

Experiencia de Uso de un Laboratorio Remoto de Control

Nourdine Aliane

Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática, Universidad Europea de Madrid, Villaviciosa de Odón, Madrid, 28670 (e-mail: nourdine.aliane@uem.es)

Resumen: En los últimos años, hemos asistido a un desarrollo significativo de los laboratorios remotos. Su integración en el ámbito académico ofrece muchas ventajas desde el punto de vista logístico, pero también conlleva un impacto substancial desde el punto de vistas pedagógico. En este trabajo se presenta una experiencia de utilización de un laboratorio remoto de control, cuyo objetivo es mostrar el alcance de la experimentación remota desde el punto de vista de los alumnos así como desde la perspectiva del profesor. Copyright © 2010 CEA.

Palabras Clave: Laboratorios Remotos, Ingeniería de Control, Educación.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, hemos asistido a un avance significativo en el desarrollo de sistemas que permiten realizar experimentos con los equipos de un laboratorio de forma remota. Estos sistemas se conocen como laboratorios remotos, y su uso se ha generalizado a todo el ámbito de las ingenierías (Ma y Nickerson, 2006). En el trabajo (Donzellini et al., 2006) se han recopilado los proyectos y las realizaciones más relevantes en todo el mundo, poniéndose en evidencia la importancia y la envergadura del desarrollo de los laboratorios remotos.

Los investigadores de área del control automático han participado en el desarrollo de esta tecnología de forma significativa y la han impulsado desde sus inicios. En efecto, el trabajo (Aburdene et al., 1991), que fue una idea revolucionaria para su época, propuso un esquema de acceso remoto para que las universidades pudieran compartir sus equipos de laboratorio. Desde el punto de vista educativo, el trabajo (Aktan y Bohus, 1996) se considera como una de las primeras realizaciones de un laboratorio remoto a través de Internet dedicado a la enseñanza del control automático. Desde entonces, se han llevado a la práctica varias implantaciones reales. De todo este avance, destacamos los trabajos del grupo de la "UNED" (Sanchez et al. 2004; Pastor et al, 2005; Dormido et al, 2008), los trabajos del Instituto Tecnológico de Stevens (Nickerson et al.; 2007; Esche, 2006; Aziz et al., 2009), o los trabajos del laboratorio ACT de la Universidad de Siena (Casini et al., 2004; Casini y Prattichizzo, 2003). En el anexo, se ha incluido una lista de laboratorios remotos específicos para el área del control automático. Todos estos laboratorios ofrecen la posibilidad de experimentar sobre maquetas diversas como el control de nivel, el control de temperatura, el control de posición o de velocidad, etc. En general, todas estas plataformas de experimentación remota han sido desarrolladas por las propias instituciones.

En la literatura, la mayor parte de los trabajos acerca de los laboratorios remotos versa sobre los aspectos de diseño arquitectónico y/o la viabilidad de las soluciones tecnológicas utilizadas, y en cambio, poca atención ha sido prestada al eventual impacto pedagógico de la experimentación remota

(Cooper 2005). En (Trevylan, 2004), los autores resumen este hecho como sigue: "*Se ha escrito mucho cómo desarrollar laboratorios remotos, pero se ha investigado poco cómo utilizarlos y cómo hacerlos efectivos*". La utilización racional y efectiva de los laboratorios remotos depende en gran medida del entendimiento de los factores pedagógicos que subyacen de su utilización.

En este trabajo se presenta una experiencia piloto de utilización de LABNET, un laboratorio remoto de control desarrollado en la propia institución del autor (Aliane et al, 2006; Aliane et al 2007). El objetivo de esta experiencia es mostrar el impacto de la experimentación remota desde el punto de vista de los alumnos así como desde la perspectiva del profesor. Igualmente, se comentarán algunas limitaciones pedagógicas inherentes a la experimentación remota en el área del control automático.

En resto del artículo se estructura como sigue: la sección dos presenta brevemente la plataforma utilizada en esta experiencia. La sección tres comenta la experiencia de uso de un laboratorio remoto dando el modelo de utilización, la opinión de los alumnos así como las observaciones del profesor. Finalmente, la sección cuatro recoge las conclusiones más importantes de este trabajo.

2. PLATAFORMA LABNET

LABNET es una plataforma de acceso remoto a un laboratorio de control, y permite realizar experimentos de control sobre tres tipos de sistemas físicos: una maqueta de depósito para el control de nivel, una maqueta de control de temperatura, y un sistema de estabilización de barcos (ver Figura 1).

La plataforma LABNET ofrece la posibilidad de realizar experimentos de control en lazo abierto y en lazo cerrado utilizando controladores predefinidos que se pueden ejecutar en el lado del servidor (modo local) o en el lado del cliente (modo remoto). En modo local, los experimentos son de tipo por lote y los resultados solo se visualizan en el cliente una vez finalizados los experimentos. En la modalidad remota (Overstreet y Tzes, 1999), la realimentación se hace a través de la red y los resultados se visualizan en tiempo real. La posibilidad de cerrar

el lazo a través de la red ha sido utilizada con fines demostrativos, ya que el estudio del efecto de los retardos de la red está fuera del alcance de un curso introductorio de control.

Los controladores predefinidos utilizados por LABNET son tres variantes del controlador PID: el PID teórico, el PID con filtrado de la derivada y el PID con Anti-Windup. Estas tres realizaciones recogen los aspectos más importantes de los PID industriales (Åström y Haggglund, 1995).

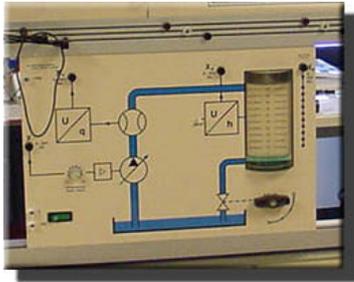


Figura 1.a. Maqueta de nivel.

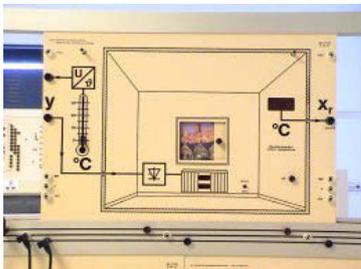


Figura 1.b. Maqueta de temperatura.

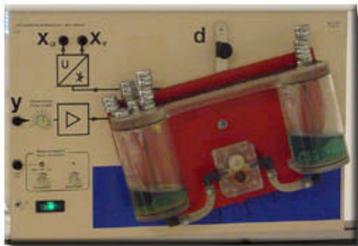


Figura 1.c. Maqueta del sistema de estabilización de barco.

2.1 Arquitectura de LABNET

La plataforma LABNET sigue el paradigma cliente-servidor y su arquitectura está resumida en la Figura 2, y su software de control se articula en dos aplicaciones bien diferenciadas: el cliente y el servidor.

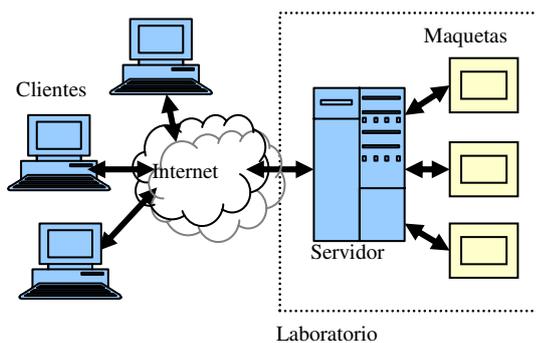


Figura 2. Arquitectura de LABNET.

2.2 El cliente

Una sesión con LABNET empieza con un proceso de autenticación, y una vez superado dicho proceso el servidor informa al usuario de las maquetas disponibles. El acceso a las utilidades de LABNET se hace a través de una barra de herramientas que despliega de forma inmediata los cuadros de diálogo necesarios para la especificación y la realización de los experimentos. El sistema de navegación es intuitivo y muchos cuadros de diálogo incorporan ayudas que proporcionan definiciones de conceptos y ofrecen algunas explicaciones de los procedimientos más usados. Las utilidades más importantes del cliente son la especificación de los experimentos, la visualización de datos e informes y la reutilización de plantillas.

En la especificación de los experimentos, el usuario empieza una sesión con la selección de una maqueta. A continuación, se selecciona un controlador y se configuran sus parámetros. Muchos otros parámetros como la señal de referencia o el periodo de muestro tienen que configurarse antes de iniciar la ejecución del experimento. El usuario puede realizar estos pasos en cualquier orden o de forma secuencial, dejando el asistente del LABNET desplegar los cuadros de diálogo necesarios para completar la especificación del experimento. La Figura 3 muestra el aspecto general de la interfaz de usuario así como unos cuadros de diálogo utilizados en la especificación de los experimentos.

LABNET cuenta con un gestor de plantillas que se puede utilizar en la especificación de los experimentos. Una plantilla define un experimento tipo que el usuario puede recuperar para realizar cambios eventuales y ejecutarlo de forma inmediata. Esta utilidad supone una simplificación substancial en el proceso de especificación de los experimentos. Una plantilla es un archivo plano que contiene los parámetros necesarios para especificar un experimento, por lo que los usuarios avanzados de LABNET pueden especificar sus experimentos haciendo uso de un editor de texto.

LABNET ofrece varias utilidades para el procesamiento de datos. La primera de ellas consiste en visualizar gráficamente las señales involucradas en los experimentos, como las señales de referencias, la respuesta del sistema o la señal de control. La segunda permite a los usuarios exportar los datos de un experimento determinado a los entornos de Matlab o Excel. Una tercera utilidad consiste en la generación automática de informes de los experimentos. Estos informes son archivos estructurados que contienen datos de identificación del usuario, de las maquetas empleadas en el experimento, el controlador y el ajuste de sus parámetros, y contiene también una serie de enlaces a las gráficas y a los datos del experimento. Esta utilidad se ha resultado de gran ayuda para los alumnos a la hora de documentar sus prácticas. La Figura 4 muestra un ejemplo de visualización de datos.

2.3 El servidor

El servidor es un PC con un procesador Pentium-III bajo Windows 2000 que está conectado, por un lado, a la red, y por otro, a las maquetas por medio de dos tarjetas de adquisición de datos de tipo PC-LAB-816 para bus ISA. Estas tarjetas permiten la conexión de hasta cuatro maquetas.

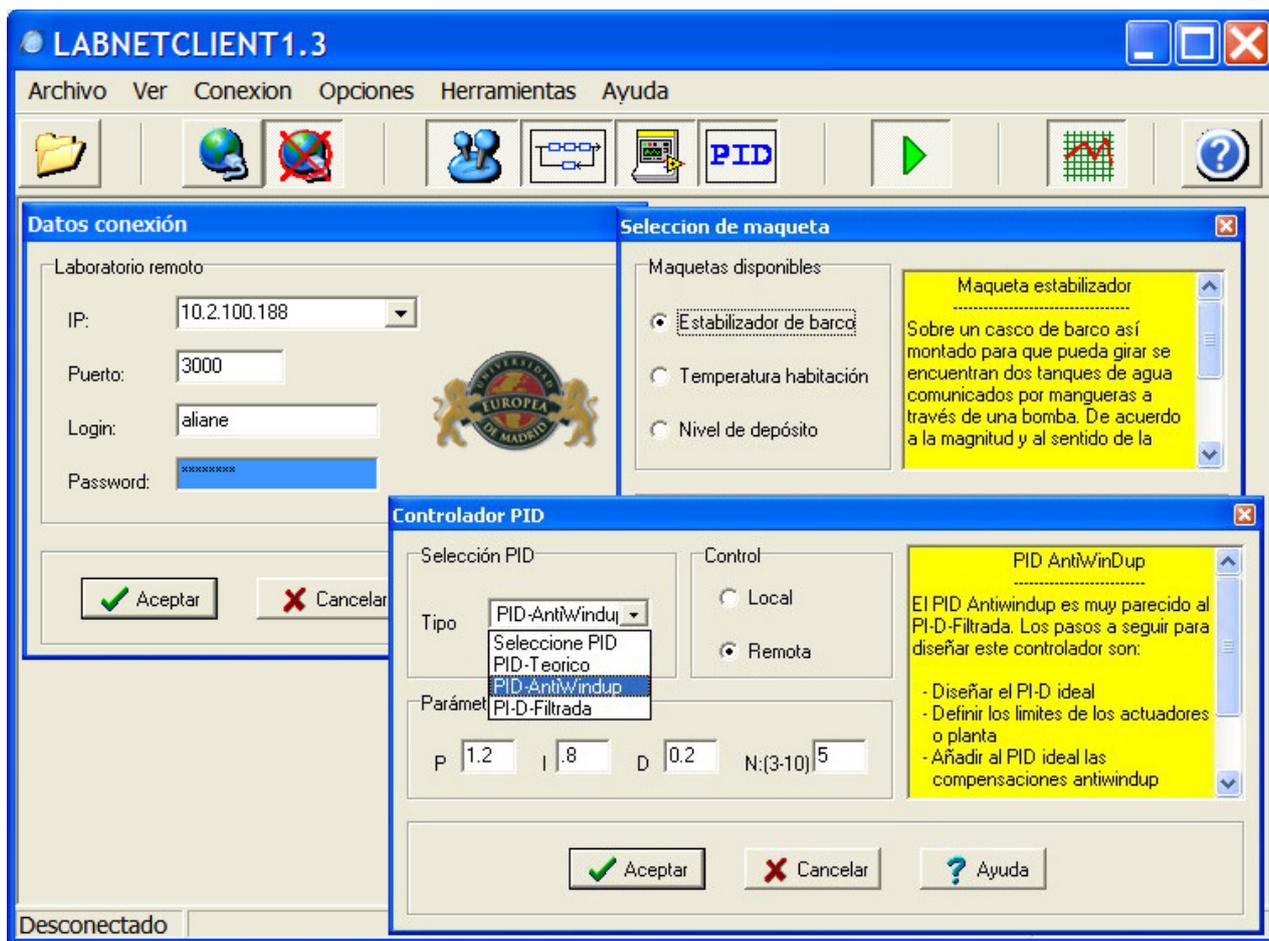


Figura 3. El cliente LABNET y algunos cuadros de diálogo.

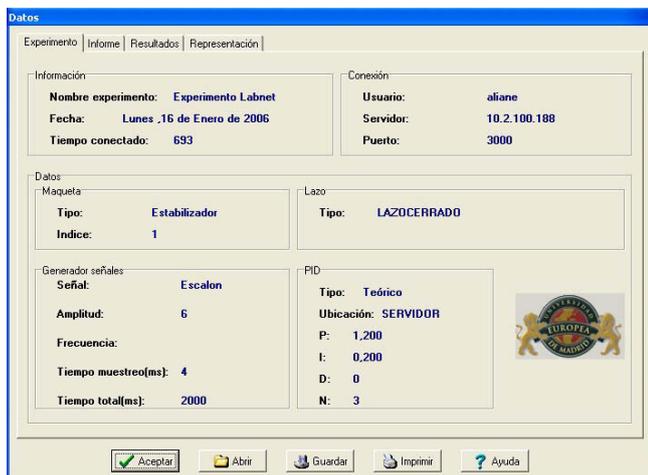


Figura 4.a. Datos de un experimento.

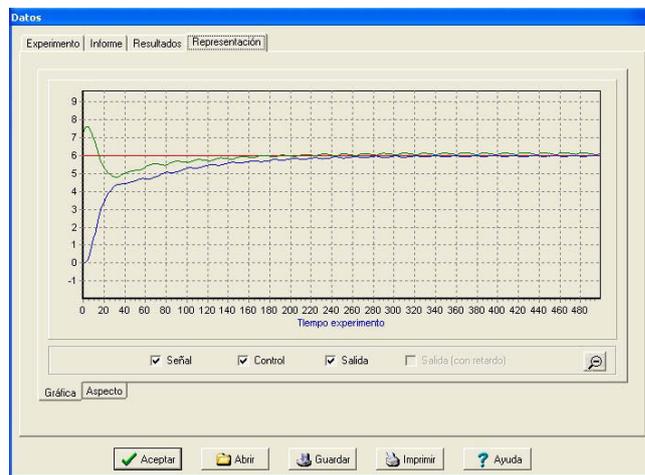


Figura 4.b. Visualización de las graficas de un experimento.

El servidor ejecuta LABNET, una aplicación con dos modos de funcionamiento: en línea y fuera de línea. En el modo fuera de línea, LABNET está normalmente parado en el sentido de no atender las conexiones remotas, y en este caso, solo permite realizar las tareas de configuración del sistema como la gestión de los usuarios o la administración de las maquetas. El acceso a

todas las tareas de gestión se hace a través de una interfaz gráfica, tal y como lo muestra la Figura 5.a. En su modo de funcionamiento en línea, el servidor atiende las solicitudes de los usuarios y gestiona los experimentos en tiempo real. El sistema permite un acceso simultáneo de hasta cuatro usuarios.

Figura 5.a. El servidor LABNET.

Para facilitar la integración de las maquetas en las operaciones de asignación de las entradas-salidas, LABNET define modelos virtuales de las maquetas para configurar todos los parámetros como la polaridad, los niveles eléctricos de las señales involucradas en el control de las mismas, etc. El administrador realiza las conexiones de las maquetas al servidor guiado por una interfaz de usuarios gráfica, tal y como lo muestra la Figura 5.b.

Finalmente, LABNET ofrece la posibilidad de monitorizar en tiempo real los experimentos en ejecución, identificando a los usuarios conectados, las maquetas utilizadas, el tipo de experimentos que se están realizando, y muchos otros parámetros relativos a un experimento.

2.4 Posibles ampliaciones

LABNET es un primer prototipo que implementa las funcionalidades básicas de un laboratorio remoto, y lógicamente, el sistema tiene muchas posibles mejoras. Desde el punto de vista funcional, se está considerando dotar a la plataforma de un sistema de gestión de reservas y de un sistema de benchmarking para la comparación del desempeño de los diferentes controladores. Asimismo, se está contemplando incrementar su capacidad experimental con la incorporación de utilidades como la identificación en línea y el ajuste automático de los controladores. Estas mejoras se plasmarán en un segundo prototipo y harán que LABNET sea una plataforma completa y versátil.

3. EXPERIENCIA DE USO

3.1 Modelo de uso

La plataforma LABNET ha sido utilizada en una asignatura de ingeniería de control durante el curso 2006-2007 para

Figura 5.b. Administración de las maquetas.

complementar las actividades de laboratorio. En el marco de esta experiencia, su utilización ha sido de carácter optativo. El desarrollo de las actividades de laboratorio empieza con una sesión presencial obligatoria, y a continuación, se ofrece a los alumnos la posibilidad de completar sus trabajos de forma remota. Para esto, la plataforma LABNET ha sido habilitada durante un periodo de cuatro semanas y durante una franja horaria limitada.

3.2 Las practicas de laboratorio

En esta experiencia, nos hemos limitado a utilizar las maquetas de temperatura, ya que presentan un comportamiento dinámico más lineal en comparación al resto de las maquetas, y en consecuencia, son más adecuadas para ayudar a los alumnos a relacionar la práctica con los contenidos teóricos. En esta ocasión, se han propuesto dos prácticas de laboratorio que se comentan a continuación.

La primera práctica ha sido enfocada a demostrar a los alumnos que los modelos utilizados para describir la dinámica de los sistemas físicos tienen limitaciones. Para esto se pide realizar experimentos recogiendo unos cuantos registros de datos de las respuestas en lazo abierto en varios puntos de funcionamiento, y a continuación, exportar los datos a Matlab. La tarea consiste en realizar una identificación de sistema buscando dos modelos; uno de segundo y otro de tercer orden que mejor se ajustan a la dinámica de la maqueta. Se pide también validar los modelos comparando sus respuestas contra las respuestas del sistema real en varios puntos de funcionamiento, y juzgar la bondad de los modelos obtenidos mediante la evaluación del criterio de la integral del error cuadrático.

La segunda práctica está enfocada a dar a los alumnos la intuición necesaria para ajustar los reguladores PID. Para esto, la

práctica plantea comparar dos técnicas de diseño distintas: el enfoque empírico frente al método analítico. En la primera parte se pide a los alumnos explorar de forma iterativa el ajuste de los parámetros de PID, y mediante observación, el alumno debe encontrar el ajuste de los parámetros del controlador que cumplan los requerimientos (error estático, tiempo de respuesta y sobre-nivel). En una segunda parte el alumno debe utilizar el modelo de segundo orden obtenido en la primera práctica, y ajustar el controlador mediante el método del lugar de las raíces. El alumno, puede utilizar las herramientas de análisis y diseño que ofrece Matlab, y a continuación, comprobar sus ajustes con el sistema real.

3.3 Opinión de los alumnos

La utilización de un laboratorio remoto conlleva, sin lugar a dudas, un determinado impacto que conviene valorar. En este aspecto, la opinión de los alumnos constituye un primer indicador, no solo para reflejar su grado de satisfacción en la utilización del laboratorio remoto, sino también para valorar el impacto que conlleva la experimentación remota sobre el aprendizaje.

La opinión indagada es cualitativa, y para esto, se ha recurrido a una entrevista grupal semi-estructurada (Olds et al, 2005). La entrevista se celebró al finalizar las prácticas de laboratorio, y a la cual participaron una docena de alumnos. Para alentar el debate, el moderador formula preguntas concretas al conjunto de los alumnos, y a continuación, deja a los alumnos opinar sobre todos los puntos que derivan del debate. Las preguntas formuladas durante la entrevista-debate fueron:

- ¿Qué opinión os merece la utilización de un laboratorio remoto?
- ¿Cuáles son las limitaciones y fortalezas de un laboratorio remoto?
- ¿Qué preferís para la realización de las prácticas de laboratorio: el laboratorio convencional, el laboratorio remoto o la modalidad mixta?

A la primera pregunta, la mayoría de los alumnos coinciden en que los objetivos que se plantean en los experimentos remotos no son realmente distintos de los que se plantean en un experimento real. Los alumnos piensan uniformemente que no hay ninguna diferencia entre la experimentación real y la remota siempre y cuando se tiene un conocimiento previo del funcionamiento de las maquetas y del material involucrado en los experimentos. Cabe destacar que la totalidad de los alumnos desconocían la existencia de la experimentación remota, y lógicamente, les ha parecido un logro significativo poder acceder a los recursos de un laboratorio utilizando Internet. Varios alumnos confesaron haber tenido una experiencia enriquecedora y que les ha permitido ampliar su visión sobre las posibilidades de Internet.

De las limitaciones de los laboratorio remotos, la mayor crítica ha sido en torno a la falta del sentido de presencia durante la experimentación. La falta de realismo hace que un experimento real se asemeje a una simulación. La segunda mayor crítica ha sido en torno a la falta de asistencia en línea, que algunos alumnos consideran imprescindible para el éxito de un laboratorio remoto. En el mismo contexto, otros alumnos prefieren que las prácticas tengan un guión más detallado explicando el funcionamiento de las maquetas y los pasos a

seguir para la realización de los experimentos. En lo que se refiere a los aspectos positivos, la mayoría de los alumnos considera que la experimentación remota es ventajosa en el aspecto de puesta a punto del sistema experimental al no necesitar ninguna calibración, y que en general, se requiere menos tiempo para la realización de los experimentos.

En lo que se refiere a sus preferencias, el 40% de los alumnos se ha decantado por el laboratorio convencional y un 60% por la modalidad mixta. No considera conveniente realizar todas las actividades de laboratorio de forma exclusivamente remota. En este aspecto, la mayoría considera que la presencia del profesor es imprescindible.

3.4 Opinión del profesor

A pesar del carácter optativo de la utilización de la plataforma remota, los alumnos han respondido positivamente queriendo experimentar y probar la plataforma LABNET. En general, los alumnos que optaron por la experimentación remota han manifestado que el sistema es sencillo de utilizar. Nuestra experiencia, nos demuestra que un entorno de experimentación remota es factible, y que los alumnos se adaptan rápidamente a un escenario educativo que implique su utilización.

Atendiendo a las tutorías realizadas por el profesor (durante las sesiones de laboratorio o las tutorías), la mayor parte de las dudas fueron entorno a los conceptos de control, y pocas preguntas versaron sobre la utilización de la plataforma. Esto nos permite concluir que el manejo del cliente no ha supuesto una carga adicional de aprendizaje, y que su uso ha sido con más naturalidad de lo que se esperaba.

Durante la experiencia, entorno al 55% de las conexiones se han hecho in-situ, es decir los experimentos se efectuaron utilizando LABNET estando en el propio laboratorio y en presencia del instructor. El 45% restante de las conexiones se hicieron desde el propio campus.

Es importante señalar que la mayoría de alumnos involucrados en esta experiencia ya estaban familiarizados con las maquetas y el equipamiento del laboratorio, y esto les ha permitido afrontar la experimentación remota con más confianza. En cambio, los alumnos que no han tenido ningún contacto previo con el material del laboratorio así como los alumnos que carecen de una preparación teórica suficiente han optado por realizar sus trabajos en el laboratorio. La experimentación remota es beneficiosa solo si los alumnos a su vez están bien preparados.

En términos generales, la experiencia de utilización del LABNET ha sido positiva. No obstante, esta misma experiencia ha permitido percatarnos de algunas limitaciones intrínsecas a la experimentación remota. Estas limitaciones se manifiestan claramente en la falta del manejo de la instrumentación por parte del los alumnos en todo lo que se refiere al cableado del sistema de control, la calibración de los sensores, o en la detección de fallos. Los laboratorios remotos, en general, tampoco ofrecen la posibilidad de realizar experimentos enfocados al estudio del efecto de las perturbaciones. Esta limitación se debe a que las maquetas disponibles hoy por hoy en el mercado solo disponen de mecanismos para generar perturbaciones de forma manual. Este es el caso de las maquetas integradas en LABNET (abrir la ventana en la maqueta de temperatura, o actuar manualmente

sobre el grifo para limitar el caudal de salida en la maqueta de nivel).

4. CONCLUSIÓN

En este artículo se ha presentado una experiencia de utilización de un laboratorio remoto de control. La experimentación remota ha sido planteada como una actividad optativa para complementar las sesiones del laboratorio convencional. La utilización del laboratorio de forma mixta (in situ y remota) es la opción más conveniente ya que permite a los alumnos tener un contacto directo con el material de laboratorio y beneficiarse de la asistencia del profesor. Por otra parte, los alumnos pueden utilizar el laboratorio remoto para avanzar en su trabajo fuera del horario de laboratorio.

Los alumnos que han utilizado el sistema han mostrado su satisfacción ante la experiencia, y su utilización ha sido más natural de lo que se esperaba. Los alumnos opinan mayoritariamente que las actividades de laboratorio convencional son más efectivas que sus equivalentes remotas, y opinan de forma unánime que un laboratorio puramente remoto no constituye una alternativa al laboratorio real. Por otro lado, consideran también que la experimentación remota puede constituir un complemento ideal para las actividades de un laboratorio convencional.

Desde el punto de vista del profesor, esta experiencia demuestra que un escenario de experimentación remota es factible y que los alumnos se adaptan rápidamente a un escenario educativo que implique la utilización de un laboratorio remoto. La aceptación o el rechazo de la experimentación remota, por parte de los alumnos, depende en gran medida de sus conocimientos previos del equipamiento utilizado en los experimentos y de su preparación teórica.

REFERENCIAS

- Aburdene, M.F., E. J. Mastascusa and R. Massengale, (1991). A proposal for a remotely shared control systems laboratory, *In Proc of the ASEE, Frontiers in Education Conference*, 589-592, USA-Lafayette.
- Aktan, B. and C. A. Bohus, (1996). Distance learning applied to control engineering laboratories, *IEEE Transactions on Education*, **39**(3), 320-326.
- Aliane, N., A. Martínez, A. Fraile and J. Ortiz, (2007). LABNET: A remote control engineering laboratory, *Int. J. of Online Engineering* **3**(2), [En-línea], <http://www.i-joe.org/ojs/viewarticle.php?id=97>: Último acceso: 15 de Marzo 2009.
- Åström, K. J. and T. Haggglund, (1995). *PID controllers: theory, design, and tuning*, 2nd Edition, ISA, North Carolina, USA, 59-116.
- Aziz, E.S., S. K., Esche and C. Chassapis, (2009). Content-Rich Interactive Online Laboratory Systems, *Computer application in Engineering Education*, Published online in Wiley InterScience DOI 10.1002/cae.20210.
- Casini, M. and D. Prattichizzo, (2003). The automatic control Telelab: A user-friendly interface for distance learning, *IEEE Transaction on Education*, **46**(2), 252-257.
- Casini, M., D. Prattichizzo and A. Vicino, (2004). The automatic control Telelab: A Web-based technology for distance learning, *IEEE Control Systems Magazine*, **24**(3), 36-44.
- Cooper, M., (2005). Remote laboratories in teaching and learning: *International Journal of Online Engineering*, **1**(1), [En-línea] <http://www.i-joe.org/ojs/viewarticle.php?id=11>, último acceso: 15 Marzo (2009).
- Donzellini, G. and D. Ponta, (2006). The electronic laboratory: traditional, simulated or remote? In *Advances on remote Laboratories and E-learning experiences*, University of Deusto, pp.223-245.
- Dormido, R., H. Vargas, N. Duro, S. Sanchez, S. Dormido, G., Farias, et al. (2008). Development of a web-based control laboratory for automation technicians: The three-tank system. *IEEE Transactions on Education*, **51**(1), 35-44.
- Esche, S. K., (2006). On the integration of remote experimentation into undergraduate laboratories: Technical implementation. *International Journal of Instructional Media*, **33**(1), 43-53.
- Ma, J. and J.V. Nickerson, (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative: Literature review, *ACM Computing surveys*, **38**(3), article 7.
- Nickerson, J.V., J. E. Corter and S. K. Esche, (2007). A model for evaluating the effectiveness of remote engineering laboratories and simulations in education, *Computers and Education*, **49**(3), 708-725.
- Olds, B. M., B. M. Moskal and R. L. Miller, (2005). Assessment in engineering education: Evolution, approaches, and future collaborations, *Journal of Engineering Education*, **94**(1), 13-25.
- Overstreet J. W. and A. Tzes, (1999). Real-time control engineering laboratory, *IEEE Control Systems Magazine*, **19**(5), 19-34.
- Pastor, R., J. Sánchez and S. Dormido, (2003). A XML-based framework for the development of web-based laboratories focused on control systems education, *International Journal of Engineering Education*, **19**(3), 445-454.
- Sánchez, J., S. Dormido, R. Pastor and F. Morilla, (2004). A JAVA/MATLAB-based environment for remote control systems laboratories: Illustrated with an inverted pendulum, *IEEE Trans on Education*, **43**(3), 321-329.
- Trevelyan, J. P. (2004). Lessons learned from 10 years experience with remote laboratories, *International Conference on Engineering Education Research*, Olomouc, República Checa.

APÉNDICE A: Algunos laboratorios remotos de control.

Esta lista no debe considerarse como un ranking de los laboratorios remotos de control, sino una muestra que el lector puede visitar utilizando un navegador. Todos los enlaces han sido accedidos con fecha 15 de Marzo del 2009.

1. Proyecto Cyberlab: http://www.cyberlab.org/frames_cl.php
2. Stevens Institute of Technology: <http://dynamics.soe.stevens-tech.edu/>
3. Control Eng. Lab: University of Tennessee at Chattanooga. <http://chem.engr.utc.edu/Webres/Stations/controlslab.html>
4. ACT Telelab: <http://www.dii.unisi.it/~control/act/home.php>
5. eMersion: École Polytechnique Fed. de Lausanne: <http://lawwww.epfl.ch/page13172.html>
6. Nus: National University of Singapore: <http://vlab.ee.nus.edu.sg/vlab/>
7. Mechatronics RAL: Polytechnic University at NY: <http://mechatronics.poly.edu/MPCRL/>