

# RECURSOS DE APRENDIZAJE BASADOS EN EL WEB PARA LA FORMACIÓN OCUPACIONAL EN SISTEMAS DE REGULACIÓN Y CONTROL

José Sánchez Moreno

Dpto. de Informática y Automática, UNED, c/ Juan del Rosal 16, 28040 Madrid, [jsanchez@dia.uned.es](mailto:jsanchez@dia.uned.es)

Héctor Vargas Oyarzún

Dpto. de Informática y Automática, UNED, c/ Juan del Rosal 16, 28040 Madrid, [hvargas@bec.uned.es](mailto:hvargas@bec.uned.es)

Sebastián Dormido Bencomo

Dpto. de Informática y Automática, UNED, c/ Juan del Rosal 16, 28040 Madrid, [sdormido@dia.uned.es](mailto:sdormido@dia.uned.es)

## Resumen

*En este trabajo se presenta un resumen del estado de desarrollo de un conjunto de laboratorios virtuales y remotos interactivos creados en el seno del proyecto AutoTECH. El proyecto, financiado por la Unión Europea, está orientado, específicamente, a dos grupos concretos de la amplia comunidad de control: los técnicos en control de procesos y los estudiantes del ciclo formativo superior de sistemas de regulación y control automáticos. El proceso seleccionado para la construcción del laboratorio remoto es un sistema de calentamiento de aire para realizar control PID de su temperatura. En lo referente a los simuladores, los procesos seleccionados han sido tres: sistemas autorregulados de primer y segundo orden e integrador puro. La elección de estos procesos se debe a que se encuentran ampliamente difundidos en el ámbito de la industria y, además, son estudiados en el ciclo formativo superior de regulación y control.*

**Palabras Clave:** educación en automática, enseñanza a distancia, laboratorios virtuales, laboratorios remotos, interactividad.

## 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los técnicos en control de procesos desempeñan un papel fundamental en la operativa diaria y el mantenimiento de los equipos de control de los procesos industriales. Por lo general, los técnicos en control de procesos adquirirían su formación básica en automatismos y sistemas de control al cursar alguno de los ciclos formativos que incluían materias relacionadas con la automática. En la actualidad, la formación de un técnico en control recae en un ciclo formativo superior específico

denominado Sistemas de Regulación y Control Automáticos.

A pesar de esto, existe una carencia en todo lo relativo al entrenamiento especializado y actualizado que recibe un técnico de control de procesos como complemento a su educación básica. Esto es debido a los aspectos organizativos de muchas empresas:

- Los técnicos en control de procesos disponen de menos oportunidades para asistir a cursos de entrenamiento en los que actualizar sus conocimientos si se compara con los graduados universitarios.
- Incluso en las grandes compañías, únicamente suele existir un pequeño grupo de personal con formación en control de procesos. Esto implica que los técnicos en control tienen pocas oportunidades para intercambiar experiencias y conocimientos con personal de su mismo ámbito dentro de la empresa.

Además de lo anterior, existe una presión permanente por parte de la industria para que las instituciones educativas formen técnicos en control de procesos con los conocimientos básicos y la experiencia suficiente y así poder minimizar sus gastos de formación. Esto justifica todavía más la necesidad de proporcionar recursos de aprendizaje que sean relevantes a la industria y que puedan ser fácilmente actualizados y modificados para su adaptación a las exigencias que impone el dinamismo del mundo industrial.

Con el ánimo de proporcionar y sugerir soluciones a estos problemas, cinco universidades europeas están trabajando en un proyecto denominado "AutoTECH: Automation Technicians Vocational Training Repository" que forma parte del programa europeo Leonardo da Vinci [1]. El objetivo de este proyecto

es desarrollar y diseminar un conjunto de paquetes de entrenamiento nuevos e innovadores destinados, específicamente, a cubrir las necesidades de los técnicos de control de procesos y los estudiantes de ciclos formativos superiores relacionados con el control de procesos industriales. Estos paquetes de entrenamiento permitirán mejorar la calidad de la formación en estos dos ámbitos e incrementar la motivación de los estudiantes. Cada uno de estos paquetes consta de recursos de aprendizaje tradicionales (teoría, ejercicios) y basados en el web (simuladores interactivos, laboratorios remotos, juegos, etc.) Mediante el uso de estos recursos se pretende que los técnicos de control de procesos y los estudiantes adquieran conocimiento y experiencia práctica en el diseño, sintonía y reparación de diferentes tipos de sistemas de control industrial.

El objetivo principal de este trabajo es dar a conocer los recursos basados en el web que la UNED está desarrollando en el seno de este proyecto europeo (apartado 2). Por ello, en las siguientes páginas se describirán brevemente los laboratorios remotos (apartado 3) y algunos de los simuladores que han sido desarrollados (apartado 4).

## 2 LA APORTACIÓN DE LA UNED EN EL PROYECTO AUTOTECH

Dado el carácter paneuropeo del proyecto AutoTECH, ha sido necesario establecer un conjunto de temas comunes en lo relativo a la formación de un estudiante de formación ocupacional y de un técnico de control de procesos en el ámbito europeo. Acorde con la especialidad de cada uno de los grupos integrantes, se han establecido cinco grandes temas que han dado lugar a la creación de cinco paquetes de entrenamiento:

- Paquete 1: Introducción al control de procesos.
- Paquete 2: Aspectos básicos del control PID.
- Paquete 3: Control avanzado (cascada, ratio, control distribuido, ganancia programada, etc.)
- Paquete 4: Control con PLCs. Grafset.
- Paquete 5: Tecnología fuzzy y sus aplicaciones al control de velocidad y posición.

siendo el Departamento de Informática y Automática de la UNED el grupo responsable de desarrollar los contenidos tanto teóricos como experimentales del tema relativo a los aspectos básicos del control PID.

Ya que se los materiales están destinados a un nivel de formación preuniversitario, ha habido que tener especial cuidado en el diseño de los contenidos en lo referente a las abstracciones matemáticas utilizadas así como a la profundidad de los contenidos. Por esta

razón, se ha estructurado la parte teórica del control PID en tres temas:

- Introducción al control PID. Se describe en qué consiste esta forma de control, las diferentes acciones de control y su aplicación en el control de sistemas de primer y segundo orden.
- Aspectos operativos. Se aborda la explicación de algunas técnicas de sintonía en el dominio temporal. También se explica cómo programar un controlador PID y cómo resolver la saturación de la acción integral, los cambios de modo, etc.
- Controladores PID analógicos. Se centra en la explicación del funcionamiento de controladores PID de tipo neumático. También se describe la construcción de controladores PID y todo/nada con zona neutra mediante amplificadores operacionales.

Cada uno de estos temas ha dado lugar a la escritura de tres documentos auto-explicativos con teoría, ejemplos, ejercicios resueltos y problemas abiertos. Como complemento a esta documentación se han desarrollado varios simuladores interactivos y dos laboratorios remotos que se describirán en los apartados siguientes.

En lo referente a las herramientas software utilizadas para la programación de los laboratorios virtuales y remotos cabe destacar el uso de *Ejs* (<http://fem.um.es>) para la construcción de las interfaces gráficas interactivas (tanto de los simuladores como de los laboratorios remotos) y de LabView (<http://ni.com>) para la programación del sistema de control instalado en el servidor. No explicaremos los fundamentos de estas herramientas ya que no es el objetivo de este trabajo. Referimos al lector interesado a [3], [6] y [7].

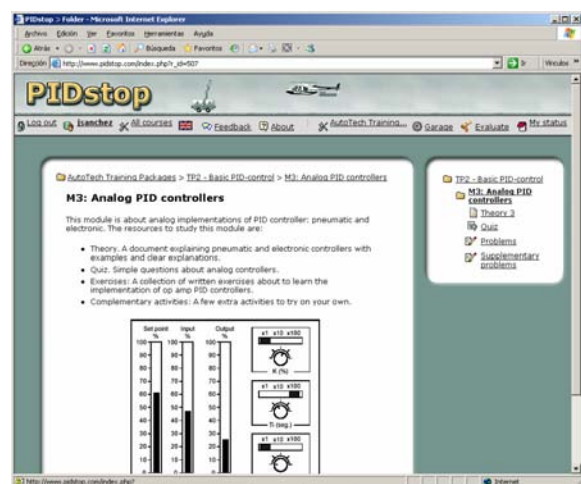


Figura 1: Portal PIDstop.

En lo que respecta a la ubicación de los materiales y acceso a los recursos experimentales, todos se

encuentran alojados en un portal de aprendizaje denominado PIDstop (<http://www.pidstop.com>) (Figura 1). PIDstop puede considerarse como un sistema de gestión de contenidos (LMS – *Learning Management System*) de propósito especial ya que está enfocado a las necesidades y funcionalidades especiales que demanda la enseñanza de la automática y el control.

### 3 EL LABORATORIO VIRTUAL Y REMOTO PARA CONTROL DE TEMPERATURA

Los laboratorios remotos que han sido desarrollados para la enseñanza de los aspectos básicos del control PID son dos: control de temperatura utilizando un sistema de calentamiento de aire y control de nivel de llenado en un sistema de tanques interconectados. Ambos laboratorios han sido diseñados para su control remoto y para trabajar en modo simulación utilizando modelos fieles de ambos procesos. El motivo de simultaneizar virtual y remoto en la misma interfaz es poder establecer un protocolo de experimentación consistente en la realización de un conjunto inicial de tareas en modo simulación, denominadas *pre-labs*, que una vez superadas permitan al estudiante trabajar con la maqueta real y realizar experiencias apoyadas en lo aprendido previamente en los *pre-labs*.

En este apartado se describe únicamente el laboratorio remoto para control de temperatura, refiriendo al lector interesado en el laboratorio para control de nivel al trabajo referenciado en [5].

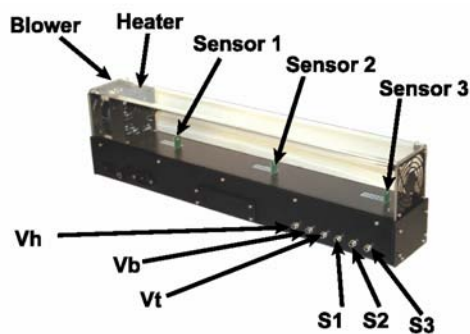


Figura 2: Sistema de calentamiento de aire de Quanser.

La maqueta utilizada para construir el laboratorio virtual y remoto es el sistema Heat-Flow fabricado por la empresa Quanser Consulting (Figura 2). La maqueta consiste en un conducto de sección rectangular dotado de una resistencia calefactora y un ventilador localizados en un extremo del aparato, y tres sensores de temperatura  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$  dispuestos a lo largo del conducto. La potencia suministrada a la resistencia y la velocidad del ventilador se regulan mediante dos señales analógicas  $V_h$  y  $V_b$ . A su vez, el

ventilador dispone de un tacómetro que genera una señal  $V_v$ , lo que permite regular su velocidad con el objeto de controlar la temperatura interior.

El modelo de la planta que se ha identificado a partir del sistema real para poder construir el laboratorio virtual responde a la siguiente función de transferencia:

$$G(s) = \frac{C_n(s)}{V_h(s)} = \frac{K_p(1+sT_3)}{(1+sT_1)(1+sT_2)} e^{-Ls} \quad (1)$$

$C_n(s)$ : temperatura del aire en el sensor  $n$ .

$V_h(s)$ : voltaje aplicado a la resistencia calefactora.

donde los parámetros  $K_p$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  y  $L$  dependen de cuál de los tres sensores se utilice para cerrar el lazo de control de temperatura.

#### 3.1 LADO CLIENTE

La Figura 3 muestra la ventana principal del laboratorio cuando se utiliza en modo virtual. La parte superior de la ventana presenta una representación 3D del sistema de calentamiento de Quanser cuyo color varía en función de la temperatura del aire en su interior.

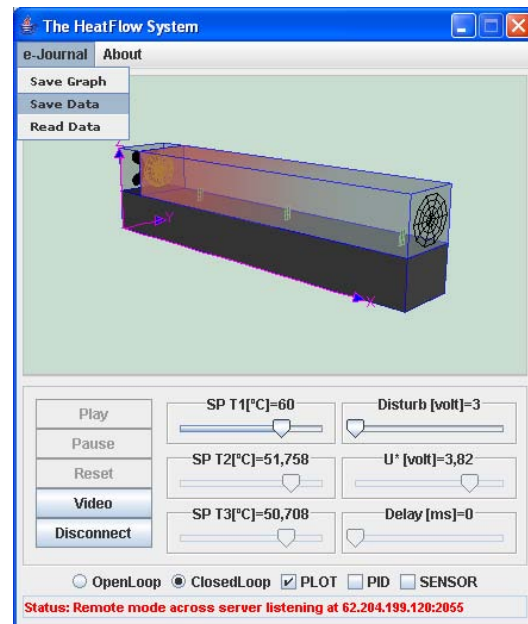


Figura 3: Interfaz de usuario creada con elementos de la librería gráfica de Ejs.

La parte inferior de la ventana principal es un panel de control que permite al usuario seleccionar el modo de funcionamiento (virtual o remoto), cambiar el modo de control (manual o automático), o modificar las condiciones de operación mediante las deslizaderas y botones (por ejemplo, la referencia o

introducir alguna perturbación modificando la potencia de la resistencia calefactora).

Los botones situados en el lateral izquierdo del panel de control (*Play, Pause, Reset, y Connect/Disconnect*) permiten al usuario controlar la ejecución del experimento. Con el botón *Connect/Disconnect* el usuario conmuta al modo real o virtual. Las seis deslizaderas permiten cambiar la referencia de cada sensor de temperatura (*SP T1, SP T2 y SP T3*), variar el voltaje del ventilador ( $U^*$ ) y el de la resistencia (*Disturb*), o ralentizar la velocidad de la simulación (*Delay*). Los botones *OpenLoop y CloseLoop* permiten trabajar en modo manual o automático (control PID) con independencia de si se opera en modo virtual o real. Si el laboratorio está en automático, la deslizadera se deshabilita ya que el voltaje del ventilador lo determina el controlador PID. En caso de operar en manual, la deslizadera permanece activa.

Además de los controles anteriores existen tres botones para la apertura de ventanas auxiliares. Mediante *PLOT* se muestra una ventana en la que representan las variables más destacadas (temperaturas en los sensores, acción de control); el botón *SENSOR* permite que el usuario seleccione el sensor de temperatura con el que cerrar el lazo de control; el botón *PID* provoca la apertura de una ventana con los parámetros del controlador PID asociado al sensor seleccionado. Finalmente, está disponible un menú con órdenes que permiten guardar las variables del sistema o visualizar los mensajes de control del estado de la conexión entre la interfaz y el servidor conectado al sistema real.

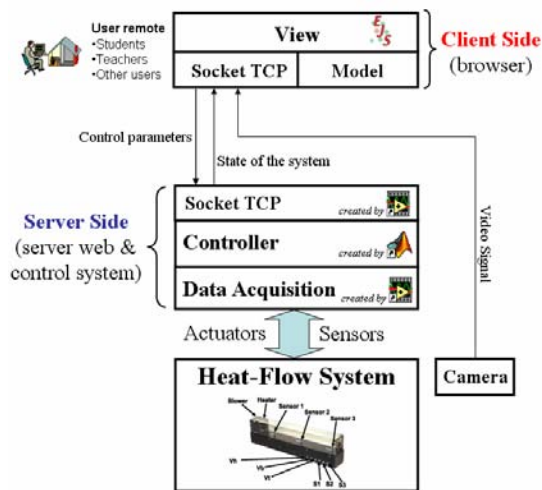


Figura 4: Arquitectura del servidor.

### 3.2 LADO SERVIDOR

El diseño del servidor se basa en una arquitectura cliente/servidor monolítica, es decir, el mismo computador actúa como servidor web y como

controlador (Figura 4). La interfaz del lado cliente es la vista interactiva *Ejs* (explicada en el sub-apartado anterior) que se ocupa de establecer la conexión TCP con el servidor cuando se trabaja en modo remoto (el lazo de información). Desde el momento en que se efectúa la conmutación a remoto, todas las acciones del usuario sobre la vista provocan el envío de un paquete de datos al servidor, obteniendo como respuesta un vector con el estado de la planta. Utilizando los parámetros que viajan en el paquete de datos que se transmite desde la vista a través del lazo de información, el lazo de control realiza el control de temperatura del sistema de calentamiento de aire.

Los parámetros de control enviados al servidor son: modo de control (automático/manual), parámetros del controlador PID ( $Kp1, Ti1, Td1, Kp2, Ti2, Td2, Kp3, Ti3, Td3$ ), voltaje aplicado al ventilador ( $U_b$ ), y las referencias de temperatura ( $SP T1, SP T2, SP T3$ ). El vector con el estado de la planta que se devuelve a la interfaz del usuario está compuesto por cinco valores: el instante de muestreo ( $t$ ), las temperaturas medidas por los sensores ( $S1, S2, S3$ ) y el voltaje suministrado a la resistencia calefactora. La longitud total del paquete de datos no excede de 20 bytes.

El lazo de control en el servidor ha sido programado mediante LabView y Matlab. El intercambio de datos entre el computador y la maqueta se realiza mediante tarjetas de adquisición de datos de National Instruments, y el lazo de control y la comunicación vía sockets se ha programado directamente en LabView. Sin embargo, los controladores PID se han programado en Matlab. El intercambio de información entre el lazo de control de LabView y los controladores en Matlab se realiza mediante un bloque LabView que permite evaluar código Matlab en tiempo de ejecución. Esta estructura híbrida ha demostrado ser muy flexible ya que permite la incorporación de nuevas estrategias de control en el lado del servidor con un esfuerzo de programación muy pequeño (por ejemplo, para añadir una estrategia de control predicativo o fuzzy basta con reutilizar un fichero Matlab o diagrama Simulink ya existente e invocarlo desde el bloque LabView).

## 4 SIMULADORES INTERACTIVOS

Otro de los recursos de aprendizaje de carácter innovador desarrollados en el seno del proyecto AutoTECH son los simuladores dinámicos interactivos. El objeto de este tipo de simuladores es proporcionar a los estudiantes una sencilla pero poderosa herramienta de trabajo que les permita comparar y contrastar las ideas y conceptos recogidas en los módulos teóricos. Ya que la UNED es

responsable del paquete para el estudio de los aspectos básicos del control PID, varios simuladores de procesos simples controlados con reguladores de este tipo han sido programados como complemento y soporte de los módulos de teoría.

En el momento de redactar este trabajo los simuladores que están completamente operativos son tres: dos procesos auto-regulados de primer y segundo orden y un proceso de primer orden con comportamiento integral. Como representación física de los procesos se ha recurrido a modelos hidráulicos de tanques cilíndricos y como objetivo de control se plantea el nivel de llenado de los tanques.

#### 4.1 SIMULADOR DE UN SISTEMA DE 1<sup>er</sup> ORDEN AUTO-REGULADO

El proceso de primer orden auto-regulado modelado en *Ejs* ha sido un tanque de aceite con una válvula que controla el caudal de entrada y una tubería de salida que actúa como resistencia hidráulica de evacuación [2]. Teniendo en cuenta los parámetros fijados por defecto en el simulador, la ecuación diferencial que modela al comportamiento de este proceso es:

$$113 \frac{dh}{dt} + h = 0.813 q_{in} \quad (2)$$

donde  $h$  el nivel de llenado del tanque expresado como porcentaje de su altura total, y  $q_{in}$  el caudal de entrada como porcentaje del máximo caudal de entrada. La función de transferencia resultante es:

$$\frac{H(s)}{Q_{in}(s)} = \frac{Kp}{1+Ts} = \frac{0.813}{1+113s} \quad (3)$$

En lo que respecta al control automático del nivel de llenado se han incluido tres tipos de control: todo/nada, proporcional y proporcional-integral. El controlador todo/nada incluye una zona neutra que puede ser configurada interactivamente por el usuario. Esta característica permite a los estudiantes observar el impacto que tiene la histéresis del regulador en la oscilación de la variable del proceso (el nivel) según la anchura de la zona neutra.

Al igual que para modelar el tanque, se ha utilizado el editor de ecuaciones diferenciales de *Ejs* para modelar el controlador. Para ello se ha utilizado una versión continua de un controlador PI basada en una representación de variables de estado:

$$\begin{aligned} \dot{x}_c &= y_{sp} - y \\ u &= \frac{K}{T_i} x_c + K y_{sp} - K y \end{aligned} \quad (4)$$

Debido al perfil del estudiante al que se dirigen estos recursos, los controladores PI o PID no incluyen conceptos como, por ejemplo, ponderación de referencia, cambios bumpless de modo y consigna, filtros de 2<sup>o</sup> orden, etc. Dado el interés que tiene en la formación del estudiante por su impacto tan evidente en el control de un proceso, sí se ha optado por incluir varias posibilidades en lo referente a la generación de la acción de control final. Por ello, el controlador puede funcionar sin y con saturación de la acción de control, y cuando hay acción integral con mecanismo de anti-windup.

Además de lo anterior, el simulador cuenta con la posibilidad de introducir perturbaciones, para lo que se ha recurrido a un caudal de entrada secundario. También es posible cambiar el tipo de válvula que regula el caudal de entrada principal (lineal, isoporcentual, apertura rápida), aunque sólo se ha considerado la característica estática, ignorando la dinámica (se elevaría el orden del proceso, y sólo los sistemas de primer y segundo orden están incluidos en el temario oficial). Consideramos que la utilización de válvulas no lineales muestra a los estudiantes la necesidad de utilizar otras técnicas de control clásicas pero más robustas (p.e., planificación de ganancia) para hacer frente a condiciones especiales (p.e., no linealidades en el proceso).

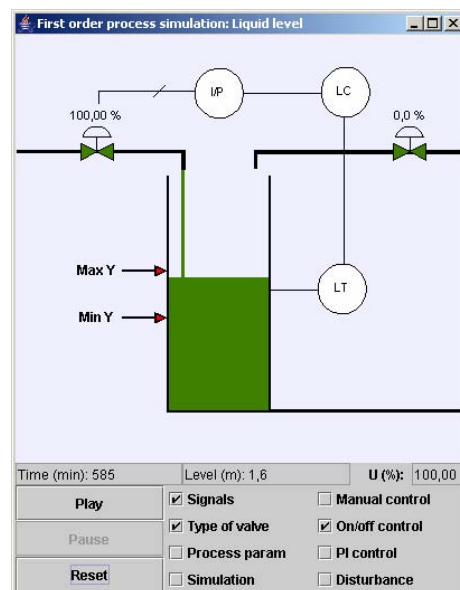


Figura 5: Sistema de primer orden auto-regulado.

La Figura 5 presenta la ventana principal del simulador. Al igual que sucede en la vista del laboratorio remoto, la ventana consta de dos partes: el diagrama del proceso y el panel de control. El diagrama del proceso es dinámico e interactivo ya que permite al usuario modificar las referencias e introducir perturbaciones con el uso del puntero del ratón y observar los cambios en el nivel de aceite. El

panel de control consta de botones y ventanas auxiliares para modificar diferentes opciones de la simulación: botones para parar/arrancar/reiniciar, paneles de visualización de señales, tipos de válvulas, modos de control y perturbaciones (Figura 5).

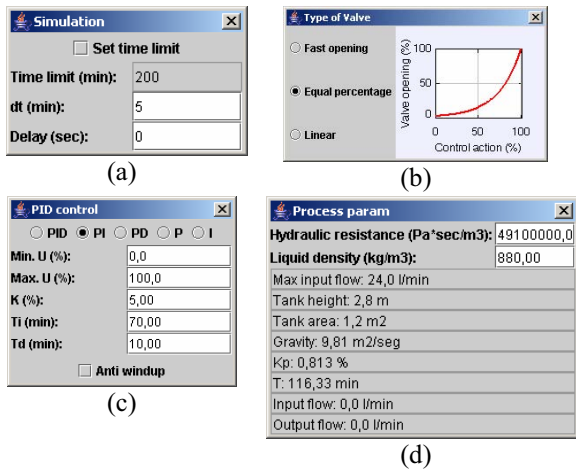


Figura 5: Ventanas auxiliares para cambio de parámetros de simulación, válvula, proceso y sintonía

### 3.2 SIMULADOR DE UN PROCESO INTEGRADOR DE 1<sup>er</sup> ORDEN

Para modelar un proceso integrador de primer orden se ha recurrido a un tanque de aceite de características similares al anterior pero con una bomba de desagüe que permita mantener un caudal de salida constante con independencia del caudal de entrada [2].

En lo que respecta a las funcionalidades de la vista, la principal diferencia con respecto al primer simulador radica en la posibilidad de modificar el caudal de salida y en disponer de un controlador PID. También se ha recurrido a la representación en variables de estado del controlador para disponer de modelos continuos tanto del proceso como del controlador escritos directamente en el editor de ecuaciones de *Ejs*:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -\frac{1}{T_f} x_1 - \frac{1}{T_f} y \\ \dot{x}_2 &= y_{sp} - y \\ u &= -KN(x_1 - y) + \frac{K}{T_i} x_2 + K(y_{sp} - y) \end{aligned} \tag{5}$$

### 4.3 SIMULADOR DE UN SISTEMA DE SEGUNDO ORDEN AUTO-REGULADO

El tercer simulador utiliza un proceso de segundo orden basado en dos elementos capacitivos, dos tanques, en el que el segundo elemento no tiene efecto sobre el primero (Figura 6). Básicamente, las

funcionalidades del simulador son idénticas a las del sistema de primer orden auto-regulado con la diferencia de que es posible realizar control PID utilizando el controlador dado en (5).

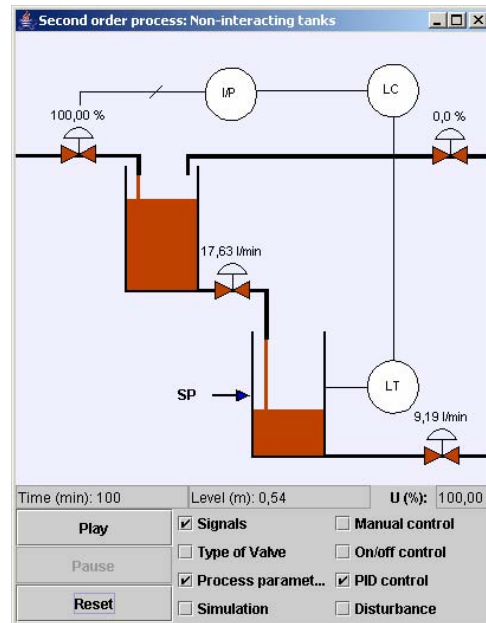


Figura 6: Sistema de 2<sup>o</sup> orden autorregulado representado por dos tanques no interactuantes.

## 5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS PENDIENTES

Hasta ahora la mayor parte del esfuerzo de investigación y desarrollo en recursos educativos basados en el web ha estado orientado a estudiantes universitarios o investigadores, dejando al margen las necesidades de los niveles educativos inferiores. El proyecto AutoTECH es una iniciativa innovadora que pretende trasladar todo el conocimiento disponible en materia de educación en control basada en el web a esos niveles educativos.

Es necesario indicar que todo recurso desarrollado en AutoTECH debe estar disponible en inglés y en los idiomas de los participantes (rumano, alemán, noruego, francés, español). Todos los recursos que se han presentado en este trabajo tienen en consideración este requisito. Por ello, cuando un estudiante acceder al portal de AutoTECH y selecciona el idioma, los laboratorios remotos y simuladores hacen uso de las capacidades de internacionalización de *Ejs* para cambiar el texto de las etiquetas y los mensajes de las vistas.

Como complemento a los simuladores desarrollados en *Ejs* y que se centran en el dominio temporal, se está trabajando en la construcción de simuladores interactivos para explicar control PID en sistemas de

primer y segundo orden en el dominio frecuencial [4]. La herramienta utilizada, y que se puede considerar como idónea para este concepto de simulación altamente interactiva, es SysQuake (<http://www.calerga.com>). La Figura 7 muestra la vista del prototipo desarrollado.

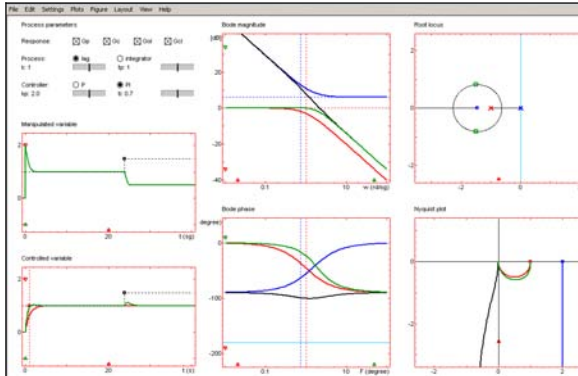


Figura 7: Control PI de sistemas de 1<sup>er</sup> orden desarrollado con SysQuake.

Otra iniciativa en fase de desarrollo es el comparador de controladores desarrollado en *Ejs*. El objetivo de este simulador es, utilizando una misma vista, poder comparar y contrastar la respuesta temporal de dos controladores PID sintonizados de forma diferente con dos procesos análogos.

Todo aquél que esté interesado en examinar y evaluar los materiales que están siendo desarrollados en el proyecto deberá ponerse en contacto con alguno de los autores del trabajo a través del portal <http://www.pidstop.com>. Tenga por seguro que su opinión será muy bien recibida.

### Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Comisión Europea por la financiación otorgada a través del programa Leonardo da Vinci mediante el proyecto N/04/B/PP/165.011 AutoTech. Asimismo, extienden el agradecimiento al Ministerio de Ciencia y Tecnología por la financiación proporcionada gracias al proyecto DPI2004-01804.

### Referencias

- [1] AutoTech (2006), <http://www.pidstop.com>
- [2] Bateson, R.N. (2001), "Introduction to Control System Technology, 7<sup>th</sup> ed.", Prentice Hall.
- [2] Buccieri, D.; J. Sánchez; S. Dormido; P. Mullhaupt and D. Bonvin (2005), "Interactive 3D Simulation of Flat Systems: The SpiderCrane as a Case Study", 44th IEEE CDC/ECC. Sevilla (Spain).
- [3] Dormido, S.; Esquembre, F.; Farias, G., Sánchez, J. (2005), "Adding interactivity to existing Simulink models using Easy Java

Simulations", 44th IEEE CDC/ECC. Sevilla (Spain).

- [4] Dormido, S., S. Dormido-Canto, R. Dormido, J. Sánchez (2006), "The Role of Interactivity in Control Learning", *International Journal of Engineering Education*, 21, n°6, pp. 1122-1133
- [5] Duro, N., R. Dormido, H. Vargas, S. Dormido, J. Sánchez, Pastor (2005), "The Three-Tank System: A Remote and Virtual Control Laboratory using Easy Java Simulations", 44th IEEE CDC/ECC. Sevilla (Spain).
- [6] Esquembre, E. (2004), "Easy Java Simulations: A software tool to create scientific simulations in Java", *Comp. Phys. Comm*, 156, pp. 199-204.
- [7] Sánchez, J., F. Esquembre, C. Martín, S. Dormido, S. Dormido-Canto, R.D. Canto and R. Pastor (2005), "Easy Java Simulations: An Open-Source Tool to Develop Interactive Virtual Laboratories Using Matlab/Simulink", *International Journal of Engineering Education*, 21, n° 5, pp. 798-813.