

## Diseño de Laboratorios Virtuales y/o Remotos. Un Caso Práctico

J.M. Andújar Márquez , T.J. Mateo Sanguino

*Dpto. de Ingeniería Electrónica, Sistemas Informáticos y Automática (DIESIA),  
Universidad de Huelva (UHU), Palos de la Frontera (Huelva),  
[tomas.mateo@diesia.uhu.es](mailto:tomas.mateo@diesia.uhu.es)*

**Resumen:** En este artículo se realiza un análisis sobre las formas de acceso a los recursos experimentales de un laboratorio universitario (presencial o remoto a través de Internet), así como de los propios elementos y/o sistemas para realizar los experimentos, los cuales pueden ser virtuales (simulados en un ordenador) o físicos tangibles (tradicionalmente usados en las prácticas presenciales). A partir de aquí, se proponen unas pautas de diseño de laboratorios de acceso remoto con control de sistemas físicos a través de instrumentos virtuales. Como caso práctico de aplicación se presenta un proyecto educativo y de investigación: el Laboratorio de Ensayo de Robots (LER), que dirigido a la enseñanza en Automática, está siendo llevado a cabo por profesores y alumnos de grado y posgrado de la Universidad de Huelva. Copyright © 2010 CEA.

**Palabras Clave:** Educación en Automática, E-learning, Instrumento Remoto, Instrumento Virtual, Laboratorio Remoto, Laboratorio Virtual, Robótica.

### 1. INTRODUCCIÓN

El objeto de este artículo es analizar las diferentes posibilidades de enseñanza que ofrece un laboratorio virtual y/o remoto, la mayoría de ellas complementarias y sinérgicas, así como proponer una pauta de diseño de laboratorios con acceso remoto y manejo de sistemas físicos mediante instrumentos virtuales (VIs). Como ejemplo de aplicación, se muestra una experiencia educativa de laboratorio de automática dedicado al ensayo de robots (LER).

La elevada disponibilidad actual de herramientas de desarrollo virtual, han motivado a universidades y grupos de investigación a diseñar nuevos entornos de enseñanza-aprendizaje interactivos (Guzmán *et al.*, 2007). Con esta idea, los laboratorios MeRLab (Pipan *et al.*, 2009) y Telelabs (Rae, 2004) presentan varios VIs desarrollados con LabView<sup>TM</sup>, que permiten el estudio de brazos robóticos y sistemas mecatrónicos. Mediante esta misma herramienta de programación, en (Peek *et al.*, 2005) se describen los requerimientos necesarios para ofrecer un laboratorio virtual docente que resulte efectivo y flexible vía web, incluso a pesar del hecho de abordar problemas complejos de Ingeniería de Control. Con la idea de crear conocimiento y construir comunidades, la plataforma Connexions<sup>®</sup> dispone también de VIs para el procesamiento de señales mediante simulaciones interactivas (Luther, 2006). Mediante el uso de LabView<sup>TM</sup> integrado con la herramienta Matlab<sup>®</sup>/Simulink, la Universidad de Chattanooga dispone de simulaciones para el estudio del control y la dinámica de sistemas (Henry *et al.*, 2003). La integración de Matlab<sup>®</sup> y Simulink es habitual para el desarrollo de aplicaciones interactivas con capacidad remota, como por ejemplo en el laboratorio de control ACT de la Universidad de Siena (Casini *et al.*, 2004). En otras ocasiones, Java es la herramienta utilizada para la teleoperación web de instrumentos, como el manipulador robótico del laboratorio Robotoy. En

(Sánchez *et al.*, 2005a) se detallan los pasos básicos y las características necesarias para transformar una simulación clásica en una completa aplicación interactiva. En (Sánchez *et al.*, 2005b; Jiménez *et al.*, 2006) se describe cómo el uso de la herramienta Ejs facilita el desarrollo de laboratorios virtuales. Mediante el uso de esta misma herramienta, el laboratorio de la UNED ha desarrollado un laboratorio de control basado en recursos web (Dormido *et al.*, 2008).

La integración de recursos e-learning con instrumentos virtuales interactivos, permite a los profesores desarrollar nuevas prácticas y programar actividades. En (Dominguez *et al.*, 2005) se destaca la importancia de los laboratorios remotos y su implicación en la docencia en Automática. Un referente en el campo del Control y la Automática es AutomatL@bs, cuya principal aportación ha sido la coordinación de los esquemas de trabajo y contenido de una experiencia docente interuniversitaria, lo que es percibido por los usuarios como un laboratorio de estructura uniforme independiente de la localización física de los sistemas (Dormido *et al.*, 2007b). Otro de los ejemplos es el laboratorio virtual del grupo Aurova, dedicado al control de brazos manipuladores, visión artificial y redes de comunicaciones (Jara *et al.*, 2009). En este mismo campo, en (Torres *et al.*, 2006) se presentan las experiencias prácticas de un laboratorio remoto usado en los entornos de enseñanza y aprendizaje a distancia. El impacto que un laboratorio remoto tiene en la docencia en Robótica ha sido evaluado en (Candelas *et al.*, 2004).

En los entornos educativos a distancia, resulta esencial disponer de un mecanismo que permita analizar, gestionar y compartir los recursos entre los usuarios. Cuando se trabaja en un entorno colaborativo con experimentos reales ubicados en un laboratorio teleoperado, resulta obligatorio la implementación de un gestor de acceso mediante reservas (Hoyer *et al.*, 2006). Con estos propósitos de colaboración y aprendizaje, en (Petrooulakis *et*

*al.*, 2003) se ofrece una visión de la funcionalidad y el uso de aplicaciones en la educación en Ingeniería. En (Fujii *et al.*, 2007) se presenta un nuevo sistema de aprendizaje a distancia que usa XML para diseñar módulos compartidos vía web en un entorno multiusuario. Otros entornos educativos como eMersion (Guillet *et al.*, 2005), representan plataformas pedagógicas innovadoras que integran tanto recursos e-learning como herramientas de experimentación enfocadas a la educación en Automática u otras áreas de la Ingeniería. La disponibilidad de numerosos gestores de contenido, algunos de libre distribución como Mambo (Paterson *et al.*, 2006), Joomla (Graf *et al.*, 2008) o Drupal (Mercer, 2006), y otros orientados a la docencia como Moodle (Rice, 2008), WebCT (Georgia St. Univ., 2007) o ATutor (Vucic *et al.*, 2002), facilitan la creación de entornos constructivistas de enseñanza-aprendizaje como por ejemplo el laboratorio WebLab (Sancristóbal *et al.*, 2009). La finalidad es la integración de materiales didácticos, herramientas de comunicación entre usuarios, colaboración en grupo y gestión educativa en un mismo entorno.

Si bien el concepto de laboratorio físico es un concepto tradicional y claro para toda la comunidad docente e investigadora, los conceptos de simulación, instrumento virtual, instrumento remoto, laboratorio remoto y laboratorio virtual no terminan de tener definiciones claras que los distinguan. Como ejemplo, estos términos son explicados de forma distinta en (Candelas *et al.*, 2005; Calvo *et al.*, 2008; Dormido *et al.*, 2007a). Ya que el fin último de este trabajo es presentar un entorno de experimentación virtual y/o remoto, es necesario profundizar en sus definiciones y realizar una clasificación de las diferentes formas existentes. No obstante, el diseño de un entorno de experimentación completo, virtual o remoto, no debería estar limitado a la implementación de una única forma. Fruto de este análisis y a juicio de la propia experiencia de los autores, se proponen las definiciones siguientes:

- Instrumento virtual (IV).** Sistema modelado con todas sus capacidades de procesamiento, sensores y controles contenidos en uno o más ordenadores, que permite acceso local a los recursos reales y/o simulados.
- Instrumento remoto (IR).** Instrumento virtual o físico con capacidad de comunicación a través de la red, cuya función es permitir la comunicación a distancia de los recursos físicos y/o simulados.
- Laboratorio remoto (LR).** Lugar o entorno cuya función es realizar un control sobre un sistema físico a distancia, con el objetivo de teleoperar un sistema real, realizar experimentos y acceder a los datos a través de la red para obtener medidas.
- Laboratorio virtual (LV).** Instrumento/s simulado/s contenido/s en uno o más ordenadores, conectados o no entre sí, con capacidades de gestión y/o aprendizaje de contenido.
- Laboratorio virtual y remoto (LVR).** Sistema físico real y/o simulado accesible desde Internet con capacidades de gestión, aprendizaje de contenido y/o reservas de recursos compartidos.

No hay una metodología unificada para desarrollar y difundir laboratorios virtuales y/o remotos. Sin embargo, es posible elaborar un conjunto de rasgos básicos que deben cumplir. Este trabajo propone un diseño común y aúna los tres tipos de laboratorio (físico, virtual y remoto), reuniendo las mejores características y posibilitando la mejor enseñanza. Con objeto de poder valorar las aportaciones que realiza este trabajo al ámbito

**Tabla 1. Características de los laboratorios**

| Laboratorio | Tipo | Lenguaje          | Interfaz Web | Ámbito                      | VIs |
|-------------|------|-------------------|--------------|-----------------------------|-----|
| eMersion    | LVR  | LabView™          | Java         | Control                     | 2   |
| Connexions® | IV   | LabView™          | HTML         | Filtros Digitales, Señales  | 2   |
| MeRLab      | LVR  | LabView™          | HTML         | Mecatrónica                 | 1   |
| UNED        | LVR  | Ejs, LabView™     | HTML         | Control                     | 4   |
| WebLab      | LVR  | Java              | AJAX         | Electrónica                 | 4   |
| Aurova      | LVR  | Ejs, Java 3D      | HTML         | Brazos, V.Artificial, Redes | 3   |
| Robotoy     | IR   | Java              | AJAX         | Brazos                      | 1   |
| Telelabs    | LR   | LabView™          | No           | Brazos, Mecatrónica         | 5   |
| ACT         | LR   | Matlab®, Simulink | HTML, Java   | Control                     | 8   |
| Chattanooga | LV   | Matlab®, LabView™ | HTML         | Control, Dinámica           | 11  |
| LER         | LVR  | LabView™          | HTML, PHP    | Robótica                    | 3   |

**Tabla 2. Capacidades de los laboratorios**

| Laboratorio | Gestor Reservas   | Gestor Educación | Gestor Contenido | Webcam |
|-------------|-------------------|------------------|------------------|--------|
| eMersion    | Sí                | eJournal         | No               | Sí     |
| Connexions® | No                | No               | Sí               | No     |
| MeRLab      | No                | eCampus®         | No               | Sí     |
| UNED        | Sí                | eJournal         | Automatl@bs      | Sí     |
| WebLab      | Sí                | Moodle           | Joomla           | Sí     |
| Aurova      | Sí                | eJournal         | Automatl@bs      | Sí     |
| Robotoy     | No                | No               | No               | Sí     |
| Telelabs    | Sí                | No               | No               | Sí     |
| ACT         | No                | No               | No               | Sí     |
| Chattanooga | No                | No               | No               | Sí     |
| LER         | MRBS <sup>1</sup> | Moodle           | Joomla           | Sí     |

<sup>1</sup>MRBS: Meeting Room Booking System

de los laboratorios virtuales y/o remotos, se muestra en las tablas 1 y 2 una comparativa de las características y capacidades del LER respecto de un buen número de laboratorios mencionados en esta introducción.

Este artículo está organizado de la forma siguiente. La sección 2 propone una metodología en forma de pautas mínimas a seguir para el diseño e implementación de un laboratorio virtual y/o remoto. La sección 3 presenta un caso práctico de laboratorio virtual y/o remoto dedicado a la enseñanza en Automática, el cual es el objetivo fundamental de este trabajo. Finalmente, el artículo aporta los resultados sobre el trabajo desarrollado y pone a disposición de la comunidad científica, para su evaluación, los instrumentos virtuales desarrollados.

## 2. PASOS PARA EL DISEÑO DE UN LABORATORIO VIRTUAL Y/O REMOTO

Típicamente, la disponibilidad de un elemento físico conectado a un ordenador, mediante su correspondiente software de control, representa el sistema real en el que se basan las prácticas de laboratorio. Para obtener un mayor grado de interacción con este recurso local, esté o no físicamente disponible en el laboratorio, debe diseñarse y desarrollarse un instrumento virtual que permita ejecutar un sistema simulado (figura 1). Es muy importante destacar que el objetivo didáctico no sólo es el control de sistemas, sino también mejorar los conocimientos del estudiante. Por esta razón, se deben entender los conceptos teóricos y comprender el funcionamiento antes de interactuar con el sistema real. En este sentido, el concepto de instrumento virtual no debe entenderse sólo como un mero simulador, sino que el objetivo es abordar el estudio de los parámetros físicos desde diferentes puntos de vista. Para ello, el instrumento virtual debe implementar un completo modelo matemático que describa la conducta del sistema. Los controles de la interfaz virtual, ligados a las variables y ecuaciones expresadas mediante un lenguaje de programación, deben tener el aspecto necesario para interaccionar con el usuario de una forma didáctica e intuitiva. La programación de este tipo de aplicaciones se hace normalmente usando un software gráfico de alto nivel como LabView<sup>TM</sup>, Matlab<sup>®</sup>/Simulink o applets de Java.

La capacidad de control a distancia añadida a los instrumentos virtuales, da como resultado la implementación de un instrumento remoto. Aquí, el diseño didáctico de la interfaz de usuario no es esencial, sino que el objetivo principal es permitir al estudiante el control del sistema físico de forma remota. La comunicación a través de Internet sobre el experimento en tiempo real cobra especial relevancia, ya que permite enviar los parámetros de control y recibir el estado del sistema. La conexión de Internet entre los usuarios y el recurso remoto puede ser considerada como una nube cliente-servidor (figura 1) basada en redes de comunicación tipo TCP/IP. A pesar de los problemas de congestión y de los retardos no determinísticos que puedan afectar al control en tiempo real de los instrumentos, resulta ideal para ofrecer el acceso a cualquier ordenador conectado a la red. La elección de esta arquitectura se debe a su gran uso extendido y sencillez, donde un protocolo orientado a conexión juega un papel fundamental en el éxito de la comunicación.

Ante la posibilidad de un acceso simultáneo sobre el sistema remoto por parte de un grupo múltiple de usuarios, resulta necesario crear un espacio privado que garantice la seguridad e integridad frente al mismo experimento físico. La implementación en los laboratorios remotos de los sistemas de acceso, proporciona un mecanismo de control verificado y seguro de los usuarios durante el tiempo que dure la actividad. Por otro lado, mediante los sistemas de reserva, se puede solicitar y planificar el uso de los instrumentos virtuales por un periodo de tiempo determinado, en función de la disponibilidad del usuario y del laboratorio remoto. De esta forma, se evitan restricciones en el uso de los recursos por parte de otros posibles usuarios.

El siguiente paso consiste en diseñar el entorno de aprendizaje virtual. A diferencia del concepto de laboratorios remoto, esta capa integra tanto el instrumento virtual como los materiales didácticos en un entorno basado en web. Un diseño correcto del entorno virtual orientado al contenido, integrado o apoyado

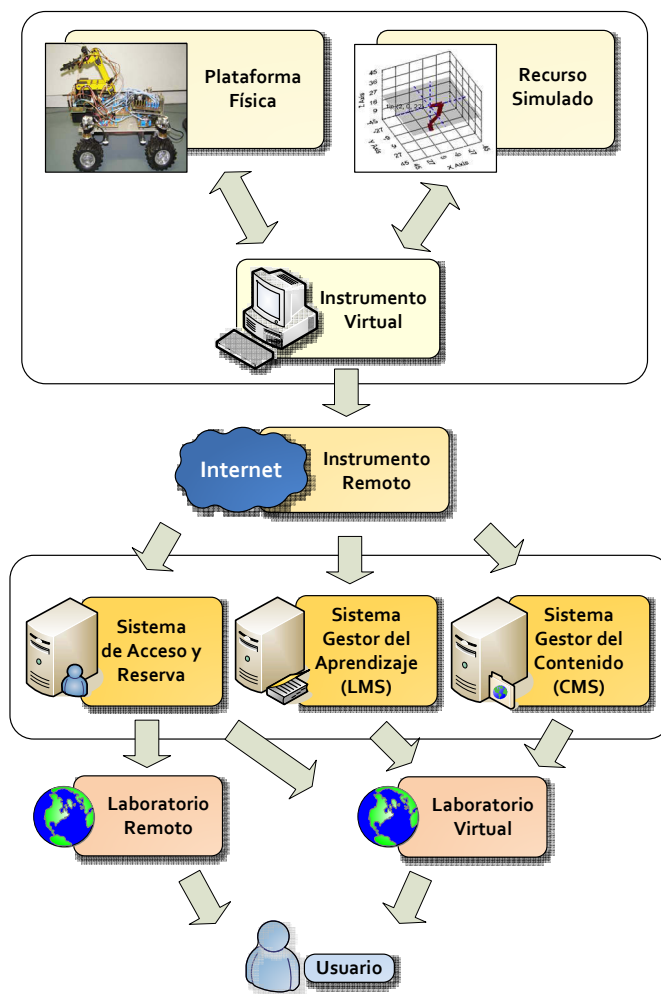


Figura 1. Diagrama de diseño de un laboratorio virtual.

mediante los recursos de aprendizaje electrónico asistido apropiados (como por ejemplo contenidos didácticos, actividades programadas o tareas en línea), permite a los usuarios disponer de laboratorios virtuales además de los tradicionales. En cuanto a la estructura y la manera en la que los contenidos se deben presentar al estudiante, éstos pueden organizarse de diferentes formas:

- Estructura lineal. Es la forma más sencilla de organizar la información. El estudiante es guiado en un único sentido, reduciendo las opciones y permitiéndole navegar únicamente hacia delante o hacia atrás.
- Estructura en árbol. Cuando los conceptos son variados y extensos en número, la información puede organizarse por temas que el alumno va explorando según sus necesidades.
- Estructura cruzada. Los enlaces a los contenidos están entrelazados y el usuario puede decidir el sentido de la navegación en función de sus inquietudes.

La infraestructura necesaria para crear un laboratorio virtual sería insuficiente sin la presencia de un sistema de gestión del contenido (CMS). Esto no es más que una aplicación de servidor desarrollada en un lenguaje de programación (PHP, XML, java, etc.), que se utiliza para la gestión y distribución de actividades formativas a través de Internet. Como una de las metas principales a seguir, la mejora de los conocimientos del alumno

durante su formación requiere la existencia de un módulo de seguimiento y autoevaluación integrado con las actividades de aprendizaje (LMS). Por otro lado, para los docentes es imprescindible obtener una realimentación del rendimiento de los alumnos (test de satisfacción, resultados, opiniones, etc.). Esta completa información permite seguir, detectar y reconducir las actividades prácticas en favor de un mejor aprovechamiento. De cara a los alumnos, los ejercicios de autocomprobación (opción múltiple, verdadero-falso, etc.) permiten contrastar adecuadamente la evolución y los conocimientos adquiridos.

### 3. LER: UN LABORATORIO VIRTUAL CON FINES EDUCATIVOS Y DE INVESTIGACIÓN

La investigación emprendida con este proyecto surge de la iniciativa del Grupo de Investigación Control y Robótica (TEP-192) dentro del Departamento de Ingeniería Electrónica, Sistemas Informáticos y Automática de la Universidad de Huelva (UHU). Como parte de un proyecto educativo en marcha más amplio financiado con recursos del Grupo, Departamento y Proyectos de Innovación Docente de la UHU, el objetivo final es disponer de un Laboratorio de Ensayo de Robots (LER) sobre el que experimentar con sistemas reales a distancia. El proyecto de investigación persigue varios fines fundamentalmente educativos:

- Desarrollar las competencias grupales e individuales de los estudiantes a través de actividades de formación que, desarrolladas en un entorno de aprendizaje constructivista, estén incorporadas a la docencia universitaria (figura 2).
- Permitir a los alumnos practicar y mejorar los conceptos teóricos relacionados con los campos de la cinemática directa e inversa de manipuladores robóticos, cinemática de vehículos móviles, comunicaciones inalámbricas y visión artificial.
- Realzar la motivación del alumno mediante el uso de instrumentos virtuales y recursos de aprendizaje electrónico asistido orientados al contenido.

Para el logro de los objetivos pedagógicos anteriores, el desarrollo del proyecto de investigación ha requerido el paso de varias etapas. Con el objetivo final de abrir a los estudiantes e investigadores el uso de diferentes instrumentos virtuales en un laboratorio a distancia, los pilares centrales en los que se basa este proyecto son:

- Desarrollo y construcción de una plataforma multipropósito de ensayo denominada VANTER (Vehículo Autónomo no Tripulado Especializado en Reconocimiento), donde estudiantes de grado y posgrado en Ingeniería puedan probar técnicas y tecnologías en los campos de la Robótica y la Automática (figura 3).
- Desarrollo e implementación de instrumentos virtuales. Las aplicaciones interactivas, conectadas a los sistemas reales de laboratorio, han sido programadas con LabView™ para permitir un control fácil, amigable e intuitivo sobre los experimentos remotos (figuras 4-7). Como resultado, los instrumentos virtuales permiten a los usuarios comprender mejor los parámetros físicos y familiarizarse con el comportamiento de los sistemas antes de conectarse al experimento físico real.
- Diseño de actividades de formación incorporadas a la docencia universitaria. El entorno virtual contiene el material y los recursos didácticos necesarios para que los alumnos puedan participar de sus propios experimentos y estudiarlos en un entorno de aprendizaje guiado



Figura 2. Estudiantes de la UHU realizando en grupo el montaje de la plataforma robótica VANTER.

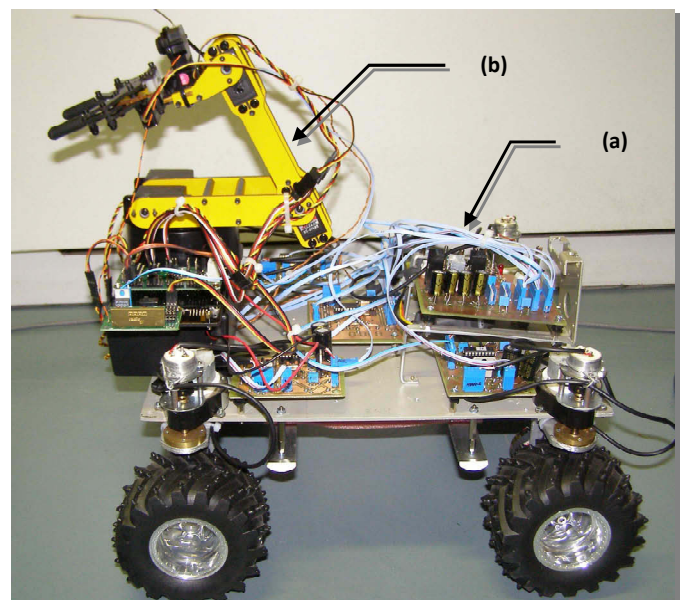


Figura 3. (a) Prototipo de vehículo VANTER (b) con un brazo robótico incorporado.

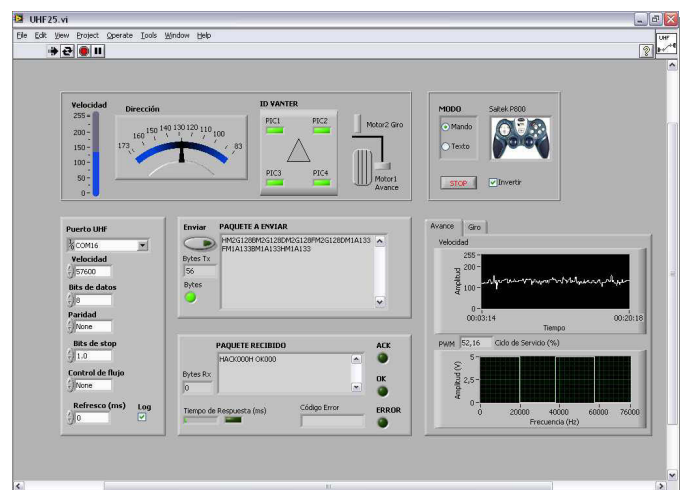


Figura 4. Instrumento virtual de control de la plataforma móvil robótica.

(actualmente en Moodle).

- Diseño de una plataforma web mediante un gestor de contenidos (actualmente en Joomla). Su diseño modular y su característica asincrónica y dinámica (foros, noticias, artículos y videos) permiten no sólo recabar información, sino generar contenido.
- Adecuación de un Laboratorio de Ensayo de Robots (LER) donde albergar los experimentos físicos reales y realizar actividades prácticas de laboratorio. LER está ubicado en la Escuela Politécnica Superior de la UHU.
- Integración del entorno virtual con un sistema de reservas del laboratorio remoto (basado en MRBS). El acceso verificado y seguro posibilita el uso de las herramientas de forma que no se limite a otros usuarios.
- Diseño de la infraestructura de red. Las características de los medios de comunicación y su conexión a Internet, permite a los estudiantes reproducir las prácticas en sus hogares y compartir los recursos sin limitaciones.

### 3.1 Plataforma Robótica Multipropósito

VANTER ha sido concebido como una plataforma móvil de carácter multidisciplinar, en la que han participado alumnos pertenecientes a distintos grados y especialidades de Ingeniería. La plataforma, diseñada y construida en su totalidad (el Grupo de investigación dispone de un taller mecánico dotado de las máquinas y herramientas necesarias) bajo la dirección de los autores de este trabajo, está compuesta por un brazo manipulador y un vehículo robot móvil (Andújar *et al.*, 2005; Andújar *et al.*, 2007). Esta plataforma, por sus características de complejidad y desarrollo, lo dotan como un banco de ensayo singular, ideal para plantear prácticas multipropósito en los campos de la adquisición y procesamiento de señales, programación hardware y software, visión artificial, planificación de tareas, seguimientos de caminos, etc. Su carácter educativo ha primado incluso en el hecho de que el prototipo ha sido diseñado sobre la base de sistemas estándares abiertos.

Durante el desarrollo de la plataforma física, se ha participado en distintos Proyectos de Innovación Docente de la UHU con el fin de aplicar la investigación a la docencia. Por un lado, se dirigió un proyecto orientado a desarrollar las competencias y habilidades de los estudiantes de cara al futuro profesional, mediante el trabajo en grupo. Por otro, se dirigió un proyecto para promover la enseñanza virtual a distancia mediante laboratorios remotos. En este sentido, la implicación y financiación que aportan tanto la Universidad de Huelva como el Departamento y el Grupo de Investigación que participan en este proyecto, no sólo es importante, sino que resulta un apoyo necesario a la hora de conseguir los objetivos propuestos.

Como consecuencia, se ha creado un grupo de trabajo multidisciplinar en el que, tanto profesores como alumnos de Ingeniería de distintas especialidades y grados, han trabajado conjuntamente en la realización de una tarea común. Este proyecto de investigación se ha desarrollado en varias fases, por lo que partiendo de un objetivo global, ha sido posible su división en actividades cortas y menos complejas. Ello ha permitido ofertar Proyectos Fin de Carrera (PFC) y Trabajos Académicamente Dirigidos (TAD) con una duración no superior a más de 240 horas (equivalente a 12 créditos). Hasta la fecha, se han realizado con éxito 2 TAD y 1 PFC en la titulación de Ingeniería Técnica Informática (especialidad de Sistemas), denominados “Implementación del Protocolo I2C en Redes de

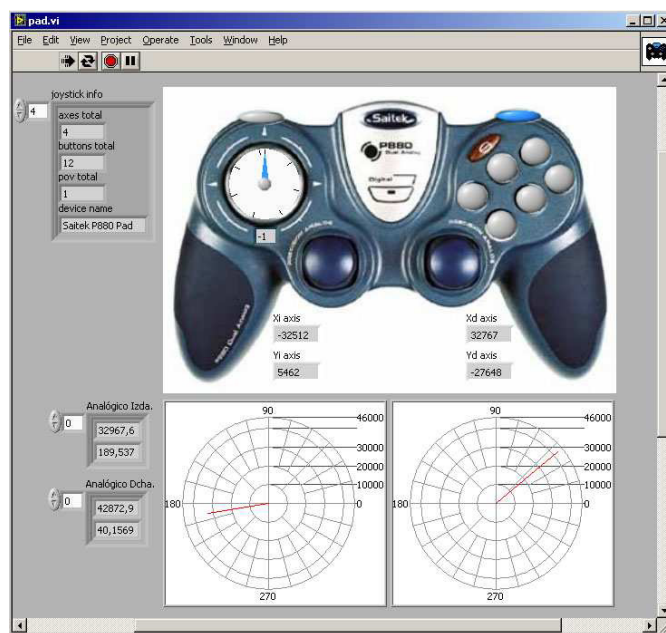


Figura 5. Instrumento virtual del mando de navegación de VANTER.

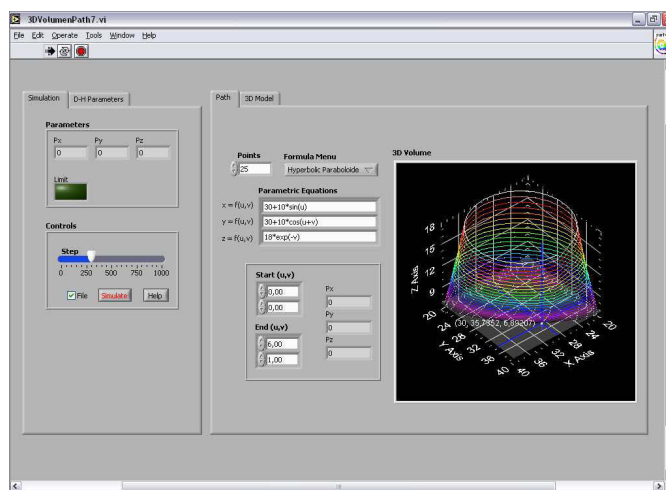


Figura 6. Instrumento virtual de simulación de trayectorias volumétricas aplicadas a manipuladores robóticos

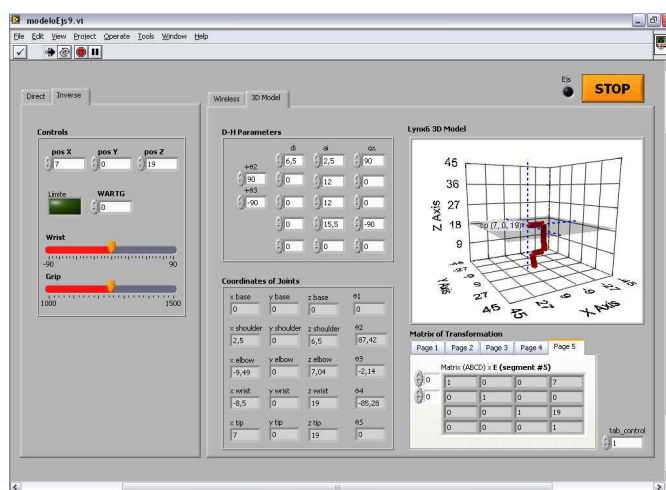


Figura 7. Instrumento virtual de control del brazo robótico Lynx6.

Microcontroladores”, “Integración de un Brazo Robótico Manipulador en un Vehículo Rover” y “Optimización de la Carga de Baterías Mediante Células Solares Direccionables”. En la actualidad, hay trabajando 4 alumnos becarios, hay 13 PFC en desarrollo y una Tesis doctoral en las titulaciones de Ingeniería Industrial, Ingeniería Informática y Posgrado (Máster Oficial de Posgrado en Ingeniería de Control, Sistemas Electrónicos e Informática Industrial) respectivamente.

### 3.2 Gestores de Reserva, Aprendizaje y Contenido

El uso de materiales didácticos, herramientas de comunicación, colaboración y gestión educativa relacionados con los instrumentos virtuales, están integrados en la plataforma de enseñanza virtual de la UHU. Esta información, ofrecida a través de Moodle, está siendo impartida en asignaturas de Robótica de diferentes Ingenierías pertenecientes al Campus Virtual de la UHU (figura 8). Tan necesario resulta disponer de una plataforma física sobre la que ensayar y experimentar, como disponer de un entorno donde situar y hacer accesibles los instrumentos virtuales conectados a Internet. La idea es recrear escenarios artificiales como terrenos, laberintos, circuitos, etc., donde se puedan diseñar y probar prácticas reales mediante instrumentos virtuales conectados al laboratorio remoto. Por ello ha sido necesario adecuar un espacio real (LER) donde albergar el experimento físico. Actualmente, la plataforma de acceso al laboratorio remoto (figura 9), está implementada mediante un gestor de contenidos desarrollado con Joomla!. El sistema de reservas, basado en el código de fuente abierto GPL (General Public License) de MRBS (Meeting Room Booking System), tiene como objetivo garantizar el acceso controlado a los instrumentos remotos desde Internet (figura 10).

### 3.3 Infraestructura de Comunicaciones del Laboratorio

El sistema de redes y servicios web de la UHU, que puede verse en la figura 11, proporciona los elementos necesarios para el acceso a distancia por los usuarios. Resulta de especial relevancia la línea de acceso WAN a través de la red MetroLAN, que proporciona un ancho de banda balanceado de 2 Gbps tipo Gigabit Ethernet. Gracias a esta conexión de gran capacidad, es posible evitar la congestión de las comunicaciones y mejorar los retardos de control de los sistemas remotos. Siguiendo las definiciones de los laboratorios virtuales y/o remotos planteados en este trabajo, la implementación de los sistemas de LER combina estos términos en su concepción más amplia, mediante gestores de reserva, aprendizaje y contenido. Dependiendo de la ubicación de los servicios web, se encuentran configuradas diferentes políticas de seguridad restrictivas mediante varios niveles de cortafuegos. Entre los equipos de red de LER, se dispone de un router inalámbrico, un servidor INTEL XEON E5405 de cuádruple núcleo con Windows 2003 Server, acceso a una base de datos MySQL, una cámara IP Pan-tilt con zoom y 1 webcam con óptica Carl Zeiss<sup>TM</sup>. El objetivo es disponer de un escenario real, accesible por los usuarios mediante un conjunto de direcciones IP públicas y monitorizado mediante cámaras que permitan un seguimiento visual de los experimentos.

### 3.4 Ejemplo de Uso del Laboratorio

Un ejemplo de funcionamiento y actuación en el laboratorio es el que se muestra en la figura 12. En ella se representan los pasos que un usuario debe recorrer para utilizar el sistema LER. Independientemente del perfil del usuario, ya sea un estudiante

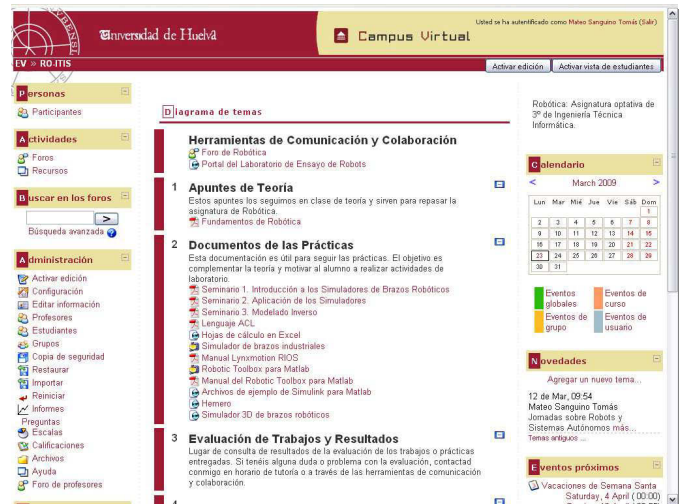


Figura 8. Web de acceso al sistema de gestión del aprendizaje de la asignatura de Robótica.

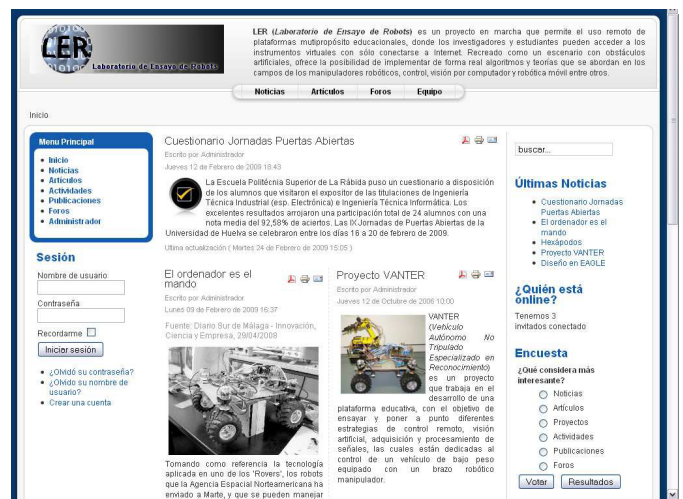


Figura 9. Web de acceso a la plataforma de gestión de contenidos del Laboratorio de Ensayo de Robots.

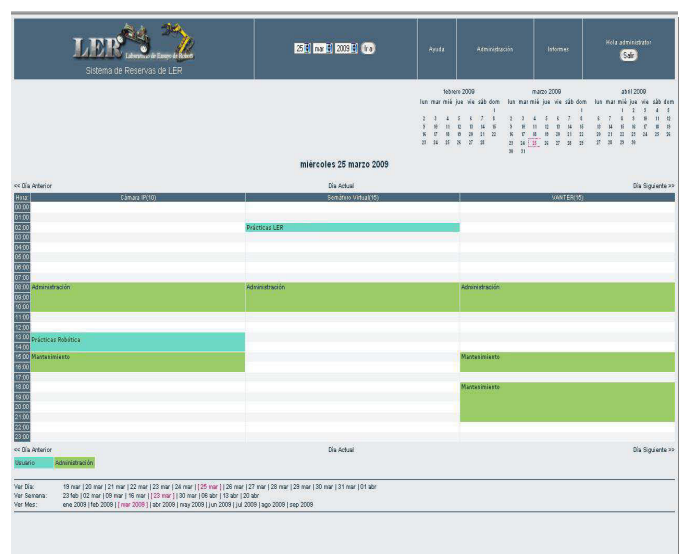


Figura 10. Web de acceso al sistema de reservas del Laboratorio de Ensayo de Robots.

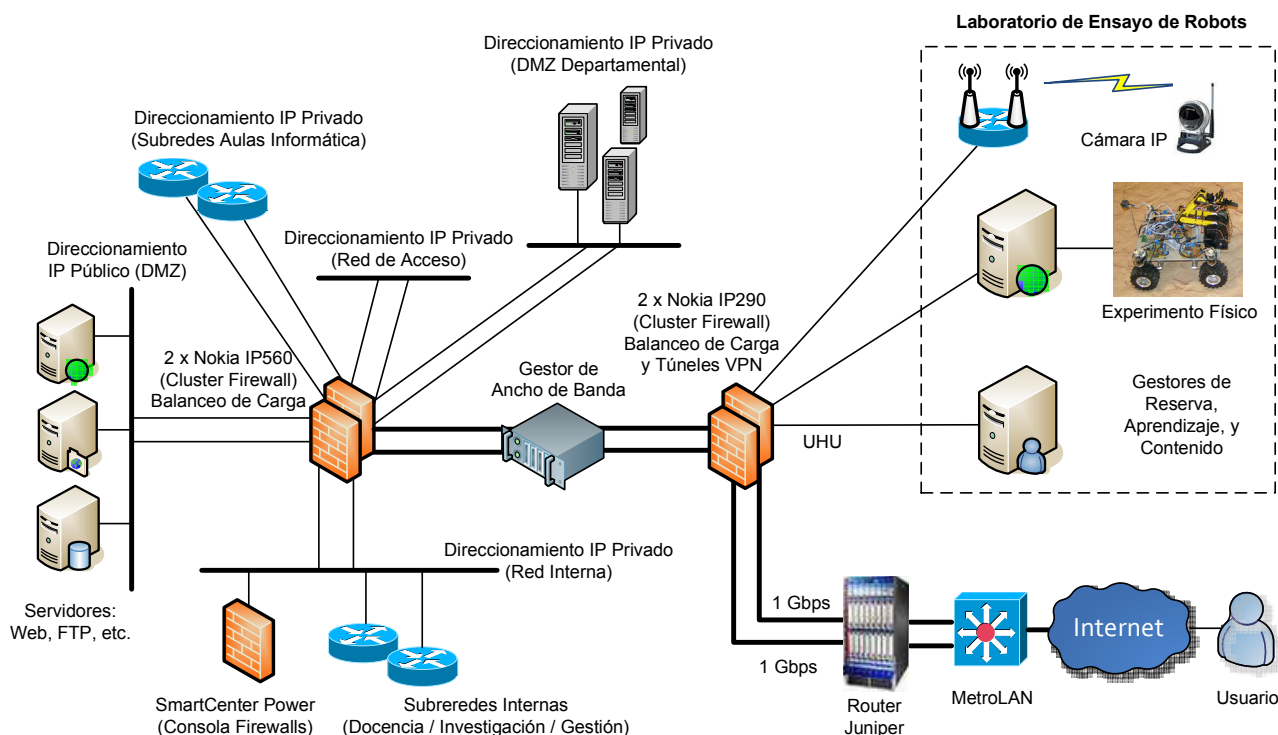


Figura 11. Arquitectura de comunicaciones del Laboratorio de Ensayo de Robots de la UHU.

de la UHU o un usuario externo, puede accederse al gestor de contenidos de forma pública (1 en la figura). El objetivo es generar y compartir el conocimiento a través de foros, noticias, memorias de PFC y TAD que los usuarios pueden aportar libremente. Para uso restringido de los alumnos del Campus Virtual de la UHU, se ha virtualizado el contenido de la asignatura de Robótica a través de un gestor del aprendizaje (2 en la figura). Mediante este sistema de enseñanza virtual, los estudiantes matriculados pueden acceder al contenido teórico y a las guías prácticas utilizadas durante el curso académico. Gracias a la programación de actividades, también es posible configurar pruebas de autoevaluación y utilizar herramientas de comunicación en línea con el profesor.

Otro de los módulos existentes es el sistema de gestión de reservas (3 en la figura). Si el usuario pertenece a la comunidad de la UHU, está registrado en la base de datos central (4 en la figura). En ese caso, sólo debe escribir sus datos personales y acceder al sistema MRBS con su cuenta de usuario habitual. Los alumnos de nuevo ingreso en la UHU pueden solicitar, ellos mismos, el alta de su cuenta de usuario a la Universidad. En el caso que la persona no tenga una dirección de correo de la UHU, como por ejemplo un profesor invitado, se le habilita un enlace con un formulario que debe rellenar y remitirlo al departamento DIESIA. Con el visto bueno del Director del Departamento, se envía la solicitud al Servicio de Informática Central (SIC) de la UHU para tramitar el alta de la cuenta. Una vez que el usuario haya completado el formulario recibirá un correo a la dirección electrónica que haya introducido. En él se incluye un enlace para la activación del usuario en el sistema de reservas.

Los alumnos tienen la posibilidad de navegar por el calendario de reservas, editar su perfil y acceder a los VIs durante las 24

horas, los 7 días de la semana. El sistema dispone de un formulario para poder realizar cada reserva. Existe la posibilidad de elegir el número de horas de la reserva en función de las horas de prácticas (una y media, dos y tres horas como máximo). La reserva puede elegirse de forma simultánea para otros instrumentos, se puede planificar el tipo de repetición, la fecha tope y si se desea que la reserva se repita un día determinado de la semana. El sistema podría gestionar más de 10 tipos de reservas si fuera necesario, pero por defecto, se definen 2 tipos. El tipo interno significa que la reserva sólo será asistida por empleados de mantenimiento de LER. Una reserva externa puede ser utilizada por los alumnos, profesores, investigadores, etc. Las reservas se visualizan en el calendario principal con un color correspondiente al tipo de reserva (azul y verde). Cada usuario dispone de un enlace directo donde se muestran las reservas que aún no se han producido, aquellas a las que puede acceder y las que ya se realizaron.

La integración de las aplicaciones de LabView<sup>TM</sup> en la plataforma LER se ha realizado mediante el desarrollo de un marco común a todos los VIs, independientemente del tipo de práctica a realizar (5 en la figura). De esta forma, mediante una hoja de estilo embebida en una página PHP y HTML, es posible automatizar el proceso de publicación de VIs y contener distintas actividades de aprendizaje en una misma plantilla común. Este marco también se utiliza para albergar los objetos Flash y los archivos JavaScript necesarios para transmitir el flujo de imágenes del servidor de monitorización (6 en la figura). Tanto la cámara IP como la cámara web, se encuentran conectadas al servidor LER.

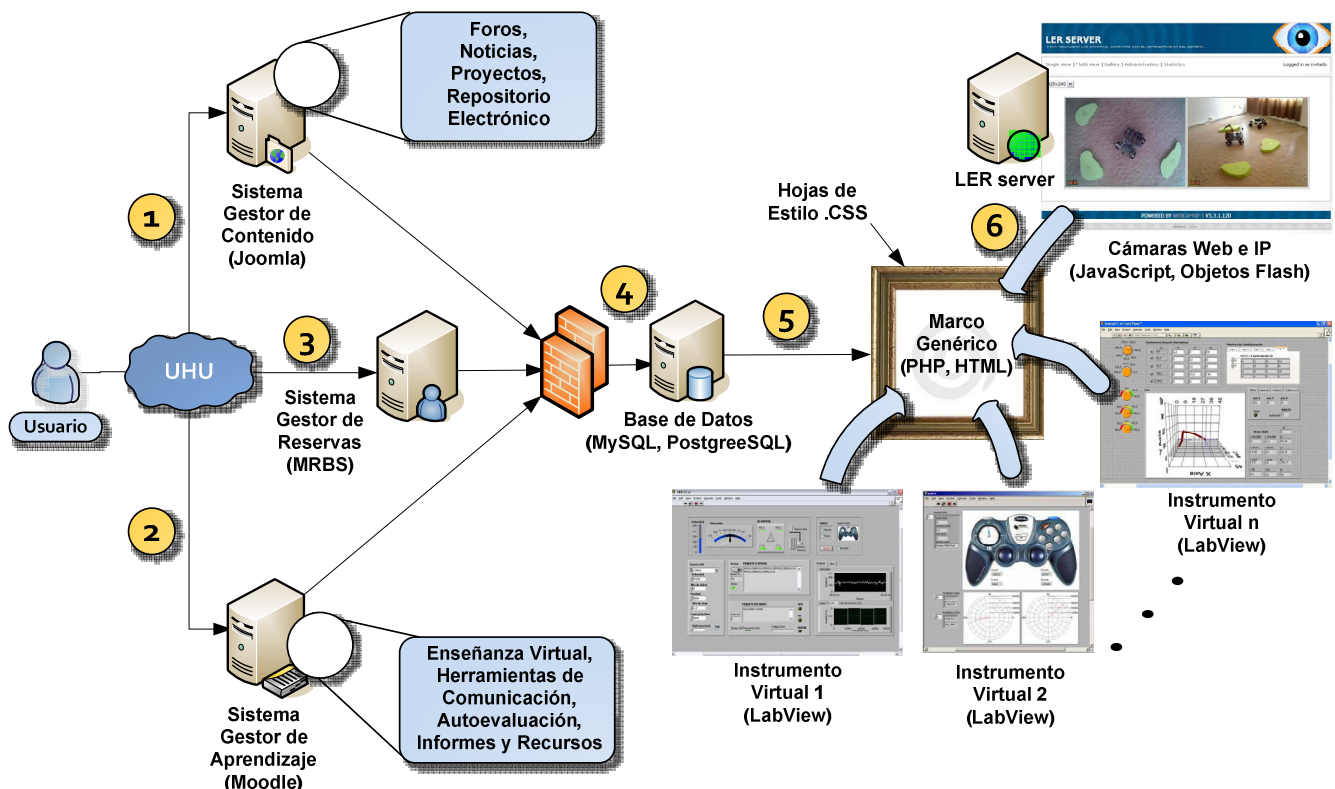


Figura 12. Actuación y funcionamiento del Laboratorio de Ensayo de Robots de la UHU.

#### 4. CONCLUSIÓN

Con el objetivo de proponer estrategias docentes bajo un entorno de aprendizaje constructivo, el trabajo presente realiza un recorrido desde el laboratorio tradicional al laboratorio virtual, pasando por el laboratorio remoto. Se analizan los problemas asociados a la enseñanza tradicional y los riesgos asociados al uso e integración de las herramientas TIC. Este artículo propone unas definiciones que pretenden ser claras y diferenciadoras de los conceptos de instrumento virtual, instrumento remoto, laboratorio virtual y laboratorio remoto. Además, aporta unas pautas mínimas a seguir para el diseño, construcción y difusión de laboratorios virtuales y/o remotos en Automática, aunque bien es cierto que también serían de aplicación en otros campos de la ciencia y la tecnología.

Como uno de los objetivos educativos a perseguir, se ha desarrollado y construido una plataforma robótica multipropósito, la cual permite ensayar y realizar prácticas reales de Automática con alumnos de Ingeniería de diferentes grados. Como ejemplo de la implementación de instrumentos virtuales, una versión de demostración que permite ejecutar las aplicaciones sin necesidad de que los instrumentos virtuales estén conectados al experimento remoto, está disponible para descargar en la dirección: <http://www.uhu.es/tomas.mateo/vanter/vanter.htm> (descargue el archivo "3D Robotic Arm Simulator").

Finalmente, como caso práctico, se presenta un Laboratorio de Ensayo de Robots (LER). El resultado ha sido el diseño e implementación de un laboratorio virtual y remoto, con el objetivo de difundir en Internet un laboratorio con propósitos

educacionales y de investigación. La web de los sistemas gestores de reserva, aprendizaje y contenido de LER se encuentra accesible en la dirección: <http://www.uhu.es/tomas.mateo/ler/>. Comentarios y críticas son bienvenidas.

#### REFERENCIAS

- Andújar Márquez, J.M., Mateo Sanguino T.J. y Aguilar Nieto, F.J. (2005). Virtual Interface for Controlling a Remote Handle Rover. *IADAT-aci2005 Conference*, pp. 224-228.
- Andújar Márquez, J.M., Mateo Sanguino, T.J., Aguilar Nieto F.J. y Chica Barrera, J.J. (2007). An Image Acquiring, Processing and Transfer System over Bluetooth for an Educational Robotic Platform. *Robótica 2007 - 7th Conference on Mobile Robots and Competitions*, Albufeira (Portugal), pp. 1-6.
- Candelas, F.A., Torres, F., Gil, P., Ortiz, F., Puente, S. y Pomares, J. (2004). Laboratorio Virtual Remoto para Robótica y Evaluación de su Impacto en la Docencia. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 1(2), 49-57.
- Candelas, F.A. y Moreno, J.S. (2005). Recursos Didácticos Basados en Internet para el Apoyo a la Enseñanza de Materias del Área de Ingeniería de Sistemas y Automática. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 2(2), 93-101.
- Casini, M., Prattichizzo, D. y Vicino, A. (2004). The Automatic Control Telelab. A Web-based technology for Distance Learning. *IEEE Control Systems Magazine*, 24(3), 36-44.

- Calvo, I., Zulueta, E., Gangoiti, U., López, J.M. (2008). Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas. *Ikastorratza, e-Revista de didáctica*, **3**, 1-21.
- Domínguez, M., Reguera, P. y Fuertes, J.J. (2005). Laboratorio Remoto para la Enseñanza de la Automática en la Universidad de León (España). *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, **2**(2), 36-45.
- Dormido, R., Vargas, H., Duro N., Sánchez, J., Dormido-Cantó, S., Farias, G., Esquembre, F. y Dormido S. (2008). Development of a Web-based Control Laboratory for Automation Technicians: The Three Tank System. *IEEE Transactions on Education*, **51**(1), 35-44.
- Dormido, S., Sánchez, J., Vargas, H., Dormido-Canto, S., Dormido, R., Duro, N., Farias, G., Canto, M<sup>a</sup>.A y Esquembre, F. (2007a). Análisis, desarrollo y publicación de laboratorios virtuales y remotos para la enseñanza de la automática, *II Congreso Español de Informática: Simposio EIWISA*, pp. 1-6.
- Dormido, S., Vargas, H., Sánchez, J., Duro N. et al. (2007b). Using Web-based Laboratories for Control Engineering Education. *International Conference on Engineering Education*, pp 1-6.
- Fujii, N. y Koike, N. (2007). A New eLearning System Integrating a Top-Down eLearning and New Virtual Remote Laboratory Environments for Logic Circuit Design. *37<sup>th</sup> ASEE/IEEE Frontiers in Education Conf.*, pp. S3G-1 - S3G-6.
- Georgia State Univ. (2004). *The Ultimate WebCT Handbook, A Practical and Pedagogical Guide to WebCT*. Pullen Library, Division of Distance & Distributed Learning.
- Gillet, D., Nguyen Ngoc, A.V. y Rekik, Y. (2005). Collaborative Web-based Experimentation in Flexible Engineering Education. *IEEE Trans. Education*, **48**(4), 696-704.
- Graf, H. (2008). *Building Websites with Joomla! 1.5*. Packt Publishing.
- Guzmán, J.L., Vargas, H., Sánchez, J., Berenguel, M., Dormido, S. y Rodríguez, F. (2007). Education Research in Engineering Studies: Interactivity, Virtual and Remote Labs. *Distance Education Research Trends*, Nova Science Publisher.
- Henry, J. y Zollars, R. (2003). Assessment of Remote Experiments and Local Simulations: Student Experiences, Satisfaction and Suggestions. *ASEE Annual Meeting*.
- Hoyer, H., Jochheim, A., Röhrig, C. y Bischoff, A. (2004). A Multiuser Virtual-Reality Environment for a Tele-Operated Laboratory. *IEEE Transactions on Education*, **47**(1), 121-126.
- Jara, C.A., Candelas, F.A., Torres, F., Dormido, S., Esquembre, F. y Reinoso, O. (2009). Real-time Collaboration of Virtual Laboratories Through the Internet. *Computers & Education*, **52**, 126-140.
- Jiménez, L.M., Puerto, R., Reinoso, O., Fernández, C. y Neco, R. (2005). RECOLAB: Laboratorio Remoto de Control Utilizando Matlab y Simulink. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, **2**(2), 64-72.
- Luther, E. (2006). *Developing Interactive Simulations with the LabVIEW Player*. Rice University. Disponible en: <http://cnx.org/content/m14131/latest/> (último acceso 28 octubre 2009).
- Mercer, D., *Drupal: Creating Blogs, Forums, Portals, and Community Websites*. Packt Publishing, 2006.
- Paterson, D. (2006). *Learning Mambo: A Step-by-Step Tutorial to Building Your Website*. Packt Publishing.
- Peek, C.S., Crisalle, O.D., Dépraz, S. y Gillet, D. (2005). The Virtual Control Laboratory Paradigm: Architectural Design Requirements and Realization Through a DC-Motor Example. *International Journal of Engineering Education*, **21**(6), 1134-1147.
- Petropoulakis, L. y Stephen, B. (2003). Resource Sharing Software for Distance Learning in Engineering Education. *International Journal of Engineering Education*, **19**(3), 371-378.
- Pipan, M., Arh, T., Blažič, B.J. (2009). Advanced eVocational Education of Mechatronic Professions. *International Journal of Education and Information Technologies*, **3**(1), 12-19.
- Rae, S. (2004). Using telerobotics for remote kinematics laboratories. *The University of Western Australia*. Final Year Project, pp. 1-116.
- Rice, W. (2008). *Moodle 1.9 E-Learning Course Development*, Packt Publishing.
- Sánchez, J., Dormido, S. y Esquembre, F. (2005a). The Learning of Control Concepts Using Interactive Tools. *Computer Applications in Engineering Education*. Wiley Periodicals, Inc., **13**(1), 84-98.
- Sánchez, J., Esquembre, F., Martín, C., Dormido, S., Dormido-Cantó, R., Cantó, D., Pastor, R. y Urquía, A. (2005b). Easy Java Simulations: An Open-Source Tool to Develop Interactive Virtual Laboratories Using MatLab/Simulink. *International Journal of Engineering Education*, **21**(5), 798-813.
- Sancristóbal E., Martín S., Gil R., Pastor R., García-Zubia J., Orduña P., Termino G., Pesquera A., Martínez-Mediano C., Díaz G. y Castro M. (2009) Learning Management System's Services and Labs: Looking for Integration through Reusability. *Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications*. En prensa.
- Torres, F., Candelas, F.A., Puente, S.T., Pomares, J., Gil, P. y Ortiz, F. (2006). Experiences with Virtual Environment and Remote Laboratory for Teaching and Learning Robotics at the University of Alicante. *International Journal of Engineering Education*, **22**(4), 766-776.
- Vucic, V. (2002). *ATutor Getting Started*. Science, Education and Learning Freedom. Disponible: <http://eprints.rclis.org/archive/00009634/01/atutor-getting-started-final-3-1.pdf> (último acceso 28 Febrero 2009).