

Virtual Laboratory for E-learning Models of Industrial Automation Based on LabVIEW

Martin A. Tamayo, MSc.¹, Hugo A. Murillo¹, and David Posada, Ing.¹

¹ Universidad EAFIT, Colombia, mtamayo@eafit.edu.co, hmurillo@eafit.edu.co, dposada4@eafit.edu.co

Abstract— This article shows the importance of implementing virtual labs automation for use in education, the benefits of their implementation and the impact it has academically. It also presents some simulators of computers used in Digital Control Laboratories of the EAFIT University that serve as virtual prototypes for automatic control education in undergraduate programs of Production Engineering, Mechanical Engineering and Process Engineering at the same institution

Keywords—Automation, virtual laboratory, LabVIEW, PLC, MatLab, microcontrollers.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.002>

ISBN: 13 978-0-9822896-8-6

ISSN: 2414-6668

13th LACCEI Annual International Conference: “Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?”

July 29-31, 2015, Santo Domingo, Dominican Republic

ISBN: 13 978-0-9822896-8-6

ISSN: 2414-6668

DOI: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.002>

Laboratorios Virtuales: Modelos para el aprendizaje virtual de automática industrial basados en LabVIEW*

Martin A. Tamayo, Master en Ingeniería¹, Hugo A. Murillo, Especialista en Automática¹, y David Posada, Ingeniero de Producción¹

¹Universidad EAFIT, Colombia, mtamayo@eafit.edu.co, hmurillo@eafit.edu.co, dposada4@eafit.edu.co

Resumen—Este artículo muestra la importancia de implementar laboratorios virtuales de automatización para su uso en la educación, las bondades de su implementación y el impacto a nivel académico que tiene. Además presenta algunos simuladores de equipos usados en los Laboratorios de Control Digital de la Universidad EAFIT que sirven como prototipos virtuales de enseñanza del control automático en los pregrados de Ingeniería de Producción, Ingeniería Mecánica e Ingeniería de Procesos en la misma institución.

Palabras Clave— Automatización, laboratorio virtual, LabVIEW, PLC, Micro controladores, Matlab.

I. INTRODUCCIÓN

Las tendencias sociales mundiales han impulsado a la industria a reestructurar sus procesos en busca de mejorar la percepción de los bienes y servicios que están produciendo. Por un lado, en los países desarrollados, donde las necesidades básicas están cubiertas casi en su totalidad, las personas buscan un vínculo más emocional y de mejor calidad con los productos y servicios que adquieren. Por otro lado están los países en vía de desarrollo donde la situación es más simple pero más determinante en cuanto a necesidades. Ahora, desde una perspectiva académica, que no está aislada de su medio de desarrollo y que busca principalmente ofrecer programas acordes a las tendencias globalizadas de la economía, busca por medio de programas innovadores y tecnológicos mejorar su cobertura de educación llevándola a cada rincón del globo. Es aquí donde nace el e-learning, o educación virtual, como metodología alternativa para contrarrestar las limitaciones de las universidades e institutos técnicos que cuentan con recursos escasos en instalaciones y equipos, o limitaciones de los estudiantes como tiempo y acceso a los centros de educación. Esta alternativa también le ha facilitado al sector industrial el fortalecimiento del vínculo con la universidad y la percepción de las demandas de éste en áreas específicas de la Ingeniería de Producción para proponer nuevas y mejoradas tecnologías para la producción como lo es la automatización de sus procesos.

En consecuencia con lo anterior, la Universidad EAFIT por medio de la aplicación LabVIEW de National Instruments (Graphical System Design), ha desarrollado un proyecto que implementa en sus cursos de automatización industrial

laboratorios virtuales, utilizando los diferentes sistemas y aplicaciones que se han enlazado con la herramienta LabVIEW para así poder simular los sistemas en un medio virtual, todo esto por medio del vínculo disponible entre Matlab, PLC S7-1200 de Siemens y Micro controladores Arduino con LabVIEW. Estas aplicaciones o simuladores emulan un equipo físico que se usa en los cursos presenciales, al conseguir en un alto porcentaje la similitud de los modelos virtuales con los reales, ha permitido que el modelo de laboratorio virtual no solamente sea una realidad sino que facilita la conexión teórico-práctica del aprendizaje, también incrementa el interés del estudiante en el desarrollo de competencias individuales de gran valor innovador. Al tener en una sola herramienta académica la capacidad de abarcar y motivar el aprendizaje en áreas tan importantes para la industria, se logra un impacto positivo que entrega ya resultados satisfactorios.

II. JUSTIFICACIÓN

La gran demanda en desarrollos de sistemas automáticos en el sector de producción industrial ha impulsado a las instituciones a formar cursos y grupos de investigación que potencialicen el aprendizaje, la producción de ideas y la innovación en esta materia. Por esta razón, estos grupos tienen objetivos muy específicos, entre los cuales está la creación de medios virtuales para la enseñanza, operación de equipos y programas destinados a la automatización de procesos.

Estos medios virtuales generan impactos positivos al interior del sistema de enseñanza de la ingeniería como son:

A. A Nivel Académico

La internacionalización de metodologías de enseñanza que abarca campos y sectores nuevos de la educación, amplía las fronteras de aprendizaje, permite el acceso a la enseñanza teórica y práctica, acerca a la comunidad académica por medio de nuevas tecnologías, facilita la retroalimentación con la aplicación de los conocimientos en la práctica y potencializa el uso de los equipos de laboratorio al proveer una herramienta virtual de entrenamiento y pruebas.

Además permite a la enseñanza presencial, con el uso de estos modelos virtuales, optimizar los tiempos de diseño,

* Este trabajo ha sido desarrollado por el Semillero de Investigación en Automática Industrial del Grupo de Investigación en Tecnologías para la Producción del Departamento de Ingeniería de Producción de la Universidad EAFIT.

desarrollo y prueba de soluciones de automatización, ya que con ellos no tiene las limitaciones que un equipo físico impone, como disponibilidad, mantenimiento, espacio, entre otras.

B. A Nivel Industrial

Aunque este aspecto no hace parte del alcance del proyecto presentado, se han evidenciado diferentes potencialidades con el uso de modelos virtuales de equipos físicos. Estos podrían suplir necesidades concretas al ofrecer plataformas que permiten hacer pruebas en los procesos sin interrumpir la producción, incorpora nuevas tecnologías, permite el uso de control remoto de procesos y permite un acercamiento de la academia con el sector industrial necesitado de este tipo de desarrollos.

III. ANTECEDENTES

Los modelos tradicionales de enseñanza/aprendizaje no atienden satisfactoriamente las crecientes necesidades de capacitación que la sociedad moderna requiere, por esto, con el apoyo de las tecnologías de información y comunicaciones, estas necesidades pueden ser satisfechas si se aplican de una correcta. En [1] se presenta un modelo de enseñanza-aprendizaje virtual aplicado a la educación superior mexicana mediante el desarrollo de una metodología didáctica y diseño tecnológico.

En [2] se muestra como el Departamento de Fisiología de la Universidad de Toronto, a través de un curso virtual de Fisiología Humana, ofrece educación de calidad flexibilizando el tiempo y la asistencia presencial a clases.

El Departamento de Electricidad y Electrónica de la Universidad de Navarra ofrece un curso virtual de Ingeniería de Sistemas de Comunicación que incluye un software didáctico que simula un laboratorio de comunicaciones, juegos didácticos y asistencia del docente en línea [3].

En [4] se presenta un sistema denominado VLS (Virtual Learning System) que ofrece un entorno completo, dinámico e interactivo que puede ser incorporado en diversos cursos en el campo de la Ingeniería Mecánica y Fabricación.

En [5] se muestra el impacto que ha tenido el laboratorio virtual remoto de robótica en la docencia, las ventajas y posibilidades que se dan al hacer uso del mismo.

En [6] se define como meta de un proyecto de investigación, que abarca una Tesis Doctoral, la creación de un sistema de apoyo a la enseñanza de la Automática consistente en un laboratorio virtual accesible a través de una red basada en protocolos TCP/IP, esta permite al estudiante practicar de una forma lo más similar posible como si estuviese en las dependencias del laboratorio, e incluso manipular las plantas reales.

En [7] se presenta una compilación de los recursos más destacados que actualmente se pueden encontrar en la Web y que guardan relación con el área de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Según [8], las nuevas tecnologías basadas en Internet, la virtualización y la mejora tecnológica en servidores, pueden ser utilizadas para suplir la carencia de laboratorios y además enriquecer el desarrollo de prácticas en espacios y entornos virtuales con características innovadoras.

En [9] se diseñó un simulador para el Departamento de Física de la UCLV, este permite realizar mediciones precisas de las posiciones lineales de máximos o mínimos de interferencia, con un micrómetro ocular muy similar a los que se encuentran en los laboratorios reales, y por tanto permite aplicar la teoría de errores en el procesamiento de las mediciones y expresar los resultados por intervalos de confianza.

En [10] Se propone la implementación de un “Laboratorio Virtual” para que, a través de Internet, cumpla con objetivos pedagógicos en el estudio de los Dispositivos Electrónicos básicos usados en la enseñanza de la electrónica en el pregrado de Ingeniería electrónica de la UMSA, Se desarrolla un sistema que utiliza diversos montajes electrónicos básicos y todo el sistema de selección, adecuación y adquisición de las señales.

En [11] se presenta un estudio de seis años en la Universidad de Costa Rica donde se analizan las ventajas y desventajas del uso de Laboratorios Virtuales en la educación a distancia. La calificación del estudiantado a los laboratorios virtuales es predominantemente favorable, lo cual representa un gran apoyo para el desarrollo y aplicación de nuevos laboratorios virtuales en el futuro.

La Universidad EAFIT, a través del proyecto Renata, tiene implementada tres prácticas remotas con equipos de laboratorio de alto costo, este punto de vista es otro factor determinante en el momento de implementar un laboratorio virtual o remoto pues de esta manera se protegen los equipos delicados y costosos de maniobras que puedan poner el peligro la integridad de los mismos.

IV. DESCRIPCIÓN DEL MODELO BASADO EN LABORATORIOS VIRTUALES

La enseñanza ha ido tomando diversos rumbos con el fin de ampliar la cobertura y generar espacios apropiados para el aprendizaje. No solo espacios físicos, sino también espacios virtuales que den facilidades a los maestros y estudiantes de interactuar sin la necesidad del factor presencial. Teniendo como base estos dos pilares podemos comprender la aplicación académica que este proyecto pretende.

La creación de simuladores virtuales fue una iniciativa que surgió con el fin de solventar diversas limitaciones en la cantidad de equipos que se presentan en los laboratorios de automatización en las Universidades y específicamente en la Universidad EAFIT. Durante la planeación de estos cursos se empezaron a detectar múltiples ventajas y aplicaciones tanto a nivel académico como industrial.

Partiendo de esta necesidad, se generaron modelos de simulación de los equipos existentes, con el fin de dar mayor

eficiencia en el uso de los equipos, ya que algunos de ellos son únicos y es muy costoso producir réplicas.

En primer lugar estos simuladores permitirían nivelar la demanda de los equipos reales, aumentando la capacidad de los laboratorios debido a que se realizarían primero las prácticas virtualmente, para pasar posteriormente, al laboratorio real logrando así optimizar el uso del recurso. Los simuladores permiten tanto a estudiantes como a profesores trabajar a distancia en un entorno virtual.

La Universidad EAFIT ha creado varios simuladores de los equipos reales que tiene en el Laboratorio de Control Digital, con excelentes resultados ya que estos muestran una funcionalidad bastante aproximada a los equipos reales, generando incluso mensajes de error cuando se pretende hacer manipulaciones no permitidas en el equipo real desde un programador de control. La Figura 1 muestra una relación entre simulador, programa de control y equipo real.



Fig. 1. Modelo virtual, programa de control y equipo real

Cada simulador que se desarrolla cumple con las siguientes condiciones:

- Su funcionamiento es lo más aproximado posible al equipo real.
- Se permite el cambio de las condiciones iniciales, como por ejemplo la ubicación inicial en un piso específico en los ascensores didácticos.
- Indican, con mensajes de error, las manipulaciones no permitidas en el equipo real, estas pueden dar como resultado daños importantes en los equipos.
- Su operación es simple y clara en lo que respecta a los pasos a seguir y configuraciones necesarias para controlar los equipos virtual y real.
- Permite al profesor usar el equipo virtual y/o real en forma indiferente para dictar las clases o calificar los trabajos asignados a los estudiantes.
- Permiten el control de los equipos desde LabVIEW, PLC, Micro Controladores y Matlab.

La Figura 3 muestra uno de los simuladores desarrollados en la universidad correspondiente a un banco de actuadores neumáticos mostrado en la Figura 2.

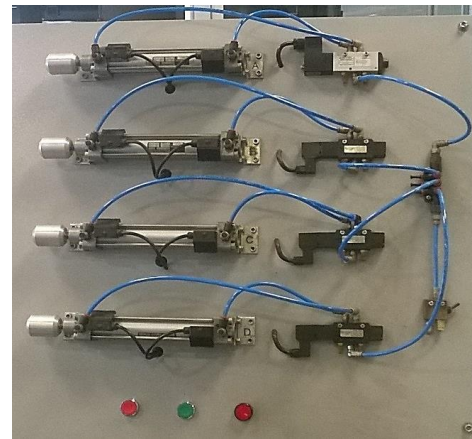


Fig. 2. Banco Neumático Real



Fig. 3. Banco Neumático Virtual

Con la creación de estos modelos virtuales se inicia una segunda etapa con la creación de cursos en modalidad virtual, con plataformas y simuladores virtuales que complementen el aprendizaje por medio de la práctica. Esta aplicación promueve una mayor accesibilidad al conocimiento ya que elimina las limitaciones de tiempo y espacio, permite crear modelos abiertos al mundo donde las lecciones pueden ser dictadas desde y hacia cualquier lugar del mundo, abre la posibilidad de foros, ponencias, experimentación y demostración.

Por último y de acuerdo a los logros de las aplicaciones anteriormente mencionadas, se utilizará este modelo como plataforma de control remoto de equipos y procesos automatizados, en lo que hemos denominado “laboratorios remotos”, donde el estudiante podrá realizar su práctica en los simuladores y realizar pruebas en el equipo real desde cualquier lugar con acceso a internet.

V. LABORATORIOS VIRTUALES DE AUTOMATIZACIÓN BASADOS EN LABVIEW

Para la creación de estos modelos virtuales se debió determinar qué herramienta informática, tanto de programación como de modelación, se utilizaría. Adicionalmente, se debió determinar los equipos y prototipos que conformarían este laboratorio virtual, los cuales son una parte fundamental en el proceso de aprendizaje, ya que

brindan una experiencia y contacto cercano a la realidad del entorno técnico, sirviendo como puente entre la teoría y la práctica. Una vez definido esto, se procedió a adquirir los conocimientos y experiencias relacionadas al área de la automatización industrial para poder estructurar un plan de enseñanza acorde con las demandas del sector industrial.

La finalidad de este tipo de desarrollos es la creación de cursos en modalidad virtual, donde se pueda tener acceso a laboratorios virtuales que complementen el aprendizaje por medio de la práctica.

Los cursos diseñados para el uso de estos modelos virtuales buscan acercar a los estudiantes de ingeniería a la tecnología usada por nuestro medio industrial en el control automático de procesos, así que se eligieron 4 tecnologías predominantes a saber: PLC (Programmable Logical Controller), LabVIEW (Graphical System Design), Matlab/Simulink y los Micro Controladores, cada una de estas tecnologías es tratada en un curso diferente logrando así una aproximación al diseño de controladores para procesos industriales.

Debido a la simplicidad en el diseño y programación de sistemas de control y supervisión y las poderosas herramientas de simulación se eligió LabVIEW como la plataforma en que se desarrollaron los modelos virtuales, una vez diseñados y desarrollados estos modelos se procedió a interconectarlos con cada una de las tecnologías elegidas para los cursos. Cada simulador desarrollado en LabVIEW puede ser controlado desde las diferentes tecnologías así:

A. LabVIEW

LabVIEW es un software de desarrollo de aplicaciones basado en el concepto “Graphical System Design”² acuñado por National Instruments, empresa desarrolladora de LabVIEW y equipos de hardware para aplicaciones de ingeniería.

Esta plataforma de desarrollo es relativamente nueva en aplicaciones de automatización de procesos en la industria, por esto ha sido incluida en el curso de Automatización con LabVIEW, en esta los estudiantes diseñan sistemas de control en LabVIEW para los equipos de laboratorio disponibles y usan los modelos virtuales de dichos equipos en la fase de desarrollo, una vez estos diseños funcionan correctamente se procede a controlar los equipos reales.

La interconexión con los equipos de laboratorio se hace a través de tarjetas de adquisición de datos con conexión UB, esta permiten a los estudiantes leer las señales provenientes de los sensores y operar las máquinas a través de los actuadores.

Los modelos virtuales generan la información de los sensores y reciben las órdenes de control desde las aplicaciones desarrolladas por los estudiantes a través de señales de datos denominadas variables globales, estas,

propias de LabVIEW, permiten la intercomunicación entre los modelos virtuales y los programas de control. Lo interesante es que para cambiar entre el modelo virtual o la máquina real basta accionar un selector que deberá incluirse en el desarrollo de la aplicación de control.

La Figura 4 muestra un programa de control operando el modelo virtual correspondiente a la banda transportadora.

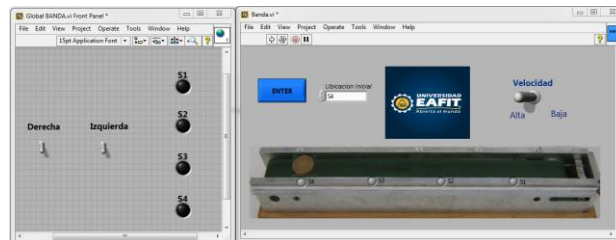


Fig. 4. Control de Banda Transportadora Virtual desde LabVIEW

B. PLC

Los PLC, por sus siglas en inglés (Programmable Logical Controller), son equipos para automatización especialmente diseñados para soportar ambientes industriales, nacieron como una necesidad de reducir los grandes tableros de control que usaban lógica cableada para operar máquinas.

En nuestro medio industrial es muy común encontrarlos en diversas aplicaciones, siendo los equipos de SIEMENS los más ampliamente usados. Por esta razón diseñamos el curso de Automatización con PLC, precisamente usando la marca SIEMENS, específicamente la referencia SIMATIC S7-1200, un PLC de gama media con altas prestaciones y funcionalidades.

Estos equipos proveen una amplia gama de módulos de señales que permiten interconectar cualquier tipo de sensor y/o actuador a la CPU donde se aloja el programa de control, los estudiantes en este curso diseñan sus programas de control para los equipos de laboratorio disponibles y usan, como las otras tecnologías expuestas, los modelos virtuales para la fase de diseño y los equipos reales para comprobación de sus programas.

La interconexión entre los modelos virtuales y el PLC que ejecuta el programa de control se realiza a través de un estándar de comunicaciones OPC (OLE for Process Control). Para la comunicación de estas dos aplicaciones, LabVIEW con el modelo virtual y el PLC SIMATIC con el programa de control utilizamos el NI OPC Server de National Instruments, el cual nos brinda la posibilidad de compartir datos, a través de estos se leen los sensores del modelo virtual y se envían las órdenes de control para operarlo.

La Figura 5 muestra un programa de control de PLC operando un modelo virtual correspondiente a un ascensor a escala.

² Concepto de marca National Instruments.
<http://www.ni.com/company/standardize.htm>

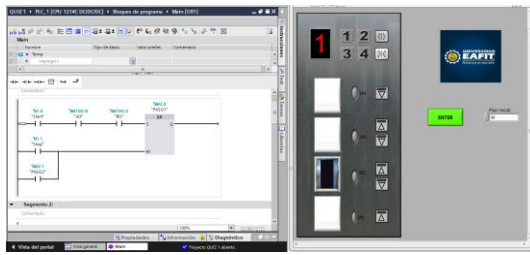


Fig. 5. Control de Ascensor Virtual desde PLC

C. Matlab

Matlab es un lenguaje de alto nivel ampliamente usado por científicos e ingenieros alrededor del mundo, posee una alta capacidad en el análisis y diseño de sistemas de control. A través del módulo de programación gráfica llamado SIMULINK, es posible interconectar sistemas reales con los programas de control desarrollados en esta plataforma.

En nuestros laboratorios usamos las mismas tarjetas que utilizadas para interconectar LabVIEW, esto nos permite controlar la inversión en equipos de control.

La interconexión entre los modelos virtuales y Matlab/Simulink donde se ejecuta el programa de control se realiza a través de un estándar de comunicaciones TCP (Transmission Control Protocol), el mismo que usa la red Internet, esto simplifica el uso de equipos adicionales pues todos los equipos de cómputo cuentan generalmente con puertos de red Ethernet.

Para la comunicación de estas dos aplicaciones, LabVIEW con el modelo virtual y Matlab/Simulink con el programa de control utilizamos el LabVIEW TPC Toolkit, el cual nos brinda la posibilidad de compartir datos, a través de estos se leen los sensores del modelo virtual y se envían las órdenes de control para operarlo.

La Figura 6 muestra un programa de control de Matlab/Simulink operando un modelo virtual correspondiente a un banco de actuadores neumáticos a escala.

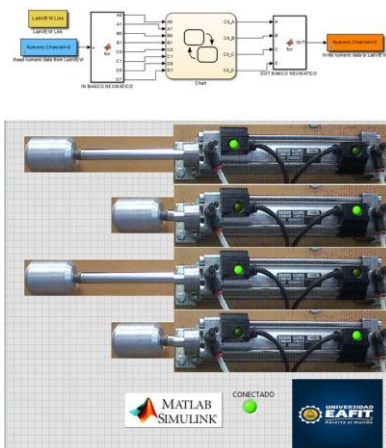


Fig. 6. Control de Ascensor Virtual desde Matlab/Simulink

D. Micro Controladores

Un microcontrolador (abreviado μC , UC o MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Es utilizado para solucionar pequeñas tareas de automatización o para ser incluidos como controladores en equipos de uso portátil.

En nuestros laboratorios usamos un microcontrolador de marca Arduino, esta empresa ofrece una plataforma de hardware libre diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios, la Figura 7 muestra muestra el Arduino Mega 2560 usado para la aignatura de Automatización con Microcontroladores.



Fig. 7. Entrenador básico de Arduino Mega 2560

Para la comunicación de estas dos aplicaciones, LabVIEW con el modelo virtual y Arduino con el programa de control utilizamos el LabVIEW Visa Serial, el cual nos brinda la posibilidad de compartir datos a través de una comunicación serial, estos datos corresponden a los sensores del modelo virtual y se envían las órdenes de control para operar dicho modelo.

VI. RESULTADOS

Después de algunos semestres de trabajo con los simuladores se han obtenido resultados muy satisfactorios. El Laboratorio ha aumentado su capacidad de atención a usuarios, los equipos se desgastan menos y requieren menos mantenimiento.

La ocupación de los equipos físicos se reduce significativamente, la Tabla 1 muestra la frecuencia con que se realizan los mantenimientos a los equipos de laboratorio en un comparativo entre antes y después de implementar el uso de los modelos virtuales.

TABLA I
ESTADÍSTICAS DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE LABORATORIO

EQUIPO	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO (veces por semestre) ^a	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO (veces por semestre) ^b
Ascensor didáctico	8	1
Puente grúa grande	10	1
Banco neumático	5	1
Bandas	12	2
Puente grúa pequeño	8	1
Mini secuenciador neumático	8	1

^aAntes del uso de modelos virtuales, ^bCon el uso de modelos virtuales

Los profesores usan los simuladores para evaluar trabajos hechos por los estudiantes, los estudiantes pueden trabajar en forma independiente con el simulador, sin riesgo de dañar el equipo en horas donde solo están disponibles los computadores, sin personal de apoyo del laboratorio.

Teniendo en cuenta que el Laboratorio de Control Digital de la Universidad EAFIT tiene aproximadamente 60 equipos de cómputo y en todos se tienen instalados los programas LabVIEW, Matlab, PLC Siemens y Arduino, los estudiantes pueden usar en todos los equipos los modelos virtuales. De esta manera la ocupación del Laboratorio es mayor.

VII. PROYECCIONES

El paso siguiente a implementar es crear una plataforma donde el estudiante pueda seleccionar el equipo a controlar y la tecnología a usar en el control, el programa abrirá en forma automática el respectivo simulador y permitirá cargar el archivo con el programa de control y verificar el funcionamiento en el simulador.

Solo después de probar el programa de control y que este no genere ningún riesgo en el funcionamiento del equipo, el programa debe permitir el control real del equipo, bien sea en forma presencial o remota.

VIII. CONCLUSIONES

Los simuladores protegen y evitan el desgaste de los equipos ya que los estudiantes pueden probar sus programas de control en los simuladores y solo cuando estos funcionen correctamente pasar al control del equipo real.

Los simuladores pueden usarse para diferentes equipos como los PLC a través de la comunicación OPC Server de National Instruments, Matlab a través de comunicación TCP y Arduino a través de NI VISA Serial.

Los tiempos de uso de los simuladores y la cantidad de usuarios son solo limitados por la cantidad de equipos de cómputo disponibles.

Las evaluaciones y los trabajos se pueden hacer y luego calificar con los simuladores, sin necesidad del equipo físico.

Los simuladores son una primera etapa para llegar a Laboratorios remotos, donde los estudiantes primero prueben su programa en el simulador y luego controlan en forma remota el equipo real.

La universidad sigue trabajando en implementar varios laboratorios virtuales y remotos, en ese sentido todo este tipo de trabajos ayudan al cumplimiento de este objetivo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen toda la colaboración al Semillero de investigación en Automática SIAI, por todo su apoyo en la elaboración de este documento y por las pruebas realizadas a los simuladores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. R., Karina. *Un modelo de enseñanza-aprendizaje virtual: análisis diseño y aplicación en un sistema universitario*, Revista Virtual Pro, Número 118, Noviembre 2011, ISSN 1900-6241.
- [2] C. Perumalla, J. Mak, N. Kee, S. Matthews, *Integrating web applications to provide an effective distance online learning environment for students*, Procedia Computer Science, Vol. 3, pp 770-784, 2011.
- [3] A. J., Lopez. *Interactive didactical tools for e-learning in a communication systems course*. IEEE Global Engineering Education Conference EDUCON, Pamplona, España, 2013.
- [4] H. Majid. *A modular virtual reality system for engineering laboratory education*. Computer Applications in Engineering Education. , Eastern Mediterranean University, Famagusta, Turkey.
- [5] F. A. Candelas, F. Torres, P. Gil, F. Ortiz, S. Puente, J. Pomares, *Laboratorio virtual remoto para robótica y evaluación de su impacto en la docencia*. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. Vol. 1, n. 2 (jul. 2004). ISSN 1697-7912, pp. 49-57
- [6] J. S. Moreno, *Un Nuevo enfoque metodológico para la enseñanza a distancia de asignaturas experimentales*. Tesis Unirioja. Descargado de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=9242>.
- [7] F. A. Candelas, J. Sánchez, *Recursos Didácticos Basados en Internet para el Apoyo a la Enseñanza de Materias del Área de Ingeniería de Sistemas y Automática*, Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. Vol. 2, n. 2 (abr. 2005). ISSN 1697-7912, pp. 93-101
- [8] I. C. Gordillo, E. Z. Guerrero, U. G. Gurtubay, J. M. López, *Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas científicas*, Revista Internacional de Educación en Ingeniería, Vol. 4. 22-30
- [9] C. A. Alejandro, J. M. Perdomo, *Aproximando el Laboratorio virtual de Física general a la Laboratorio real*. Revista Iberoamericana de Educación. ISSN: 1681-5653 n.º 48/6 – 10 de marzo de 2009
- [10] I. B. Carlos, M. S. Sebastián, B. N. Álvaro, *Implementación de un Laboratorio virtual para el estudio de dispositivos electrónicos*, Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología, No. 2. Julio 2007
- [11] J. M. Nájera, V. H. Méndez, *Ventajas y desventajas de usar laboratorios virtuales en educación a distancia: La opinión del estudiantado en un Proyecto de seis años de duración*. Revista Educación Universidad de Costa Rica. Revista Educación 31(1), 91-108, ISSN: 0379-7082, 2007