

Análisis, desarrollo y publicación de laboratorios virtuales y remotos para la enseñanza de la automática

S. Dormido*, J. Sánchez*, H. Vargas*, S. Dormido-Canto*, R. Dormido*, N. Duro*,
G. Farías*, M^a. A. Canto*, F. Esquembre[†]

*Departamento de Informática y Automática, UNED
C/. Juan del Rosal nº 16, c.p. 28040, Madrid, España

[†]Departamento de Matemáticas, Universidad de Murcia
Campus de Espinardo, c.p. 30071, Murcia, España

{sdormido, jsanchez, sebas, raquel, nduro, mcanto}@dia.uned.es, {hvargas, gfarías}@bec.uned.es, fem@um.es

Resumen

El presente trabajo describe la experiencia del Departamento de Informática y Automática de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) en el análisis, desarrollo y creación de laboratorios remotos utilizando tecnología Web aplicada a un curso a distancia de control automático. La metodología de trabajo utilizada diferencia dos componentes esenciales en su desarrollo práctico: *La capa de experimentación* y *la capa de e-learning*. La primera de ellas considera los aspectos técnicos para la transformación de un laboratorio convencional de prácticas de control en uno virtual y remoto a través de Internet, mientras que la segunda presenta los aspectos relacionados con la integración de los laboratorios en una herramienta que soporte la planificación educativa flexible con fines pedagógicos complementaria a la utilización de la aplicación experimental.

Para el desarrollo práctico de la capa de experimentación se utilizan las herramientas de software *LabVIEW* (servidor) y *Ejs* (clientes). Para soportar la capa de aprendizaje se utiliza el entorno *eMersion*, herramienta de software creada para la publicación de laboratorios basados en Web con fines pedagógicos.

1. Introducción

Los avances tecnológicos en las redes de comunicación se introducen constantemente no sólo para mejorar la calidad del servicio sino para adecuar el ancho de banda disponible de Internet a la fuerte demanda de servicios existente. La

disponibilidad y la capacidad de estas nuevas facilidades en la comunicación, combinadas con el rápido desarrollo de las tecnologías Web y la generalización de componentes de uso común para la adquisición de datos y el control de procesos industriales, permiten ahora al alumno evitar la asistencia a los laboratorios tradicionales. Los estudiantes son animados para que utilicen los sistemas tele-presenciales, transformando de esta manera, la experimentación remota de un tema de investigación a una realidad accesible a todo el mundo. La ingeniería de control es una de las áreas técnicas en las que el impacto de las nuevas tecnologías en el desarrollo de nuevas aplicaciones para el aprendizaje a distancia es más notable [2].

En la actualidad, son muchas las universidades e instituciones académicas relacionadas con la ingeniería de control de sistemas que han introducido este nuevo modelo de enseñanza en sus actividades curriculares. Una de las razones principales es debido a que en un *laboratorio tradicional (LT)* los recursos en personas, tiempo y espacios son restringidos, debido a su masificación y a problemas presupuestarios; como se ha mencionado anteriormente, se requiere de la presencia física del estudiante y la supervisión del profesor. La solución casi intuitiva a estos problemas la proporciona la utilización de los llamados *laboratorios virtuales y remotos (LV/LR)*, acercando y facilitando la realización de experiencias a un mayor número de alumnos, aunque alumno y profesor no coincidan en tiempo y espacio [4]. En particular, en un laboratorio virtual de control podremos manipular y observar el comportamiento de fenómenos y modelos físicos en cualquier momento del día, ocultando el

modelo matemático y mostrando el fenómeno simulado con un alto grado de interactividad. Por otra parte, la creciente demanda mundial de redes de datos con mayor velocidad de acceso a los recursos de Internet ha generado un aumento sustancial en la calidad de servicio (QoS) y anchos de banda de los usuarios a la red. Esto, unido a la creciente complejidad de los laboratorios tradicionales ha hecho que los laboratorios virtuales evolucionen a un nuevo concepto en aprendizaje y experimentación a distancia transformándose en *laboratorios remotos (LR)*. Los laboratorios remotos permiten la *tele presencia* accesible a través de una red basada en el protocolo IP, proporcionando al alumno la facilidad de practicar de una forma lo más similar posible a como si se estuviese en las dependencias del laboratorio, dándole la posibilidad de manejar las simulaciones y/o interactuar directamente con plantas reales.

En este sentido, sería muy conveniente para la comunidad de educación en control establecer una metodología común para describir, desarrollar y unir cada una de las partes que componen el laboratorio basado en Web. Esta metodología debería incluir una plataforma de experimentación basada en Web que soporte la interacción profesor-alumno y los procesos de colaboración entre los estudiantes de una manera similar a como ocurre en una clase tradicional. Este artículo presenta la metodología utilizada actualmente en la UNED en la creación de laboratorios virtuales y remotos de control.

El presente artículo está estructurado de la siguiente manera: La sección 2 muestra el desarrollo de la capa de experimentación en la creación de un laboratorio basado en Web. Se presentan tres sistemas didácticos convencionales de control. La sección 3 presenta la capa de e-learning utilizada para la publicación de los laboratorios. La estructura de las prácticas desarrolladas por los alumnos se describe en la sección 4. Finalmente, la sección 5 recoge algunas conclusiones y líneas futuras de trabajo.

2. Desarrollo de los laboratorios V/R

La metodología para la creación de laboratorios virtuales y remotos que a continuación se describe se basa en el análisis y detección de un conjunto de características comunes extraídas del creciente

número de publicaciones y nuevos desarrollos relacionados con el tema. En este sentido, a continuación se muestra la estructura de diseño de la capa de experimentación que incluye la construcción de la interfaz de experimentación del cliente y la aplicación servidora que lo enlaza con la planta real.

2.1. Estructura de la aplicación experimental

La Figura 1 muestra la arquitectura de comunicación seguida en el diseño y desarrollo de los laboratorios virtuales y remotos del Departamento de Informática y Automática de la UNED.

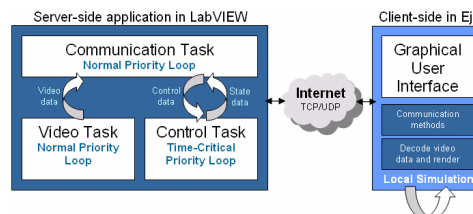


Figura 1. Control distribuido usando *LabVIEW* y *Ejs*.

Este esquema diferencia tres tareas principales en el lado del servidor: la tarea de *comunicación*, *video* y *control*. Esta última, corresponde al cierre del lazo de control de la planta en el laboratorio y requiere garantizar su ejecución en el periodo de muestreo establecido por la dinámica del proceso [1]. De esta manera, la prioridad de ejecución de esta tarea en relación a las otras es mayor (tarea de tiempo crítico). Por otro lado, la tarea de video se encarga de capturar las imágenes de la conducta del proceso durante su manipulación entregando la realimentación visual de las acciones del usuario sobre la planta. Finalmente, la tarea de comunicación se encarga de recibir los datos generados por ambas tareas (imágenes y estado de la planta) y enviarlos al cliente, mientras espera la modificación en los parámetros de control desde el cliente para aplicarlos a la tarea de control.

El lado del cliente recupera la información enviada por el servidor para su visualización y, a su vez, captura los eventos de modificación en algún parámetro de control por parte del usuario.

En las próximas dos secciones se presentan la construcción del lado servidor utilizando el software *LabVIEW* y el lado cliente usando *Ejs*.

2.2. El servidor LabVIEW

LabVIEW es, sin duda, la herramienta elegida por la mayoría de programadores que necesitan flexibilidad a la hora de trabajar con instrumentación, análisis y tratamiento de datos, servicios de tiempo real y de comunicaciones [5]. Además, proporciona capacidad de programar múltiples hilos, los cuales pueden ejecutarse a diferentes periodos de muestreo y prioridades [9]. Las Figuras 2 y 3 muestran el diagrama de bloques y panel frontal de la aplicación del lado del servidor programada en *LabVIEW* siguiendo la estructura comentada en la sección anterior.

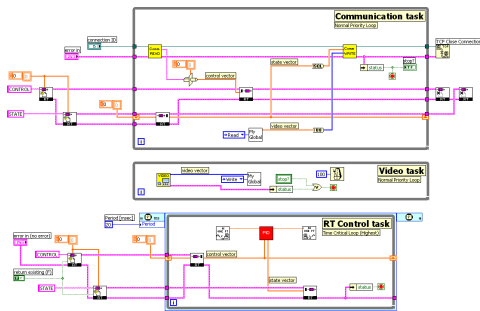


Figura 2. Diagrama de bloques en *LabVIEW*

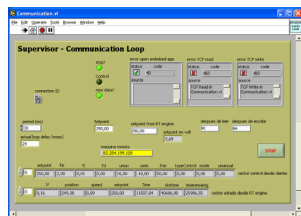


Figura 3. Panel frontal en *LabVIEW*

El lazo de control se ejecuta utilizando una estructura de ciclo temporizado *Timed Structure* cuya cadencia obedece al periodo de muestreo impuesto por la dinámica del proceso. Dentro de él, se ejecutan las acciones de medida, cálculo de la señal de control y actuación sobre las variables de interés del proceso. El lazo de comunicación utiliza un *Bucle While* normal de *LabVIEW* puesto que internamente se ejecutan acciones de envío y recepción de datos utilizando bloques que implementan el protocolo TCP. Estos bloques son, en esencia, no determinísticos, ya que su

operación está condicionada al estado de la red. La transferencia de los parámetros de control recibidos desde el cliente hacia el bucle de control y la lectura del estado de la planta desde éste se realiza mediante colas *RT FIFO* de *LabVIEW*.

Finalmente, el hilo que ejecuta la captura de imágenes de la planta envía los datos a la tarea de comunicación usando *LV2 style global*, la nueva estructura de variables globales de *LabVIEW* que permite compartir datos entre tareas sin quebrar su determinismo.

2.3. El cliente Ejs

Easy Java Simulations (*Ejs*) es la herramienta de software escogida para desarrollar las interfaces del lado cliente. *Ejs* es una herramienta software libre diseñada para crear simulaciones científicas en Java, la cuál se está utilizando satisfactoriamente para el desarrollo de laboratorios virtuales y remotos de control [6]. Las simulaciones en *Ejs* se estructuran en dos partes: el modelo y la vista (véase la Figura 4). El modelo describe el comportamiento del sistema utilizando variables, ecuaciones diferenciales ordinarias y código Java. La vista proporciona los aspectos visuales y gráficos de la simulación. Ambas partes están muy interconectadas debido a que la evolución del estado del modelo afecta a la vista y la interacción del usuario con la vista afecta al modelo.

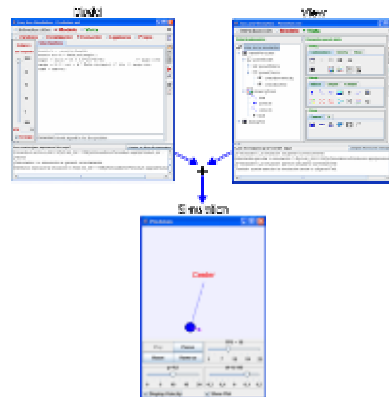


Figura 4. Estructura de una aplicación *Ejs*

Más información acerca del uso de *Ejs* en la construcción de laboratorios virtuales y remotos puede ser encontrada en [3] y [6].

2.4. Prototipos desarrollados

A continuación se comentan tres laboratorios virtuales y remotos creados siguiendo la metodología anteriormente descrita: El sistema de tres tanques, el sistema heatflow y el motor de corriente continua. Cada uno de ellos presenta la posibilidad de trabajar en *modo simulación* (también llamado *modo virtual*, utilizando el modelo matemático del proceso) o en *modo remoto* (conectándose directamente a la planta ubicada en el laboratorio a través de Internet).

El *sistema de tres tanques* ha sido seleccionado por diferentes grupos de investigación para presentar resultados de diferentes estrategias de control así como herramienta para la enseñanza de técnicas de control clásico y avanzado de sistemas multivariable. La Figura 5 muestra el proceso real y la interfaz de usuario desarrollada utilizando *Ejs* en sus dos modos de operación (virtual y remota). La vista de la aplicación en modo virtual contiene una replica del proceso cuyo comportamiento varía en función del estado del sistema. Cuando el sistema trabaja en modo remoto esta vista es reemplazada por las imágenes de video y el estado del sistema en el laboratorio.

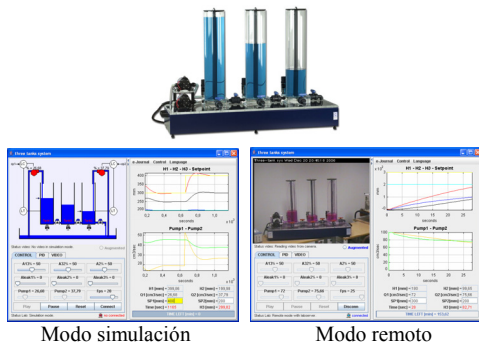


Figura 5. El sistema de tres tanques (control de nivel)

El *sistema heatflow* (control de temperatura) ha sido desarrollado por la empresa canadiense Quanser Consulting [7]. Este sistema es adecuado para estudiar conceptos relacionados con el control de flujo de temperatura con presencia de retardos y técnicas de identificación. La Figura 6 muestra el mecanismo y la aplicación desarrollada utilizando *Ejs* para el control de la planta en ambos modos de operación. De manera similar al

sistema de tres tanques, la vista de la aplicación en simulación contiene una replica del proceso cuyo comportamiento varía en función del estado del sistema. Cuando el sistema trabaja en modo remoto esta vista es reemplazada por las imágenes de video y el estado del sistema en el laboratorio.

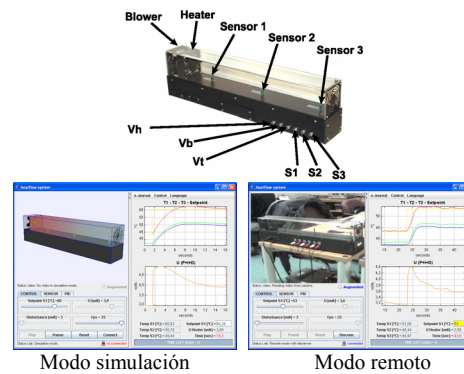


Figura 6. El Sistema heatflow (control de temperatura)

El *motor de corriente continua* permite entrar en contacto con sistemas de control de velocidad y posición rotacional de una carga asociada a un motor c.c. La Figura 7 muestra la planta didáctica de laboratorio y la vista *Ejs* asociada. La parte izquierda, contiene una imagen del motor y un panel de control para definir diferentes parámetros del sistema. La representación virtual se ha desarrollado copiando la vista frontal del motor real. Así, cualquier variación del estado del sistema durante el modo de simulación se visualizará como un movimiento rotacional del disco. En modo remoto esta representación es reemplazada por las imágenes remotas del motor.

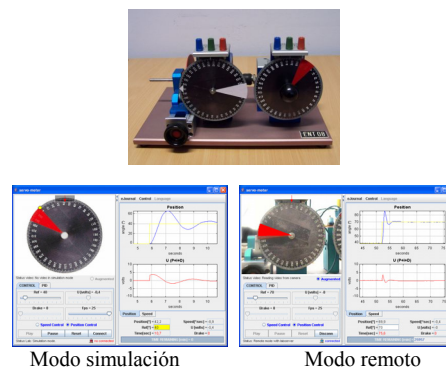


Figura 7. Motor c.c. (control de velocidad y posición)

3. Publicación de los laboratorios

La Figura 8 muestra la página inicial de acceso de los estudiantes al entorno de experimentación virtual y remota del Departamento de Informática y Automática de la UNED (<http://lab.dia.uned.es>).



Figura 8. Portal Web de acceso al laboratorio.

Este portal entrega información relevante al alumno acerca del laboratorio, plantas disponibles, información sobre laboratorios virtuales y remotos de control, enlaces de interés, etc. Todo ello con el objetivo de informar e introducir al estudiante en el concepto de la experimentación virtual y remota antes de entrar a trabajar con el sistema y con las plantas reales ubicadas en el laboratorio.

Una vez que el estudiante ha revisado la información suministrada en éstas páginas y comprobado que cumple con los requisitos de hardware y software para realizar las prácticas de forma remota, inicia el acceso al entorno de experimentación. El Departamento de Informática y Automática de la UNED utiliza *eMersion* para soportar los experimentos realizados por los estudiantes de ingeniería de control a través de Internet. *eMersion* es un entorno colaborativo desarrollado en la Escuela Politécnica Federal de Lausanne (EPFL) [8]. Desde una perspectiva pedagógica *eMersion* es un entorno muy adecuado para el aprendizaje a distancia en ingeniería debido a que incorpora todos los elementos necesarios para completar sesiones experimentales que emulan el trabajo realizado en un laboratorio tradicional. La Figura 9 presenta el entorno de experimentación virtual y remota llamado *eMersion* utilizando la práctica del motor c.c. El sistema se compone de cuatro partes: el *eJournal*, la consola de experimentación, la documentación en línea y la barra de navegación. El módulo *eJournal* proporciona un espacio compartido para facilitar la comunicación y la colaboración entre estudiantes e instructores durante el proceso de aprendizaje. En este espacio los estudiantes pueden almacenar, recuperar e intercambiar sus resultados experimentales y documentos. Los documentos y archivos almacenados en *eJournal* se denominan fragmentos.

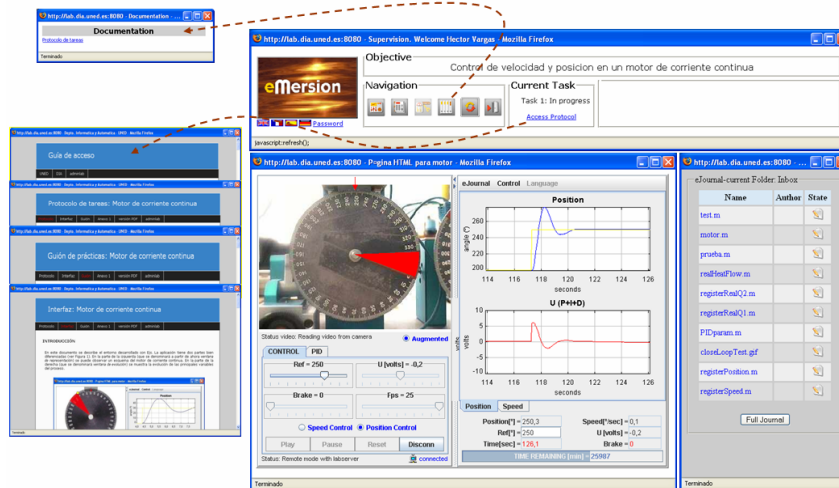


Figura 9. Entorno de experimentación virtual y remota *eMersion* (práctica del Motor c.c.).

Las aplicaciones desarrolladas con *Ejs* pueden ser fácilmente integradas al entorno *eMersion* mediante métodos internos predefinidos que permiten enviar fragmentos de datos al *eJournal*. De esta manera, los estudiantes utilizan los fragmentos obtenidos durante las sesiones de experimentación para generar sus informes de trabajo para su evaluación final.

4. Estructura de las prácticas

Cada práctica tiene asociada un conjunto de actividades denominadas *protocolo de tareas* y su finalidad es presentar una secuencia lógica de las acciones que un estudiante deberá realizar una vez inmerso en el sistema. Estas actividades están divididas en dos etapas: *Trabajo en modo simulación* y *trabajo en modo remoto*. La primera, consiste en la realización de las tareas propuestas usando la interfaz de la aplicación en modo virtual con el fin de ir obteniendo conocimiento acerca del proceso real. Una vez superada esta parte de la práctica, los estudiantes obtendrán acceso remoto a la planta localizada en el laboratorio. Aquí, el alumno debe contrastar los resultados obtenidos de la experiencia realizada en modo simulación con los resultados obtenidos realizando el trabajo conectado a la planta real. Toda la documentación necesaria para guiar al alumno en el manejo del sistema y las tareas que debe realizar, puede ser obtenida desde el propio entorno de experimentación tal y como muestra la Figura 9.

5. Conclusiones

La experimentación virtual y remota para la educación en ingeniería es una tecnología madura. Sin embargo, el proceso de transformación de un experimento de control clásico localizado en un laboratorio convencional a un laboratorio interactivo basado en Web no es una tarea sencilla. Este artículo proporciona una aproximación para el desarrollo de laboratorios remotos utilizando tres herramientas: *Ejs*, *LabVIEW* y *eMersion*. La aproximación propuesta facilita el desarrollo de entornos de experimentación en línea. También proporciona un esquema eficaz para cambiar entre la simulación y la operación de sistemas reales, lo cuál es una característica clave para el auto aprendizaje en la educación en ingeniería. La

aproximación propuesta ha sido implementada en la UNED con el fin de proporcionar experimentos de laboratorios virtuales y remotos como los descritos en este artículo. Actualmente, un grupo compuesto por 30 alumnos de la asignatura de Automática I del Departamento de Informática y Automática de la UNED se encuentran realizando las prácticas obligatorias del curso desde localizaciones remotas. La realimentación obtenida de ésta experiencia piloto será valiosa a la hora de realizar cambios y/o mejoras en la metodología propuesta en el presente trabajo.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer la realización de este trabajo a la CICYT en el marco del proyecto DPI2004-01804 y al IV PRICIT de la CAM bajo el marco del proyecto S-0505/DPI/0391.

Referencias

- [1] Åström, K., and Hägglund, T. Advanced PID Control, *Research Triangle Park, NC: ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society*. 2006.
- [2] Dormido, S. Control learning: Present and future. *Annual Control Reviews*, 28, pp. 115-136, 2004.
- [3] Esquembre, F. Easy Java Simulations: A software tool to create scientific simulations in Java. *Comp. Phys. Comm.*, vol. 156, pp. 199-204. 2004.
- [4] Ko, C.C., Chen, B.M., and Chen, J. *Creating Web-based Laboratories*. Springer. 2005.
- [5] Salzmann, Ch., Gillet, D., and Huguenin, P. Introduction to Real Time Control using LabVIEW with an Application to Distance Learning. *International Journal of Engineering Education*, vol. 16, nº 3, pp. 255-272. 2000.
- [6] Sánchez, J., Dormido, S., Pastor, R., and Esquembre, F. Interactive learning of control concepts using Easy Java Simulations. Plenary lecture, IFAC WorkShop Internet Based Control Education IBCE'04, Grenoble. 2004.
- [7] Travis, J. *Internet Applications in LabVIEW*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 2000.
- [8] eMersion - EPFL. <http://emersion.epfl.ch>
- [9] NI LabVIEW. <http://www.ni.com/labview>
- [10] Quanser Consulting. <http://www.quanser.com>