

Laboratorio Virtual para prácticas de Control por Computador

Joan Vallvé Navarro Ramon Costa Castelló
Institut d'Organització i Control de Sistemes Industrials(IOC)
Universitat Politècnica de Catalunya(UPC)

Alher Mauricio Hernández Valdivieso
Universidad de Antioquia, Colombia (UdeA)

Resumen

Este trabajo describe un laboratorio virtual desarrollado para dar soporte a las prácticas de Control por Computador de la ETSEIB. El laboratorio está totalmente desarrollado mediante Easy Java Simulations (EJS).

Palabras clave: Control por computador, Control Digital, Laboratorio virtual, Docencia.

1. Introducción

En los últimos años se ha realizado una revisión de los métodos utilizados para la difusión y el aprendizaje de la automática y en particular de la teoría de control [4]. Este proceso de revisión ha introducido las tecnologías de la información (TIC) en el proceso de aprendizaje. Los resultados más relevantes son la proliferación de numerosos laboratorios virtuales y remotos y el desarrollo de numerosas aplicaciones gráficas e interactivas que explotan la interactividad como herramienta pedagógica[3].

La teoría clásica de control suele ofrecer una visualización gráfica de la mayoría de sus principales conceptos, ello hace que sea especialmente indicada para el desarrollo de aplicaciones gráficas e interactivas. Esta característica ha conllevado el desarrollo de diferentes herramientas relacionadas con diferentes temáticas de la automática y la teoría de control [9]. Así, cabe destacar entre otros, las herramientas relacionadas con el Control Predictivo[6], el Control Repetitivo[10], los controladores para compensar retardos temporales[8] o el Control PID[7].

La proliferación de todas estas herramientas ha sido favorecida por la aparición de diferentes entornos de desarrollo, especialmente indicados para la implementación de aplicaciones científicas gráficas e interactivas, entre los que cabe destacar *Easy Java Simulations*[5] y *Sysquake*.

Dentro de este marco, durante el curso 2005-2006 en el IOC se inició un proyecto cuyo objetivo era el

desarrollo de un laboratorio virtual que permitiera a los estudiantes reproducir las prácticas presenciales en sus hogares y con ello obtener una mayor rendimiento de las prácticas o completar dichas prácticas con experiencias difíciles de realizar en las sesiones presenciales. En las secciones siguientes se presenta el resultado de este proyecto.

El trabajo se ha estructurado de la siguiente forma, la sección 2 describe el entorno para el que se ha desarrollado el laboratorio virtual, la sección 3 describe brevemente el entorno de prácticas presenciales que intenta reproducir el laboratorio virtual, la sección 4 describe el laboratorio virtual que ha desarrollado, finalmente la sección 5 describe las conclusiones y trabajos futuros.

2. Ámbito

En la actualidad en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Barcelona (ETSEIB) se imparten diferentes titulaciones, entre ellas destacan (1r y 2n ciclo) la Ingeniero Industrial (1r y 2do ciclo), Ingeniero Químico (2do ciclo), Ingeniero de Materiales (1r y 2do ciclo), Ingeniero Europeo de materiales (2do ciclo) y Ingeniero en Organización Industrial (2do ciclo).

En la titulación de Ingeniero industrial existentes diferentes tipos de asignaturas, troncales (definidas por el descriptor del BOE), obligatorias (definidas por el plan de estudios propio de la escuela), optativas y asignaturas de libre elección. En el plan 94, vigente en la actualidad no existen especialidades, alternativamente se ofrecen intensificaciones, dichas intensificaciones están formadas por un conjunto de asignaturas optativas de temática afín.

Una de las asignaturas troncales de la titulación de ingeniería industrial es Control por Computador. Los objetivos de la asignatura son:

- Proporcionar los conocimientos básicos sobre modelado matemático de sistemas dinámicos de tiempo discreto y los métodos de estudio de su comportamiento.
- Introducir al Control Digital mediante el es-

tudio de los principales métodos de análisis y síntesis de sistemas de control por computador.

- Mostrar las posibilidades y limitaciones de los computadores en el control de procesos.

La asignatura consta de un total de 4.5 créditos, 3 de los cuales son de teoría mientras que 1.5 son de sesiones prácticas. El laboratorio virtual descrito en este artículo ha sido diseñado con el fin de dar soporte en las sesiones prácticas.

El laboratorio virtual se está utilizando, también, en las prácticas de laboratorio en el curso Teoría de control II (Control por computador) en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, Colombia. La adaptación del laboratorio virtual a las necesidades es esta asignatura se ha realizado en el marco de un convenio de cooperación mediante el cual la Universidad Politécnica de Cataluña brinda soporte y asesoría en el diseño y la utilización de laboratorios virtuales para la enseñanza de la ingeniería.

3. Las prácticas presenciales

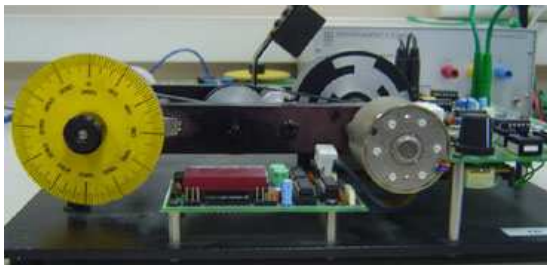


Figura 1: Vista del Prototipo de Prácticas

El laboratorio de automática de la ETSEIB está dotado de 12 servosistemas de posición angular (*LJ Technical Systems*), cada uno de ellos conectado a un PC equipado con tarjetas AD/DA. La supervisión y el control se realiza mediante la librería de tiempo real para *MATLAB* (*Real-time Toolbox* desarrollado por *Humusoft*). La interfase ha sido desarrollada en el departamento de ESAII (sección ETSEIB) y permite al usuario especificar el periodo de muestreo, los parámetros de los diferentes controladores, y el tipo de entrada que se genera.

En este entorno se realizan 5 sesiones prácticas, en las 4 primeras se realizan diferentes experiencias mientras que la quinta se realiza una evaluación de los conocimientos adquiridos por el estudiante. Las experiencias realizadas en las 4 primeras prácticas son las siguientes:

- Modelado y Respuesta Temporal. Se analiza la respuesta temporal del sistema bajo estudio; este estudio se realiza en lazo abierto y lazo cerrado, para salida velocidad y posición.
- Respuesta frecuencial y estabilidad. Se construye un diagrama de Nyquist experimental comparándolo con la diagrama teórico.
- Diseño PID mediante asignación de polos. Se diseña la respuesta temporal deseada y posteriormente se diseña un controlador PID con el fin que el sistema de lazo cerrado se comporte acorde con dicha respuesta temporal.
- Diseño de controlador de avance mediante métodos frecuenciales.

Para guiar los pasos de los estudiantes se han desarrollado dos manuales, uno primero en el que se explica el entorno experimental y plantean los pasos a seguir[2] y uno segundo que corresponde a una introducción a *MATLAB* como herramienta de análisis de los sistemas dinámicos de tiempo discreto[1].

4. El laboratorio virtual

4.1. Presentación

Se ha constatado que en muchas ocasiones los estudiantes tienen problemas para concluir las prácticas en el tiempo estipulado, ello combinado con las restricciones temporales y geográficas inherentes en las prácticas presenciales hace que algunos estudiantes tengan problemas para concluir con éxito el proceso de aprendizaje. Con el fin de aportar una solución a esta problemática se ha diseñado un laboratorio virtual que reproduce el entorno de prácticas presenciales. Este laboratorio virtual ha sido desarrollado totalmente en *EJS*[5] con el fin de obtener una aplicación independiente de plataforma, totalmente interactiva y con un coste de desarrollo reducido.

La aplicación está claramente enfocada a la realización de las 4 prácticas que se realizan en las sesiones presenciales. La práctica que se pretende realizar se selecciona mediante un botón (existen 4, uno para cada una de las prácticas).

La pantalla principal está estructurada en 6 partes claramente diferenciadas (ver Figura 2):

1. Parte Superior : Contiene el esquema de la planta y los controles de la simulación.
2. Selección de la práctica : Contiene 4 botones que activan cada una de las prácticas. La selección de cada una de las prácticas activa/desactiva ciertos componentes del resto de

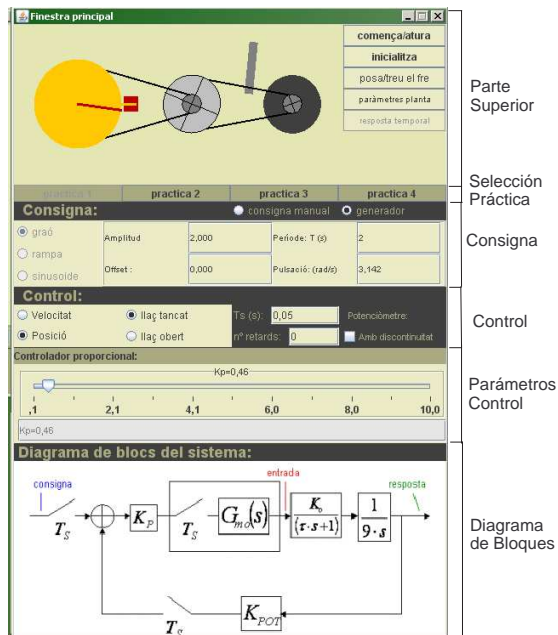


Figura 2: Estructura de la pantalla principal del laboratorio virtual

- secciones, cosa que simplifica el uso del laboratorio en cada una de las prácticas.
3. **Consigna** : Permite indicar las características de la señal de entrada (referencia o entrada en función de la configuración del sistema).
 4. **Control** : Permite seleccionar la topología (lazo abierto, lazo cerrado), la salida (velocidad, posición), el período de muestreo y activar/desactivar las no linealidades del sensor.
 5. **Parámetros del Controlador** : Este bloque contiene todos los parámetros del control que se está aplicando en cada sesión.
 6. **Diagrama de Bloques** : En todo momento se muestra un esquema de la configuración que se está utilizando.

Esta estructura permite de disponer simultáneamente de toda la información relevante para cada una de las prácticas en una misma pantalla.

En las siguientes secciones se describen brevemente las funcionalidades de cada una de las prácticas.

4.2. Práctica 1

En esta práctica se pretende obtener un modelo del comportamiento de la planta y posteriormente analizar la respuesta temporal del sistema tanto en lazo abierto como lazo cerrado (para salidas posición y velocidad).

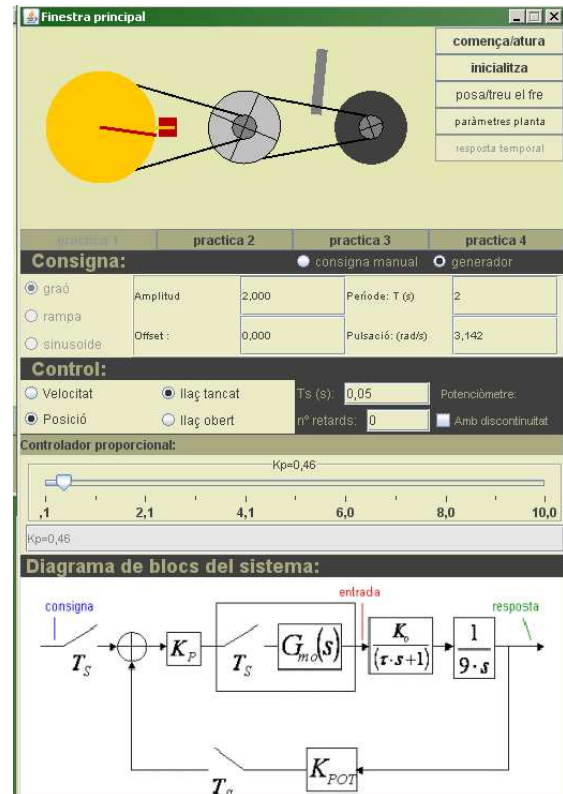


Figura 3: Vista del Lab. Virtual en la práctica 1

Al activarse esta práctica se abre la ventana **Respuesta temporal** que muestra la evolución temporal de las señales de consigna, acción de control y salida de la planta. En el entorno de esta práctica es posible seleccionar diferentes tipos de señales (escalón, rampa, seno), la variable de salida, y la configuración (lazo cerrado). A partir de la observación de las entradas y salidas se ajusta el modelo de comportamiento del sistema.

En esta misma sesión se analiza también la relación entre la precisión del sistema y el valor de la ganancia del sistema, la relación entre la precisión y el período de muestreo. Todos estos estudios se realizan empíricamente a partir de simulaciones (en las sesiones de teoría se han realizado analíticamente).

El laboratorio permite observar cual es el efecto de la no linealidad inherente al sensor de posición utilizado en el dispositivo real.

4.3. Práctica 2

En esta práctica se estudia la respuesta frecuencial del sistema, sea anillo cerrado o abierto, salida velocidad o posición. La ventana **Respuesta frecuencial** muestra los diagramas de Bode (con o sin transformación bilineal) y Nyquist del siste-

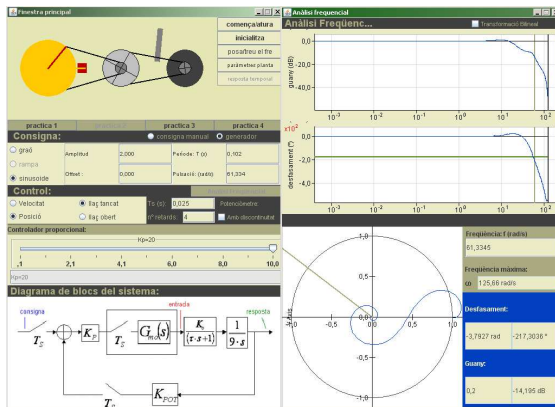


Figura 4: Vista del Lab. Virtual en la práctica 2

ma, indicando la frecuencia de la señal de entrada. Simultáneamente, la ventana Respuesta temporal muestra la salida del sistema al introducir una señal sinusoidal. La visualización simultánea de ambas ventanas permite comparar relacionar el concepto de respuesta frecuencial con los diagramas de Bode y Nyquist.

El laboratorio permite la introducción de retardos puros y ver su efecto en la respuesta frecuencial.

4.4. Práctica 3

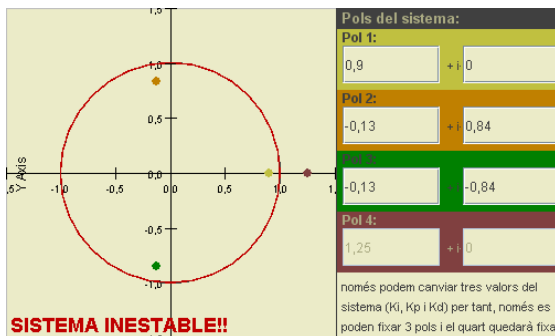


Figura 5: Vista del Lab. Virtual en la práctica 3

El objetivo de esta práctica es diseñar un controlador PID de tiempo discreto mediante asignación de polos. El laboratorio virtual tiene implementada una herramienta totalmente interactiva que automatiza el proceso de asignación de polos. La ventana Diagrama de asignación de polos muestra gráfica y textualmente los polos de lazo cerrado deseados. A partir de esta información se calculan automáticamente los parámetros del controlador (K_p , K_i y K_d). Este proceso puede realizarse para salida velocidad (asignación completa) o salida posición (asignación parcial \rightarrow polo libre). En el caso de salida velocidad el sistema es de primer orden por lo que el sistema en lazo cerrado (te-

niendo en cuenta el PID) será de tercer orden, por ello con los tres parámetros del PID es posible fijar todos los polos de lazo cerrado, en contra partida cuando la salida es posición el sistema de lazo cerrado es de cuarto orden y por tanto no es posible fijar todos los polos de lazo cerrado; en este caso se fijan 3 polos y el cuarto queda libre. Este proceso se visualiza en la aplicación interactiva diseñada.

4.5. Práctica 4

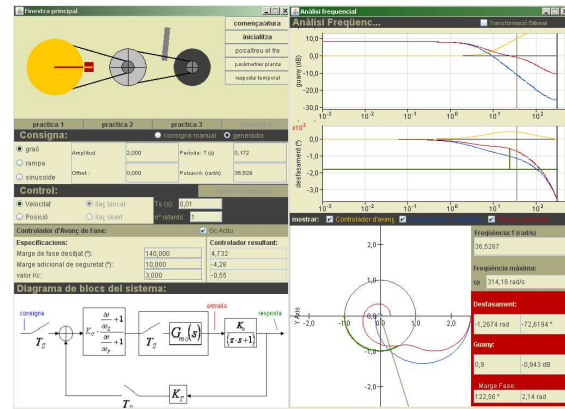


Figura 6: Vista del Lab. Virtual en la práctica 4

En esta práctica se utiliza un control de avance de fase diseñado en el campo frecuencial mediante transformación bilineal. El laboratorio virtual ofrece una herramienta interactiva que realiza automáticamente el cálculo del controlador a partir de las especificaciones de precisión y margen de fase.

En la ventana de Respuesta Frecuencial podremos ver, los diagramas de Bode y Nyquist de la planta, la planta controlada y del controlador. Podremos observar el margen de fase resultante tanto en el bode como en el Nyquist con una línea verde. Además de la ventana de diseño y las especificaciones del sistema de control puede observarse la respuesta temporal del sistema en lazo cerrado. La aplicación permite también introducir ceros dentro del lazo de control y observar la robustez del sistema en lazo cerrado.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha descrito brevemente el laboratorio virtual desarrollado para la realización de prácticas virtuales de control por computador. El laboratorio está disponible para que los estudiantes complementen sus prácticas presenciales.

Con el fin de facilitar el uso del laboratorio de prácticas se pretende trabajar para utilizar la mis-

ma interfaz entre el laboratorio virtual y el utilizado en las prácticas presenciales.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos *Introducción de la interactividad en el proceso de diseño e implementación de controladores* (ESAII-2006), *Fichas de aprendizaje interactivo de teoría de sistemas lineales* (UPC 2005-2006), *Diseño e implementación de laboratorios virtuales para la enseñanza de la ingeniería* [CCD U-017/2007], *Herramientas interactivas para el aprendizaje de la dinámica y el control de los convertidores de potencia* [2007MQD00046] y CICYT DPI2004-06871-C02-02.

Referencias

- [1] Oriol Causí Casamor, Miquel Angel Mañanas Villanueva, Ramon Costa Castelló, and Luis Basañez Villaluenga. *Control amb Computador. Simulació en entorn MATLAB*. CPDA, Barcelona, Octubre 1999. ISBN 84-95355-04-3.
- [2] Profesores de la asignatura. Control por computador: Pràcticas. Technical report, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona (ESTEIB), Barcelona, 1998.
- [3] S. Dormido. The role of interactivity in control learning. In *6th IFAC Symp. on Advances in Control Education*, pages 11–22, 2003.
- [4] S. Dormido. Control learning: Present and future. *Annual Reviews in Control*, 28(1):115–136, 2004.
- [5] Francisco Esquembre. *Creación de Simulaciones Interactivas en Java. Aplicación a la Enseñanza de la Física*. Pearson Prentice Hall. Educación, 2005.
- [6] J.L. Guzman, M. Berenguel, and S. Dormido. Interactive teaching of constrained generalized predictive control. *IEEE Control Systems Magazine*, 25(2):52–66, 2005.
- [7] Jose Luis Guzmán, Karl Johan Åström, Sebastian Dormido, Tore Hagglund, and Yves Piguet. Interactive learning modules for pid control. In *ACE'06*, Madrid, Spain, 2006.
- [8] Jose Luis Guzmán, Pedro Garcia, Tore Hagglund, Sebastian Dormido, Pedro Albertos, and Manuel Berenguel. Interactive tool for analysis of time-delay systems with dead-time compensators. In *ACE'06*, Madrid, Spain, 2006.
- [9] Francisco A. Candelas Herías and José Sánchez Moreno. Recursos didácticos basados en internet para el apoyo a la enseñanza de materias del área de ingeniería de sistemas y automática. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 2(2):93–101, Abril 2005.
- [10] Enric Xargay Mata and Ramon Costa Castelló. Laboratorio virtual ejs para el estudio del control repetitivo. In *Actas de las IV Jornadas de Enseñanza a través de Internet/Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática, EIWISA2005 (CEA-IFAC)*, pages 33–39, 2005. ISBN : 84-9732-451-X.