

Puesta en marcha virtual de la automatización de una planta industrial

Virtual commissioning of automation of an industrial plant

Guillermo Reyes-Morales, Saihiranmitra Mudiki, Andrés Salinas Hernández, Jorge-Alberto Ortega-Moody, Róger E. Sánchez-Alonso y Adolfo Enrique Samudio Cano
Ciateq (México)
Morehead State University (EEUU)
Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla (México)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8802>

1. INTRODUCCIÓN

Hasta el día de hoy en la mayoría de las industrias alrededor del mundo, para probar la funcionalidad real de un sistema productivo automatizado se requiere que el sistema esté montado en su totalidad. De lo anterior un número considerable de problemas de diseño y fallas permanecen indetectables hasta que se requiere probar todo el sistema, generándose retrasos en la entrega del proyecto, retrabajos y pérdidas económicas. Según [1] el tiempo de puesta en marcha consume arriba del 25% del tiempo de diseño de ingeniería y construcción de un sistema automatizado, y más de un 15 % de este tiempo se gasta corrigiendo errores del software de control que permite la interacción entre el PLC y cada uno de los componentes del sistema.

En los últimos años el concepto de puesta en marcha virtual ha representado una solución altamente factible para resolver los problemas antes mencionados. La idea básica es conectar una fábrica virtual a un controlador real, de manera que ingenieros de diferentes áreas, por ejemplo procesos y automatización, puedan trabajar juntos con un modelo común. De esta forma el programa del PLC puede ser probado sin tener que esperar la implementación física del proceso, y la funcionalidad general de la planta puede ser validada [2-5]. Estudios han demostrado los efectos positivos de trabajar con la puesta en marcha virtual, reduciendo costos y añadiendo valor [6]. Así mismo se ha estudiado su escalabilidad económica y tecnológica [7].

En la literatura se encuentra disponible una gran variedad de trabajos que

representan esfuerzos importantes para la implementación de la puesta en marcha virtual [8-15]. Cada uno de estos trabajos muestra grandes avances en esta temática, y la mayoría de estos reportan ciertos aspectos o problemáticas en los que todavía resulta necesario trabajar. Entre estos aspectos destacan; (i) la generación de los escenarios de Realidad Virtual dada la necesidad de software altamente especializado, (ii) la adecuada modelación del comportamiento físico de los componentes involucrados en la escena 3D, específicamente equipos altamente especializados como robots, sistemas térmicos, hidráulicos, neumáticos, térmicos, químicos, etc., y (iii) la comunicación entre el escenario virtual y cualquier modelo de PLC.

En este trabajo se propone una metodología para la implementación de la puesta en marcha virtual que hace frente a esos inconvenientes. La metodología está basada en el uso del concepto de "Serious Games", una tendencia relativamente nueva que usa motores de videojuegos y otras herramientas de gran disponibilidad (software y hardware) para desarrollar aplicaciones virtuales con propósitos

que van más allá del entretenimiento. La gran mayoría de las plataformas disponibles para el desarrollo de aplicaciones virtuales permite la inclusión de código de programación en lenguajes de alto nivel, lo cual hace posible que se pueda implementar el modelado dinámico de los sistemas físicos embebidos en la escena para garantizar una simulación apegada a la realidad. De igual forma se habilita la posibilidad de implementar un protocolo de comunicación entre el escenario virtual y cualquier PLC.

2. CASO DE ESTUDIO: PUESTA EN MARCHA VIRTUAL DE UNA PLANTA EMBOTELLADORA

Para este caso de estudio, la plataforma de desarrollo virtual que se usó es Unity 3D versión 5.5, la cual contiene un motor de física PhysX™. Esta plataforma permite que el usuario desarrolle el código de programación en un lenguaje de alto nivel, así como C# o Java Script el cual puede ser elaborado en IDEs como Microsoft Visual Studio.

2.1. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL PROCESO

El proceso consiste en una pequeña planta automatizada para el embotellado de un producto líquido (ver Fig. 1a). El proceso inicia con el mezclado y calenta-



Fig. 1: Planta embotelladora virtual. (a) Vista general. (b) Sistema de mezclado y calentamiento. (c) Sistema de llenado. (d) Operador manipulando una botella llena

miento de los dos ingredientes que componen el producto, los cuales provienen de dos tanques diferentes (ver Fig. 1b). Una vez que la mezcla alcanza una temperatura uniforme (configurada por el operador de la planta virtual) el producto es enviado por tuberías al sistema de llenado (ver Fig. 1c). El sistema de llenado está compuesto principalmente por un tanque de almacenamiento suspendido y cuatro inyectores para el llenado simultáneo de la misma cantidad de botellas. Las botellas plásticas son llevadas hacia el sistema de llenado a través de bandas transportadoras, posteriormente son llevados hacia el sistema de tapado y sellado, donde finaliza el proceso.

El tanque de mezclado y calentamiento constituye un sistema dinámico, donde se considera propiedades físicas como el flujo másico del fluido, el volumen contenido, la densidad, el calor específico, la capacidad calorífica del sistema de calentamiento, etc. La señal de control en el tiempo proveniente del PLC hacia este sistema está en función de todas estas características físicas, tal y como sería en el proceso de control de un sistema térmico real. Se implementó el sistema dinámico bajo el supuesto de ser un sistema aislado, es decir no hay intercambio térmico entre el contenido del tanque y el exterior.

El escenario virtual está configurado para interactuar a través de una interfaz física y un protocolo de comunicación con todas las I/O's, tanto analógicas como digitales, del PLC que sean necesarias para automatizar todo el proceso con actuadores y sensores.

La aplicación final desarrollada para la puesta en marcha virtual de esta planta embotelladora permite la navegación 3D y la manipulación de objetos (ver Fig. 1d) por parte del operador a través del hardware "Oculus Rift".

2.2. MODELADO 3D

Inicia con la identificación de todos los objetos que estarán visualmente disponibles en la escena: tanques, llenadora, bandas transportadoras, botellas, etc. Posteriormente se procede a diseñar según especificaciones de fabricantes o desde cero cada uno de estos componentes.

Todos los modelos CAD utilizados fueron desarrollados a escala real en SolidWorks®, luego fueron exportados en formato STL (Stereo Lithography) hacia 3DS MAX, en donde se trabajó en la reducción de los polígonos que forman el mallado de cada modelo 3D. El propósito de este tratamiento es disminuir el costo computacional del despliegue gráfico en la aplica-

ción virtual. Posteriormente cada modelo 3D es enviado en formato FBX (FilmBox) hacia Unity 3D.

2.3. MONTAJE Y CONFIGURACIÓN DE LA ESCENA VIRTUAL

El escenario virtual toma forma en la medida que se empiezan a importar los modelos CAD a Unity 3D. A cada componente insertado se le conoce como "GameObject" y tiene asociado un sinnúmero de propiedades, algunas muy básicas como su posición, su rotación y su escala, las cuales al ser modificadas vía código de programación permiten animar al "GameObject".

Si se desea que el objeto reaccione ante alguna propiedad física, como la gravedad, algún torque externo, asignarle masa, un material específico, etc., es necesario configurarlo como "Rigid Body".

Otra propiedad importante a configurar es la de "Collider", la cual le permite a un objeto interactuar con otros en la escena. Un "Collider" es una región envolvente que delimita el espacio de contacto de un cuerpo. Esta región puede tomar la forma de diferentes figuras geométricas, como esferas y cubos, o incluso tomar la

forma exacta de las mallas del objeto sobre el cual actúa. Un cuerpo puede interactuar con otro cuerpo también gracias a la acción de una o varias articulaciones. Estas y muchas características físicas, como luces, texturas, sonidos, etc., pueden ser configuradas en Unity 3D.

El campo de la Realidad Virtual crece constantemente, y este crecimiento ha traído consigo una amplia disponibilidad de hardware para estos propósitos. Uno de los accesorios más potentes y accesibles en el mercado es el "Oculus Rift", el cual consiste en unos lentes de Realidad Virtual equipados con controles manuales que están conectados a sensores de posición fijos. "Oculus Rift" es compatible con muchos motores de videojuegos como Unity 3D gracias al acceso abierto de los drivers y su fácil instalación. Para el proyecto de puesta en marcha virtual expuesto en este trabajo el operador puede navegar libremente en primera persona dentro de toda la escena e interactuar con objetos con sus propias manos. En la Fig. 2 se ilustra la experiencia del operador de la planta (esquina inferior derecha) dentro del escenario virtual.



Fig. 2: Interacción en el escenario virtual mediante "Oculus Rift"



Fig. 3: Representación visual del sistema dinámico (Tanque de mezclado y calentamiento)

2.4. MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS TECNOLÓGICOS

Los equipos tecnológicos insertados en el escenario virtual pueden ser vistos desde dos puntos de vista; aquellos cuyo estado en el tiempo puede tomar cualquier valor dentro de un rango, y aquellos cuyo estado está asociado a una variable booleana.

El tanque donde se mezcla y calienta el producto a embotellar debe ser modelado como un sistema dinámico. Para mayor información acerca del modelado y control de sistemas dinámicos revisar [16, 17]. Específicamente este sistema responde a un sistema térmico, donde el valor de la temperatura es cambiante en el tiempo hasta que alcanza una temperatura deseada. El tiempo y la forma en la que se alcanza la temperatura deseada dependen de las características físicas de los elementos involucrados en el sistema. De forma general se puede decir que este sistema está caracterizado por la siguiente ecuación diferencial.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{F}{V}(T - T_i) + \frac{Q}{\delta V C_p} \quad (1)$$

Donde T es la temperatura del fluido, F el flujo másico, V el volumen, T_i la temperatura inicial, Q el flujo de calor, δ la densidad del fluido y C_p el calor específico. La implementación de esta ecuación diferencial en tiempo discreto dentro de Unity 3D implica pasarla al dominio de Laplace y posteriormente aplicar la transformada bilineal (método Tustin).

De lo anterior es posible calcular la señal de control en el tiempo (flujo de calor) necesaria para controlar la temperatura de

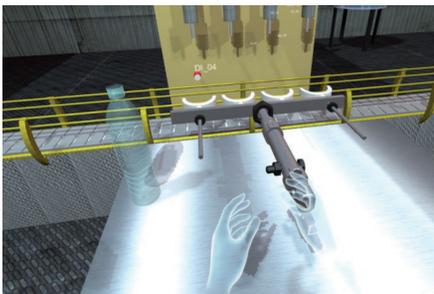


Fig. 4: Banda transportadora y actuador neumático

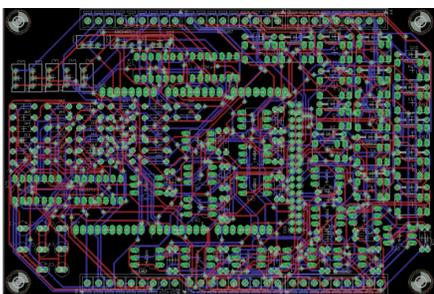


Fig. 5: Diseño y trazado del PCB

la mezcla en el tanque, tal y como si se estuviera trabajando con un sistema automatizado real. Aunque la implementación de este sistema básicamente se hace a través de código de programación, es necesario incluir dentro de la escena una representación visual para enriquecer la aplicación virtual. En la Fig. 3 se observa el tanque de mezclado y calentamiento completamente equipado, se observa uno de los tubos de entrada, el tubo de salida, las aspas del mezclador y el calentador en el interior de tanque, el motor del mezclador y el sensor de temperatura en la parte superior del tanque, y los sensores de nivel.

La planta embotelladora no sólo cuenta con el sistema de mezclado y calentamiento, también incorpora una serie de dispositivos (sensores y actuadores) que permiten que se pueda automatizar todo el proceso. Ejemplo de sensores son: los sensores de nivel en los tanques y el sensor de presencia al inicio de la llenadora que cuenta las botellas en grupos de 4 (ver ambos tipos de sensores en Fig. 1c). Ejemplo de actuadores son: las electroválvulas que permiten el flujo a través de las tuberías de los tanques (ver Fig. 3), el motor que activa las bandas transportadoras, y el actuador neumático que asegura las botellas durante el proceso de llenado (ver Fig. 4).

A diferencia del tanque de mezclado y calentamiento, los dispositivos mencionados anteriormente presentan un comportamiento mucho más simple de modelar, pues su estado en el tiempo depende de una variable booleana (on/off). Por ejemplo, para el sensor de presencia al inicio de la llenadora se utiliza la opción "Trigger" (Disparo) del "Collider" del "GameObject" que representa al sensor en la escena, de manera que cuando el "Collider" del sensor entra en contacto con el "Collider" de una botella, una variable booleana previamente definida toma valor verdadero, lo que permite el conteo de cuatro botellas para posteriormente ser llenadas.

2.5. DISEÑO ELÉCTRICO Y DE PCB

Los autores de este trabajo habían confirmado en investigaciones previas [18] la posibilidad de conectar un PLC a un entorno de realidad virtual. Sin embargo, al igual que otros investigadores del área, necesitaban diseñar e implementar la comunicación física y lógica según el tipo de PLC a utilizar.

En este trabajo se propone desarrollar una interfaz física general que permita conectar cualquier tipo de PLC con un escenario virtual. La interfaz propuesta (ver Fig. 5) incorpora un "Arduino Mega", 16 relevadores y 16 optoacopladores para

manejar las entradas y salidas digitales del PLC, además de un conjunto de filtros RC y amplificadores operacionales para trabajar con entradas y salidas analógicas.

2.6. CONFIGURACIÓN DE LA COMUNICACIÓN

El proceso de comunicación involucra tres sub sistemas: el escenario virtual desarrollado, la interfaz física y el PLC. Las entradas y salidas analógicas o digitales del PLC deben ser vistas de forma inversa por la aplicación virtual, es decir, las salidas del PLC son vistas como entradas para la aplicación virtual, y las entradas del PLC son salidas de la aplicación virtual. Una situación igual sucede entre la interfaz física y el PLC y entre la aplicación virtual y la interfaz física.

Por asuntos de protección de derechos de autor no se puede dar detalles del protocolo de comunicación implementado, el cual al igual que la electrónica de la sección anterior representan propuestas originales de este trabajo.

El proceso virtual de embotellado se controla a través de un PLC Allen Bradley 1500, el cual es programado en el software RSLogix 500 (ver Fig. 6). Para este fin en el PLC se manejan: 12 salidas digitales para controlar las electroválvulas, el motor de las bandas transportadoras, los inyectores de llenado y otros actuadores; 14 entradas digitales para monitorear el nivel de los tanques, el conteo de las botellas, etc.; 1 salida analógica asociada a la señal de control en el tiempo que va al calentador; y 1 entrada analógica asociada al registro en el tiempo enviado por el sensor de temperatura.

El escenario virtual está configurado para comunicarse con la interfaz física a través del puerto serial. Del lado del PLC, las entradas digitales son recibidas desde la interfaz de control mediante la activación de relevadores. Por otro lado, las salidas digitales llegan a la interfaz física a través de optoacopladores. En el caso de las entradas analógicas, estas provienen vía PWM (Pulse-Width Modulation) desde la interfaz física, posteriormente son convertidas a señales analógicas a través de filtros RC y amplificadas a los niveles permitidos por el PLC mediante amplificadores operacionales. Las salidas analógicas del PLC pasan por amplificadores operacionales para acondicionarlas según las especificaciones de entrada de la interfaz física.

3. CONCLUSIONES

Se presentó una metodología sistemática para la implementación del concepto

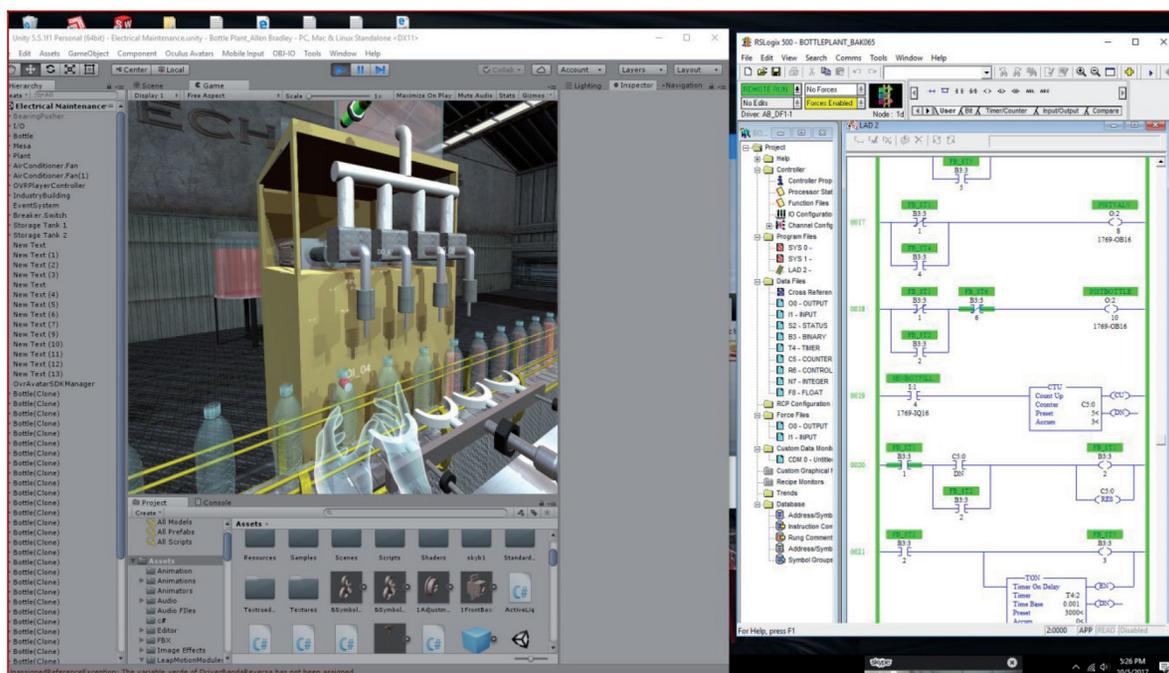


Fig. 6: Vista de la implementación del programa de control en RSLogix 500

de puesta en marcha virtual en la industria de la automatización. La metodología está basada en el desarrollo de escenarios industriales a través de herramientas de fácil disponibilidad como los motores de videojuegos. A través de estas plataformas es posible recrear una escena con alto contenido de realismo visual, de igual forma es posible modelar el comportamiento dinámico de sistemas físicos embebidos en la escena, lo que lleva la experiencia realista a un nivel muy superior comparado con animaciones convencionales. Los escenarios desarrollados a través de esta metodología son capaces de interactuar en tiempo real con PLC's de cualquier clase a través de la implementación de un protocolo de comunicación y una interfaz física, lo cual permite manejar una gran cantidad de señales de entrada y salida tanto analógicas como digitales. De lo anterior es posible decir que a través de esta metodología es posible controlar un proceso virtual con equipos prácticamente de cualquier clase (térmicos, hidráulicos, neumáticos, eléctricos, mecánicos, etc.), de la misma forma que se haría en un proceso real, considerando características físicas del entorno, de los sistemas a controlar, señales eléctricas reales, tipos de controladores, etc.

Con este desarrollo tecnológico se reducen los tiempos de implementación de un proyecto de automatización, y se mejora sustancialmente el proceso de programación de PLC's. Las pruebas se pueden hacer incluso modificando los parámetros físicos involucrados para analizar la respuesta del controlador. Por ejemplo,

para el caso de estudio mostrado en este trabajo, se puede sintonizar el controlador PID (Proporcional, Integral, Derivativo) para cualquier tipo de fluido que se esté procesando. Las aplicaciones de este tipo de iniciativas no se limitan a la puesta en marcha. Con esta tecnología se puede fortalecer el proceso de instrucción de ingenieros en automatización o de cualquier rama a fin a procesos industriales.

REFERENCIAS

- [1] M.F. Záh and G. Wünsch, (2005). Schnelle Inbetriebnahme von Produktionssystemen. Wt Werkstattstechnik online, 95(9), pp. 699-704.
- [2] P. Hoffman, R. Schuman, T.M.A. Maksoud and G.C. Premier, "Virtual commissioning of manufacturing systems-A review and new approaches for simplification," in 24th European Conference on Modeling and Simulation, Kuala Lumpur, Malaysia, 2010, pp. 407-411.
- [3] Z. Liu, N. Suchold, and C. Diedrich, (2012). Virtual commissioning of automated systems. Automation, F. Kongoli (Ed.), InTech, pp. 131-148.
- [4] C.G. Lee and S. C. Park (2014, Jul). Survey on the virtual commissioning of manufacturing systems. Journal of Computational Design and Engineering, 1(3), pp. 213-222.
- [5] R. Drath, P. Weber and N. Mauser. "An evolutionary approach for the industrial introduction of virtual commissioning," in Emerging Technologies and Factory Automation, 2008. ETFA 2008. IEEE International Conference on, Hamburg, Germany, 2008, pp. 5-8.
- [6] N. Shahim and C. Møller. "Economic justification of virtual commissioning in automation industry," in Winter Simulation Conference, Arlington, 2016, pp. 2430-2441.
- [7] G. Reinhart and G. Wünsch. (2007, Dec.). Economic application of virtual commissioning to mechatronic production systems. Production Engineering. Research and Development. 1(4), pp. 371-379.
- [8] A. Strahilov and F. Damrath. (2015, Dec.). Simulation of the behavior of pneumatic drives for virtual commissioning of automated

- assembly systems. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 36, pp. 101-108.
- [9] S. Süß, D. Hauf, A. Strahilov and C. Diedrich. (2016). Standardized Classification and Interfaces of complex Behaviour Models in Virtual Commissioning. Procedia CIRP, 52, pp. 24-29.
- [10] S. Süß, A. Strahilov and C. Diedrich, "Behaviour simulation for virtual commissioning using co-simulation," Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 2015 IEEE 20th Conference on, Luxembourg, Luxembourg, 2015, pp. 1-8.
- [11] S. Markis, G. Michalos, and G. Chrystosouris. (2012). Virtual Commissioning of an Assembly Cell with Cooperating Robots. Advances in Decision Systems, 2012, pp. 1-11.
- [12] A. Jain, D. A. Vera and R. Harrison. (2010). Virtual commissioning of modular automation systems. IFAC Proceedings Volumes, 43(4), pp. 72-77.
- [13] L. Koo, C.M. Park, C.H. Lee, S. Park and G. Wang. (2011). Simulation framework for the verification of PLC programs in automobile industries. International Journal of Production Research, 49(16), pp. 4925-4943.
- [14] O. Salamon and A. Heidari. (2012). Virtual Commissioning of an Existing Manufacturing Cell at Volvo Car Corporation using DELMIA V6, (Master's thesis). Chalmers University of Technology.
- [15] J. Hloska, M. Kubin. (2013). Virtual Commissioning of Mechatronic Systems with the Use of Simulation. Mechatronics 2013, Springer, pp. 33-40.
- [16] L. Ljung and T. Glad, "Modeling of Dynamic systems," PTR Prentice Hall, 1994.
- [17] W. J. Palm III, "Modeling, Analysis and Control of Dynamic Systems," 2nd ed., John Wiley Sons, Inc.
- [18] J.A. Ortega-Moody, R.E. Sanchez-Alonso, W.R. Grise, J.I. Garcia-Malacara, R. Vidana-Morales and G. Reyes-Morales. (2017, May.). Virtual laboratory of industrial scenarios for training in the areas of automation and control. Dyna, 92(3), pp. 285-287. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8051>

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue realizado en instalaciones que pertenecen al "21st Century Center for Manufacturing Systems" dentro del campus de Morehead State University en Morehead, Kentucky. Y promovido por Mechatraining LLC., cuya sede está localizada en 149 East Main Street, Morehead, Kentucky.