

CONTROL REMOTO DE PROCESOS INDUSTRIALES CON MATLAB WEB SERVER

A. Valera, J.L. Díez, M. Vallés, J.L. Navarro
Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
Universidad Politécnica de Valencia
Camino de Vera 14, 46022 Valencia (Spain)

E-mail: giuprog@isa.upv.es, jldiez@isa.upv.es, mvalles@isa.upv.es, joseluis@isa.upv.es

Resumen

Matlab Web Server (MWS) es una herramienta que permite la ejecución de aplicaciones Matlab desde cualquier computador remoto con un navegador Web. A partir de una hoja Web, MWS obtiene los datos necesarios para ejecutar la simulación. Después de realizarla, MWS devuelve los resultados al computador remoto con una nueva página Web.

En este trabajo se muestra como se puede complementar y ampliar MWS para que permita el control remoto de procesos industriales. Para mostrarlo se ha realizado el control de posición y velocidad de un motor de corriente continua aunque, debido a la flexibilidad y versatilidad del sistema desarrollado, se puede establecer el control de cualquier otro proceso industrial de una forma muy fácil y simple.

Palabras Clave: tele-enseñanza, laboratorio virtual, laboratorio remoto, aplicaciones digitales por computador, control por computador.

1 INTRODUCCIÓN

Como se sabe, Internet empezó como una herramienta que permitía la comunicación entre investigadores y el acceso remoto a centros de investigación. Sin embargo, el desarrollo de las páginas Web y de los navegadores ha permitido que hoy día puedan darse diferentes niveles de integración de la tecnología a un curso [4], haciendo posibles tareas tan diversas como: búsqueda de información, comunicación alumno-profesor o entre alumnos, administración de cursos, distribución de material, empleo de multimedia en el aula, desarrollo de tutoriales de autoaprendizaje, creación de laboratorios virtuales [1] (donde la animación y la simulación reemplazan experimentos físicos) y laboratorios remotos [2] (que permiten el ajuste de parámetros y/o la ejecución de experimentos desde un lugar remoto).

Es evidente que la inclusión de los citados recursos, introduce una mayor flexibilidad de tiempo y espacio en el proceso educativo. Por ello, es en la formación fuera del aula o formación a distancia donde quizás exista un potencial más grande para aprovechar las posibilidades de las nuevas tecnologías, aunque la integración de la tecnología de la información con los cursos tradicionales puede servir como un apoyo muy efectivo a la docencia si se la utiliza adecuadamente [3].

1.1 LABORATORIOS BASADOS EN INTERNET PARA INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

Podemos encontrarnos dos tipos de laboratorios basados en Internet: los laboratorios virtuales y los laboratorios remotos.

El laboratorio virtual permite, por ejemplo, el acceso continuo a procesos simulados en un ordenador. En este esquema se posibilita la interacción remota del estudiante con un proceso virtual. Por lo general, la estructura de control es dada y la tarea del estudiante es sintonizar adecuadamente los parámetros del controlador. También pueden ser utilizados para probar métodos de identificación y de diseño de controladores. Generalmente están desarrollados en "Labview" o "Matlab/Simulink". Su coste es mínimo, pues sólo se requiere una buena red de comunicación entre el ordenador local y el servidor, y su coste de operación es bajo.

Por otra parte, un laboratorio remoto permite la ejecución real de experimentos a usuarios remotos, estando a mitad de camino entre los laboratorios tradicionales y los virtuales. En este caso, además del equipamiento habitual en los laboratorios tradicionales, se necesita una interfaz entre la aplicación local y el servidor Web. Así, suele ser habitual incorporar una Webcam que permita la visualización de la evolución del sistema real.

MWS es una herramienta muy útil para el desarrollo de laboratorios virtuales [7], [8]. Sin embargo no se puede utilizar directamente para el control de procesos reales/industriales.

Este artículo muestra como se puede implementar el control remoto de procesos industriales mediante Internet. La configuración hardware del sistema está basada en PC y en tarjetas de adquisición de datos industriales. La configuración software está basada en Matlab, Matlab Web Server y en unos drivers para el acceso a las tarjetas de adquisición de datos. Estos drivers están escritos como funciones C-MEX que permiten la programación de las tarjetas de adquisición de datos desde el entorno de Matlab.

El trabajo va a describir primero las características básicas de *MWS*, y posteriormente se mostrará la configuración hardware/software desarrollada para el control remoto de procesos industriales, mostrándose un ejemplo real aplicado sobre un proceso industrial: el control de la velocidad y posición de un motor de corriente continua.

2 MATLAB WEB SERVER

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA HERRAMIENTA

Matlab Web Server es un conjunto de programas que permiten a los programadores de Matlab crear aplicaciones de Matlab accesibles desde la Web. Está diseñado para ejecutarse de forma continua en background como un servicio de Windows NT.

Para permitir la ejecución de aplicaciones de Matlab en remoto, Matlab Web Server utiliza los siguientes programas y ficheros [6]:

- *matlabserver*: Se encarga de las comunicaciones entre la aplicación Web y Matlab. Es un servidor TCP/IP multi-hilo que ejecuta los programas de Matlab (ficheros ".m") especificados en el documento HTML. En su fichero de configuración, *matlabserver.conf* se puede especificar información como el número de puerto de comunicación y el número máximo de simulaciones que se desean atender.
- *matweb.exe*: programa que reside en el servidor HTML. Es un cliente TCP/IP de matlabserver que utiliza la Common Gateway Interface (CGI) para extraer los datos de los documentos HTML y transferirlos a matlabserver
- *matweb.conf*: fichero de configuración que matweb necesita para conectarse con matlabserver

- *matweb.m*: llama al fichero ".m" que se desea ejecutar en la aplicación Web

En cada aplicación de Matlab se debe especificar el directorio de trabajo de la aplicación y el nombre del host que está ejecutando *matlabserver*. Opcionalmente también se puede especificar el número de puerto (que debe coincidir con el asignado en el fichero de configuración de matlabserver), así como el tiempo (en segundos) para el vencimiento de tiempo (timing out).

Los equipos que hacen las peticiones al servidor de Matlab deben tener instalado un navegador Web. Para entornos de PC, los navegadores más utilizados son el Netscape Navigator (www.netscape.com) o el Microsoft Internet Explorer (www.microsoft.com). En el trabajo se ha optado por Internet Explorer versión 5.5.

En este trabajo se mostrará la configuración de *MWS* para realización de laboratorios remotos y su aplicación para el control de procesos industriales. Una descripción más exhaustiva de la configuración, propiedades y desarrollo de aplicaciones básicas de *MWS* se puede encontrar en [8].

2.2 APLICACIONES

En los cursos docentes del área de Ingeniería de Sistemas y Automática el trabajo práctico realizado en laboratorios es muy importante. En el caso de la docencia a distancia la realización de dichas prácticas se complica porque obliga a los alumnos a tener una licencia del software utilizado, cosa que habitualmente no es posible. Por ello es muy importante tener herramientas que permitan la realización a través de Internet.

Tal como se ha comentado anteriormente, *MWS* permite enviar a través de la Web (basado en el protocolo TCP/IP) los parámetros de cualquier función de Matlab previamente desarrollada. En este sentido es muy fácil y rápido realizar laboratorios virtuales para usuarios de Matlab [8].

Sin embargo, *MWS* no permite la ejecución de aplicaciones de control en tiempo real basadas por ejemplo en la *Real-Time Workshop*, lo que imposibilita la realización de laboratorios remotos o la implementación del control remoto de procesos industriales.

Para evitar estas limitaciones se han desarrollado una serie de funciones que permiten, a partir de Matlab y de *MWS* el acceso a diversas tarjetas de adquisición de datos, permitiendo así el desarrollo de las aplicaciones citadas anteriormente.

3 CONFIGURACIÓN DE MATLAB WEB SERVER PARA EL CONTROL REMOTO DE PROCESOS INDUSTRIALES

3.1 CONFIGURACIÓN HARDWARE

La configuración del sistema propuesta (Figura 1) se basa en la configuración más simple de *MWS*, que consiste en tener un navegador de Internet en los computadores remotos que acceden a las aplicaciones implementadas con Matlab, mientras que en el servidor se tiene Matlab, Matlab Web Server y el servidor Web (httpd). Además, para permitir el control remoto de procesos reales se necesitan una serie de tarjetas industriales de adquisición de datos. En el trabajo se han utilizado las tarjetas de *Advantech™ PCL-812* para obtener las entradas analógicas y las entradas y salidas digitales, la *PCL-726* para proporcionar las salidas analógicas bipolares y la *PCL-833* para la lectura de las señales de encoders (señales habitualmente disponibles en los sistemas robotizados para indicar la posición de cada articulación). La configuración hardware se completa con el proceso industrial a controlar de forma remota, que en este trabajo ha sido un motor de corriente continua.

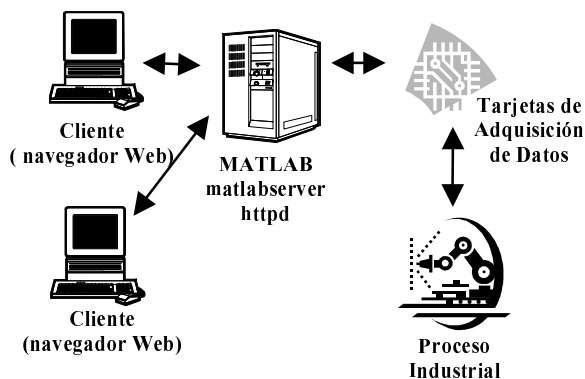


Figura 1: Configuración del laboratorio remoto

3.2 CONFIGURACIÓN SOFTWARE

Como se ha comentado anteriormente, la configuración software del laboratorio remoto propuesta está basada en Matlab, su extensión Matlab Web Server y los drivers de las tarjetas con formato de funciones C-Mex.

Para la instalación de *MWS* se necesitan básicamente los mismos requerimientos de hardware y software que para la instalación de Matlab 5, estando disponible para las plataformas de UNIX (Solaris) y Windows NT. Lo único adicional que se requiere es que esté también instalado el software de redes TCP/IP. Para la instalación del software servidor Web

(httpd o similar), se dispone de diversas opciones como Microsoft Peer Networking Services, Netscape Enterprise Server, Apache etc. La única restricción que se tiene es que el software debe permitir la ejecución de programas Common Gateway Interface (CGI). En nuestro caso se ha optado por Microsoft Peer Networking porque viene preinstalado e incluido dentro del sistema operativo Windows NT.

Las aplicaciones correspondientes a *MWS* serán generalmente una combinación de ficheros de Matlab ".m", código HTML y gráficos, de forma que la creación de este tipo de aplicaciones consistirá en la generación de los ficheros siguientes:

- Un documento de entrada HTML para enviar datos al Matlab
- Un fichero ".m" de Matlab para procesar las entradas y calcular las salidas
- Un documento de salida HTML para mostrar los resultados de Matlab
- Un fichero de prueba para validar el código antes de distribuir la aplicación en la Web

La estructura de ficheros anteriormente mencionada se muestra en la figura siguiente

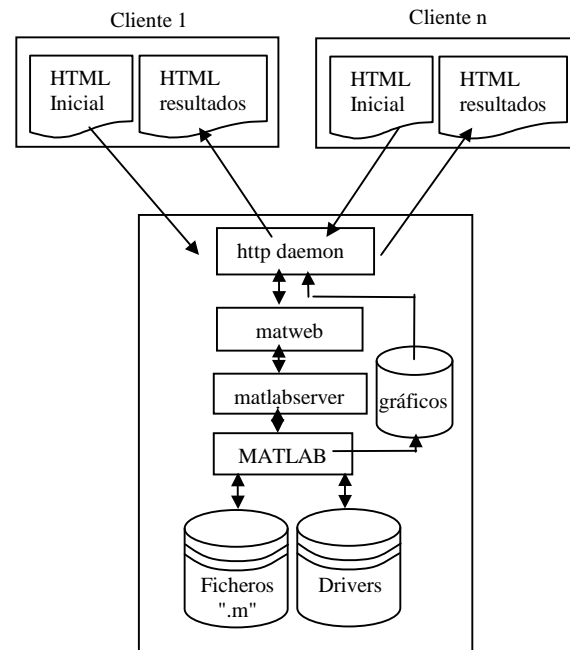


Figura 2: Estructura de ficheros laboratorio remoto

Para completar el laboratorio remoto se necesitan las rutinas de acceso a las tarjetas de adquisición de datos desde el entorno de Matlab:

- Conversiones A/D: permiten obtener las señales analógicas del sistema a controlar:
`>> voltaje = read_812(canal);`

donde canal es el canal de entrada (1 de los 16 canales de la PCL-812).

- Conversiones D/A: una vez se ha calculado la acción de control, con esta instrucción se le introducirá a la entrada del proceso a controlar:

```
>> write_726(voltaje, canal);
```

donde *voltaje* es la acción de control a convertir y *canal* es 1 de los 6 canales de salida de la PCL-726.

- Señales de Encoders: para medir la posición de ciertos sistemas (generalmente robots), se han programado las instrucciones siguientes:

```
>> init_833();
```

```
>> valor = read_833(canal);
```

La primera se utiliza para inicializar la tarjeta de encoders PCL-833, mientras que la segunda se utiliza para leer uno de los 3 contadores de 24 bits que tiene esta tarjeta.

- Entradas y salidas digitales: las entradas y salidas digitales nos permiten generar alarmas, paros de emergencia etc. En el laboratorio remoto se han implementado las instrucciones siguientes:

```
>> valor=read_di_812();
```

```
>> write_di_812(valor);
```

- Programación del periodo de muestreo: para poder implementar el periodo de muestro (expresado en milisegundos) con el que se actúa sobre el sistema se ha desarrollado una rutina que utiliza la función de C++ *Sleep*.

Todas estas funciones se han programado con el compilador Visual C++ v.6.0. Las funciones ejecutables Matlab se obtienen como ficheros tipo DLL a partir del comando mex:

```
>> mex read_812.cpp
```

4. CONTROL REMOTO DE PROCESOS INDUSTRIALES CON MATLAB WEB SERVER

Los laboratorios remotos pueden trabajar de forma *batch* y *on-line*. En el modo *on-line* el computador remoto es el que ejecuta el algoritmo de control, de manera que se transmiten por la red la información de los sensores y las acciones de control calculadas de forma remota. La ventaja de esta forma de trabajar es que se pueden variar en tiempo real las referencias y los parámetros del controlador, pero suelen darse muchos problemas debido a los retardos variables provocados por el tráfico de Internet.

El modo de trabajo *batch* evita estos retardos puesto que las referencias y los parámetros de los controladores se envían al servidor al inicio de la ejecución del experimento del control, de manera que al computador remoto se le devuelven las variables del sistema cuando el control ha terminado.

Este ha sido el modo de trabajo escogido para el laboratorio remoto desarrollado en este artículo. Gracias a él, cualquier estudiante autorizado con un computador conectado a Internet y un navegador Web puede controlar, sin necesidad de tener Matlab es su computador, el proceso industrial del laboratorio. Adicionalmente, con el fin de poder observar la evolución real del sistema, se ha conectado una Webcam mediante el software gratuito [5] Windows Media Technologies 7.

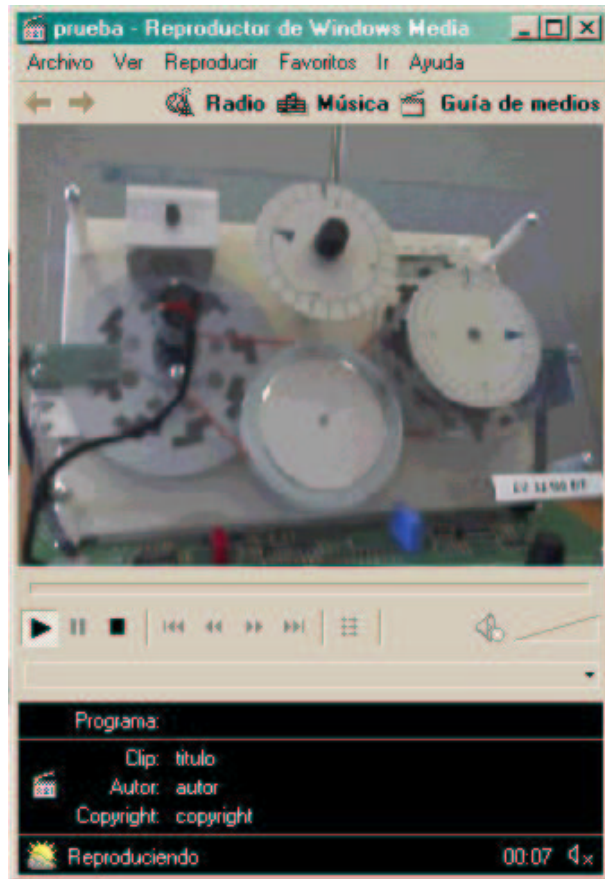


Figura 3: Visualización del proceso remoto con una Webcam

En la página principal del experimento (ver figura 5) se ha incluido un hiperenlace a la difusión de imágenes en directo. Cuando se selecciona la visualización del experimento, el programa Windows Media Player se abre automáticamente (figura 3) y las imágenes en tiempo real (con algún retraso) pueden ser vistas por los usuarios.

4.1 EJEMPLO: CONTROL REMOTO DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

Si bien con el laboratorio remoto implementado se puede controlar cualquier proceso físico cuyas señales sean accesibles (las salidas del proceso y las acciones de control), para este trabajo se ha utilizado el motor de corriente continua que se muestra en la figura 3.

La configuración del laboratorio remoto para este proceso es la siguiente:

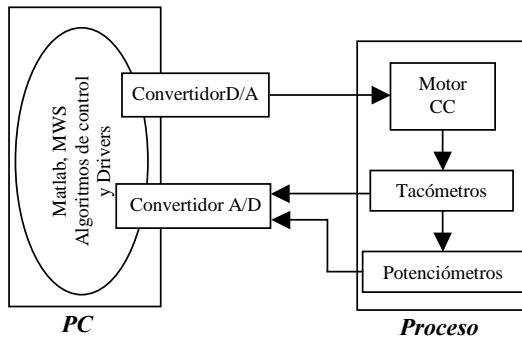


Figura 4: Configuración Laboratorio Remoto

En esta configuración, los potenciómetros y tacómetros proporcionan la posición y velocidad del motor de corriente continua. Dicha información se introduce al computador de control mediante los convertidores A/D. Con esta información, las referencias y los parámetros de la estrategia de control, el computador calcula una acción de control que se aplica mediante un convertidor D/A.

Para la realización de este laboratorio remoto se necesita un fichero HTML para el envío de todas las variables y datos (la referencia de funcionamiento, estrategia de control etc.) necesarios para la ejecución de la función de Matlab. En la Figura 5 se muestra la hoja de entrada de datos (*control.html*) para el control de velocidad y de posición del motor DC.

Control discreto de un motor

En esta página podrás controlar, mediante el controlador que tú decidas y, de manera on-line, tanto la velocidad de giro de un motor de corriente continua, como su posición angular. Para ello, deberás indicar el tipo de control (de posición o velocidad) que deseas realizar, así como la referencia adecuada en cada caso. Introduce también el periodo de muestreo y el numerador y el denominador de la función de transferencia correspondiente al controlador.

Pulsa aquí si deseas ver la imagen del prototipo en directo (20 segundos de retraso).

Datos necesarios:

Control de velocidad Control de posición

Velocidad de referencia: rps. Posición de referencia:

Periodo de muestreo: segundos.

Coefficientes del numerador (entre corchetes):

Coefficientes del denominador (entre corchetes):

[Ir al principio](#)

Figura 5: Página entrada de datos para control velocidad

Tal como se puede apreciar, se debe especificar la referencia de funcionamiento, el periodo de muestreo a utilizar así como la función de transferencia del regulador, y seleccionar la opción de control de velocidad.

Tan pronto como le llega la petición desde el computador remoto, el computador de control ejecuta el fichero de Matlab correspondiente (en este caso, *control.m*). Este fichero, que tiene la forma de una función típica de Matlab, es el que establecerá el control del motor utilizando los drivers de las tarjetas de adquisición de datos.

Una vez terminada la ejecución de la rutina de control se devolverán los datos más interesantes (habitualmente la evolución de la salida del sistema) al usuario remoto mediante una segunda página Web (*control2.html* para este sistema). En la Figura 6 se muestra el aspecto de esta página después de haber realizado la ejecución del control de velocidad.

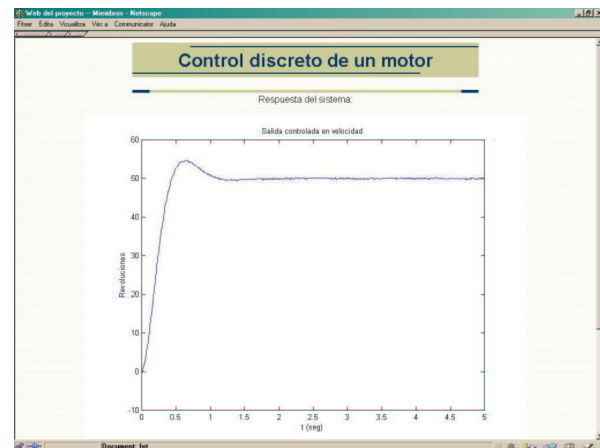


Figura 6: Página de salida del control de velocidad

En el laboratorio remoto también se tiene la posibilidad de establecer el control de posición del mismo sistema físico.

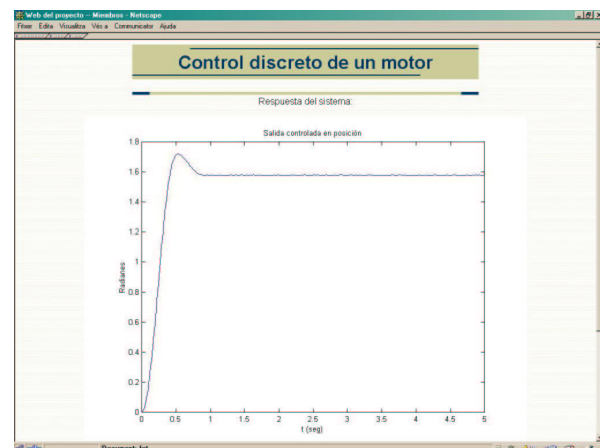


Figura 7: Página de salida del control de posición

De una forma similar a la descrita anteriormente, los usuarios remotos tienen que proporcionar los parámetros necesarios para este control, siendo en este caso la referencia la posición angular del motor en radianes, y seleccionar en este caso la opción de control de posición. El fichero *.m* es el mismo que en el caso anterior, ya que las operaciones a realizar son las mismas con la peculiaridad que se debe comprobar qué opción de control ha sido seleccionada. El motivo de esto es reducir en lo posible el número distinto de páginas web a las que deba acceder el alumno y con ello conseguir que la velocidad de trabajo sea mayor. La Figura 7 muestra la página de salida para el control de posición del motor de corriente continua.

5 CONCLUSIONES

Matlab Web Server es una herramienta muy útil para realizar aplicaciones desarrolladas en Matlab accesibles desde cualquier computador remoto que tenga un navegador Web. Para ello básicamente sólo se necesita una página HTML que proporcione los parámetros de entrada, la función de Matlab a ejecutar, y otra página HTML para mostrar los resultados de salida, pudiéndose visualizar en forma de texto o mediante gráficos con formato *jpeg*.

En el caso del control remoto de procesos industriales, se necesita una configuración adicional con las tarjetas de adquisición de datos y los drivers, escritos para ejecutarse desde el entorno de Matlab, para el acceso a las señales del sistema a controlar. En el trabajo se ha mostrado la configuración del laboratorio remoto que se ha desarrollado así como una ejemplo práctico de su aplicación para establecer el control de velocidad y posición de un proceso industrial.

Finalmente, como es habitual en un laboratorio remoto, se ha incluido una Webcam para permitir la visualización de la evolución real del sistema además de la información gráfica devuelta por la aplicación web.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Vicerrectorado de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Universidad Politécnica de Valencia por la financiación parcial de este trabajo, bajo el proyecto de I+D para grupos emergentes (proyecto PPI-6-00-20010031).

Referencias

- [1] Johansson M., Gäfvert M., Aström K. J. (1998) "Interactive Tools for Education in Automatic Control", *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 18, pp. 33-40.
- [2] Overstreet J. W., Tzes A. (1999). "An Internet-Based Real-Time Control Engineering Laboratory", *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 19, pp. 19-34.
- [3] Paproch, Kenneth., (1998). Distance Learning: The Ultimate Guide London. Sage Publications.
- [4] Poindexter S.E., B.S. Heck, (1999) "Using the Web in your Courses: What can you do? What should you do?", *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 19.
- [5] Microsoft Corp. (2000). "Microsoft Windows Media™ JumpStart CD".
- [6] The MathWorks Inc. (1999). "Matlab Web Server user's guide".
- [7] Valera, Á., Vallés, M., Tornero, J., (2001) "LabConRob: Virtual Laboratory of Real-Time Robot Control", *Robotica*. **43**. ISBN 152701/00. SIN 0874-9019. Pp 40-45.
- [8] Vallés, M., Valera, Á., Díez J.L., (2001). "Setting up a Virtual Matlab Control Laboratory.", *Education in Automatic Control EDCOM 2001*. To be presented.