

# Laboratorio virtual de escenarios industriales para entrenamiento en las áreas de automatización y control

*Virtual laboratory of industrial scenarios for training in the areas of automation and control*



Jorge-Alberto Ortega-Moody<sup>1</sup>, Róger-Ernesto Sánchez-Alonso<sup>2</sup>, William R. Grisé<sup>1</sup>, J.L. García-Malacara<sup>3</sup>, Ruth Vidana-Morales<sup>3</sup> y Guillermo Reyes-Morales<sup>4</sup>

1 Morehead State University Department of Engineering and Technology Management (USA)

2 Universidad Nacional de Ingeniería (Nicaragua)

3 CINVESTAV Unidad Guadalajara (México)

4 Instituto Tecnológico Superior de San Andrés (México)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8051>

La incorporación de nuevas tecnologías y desarrollos tecnológicos en el área de automatización y control requiere de constante entrenamiento del personal involucrado en tal área. La mayoría de este tipo de entrenamiento inicia en los laboratorios de instituciones educativas y centros de entrenamiento. En estos laboratorios es donde el conocimiento teórico adquirido en los salones de clase es aplicado. Desafortunadamente, estos laboratorios poseen limitada infraestructura, y su uso, en el mejor de los escenarios, está restringido por la disponibilidad de algunos actuadores y sensores. Otra fuente de entrenamiento tiene lugar en la industria, donde las compañías mismas tienen su propio programa interno de entrenamiento impartido por expertos en el campo. Sin embargo, este método de entrenamiento no es siempre exitoso, pues cualquier error en la programación de los controladores puede poner personas en riesgo o implicar pérdidas económicas para la compañía.

Ya sea que el entrenamiento se realice en un ambiente educativo o industrial, el objetivo del aprendiz es adquirir o actualizar sus conocimientos en una o muchas de las siguientes áreas:

- PLCs
- Diagrama escalera
- Programación en ambientes comerciales (AB: RsLogix, Siemens: Stp7, etc.)
- Comunicación
- OPC

- Modbus
- DLLs
- Protocolos comerciales (DeviceNet, ControlNet, Profibus, etc.)
- SCADAS comerciales (RSview32, Simatic, etc.)
- Desarrollo de SCADAS usando lenguajes de alto nivel (C#, VB.NET).

Actualmente, la disponibilidad de herramientas de alto desempeño tales como las plataformas para desarrollos virtuales, motores de física, procesadores de cómputo y procesadores gráficos, han contribuido al desarrollo de aplicaciones virtuales cuyo propósito, a diferencia de aplicaciones convencionales, va más allá del entretenimiento. Esta nueva tendencia tiene su principal campo de acción en la instrucción especializada y el entrenamiento [1], pues toma ventaja de videojuegos 3D y motores de física para mejorar la experiencia realista de usuarios en diferentes contextos, por ejemplo, industrial [2-4], sanitario [5-7], militar [8], etc.

Universidades alrededor del mundo han diseñado sus propios laboratorios virtuales tales como iLab [9] en el MIT, el cual soporta una gran variedad de laboratorios en línea pero requiere de conexión a internet. WebLabs [10] en la Universidad de Cambridge, WebLab-Deusto [11] en la Universidad de Deusto y NCSLab [12] permiten al usuario interactuar con dispositivos virtuales para crear un esquema de control que puede ser después probado en varios dispositivos y ofrecer varios servicios a usuarios alrededor del mundo, sin embargo los dispositivos físicos no pueden ser usados por todos los usuarios al mismo tiempo y los usuarios no pueden entrenar usando sus propios dispositivos.

Tomando en cuenta la necesidad de entrenamiento de calidad en las áreas de automatización y control, así como el crecimiento exponencial de herramientas de simulación 3D en tiempo real, surge el interés de desarrollar ambientes de entrenamiento virtual en estas disciplinas de la ingeniería.

Este trabajo presenta el desarrollo de laboratorios virtuales (LV) con escenarios industriales para su aplicación en la enseñanza de tópicos relacionados con automatización y control. Con este desarrollo, las instituciones educativas serán capaces de transferir conocimiento práctico sin la necesidad de adquirir hardware. Además, los alumnos serán capaces de automatizar líneas reales y procesos que actualmente existen en la industria, con escenarios cuyas secuencias variarán de complejidad de acuerdo al nivel de conocimiento del usuario. A través de la comunicación Modbus/TCP, estos escenarios industriales pueden ser usados junto con PLCs reales y al mismo tiempo interactuar con hardware real conectado a esos PLCs. De esta forma el usuario puede tomar ventaja de los dispositivos disponibles en el lugar donde es entrenado. Otra ventaja de esta herramienta es que provee al usuario la oportunidad de operar un proceso y simultáneamente elimina el riesgo económico y de seguridad que normalmente existe cuando los parámetros de control son alterados.

Este LV es capaz de interactuar con cualquier marca de PLC que tenga la capacidad de comunicarse por Modbus/TCP. Esto ofrece flexibilidad en la enseñanza de control industrial y automatización. El objetivo es crear un ambiente virtual basado en la simulación de procesos, donde los aspectos físicos y el comportamiento dinámico de modelos reales sean representados [13-17]. Esto incluye objetos, actuadores, sensores y factores ambientales.

Este desarrollo permitirá a las instituciones educativas y centros de entrenamiento ajustar su instrucción práctica con los tipos de controladores que existen en el mercado y así proveer preparación vocacional más apropiada para sus estudiantes. Los PLCs pueden también usar sus I/Os para conectarse con hardware externo (botones, joysticks, paneles de control, etc.) para manipular mecanismos y procesos dentro del escenario virtual. Esta flexibilidad hace el proceso de aprendizaje más similar a la realidad.

## 1. METODOLOGÍA

La metodología usada en el diseño es mostrada en la Fig. (1). Esta inicia con una serie de especificaciones del proceso a

virtualizar. Una vez que las características físicas son obtenidas del proceso, al igual que el comportamiento dinámico de cada elemento (mecanismos, sensores y actuadores) y su diseño CAD, el tercer paso es insertar los diseños CAD en el motor de física para asignar el comportamiento dinámico de cada elemento. Finalmente, el desempeño de cada elemento es probado para asegurar que su comportamiento se acerca lo más posible a la realidad.



Fig. 1: Metodología

2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

El laboratorio virtual es construido en dos bloques básicos de sensores y actuadores los cuales envían y reciben señales digitales al PLC. Estas señales son emuladas desde dispositivos virtuales tales como motores, pistones, HMIs, etc. El comportamiento de estos dispositivos depende del grado de sofisticación del modelo, el cual es comparado con el comportamiento de dispositivos físicos reales.

2.1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La comunicación entre el laboratorio virtual y los controladores externos es hecha a través del protocolo Modbus Server sobre TCP/IP. Es mediante tal comunicación que el acceso a las señales virtuales desde los sensores y actuadores virtuales es posible.

Los clientes (Controladores Externos) envían y reciben señales y comandos al servidor y continuamente actualizan el estatus y resultados de la simulación.

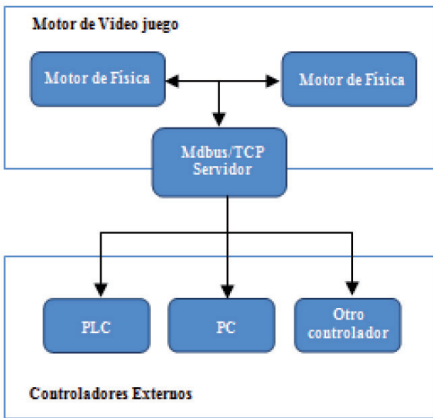


Fig. 2: Arquitectura del sistema

La simulación del comportamiento físico de los objetos es llevada a cabo por medio de un motor de física [18] independiente al servidor. Esto ayuda al servidor a no volverse lento debido a cálculos excesivos y lo libera para concentrarse en la comunicación con el cliente. Una representación esquemática de la arquitectura del sistema es mostrada en la Fig. (2).

2.2. IMPLEMENTACIÓN

Con respecto a la implementación, el escenario de una celda Robótica de manufactura fue seleccionada. En este escenario robots tipo Serie y tipo Delta fueron implementados. También, sensores capacitivos e inductivos, y actuadores como motores CD y pistones fueron virtualizados. Sonidos fueron añadidos a todos los equipos representando las características de los procesos y su función para crear un ambiente virtual ajustado a la realidad.

La otra tecnología utilizada es el motor de física, en este caso NVIDIA® PhysX®; uno de los motores de física comercialmente disponible más robustos. Un motor de física es un software que provee una simulación aproximada de ciertos sistemas físicos, tales como cuerpos rígidos, cuerpos flexibles y fluidos. Esto significa que a través de un motor de física el comportamiento real de todos los sistemas embebidos en el escenario puede ser representado con precisión. En el caso de las celdas robóticas, los sistemas físicos representados son sólo los cuerpos rígidos. Un motor de física provee la oportunidad de configurar muchas características para simular el comportamiento de cuerpos rígidos incluyendo gravedad, detección de colisiones, masa, centro de masa, velocidades y aceleraciones angulares, fuerzas, torques, etc. La tecnología anteriormente mencionada aunada al modelado de sistemas dinámicos resulta en un conjunto de escenarios con un elevado grado de realismo en el comportamiento de todos los sistemas embebidos en el ambiente virtual.

2.3. TIPOS DE ENTRENAMIENTO

Dos tipos de entrenamiento fueron implementados: entrenamiento en el cuarto de control y entrenamiento en la planta. El primero consiste en la recreación y simulación de un cuarto de control donde el operador monitorea la planta usando un sistema SCADA y programa los PLCs. Por lo tanto, el ambiente consiste en las pantallas y controles necesarios para manipular la operación del proceso. De igual forma es posible simular cámaras de seguridad que monitoreen la planta. Un ejemplo de este tipo de entrenamiento es mostrado en la Fig. (3).

La segunda forma de entrenamiento es dentro de la planta misma. Este modo es usado cuando el ingeniero de campo debe interactuar con los objetos que son parte de la escena, tales como botones e interfaces. En este modo, el ingeniero de campo se mueve a través de la planta en primera persona, ofreciendo al aprendiz la perspectiva de estar dentro de un ambiente industrial tal y como se muestra en la Fig. (4 y 5).



Fig. 3: Cuarto de control virtual

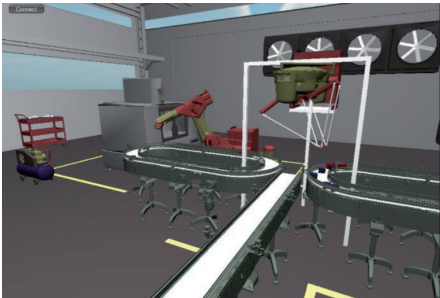


Fig. 4: Vista en primera persona

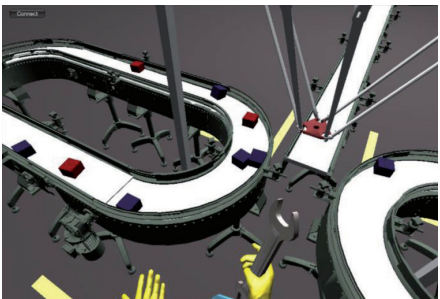


Fig. 5: Manipulación de objetos en primera persona

El LV permite entrenar en ambos modos simultáneamente. Un operador puede usar el modo de cuarto de control mientras un ingeniero de campo entrena en la escena. Vale la pena mencionar que tal interacción en el escenario virtual se puede realizar en red incluso cuando los participantes estén localizados en diferentes partes del mundo. Al aplicar ambos modos simultáneamente, el operador puede visualizar el avatar del ingeniero de campo que está entrenando y moviéndose dentro de la escena, tal y como se muestra en la Fig. (6) (izquierda). La Fig. (6) (derecha) muestra la interfaz interactiva para visuali-

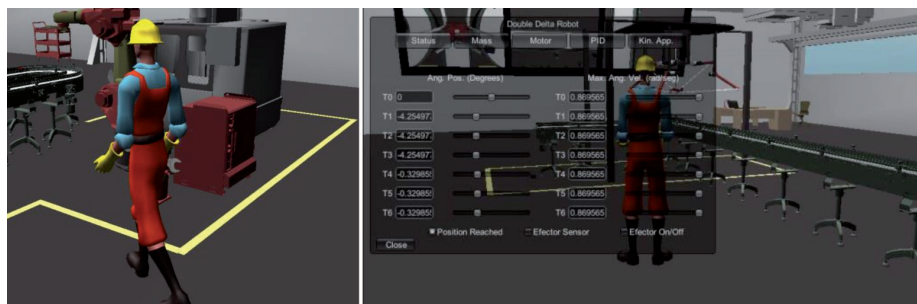


Fig. 6: a) Vista en tercera persona. b) Interfaz interactiva del robot Delta.

lizar y modificar los parámetros dinámicos de uno de los robots Delta. Esta interfaz es la forma manual en la que el usuario puede controlar los movimientos del robot como en un *teach pendant*.

La automatización de la planta virtual de robótica industrial tiene lugar programando un PLC con todas las rutinas para cada componente industrial. Para tal fin se utilizó el *Rockwell Automation RS Logix 500*. En el escenario virtual propuesto la tarea del usuario es programar el PLC, probar la rutina programada y hacer correcciones si fueran necesarias. El objetivo del ejercicio de entrenamiento es obtener una planta industrial virtual completamente funcional.

## 2.4. PRUEBAS Y RESULTADOS

El PLC que fue utilizado para interactuar con el LV fue el SLC 500 el cual se comunica mediante Modbus/TCP. El modelo gráfico está hecho de 0.8 millones de polígonos. Hablando en términos de la simulación física, el modelo está hecho de 50 cuerpos rígidos con 40 regiones de colisión.

El software y los módulos de comunicación fueron ejecutados usando una computadora con 6.00 GB de RAM con un procesador Intel i5-4210U @ 2.40GHz, Windows 8.1 64 bits.

El uso del CPU/GPU fue constante e inferior al 21% en total. La frecuencia de muestreo de las señales del modelo fue mantenida constante en 0.2 milisegundos.

## 3. CONCLUSIONES

El LV implementado es una herramienta de enseñanza para entrenar operadores de planta, ingenieros de campo y estudiantes en un ambiente virtual utilizando controladores reales. Esta última característica ofrece a los estudiantes la oportunidad de aprender e implementar rutinas de automatización en procesos complejos con la certeza de que no se está comprometiendo la seguridad de las instalaciones ni la del personal involucrado.

Basándose en la retroalimentación del sistema, el operador puede visualizar

los errores en el proceso. Esto ayuda a los usuarios a realizar cambios en los parámetros de manera que ellos puedan aprender de sus propios errores.

Actualmente, la aplicación virtual está en desarrollo, y la primera versión comercial disponible se planea sea lanzada próximamente. Los trabajos futuros para este desarrollo tecnológico están orientados en dos direcciones: (i) nuevos escenarios con procesos industriales más complejos serán diseñados, modelados y virtualizados para ofrecer un rango más completo de herramientas para el entrenamiento, y (ii) temáticas relacionadas con incrementar la experiencia realista de los usuarios, no sólo desde la perspectiva del desarrollo de mejores gráficos, contraste, audio, etc. Sino también a través de la incorporación de nuevas tecnologías, tales como cascos de realidad virtual, lo cual constituye opciones bastante viables para proveer al usuario la sensación de estar completamente inmerso en el ambiente virtual.

## PARA SABER MÁS

- [1] Zyda M. "From visual simulation to virtual reality to games", Computer. September 2005. Vol. 38-9, P. 25-32. (doi: <http://dx.doi.org/10.1109/MC.2005.297>).
- [2] Saraiva Brasil I., et al. "An intelligent and persistent browser-based game for oil drilling operators training", In: Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 2011 IEEE 1st International Conference on. IEEE, 2011. (doi: <http://dx.doi.org/10.1109/SeGAH.2011.6165431>).
- [3] Guo H., et al. "Using game technologies to improve the safety of construction plant operations", Accident Analysis & Prevention. September 2012. Vol. 48, P. 204-213. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2011.06.002>).
- [4] Jia L., et al. "Simulation for pre-visualizing and tuning lighting controller behavior", Energy and Buildings. February 2014. Vol. 70, P. 287-302. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.063>).
- [5] El Khayat, G.A., et al. "Intelligent serious games system for children with learning disabilities", In: Computer Games (CGAMES), 2012 17th International Conference on. IEEE, 2012. (doi: <http://dx.doi.org/10.1109/CGAMES.2012.6314547>).
- [6] Lancaster R.J. "Serious game simulation as a teaching strategy in pharmacology", Clinical Simulation in Nursing. March 2014. Vol. 10-3, P. 129-137. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecns.2013.10.005>).
- [7] Sliney A. and Murphy D. "JDoc: a serious game for medical learning", In: Advances in Computer-Human Interaction, 2008 First International Conference on. IEEE, 2008. (doi: <http://dx.doi.org/10.1109/ACHI.2008.50>).
- [8] da Silva P.D and Ferreira C.G.I. "Military war games edutainment", In: Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 2011 IEEE 1st International Conference on. IEEE, 2011. (doi: <http://dx.doi.org/10.1109/SeGAH.2011.6165433>).
- [9] Harward V.J., et al. "The iLabShared Architecture: A Web Services Infrastructure to Build Communities of Internet Accessible Laboratories", In: Proceedings of the IEEE. 2008. Vol. 96-6, P. 931-950. (doi: <http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2008.921607>).
- [10] Richter Th., et al. "The WebLabs of the University of Cambridge: A study of securing remote instrumentation", In: Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2012 9th International Conference on. IEEE, 2012. (doi: <http://dx.doi.org/10.1109/REV.2012.6293099>).
- [11] Garcia-Zubia J., et al. "Addressing Software Impact in the Design of Remote Laboratories", Industrial Electronics, IEEE Transactions on. January 2010. Vol. 56-12, P. 4757-4767. (doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TIE.2009.2026368>).
- [12] Yuliang Q., et al. "NCSLab: A Web-Based Global-Scale Control Laboratory With Rich Interactive Features", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, June 2009. Vol. 57-10, P. 3253-3265.
- [13] Liu Y. and He X. "Modeling identification of power plant thermal process based on PSO algorithm", In: American Control Conference, 2005. Proceedings of the 2005. IEEE, 2005. (doi: <http://dx.doi.org/10.1109/ACC.2005.1470703>).
- [14] Conte J.P. and Trombetti T.L. "Linear dynamic modeling of a uni-axial servo-hydraulic shaking table system", Earthquake engineering & Structural dynamics. September 2000. Vol. 29-9, P. 1375-1404. (doi: [http://dx.doi.org/10.1002/1096-9845\(200009\)29:9<1375::AID-EQE975>3.0.CO;2-3](http://dx.doi.org/10.1002/1096-9845(200009)29:9<1375::AID-EQE975>3.0.CO;2-3)).
- [15] Bhat N.V., et al. "Modeling chemical process systems via neural computation", IEEE Control Systems Magazine. April 1990. Vol. 10-3, P. 24-30. (doi: <http://dx.doi.org/10.1109/37.55120>).
- [16] Ekanayake, J. B., et al. "Dynamic modeling of doubly fed induction generator wind turbines", IEEE Transactions on Power Systems. May 2003. Vol. 18-2, P. 803-809. (doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TPWRS.2003.811178>).
- [17] Sandhu K.S. and Vivek P. "Simulation Study of Three-Phase Induction Motor with Variations in Moment of Inertia", Journal of Engineering and Applied Sciences. August 2009. Vol. 4-6, P. 72.
- [18] Boeing A. and Thomas B. "Evaluation of real-time physics simulation systems." In: Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australia and Southeast Asia. 2007. (doi: <http://dx.doi.org/10.1145/1321261.1321312>).

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de investigación fue apoyado por Mechatraining LLC.