

# LABORATORIO REMOTO PARA LA PROGRAMACIÓN DE ROBOTS INDUSTRIALES ABB EN LENGUAJE RAPID

A. ROSADO, R. SEGURA, G. RUIZ, J. MUÑOZ, R. MAGDALENA  
*Departamento de Ingeniería Electrónica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería.  
Universidad de Valencia. 46100 Burjassot. Valencia. España.*  
Alfredo.Rosado@uv.es

*El aprendizaje efectivo del lenguaje de programación para robots necesita de una constante realización de prácticas. Este trabajo describe la metodología llevada a cabo para conseguir el aprendizaje del lenguaje RAPID. Se ha desarrollado un sistema de aprendizaje para prácticas remotas y presenciales que emplea un robot IRB140 de ABB, un PLC con tarjeta Ethernet y servidor web, una cámara IP para visualizar la ejecución de la práctica en tiempo real, una matriz de sensores electromagnéticos y un servidor web PC. El usuario puede acceder desde un navegador web a la programación del robot a cualquier hora del día, descargar remotamente el programa y observar en tiempo real el resultado, obteniendo información de los movimientos realizados por el robot. Con ello, se desea conseguir que el estudiante pueda realizar prácticas reales de programación de robots, tanto de forma presencial como remota.*

## 1. Introducción

Hoy en día, la gran mayoría de empresas cuentan con líneas de producción más o menos automatizadas. Cada vez es más frecuente ver cómo la presencia de un robot industrial es parte del sistema integral de automatización, como por ejemplo, al final de una línea para paletizar el producto final y facilitar así su transporte. Un ejemplo paradigmático es el sector del automóvil, permanentemente a la vanguardia de las nuevas técnicas de producción, donde la producción está cada vez más robotizada. En cambio, debido al abaratamiento de los robots, cada vez resulta más habitual encontrar robots industriales en numerosas aplicaciones, dada su robustez y fiabilidad, lo que permite una producción de mejor calidad, o bien realizar tareas que podrían calificarse de alto riesgo para ser realizadas por operarios.

En la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universitat de València, dentro de la titulación de Ingeniería Técnica de Telecomunicación, especialidad de Sistemas Electrónicos ya se viene impartiendo una asignatura sobre programación de autómatas programables (PLC), dirigida a los alumnos de 2º curso donde se emplean PLC de Siemens y más profundamente de OMRON. Como complemento de esta asignatura, en 3er curso se imparte la asignatura optativa S.I.D. (Sistemas Industriales Distribuidos), donde, además de profundizar en los PLC Siemens, se recorren las distintas topologías de redes de comunicación industriales, haciendo especial hincapié en la red Profibus. Por tanto, es en esta asignatura donde se plantea la posibilidad de introducir la impartición de un lenguaje de programación de robots industriales como es RAPID, del fabricante líder ABB, siendo un complemento ideal para complementar las nociones de sistemas de automatización industriales avanzados. Esto es lo que nos llevó a la idea de implantar una plataforma de aprendizaje sobre programación de robots, consiguiendo la familiarización con el mismo de nuestros estudiantes, enseñando así mismo el lenguaje de programación RAPID. Adicionalmente, el aprendizaje de programación de robots industriales se imparte en el Máster en Diseño, Instalación y Mantenimiento de Sistemas de Automatización industrial – DIMSAI (<http://industrial.uv.es>).

Tratándose de un módulo de aprendizaje orientado a adquirir el conocimiento de un lenguaje de programación, no resulta sencillo alcanzar todos los objetivos que se persiguen, ya que la impartición teórica de los fundamentos del lenguaje puede resultar densa y poco aprovechada por el alumno si ésta se plantea de un modo puramente enciclopédico y descriptivo. Por tanto, se ha optado por desarrollar una dinámica de trabajo que consiga que el alumno se vea más implicado en el aprendizaje del lenguaje y pueda aprender sus recursos de programación conforme resuelve problemas y realiza ejercicios prácticos, todo ello teniendo en cuenta que la Universitat de Valencia dispone únicamente de un robot industrial, lo que hace que no resulte sencillo el acceso al mismo por parte de los estudiantes. Así pues, había que plantear una solución mediante la cual, el máximo número de alumnos pudiera disfrutar del uso del mismo, al mínimo coste posible dado el elevado precio por unidad, por lo que se optó por desarrollar un laboratorio virtual y remoto con posibilidades adicionales de realizar prácticas presenciales.

Existen pocas experiencias en el campo de la programación de robots para lograr controlarlo a través de Internet como en el caso de [1] donde permiten el acceso a un simulador virtual del robot, pero no al robot físico. Por otro lado, en [2] propusieron un sistema similar al que se expone aquí, pero para un robot no industrializado y mediante un interfaz poco estandarizado a través de múltiples conexiones, lo que lo hacía poco flexible además de no disponer de prácticas de laboratorio estandarizadas y autoevaluables.

En cambio, el planteamiento de poder acceder a recursos hardware remotos a través de Internet con fines educativos ya viene siendo un campo de trabajo desde hace varios años. De hecho, resulta cada vez más habitual la existencia de jornadas y congresos con temas específicos en el área del aprendizaje a distancia y el uso de las TIC como herramienta base. En el caso que nos ocupa, existen diversas publicaciones interesantes donde se reflejan diversas propuestas similares a la que este trabajo describe. En [3] se describen numerosas posibilidades para poder realizar experimentos de electrónica a través de Internet, En 2002, [4] ya obtuvo el premio al mejor trabajo por el acceso remoto al control de experimentos de electricidad por su novedad e interés, [5] y [6] también realizan propuestas encaminadas en este sentido. Esta gran actividad en este tipo de trabajos muestra el enorme interés que suscita y las posibilidades que se pueden plantear con el acceso remoto a elementos hardware.

Cada fabricante de robots suele tener su propio lenguaje de programación, como por ejemplo, KUKA, Comau, Staubli, etc., pero el principal objetivo de este módulo es conocer la programación orientada a objetos y para ello, se utilizará un robot ABB, programando en RAPID que es uno de los más comunes en la industria.

## 2. Descripción

El robot se ha instalado en un laboratorio, dentro de una sala habilitada al efecto. Dado que la idea principal es poder realizar diversas prácticas de programación de forma remota, además de la propia instalación del robot, es necesario incluir elementos de seguridad como barreras fotoeléctricas para poder controlar la seguridad del robot a distancia, tanto del laboratorio físico como de los posibles usuarios que se encontraran en el mismo en el momento de su uso, así como disponer de un sistema de aprendizaje que además sea capaz de verificar si el estudiante realiza las tareas asignadas de forma correcta. El laboratorio sigue la estructura mostrada en la figura 1, y lo forman los siguientes componentes:

1. Robot ABB modelo IRB140 [7] con tarjeta de comunicaciones combi (E/S Analógicas y Digitales) que se comunica mediante una red DeviceNET. Cuenta con 16 ED (Entradas Digitales) y 16 SD (Salidas Digitales). Además, se ha instalado una unidad esclava de entradas/salidas de OMRON y bus de campo DeviceNET aportándole 8 ED y 8 SD adicionales. Gracias a estas tarjetas de comunicación DeviceNET, se envían y reciben señales desde el PLC para permitir el control del robot (arranque, paro, inicio programa, etc.).
  - En la punta del robot se ha instalado un electroimán para simular el funcionamiento de una garra, a fin de que se puedan mover objetos metálicos, así como activar sensores

electromagnéticos. De este modo es posible mover piezas y revisar si el estudiante está activando sensores de forma correcta.

2. Autómata Siemens 314 IFM con tarjeta de Ethernet CP 343-1 IT [8], que ésta a su vez tiene servidor web integrado. El autómata dispone de 22 ED y 16 SD. El autómata controla el arranque y paro de los motores del robot, así como la carga y posterior ejecución del programa. Por otro lado, también se encarga de controlar que el robot haga la práctica correctamente, es decir, que el programa descargado en el robot por el estudiante realiza el proceso que se le ha indicado. En [9] también emplean esta misma tarjeta de comunicaciones para el desarrollo de un laboratorio virtual.
3. Área de trabajo: Se ha diseñado una plataforma de trabajo, donde se han integrado 16 sensores tipo 'reed', que se activan gracias al campo magnético creado por la cabeza del robot (electroimán). También, debajo de esta plataforma se han instalado unos finales de carrera para evitar que una mala programación pueda romper la cabeza al colisionar con la mesa. Al colisionar con la plataforma (activar los finales de carrera), el robot sube 10 cm. verticalmente y posteriormente retorna a la posición inicial mediante una rutina programada al efecto. Adicionalmente, se ha configurado el robot de modo que sólo existe un área de trabajo válida de tal modo que el usuario no puede acceder fuera de ella. También existe una barrera de seguridad, de modo que si se accede al robot cuando éste está en movimiento, automáticamente se para.
4. Panel luminoso. Con este panel luminoso se puede visualizar si se ha realizado correctamente la práctica (verde) o en su defecto no se ha logrado (rojo). Cuando el robot está ejecutando el programa, una luz ámbar está encendida, indicando que el robot se encuentra ejecutando el código. Con las tres luces restantes se visualiza el estado del PLC y del Robot (verde si está preparado) y una luz roja para visualizar si se ha producido algún error de programación o ejecución.
5. Cámara IP. Se ha instalado una cámara IP para su visualización vía web. De este modo, además de que el estudiante se informe de su progreso a través de la página web desarrollada al efecto, es posible ver cómo se mueve el robot en tiempo real, y el estado del panel luminoso.
6. Servidor Web Apache bajo PC. Para gestionar los accesos al robot (sólo un usuario puede acceder en cada momento) mediante validación de usuario, gestión de colas y de tiempos de acceso (existe un tiempo de uso máximo por usuario), y todo lo relacionado con la programación de páginas web no directamente relacionadas con el acceso al robot, se ha utilizado en un computador PC como servidor web (<http://labserv.uv.es>) que centraliza la gestión del laboratorio, guarda informes de uso, estadísticas de acceso, etc.

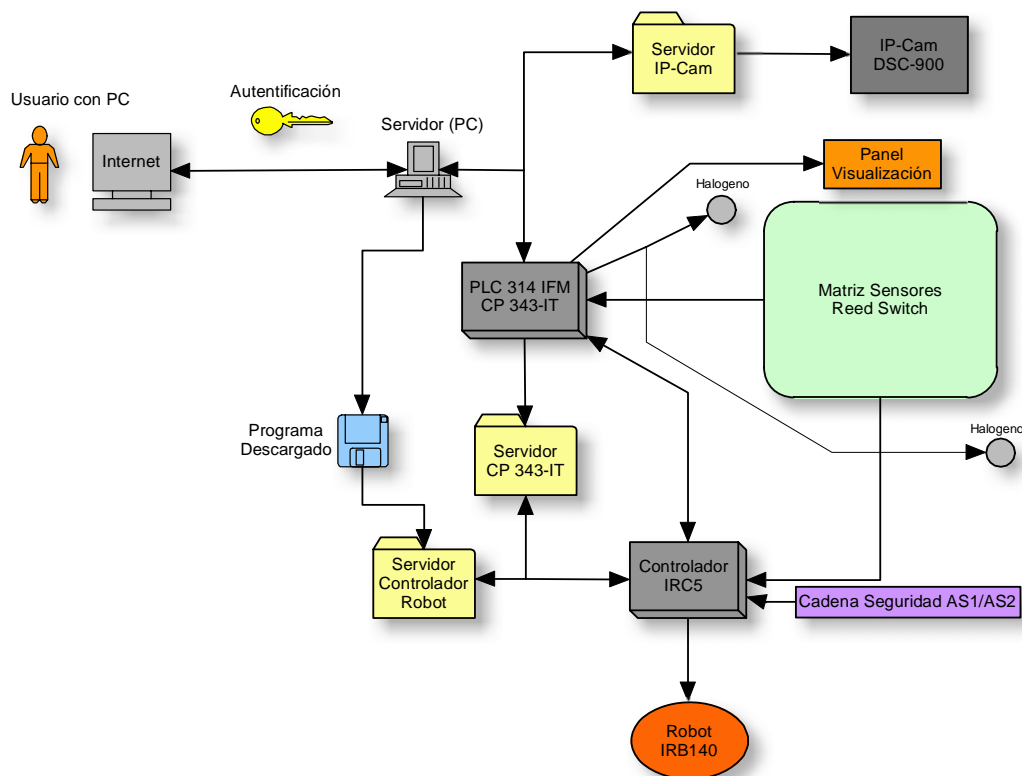
De forma complementaria, se han fabricado 2 modelos de cajas, 70x50x30 y 60x40x20 (largo x ancho x alto) para realizar prácticas de apilado y paletización. Todo esto permite la realización de prácticas de laboratorio tanto de forma presencial como virtual, sin necesidad de elementos periféricos adicionales.

Al laboratorio se le han instalado unas luces halógenas para poder hacer uso del mismo las 24 horas día, ya que en la noche, el sistema proporciona una iluminación similar a cuando se realiza una práctica de día. La figura 1 muestra la disposición general de los elementos empleados para el montaje del sistema.

### 3. Aplicaciones

Se pretende que el alumno aprenda a programar robots sin que éste posea conocimientos previos, y que conozca las principales funciones e instrucciones de la programación en RAPID [10]. De manera adicional, el desarrollo de este laboratorio intenta fomentar varias competencias transversales y habilidades como el trabajo en grupos reducidos, manejo de información en inglés, aprendizaje autónomo,

además de mejorar la expresión oral y escrita, que a menudo resultan factores que el alumno debe potenciar.



**Figura 1.** Distribución de los diversos elementos que conforman el laboratorio remoto.

El módulo de Sistemas Industriales Distribuidos [11] es una asignatura Optativa de tercer curso de la titulación de Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones, especialidad Sistemas Electrónicos, que tiene una carga lectiva de 6 créditos (3 teoría + 3 laboratorio), en la que se pretende proporcionar al alumno una formación adecuada en el diseño y programación de redes de comunicaciones (AS-I, Profibus, DeviceNET, SCADA). Recientemente se ha incorporado también la robótica. Una parte importante del temario se dedica al diseño de redes de comunicaciones y diseño SCADA (80% de teoría y 70% de laboratorio) y el resto a robótica (20% de teoría y 30% de laboratorio).

Respecto al laboratorio, de un total de 10 sesiones de 3 horas (semanalmente de Marzo-Mayo), se proponen 2 sesiones dedicadas a la programación en AWL [12], 3 sesiones para trabajar con distintas redes (AS-i, Profibus DP y DeviceNET), 2 sesiones para SCADA y las 3 últimas para la programación en RAPID. Centrándonos en las 3 sesiones presenciales de RAPID, las prácticas a realizar se plantean de forma tradicional, es decir, en cada una de ellas se propone un guión de trabajo que el alumno debe resolver, y en el plazo de una semana el alumno debe entregar una memoria del trabajo realizado junto con los programas realizados. En las prácticas presenciales el disponer de un solo robot no es problema, ya que desde cada uno de los PC de trabajo de cada grupo (parejas) se procede a descargar la programación al robot, eso sí, por turnos organizados. Las prácticas presenciales que se proponen son las siguientes:

1. Introducción a la programación orientada a objetos. Se comienza con movimientos básicos con FlexPendant para que el alumno se familiarice con el robot.
2. Programación en 3 ejes. Durante esta práctica el alumno será capaz de programar al robot para que active y desactive los sensores integrados en la mesa de trabajo.
3. Programación en 6 ejes. Aquí se propone convertir el robot, en un paletizador. Para ello, se han realizado 2 tipos de cajas (6x4x2 cms y 7x5x3 cms), donde se deberá de montar un palet adecuadamente en función del tipo de cajas.

Una vez que los estudiantes ya conocen la base para programar el robot, ya pueden comenzar a emplear el acceso remoto desde fuera del laboratorio (en casa, biblioteca, etc.) para la programación del robot con prácticas adicionales. Se proponen varias prácticas concretas y es también posible su uso como programación libre. Cada una de las prácticas propuestas poseen un área específica de la página web con información particularizada para cada una de ellas, donde el estudiante puede ver (además de verlo en la cámara IP) si el robot está moviéndose a los puntos indicados por el guión de la práctica. Adicionalmente, una vez finalizada la práctica, se informa de si se ha realizado con éxito o no; esta verificación la lleva a cabo el autómatas Siemens mediante la verificación de los puntos recorridos por el robot. Inicialmente están propuestas las siguientes prácticas remotas:

1. Programa que recorra 4 puntos situados en unas coordenadas concretas, utilizando movimientos lineales y activando/desactivando la señal del electroimán.

Practica 1			
Punto (0,0)	NO ACTIVADO	Punto (520,80)	NO ACTIVADO
Punto (510,455)	NO ACTIVADO	Punto (425,810)	NO ACTIVADO

**Figura 2.** Área de Pantalla específica de la práctica 1.

2. Programa de ensamblado/atornillado de piezas donde inicie el usuario con el uso de bucles, todo referenciado sobre un punto definido por el programador.

Practica 2			
Cinta de entrada	PIEZA EN ESPERA	Cinta de salida	CINTA VACIA
	Punto de trabajo		NO ACTIVO
Tornillo 1	VACIO	Tornillo 2	VACIO
Tornillo 3	VACIO	Tornillo 4	VACIO

**Figura 3.** Área de Pantalla específica de la práctica 2

3. Programa de apilado donde se tengan que apilar un total de 12 cajas, distribuidas en 3 filas, insertando entre cada una de ellas un cartón de protección y una vez finalizado el apilamiento de las mismas, se ha de transportar el palet al muelle de carga.

Practica 3			
Estado del conveyor	CAJA EN ESPERA	Estado del Muelle	MUELLE VACIO
Coger Cartón	CARTON EN ESPERA	Poner Cartón / Mover palet	ESTADO: NO ACTIVADO
Caja 1	SITIO VACIO	Caja 2	SITIO VACIO
Caja 3	SITIO VACIO	Caja 4	SITIO VACIO

**Figura 4.** Área de Pantalla específica de la práctica 3

#### 4. Plataforma web

Se ha diseñado una plataforma web bajo las premisas de simplicidad y fácil comprensión. Para poder disponer de un entorno web potente y con posibilidades de gestión de usuarios, almacenamiento de datos, registros de conexión, etc., además del servidor web instalado en la tarjeta CP343-1 IT de Siemens que proporciona la comunicación directa con valores de memoria interna y de entradas y salidas del PLC, ha sido necesaria la instalación de un servidor web bajo PC. Se ha instalado un ordenador PC haciendo las veces de servidor web principal. El servidor es operado bajo sistema operativo Linux, intentando así proporcionar la máxima robustez. La web ha sido realizada en lenguaje PHP, ofreciendo el máximo dinamismo a la misma, de este modo, el usuario accede a este servidor, y éste a su vez es el encargado de acceder al robot para la descarga del programa de usuario, y acceder al PLC para visualizar la página de control del robot.

Con el entorno web propuesto, en primer lugar, el usuario tiene que estar registrado en el sistema para poder hacer uso del mismo. En la página principal hay una opción *'Nuevo Usuario'* donde se puede registrar (figura 5d). En la misma web, el usuario dispone de un documento de ayuda e iniciación al manejo del entorno remoto de programación, así como el guión de las prácticas a desarrollar, que se puede descargar para realizar la programación correspondiente de modo off-line. Una vez que se desea comprobar el resultado de la programación realizada, para acceder remotamente al robot, una vez autenticado, el usuario de la plataforma web debe seguir los siguientes pasos:

- Seleccionar la práctica que se desea realizar (figura 5b) y cargar el fichero de programación RAPID ya realizado. (figura 5c)
  - La carga del programa (realizado en lenguaje RAPID) se realiza directamente sobre el controlador del robot, y consiste en un fichero de tipo texto que el estudiante puede editar desde su PC con cualquier aplicación que maneje ficheros de texto (Bloc de notas, Ultraedit, etc.)

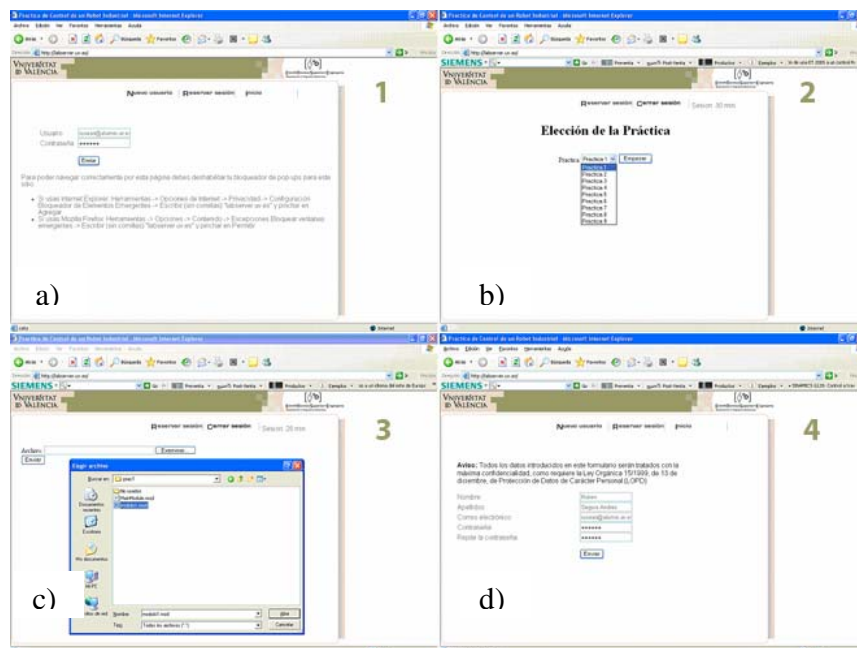
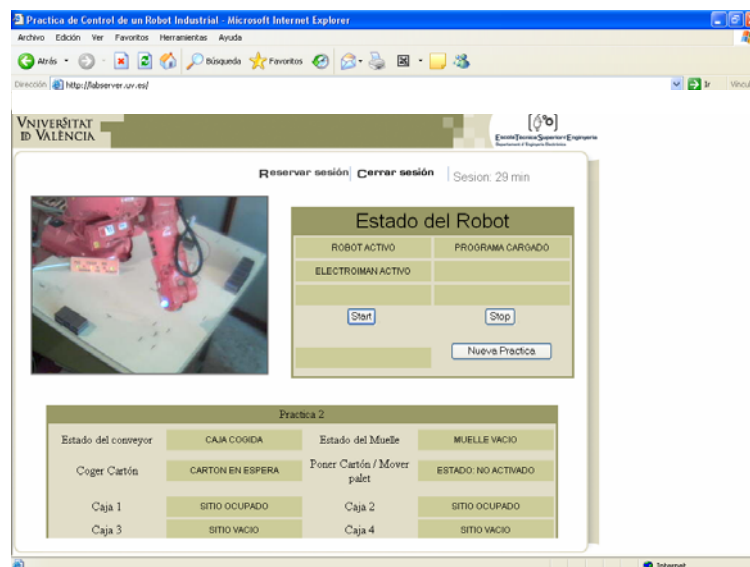


Figura 5. Diversas pantallas de acceso al sistema de laboratorio remoto.

- Una vez se ha cargado el fichero en el controlador del robot, se accede al servidor web del PLC que ofrece la pantalla principal (figura 6) con la posibilidad de interactuar con el robot mediante tres botones:
  - Start: Para comenzar a ejecutar el programa cargado.
  - Stop: Para detener en cualquier momento el programa.
  - Nueva Práctica: Si se desea realizar otra práctica o volver a descargar el programa con las modificaciones oportunas, en caso de detectar errores.
- En el menú superior encontramos las opciones de ‘Reservar Sesión’, ‘Cerrar Sesión’ y a su vez se visualiza el tiempo restante de la sesión actual (se ha establecido un tiempo máximo de sesión de 30 minutos por usuario)
  - Reservar Sesión: Esta opción permite realizar una reserva del equipo por un espacio de 30 minutos, en cualquier momento del día.
  - Cerrar Sesión: Si se termina la práctica antes de los 30 minutos previstos, presionando este botón se finalizará la sesión liberando el uso del robot para el resto de usuarios.

Una vez dentro de la pantalla principal del laboratorio remoto, vemos dos partes diferenciadas que dividen la pantalla horizontalmente:

- En la parte superior izquierda se visualiza el robot en tiempo real a través de la cámara IP, mientras que en la derecha se visualiza la zona donde el usuario puede interactuar directamente con el robot, ya sea arrancándolo/parándolo o bien visualizando la información de los cuadros de texto que chequean y visualizan constantemente el funcionamiento del sistema. En esta parte también se indica al usuario si el programa realizado ha cumplido con los objetivos propuestos inicialmente.
- En la parte inferior de la pantalla se visualiza una pantalla propia de cada práctica como se explicó en el apartado anterior (figuras 2 a 4) donde se puede seguir la evolución de la práctica visualizando si se ha ejecutado correctamente el posicionamiento del robot en los puntos requeridos.



**Figura 6.** Entorno Web. Pantalla de visualización y manejo del robot.

## 5. Análisis de los resultados

Por el momento no se ha tenido la oportunidad de probarlo con los estudiantes, ya que la asignatura de Sistemas Industriales Distribuidos (SID) corresponde al segundo cuatrimestre y las prácticas de programación de robots está previsto realizarlas durante las tres últimas semanas del mes de Mayo. El sistema ya ha superado una fase de pruebas y ahora mismo se encuentra a la espera de pasar la prueba definitiva que será cuando los alumnos prueben la aplicación docente. El sistema está operativo (figura 7) y se espera ponerlo en práctica con los estudiantes a partir de Mayo de 2008.



**Figura 7.** Montaje experimental del laboratorio virtual.

Hasta la fecha, los resultados obtenidos hacen pensar que se trata de un sistema capaz de obtener los objetivos marcados, es decir, permitir el uso intensivo de un material que si bien no es posible su uso simultáneo, es posible tenerlo disponible las 24 horas del día los 365 días del año, con lo que la inversión en este tipo de equipamiento queda mejor rentabilizada, sin necesidad de adquirir múltiples equipos, con el consiguiente ahorro económico. Un robot industrial IRB140 como el empleado tiene un coste de adquisición de alrededor de 24.000 euros, por lo que no resulta fácil la adquisición por parte de la Universidad.

## 6. Conclusiones

Esta metodología pretende por otro lado iniciar una aproximación a la docencia acorde con el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), para que una vez implantados los nuevos títulos de grado y postgrado, se pueda planificar la docencia habiendo tenido experiencias previas.

Como posibilidad de ampliación a corto plazo, se prevé una plataforma de aprendizaje a través de Internet (Aula Virtual, ya utilizada como plataforma en la UV), para que el alumno que lo desea pueda reservar el robot durante un espacio de 30 minutos, descargar y ejecutar el programa, teniendo la

posibilidad de visualizarlo a través de cámara IP, almacenando estadísticas de uso, permitiendo auto evaluación, y otras posibilidades para mejorar el aprendizaje a distancia.

Cabe reseñar que en el diseño de este proyecto, se ha buscado constantemente la flexibilidad. Prueba de ello es tanto la matriz de sensores, como su base, siendo totalmente desmontables y posibilitando el desarrollo de nuevas aplicaciones. Al tener situados estratégicamente los sensores se pueden realizar infinidad de prácticas con la plataforma con el factor añadido de que se puede simular el movimiento de piezas sin necesidad de moverlas físicamente, pues si esto fuera posible, sería prácticamente imposible controlar la ubicación de los objetos tras la ejecución de programas por parte de varios usuarios.

## 7. Referencias.

- [1] Candelas Herías, F. A., Jara Bravo, C.A., Torres Medina, F: *Flexible virtual and remote laboratory for teaching Robotics*. Current Developments in Technology-Assisted Education proceedings, edited by A. Méndez-Vilas, A. Solano Martín, J.A. Mesa González and J. Mesa González. pp.1959-1963. Formatex. (2006).
- [2] Šafaric, R., Truntic, M., Hercog, D. y Pacnik, G. *Control and robotics remote laboratory for engineering education*. iJOE International Journal on Online Engineering. Vol.1 no.1 <<http://www.i-joe.org>>. (2005)
- [3] Fjeldly, T.A., Shur, M.S.. *LAB ON THE WEB: Running Real Electronics Experiments via the Internet*. John Wiley and sons. (2003)
- [4] Gustavsson, I. *A Remote Laboratory for Electrical Experiments*. Proceedings of the 2002 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition. American Society for Engineering Education. (2002).
- [5] Hercog, D., Gergic, B., Matko, V. *Remote Lab for Electric Drives*. IEEE International Symposium on Industrial Electronics - ISIE 2005.
- [6] Herrera, O.A., Alves, G.R., Fuller, D., y Aldunate, R.G.: *Remote Lab Experiments: Opening Possibilities for Distance Learning in Engineering Fields*. Del libro: "Education for the 21st Century — Impact of ICT and Digital Resources. FIP 19th World Computer Congress, TC-3, Education, Springer Boston. (2006).
- [7] ABB. *Manual de Referencia Técnica. Parámetros del sistema*. Sweden. 2005
- [8] Siemens. *Manual tarjeta de comunicaciones, CP-343 IT. S7Beans / Applets for IT-CPs*. Junio 2003.
- [9] Damas, M., Pomares, H., Tarifa, J.A., Jiménez Mesa, G., y Roldán Herencia, M.V.: *Virtual laboratory for the supervision and control of scale models of industrial processes*. Current Developments in Technology-Assisted Education proceedings, edited by A. Méndez-Vilas, A. Solano Martín, J.A. Mesa González and J. Mesa González. pp.1959-1963. Formatex. (2006)
- [10] ABB. *Manual de referencia de RAPID*. 2004
- [11] A. Rosado. *Documentación y página web de la asignatura SID*. <http://www.uv.es/sid>. 2008
- [12] Siemens. *Lista de instrucciones (AWL) para S7-300. Manual de referencia*. Enero 2004