

Desarrollo de un entorno de experimentación basado en web para estudios de ingeniería: un caso práctico

J. L. Guzmán,
M. Berenguel, F. Rodríguez

Dept. de Lenguajes y Computación
Universidad de Almería
Ctra. Sacramento s/n, 04120, Almería
joguzman@ual.es
beren@ual.es, frrodrig@ual.es

H. Vargas
J. Sánchez, S. Dormido

Dept. de Informática y Automática
Universidad Nacional de Educación a Distancia
C/. Juan del Rosa, 16, 28040, Madrid
hvargas@bec.uned.es
jsanchez@dia.uned.es, sdormido@dia.uned.es

30 de mayo de 2007

Resumen

Este trabajo resume los principales avances que las Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (NTIC) han provocado en el ámbito de la docencia en Ingeniería. Se realiza una breve descripción de las ventajas aportadas por términos ya bien conocidos tales como, interactividad, laboratorios virtuales y remotos, y entornos de experimentación basada en web. Sin embargo, el principal objetivo de este trabajo se centra en mostrar los pasos necesarios para, dado un ejemplo práctico basado en una planta real, cómo es posible realizar un entorno de experimentación completo incluyendo laboratorios virtuales y remotos.

1. Introducción

Durante las últimas décadas se han realizado multitud de estudios y propuestas sobre las ventajas e inconvenientes que las NTIC podrían y podrán tener en la docencia en general. Tales estudios, que en su día parecían algo muy subjetivo, se han hecho realidad a día de hoy. Cada día son más los profesores que se apoyan en técnicas digitales (presentaciones en Powerpoint, animaciones Flash, etc.), incorporan documentación en Internet, generan foros y cuestionarios donde los alumnos hacen uso de aplicaciones de autoevaluación, etc. [1].

Estos grandes avances en las NTIC se han visto reflejados en la sociedad en general. Se pueden observar efectos a nivel empresarial (control remoto, mantenimiento remoto, horario flexible,...), socio-cultural (telefonía móvil, banca electrónica, televisión digital,...) y como se indicó previamente en el educacional (educación a distancia, información interactiva, laboratorios virtuales y remotos, etc.), con la creación de nuevos elementos que abren un amplio abanico de posibilidades [11]. Desde un punto de vista docente, el impacto de las NTIC ha dado lugar a la aparición de técnicas y métodos de enseñanza que están haciendo posible facilitar una mayor divulgación de la información hacia los alumnos y realizando su motivación con el uso de nuevas herramientas de aprendizaje. No cabe duda las grandiosas ventajas que estas tecnologías ha aportado al mundo docente en general, pero si se dirige la mirada a ciertas áreas, las ventajas son aún mayores. Estas son aquellas disciplinas relacionadas con la Ingeniería donde se posee un fuerte contenido experimental y el alumno necesita poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos a lo largo del curso. Esta componente práctica se ha llevado a cabo tradicionalmente en laboratorios de prácticas con las limitaciones espacio-temporales que ello conlleva. Sin embargo, en la actualidad con las NTIC las posibilidades se han amplia-

do notablemente con la aparición de los Laboratorios Virtuales y Remotos, [3], [11]. Por otro lado, es bien conocida la fuerte componente matemática que acompaña a los estudios de Ingeniería. Este tipo de matemáticas (generalmente aplicada) viene acompañado de una gran abstracción gráfica, siendo habitual por el profesorado en Ingeniería hacer uso de elementos gráficos como apoyo docente. En los últimos años ha surgido un nuevo tipo de herramientas software denominadas Herramientas Interactivas que facilitan en gran medida esta tarea [2], [3], [7].

Generalmente, el desarrollo de tales recursos interactivos es bastante complejo requiriendo gran tiempo de desarrollo. Por tanto, la reutilización de tales recursos entre la comunidad universitaria está generalmente limitada por la sobrecarga de tiempo necesaria para adaptar cada recurso a las diferentes necesidades y contextos necesarios. Por otro lado, la interoperatividad entre recursos incluidos en entornos de enseñanza no puede ser tampoco fácilmente implementada y asegurada. Este trabajo describe una estrategia sencilla y simple para poder mejorar tales inconvenientes y poder desarrollar e integrar simulaciones virtuales y sistemas de teleoperación desarrollados en *applets* Java en un entorno basado en web que está dedicado a experimentación colaborativa basada en web. Las aplicaciones desarrolladas en Java son realizadas haciendo uso *Easy Java Simulations* (EJS) [5], que es una herramienta de libre distribución diseñada para ayudar a educadores y científicos en el desarrollo de aplicaciones Java para realizar simulaciones discretas en computador con fines de experimentación virtual. Estos entornos virtuales también puede ser conectados de manera sencilla a una planta real de laboratorio permitiendo así realizar experimentaciones remotas. Finalmente se mostrará cómo estos entornos virtuales y remotos se pueden combinar con recursos típicos de enseñanza con el fin de complementar las ventajas de cada uno de ellos. Esta combinación será realizada haciendo uso del entorno *eMersion* [4]. El entorno *eMersion* es un entorno de enseñanza dedicado a experimentación basado en web.

Ha sido desarrollado y sigue siendo mejorado en el EPFL (Suiza) desde 2000 con el fin de dar soporte a simulaciones interactivas y actividades de laboratorio hechas a medida en educación para ingeniería. La solución propuesta en este trabajo tiene como fin ayudar a los docentes a hacer frente a la oportunidad de combinar servicios de alto nivel basados en web o componentes aportados por otras instituciones académicas, con el fin de ser integrados en un marco de enseñanza comprensible y global [8].

Por tanto, este trabajo describe cómo un supuesto práctico típico de una sesión de laboratorio puede ser representado en un applet Java aportando habilidades de simulación interactivas así como incluyendo experimentación remota. Tras este paso, las herramientas desarrolladas serán incluidas en un entorno de experimentación colaborativo basado en web. De esta manera, la primera sección esta dedicada a describir un caso de estudio como ejemplo a ser utilizado en este trabajo. El desarrollo de los laboratorios virtuales y remotos es presentado en la sección 3. La sección 4 mostrará cómo el entorno *eMersion* es utilizado con el fin de incluir las herramientas previamente desarrolladas con EJS. Finalmente, se mostrarán algunas conclusiones del trabajo.

2. Caso de estudio: control de nivel de un tanque

El ejemplo seleccionado ha sido enfocado al campo del control automático y viene dado por un sistema de dos tanques acoplados. La descripción y utilización de este proceso es presentada como un caso de estudio para la enseñanza de los principales conceptos de un curso básico de ingeniería de control. De esta manera, la sesión de laboratorio esta orientada para la revisión de las bases de modelado en tiempo continuo, simulación de sistemas dinámicos y diseño de sistemas de control.

La instalación sobre la cual los estudiantes realizarán las sesiones de laboratorio es una parte del bien conocido proceso de los cuatro tanques [9], que permite la implementación de esquemas monovariantes y multivariantes. El principal objetivo de la sesión de laborato-

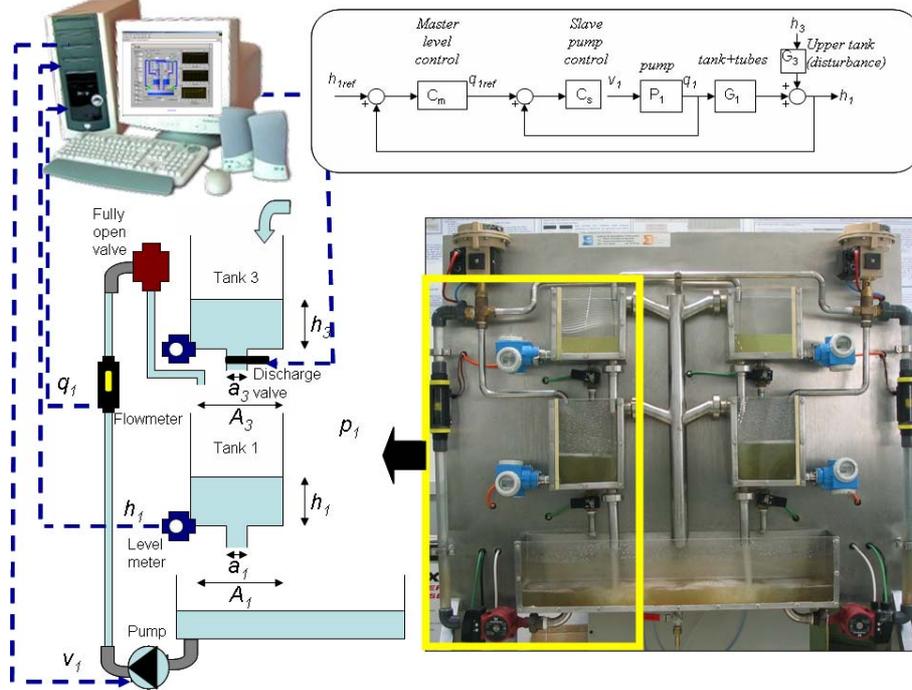


Figura 1: Configuración utilizada para la sesión de laboratorio

rio es controlar el nivel de uno de los tanques inferiores haciendo frente a las no linealidades de la planta, dinámicas no modeladas y perturbaciones provocadas por el tanque superior (ver el esquema de la Figura 1). La maqueta esta dotada de instrumentación industrial, lo cual también es útil para los estudiantes ya que les permite estar en contacto con dispositivos hardware que posteriormente podrán encontrar en el ámbito de la industria. Una descripción más detallada de la planta se puede encontrar en [6].

Para trabajar solamente con los dos tanques de la izquierda de la Figura 1, siendo el tanque inferior el tanque 1 y el superior el tanque 3, las válvulas de tres vías de la maqueta de cuatro tanques deben tomar los valores $\gamma_1 = 1$; $\gamma_2 = 0$. De esta manera el nivel del tanque 1 puede ser controlado con la bomba q_1 (la bomba de la izquierda), mientras que el agua entrante

desde el tanque 3 actuará como perturbación al sistema. El modelo de este supuesto práctico vendría dado por:

$$\begin{aligned} \frac{dh_1}{dt} &= -\frac{a_1}{A_1} \sqrt{2gh_1} + \frac{a_3}{A_1} \sqrt{2gh_3} + \frac{1}{A_1} q_1 \\ \frac{dh_3}{dt} &= -\frac{a_3}{A_3} \sqrt{2gh_3} + \frac{1}{A_3} q_2 \end{aligned} \quad (1)$$

donde A_i es el área de sección del tanque i , a_i representa el área de sección del orificio de salida y h_i el nivel de agua del tanque i , $\gamma_j \in [0, 1]$; $j = 1, 2$ son las posiciones de las válvulas de tres vías (como se comentó anteriormente $\gamma_j = 1$ quiere decir que todo el agua va hacia los tanques inferiores). Finalmente, g denota la aceleración de la gravedad. Los valores físicos para el proceso real tratado en este trabajo son $A_i = 389,16 \text{ cm}^3$, $a_1 = 2,1382 \text{ cm}^2$, $a_3 = 0,9503 \text{ cm}^2$ y $g = 981 \text{ cm/s}^2$.

Para unos puntos de operación definidos ($dh_i/dt = 0$) y caracterizados por h_i^0 y q_i^0 , es posible obtener que

$$\begin{aligned}\frac{a_1}{A_1}\sqrt{2gh_1^0} &= \frac{1}{A_1}q_1^0 + \frac{1}{A_1}q_2^0 \\ a_3\sqrt{2gh_3^0} &= q_2^0\end{aligned}$$

De esta manera, el modelo linealizado vendría dado por la siguiente expresión

$$H_1(s) = \underbrace{\frac{c_1}{T_1s + 1}}_{G_1(s)} Q_1(s) + \underbrace{\frac{c_1}{(T_3s + 1)(T_1s + 1)}}_{G_3(s)} H_3(s) \quad (2)$$

La ecuación (2) permite una gran flexibilidad a la hora de realizar el diseño. Si las perturbaciones desde el tanque 3 no son contempladas, la función de transferencia del sistema vendría dada por $G_1(s)$, que es una función de transferencia de primer orden que permite, por ejemplo, realizar de una manera relativamente sencilla el diseño de un controlador PI.

3. Desarrollo del laboratorio virtual y remoto haciendo uso de EJS

EJS es una herramienta de libre distribución que ayuda notablemente al desarrollo de laboratorios virtuales y remotos en lenguaje Java [5]. Esta herramienta está orientada tanto para científicos e ingenieros, estudiantes y profesores, donde su factor clave es que no es necesario poseer un alto nivel de conocimientos de programación sino ser conscientes de la parte técnica y científica del sistema a implementar. En EJS los laboratorios virtuales se crean especificando un modelo del proceso a simular y posteriormente creando una vista gráfica del mismo que permite visualizar los estados del sistema así como interactuar con los parámetros del mismo de manera intuitiva e interactiva. De la misma manera es posible trasladar un laboratorio virtual a su versión remota únicamente incorporando pequeñas fracciones de código Java que permitan realizar el intercambio de información con la planta

real así como disponer de realimentación visual mediante, por ejemplo, cámaras IP [8]. EJS usa una original simplificación del exitoso paradigma del software Modelo-Vista-Control (MVC), estructurando las simulaciones en dos partes: modelo y vista. Este paradigma MVC establece que una simulación está compuesta de tres partes diferenciadas que se deben seguir para desarrollar una aplicación:

1. El Modelo, que describe el proceso que se encuentra bajo estudio en términos de variables de proceso (manejadas por los posibles estados del sistema) y relaciones entre variables (correspondientes a leyes de interacción del proceso).
2. El Control, que define ciertas acciones que el usuario puede llevar a cabo durante la simulación.
3. La Vista, que muestra una representación gráfica (real o esquemática) de los diferentes estados del proceso.

Estos mismos pasos son los que se han seguido a la hora de desarrollar el laboratorio virtual y remoto del proceso de dos tanques descrito en la sección anterior. Una de las cosas más importantes que hay que tener en mente cuando se desarrollan laboratorios virtuales es la correcta configuración de las ventanas y controles de operación con el fin de facilitar a los estudiantes la comprensión del proceso a controlar. Para el proceso de este trabajo la vista del sistema ha sido dividida en varios elementos tal y como se muestra en la Figura 2.

La vista ha sido estructurada en una ventana principal dividida en dos partes fundamentales. La parte de la izquierda está compuesta por dos secciones: el diagrama del sistema de dos tanques en la parte superior y el panel de control en la parte inferior. El diagrama muestra de manera esquemática el proceso a controlar y permite modificar interactivamente las consignas del sistema desplazando la flecha verticalmente. Por otro lado, el panel de control contiene todos los parámetros que permiten lanzar, pausar o parar la simulación, así como modificar los parámetros del controlador o los valores de las bombas en caso de

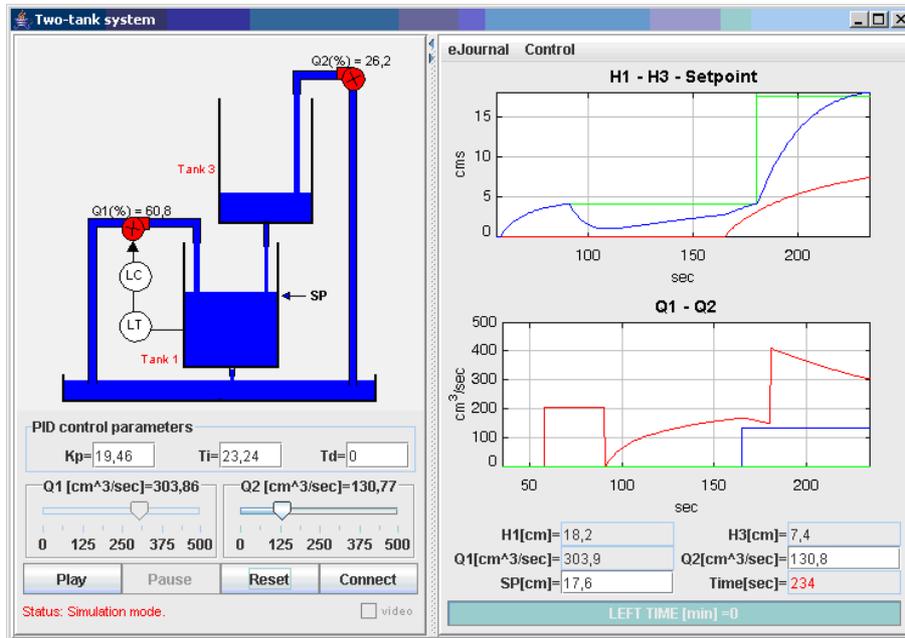


Figura 2: Interfaz gráfica del laboratorio virtual para trabajo con el sistema de dos tanques.

control manual. Por otro lado, la parte derecha de la interfaz está dedicada fundamentalmente a mostrar información. Se muestran dos gráficas, una de ellas donde es posible observar las alturas de los tanques junto con el valor de consigna, y la otra representa los valores de caudal de las bombas de control. En la parte inferior de esta gráficas se muestran los valores numéricos de las alturas de los tanques, los caudales de las bombas, el valor de consigna y el tiempo de simulación. En la parte superior se encuentran distintas opciones de menú para seleccionar modo automático o manual, así como para realizar conexiones con el entorno de experimentación.

Una vez desarrollado el laboratorio virtual, se procede a adaptar la aplicación desarrollada a su versión remota. La gran mayoría de alternativas para diseñar laboratorios remotos engloban dos lazos de información: el lazo de control local síncrono y el lazo de sintonización asíncrono (ver Figura 3). El primero de ellos se encuentra conectado directamente a la planta

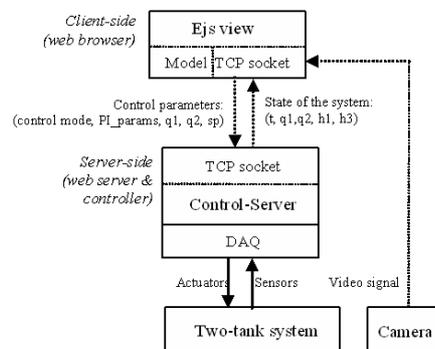
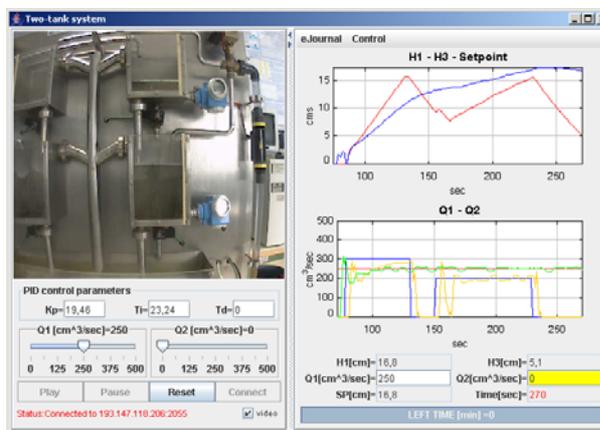


Figura 3: Estructura cliente/servidor.

real, mientras que el segundo se corresponde con la interfaz gráfica desarrollada previamente en EJS, la cual cuando se encuentre en estado remoto se conectará al lazo de control en síncrono a través de un equipo servidor. El esquema de la implementación del sistema



(a)



(b)



(c)

Figura 4: Experimentation console integrated in eMersion.

propuesto en este trabajo se puede observar en la Figura 3. La aplicación encargada del control en tiempo real puede ser desarrollada en cualquier lenguaje de programación, donde para este trabajo se ha utilizado el entorno de programación gráfica LabVIEW [10]. Para aportar un mayor realismo al sistema remoto, la aplicación de EJS ha sido también dotada de una visión remota del proceso tal y como se puede observar en la Figura 4(b). Los pasos necesarios para llevar a cabo el laboratorio virtual y su adaptación posterior a la versión remota puede ser encontrados en detalle en [8].

4. Desarrollo de entorno de experimentación utilizando eMersion

Generalmente la arquitectura de todo sistema de experimentación basado en web esta basada en dos capas, una capa de experimentación

y otra capa de enseñanza basada en web (e-learning). De esta manera para el caso que nos atañe en este trabajo, la parte de experimentación vendrá dada por la aplicación desarrollada anteriormente con EJS, y la capa de e-learning será diseñada haciendo uso del entorno eMersion. eMersion se puede definir como una iniciativa multidisciplinar para desarrollar escenarios pedagógicos flexibles orientados a entornos de experimentación para el campo de la ingeniería [4]. Tras leves modificaciones sobre la aplicación de EJS (consultar [8]) es posible sincronizar el laboratorio virtual y remoto creando un entorno de experimentación completo tal y como se puede observar en la Figura 4. En este entorno los estudiantes pueden encontrar documentos guía para realizar las prácticas indicadas, tutoriales, ejercicios propuestos, así como guardar las gráficas y los datos de sus simulaciones o pruebas reales.

5. Conclusión

En este trabajo se han presentado las etapas necesarias para, dado un caso práctico dentro del campo del control automático, llevar a cabo el desarrollo de un laboratorio virtual y remoto incorporándolo en un entorno de experimentación basado en web. Para ello se ha tomado como guía un sistema de dos tanques acoplados y se ha echo uso de EJS para realizar la implementación virtual y remota del laboratorio. Finalmente, se ha utilizado el entorno eMersion con el fin de incorporar la capa e-learning a la herramienta desarrollada y poder así completar las características elementales de un entorno de experimentación basado en web.

Referencias

- [1] Adell, J., *Redes y educación*. Nuevas tecnologías, comunicación audiovisual y educación. Barcelona: Cedecs, 2002.
- [2] Dormido S., *The role of interactivity in control learning*, 6th IFAC Symposium on Advances in Control Education, pp. 11-22., Oulu, Finlandia, 2003.
- [3] Dormido, S., *Control Learning: Present and Future*, Annual Reviews in Control, Willey, 28(1), pp. 115-136.
- [4] eMersion. <http://emersion.epfl.ch>.
- [5] Esquembre, F., Sánchez, J., *Easy Java Simulations 3.3. How to use Ejs with Matlab and Simulink*. <http://fem.um.es/Ejs/>, 2004.
- [6] García, A.A., Berenguel, M., Guzmán, J.L., Dormido, S., Domíguez, M. *Remote laboratory for teaching multivariable control techniques*. Proceedings of the 7th IFAC Symposium on Advances in Control Education, Madrid, Spain, 2006.
- [7] Guzmán, J.L. *Interactive Control System Design*. Tesis Doctoral, Universidad de Almería, 2006.
- [8] Guzmán, J.L., Vargas, H., Sánchez, J., Berenguel, M., Dormido, S., Rodríguez, F., *Education Research in Engineering Studies: Interactivity, Virtual and Remote Labs*, capítulo en el libro *Distance Education Issues and Challenges*, ISBN: 1-60021-829-6. Para aparecer en 2007.
- [9] Johansson, K.H., *The quadruple-tank process - a multivariable laboratory process with an adjustable zero*. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 8(3), pp. 456-465, 2000.
- [10] Medina, R., *LabVIEW User Manual*. National Instruments Corporation, 2002.
- [11] Sánchez, J. *Un nuevo enfoque metodológico para la enseñanza a distancia de asignaturas experimentales: análisis, diseño y desarrollo de un laboratorio virtual y remoto para el estudio de la automática a través de internet*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), 2001.