

POLITÉCNICA

LIBRO DE ACTAS

inece'09

III Jornadas Internacionales UPM
sobre Innovación Educativa
y Convergencia Europea 2009



24, 25 y 26 de noviembre
Universidad Politécnica de Madrid
http://innovacioneducativa.upm.es/inece_09/

Escuela Universitaria de Ingeniería
Técnica de Telecomunicación



Actas de las Jornadas

 **Introducción**

 **Programa**

 **Comunicaciones**

- Por Sesiones
- Libro de Actas

 **CERRAR**

EXPERIENCIA EN LA INTEGRACIÓN DE UN LABORATORIO REMOTO DE CONTROL PARA PRÁCTICAS DOCENTES A TRAVÉS DE INTERNET

O. Reinoso ^{1*}, L.M. Jiménez ¹, S. Fernández de Avila², L. Paya¹, A. Gil¹, D. Ubeda¹

1: Departamento de Ingeniería de Sistemas Industriales
Escuela Politécnica Superior de Elche
Universidad Miguel Hernández
Avda. Universidad s/n, Edificio Quorum V, 03202 Elche (Alicante)
e-mail: {o.reinoso, luis.jimenez, arturo.gil, ubeda}@umh.es web: <http://arvc.umh.es>

2: Departamento de Física y Arquitectura de Computadores
Escuela Politécnica Superior de Elche
Universidad Miguel Hernández
Avda. de la Universidad s/n, Edificio Torrepinet, 03202 Elche (Alicante)
e-mail: s.fdezavila@umh.es

Resumen. *Las prácticas docentes han venido siendo tradicionalmente un requisito imprescindible en las titulaciones con contenidos técnicos como soporte a los contenidos teóricos impartidos en las diferentes materias. Los experimentos y pruebas con equipos de laboratorio posibilitan que los alumnos tengan un cierto conocimiento práctico en relación con los contenidos teóricos de determinadas materias. Este conocimiento práctico es esencial en las titulaciones técnicas. Generalmente este tipo de prácticas se desarrollaban con la presencia física del estudiante en los laboratorios disponibles en los diferentes centros. Desde hace unos pocos años han aparecido un conjunto de laboratorios remotos y virtuales a partir de los cuales los estudiantes pueden realizar a distancia estas prácticas docentes a través de Internet. En la Universidad Miguel Hernández de Elche se viene haciendo uso de uno de estos laboratorios desde hace más de cinco años. Este laboratorio ha permitido a los estudiantes acometer un conjunto de prácticas docentes sin la presencia física de los mismos en el laboratorio docente. En este artículo se presentan algunos aspectos del laboratorio. Además se analizan los resultados obtenidos por dichos estudiantes en relación con las prácticas clásicas en los laboratorios remotos, lo que permitirá una justificación en su posible aplicación en los nuevos grados dentro del marco del nuevo Espacio Europeo de Educación Superior.*

1. Introducción

Durante los últimos cursos académicos paulatinamente se ha ido incorporando y extendiendo de forma paulatina el uso de las nuevas tecnologías dentro del ámbito educativo. Con la Convergencia Europea en la que el sistema educativo español se encuentra inmerso en la actualidad cada vez será más necesario abordar estas nuevas formas de enseñanza-aprendizaje, donde el uso de las nuevas tecnologías cada vez será más determinante. La aparición de internet ha provocado que los

alumnos posean fuentes casi inagotables de conocimiento de cualquier rama de conocimiento o materia en la que se encuentren interesados [10, 11]. De hecho, es relativamente fácil encontrar en internet cursos o información sobre materias que permitan al estudiante adquirir ciertos conocimientos sobre una materia de estudio. Este tipo de información la pueden encontrar en muy diversos aspectos como son entre otros: tutoriales, imágenes, esquemas, videos, simulaciones, etc. Además, la cantidad de este tipo de información que se puede encontrar relacionada con una determinada materia crece de forma exponencial con el tiempo. Por este motivo las tradicionales clases impartidas en el formato de conferencias magistrales han de ser parcialmente modificadas de manera que el alumno aproveche todas las posibilidades que el entorno tecnológico actual le permite.

En las titulaciones con un elevado contenido tecnológico como es el caso de las Ingenierías, resulta fundamental, además de los contenidos teóricos relacionados con las materias objeto de estudio, que los estudiantes adquieran experiencias prácticas que permitan asentar los conocimientos teóricos adquiridos. Este tipo de conocimientos prácticos resultan esenciales en este tipo de titulaciones. Tradicionalmente estos contenidos eran asimilados por parte de los estudiantes mediante la asistencia a los laboratorios existentes en la Universidad. A través de la asistencia a estos laboratorios el alumno realizaba un conjunto de prácticas docentes programadas en cada una de las materias mediante la utilización de un conjunto de dispositivo físicos determinados. Durante los últimos años se han ido incorporando de forma sucesiva un conjunto de prácticas docentes que permitían al alumno realizar este tipo de experimentos mediante programas simulados en un computador. Estos programas modelaban el comportamiento de una determinada maqueta o dispositivo físico y permitían al alumno reproducir este comportamiento tantas veces fuera necesario, modificando incluso los parámetros de funcionamiento, con la ventaja añadida de no tener la necesidad de disponer físicamente de este tipo de equipamiento en el laboratorio [8]. Si bien este tipo de sistemas en simulación con el que realizar las prácticas docentes juegan un importante papel en el aprendizaje del alumno, este tipo de sistemas no puede reemplazar la experiencia que debe poseer el alumno al manipular sistemas físicos reales en determinadas materias. Este tipo de sistemas como pueden ser servomotores, péndulos, depósitos acoplados o sistemas de control de temperatura en el caso de materias relacionadas con el control, es una herramienta esencial para el aprendizaje del estudiante.

Por otro lado, el uso de las nuevas tecnologías permite al estudiante además de acceder a la información a través de internet, hacer uso de estos dispositivos (programas en simulación o incluso equipos remotos) sin la necesidad de acudir físicamente a los tradicionales laboratorios. Esto le permite realizar las prácticas docentes (que como se ha comentado anteriormente resultan en las titulaciones de ingeniería fundamentales de realizar) de forma remota y en cualquier instante de tiempo. Tradicionalmente el aprendizaje práctico ha estado afectado por tres factores que han podido degradar los resultados educacionales:

1. Tiempo disponible de uso de los laboratorios tradicionales. Los estudiantes tienen un tiempo limitado en el acceso a los laboratorios para usar los equipos físicos disponibles en los mismos. De esta forma el estudiante no puede hacer uso libremente de tales equipos en la forma y modo en que más necesite para adecuar su aprendizaje.
2. Limitación en el número de dispositivos, equipos y maquetas disponibles en el laboratorio. A menudo este tipo de dispositivos físicos son suficientemente caros como para disponer de un número elevado de los mismos en los

laboratorios, con lo que los alumnos han de integrarse en grupos constituidos por un número elevado de los mismos para realizar las prácticas docentes. Esto causa que los estudiantes compartan equipos con tres o más compañeros lo que origina en ocasiones que se degrade la experiencia que adquieren en el uso de estos equipos. Asimismo y también debido a la imposibilidad de tener recursos ilimitados que el tipo de dispositivos físicos o maquetas disponibles sean reducidos en su variedad, ya que de cada una de ellas se han de adquirir un número determinado para poder dar cabida a todos los alumnos que integran un grupo práctico.

3. Los sistemas de evaluación tradicionales no permiten al alumno autoevaluarse a medida que van adquiriendo nuevos conocimientos. La autoevaluación por parte del propio estudiante ayuda positivamente al autoaprendizaje, algo que en el nuevo Espacio de Educación Superior es preciso incorporar.

De esta forma el uso de este tipo de laboratorios a través de internet permite al menos mejorar el proceso de aprendizaje en los siguientes aspectos:

- Mayor cantidad de experiencias a realizar por parte del estudiante al disponer de dispositivos diferentes
- Incremento en el número de prácticas a realizar por parte del alumno.
- Planificación más flexible de las prácticas a realizar
- Mejora en el proceso de aprendizaje

El objetivo de este trabajo consiste en presentar los resultados alcanzados en el empleo de un laboratorio remoto de control utilizado en la Universidad Miguel Hernández de Elche para la realización de prácticas docentes en asignaturas relacionadas con el control. En la siguiente sección se detallarán las diferencias entre lo que se entiende como laboratorio virtual y remoto. Posteriormente se presentará el proyecto dentro del cual se han integrado el dispositivo utilizado como laboratorio remoto en la Universidad Miguel Hernández de Elche. En la siguiente sección se presentarán algunos detalles de implementación de la herramienta, para posteriormente analizar los resultados durante los últimos cursos académicos así como la opinión de los estudiantes. Por último se presentan las conclusiones.

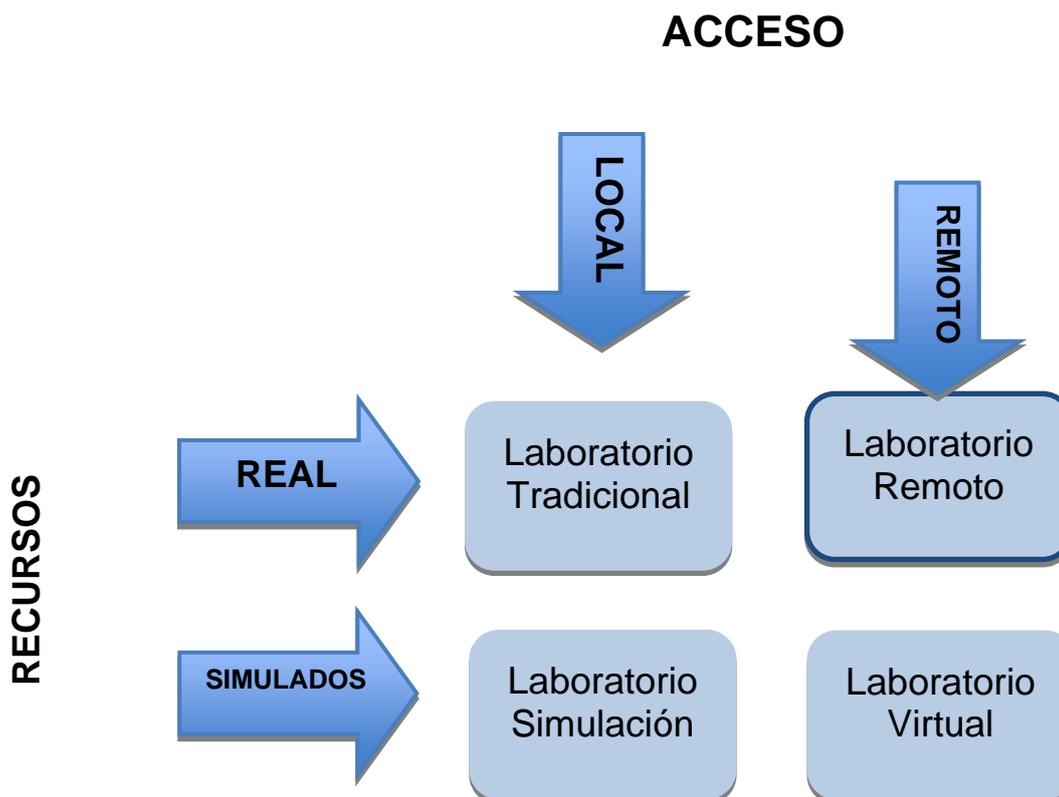
2. Laboratorios virtuales y remotos

Desde el punto de vista del usuario cuando accede a los recursos a través de internet para la realización de prácticas docentes podemos encontrarnos con una clasificación diversa en cuanto a los tipos de laboratorios disponibles. De esta forma podemos distinguir entre un acceso remoto a través de Internet, y un acceso local en el que no sea necesario una red de comunicaciones para utilizar los componentes del laboratorio. En el segundo caso estaríamos en el tipo de laboratorios tradicionales, mientras que en el primero estaríamos ubicados en los laboratorios a distancia. En cuanto al tipo de equipamiento utilizado podríamos hablar de que el estudiante accede y trabaja directamente con equipos reales o bien que el estudiante trabaja e interacciona con sistemas simulados [1,2]. De esta forma podemos hablar de 4 tipos de laboratorios claramente diferenciados:

1. Acceso local – Equipamiento físico real. Estaríamos en el caso de los laboratorios tradicionales.
2. Acceso local – Sistemas en simulación. El estudiante acude al laboratorio tradicional pero en lugar de hacer uso de sistemas físicos reales, hace uso y experimenta con sistemas simulados en forma de un programa que se ejecuta en un computador.

3. Acceso Remoto – Recurso real. El estudiante interactúa a través de internet con sistemas físicos reales ubicados remotamente en un laboratorio. Este tipo de laboratorios se denominan Laboratorios Remotos [5].
4. Acceso Remoto – Recurso simulado. El estudiante interactúa a través de internet pero lo hace con sistemas que simulan equipos reales. Este tipo de laboratorios se denominan Laboratorios Virtuales a distancia.

Figura 1. Diferentes modos de acceso a los laboratorios



3. AutomatL@bs

AutomatL@bs es una red de laboratorios virtuales/remotos para la enseñanza de la automática que se constituye mediante la integración de los recursos que aportan los grupos que participan en el proyecto. Proporciona un sistema de reserva de tiempos para la realización de los experimentos y un entorno de trabajo común que facilita su aprendizaje por parte del alumno. La red de laboratorios remotos en automática Automat@Labs es algo más que la suma de las partes que la constituyen ya que debe ser percibida por sus usuarios como un laboratorio con una estructura uniforme independientemente de donde se encuentre la localización física de las plantas. Todo lo que necesita el alumno para conectarse a automat@Labs es un navegador y estar dado de alta para la realización de las prácticas. Automat@Labs no es pues la simple yuxtaposición de los laboratorios remotos que cada institución participante pone a disposición de los integrantes de la red. Todos los laboratorios comparten un mismo esquema de trabajo y los materiales que se proporcionan a los

alumnos se han cuidado de forma tal que el desarrollo de las prácticas se pueda hacer de manera autónoma. El proyecto Automat@Labs está coordinado por el Prof. Sebastián Dormido Bencomo del Departamento de Informática y Automática de la UNED. Las universidades participantes dentro de este proyecto son las siguientes:

- Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED
- Universidad de Alicante
- Universidad de León
- Universidad de Almería
- Universidad Politécnica de Valencia
- Universidad Politécnica de Cataluña
- Universidad Miguel Hernández de Elche

Así pues, el proyecto comentado dentro de este artículo se encuentra integrado dentro de la plataforma AutomatL@bs. Como se ha comentado con anterioridad todos los alumnos que realizan las prácticas a través de los equipos y sistemas incluidos en este proyecto interactúan con los sistemas de una forma similar, independientemente de la universidad donde se encuentren los equipos físicos. Los sistemas incorporados en la actualidad dentro de esta plataforma son los siguientes:

- Motor de corriente continua
- Sistema HeatFlow
- Sistema de tres tanques
- Sistema de un tanque
- Brazo Robótico
- Bola y viga
- Rotoimán

4. Sistema desarrollado

En esta sección se detallarán algunas particularidades de implementación del sistema desarrollado en la Universidad Miguel Hernández UMH e integrado dentro del proyecto global AutomatL@bs. El sistema desarrollado por la UMH está constituido por un motor de corriente continua. El esquema general de la aplicación se muestra en la figura 2. En esta figura los elementos software y hardware se dividen en dos bloques principales: el área local donde interactúa el estudiante para la realización de las prácticas, y el área remota donde se localiza el sistema físico y los elementos de control.

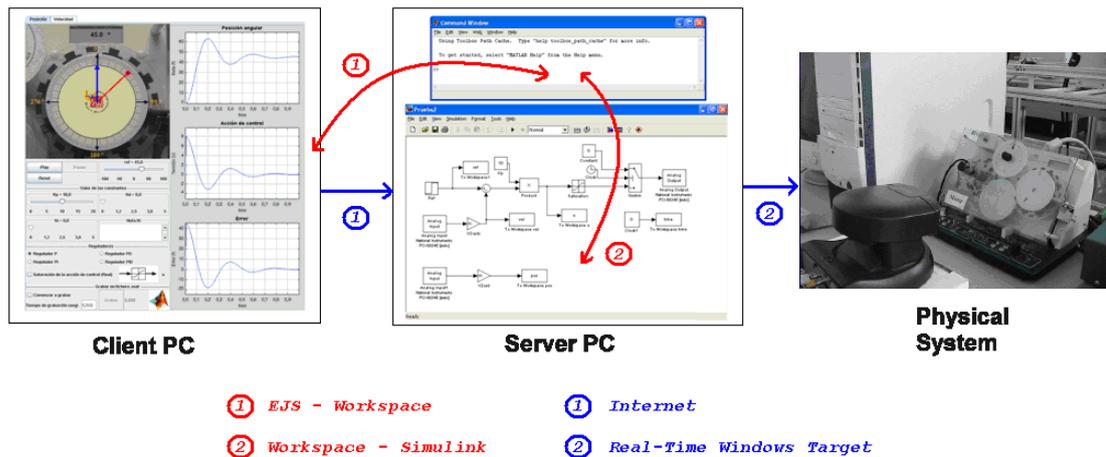


Figura 2. Sistema desarrollado

El sistema físico (motor de corriente continua) se encuentra controlado a través de un esquema Simulink que opera con el motor de corriente continua a través de una tarjeta de entradas/salidas. Dado que las prácticas incorporadas en el laboratorio remoto posibilitan realizar experimentos de control en posición o control en velocidad del motor, diferentes esquemas de control se han incorporado al sistema.

4.1 Interfaz del sistema

A través de la interfaz proporcionada al alumno se posibilita la realización de experimentos en simulación o con el sistema físico real. La interfaz de usuario se divide en tres ventanas principales:

- **Ventana de simulación:** Mantiene la vista de simulación, controles, gráficos de evolución y variables
- **Ventana eMersion:** Proporciona acceso a las herramientas de aprendizaje colaborativas tales como manuales, protocolos, etc.
- **Ventana e-Journal:** Proporciona acceso a los ficheros almacenados y datos previamente ejecutados.

Ventana de Simulación (ver Figura 3)

Esta ventana es un applet Java que realiza la simulación y permite la conexión a los sistemas físicos con objeto de realizar los test en tiempo real. Un menú al inicio y dos paneles principales conforman esta ventana. El menú superior presenta tres opciones:

- eJournal: proporciona acceso al área de almacenamiento con opciones de salvar, y almacenar datos
- Control: permite configurar el tipo de control a realizar: lazo abierto o lazo cerrado
- Lenguaje: el usuario puede seleccionar el lenguaje de visualización para la aplicación y la documentación

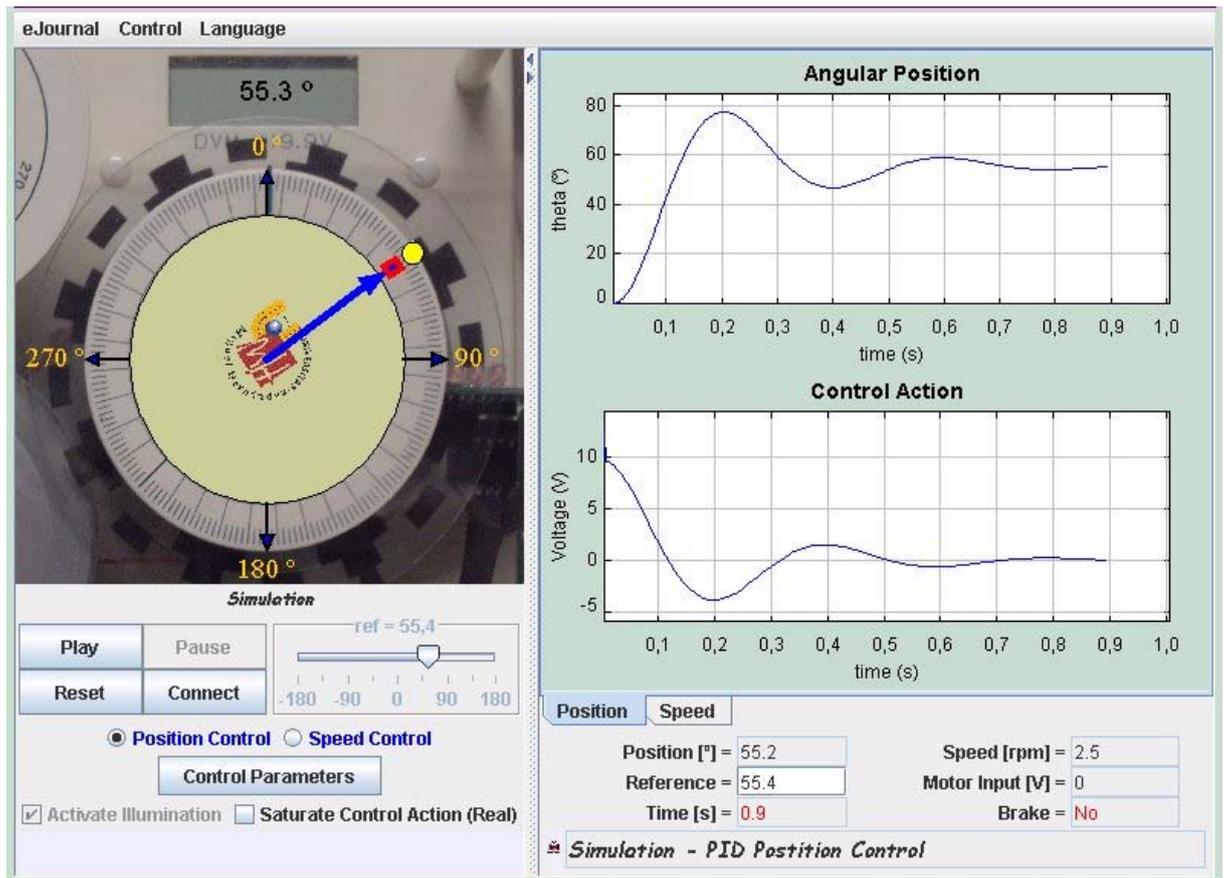


Figura 3. Ventana de ejecución

El motor puede ser visto desde diferentes aspectos:

- *Modo simulación.* El motor se representa como en la figura 3. Cuando el sistema está trabajando de esta forma, el sistema evoluciona localmente basado en las ecuaciones diferenciales que modelan matemáticamente el proceso. Por lo tanto el sistema representa una ejecución en simulación del sistema físico.
- *Modo remoto (usando conexión de video).* El motor real localizado en el laboratorio remoto se muestra como en la figura 3. En este modo la imagen del motor de corriente continua localizado en el laboratorio remoto es adquirida a través de una cámara de video y se transfiere al host local.
- *Modo remoto (usando realidad aumentada).* En este modo, el motor real de corriente continua ubicado en el laboratorio remoto se muestra en la pantalla y una simulación de la posición del motor se superpone a esta imagen. Estas dos últimas formas de representación pueden ser seleccionadas por el usuario si se trabaja en acceso remoto.

Un conjunto de cuatro botones localizados a la izquierda de la ventana de simulación pueden ser utilizados por el usuario para controlar las operaciones principales así como la evolución del sistema. Más específicamente el usuario puede seleccionar:

- Botón play: Usado para iniciar la simulación
- Botón pause: Usado para pausar la simulación
- Botón reset: usado para resetear e inicializar la simulación

- Botón conexión: Si este botón no se presiona, al presionar el botón 'play', la aplicación trabaja en modo simulación como un laboratorio virtual. Por el contrario cuando este botón se encuentra presionado, permite la conexión con la planta en modo remoto (usando el sistema real que se encuentra localizado en el laboratorio remoto).
- Referencia: este icono es un slider que permite seleccionar al usuario el punto de referencia para la velocidad o la posición. En el modo de control en posición la referencia puede establecerse de una forma cómoda moviendo iconos correspondientes en la subventana de representación del motor. Además el valor de la referencia puede modificarse en formato digital a partir del campo numérico habilitado para este propósito. En este caso es posible ajustar el valor exacto en caso deseado.
- La configuración del modo de control en bucle cerrado se realiza a partir de dos botones de radio que permiten cambiar el tipo de control en bucle cerrado: posición o velocidad.
- La saturación de la acción de control puede provocarse en caso de realizarse la experimentación en modo simulación. Por defecto, en modo simulación, la acción de control es ideal (no saturada).

Dentro de la ventana de diálogo (ver figura 4) se pueden configurar los parámetros de control. Estas cajas de diálogo tienen dos opciones: una para cada tipo de controlador:

- PID: Aparecen tres sliders que permiten cambiar los parámetros de los controladores asociados con el control de velocidad o posición. De esta forma es posible variar la ganancia, la constante integral y la constante derivativa.
- SS: De la misma forma se configuran a través de esta subventana los parámetros para realizar el control en variables de estado o representación interna.

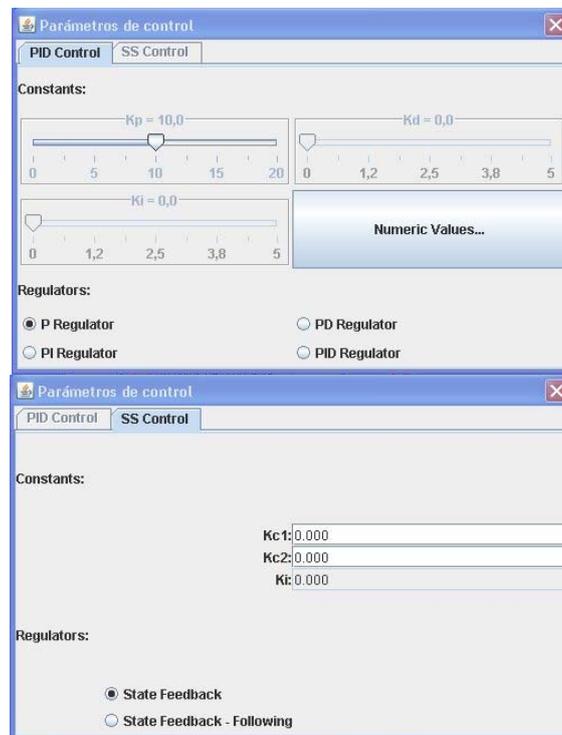


Figura 4. Parámetros de control

A la derecha de la ventana de representación se localiza la ventana de evolución. La ventana de evolución muestra las principales variables del proceso, como por ejemplo el voltaje aplicado al motor de corriente continua, la velocidad o la posición del motor en función del tiempo.

5. Prácticas realizadas

El sistema desarrollado se ha utilizado como entorno de pruebas desde el curso académico 2007/08. En este curso académico, alumnos de diferentes universidades han realizado prácticas con este sistema. Si bien las asignaturas en que están matriculados cada uno de los alumnos depende del plan de estudios y de la titulación que se encuentran desarrollando en cada una de sus universidades, todos ellos tienen una base común que viene representada por los temas en que se centran las diferentes prácticas que desarrollan con el equipo: teoría básica de control. A modo de ejemplo, los alumnos matriculados en la Universidad Miguel Hernández de Elche, se encontraban cursando la asignatura Automatas y Sistemas de Control dentro de la titulación de Ingeniería Industrial. Esta asignatura se imparte en el tercer curso (de un total de cinco) de los que consta la titulación. Los contenidos básicos de esta asignatura se corresponden con los de un curso básico en la teoría clásica de control. Estos mismos contenidos son los que son cursados por los alumnos de las otras universidades que han realizado las prácticas con el laboratorio remoto durante el curso 2007/08.

Durante el curso académico 2008/09 han realizado las prácticas docentes con este sistema un total de 19 alumnos en la Universidad Miguel Hernández de Elche. Durante estos dos primeros cursos académicos, los alumnos que han realizado prácticas docentes han sido voluntarios. La nota asignada a cada uno de estos alumnos permitía aumentar la nota final de la asignatura.

Es preciso resaltar el hecho de que el sistema no ha sido aún evaluado en la realización de prácticas de forma obligatoria por parte de los alumnos. Durante estos dos primeros cursos académicos tan sólo los alumnos que deseaban realizar prácticas docentes a través de internet elegían esta opción. Este hecho puede modificar el resultado y las opiniones obtenidas del uso de este sistema por parte de los alumnos ya que sólo los que estaban predispuestos a su utilización lo han empleado.

El número de horas promedio que han empleado los alumnos en realizar las diferentes prácticas docentes se ha incrementado notablemente con respecto al número de horas dedicadas a realizar esas mismas prácticas docentes en el laboratorio tradicional. Esto permite concluir que el trabajo realizado por el alumno es mayor que en el caso de un laboratorio tradicional. El alumno en este laboratorio ha realizado más veces los experimentos, repitiéndolos una y otra vez modificando los parámetros así como las referencias, lo que le ha posibilitado un aprendizaje mejor de los contenidos relacionados. Una de las justificaciones de este hecho de una mayor dedicación de tiempo para la realización de las prácticas docentes, es que el alumno ha podido realizar las prácticas en el momento del día que ha querido y en el instante en que lo ha deseado. Esto ha posibilitado que los alumnos hayan podido utilizar el sistema para realizar experimentos a medida que estudian los conocimientos teóricos de la materia.

Por último, es preciso indicar que el número de prácticas realizadas mediante el laboratorio remoto de control se corresponde con las prácticas a realizar por los alumnos en el laboratorio tradicional en dos sesiones de dos horas: una práctica de control en posición y otra de control en velocidad de un motor de corriente continua. El número promedio de horas dedicadas por los alumnos en la realización de estas prácticas de forma remota ha sido de 14 horas en el curso 2007/08 y 15 en el 2008/09.

6. Conclusiones

En este artículo se han presentado algunas consideraciones y detalles de la implementación llevada a cabo en el diseño de un laboratorio remoto de control en la Universidad Miguel Hernández de Elche. Se ha optado por integrar dentro del proyecto AutomatL@bs un motor de corriente continua como laboratorio remoto de control. Con este sistema se han desarrollado prácticas docentes durante los dos últimos cursos académicos con una importante recepción por parte de los alumnos. Además de algunos detalles de implementación, se ha abordado con un grado mayor de profundidad la interfaz del sistema, las opiniones de los alumnos recabadas durante los dos últimos años, así como detalles de uso de este laboratorio.

Este laboratorio remoto se encuentra en la actualidad operativo dentro de la plataforma AutomatL@bs, en la que se están integrando nuevos equipos remotos. Dentro de la Universidad Miguel Hernández de Elche estamos en la actualidad acometiendo un nuevo laboratorio remoto constituido por robots móviles autónomos.

Agradecimientos

Parte de los trabajos realizados y que han dado lugar a esta comunicación han sido posibles gracias al Proyecto de Innovación Educativa sufragado por la Universidad Miguel Hernández de Elche con el título 'Laboratorio remoto de control para prácticas docentes', así como soportado por el proyecto 'Sistemas de Percepción Visual Móvil y Cooperativo como Soporte para la Realización de Tareas con Redes de Robots' CICYT DPI2007-61107, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia

REFERENCIAS

- [1] R. Dormido, H. Vargas, N. Duro, J. Sanchez, S. Dormido-Canto, G. Farias, F. Esquembre and S. Dormido, "Development of a web-based control laboratory for automation technicians: The three-tanks system", *IEEE Transactions on Education*, Vol. 51(1), pp. 35-44, (2008).
- [2] Duro, N., Dormido, R., Vargas, H., Dormido-Canto, S., Sanchez, J., Farias, G., Esquembre, F., Dormido, S., An integrated virtual and remote control lab: The three-tank system as a case study. *Computing in Science & Engineering* 10 (4), 50–59. July-Aug (2008)
- [3] Esquembre, F., June. Easy java simulations: A software tool to create scientific simulations in java. *Comput. Phys. Commun.* 156 (2), 21–26. (2004)

- [4] Guimaraes E., Maffeis A., Pinto R., Miglinski C., Cardozo E., Bergerman M. and Magalhaes M., Real- a virtual laboratory built from software components. Proceedings of the IEEE, 91 (2003)
- [5] Jimenez, L.M., R. Puerto, O. Reinoso, C. Fernandez and R. Neco. Recolab: Laboratorio remoto de control utilizando matlab y simulink. Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial 2(2), 64–72. (2005)
- [6] Lopez, J. Teleworking in a multinational environment. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Intelligence in Services and Networks. (1999)
- [7] Mathworks (2004). Matlab r12, simulink, real –time workshop, real – time windows target and matlab web server. online manuals. <http://www.mathworks.com>.
- [8] Nguyen, A., Gillet, D., Sire, S., Sustaining collaboration within a learning community in flexible engineering education. Proc. Wold Conf. Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications, 21–26. June (2004)
- [9] Robson R. and Shor M., A student-centered feedback control model of the educational process, In Frontiers in Educational Conference, 2, 14-19 (2000)
- [10] Shor M., Remote-access engineering educational laboratories: Who, what, when, why and how? Proc. American Control Conference, 2949-2950 (2000)
- [11] Safaric, R., M. Debevc, R. M. Parkin and S. Uran, Telerobotics experiments via internet. IEEE Transactions on Industrial Electronics 48(2), 424–431.(2001).
- [12] H.1 Vargas, J. Sánchez Moreno, C. Salzmann, F. Esquembre, S. Dormido, and D. Gillet. Web-Enabled Remote Scientific Environments. Computing in Science and Engineering, 11(3):36..46, (2009)
- [13] AutomatL@bs: <http://lab.dia.uned.es/automatlab/>