

SISTEMA “HARDWARE” PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS REMOTAS DE REGULACIÓN ASISTIDAS POR ORDENADOR

L. DÁVILA¹; P. L. CASTEDO¹; R. GONZÁLEZ¹; M. HERNANDO¹; S. LÓPEZ¹; P. QUESADA¹; D. RODRÍGUEZ LOSADA¹; C. SANTOS¹, J. MUÑOZ¹, C. GARCÍA¹, P. SAN SEGUNDO¹.

¹Grupo de Sistemas Telemáticos Aplicados a la Educación (GSITAE). Departamento de Electrónica, Automática e Informática Industrial. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. Universidad Politécnica de Madrid. España.

CONTACTO: luis.davila@upm.es

Se presenta en este artículo una parte del proyecto realizado por el Grupo de Innovación Educativa GSITAE, bajo la “Convocatoria de Ayudas a la Innovación Educativa en el Marco del Proceso de Implantación del Espacio Europeo y la Educación Superior y a la Mejora de la Calidad de la Enseñanza para el curso 2006-07”. En él se ha desarrollado el material necesario para la realización de prácticas remotas a través de Internet para la asignatura de Regulación Automática. En concreto, se presenta a continuación la plataforma “hardware”, totalmente asistida por ordenador, que permite realizar prácticas sobre control de forma telemática.

1. Introducción

El Grupo de Innovación Educativa GSITAE puso en marcha en 2006 el proyecto “Laboratorio permanente: Potenciación del uso de los recursos de los laboratorios mediante técnicas de IT”, financiado por la Universidad Politécnica de Madrid. El cometido del proyecto es desarrollar y aplicar sistemas interactivos que sirvan de apoyo a los estudiantes y a los profesores en distintas fases del proceso enseñanza-aprendizaje, incidiendo sobre todo en el acceso remoto a recursos escasos, con la finalidad última de mejorar la eficiencia del proceso formativo.

La motivación para realizar este ambicioso proyecto nace de la necesaria tendencia que marca el nuevo contexto educativo del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), en el que se desea que el alumno y el desarrollo de sus capacidades pasen a ocupar el lugar central, exigiendo que los métodos y herramientas deban experimentar cambios que permitan que el alumno “tome las riendas” de su aprendizaje.

En este caso nos centraremos en un aspecto primordial de la formación de los alumnos: el trabajo experimental. Así, atendiendo a la formulación expresada en el anterior párrafo, en futuros Planes de Estudio se debería aumentar el número de horas que los alumnos pueden acceder a los Laboratorios y la variedad de actividades que pueden realizar en ellos, siendo conveniente que ellos mismos puedan diseñar algunos experimentos. Sin embargo, esta loable iniciativa se ve obstaculizada casi siempre por dos problemas:

- Mantener abiertos los laboratorios docentes de forma permanente o semipermanente supone un coste en personal que no suele ser asumible con la actual estructura de personal por los Departamentos implicados. No se prevén cambios en el futuro, ya que la dotación de personal es lenta, cuando no imposible.

- Los equipos, maquetas o los bancos de ensayo empleados para realizar las prácticas más completas suelen tener un coste muy elevado y, por ello, se suele disponer de un número reducido de ellos, e incluso en ocasiones sólo se dispone de un puesto de prácticas. Esto no permite que todos los alumnos puedan acceder a su uso en las habituales sesiones de prácticas de dos o tres horas de duración.

Hemos de buscar soluciones distintas para afrontar situaciones como la presentada. En esa línea, este proyecto pretende aportar una solución: permitir ampliar al máximo el horario en que los laboratorios están disponibles para el alumno mediante acceso no presencial, y de esta manera potenciar una experiencia más individualizada procurando que el coste, tanto económico como de personal, sea asumible.

Nuestro enfoque en este aspecto es claro: no se pretende sustituir el laboratorio presencial tradicional por uno remoto o simulado [1]. Los métodos docentes a implantar contemplan prácticas de laboratorio realizables mediante acceso remoto en los siguientes casos:

- sustitución de alguna práctica a realizar por métodos convencionales, cuando sea posible y beneficiosa dicha sustitución
- inclusión de alguna práctica complementaria, por ejemplo una práctica intermedia a realizar en aquellas semanas en las que no hay prácticas presenciales (puentes, suspensión de sesiones, etc.)

Se hace uso de sistemas de comunicación telemáticos capaces de proporcionar de manera continuada medidas reales de magnitudes registradas mediante los instrumentos de medida disponibles, ofreciendo al alumno la posibilidad de disponer de estos datos en red. Con esto el alumno tiene acceso a experimentos en momentos distintos a los de la realización de la práctica en el laboratorio, fomentando su espíritu de experimentación, el manejo de instrumentos que habitualmente no usa por falta de disponibilidad y posibilita que pueda ampliar sus destrezas experimentales, realizando prácticas no programadas en sesiones presenciales.

Con esta filosofía de trabajo que presentamos, el laboratorio donde se implanta pasará de ser totalmente presencial a ser semi-presencial, pero manteniendo siempre una cuota de prácticas presenciales superior a las remotas, ya que consideramos imprescindible la realización de una base experimental asistida por el profesor, dejando las prácticas más avanzadas a la realización autónoma y remota. De esta forma el alumno no se “sentirá abandonado a su suerte” y estará en condiciones de afrontar una experiencia más individualizada cuando realice las prácticas a distancia [2].

En una primera fase del proyecto, se ha planteado la incorporación de este nuevo planteamiento, que denominamos “laboratorio permanente”, a algunas prácticas de una asignatura del presente Plan de Estudios de Ingeniería Técnica Industrial en Electrónica Industrial, y evaluar distintos aspectos de su uso. En función de los resultados, se planteará la posterior ampliación a otras asignaturas de la misma titulación.

2. Objetivos del proyecto

El primer objetivo es proporcionar un acceso permanente (24horas los 7 días de la semana) a ciertos recursos de los laboratorios en los que se implanta el proyecto, gracias a la aplicación de las tecnologías de la información (IT) que se materializan en las siguientes propuestas:

- Acceso individualizado a recursos escasos a través de una red local o Internet.
- Realización o recuperación de prácticas por vía telemática.
- Realización de trabajos de la asignatura.
- Desarrollo de experimentos propios.

El segundo objetivo que nos marcamos es aplicar los resultados obtenidos con esta experiencia al diseño de los laboratorios de las asignaturas propias de nuestra área en los nuevos Títulos de Grado, siempre que ello redunde en una mejora del proceso educativo.

3. Ejemplo de aplicación: Laboratorio de Regulación Automática

Aplicaremos esta nueva metodología a la asignatura Regulación Automática II, impartida en el cuarto cuatrimestre de los estudios de Ingeniería Técnica Industrial en Electrónica Industrial.

Los experimentos se llevarán a cabo sobre una maqueta utilizada para realizar prácticas de Control y Electrónica desarrollada por profesores del Departamento [3], [4], [5]. Al ser un desarrollo propio, el conocimiento sobre el sistema es completo, pero puede aplicarse también a equipos didácticos comerciales sin ninguna dificultad [6].

A continuación realizaremos la descripción detallada de todos los elementos físicos que conforman nuestro sistema, con el ánimo de que sea una experiencia útil para otros docentes que deseen implementar prácticas remotas con elementos ya existentes en sus laboratorios.

4. Descripción de los elementos físicos del sistema desarrollado.

El sistema utilizado es lo suficientemente interesante como para haber sido la base para la creación de otros proyectos de laboratorios similares por parte de colaboradores de los diseñadores [7]. En concreto, permite controlar la diferencia de temperaturas entre las dos caras de una célula Peltier. Para una mayor comprensión, está dividido en 5 módulos interconectados. Las funciones de cada uno de ellos son:

- Célula Peltier: aloja la célula cuya temperatura queremos controlar y un sensor de temperatura tipo LM35.
- Sistema de potencia: amplificador de tipo transconductor que alimenta la célula.
- Módulo de acondicionamiento de la temperatura: Acondiciona las señales de diferencia de temperaturas entre caras de la célula Peltier.
- Observador Peltier: Permite medir la potencia eléctrica dada a la célula. Ésta ha sido propuesta como una variable de estado del modelo continuo.
- Etapa de aislamiento: Permite la interacción segura de la maqueta Peltier desarrollada con un PC. En éste se implementa un osciloscopio digital.

La figura 1 muestra una vista de conjunto de dicha maqueta educativa.

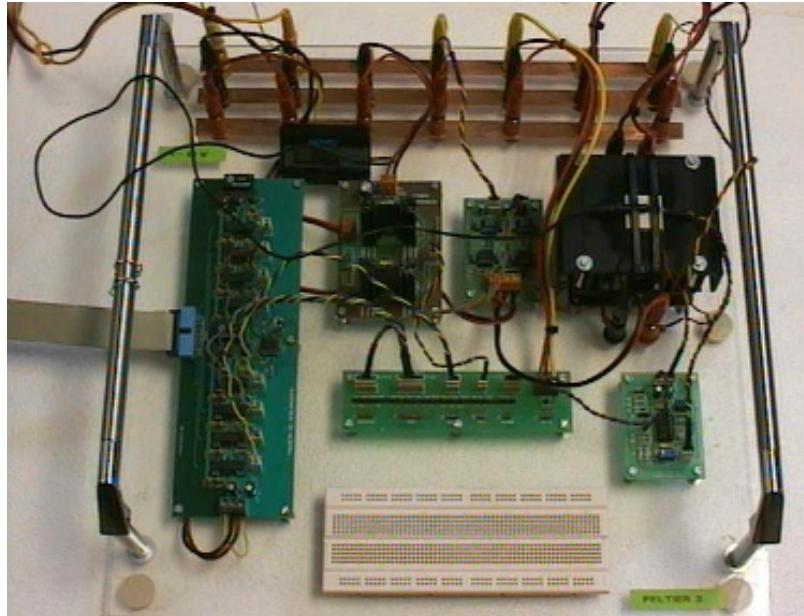


Figura 1. Maqueta para el control de la temperatura de una célula Peltier. Se observan, de arriba abajo y de izquierda a derecha, la zona de interconexión, etapa de aislamiento, sistema de potencia, módulo observador, célula Peltier, tarjeta de interconexión, acondicionamiento de señal y “protoboard” para los montajes de los alumnos.

Diseñada en un principio para ser utilizada “in situ” por los alumnos, la modificación de los parámetros del sistema y la inserción o exclusión de elementos en el mismo era totalmente manual: los alumnos actúan sobre resistencias ajustables, sustituyen unos componentes por otros, montan circuitos en placas de prototipado rápido y realizan las interconexiones pertinentes mediante puentes o cables; acciones que obviamente son imposibles a distancia.

Se ha rediseñado la maqueta para la adaptación a su uso remoto, de forma que todas las acciones sobre ella puedan hacerse mediante líneas de entrada analógicas o digitales. Buscando minimizar el rediseño necesario para la adaptación a su uso remoto, las soluciones adoptadas han sido las siguientes:

- Donde ha sido posible las señales de polarización o de referencia se han generado con las salidas analógicas de una tarjeta de adquisición.
- Las resistencias ajustables se han sustituido por potenciómetros digitales.
- Para la inclusión o exclusión de un circuito en el sistema se ha recurrido a circuitos premontados, aunque de parámetros ajustables, y al uso de relés.
- Los potenciómetros y los relés se controlan por medio de las líneas digitales de una tarjeta de adquisición, previo acondicionamiento por circuitos diseñados a tal fin.

La figura 2 muestra esquemáticamente la solución seguida. En la misma se observa como el lazo de realimentación es cerrado físicamente mediante un conmutador. Esta realimentación también es fácilmente implementable mediante software directamente en el servidor una vez que se tiene acceso a la variable de salida y la de referencia.

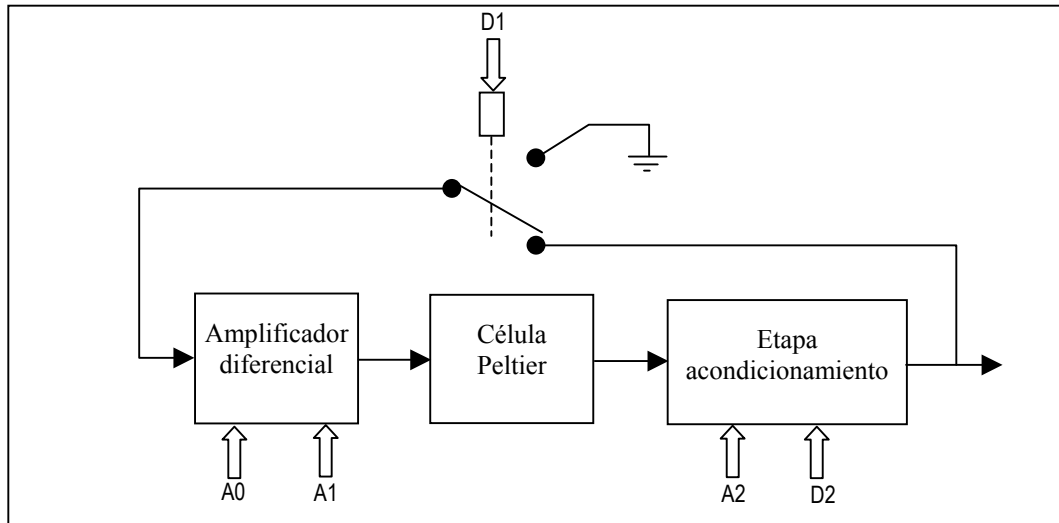


Figura 2. Esquema de la disposición de las distintas señales de control generadas desde el servidor y que permiten el control remoto de la maqueta de la célula Peltier.

De igual forma, se mantienen las señales que el alumno debe modificar mediante el ajuste de potenciómetros cuya finalidad es la de calibrar el equipo para las condiciones de temperatura que se tienen en el laboratorio en el momento de realizarla. Las señales que son directamente controladas desde el ordenador son las siguientes:

- A0: Referencia emitida por el PC como consigna para el sistema de control
- A1: Control de ganancia del amplificador diferencial que realiza la labor de comparador. Sustituye a una combinación de resistencias con las que se modificaba la amplificación.
- A2: Señal analógica que modifica la ganancia de un amplificador de precisión, de forma que se obtiene el máximo rango para el valor mínimo de temperatura alcanzable por la célula.
- D1: Señal digital que permite la conmutación entre la cadena abierta y una cadena cerrada.
- D2: control del potenciómetro de ajuste del cero de la etapa de acondicionamiento del sensor de temperatura. Su finalidad es la de fijar el valor de 0V del sensor para la temperatura ambiental.

La señal analógica A0 se implementa de forma directa por el ordenador. Las señales A1 y A2 implican el uso de amplificadores de ganancia controlada por tensión (VCA). Por ejemplo, para implementar A2 se ha sustituido un amplificador operacional de la etapa de acondicionamiento, con ganancia regulable entre 1 y 10, por un amplificador VCA de audio modelo SSM2018 de Analog Devices [8]. La elección de dicho amplificador estuvo condicionada por la tensión de alimentación común al resto de amplificadores (± 12 voltios), la señal a amplificar, prácticamente continua y la disponibilidad del VCA. La figura 3 muestra la transición de un circuito a otro. Como puede observarse, la complejidad del circuito aumenta considerablemente, pero esta opción resultó ser más adecuada frente a otros VCA con circuitería más simple probados con anterioridad. Destacar que existe una versión del amplificador denominada SSM2018T que elimina los ajustes externos (los potenciómetros y componentes alrededor de ellos) pero que no se encontraba disponible para cantidades pequeñas.

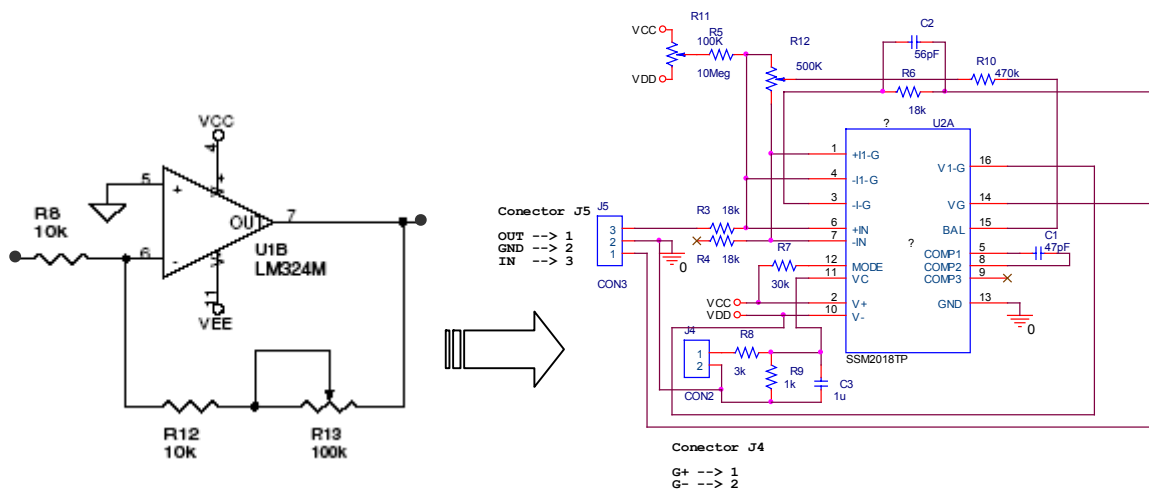


Figura 3. Esquema que muestra la sustitución de un amplificador controlado mediante un potenciómetro por un VCA.

La señal digital D1 es un único bit que controla un relé, no así la señal D2, que comanda un potenciómetro digital y por tanto es un conjunto de señales que implementan un protocolo completo. Sustituye a un potenciómetro encargado del ajuste de cero en la etapa de medida de la temperatura. Para implementarlo se eligió el circuito AD5520 de Analog Devices [9], que contiene un potenciómetro digital comandado por tres señales digitales:

- una señal de habilitación CS, activa a nivel bajo. En un principio, podríamos unirla permanentemente a masa, ya que el potenciómetro funciona permanentemente
- una señal de reloj, que permite la actualización en el flanco de bajada de la señal
- una señal de control U/\overline{D} . Si vale “1”, el valor resistivo del potenciómetro aumenta en el siguiente ciclo de reloj, y si vale “0” disminuye

por tanto el potenciómetro varía con los pulsos de reloj, lo que podemos implementar fácilmente mediante la tarjeta de adquisición. En la figura 4 se muestra el circuito sustituto. Podemos observar que el integrado AD5520 no lo referimos a masa, sino a una tensión negativa. Ello se debe a que la señal en el cursor del potenciómetro tiene que poder tomar valores positivos y negativos, mientras que el integrado tiene limitada su excursión a valores entre la tensión de referencia y alimentación, por lo que la referencia se hizo que fuera negativa. Para la comunicación con la tarjeta de adquisición, se ajustan los niveles mediante optoacopladores.

Así el control de toda la maqueta se puede ejercer desde una tarjeta de adquisición de datos. Esto nos permite realizar las prácticas a través de una interfaz de ordenador de principio a fin, sin tener en ningún momento que actuar físicamente sobre la maqueta. La única diferencia que esto supone con respecto a la realización en forma presencial es que los alumnos no pueden montar circuitos propios en la placa de pruebas. Sin embargo, esto no impide que, por ejemplo, se diseñe un circuito que pueda ser comandado por ordenador y se monte en dicha placa, para posteriormente ser incorporado a alguna práctica.

El ordenador en el que insertamos la tarjeta de adquisición de datos y que por tanto es capaz de controlar la maqueta y de obtener datos sobre su funcionamiento es también el servidor que pone el

conjunto a disposición del alumno por medio de Internet. En la figura 5 se muestra un esquema de cómo es dicho sistema telemático.

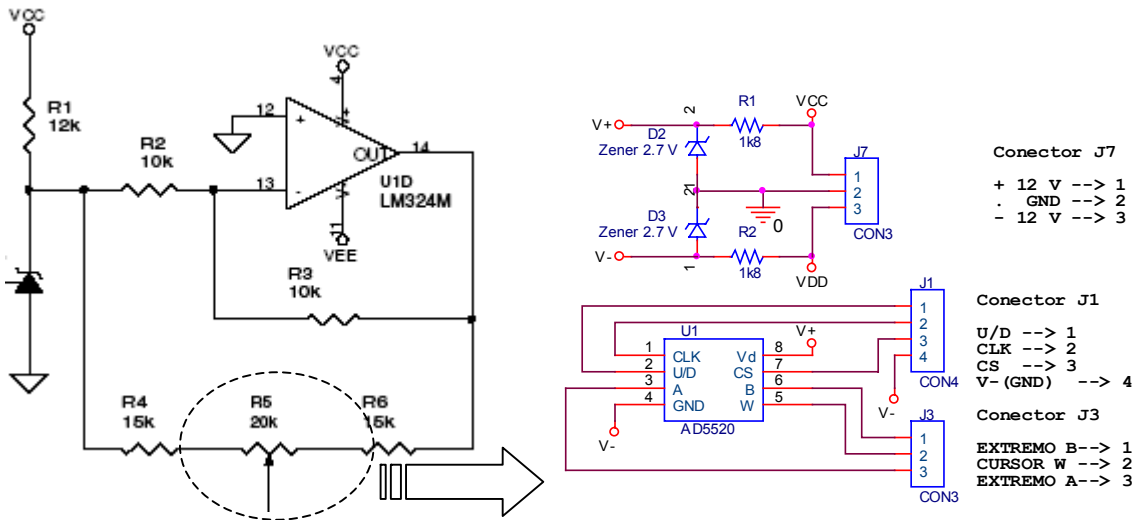


Figura 4. Esquema que muestra la sustitución de un potenciómetro manual por uno digital.

El alumno por medio de un navegador cualquiera accede a la página web de las prácticas. La información que llega al cliente es html estático dado que el servidor se encarga de preparar la página web y las imágenes en función de como se haya ido desarrollando la práctica. Esto permite que no sea necesario la instalación de ningún software adicional en el cliente. En dicha página web, y con la idea de mantener al alumno lo más cercano al sistema real, se transmiten imágenes desde una webcam, lo cual permite entre otras cosas ver los dígitos del sensor de temperatura incluido en la maqueta.

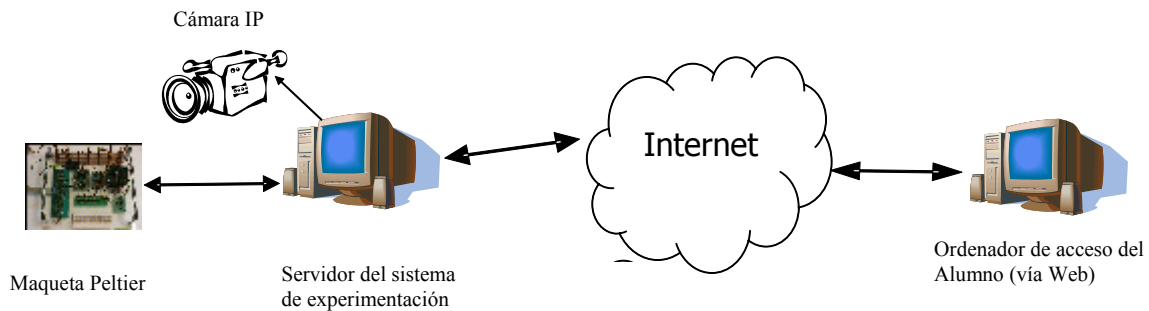


Figura 5. Representación esquemática de la arquitectura física del sistema telemático.

Una vez que el alumno fija los parámetros necesarios para realizar el experimento, estos son utilizados por el servidor para actualizar los valores de las señales de control de la maqueta mientras que registra las distintas señales observadas.

Al finalizar el experimento, y de forma automática se actualiza la página web del cliente, en el que se muestran los resultados y gráficas que permiten al alumno la resolución de las cuestiones planteadas en el guión de la práctica.

La exposición de toda la arquitectura software que permite el funcionamiento del sistema telemático, así como el no menos importante software de gestión del sistema (prácticas, estadísticas de uso, acceso y validación, control de uso, etc.) se encuentra en el artículo "Arquitectura Cliente-Servidor para un Laboratorio Remoto", presentado también en el Congreso.

5. Prácticas piloto. Calendario de implantación.

Las practicas que se han programado para ser realizadas remotamente son una adaptación de dos de las practicas que se cursan en las asignaturas de Regulación Automática I y II [3], en la Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos Industriales de Madrid. El proyecto está actualmente en curso, por lo que aún no se han obtenido resultados experimentales. Es la intención del grupo realizar una primera experiencia con los alumnos del curso 07/08 a finales del mes de mayo. Posteriormente se pretende ampliar a los alumnos del curso 08/09 tanto en el primer como en el segundo cuatrimestre, y extraer conclusiones a partir de ambas experiencias, que nos permitan evaluar la posibilidad de ampliar el número de prácticas a dos por cuatrimestre, cuatro en total, y también a acometer nuevas realizaciones en la línea de este proyecto.

A continuación se detalla el contenido de las prácticas seleccionadas para esta primera experiencia, y su proceso de ejecución.

5.1. Modelado de la maqueta con célula Peltier

La practica comienza con la lectura obligatoria de los conceptos teóricos básicos, como la descripción de la célula Peltier, su comportamiento, y las ecuaciones físicas correspondientes. También se debe estudiar el sistema físico completo de la maqueta, incluyendo todos sus componentes: Etapa de potencia, etapa de acondicionamiento, observador de la célula Peltier, etapa de aislamiento, la computadora y su conexión a la maqueta y los dispositivos conectados como cámaras web y termómetro físico aplicado a la Peltier. Todas las señales entre la computadora y la maqueta también son explicadas.

El alumno debe responder correctamente en un cuestionario en el que se mezclan preguntas tipo test y preguntas con un resultado numérico (validable por el ordenador) antes de poder realizar la parte experimental.

A continuación comienza la parte experimental, estructurada en 3 fases:

1. Calibración del equipo. El usuario ajusta la señal de control de potencia de la Peltier a cero, apuntando la temperatura final (ambiente) cuando esta se establece. A continuación, proporciona a la Peltier la máxima potencia, anotando igualmente la temperatura cuando la Peltier llega al régimen estacionario. Estos valores permiten definir el offset y la ganancia de la etapa de acondicionamiento que serán utilizados en los siguientes experimentos.
2. Cálculo de ganancias estáticas. La señal de control se ajusta en 10 valores diferentes entre la potencia mínima y la máxima, esperando al régimen permanente para anotar los valores de tensión e intensidad aplicadas a la Peltier (del observador), la temperatura alcanzada y la señal de salida de la etapa de

acondicionamiento. Este experimento permite establecer las relaciones necesarias para el cálculo de las ganancias estáticas mediante los coeficientes de regresión lineal.

3. Cálculo de la constante de tiempo. Se genera un escalón en la señal de entrada desde el mínimo hasta el máximo. Se captura la señal de salida de la etapa de acondicionamiento y se establece la constante de tiempo del sistema, así como el modelo aproximado mediante Ziegler-Nichols.

La practica termina con el cálculo de la función de transferencia del sistema y la validación por parte del sistema de los resultados prácticos introducidos por el alumno en un formulario.

5.2. Lugar de las raíces

Esta practica comienza por una descripción de los pasos a seguir así como de las reglas para construir el lugar de las raíces de un sistema. En este caso se parte de una función de transferencia más exacta con un doble objetivo: tener un modelo mas preciso y partir de un modelo conocido e igual para todos los alumnos.

En las cuestiones teóricas, el alumno debe construir el lugar de las raíces del sistema Peltier en cadena abierta, así como calcular la FDT para el sistema realimentado unitariamente con distintos valores de ganancia del amplificador de la señal de error. Igualmente se obtendrán los polos dominantes, error en régimen permanente, tiempos de establecimiento para las distintas ganancias, y respuesta ante escalón. Finalmente se construirá el LDR para el sistema con una ganancia concreta. Estos resultados serán introducidos por el alumno en un formulario y validados por el sistema, antes de proceder a la parte experimental.

Las cuestiones practicas comienzan por la calibración obligatoria igual a la descrita en el apartado anterior. A continuación, el objetivo es comprobar en la practica el desplazamiento real del sistema a lo largo del LDR anterior. Para ello se cerrara la realimentación del sistema y estando el sistema en reposo, se producirá un escalón, anotando el error en régimen permanente y el tiempo de establecimiento. Este experimento se repite 3 veces para distintos valores de la ganancia del amplificador de la señal de error.

El alumno debe comparar las respuestas con la respuesta del sistema en cadena abierta. La practica finaliza con la validación por parte del sistema de los datos experimentales introducidos por el alumno en un formulario.

6. Conclusiones

Con la implementación y puesta en marcha de la plataforma presentada se logran conseguir los principales objetivos marcados en cuanto a la disponibilidad y optimización de equipos experimentales, y se posibilita que el alumno amplíe su dedicación de prácticas de laboratorio, flexibilizando el horario de realización, permitiendo un acceso individualizado y personalizado, adaptándose a la disponibilidad del alumno respecto de la carga de otras asignaturas, así como, de otras actividades docentes y no docentes.

En cuanto a las conclusiones globales, obviamente, se mantienen abiertas vías de análisis para poder realizar los estudios correspondientes en cuanto se tengan datos relevantes de la realización de las prácticas de forma remota por parte de los alumnos. Entre otros aspectos, se espera poder evaluar, la aceptación de estas experiencias telepresenciales comparando los resultados de evaluación entre los

grupos que las realizan de forma presencial y los que las llevan a cabo mediante la citada plataforma. Del mismo modo, esperamos poder sondear la opinión sobre el grado de manejabilidad y ergonomía de la interfaz para poder marcar futuras adaptaciones y líneas de trabajo encaminadas a la adaptación y mejora de la misma y conseguir de esta forma, una mayor eficiencia y agrado de uso. Por otro lado, se ha previsto una estructura modular para poder crecer desde el punto de vista de la evaluación y gestión de los alumnos, para intentar conseguir una atención lo más individualizada posible, garantizando en este sentido, una orientación final casi definitiva hacia la evaluación personalizada y lo más continua posible.

Dentro de las líneas futuras cabe incluir también, en función de los resultados finales, la posible modificación de los objetivos experimentales de las prácticas planteadas, así como la ampliación del número de las mismas. De la misma manera, se podrá evaluar la extensión y uso por parte de otras asignaturas, que mediante las necesarias implementaciones podrán acogerse a esta dinámica de realización experimental mediante el acceso remoto. Los resultados obtenidos pueden ser extrapolables y directamente aplicables a otras disciplinas en las que las sesiones prácticas de laboratorio resultan fundamentales para completar los contenidos curriculares, y por tanto, la formación final en dichas áreas o especializaciones

7. Agradecimientos

El proyecto presentado en esta comunicación ha sido financiado mediante los fondos para Innovación Didáctica de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, y por el programa “Ayudas a la Innovación Educativa en el marco del proceso de implantación del Espacio Europeo de Educación Superior y a la mejora de la Calidad de la Enseñanza” convocado por el Vicerrectorado de Ordenación Académica y Planificación Estratégica, ambos pertenecientes a la Universidad Politécnica de Madrid. Los autores desean agradecer al Vicerrectorado y a la Dirección de la Escuela Universitaria el apoyo manifestado, que ha hecho posible la puesta en marcha este grupo de innovación educativa.

Referencias

- [1] J. Ma, J.V. Nickerson. “HandsOn, Simulated, and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review”. ACM Computing Surveys, Vol. 38, No. 3, Article 7, septiembre 2006.
- [2] I. Gustavsson, J. Zackrisson, K. Nilsson, J. García-Zubía, L. Haracksson, I. Claesson, T. Lagö. “A flexible Instructional Electronics Laboratory with Local and Remote Labs Workbenches in a grid”. Proceedings of the 2nd International Workshop on e-learning and Virtual and Remote Laboratories, Postdam, 2008.
- [3] C. Platero, L. Castedo, M. Ferre, C. Vicente. “Control clásico y moderno sobre células Peltier en un entorno didáctico”. En Actas XXI Jornadas de Automática, Sevilla, septiembre 2000, ISBN: 84-699-3163-6
- [4] C. Platero, L. Castedo, M. Ferre, C. Vicente. “Un enfoque multidisciplinar para los laboratorios de Electrónica y Automática”. En Actas VIII Congreso de Innovación Educativa en Enseñanzas Técnicas, San Sebastián, septiembre 2000. pp 485-496,
- [5] C. Platero, M. Ferre. Prácticas de Regulación Automática, Servicio de Publicaciones EUITI-Universidad Politécnica de Madrid, 2003.
- [6] C. Girón, F. Huerta, F. J. Rodríguez, E. Bueno, J. Pastor. “Internet Based Laboratory for experimentation with multilevel medium-power converters”. Proceedings of the 2nd International Workshop on e-learning and Virtual and Remote Laboratories, Postdam, 2008.
- [7] Proyecto Ciclope Peltier. En <http://www.ciclope.info/labs/peltier>. Última visita en abril de 2008.
- [8] “SSM2018 Data Sheet”. Rev A. Analog Devices Inc, 1992.
- [9] “AD5220 Data Sheet”. Rev 0. Analog Devices Inc, 1998.