación realizada estuvo orientada a la utilización de etiquetas, figuras, campos de texto y botones que, en conjunto, proporcionan la interfaz gráfica mostrada en la figura 6. Sin embargo, las principales acciones relacionadas con la comunicación con el PLC se incluyeron dentro de una clase denominada Modbus que pudiese ser utilizada para trabajos futuros con una interfaz gráfica diferente en la que se requieran acciones de comunicación utilizando el protocolo Modbus TCP.

En la figura 6 muestra la ventana de monitorización. En ella se observan el título de la aplicación y un cronómetro que indica el tiempo restante del que dispone el alumno para interactuar con el proceso. También se visualizan los principales botones de control del proceso simulado y los componentes de monitorización, tales como nivel de tanques, estado de los actuadores (válvulas y motor), etc. En la parte inferior se muestra información referente al sistema, tales como notificación de eventos ocurridos y posibles errores de comunicación.



Figura 6 Ventana de Control y Monitorización

Además del módulo de control y monitorización descrito, se realizó un módulo de simulación que luce exactamente igual al mostrado en la figura 6, pero que, a diferencia de éste, no posee comunicación con el PLC, sino que sólo ilustra el funcionamiento ideal del proceso.

Para el módulo de visualización por cámara Web se utilizó un applet suministrado por el fabricante de la cámara IP adquirida.

Para el módulo de transferencia del programa: se usó de una herramienta que permitiera el acceso remoto a la máquina servidor. En este sentido, se creó una cuenta de usuario en el servidor, denominada “alumno”, dicha cuenta posee todas las restricciones pertinentes para garantizar la integridad de todos los documentos y programas que residen en esta máquina, permitiéndosele al alumno sólo ejecutar el programa Twido Suite para la transferencia del programa (Schneider Electric, 2008).

La página principal del sitio desarrollado se muestra en la figura 7. Posee dos casillas para identificación del usuario y colocación de su contraseña asignada previamente por el administrador. Luego de haber ingresado los datos de Usuario y Contraseña se debe presionar el botón Enviar.



Figura 7. Página principal del sitio Web LABAI

- Menú Alumno

Cuando la persona que ingresa al Web Lab es un usuario tipo “alumno”, se mostrará en el área central de la misma tres botones de acceso a: Módulo 1, Módulo 2 o Subir programa.

El botón Módulo 1 permite el acceso a una ventana como la mostrada en la figura 6, en modo simulación. El botón Subir Programa permite al alumno subir al servidor dos de los archivos de su proyecto, para que pueda transferir su programa al PLC. Estos archivos serán cargados desde la página que se abre al presionar el botón Subir Programa.

Desde el menú alumno, al presionar el botón Módulo 2 se podrá acceder a la aplicación, módulo de Control y Monitorización del proceso, como se ilustró en la figura 6, así como también permitirá transferir programa y acceder a la ventana donde se visualizan las imágenes en tiempo real del proceso, a través de la cámara IP.

- Menú Profesor

Cuando la persona que ingresa al Web Lab es un usuario tipo “profesor”, la página que se observa muestra cuatro botones de acceso: Pagina del profesor, Modulo 1, Modulo 2 y ver cámara.

El botón Página del profesor muestra un menú de acciones que permiten al profesor configurar parámetros referentes a la materia, registro y asignación de contraseñas de los usuarios tipo alumno (usuario limitado) o tipo profesor (usuario administrador); el botón Módulo 1 muestra la página de simulación ilustrada en la figura 6; el botón Módulo 2 permite al profesor realizar ajustes relacionados con estadísticas de uso, bloqueo de usuarios y ajustes de parámetros del proceso. El botón Ver Cámara permite al profesor acceder a la página Web que se encuentra alojada en el servidor de la cámara utilizada, en la que puede realizar acciones como administrador de la misma, pudiendo cambiar parámetros de configuración.

4. PRUEBAS

Finalmente, tras la implementación del sistema se realizaron las pruebas pertinentes a cada uno de los módulos que lo componen.

Para verificar el funcionamiento de la planta se realizó un programa para el PLC, de tal manera que controle el sistema de fabricación de alimentos concentrados, observándose un correcto funcionamiento de cada una de las válvulas, así como del motor de mezcla y el indicador de vacío.

Para las pruebas relacionadas con el software se utilizó un computador con acceso a Internet (desde una red externa a la red donde se encuentra el servidor), simulando ser usuario, y utilizando los navegadores Internet Explorer 6 o superior y Mozilla Firefox 1.5 o superior, se verificó el funcionamiento de la aplicación sobre ambos navegadores. Un usuario “alumno” pudo verificar: el acceso a los módulos de monitorización y control, visualización de la cámara Web y transferencia de programa. Un usuario “profesor” pudo verificar: el acceso a los módulos 1 y 2, así como a la página del profesor, realizando las distintas acciones posibles.

De esta manera, la conexión de los distintos componentes de la figura 4, funcionan satisfactoriamente, ya que se pudo acceder a los distintos componentes del sistema sin problemas.

Finalmente, se integró el sistema Hardware-Software en el Laboratorio de Automatización Industrial de la UNEXPO y se verificó su funcionamiento con la colaboración de dos estudiantes y un profesor a quienes se les suministró los datos necesarios para poder acceder a la aplicación. A los estudiantes se les entregó un manual de uso del WebLab de tal forma que éstos pudieran realizar la práctica allí descrita desde la comodidad de su hogar. En las instalaciones del laboratorio se estuvo verificando continuamente el funcionamiento del sistema sin observarse ninguna novedad, por lo que se considera que el WebLab está preparado para ser utilizado por los estudiantes del laboratorio.

CONCLUSIONES

Este trabajo constituye un avance para la UNEXPO y sirve de incentivo para el desarrollo de nuevos trabajos que del mismo modo busquen que el alumno realice la toma de contacto con procesos industriales reales a escala (maquetas), de tal manera que pueda realizar labores de control y monitorización de diversas variables, así como cambio de algoritmos de control (transferencia de programa a un controlador) en lugar de realizar de simulaciones en software o mediante interruptores y LEDs.

La utilización de PLC que poseen un dispositivo de comunicación que acepta el uso de funciones Modbus para el intercambio de información ofrece grandes ventajas en el control de procesos facilitando el desarrollo de aplicaciones para el monitorizado remoto de las principales variables inmersas en el proceso.

El desarrollo de un Applet de Java como una aplicación cliente provee una excelente interfaz gráfica para interacción con el usuario, así como también una herramienta de interconexión con el servidor Modbus TCP fácil de implementar. Por otra parte, los applets son un tipo de aplicaciones descargadas automáticamente en la máquina del cliente desde el servidor Web donde residen, y que se ejecutan localmente como parte de una página

Web, sin necesidad de que el usuario tenga instalado un software especial para llevar a cabo las acciones de control y monitorización del proceso remoto.

REFERENCIAS

- Chacón-Montiel, E., Camacho O. y Cárdenas O. (2004) Implementación de un laboratorio de control de procesos vía Internet. *Revista Técnica de Ingeniería. Universidad del Zulia, Venezuela*. Vol. 27, Nº 3, 137 – 144.
- Coquard, P., Guillemot, M., Lelevé, A., Noterman, D. and Benmohamed, H. (2008). AIP-Primeca RAO. Remote Laboratories in Automation. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*. Volume 4, Issue 1, pp 12-18. <http://www.online-journals.org/index.php/i-joe/issue/view/42> (Enero 15, 2009)
- García Zubía, J., Sáenz Ruiz de Velasco, J. (2005) Diseño de laboratorios remotos virtuales: WebLab. XI Jornadas de la enseñanza universitaria de la informática JENUI 2005 Universidad Europea de Madrid (UEM).
- García-Zubía, J., López-de-Ipiña, D., Orduña, P. (2005). Evolving towards better architectures for remote laboratories: a practical case. *International Journal of Online Engineering, (iJOE)*. Vol. 1 No 2: Special Issue REV2005. <http://www.online-journals.org/index.php/i-joe/issue/view/33>. (Enero 15, 2009)
- Garrido, I. (2003) “Maqueta de ascensor para la realización de prácticas por Internet”, Trabajo de Grado. Universidad Politécnica de Cataluña. <http://hdl.handle.net/2099.1/2998> (junio, 2007)
- Lorenzo, N. (2006) Aplicación docente de una plataforma de accionamientos mecatrónicos controlada a través de Internet. Universitat Politècnica de Catalunya. Bachelor Tesis. <http://hdl.handle.net/2099.1/3620> (junio, 2007)
- MODBUS-IDA (2006) MODBUS Messaging on TCP/IP Implementation Guide. <http://www.modbus.org/tech.php> (Febrero, 2009)
- Ruiz, A., Barandica, A., Guerrero, F. (2004). “Implementación de una red MODBUS/TCP. *Revista Ingeniería y Competitividad*. Vol 6: Núm. 2, pags. 35-44. Facultad de Ingeniería Universidad del Valle. Colombia.
- Schneider Electric (2005) Controladores programables Twido. Guía de referencia de hardware.
- Schneider Electric (2008) TwidoSuite V2.1. Guía de programación.
- Valera, A., Vallés, M., Díez, J. L. (2005) Simulación y Control de Procesos Físicos de Forma Remota. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI)*, Vol. 2, Nº 2, pags. 20-29
- Wu, P. H. and Kuo Ch. (2008). The Design and Implementation of a Remote Automatic Control Laboratory: Using PID Control as an Example. *Tamkang Journal of Science and Engineering*, Vol. 11, No. 2, pp. 219-228.

Authorization and Disclaimer

“Authors authorize LACCEI to publish the papers in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.”