

## Redes de Investigación en Innovación Docente

<b>Título del trabajo:</b>	“Red de Laboratorios de Control Automático a través de Internet”	
<b>Nombre de la RED:</b>	Red e-Automática	
<b>Autores:</b>	Sebastián Dormido Bencomo Héctor Vargas Oyarzún José Sánchez Moreno Natividad Duro Carralero Raquel Dormido Canto	Fernando Morilla García María Antonia Canto Diez Sebastián Dormido Canto Gonzalo Farías Castro
<b>Facultad/Escuela:</b>	E.T.S. de Ingeniería Informática – UNED	
<b>E-mail Coordinador:</b>	<a href="mailto:sdormido@dia.uned.es">sdormido@dia.uned.es</a>	
<b>Palabras claves:</b>	Castellano: Internet, control automático, aprendizaje a distancia Inglés: Internet, automatic control, distance learning	

### Resumen:

*El artículo presenta un proyecto innovador en el contexto de la experimentación remota aplicada a la educación en ingeniería. En particular, se describe la experiencia de los autores en el análisis, diseño, desarrollo y explotación de tecnologías basadas en Web en el ámbito del control automático. Este trabajo es parte de un proyecto inter-universitario llamado “AutomatL @bs” en el cual siete universidades españolas han unido esfuerzos para compartir, a través de Internet, sus recursos de experimentación. En primer lugar, el documento ofrece algunos antecedentes respecto a como se debería abordar el desarrollo de laboratorios virtuales y remotos desde un punto de vista pedagógico. Específicamente, presentamos algunos ejemplos de laboratorios remotos desarrollados por dos de los grupos de universidades que participan en el proyecto. Luego, se presenta el diseño e implementación de un sistema automático de reservas utilizado para gestionar el acceso de los estudiantes a los recursos físicos del laboratorio. Finalmente, el trabajo muestra el proceso de integración de todas las componentes del sistema haciendo uso de una herramienta LMS (Sistema de Gestión del Aprendizaje) y realiza una evaluación del sistema global desde el punto de vista de la percepción de los estudiantes con el fin de analizar la calidad del entorno de experimentación como herramienta de enseñanza.*

### Abstract:

*This article presents an innovative project in the context of remote experimentation applied to the engineering education. Specifically, the experience of the authors regarding the analysis, design, development and exploitation of Web-based technologies in the scope of the automatic control is described. This work is part of an inter-university project, named “AutomatL @bs”, where seven Spanish universities have joined efforts to share across Internet their experimentation resources. The paper starts providing a brief background about how the development of virtual and remote control labs with pedagogical perspectives should be addressed. In particular, we present some examples of remote-labs developed by two of the university groups taking part into this project. Afterwards, the automatic bookings system used to manage the access of users to the physical resources of the laboratory is presented. Thirdly, the integration process of every component into a LMS tool is shown and, finally, an overall system assessment of the students’ perception about the quality of the experimentation environment as teaching tool is analyzed.*

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Desde hace más de una década, la mayor parte de las instituciones académicas alrededor del mundo están haciendo frente al desafío de adaptar sus mecanismos tradicionales de enseñanza y aprendizaje a los actuales hábitos de la sociedad moderna, donde el uso de Internet en la educación se está convirtiendo en el principal paradigma para transmitir y suministrar información de cualquier tipo, naturaleza y/o origen. Por ejemplo, en el contexto europeo, la necesidad de dar una respuesta conveniente a este desafío es introducir más presión a la comunidad educativa debido al inminente inicio del nuevo espacio europeo de educación superior EEES (declaración de Bolonia), donde Internet adquiere un rol fundamental en los estudios universitarios [1].

La implementación de este nuevo paradigma de educación basado en Internet no es un problema cuando el objetivo de aplicación son las ciencias sociales y humanistas, donde los recursos actuales de texto y multimedia en Internet son suficientes para cumplir con las metas establecidas. Por el contrario, este desafío no es una tarea simple cuando el ámbito de aplicación son los estudios en ciencias físicas y de ingeniería [2]. En este caso, además de los recursos de texto, multimedia y otros recursos que se requieren para proporcionar los aspectos teóricos de un curso a través de Internet, se deberían incluir los llamados *laboratorios de práctica*. Esto es particularmente verdadero en la enseñanza de la ingeniería de control, un campo inherentemente interdisciplinario, donde las matemáticas juegan un rol fundamental y donde los avances se llevan a cabo mediante una mezcla de matemáticas, modelado, computación, y experimentación [3], [4] y [5].

A pesar de las dificultades anteriormente mencionadas, ahora es posible encontrar un gran número de universidades que, en sus ramas de ingeniería, ya disponen de estas herramientas de enseñanza en sus actuales planes de estudio. A continuación se analizan dos ejemplos de este proceso de adaptación.

El Departamento de Ingeniería de la Información de la Universidad de Siena (Italia) ofrece un conjunto de laboratorios remotos para el aprendizaje del control [6], [7]. Los experimentos tienen interfaces de usuario bien definidas que permiten visualizar la evolución de las variables principales del sistema y observar el comportamiento del proceso mediante cámaras de video. Sin embargo, estos laboratorios trabajan solamente en **modo batch** [8], es decir, las acciones de usuario se llevan a cabo al inicio del experimento, el cual, una vez iniciado se ejecuta hasta su terminación. Mientras el experimento se ejecuta el usuario no puede interactuar con el sistema. Una vez que la simulación ha finalizado, los resultados son mostrados en pantalla y se habilita la posibilidad de configurar un nuevo experimento con la definición de nuevas acciones de usuario. Otro ejemplo está en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Singapur [9]. Las interfaces gráficas de usuario de este grupo de investigación son más atractivas a los usuarios finales debido a que es posible interactuar directamente (y en tiempo real) sobre los elementos gráficos de la interfaz durante el experimento. Esta agradable sensación de interacción, que es conocida como **interactividad en tiempo de ejecución** [8], es una ventaja con respecto a la propuesta previa.

Hoy en día, la mayoría de las características descritas en los dos ejemplos anteriores se encuentran en los entornos de experimentación actuales, incluyendo además versiones simuladas y remotas de los sistemas. Sin embargo, todavía estos desarrollos están centrados solamente en las cuestiones técnicas que tienen que ver con el diseño y construcción de las aplicaciones Web que permiten realizar las actividades prácticas a través de Internet, es decir, el laboratorio virtual y remoto en sí mismo. En general, ellos no consideran el contexto social de interacción y colaboración existente entre estudiantes en los laboratorios de prácticas tradicionales [10].

La Web 2.0 pone de manifiesto estas ideas al intentar emular las relaciones existentes entre usuarios en un contexto social específico. En este sentido, este trabajo va un paso más adelante en esta dirección al plantearse como uno de sus objetivos el incluir el uso de un Sistema de Gestión del Aprendizaje basado en Web (LMS) que sea capaz de satisfacer las demandas que surgen en una sesión de experimentación tradicional. El entorno que se describe en este trabajo es una abstracción de un laboratorio presencial convencional donde

los estudiantes pueden interactuar y colaborar con otros compañeros de clase y con sus profesores tutores usando Internet como plataforma de comunicación.

Por otra parte, este trabajo ofrece otra interesante innovación en relación a otros desarrollos existentes en la literatura. En particular, el segundo objetivo planteado plantea la creación de una red de laboratorios de control automático a través de Internet en el marco de trabajo del proyecto AutomatL@bs. En este contexto, varias universidades españolas se han beneficiado de esta iniciativa al compartir sus recursos de experimentación e incrementar el número y tipos de laboratorios disponibles para sus alumnos.

## 2. DISEÑO DEL TRABAJO REALIZADO

El trabajo se organiza de la siguiente manera: La sub-sección 2.1 ofrece algunos antecedentes respecto al diseño y desarrollo de laboratorios de control basados en Web. Dos sub-secciones están destinadas a mostrar algunos ejemplos de laboratorios remotos utilizados en la enseñanza de conceptos de control clásico y robótica. Las sub-secciones 2.2 y 2.3 describen la arquitectura funcional del sistema LMS utilizado para apoyar el proceso de aprendizaje de los estudiantes y el sistema de reserva de recursos físicos, respectivamente. Ya la sub-sección 2.4 presenta el proyecto AutomatL@bs y muestra una vista unificada del entorno de experimentación global. Con el fin de conocer la percepción de los estudiantes respecto a la red de laboratorios, la sección 3 describe los resultados del proceso de evaluación llevado a cabo en el marco del proyecto AutomatL@bs. Para finalizar, se entregan algunas conclusiones del trabajo y posibles líneas futuras de investigación que extiendan sus posibilidades.

### 2.1. Desarrollo de laboratorios de virtuales y remotos de control

La Figura 1 muestra la estructura genérica de un laboratorio virtual y remoto de control donde un cliente remoto manipula un proceso real localizado en el laboratorio de la universidad a través de un servidor que trabaja como capa intermedia de comunicación. Adicionalmente, se debería incluir la posibilidad de retroalimentar visualmente al usuario mediante una cámara Web que señale al equipamiento real localizado en el laboratorio.

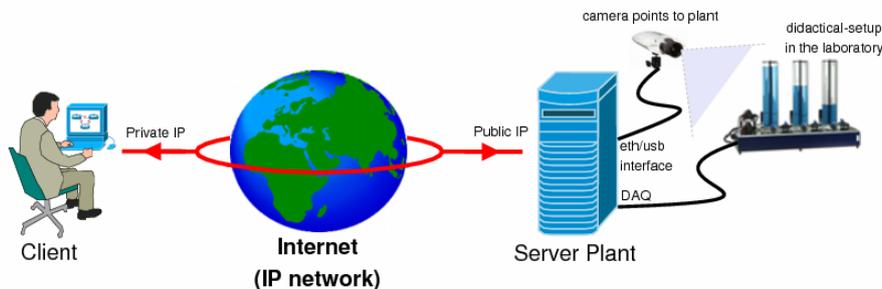
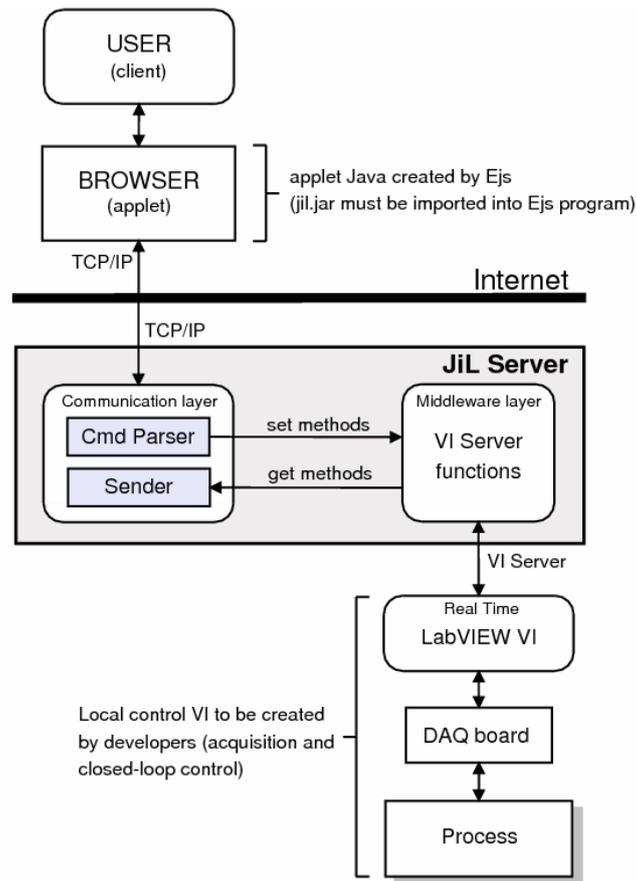


Figura 1. Esquema de control remoto de un dispositivo físico.

En general, se utilizan enlaces TCP/UDP para el intercambio de datos y comandos entre ambos extremos basándose en un patrón de diseño conocido como *arquitectura basada en comandos* [11]. Por el lado del servidor, se ejecutan comúnmente tres tareas concurrentes: **Analizador de Comandos**, **Transmisor** y la **Adquisición y Control de Lazo Cerrado**. El analizador recibe comandos desde el cliente, los interpreta, y ejecuta la acción solicitada. Cuando no se recibe ningún comando desde el cliente, el analizador de comandos duerme liberando capacidad del procesador para otras tareas. En paralelo, el transmisor envía al cliente las medidas adquiridas por el lazo de control cuando lo solicita un comando y finalmente, la tarea adquisición y control de lazo cerrado realiza, como su nombre lo indica, la adquisición de datos y el control de lazo cerrado del proceso. Por otra parte, la aplicación del cliente también debe implementar esta capa de transmisión para intercambiar datos con el servidor mediante la creación de dos tareas: **Transmisor** y **Receptor**. Una tercera tarea lleva a cabo el despliegue de la información a los usuarios finales. La interfaz gráfica de usuario puede ser típicamente una aplicación pura de HTML/Javascript o puede requerir de algún plugin dedicado tales como Flash, Java, Active X, etc. ejecutándose en un navegador Web [12], [13].

### 2.1.1. Prototipos de laboratorios remotos de la UNED

El grupo de investigación del Departamento de Informática y Automática de la UNED ha desarrollado en los últimos años un novedoso enfoque que simplifica y hace más intuitivo el proceso de creación de laboratorios remotos a nuevos desarrolladores. Esta metodología confía en el uso de dos herramientas de software especialmente adecuadas para el desarrollo de este tipo de aplicaciones: Easy Java Simulations (de aquí en adelante *Ejs*) [14] y LabVIEW [15]. El enfoque se basa en la creación de módulos de comunicación genéricos tanto para el cliente (Java) y como para el servidor (LabVIEW) a fin de hacer más transparente este proceso mediante la ocultación de los protocolos de comunicación a bajo nivel (ver Figura 2).



**Figura 2.** Esquema modular del enfoque JiL Server.

Para el lado del cliente, se ha creado una librería Java llamada *jil.jar* que proporciona una interfaz genérica de comunicación. Por medio de las clases de esta librería el protocolo TCP se oculta a los usuarios desarrolladores y se proporcionan clases y métodos java más simples para configurar las conexiones. Esta librería se puede integrar fácilmente en programas desarrollados con *Ejs* para dialogar con el servidor. De la misma manera, en el lado del servidor, un programa ejecutable desarrollado en LabVIEW llamado *JiL Server.exe* opera como capa intermedia de comunicación entre el cliente y la planta. De esta manera, los desarrolladores solamente deben crear un programa de LabVIEW que realice la adquisición de datos y control de lazo cerrado de la planta (parte inferior de la Figura 2). Una información más detallada acerca de este enfoque y su aplicación en el contexto de la experimentación remota se puede encontrar en [16].

Algunos ejemplos de laboratorios virtuales y remotos desarrollados con el enfoque descrito anteriormente se pueden apreciar en la Figura 3. Las Figuras 3(a) y 3(d) muestran el sistema de tres tanques, un sistema MIMO con el cual se pueden realizar experiencias de control de nivel de líquido [17], [18]. Este módulo permite poner en práctica conceptos teóricos de control multivariable, control PID, identificación de sistemas, etc. Las Figuras 3(b) y 3(e)

muestran el motor de corriente continua, un sistema SISO que permite estudiar el comportamiento dinámico en velocidad y posición de un motor alimentado por una fuente de corriente continua. Finalmente, las Figuras 3(c) y 3(f) muestran el sistema Heat-flow que permite realizar experiencias prácticas sobre sistemas con retardo de transporte [19].

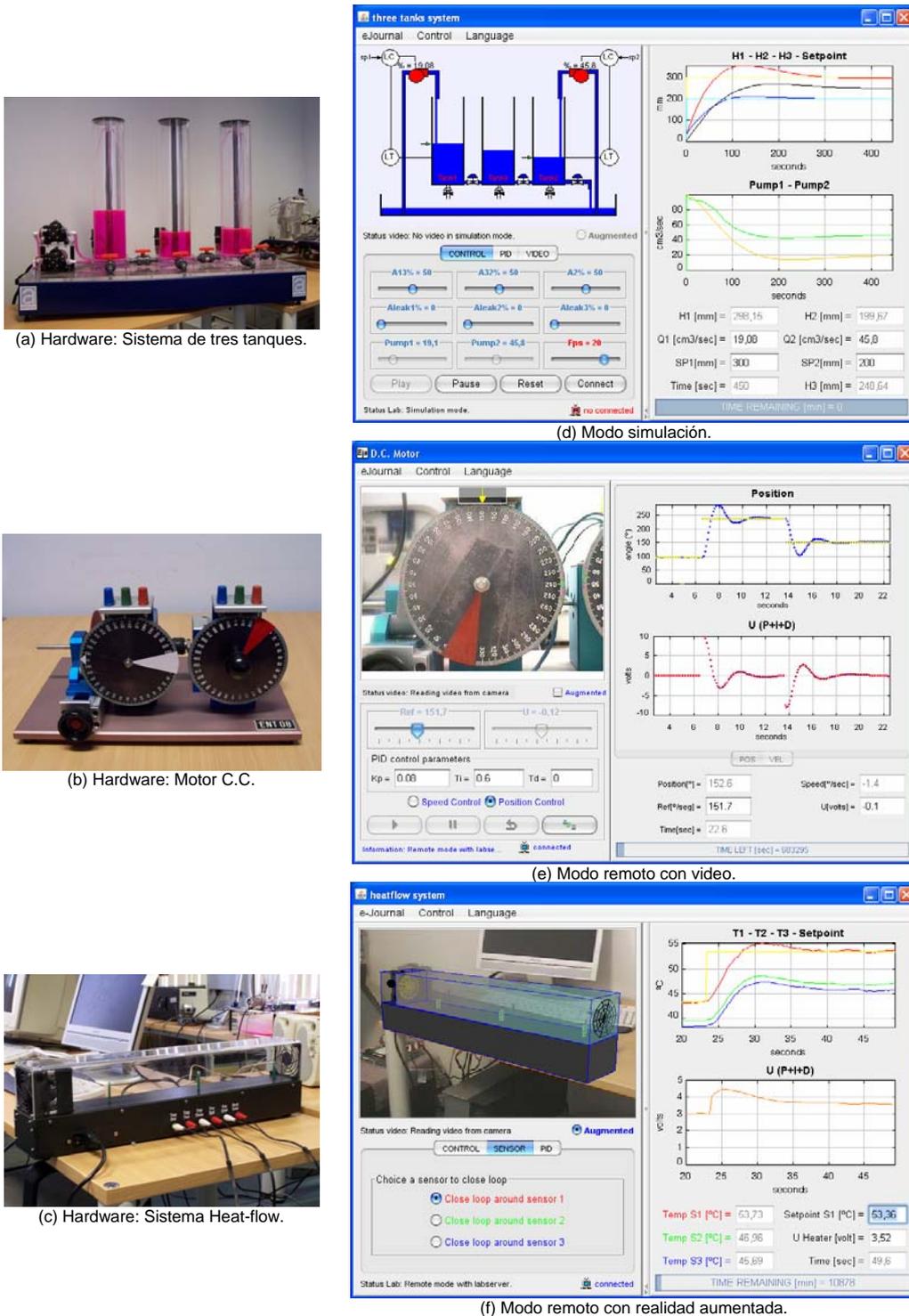


Figura 3. Laboratorios virtuales y remotos del Laboratorio de Control Automático de la UNED.

Cada laboratorio permite dos modos de operación: **virtual** (basado en un modelo matemático del proceso) o **remoto** (accediendo directamente a la planta real del laboratorio a través de Internet). Las interfaces gráficas de usuario (GUIs) están divididas en dos partes. La parte izquierda contiene una representación gráfica de la planta y un panel de control utilizado

para definir diferentes parámetros de entrada al sistema. La representación virtual ha sido desarrollada copiando el aspecto real del hardware localizado en el laboratorio. De esta manera, cualquier variación en el estado del sistema durante la simulación es automáticamente representada sobre el esquema virtual. Por otra parte, cuando el usuario trabaja en modo remoto, esta representación virtual es reemplazada por imágenes de video capturadas desde las cámaras IP del laboratorio que enfocan a los procesos. En este modo de trabajo se puede habilitar la opción de realidad aumentada (ver Figura 3(f)). Con esta configuración la representación virtual del proceso puede ser superpuesta a las imágenes de video.

Las aplicaciones se distribuyen en Internet como applets Java (desarrollados con *Ejs*) embebidos en navegadores Web. Estos applets se alojan y publican mediante un servidor Web ubicado en la UNED (<http://lab.dia.uned.es/automatlab>) que se ha habilitado dentro del marco de trabajo del proyecto AutomatL@bs cuyos detalles se presentan en la sección 2.4.

### 2.1.2. Prototipo de laboratorio remoto en robótica de la UA

EL sistema localizado en la Universidad de Alicante (UA) ha sido totalmente desarrollado para la enseñanza y aprendizaje en Automática y Robótica. Este sistema también forma parte de la plataforma AutomatL@bs.

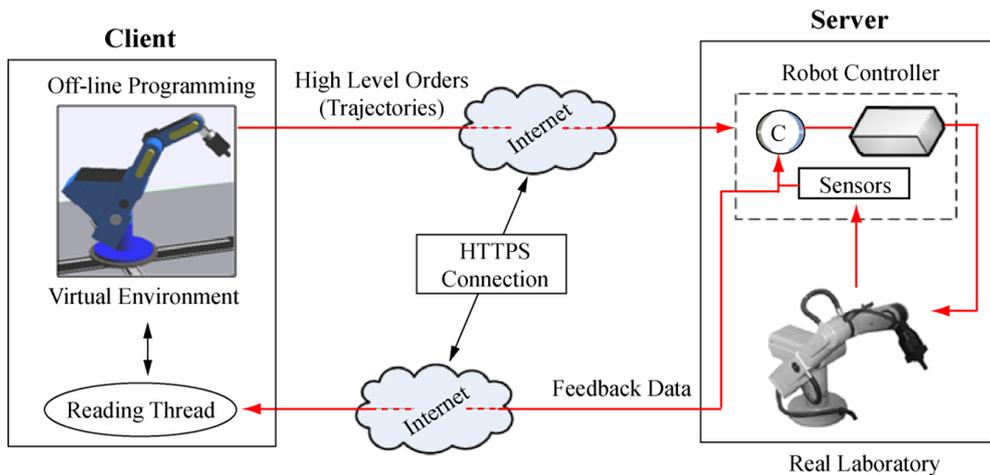
La Figura 4 muestra la planta real, cuya construcción y ensamble se ha llevado a cabo en el grupo de investigación AUROVA de la UA. Las principales componentes del hardware son: Un brazo robot industrial Scorbot ER-IX (Intelitek) de 5 grados de libertad, un pequeño depósito para las piezas que se van a manipular, una cinta transportadora y una mesa giratoria.



**Figura 4.** El sistema real en el laboratorio de la Universidad de Alicante.

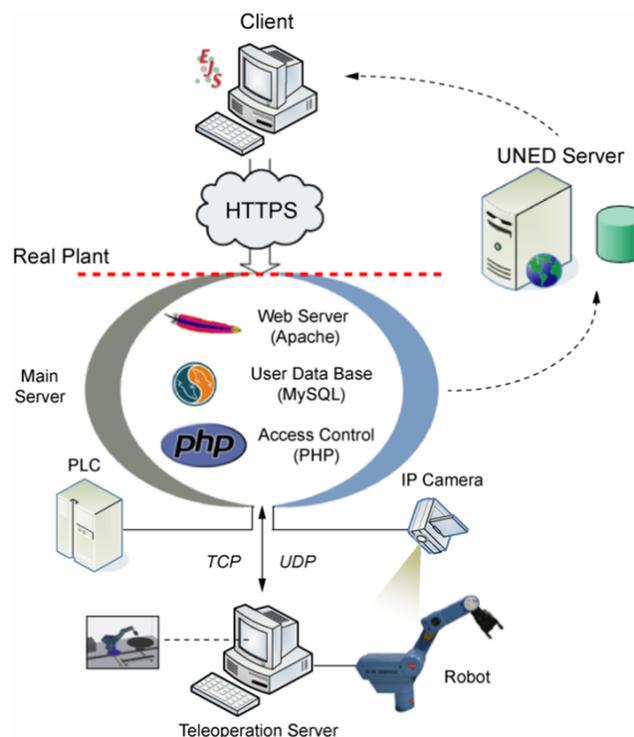
El diseño del laboratorio virtual y remoto del brazo robot industrial está basado en la arquitectura de control supervisado [20]. En este tipo de configuración, el monitoreo y programación a distancia del robot se realiza en un nivel de abstracción superior que la simple manipulación, además de no incluir al usuario en el lazo de control. La Figura 5 muestra como se implementa este enfoque de comunicación en el sistema remoto. El cliente envía órdenes de alto nivel o trayectorias al sistema robótico que previamente ha sido probado en un entorno virtual que reproduce la planta real. Subsecuentemente, el cliente visualiza los resultados obtenidos durante la operación remota por medio del *hilo de lectura*. Este proceso está a cargo de obtener los valores de posición de las articulaciones durante la tele-operación.

Como se ha visto en el esquema propuesto, la comunicación entre el cliente y el servidor se realiza usando el protocolo HTTPS. Este protocolo se basa en el paradigma petición/respuesta y ha permitido a los autores simplificar la configuración y tareas de programación tanto en el sitio del cliente como en el servidor. El acceso al sistema remoto se realiza de manera similar a como se accede a una página Web, evitando el problema de filtros ocasionados por cortafuegos. Adicionalmente, todos los datos se envían encriptados usando el protocolo Secure Socket Layer (SSL), que ofrece conexiones seguras de los usuarios al sistema y garantiza la integridad de los datos intercambiados.



**Figura 5.** Arquitectura de control supervisado implementada usando el protocolo HTTPS.

La Figura 6 muestra la arquitectura de hardware y software del laboratorio virtual y remoto. El cliente es un applet Java desarrollado con *Ejs* que puede ser descargado desde el servidor Web del proyecto AutomatL@bs (ver sección 2.4). En esta aplicación, las partes principales son el modelo del brazo robot que gestiona la simulación 3D y las funciones utilizadas en las tareas de tele-operación.



**Figura 6.** Arquitectura de hardware y software del laboratorio virtual y remoto de la UA.

El *Servidor de Tele-operación* es el componente más importante del laboratorio. Este ordenador está a cargo de la comunicación con el cliente, el sistema de gestión Web del sistema y el control de accesos para la operación remota de la planta real. Una base de datos contenida en este servidor gestiona las reservas de usuario para utilizar el robot real. Este servicio está sincronizado con el servidor principal del proyecto AutomatL@bs, de una manera similar al resto de laboratorios virtuales y remotos de la red.

El intercambio de datos entre cliente y servidor se codifica en cadenas de texto formateadas como URLs las cuales se envían por medio de peticiones HTTPS. Estos datos

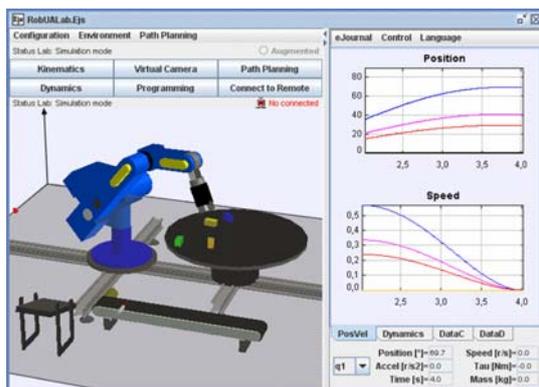
incluyen información referida a: identificación del usuario, parámetros de configuración y comandos que se ejecutan sobre el brazo robot. Inmediatamente después de que un cliente se ha conectado y autenticado correctamente con el servidor, se establece la comunicación mediante un canal que utiliza protocolos de bajo nivel como TCP/UDP. Seguidamente, cada comando que se envía desde el cliente al servidor se valida con un modelo simulado del robot con el fin de garantizar la ejecución sobre el sistema real de modo seguro.

Adicionalmente, el sistema incluye protocolos y funciones de software que permiten a los usuarios controlar algunos dispositivos conectados a un PLC (Programmable Logic Controller) localizado en el laboratorio. Así, algunos usuarios privilegiados pueden encender y apagar la luz de la sala y controlar el robot real desde la interfaz de usuario.

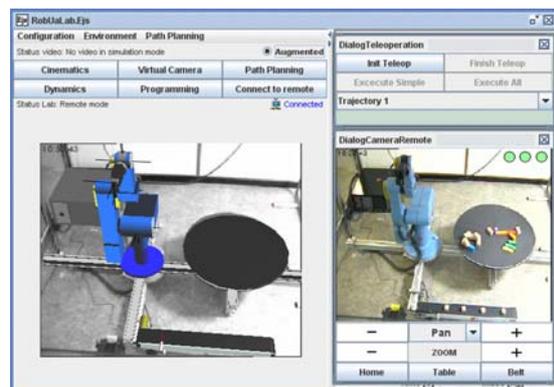
La Figura 7a muestra la interfaz gráfica del applet cliente que contiene la simulación 3D del brazo robot real. Esta interfaz se ha desarrollado usando *Ejs* y sus características 3D. La herramienta incluye un conjunto de elementos gráficos tridimensionales que han permitido el desarrollo de una representación virtual muy realista del sistema real. El entorno virtual permite además una completa simulación de todas las opciones del brazo robot real, tales como: cinemáticas, dinámicas, programación y tareas de planificación.

La aplicación tiene dos opciones de realimentación desde el sistema real cuando se trabaja en modo remoto (ver Figura 7b). Por un lado, se puede ver el estado real del sistema mediante imágenes de video capturadas desde una cámara IP localizada en el laboratorio. Por otra parte, la representación virtual 3D del robot se actualiza con el estado actual del robot real de acuerdo a las medidas recibidas desde el servidor que controla el robot. Esta segunda característica permite a los usuarios ver la correlación entre el modelo virtual y el sistema remoto durante una sesión de experimentación remota.

La interfaz de usuario de este laboratorio también ofrece la opción de despliegue con realidad aumentada. Cuando se habilita esta característica, la vista 3D del entorno virtual se superpone a las imágenes de video recuperadas desde la cámara que enfoca a la planta real (ver lado izquierdo de la Figura 7b). Además, este traslape es dinámico y es posible cambiar la perspectiva de la cámara (pan, tilt y zoom) durante la manipulación remota del mecanismo. En este sentido, la opción de visualización en realidad aumentada ofrece información más clara respecto a la operación del robot real en contraste con la representación virtual y, al mismo tiempo, se convierte en un factor clave que ayuda a los usuarios a experimentar con el sistema.



(a) GUI del laboratorio de robótica en modo simulación.



(b) GUI del laboratorio de robótica en modo remoto, con realidad aumentada y retroalimentación por video.

**Figura 7.** Interfaz gráfica de usuario del laboratorio de robótica.

## 2.2. Colaboración e interacción durante el proceso de aprendizaje

Como se aprecia en la sección anterior, es evidente el potencial de los laboratorios virtuales y remotos como herramienta de enseñanza. Sin embargo, en un escenario de aprendizaje a través de Internet, los estudiantes deben llevar a cabo sus labores prácticas sin el apoyo de un

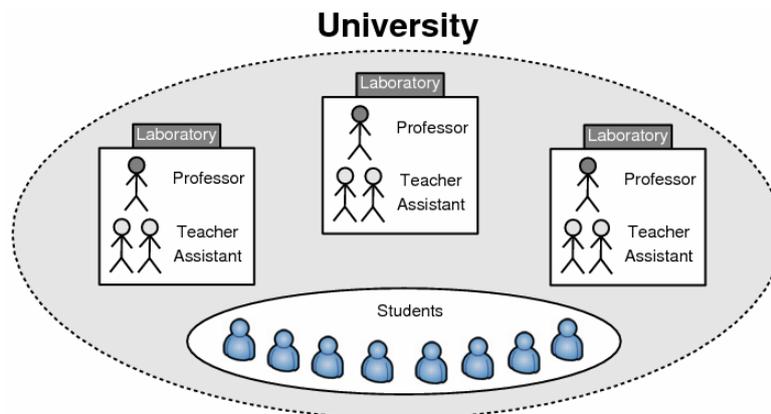
profesor “in-situ”. Por lo tanto, además de los laboratorios virtuales/remotos en sí mismos, se requieren herramientas adicionales para:

- a) Proporcionar la documentación necesaria que permita a los estudiantes realizar de manera autónoma los ejercicios prácticos requeridos por el equipo docente.
- b) Proporcionar un espacio de trabajo común donde los estudiantes y profesores puedan interactuar y comunicarse de forma sincrónica o asincrónica emulando la comunicación existente en un laboratorio convencional.
- c) Entregar la posibilidad de crear grupos de trabajo donde sus componentes puedan interactuar entre ellos como en una clase presencial.

Para dar solución a estas demandas, se ha estudiado la posibilidad de incluir recursos basados en Web complementarios a los laboratorios virtuales/remotos. En este sentido, con la idea de desarrollar un modelo de aprendizaje conveniente para los estudiantes que tome en cuenta los requerimientos anteriormente descritos, se ha instalado y puesto en funcionamiento una herramienta Web que apoya el proceso de aprendizaje de los estudiantes a través de Internet [21]. Hemos escogido la aplicación Web conocida como “eMersion” que implementa un modelo de aprendizaje social específicamente diseñado para la educación a distancia de los estudiantes en materias técnicas, como por ejemplo, el control automático.

La arquitectura del sistema implementado contiene algunas propiedades jerárquicas que se pueden extraer de la estructura de una universidad desde un punto de vista organizacional. En este contexto, eMersion se ha diseñado tomando en cuenta tres ideas esenciales:

1. Cualquier universidad contiene varios laboratorios.
2. Cada laboratorio es supervisado por un profesor y/o profesores tutores.
3. Los estudiantes atienden a los cursos impartidos por los profesores o tutores.



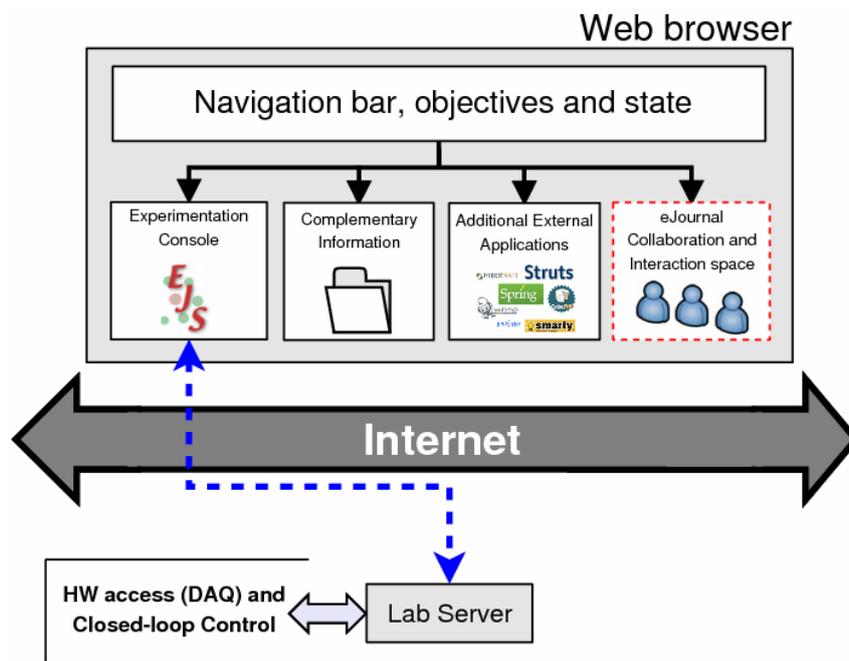
**Figura 8.** Abstracción del diseño de eMersion.

La Figura 8 representa la arquitectura conceptual de eMersion, la cual ha sido desde el inicio concebida como una aplicación basada en Web. En este sentido, un conjunto de módulos Web independientes componen este entorno. Ellas cubren todos los requerimientos necesarios para la interacción y colaboración entre los estudiantes, apoyando de esta manera el proceso de aprendizaje durante una sesión de experimentación remota.

Finalmente, la Figura 9 ilustra la arquitectura funcional de eMersion. Este esquema enfatiza cada uno de los componentes Web que constituyen el entorno de experimentación. A continuación, se describe brevemente la funcionalidad de cada recurso:

- **Barra de Navegación.** Desde este módulo Web los estudiantes tienen acceso al resto de las opciones que ofrece el entorno. Sus funciones básicas son: proporcionar información respecto al experimento sobre el cual se trabaja, informar acerca del estado de los ejercicios y proporcionar una guía general de cómo trabajar con el sistema.

- **Consola de experimentación.** Este módulo Web contiene un applet Java como los mostrados en las secciones 2.1.1 y 2.1.2. Los estudiantes pueden llevar a cabo las actividades prácticas requeridas por el equipo docente usando este recurso Web. Si el usuario trabaja en modo remoto, la consola de experimentación conecta con el experimento real localizado en el laboratorio remoto.
- **Información en línea.** Proporciona los contenidos teóricos y prácticos requeridos para completar una sesión de experimentación remota. La documentación debe tener una estructura clara de modo que pueda ser fácilmente seguida por los estudiantes.
- **Integración de aplicaciones externas.** eMersion permite integrar herramientas externas adicionales como nuevos recursos del entorno. Un ejemplo de ello es la integración del sistema automático de reservas desarrollado por los autores de este trabajo y que será descrita en la siguiente sección.
- **eJournal.** Este recurso juega un papel importante en el desarrollo del entorno de experimentación ya que proporciona los mecanismos de interacción y colaboración para trabajar en grupos.



**Figura 9.** Arquitectura funcional de eMersion y módulos Web del entorno de experimentación.

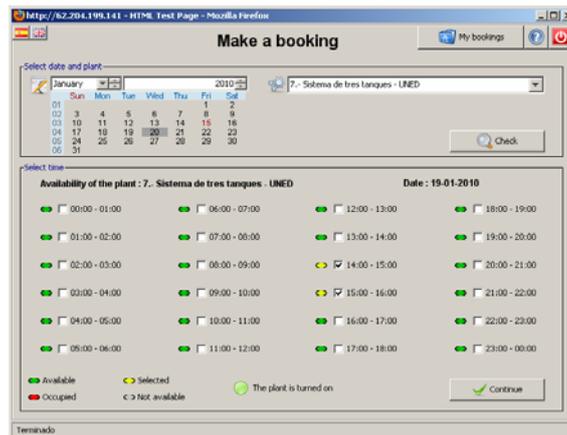
### 2.3. Control de acceso a los laboratorios

Con el objetivo de organizar el acceso de los estudiantes a los recursos reales del laboratorio se ha diseñado e implementado un sistema automático de reserva de recursos. De esta manera, un estudiante puede escoger una fecha y hora específica para trabajar sobre una planta real y reservarla para su uso exclusivo durante ese periodo de tiempo.

El sistema automático de reservas está dividido en dos partes: 1) La interfaz de usuario del sistema de reservas (lado cliente) y, 2) el servidor Web que gestiona y mantiene las reservas de los estudiantes (lado servidor).

#### 2.3.1. La interfaz cliente del sistema de reservas

El procedimiento para realizar una reserva involucra, por un lado, la solicitud de una reserva por parte del usuario y, por otra parte, la respuesta del sistema con la confirmación de la fecha y hora para el uso de la planta real. La Figura 10 muestra la interfaz de usuario principal a través de la cual los estudiantes llevan a cabo sus reservas.



**Figura 10.** Interfaz cliente del sistema de reservas.

A continuación se describen los pasos que se deben seguir para realizar una reserva de recurso en el laboratorio:

- Primero, el usuario debe identificarse mediante un nombre de usuario y contraseña. Estas claves de acceso son necesarias cuando se desea trabajar en modo remoto y son asignadas y enviadas vía email por el equipo docente a un estudiante después que éste haya aprobado satisfactoriamente la etapa de simulación.
- Una vez que el usuario ha accedido al sistema de reservas, debe escoger la hora y el experimento de laboratorio para el cual desea reservar el recurso.
- Luego, el estudiante debe chequear si la planta seleccionada esta disponible para la fecha propuesta. Entonces, debe seleccionar los segmentos de tiempo que desee reservar desde el calendario de tiempos desplegado para ello. Actualmente, el máximo de tiempo a reservar por un estudiante es de 2 horas por día.
- El sistema confirma la reserva realizada por el usuario.
- Finalmente, el sistema despliega la lista de reservas pertenecientes al usuario registrado.

### 2.3.2. Configuración del servidor

El administrador del sistema de reservas se encarga de la configuración del servidor y de la suscripción de nuevas plantas remotas. La GUI del administrador permite configurar los principales parámetros del servidor (ver Figura 11). Esta aplicación, que está localizado en el Departamento de Informática y Automática de la UNED, es responsable de almacenar todas las reservas hechas sobre el sistema. De esta manera, este ordenador debe estar conectado a través de Internet a los servidores de los diferentes sitios que mantienen un servidor que proporciona servicios de experimentación remota.



**Figura 11.** GUI de administrador del sistema automático de reservas.

Los parámetros de configuración más relevantes del servidor de reservas son los siguientes:

- Configuración de la cuenta de correo electrónico del supervisor de cada laboratorio. El sistema confirma las reservas llevadas a cabo por los usuarios enviando un email al supervisor de la planta.
- Dirección IP de los ordenadores que controlan cada uno de los sistemas físicos que forman parte de la red.
- Restricciones de planificación de cada uno de los experimentos. Actualmente, la configuración por defecto es de un máximo de 6 horas de conexión por ejercicio, con la restricción de que un usuario puede estar conectado sólo 2 horas por día y un total de 4 horas por semana.

Una vez que un usuario ha realizado una reserva, solamente puede hacer uso de ella entre el tiempo de inicio y término del rango de tiempo reservado. La Figura 12 muestra el esquema general de autenticación de usuarios implementado.

El protocolo considera el envío de las credenciales de autorización desde la aplicación del usuario al servidor de experimentación (Lab-Server). Este servidor proporciona un simple servicio de autenticación en el cual las credenciales del usuario son comprobadas contra una base de datos local que contiene una lista de usuarios previamente autorizados y que han realizado una reserva para éste experimento. Luego, el servidor devuelve el resultado del intento de autenticación al usuario y le garantiza el acceso a la planta dependiendo del resultado de la comprobación de identidad.



**Figura 12.** Esquema de autenticación punto a punto del sistema de reservas.

Esta aplicación se ha concebido como un nuevo módulo Web que puede ser fácilmente integrado en el entorno eMersion. La próxima sección aborda esta cuestión y muestra la integración final de todas las componentes Web que conforman el sistema global.

#### 2.4. El Proyecto AutomatL@bs

Uno de los resultados más importantes durante los últimos años de investigación ha sido la integración de laboratorios remotos provenientes desde varias instituciones académicas españolas en el marco del proyecto AutomatL@bs [22]. En este contexto, siete universidades se han beneficiado de esta iniciativa al compartir sus recursos de experimentación e incrementar el número de laboratorios disponibles para sus estudiantes (los ejemplos descritos en las sub-secciones 2.1.1. y 2.1.2. son parte de esta experiencia). La Figura 13 muestra la página principal de acceso al entorno de experimentación del proyecto AutomatL@bs.

Este sitio Web proporciona información general del sistema, las plantas disponibles, los laboratorios virtuales y remotos de la red, etc. El propósito de toda esta información es ilustrar e introducir a los estudiantes en los temas de experimentación remota antes de acceder al sistema y trabajar con las plantas reales.

Una vez que el estudiante ha revisado toda la información contenida en estas páginas y comprobado que reúne los requerimientos de hardware y software, puede iniciar el acceso al entorno de experimentación. La red de laboratorios virtuales y remotos del proyecto AutomatL@bs utiliza eMersion para proporcionar un entorno colaborativo que permita a los estudiantes compartir sus resultados experimentales.

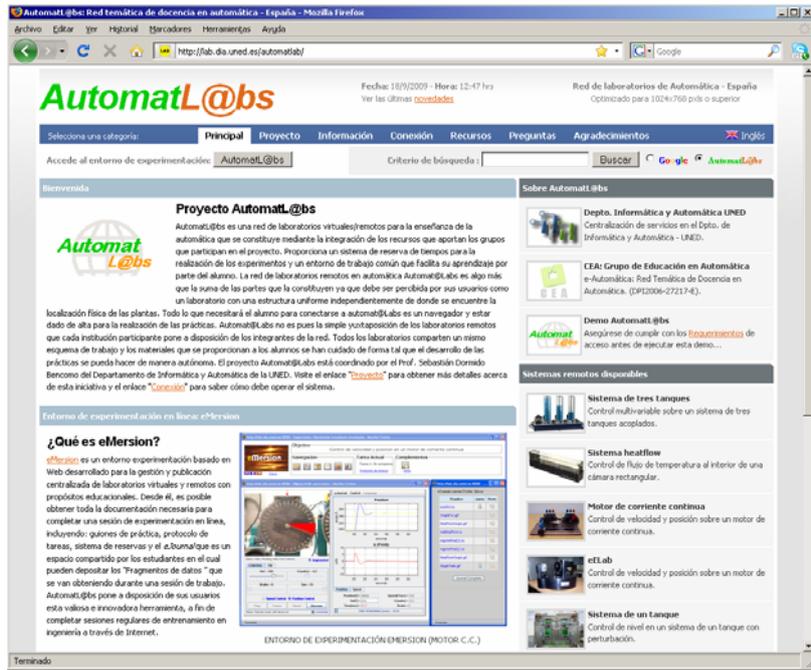


Figura 13. Página principal del proyecto Automatl@bs.

La Figura 14 ilustra la apariencia del entorno de experimentación eMersion en modo remoto durante una sesión práctica con el sistema de tres tanques. Como se describió en la sección 2.2, el entorno está compuesto de cinco módulos Web independientes: La barra de navegación, información en línea (documentación), consola de experimentación, eJournal y aplicaciones externas.

La barra de navegación provee el acceso a cada una de las componentes Web del entorno. Desde el enlace "Access Protocol", los usuarios pueden acceder a una completa guía de uso de la herramienta.

Una colección de páginas HTML accesibles desde la barra de navegación proporcionan la documentación necesaria para llevar a cabo las actividades prácticas requeridas por el personal docente (ver esquina inferior izquierda de la Figura 14).

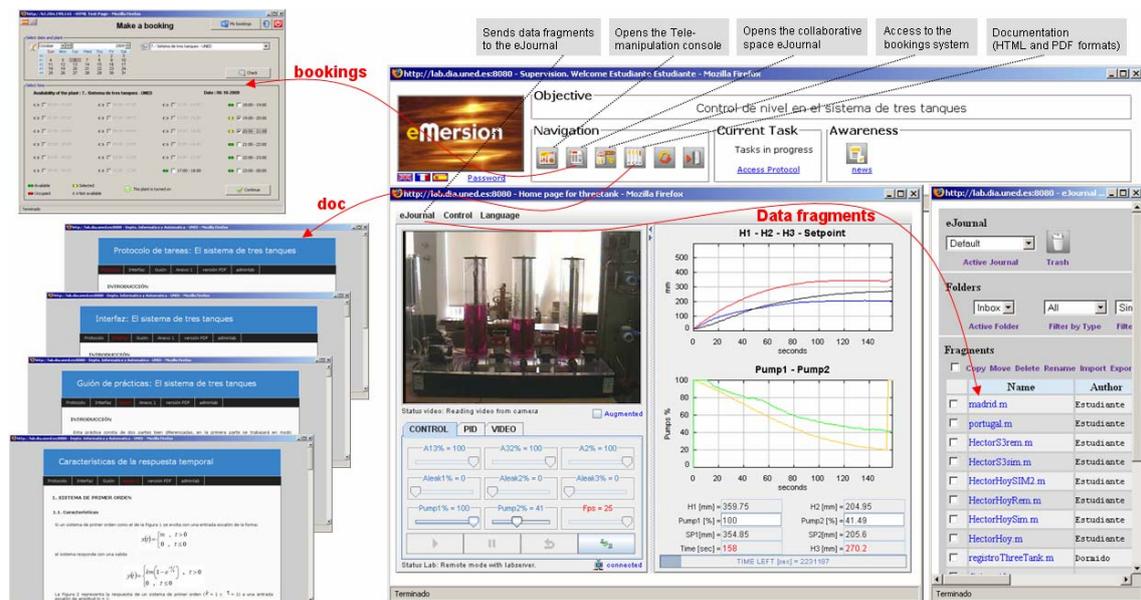
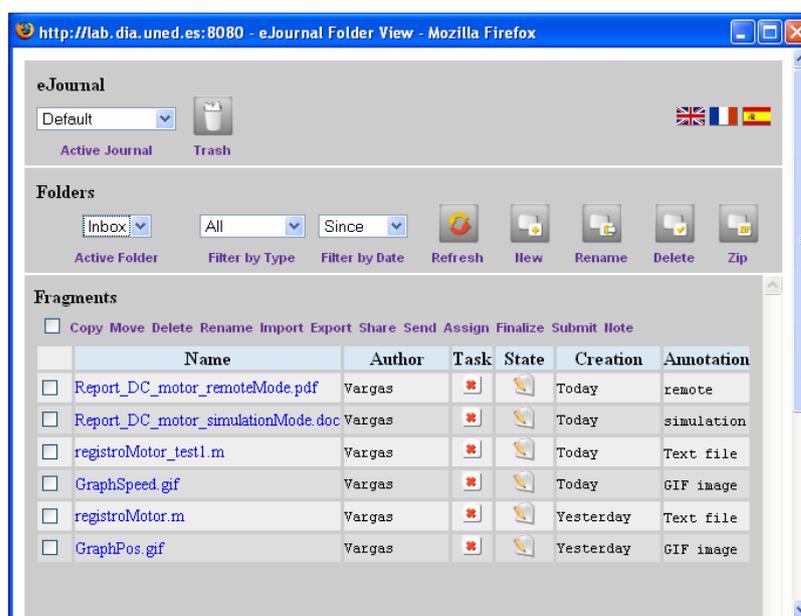


Figura 14. Entorno de experimentación remota durante un ejercicio práctico en modo remoto.

A través de la consola de experimentación (applet Java), los estudiantes realizan los ejercicios prácticos descritos en la documentación de la práctica. La aplicación permite guardar registros de datos (parámetros y medidas) durante un experimento en el espacio eJournal para posterior análisis y generación de reportes.

El recurso eJournal aporta un espacio de trabajo compartido que permite a los estudiantes colaborar y comunicarse entre ellos durante el proceso de aprendizaje. Adicionalmente, pueden compartir sus resultados experimentales y documentos con otros compañeros de clase y con sus profesores asistentes usando las diferentes opciones que ofrece la herramienta (ver Figura 15).



**Figura 15.** Espacio de trabajo compartido: *eJournal*.

Finalmente, y como ya se ha mencionado en anteriores secciones, eMersion permite la integración de aplicaciones externas. El sistema automático de reservas descrito en la sección previa es un ejemplo de ello (ver parte superior izquierda de la Figura 14). La interfaz del cliente del sistema de reservas se ha integrado completamente en eMersion. De esta manera, los estudiantes pueden realizar sus reservas desde el propio entorno de experimentación con el fin de completar sus experiencias de trabajo en modo remoto.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Estudio de la percepción de usuarios

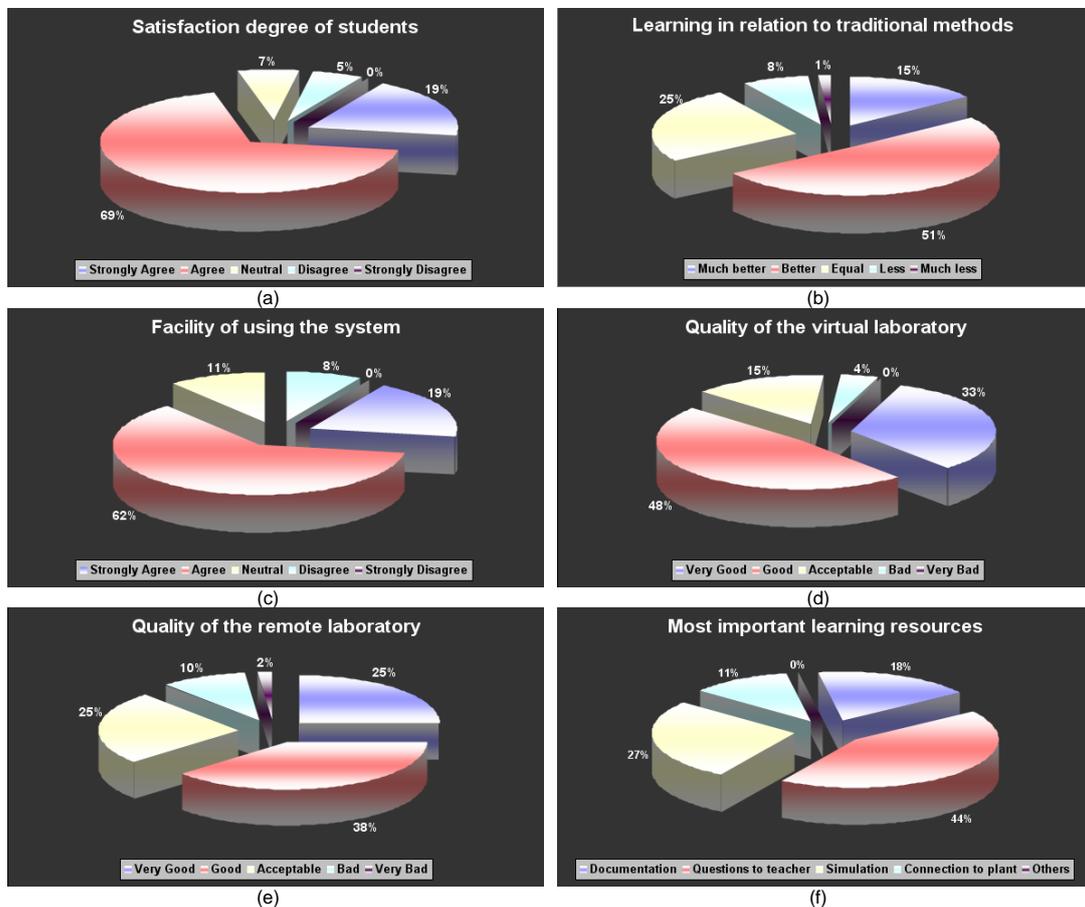
Capturar la percepción de los estudiantes con respecto a su experiencia de aprendizaje es vital a la hora de evaluar el entorno de experimentación como herramienta de enseñanza.

Con el fin de evaluar la herramienta desarrollada, el sistema fue probado con un total de 120 alumnos provenientes de las siete universidades que participaron del “proyecto AutomatL@bs”. A través de este estudio, profesores y estudiantes de otras universidades también formaron parte de la evaluación del entorno de experimentación. El objetivo principal de este estudio fue: a) Permitir a los estudiantes utilizar experimentos y documentación no disponible en sus universidades y, b) Incrementar la calidad y robustez de la red de laboratorios virtuales y remotos para un gran número de profesores y estudiantes con diferentes intereses de enseñanza/aprendizaje.

El procedimiento consistió en completar cuestionarios de evaluación del sistema por parte de los estudiantes. A continuación, discutimos los principales resultados obtenidos de

este proceso de evaluación. La Figura 16a muestra una primera visión general respecto a si los estudiantes se sintieron o no satisfechos con esta nueva forma de realizar las prácticas. El 19% de ellos respondió que estaba “muy conforme” mientras que un 69% dijo sentirse “conforme” con el uso del sistema. Adicionalmente, en esta etapa se realizaron algunas preguntas que tenían como objetivo recabar información respecto a que pensaban los estudiantes acerca del uso de los experimentos remotos en el proceso educativo. Los resultados obtenidos fueron que el uso de las nuevas tecnologías, especialmente Internet, estimula a los estudiantes a utilizar cada vez más este recurso para la realización de sus actividades prácticas.

Las Figuras 16b y 16c ofrecen alguna información comparativa respecto a la mejora del aprendizaje a través de estas nuevas herramientas de enseñanza en relación a los métodos tradicionales. En la mayoría de los casos, la disconformidad de los estudiantes (alrededor del 9%) se debió a que ellos no tuvieron la posibilidad de experimentar directamente con los sistemas reales. Una manera de resolver este problema podría ser aplicar una metodología de aprendizaje que mezcle ambos métodos, es decir, llevar a cabo una primera fase de clases presenciales en las que los estudiantes puedan interactuar y experimentar “in-situ” con las plantas reales y luego, habilitarles el acceso al entorno de experimentación remota con el fin de que ellos puedan terminar y/o complementar sus actividades prácticas de forma remota.



**Figura 16.** Gráficos estadísticos que resumen los resultados de evaluación del sistema.

Con respecto a la calidad de los laboratorios virtuales y remotos (ver Figuras 16d y 16e), la mayoría de los estudiantes ha evaluado de forma positiva su desarrollo en términos de su diseño y funcionalidad. Los resultados negativos se deben principalmente a la calidad de las conexiones a Internet donde los retardos inherentes a la transmisión de datos sobre la red van en directa relación con la disconformidad de los usuarios. Finalmente, la Figura 16f demuestra que las consultas al equipo docente y la documentación desarrollada como guía de los ejercicios prácticos son recursos esenciales para el desempeño de los estudiantes.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se han presentado algunas aplicaciones Web para experimentación remota en el campo del control automático y la ingeniería de sistemas: El sistema de tres tanques, el sistema heatflow, el motor de corriente continua y el control de un brazo robot industrial. Hemos descrito como hemos desarrollado los sistemas y como ellos se han publicado a través de Internet. El proyecto AutomatL@bs presentado en la sección 2.4 es el resultado de investigación más reciente y ha demostrado su utilidad durante los últimos tres años académicos en las universidades que participaron del proyecto.

También, se ha presentado un estudio de percepción de usuarios del sistema desarrollado durante los años 2008-2009. Estos resultados muestran un alto grado de satisfacción por parte de la comunidad de estudiantes lo cual demuestra que el enfoque presentado se ha implementado correctamente.

Sin embargo, aún queda un largo camino por recorrer. Por un lado, es necesario mejorar los entornos de experimentación actuales con el objetivo de realzar la sensación de presencia física en el laboratorio remoto. Para ese fin, es esencial averiguar más respecto a las técnicas de realidad virtual y aumentada. Por otra parte, es necesario conocer el impacto de la próxima generación de aplicaciones Web en términos de su aplicación al contexto de la experimentación remota con propósitos educacionales. Si la Web 1.0 permitió a los usuarios acceder a documentos electrónicos y la Web 2.0 ha permitido a estudiantes y profesores intercambiar información en un contexto social específico, la Web 3.0 dará cierta inteligencia adicional a los entornos de experimentación permitiendo mejorar la comunicación entre "estudiantes virtuales" y "profesores virtuales".

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación parcial de este trabajo a la CICYT en el marco del proyecto DPI 2007-61068. También los autores desean expresar su agradecimiento al Consejo Social de la UNED por haberle otorgado el Premio del Consejo Social al mejor trabajo de "Innovación Docente" de la convocatoria 2008.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Lareki, J. Martínez, N. Amenabar. "Towards an efficient training of university faculty on ICTs," *Computers & Education*, vol. 54, Issue 2, pp. 491-497, 2010.
- [2] R. Williams. "Innovations 2007: World Innovations in Engineering Education and Research," *International Network for Engineering Education and Research (INEER)*, pp. 279-290, 2007.
- [3] W. H. Fleming, "Future directions in control theory: A mathematical perspective," *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 1989.
- [4] S. Dormido. "Control learning: present and future," *Annual Reviews in Control*, vol. 28, pp. 115-136, 2004.
- [5] K. J. Astrom. "Challenges in Control Education," *7<sup>th</sup> IFAC Symposium on Advances in Control Education (ACE'06)*, Madrid, 2006.
- [6] M. Casini, D. Prattichizzo, A. Vicino. "The Automatic Control Telelab: A User-Friendly Interface for Distance Learning," *IEEE Trans on Education*, vol. 46, pp. 252-257, 2003.
- [7] M. Casini, D. Prattichizzo, A. Vicino. "Web-based Control and Robotics Education," *Springer*, pp. 127-151, 2007.
- [8] C. Martín, A. Urquía, S. Dormido. "Web-based Control and Robotics Education," *Springer*, pp. 103-125, 2007.
- [9] NUS Internet Remote Experimentation home page. <http://vlab.ee.nus.edu.sg/vlab>.
- [10] A. V. Nguyen. "Activity theoretical analysis and design model for Web-based experimentation," *International Conference on Human-Computer Interaction*, Beijing, 2007.
- [11] Command-based architecture home page. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3098>.
- [12] Ch. Salzmann, D. Gillet, "From on-line experiments to smart devices," *International Journal of Online Engineering*, vol. 4, pp. 50-54, 2008.

- [13] H. Vargas, Ch. Salzmann, D. Gillet, S. Dormido. "Remote Experimentation Mashup," *8<sup>th</sup> IFAC Symposium on Advances in Control Education*, Kumamoto, Japan, 2009.
- [14] Easy Java Simulations homepage. <http://www.um.es/fem/Ejs>.
- [15] NI LabVIEW home page. <http://www.ni.com/labview>.
- [16] H. Vargas, J. Sánchez, Ch. Salzmann, F. Esquembre, D. Gillet, S. Dormido. "Web-enabled Remote Scientific Environments," *Computing in Science and Engineering*, vol. 11, pp. 34-46, 2009.
- [17] R. Dormido, H. Vargas, N. Duro, J. Sánchez, S. Dormido-Canto, G. Farias, F. Esquembre, S. Dormido. "Development of a Web-Based Control Laboratory for Automation Technicians: The Three-Tank System," *IEEE Trans on Education*, vol. 51, pp. 35-44, 2008.
- [18] Amira GmbH homepage. <http://www.amira.de>.
- [19] Quanser Consulting homepage. <http://www.quanser.com>.
- [20] K. Goldberg, R. Siegwart. "Beyond Webcams: an introduction to online robots," *MIT Press*, pp. 10-15, 2002.
- [21] D. Gillet, A.V. Nguyen, Y. Rekik. "Collaborative web-based experimentation in flexible engineering education". *IEEE Trans on Education*, vol. 48, pp. 696-704, 2005.
- [22] AutomatL@bs project homepage. <http://lab.dia.uned.es/automatlab>.