

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Matemática computacional
Recibido: 26/08/16 | Aceptado: 28/09/16

Sistema de Laboratorios a Distancia para la práctica de Control Automático

Distance Laboratory System for Automatic Control practices

Omar Mar Cornelio ^{1*}, Jorge Gulín González ², Iván Santana Ching ³, Liudmila Rozhnova ¹

¹ Facultad de Ciencia y Tecnologías Computacionales, Universidad de las Ciencias Informáticas. Cuba. omarmar@uci.cu

² Centro de Estudio de Matemática y Computación, Universidad de las Ciencias Informáticas. Cuba. gulinj@uci.cu

³ Departamento de Automática, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central de las Villas "Martha Abreu", ching@uclv.cu

* Autor para correspondencia: omarmar@uci.cu

Resumen

El desarrollo de prácticas de laboratorios en las diferentes especialidades juega un papel importante para complementar los objetivos y contenidos del Proceso Docente Educativo. Para la enseñanza del Control Automático se definen un conjunto de prácticas en dispositivos reales donde el estudiante pueda ajustar controladores definidos por el fabricante y proponer sus propias estrategias de control. Sin embargo, en la actualidad son insuficientes las maquetas o dispositivos físicos para el desarrollo de prácticas de control en el Sistema Educativo Cubano. La presente investigación describe una solución a la problemática planteada a partir del desarrollo de una plataforma de Sistema de Laboratorios a Distancia que permite compartir recursos tecnológicos a través de internet. El sistema propuesto cuenta con cuatro actividades fundamentales evaluación de competencias, identificación de sistemas, simulación de sistemas y diseño de controladores. La plataforma provee al usuario de un conjunto de reportes en tiempo real que facilita la comprensión del fenómeno estudiado en cada práctica. Se aplica además un estudio de caso para determinar la satisfacción de los usuarios en el período lectivo 2015-2016 donde se obtuvo como resultado que la propuesta contribuye a su formación profesional.

Palabras clave: enseñanza del control, prácticas de laboratorios, laboratorios a distancia.

Abstract

The development of laboratory practices in different specialties plays an important role in complementing the objectives and content of the educational process. For Automatic Control teach a set of practices on real devices where the student can adjust defined by the manufacturer drivers and propose their own control strategies are defined. However, at present are insufficient physical devices or models for developing control practices in the Cuban Educational System. This research describes a solution to the problems posed from the development of a platform Distances Laboratory System for sharing technological resources via the Internet. The proposed activities have four fundamental skills assessment, system identification, simulation systems and control design system. The platform provides the user with a set of real-time reporting that facilitates understanding of the phenomenon studied in each practice. The platform provides the user with a set of real-time reporting that facilitates understanding of the phenomenon studied in each practice. A case study is also applied to determine user satisfaction for school year 2015-2016 which was obtained as a result that the proposal contributes to their professional training.

Keywords: *laboratory practice, laboratories distances, teaching control.*

Introducción

La universalización de la internet como un medio de comunicación global y el surgimiento de nuevas e interactivas plataformas virtuales han permitido explotar en disímiles campos, las ventajas en cuanto a reducción de recursos económicos y tiempo de operación aparejada al uso de las tecnologías (CAMINERO *et al.* 2015).

La comunidad estudiantil es uno de los sectores de la sociedad que más se ha beneficiado con el uso de la red. Cada día crece el número de aplicativos que brindan las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones a los estudiantes (CHI and LIU 2015; CHRYSAFIADI and VIRVOU 2015; DE LA TORRE *et al.* 2015; FLEITES *et al.* 2015). En este sentido el trabajo colaborativo, la creación de foros interactivos, así como la publicación de resultados investigativos permite elevar el potencial científico a partir de resultados comunes.

Unido la nuevas formas de interacción, surge el concepto de Educación a Distancia, que se presenta como la solución idónea para disponer de sistemas de enseñanza mucho más flexibles, accesibles y adaptables sin limitaciones espaciales ni temporales (DORMIDO and TORRES 2005), (SEGURA and GALLARDO 2013) y garantiza que cursos impartidos por destacados especialistas lleguen al estudiantado con la misma calidad en lugares geográficamente distintos.

Como factor esencial de la educación, en todas sus enseñanzas y niveles está la aplicación práctica del contenido recibido ya sea presencial o a distancia, donde los estudiantes materializan los conocimientos adquiridos en laboratorios equipados en correspondencia con la asignatura o perfil que se estudie (SAENZ *et al.* 2015). En este contexto el estudiante puede realizar las prácticas en laboratorios físicos, con equipos afines a la materia recibida, variante altamente costosa para ser aplicada en el sistema educacional cubano (MAR *et al.* 2015), que se perfecciona y cobra reconocimiento mundial en medio de limitaciones económicas, lo que trae como consecuencia:

- Dificultad para adquirir y generalizar tecnología de punta que permita a estudiantes y profesores de todo el país aplicar e innovar los conocimientos adquiridos en cada una de las materias.
- Dificultad para asimilar las materias recibidas en los cursos tanto presencial como a distancia.

Una alternativa posible consiste entonces en que el alumno realice prácticas a distancias accediendo a equipamientos físicos centralizados de manera remota a través del empleo de los Laboratorios Remotos o a Distancia que permitan operar y controlar de manera remota sistemas reales mediante una interfaz de experimentación que se ejecuta en un ordenador conectado a una red, esto se conoce como telelaboratorio, Laboratorio Remoto o teleoperación a través de la Web (SALAS and CERÓN 2014).

Los Laboratorios Remotos o a Distancia permiten acceder a sistemas físicos desde cualquier lugar lo que garantiza al alumno desarrollar actividades sin necesidad de acudir al local físico donde se encuentra el sistema y acceder a en el horario que se desee, lo que facilita además una mejor utilización de los recursos (VARGAS and SÁNCHEZ 2011).

Aunque son evidentes las ventajas que estos laboratorios facilitan, solo el 5% de las universidades y centros de investigación del mundo que ofrecen cursos a distancia incorporan este tipo de laboratorios en sus programas de estudio (SANTANA, I 2012).

A partir del análisis de la problemática existente, se propone como objetivo de la investigación: implementar un Sistema de Laboratorios a Distancia para las prácticas de Control Automático.

Materiales y métodos

En la presente sesión se describen las características del Sistema de Laboratorios a Distancia para las prácticas de Control Automático, se describen la arquitectura del sistema, los requerimientos de hardware y los principales elementos que facilitan la comprensión de la propuesta.

Componentes que integran el Sistema de Laboratorios a Distancia

Diversas investigaciones han definido los principales componentes de un Sistema de Laboratorios a Distancia, Sartorius en el 2004 propone una arquitectura (SARTORIUS and RUBIO 2004) para este tipo de sistemas, Santana en el 2013, realiza actualizaciones sobre la propuesta de Sartorius (SANTANA, I. *et al.* 2013). La Figura 1 representa un esquema general de donde son presentadas las diferentes entidades que intervienen en el Sistema de Laboratorios a Distancia.

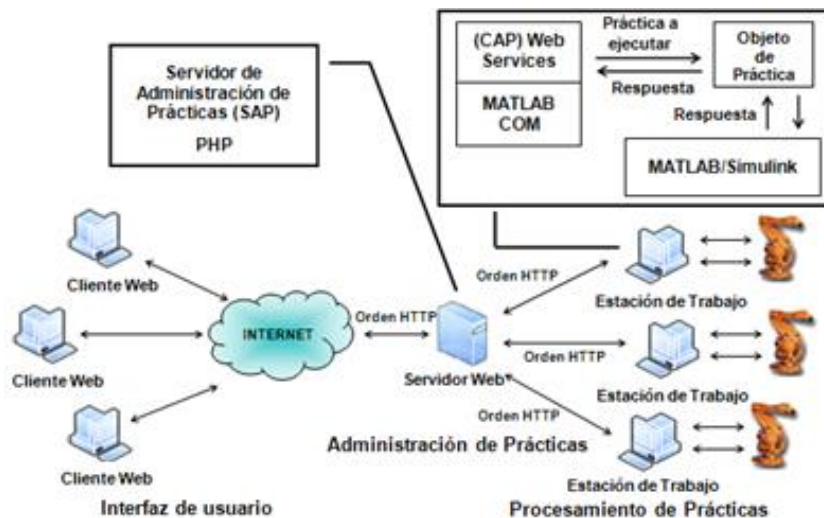


Figura. 1. Arquitectura del Sistema de Laboratorios a Distancia

Descripción de los componentes de la arquitectura

Los clientes Web son los usuarios finales del sistema, en el sistema propuesto son los estudiantes que realizan las prácticas de laboratorios de Control Automático los cuales acceden al servidor de aplicaciones mediante una conexión a la red universitaria o internet.

El servidor de aplicaciones Web es el encargado de la comunicación entre los Clientes Web y las estaciones de trabajo, desde este se realiza la administración de las prácticas.

El servidor de administración de prácticas permite el intercambio de información mediante Servicios Web con las estaciones de trabajo.

Las estaciones de trabajo se conectan físicamente con las plantas que funcionarían como maqueta en el sistema. Las estaciones poseen una cámara acoplada para observar en tiempo real el funcionamiento de sus dispositivos.

Principales funcionalidades

El sistema de Laboratorios a Distancia en su versión 1.0, está orientado a soportar la gestión sobre las prácticas de laboratorios de Control Automático. Está compuesto por tres módulos fundamentales: Diagnóstico de habilidades, Simulación de sistemas y Diseño de controladores.

Diagnóstico de habilidades: permite diagnosticar las habilidades de los usuarios que acceden al Sistema de Laboratorios a Distancias (MAR et al. 2016) con la utilización de un enfoque multicriterio multiexperto basado en Mapa Cognitivo Difuso.

Simulación de sistemas: permite el ensayo de algoritmos de control de forma remota vía Internet. Basa el procesamiento de la información en Matlab/Simulink permitiendo la realización de prácticas simuladas reales en un entorno Web sin necesidad de descargar software adicional (SANTANA, I. et al. 2010).

Diseño de controladores: permite la ejecución de prácticas paramétricas con la utilización de controladores predefinidos o cambiar la estrategia de control mediante el desarrollo de un controlador definido por el usuario (SANTANA, I. et al. 2013).

Requerimientos de hardware

Como requerimientos de hardware para garantizar el correcto funcionamiento del sistema se necesitan para las estaciones clientes del sistema una tarjeta de red de 10 Megabytes o superior y estar conectadas a la LAN universitaria, una memoria operativa de 256 Mb o Superior, un procesador de 1 Ghz o superior. El servidor por su parte como requisitos mínimos debe tener un microprocesador Pentium IV, una memoria operativa de 2.0 Gigabytes, una capacidad de almacenamiento de disco de 80 Gb y una tarjeta de red de 100 Megabytes.

Maqueta utilizada para las prácticas remotas

Para la implementación de las prácticas remotas se ha seleccionado la tarjeta microcontroladora Arduino (BADAMASI 2014) como plataforma de desarrollo. Las experiencias de teoría y laboratorios se apoyan en las plataformas Arduino open hardware (MURTHY et al. 2014), (MATIJEVIC and CVJETKOVIC 2016) sobre la cual se pueden realizar controles de velocidad y posición de un motor DC (CHENG et al. 2015), la maqueta posee sensor de velocidad y posición. La figura 2 muestra la maqueta para la implementación de las prácticas.

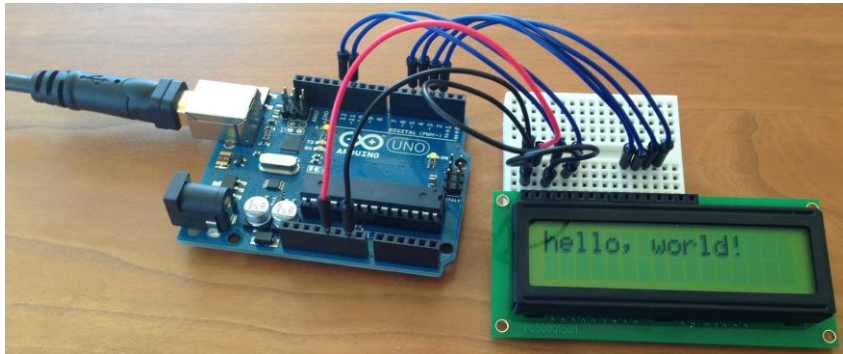


Figura 2. Maqueta para la implementación de las prácticas

Resultados y discusión

Implementación de una práctica sobre el Sistema de Laboratorios a Distancia.

Tema: Diseño de Reguladores Digitales

Objetivo: Implementar reguladores digitales para la regulación de la velocidad de un motor de corriente directa.

Equipamiento necesario: PC con acceso a la intranet universitaria con un navegador instalado.

Técnica Operatoria:

Para el desarrollo de esta experiencia el alumno deberá familiarizarse con el SLD y el esquema que utilizará, el control de la velocidad de un motor de corriente directa.

El alumno puede hacer dos tipos de prácticas:

- Sintonizar el PID de velocidad
- Sintetizar un controlador de Dahlin.

En el primer caso se accede a la práctica llamada “Control de un Servomecanismo con regulador PID”. En esta práctica el estudiante introduce los datos K_p , T_i , T_d y T_m y ejecuta su PID sobre el sistema real.

En el segundo caso se accede a “Control de un Servomecanismo con cambio de regulador.

En esta práctica se descarga un fichero .mdl (modelo de Simulink) donde el estudiante debe modificar el bloque Regulador con el regulador discreto diseñado por él y subirlo nuevamente al sitio para observar la respuesta real del sistema.

Desarrollo de la práctica: Diseño de Reguladores Digitales

El estudiante puede utilizar la herramienta Sisotool de Matlab incorporado al Sistema de Laboratorios a Distancia y considerando los requisitos solicitados para la función de transferencia de sintetizar el controlador continuo (Gc) como expresa la ecuación 1:

$$G_c = \frac{(3.08 \cdot 10^{-5} (s + 233)(s + 15))}{s} \quad (1)$$

Por lo que $K_p=0.0076$, $T_i=0.074$ y $T_d=0.0041$. Con estos valores y un tiempo de muestreo $T_m=0.01$, se obtiene el PID digital (algoritmo de velocidad).

La figura 3 muestra la respuesta del sistema, a partir de la respuesta obtenida el alumno irá ajustándola para obtener una mejor curva. El objetivo en este trabajo no es conseguir el mejor ajuste, sino demostrar que existe la posibilidad de sintetizar el controlador.

Práctica No. 2

Para la obtención del controlador de Dahlin el estudiante parte de que la respuesta deseada se expresa en la ecuación 2:

$$\frac{y}{x} = \frac{e^{-0.1s}}{s + 1s} \quad (2)$$

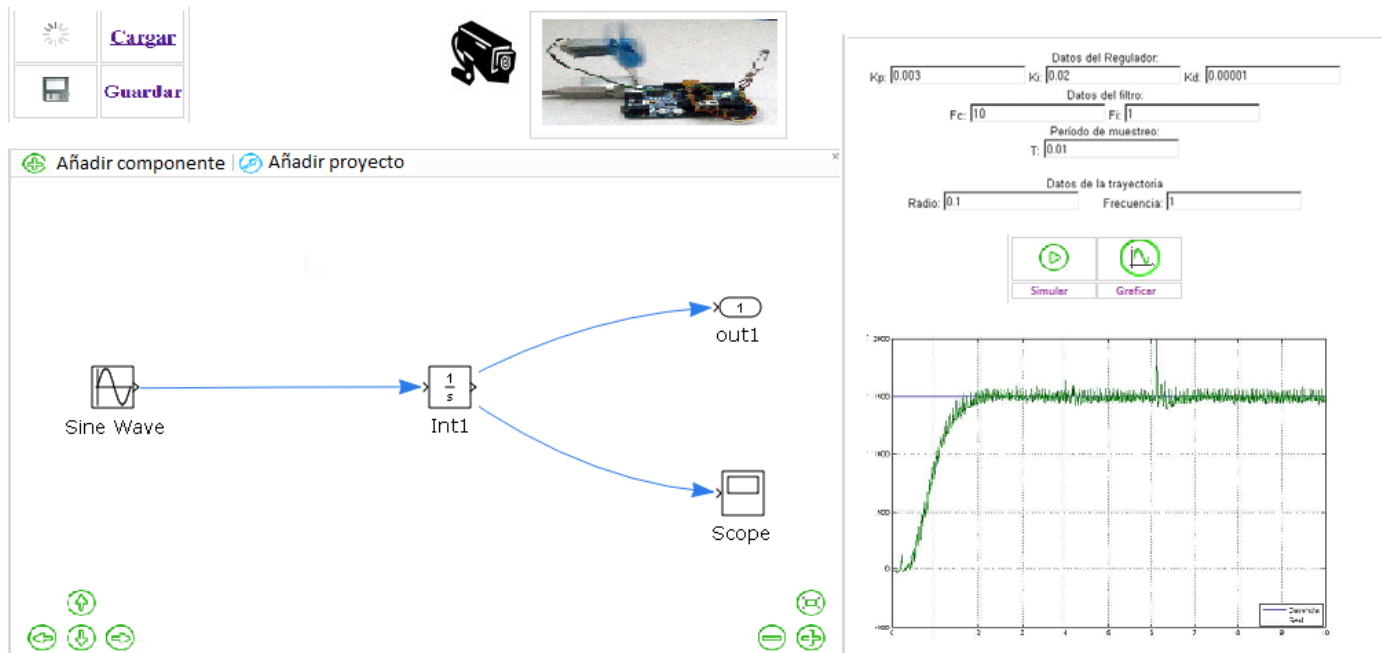


Figura 3. Respuesta del sistema con el PID de velocidad. Se puede apreciar oscilaciones indeseadas en la salida.

A partir de la respuesta del sistema el alumno, con los valores $\mu=1$, $\theta=0.1$, $T=0.01$ y $k=10$, obtiene el controlador de Dahlin (ÁLVAREZ *et al.* 2009), (LOZANO *et al.* 2012) tal como expresa la ecuación 3:

$$G_{\text{Dahlin}} = \frac{0.01z^{-10} - 0.01608z^{-11} + 0.0064z^{-12}}{3.198 - 0.408z^{-1} - 0.03198z^{-11} - 0.02758z^{-12}} \quad (3)$$

Con esta expresión el estudiante modifica el bloque Regulador y sube el nuevo modelo de Simulink al sistema. A partir de este controlador se obtiene la respuesta que muestra la figura 4:

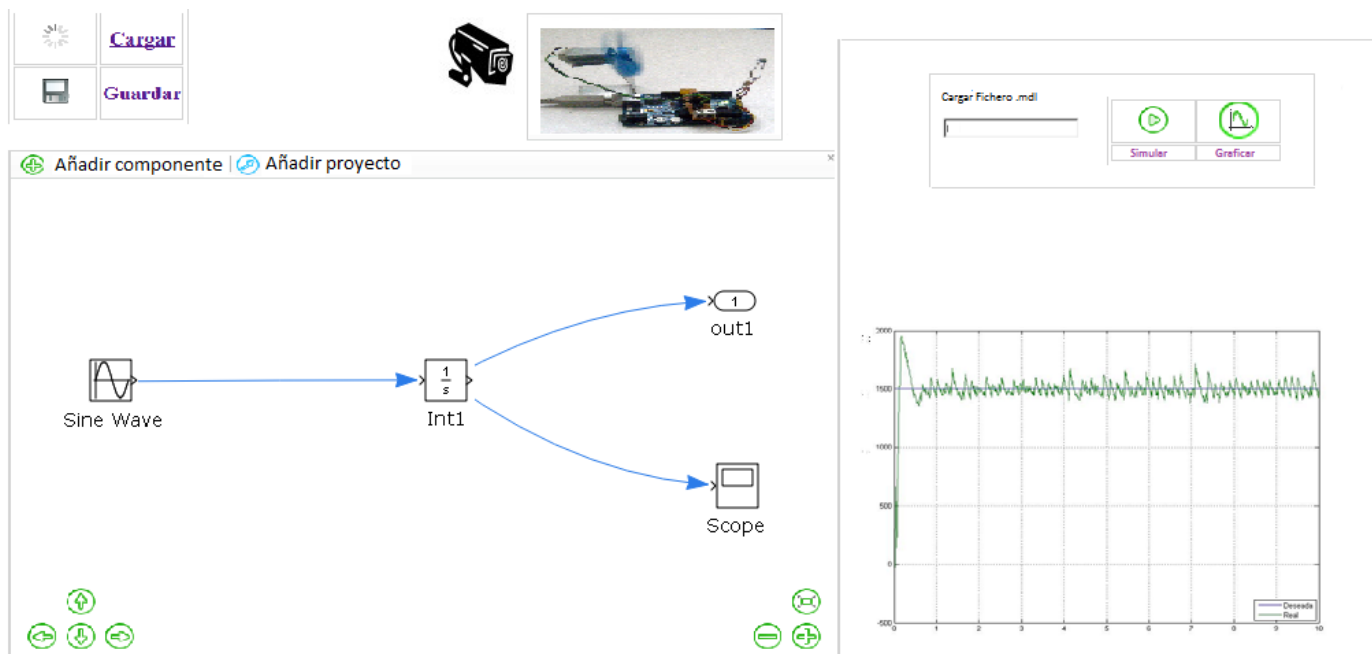


Figura 4. Respuesta del sistema con controlador Dahlin.

Se aprecia en la respuesta del sistema una mejoría en la salida con respecto a la práctica anterior.

Estudio de caso

Durante el período lectivo 2015 - 2016 se puso en práctica la investigación para lo cual se seleccionó un grupo de estudiantes de tercer año que cursaba su quinto semestre de la carrera de Automática en la Universidad Central “Martha Abreu” de las Villas. El grupo contaba con 19 estudiantes que recibían la asignatura de Modelación y Simulación. Se introdujeron las orientaciones para las prácticas remotas, que consistían en una auto evaluación inicial, simulación de un sistema físico, identificar un sistema físico, diseñar una estrategia de control para un caso dado.

La Tabla 1 muestra una distribución de los accesos realizados:

Tabla 1. Registro de acceso a las prácticas remotas.

Práctica remota	Total
Práctica I: Evaluación de competencias	19
Práctica II: Simulación de un sistema físico.	24
Práctica III: Identificación de Sistemas	28
Práctica IV: Diseño de estrategias de control	32
Total	103

Para evaluar la propuesta de SLD propuesto se utilizaron diversas técnicas en la recogida de datos, tales como la observación y encuestas (BRESÓ and VERDÚ 2013). La aplicación de las técnicas permitió comprobar los resultados y arribar discusiones de los mismos.

Para el diseño de las encuestas se tuvieron en cuenta los elementos planteados por los diferentes autores lo cual contribuye a trazar pautas para garantizar una adecuada recopilación de datos (PÉREZ and BENITO 2013), (GONZÁLEZ 2013).

En la presente investigación se utilizó como instrumento la encuesta aplicada a los 19 estudiantes definidos como población.

Para la recogida de datos se consideraron los siguientes aspectos:

La sistematización de los conocimientos en las prácticas de laboratorio: se valora el desarrollo de la práctica. Se considera como la preparación previa de los estudiantes, que incluye tener ejercicios de autoevaluación realizados y tener los conocimientos necesarios para desarrollar la actividad.

La motivación para el desarrollo de cada laboratorio: se valora el interés mostrado por los alumnos que realizan la práctica a distancia.

El tiempo de realización de cada práctica: en este aspecto, el desarrollo de la práctica se considera en términos de resultados obtenidos y su ajuste con el tiempo.

La figura 5 muestra un resumen de los resultados obtenidos a partir de los datos obtenidos en la encuesta para lo cual fueron generadas las siguientes preguntas:

1. Las prácticas de laboratorios reales a distancia fueron importantes para mi formación.
2. La cantidad de prácticas a distancia en el laboratorio era aceptable para los contenidos impartidos.
3. Las prácticas a distancias han sido útiles para mi aprendizaje.
4. La práctica a distancias han permitido demostrar los elementos teóricos recibidos en clases.

5. El Sistema de Laboratorios a Distancia tiene un buen rendimiento como una herramienta para el acceso remoto al dispositivo físico.
6. Las prácticas remotas realizadas a través de SLD permiten la adquisición de habilidades profesionales para el Ingeniero de Automático.
7. Usted recomendaría el Sistema de Laboratorios a Distancia a otros estudiantes.

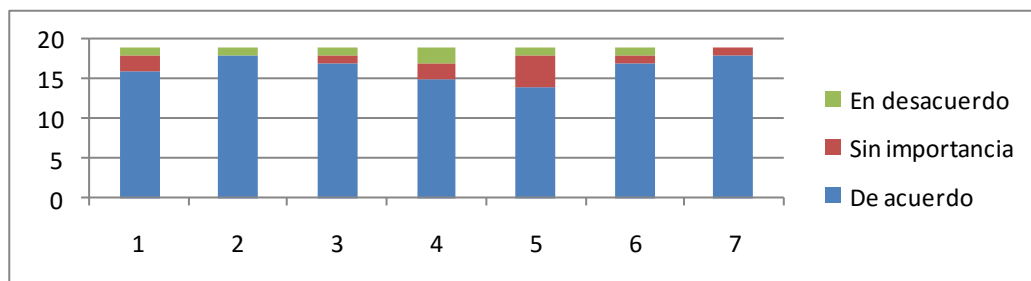


Figura 5. Resultados de la encuesta aplicada a los estudiantes del curso académico 2015-2016.

El resultado de la encuesta evidencia un alto porcentaje de estudiantes que evaluaron satisfactoriamente cada elemento, las opiniones expresadas quedaron de la siguiente manera:

El 84,21 % plantea que las prácticas de laboratorios a distancia son importantes para su formación.

El 94,73 plantea que la cantidad de prácticas a distancia en el laboratorio es aceptable para los contenidos impartidos.

El 89,47 plantea que las prácticas a distancia han sido útiles para su aprendizaje.

El 78,94 plantea que las prácticas a distancia han permitido demostrar los elementos teóricos recibidos en clases.

El 73,68 plantea que el Sistema de Laboratorios a Distancia tiene un buen rendimiento como una herramienta para el acceso remoto al dispositivo físico.

El 89,47 plantea que las prácticas remotas realizadas a través de SLD permiten la adquisición de habilidades profesionales para el Ingeniero de Automático.

El 94,73 recomienda el uso del Sistema de Laboratorios a Distancia a otros estudiantes.

Partiendo del análisis de los datos recogidos en el período lectivo, se puede concluir que los resultados obtenidos con la aplicación del Sistema de Laboratorios a Distancias, logran satisfacer el objetivo planteado sobre la base de la

problemática existente. Con la utilización de las prácticas diseñadas se logra la aplicación de los contenidos impartidos en las clases interactuando con dispositivos en tiempo real o realizando simulaciones.

Con la herramienta propuesta, es posible compartir los recursos disponibles en la plataforma para cualquier universidad que realice prácticas de control aprovechándose la principal ventaja del sistema propuesto. El Sistema de Laboratorios propuesto, posee una visión futurista ya que la tendencia de Cuba se centra en la generalización de cursos a distancia.

Conclusiones

La utilización del Sistema de Laboratorios a Distancia en la enseñanza para realizar prácticas remotas, permite a los estudiantes comprobar los elementos teóricos recibidos en clases sin la necesidad de ajustarse al tiempo definido para un turno de clase.

La implementación de prácticas de Laboratorios con la utilización del Sistema de Laboratorios a Distancia permite potenciar la interacción de los estudiantes con la práctica real experimentando el comportamiento de las diferentes estrategias de control diseñadas.

A partir de las encuestas realizadas a los estudiantes del curso 2015-2016 se pudo obtener el grado de aceptación de los estudiantes a las propuestas de prácticas de Laboratorios de control automático integrado al Sistema de Laboratorios a Distancias.

Referencias

ÁLVAREZ, C.; A. SOTO, *et al.* Simulación de controladores digitales *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 2009, Vol. 17(No.3): 309-316.

BADAMASI, Y. A. *The working principle of an Arduino*. Electronics, Computer and Computation (ICECCO), 2014 11th International Conference on, 2014. 1-4 p.

BRESCÓ, E. and N. VERDÚ Valoración del uso de las herramientas colaborativas wikispaces y google drive, en la educación superior *EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 2013, Vol.49: 1-12.

CAMINERO, A. C.; S. ROS, *et al.* VirTUAL remoTe labORatories managEmEnt System (TUTORES): Using cloud computing to acquire university practical skills *Learning Technologies, IEEE Transactions on*, 2015, PP(99): 1-1.

CHENG, Z.; Y. LI, *et al.* *Qduino: A Multithreaded Arduino System for Embedded Computing*. Real-Time Systems Symposium, 2015 IEEE, 2015. 261-272 p. 1052-8725

CHI, Y. and J. LIU Learning of Fuzzy Cognitive Maps with Varying Densities using a Multi-objective Evolutionary Algorithm *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 2015, PP(99): 1-1.

CHRYSAFIADI, K. and M. VIRVOU Fuzzy Logic for Adaptive Instruction in an E-learning Environment for Computer Programming *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 2015, 23(1): 164-177.

DE LA TORRE, L.; M. GUINALDO, *et al.* The Ball and Beam System: A Case Study of Virtual and Remote Lab Enhancement With Moodle *Industrial Informatics, IEEE Transactions on*, 2015, 11(4): 934-945.

DORMIDO, S. and F. TORRES Aplicación de las TIC's a la Educación en Automática *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI)*, 2005, Vol.2.

FLEITES, F. C.; W. HAOHONG, *et al.* Enhancing Product Detection With Multicue Optimization for TV Shopping Applications *Emerging Topics in Computing, IEEE Transactions on*, 2015, 3(2): 161-171.

GONZÁLEZ, J. Propuesta de algoritmo de clasificación genética *RCI*, 2013, Vol. 4 (No.2): 37-42.

LOZANO, L.; L. RODRÍGUEZ, *et al.* Diseño, Implementación y Validación de un Controlador PID Autosintonizado *Rev. Tecno Lógicas*, 2012, No. 28(enero-junio): 33-53.

MAR, O.; L. ARGOTA, *et al.* Módulo para la evaluación de competencias a través de un Sistema de Laboratorios a Distancias *RCCI*, 2016, Vol.10(No.2): 132-147.

MAR, O.; M. LEYVA, *et al.* Modelo multicriterio multiexperto utilizando Mapa Cognitivo Difuso para la evaluación de competencias *Ciencias de la Información*, 2015, Vol. 46(No. 2): pp. 17 - 22.

MATIJEVIC, M. and V. CVJETKOVIC. *Overview of architectures with Arduino boards as building blocks for data acquisition and control systems*. 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2016. 56-63 p.

MURTHY, A. A.; N. RAO, *et al.* Design and Construction of Arduino-Hacked Variable Gating Distortion Pedal *IEEE Access*, 2014, 2: 1409-1417.

PÉREZ, A. and D. BENITO Estudio de los instrumentos existentes para medir la delincuencia *Revista Electrónica de Ciencia Penal y Criminología*, 2013, Vol.15(No.8).

SAENZ, J.; J. CHACON, *et al.* Open and Low-Cost Virtual and Remote Labs on Control Engineering *Access, IEEE*, 2015, 3: 805-814.

SALAS, M. and C. CERÓN Sistema Web para Evaluar las Competencias mediante Pruebas Objetivas en Educación Superior *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 2014, (No.12).

SANTANA, I. *Herramientas para la docencia en automática orientadas hacia la metodología ECTS*, 2012. p.

SANTANA, I.; M. FERRE, *et al.* Aplicación del Sistema de Laboratorios a Distancia en Asignaturas de Regulación Automática. *Revista Iberoamericana de Informática Industrial (RIAI)*, 2010, 7(1): 46-53.

SANTANA, I.; M. FERRE, *et al.* Remote Laboratories for Education and Research Purposes in Automatic Control Systems *Industrial Informatics, IEEE Transactions on*, 2013, 9(1): 547-556.

SARTORIUS, A. and E. RUBIO Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD): laboratorio para la enseñanza del control automático a distancia, 2004, Vol. 7 11-24.

SEGURA, A. and M. GALLARDO. *Entornos virtuales de aprendizaje: nuevos retos educativos*, 2013. [Disponible en: <http://www.ugr.es/~sevimeco/revistaeticanet/numero132/Articulos/Formato/177.pdf>

VARGAS, H. and J. SÁNCHEZ A Network of Automatic Control Web-Based Laboratories *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2011, Vol.4(No.3): 197-208.