

## UN SIMULADOR DE ALCANCE TOTAL PARA LA FORMACIÓN DE LOS OPERARIOS DE SALA DE CONTROL DE FACTORIAS AZUCARERAS

A. Merino, S. Pelayo, A. Rueda, R. Alves, A. García, F. Acebes, C. de Prada, G. Gutiérrez & M. García

Centro de Tecnología Azucarera. Universidad de Valladolid  
Prado de la Magdalena s/n. 47011 Valladolid. España.  
Tel.: 983423563. Fax: 983423616  
prada@cta.uva.es

### Resumen

En este trabajo se hace una breve descripción del uso de la simulación para la formación de operarios de sala de control. Se expone la metodología de entrenamiento de operarios de fábricas azucareras que se ha desarrollado en el Centro de Tecnología Azucarera (CTA) y se hace una descripción del simulador desarrollado en este Centro. En dicha descripción se hace especial hincapié en la estructura hardware y software y en concreto en la metodología y herramientas de modelado y simulación usadas. Como lenguaje de modelado de las distintas operaciones unitarias que se producen en la industria azucarera se ha empleado EcosimPro.

**Palabras Clave:** Entrenamiento de operarios. Simuladores de entrenamiento, EcosimPro, OPC.

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Motivación

El proceso de producción del azúcar es complejo, consta de varias secciones de producción e involucra decenas de unidades de proceso continuas junto con otras que funcionan por lotes. Así, existen cientos de variables de proceso que deben ser monitorizadas y controladas. Por estas razones, esta tarea requiere el uso de un sistema de control distribuido (DCS, Fig. 1). Dicho sistema de control recibirá datos del proceso, directamente, y resultados de los análisis realizados en el laboratorio de la planta, generando un conjunto de señales de control que permiten gobernar el comportamiento de la planta.

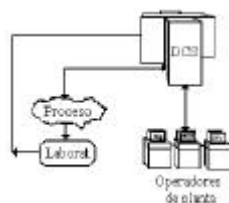


Fig. 1

Sin embargo, el problema no sólo reside en controlar el proceso de producción, tarea que realiza el DCS, sino que éste debe ser vigilado de un modo inteligente. Este proceso de vigilancia inteligente, que realiza el operario de planta interaccionando con el proceso a través del DCS (Fig. 2), se puede dividir en dos tareas claramente diferenciadas: (a) detección de anomalías en el proceso de producción y (b) operación del proceso.



Fig. 2. Operario de planta en una sala de control

En algunos casos el operario de planta no conoce lo suficientemente bien el proceso que está supervisando o sobre el que está actuando, de tal forma que su actuación es deficiente. Una solución para ayudar a evitar estos problemas es utilizar técnicas de supervisión y control avanzadas, de tal forma que se superponga una capa entre el DCS y el operario de planta, automatizando muchas de las tareas que realiza el operario. Entre estas técnicas pueden citarse el uso de sistemas expertos para la detección y diagnóstico de fallos y el uso de algoritmos de control avanzados como el GPC con restricciones.

Estas técnicas pueden considerarse un soporte para el operario, haciéndole más fácil su trabajo, desde el momento en que reducen la intensidad con la que debe supervisar el proceso. Sin embargo, no eliminan la necesidad de incrementar el conocimiento de los operarios sobre el proceso de producción, ya que si se consigue extender ese conocimiento, se conseguirán mejoras en la productividad y calidad del producto. Para incrementar dicho conocimiento la técnica más idónea es el entrenamiento de operarios mediante técnicas de simulación.

## 1.2 Simuladores de proceso para la formación de operarios de sala de control

Cuando alguien imagina un simulador de proceso, la imagen que generalmente le viene a la mente es una réplica de la sala de control, llena de pantallas, y comunicada con enormes ordenadores en los que se están ejecutando simulaciones muy detalladas del proceso. Este tipo de simuladores han sido usados durante años en industrias muy críticas como las plantas nucleares o las refinerías de petróleo, tanto para entrenamiento de personal como para mejorar el proceso de producción. Sin embargo su costo, tanto humano como económico, no ha permitido que su uso se haya extendido a otras industria de proceso.

Sin embargo, esta situación está cambiando debido a los avances significativos tanto en los aspectos asociados al *hardware* que soporta al simulador, como al desarrollo del *software* que permite la simulación del proceso. Esto, está teniendo un impacto muy fuerte en muchas aplicaciones industriales, más aún, el uso de modelos de simulación para el diseño de procesos de producción ha permitido la reutilización y actualización de dichos modelos, a un bajo costo, para destinarles a funciones de entrenamiento.

Se pueden distinguir dos tipos de simuladores en la industria de procesos:

- Los simuladores orientados al diseño de instalaciones (DS, Design Simulators)
- Los simuladores de entrenamiento (PTS, Process Training Simulators).

Dentro de los PTS existen dos tipos:

- Los FSS (Full Scale Simulators) o simuladores de alcance total que reproducen completamente el entorno de operación. Estos simuladores están asociados a una réplica de la sala de control (CCR, Central Control Room), tanto en apariencia como en funciones.
- Los MFDS (Model Forward for Design Simulators), simuladores que reproducen la conducta del proceso, pero no reproducen la CCR, aunque, sin embargo, se puede actuar sobre la simulación en tiempo de ejecución.

A pesar de las ventajas que ofrecen los FSS en la industria de proceso su uso no se ha extendido todo lo que sería deseable debido al coste humano y económico que llevan asociados. Dicho coste es función de la dificultad para desarrollar un modelo de la planta, la necesidad de desarrollar sofisticadas interfaces de usuario y la limitación de que el *hardware* y el *software* está desarrollado a la medida de una aplicación concreta, con lo que resulta difícil su mantenimiento y actualización.

Por todo lo anteriormente mencionado, tradicionalmente, el desarrollo y mantenimiento de un FSS requiere muchas horas-hombre, por lo que sería deseable desarrollar herramientas que automatizarán muchas de las tareas asociadas al desarrollo y mantenimiento de un FSS. Además el desarrollo de un FSS no es el final de un entrenamiento basado en ordenadores sino que es solamente el principio. Esto es así porque una vez desarrollado el simulador de entrenamiento debe de realizarse un riguroso programa de entrenamiento en función de la planta simulada, dicho programa puede exigir diferentes estrategias de entrenamiento y evaluación.

## 2 EL SIMULADOR DE ENTRENAMIENTO DE SALA DE CONTROL

El Centro de Tecnología Azucarera (CTA), lleva varios años trabajando en la formación del personal de la sala de control de la industria azucareras. En este sentido su línea fundamental de trabajo se ha centrado en el desarrollo de un simulador de entrenamiento de operarios de sala de control. Este proyecto conlleva la realización de las siguientes tareas:

- El modelado y simulación del proceso productivo.
- El desarrollo de interfaces para el manejo de la simulación y la emulación de la sala de control
- Ejecución en tiempo real de la simulación
- Desarrollo de las comunicaciones entre las simulaciones y las interfaces que soportan su manejo.

El simulador desarrollado en el CTA es del tipo FSS y emula la sala de control de una factoría azucarera (Fig. 3). Desde un punto de vista funcional se tiene una simulación en tiempo real que emula el comportamiento del proceso, una o varias consolas de operario, una interfaz de instructor desde la cual se dirige el entrenamiento y un sistema de proyección de imágenes dirigido por el instructor y desde el que se proyectan los sinópticos, fotografías o videos que el instructor considera relevantes.

OPERARIOS

INSTRUCTOR



Fig. 3

## 2.1 Arquitectura hardware y software

Actualmente se dispone de dos arquitecturas diferentes (Fig. 4):

- La primera arquitectura, la más antigua, utiliza un sistema de control distribuido (SICODI) desarrollado en el CTA como consola de operario. En ella coexisten máquinas UNÍS y Windows NT.

Dicho sistema de control dispone de varias unidades de control local (LCUs) que pueden compartir información. Existe un programa de enlace soportado, por una máquina UNIX, que controla la ejecución en tiempo real y comunica el sistema de control con la simulación dinámica (programa ACSL que se ejecuta en una estación de trabajo UNIX) y con la consola de instructor (desarrollada usando G2 y ejecutándose en una estación de trabajo UNIX).

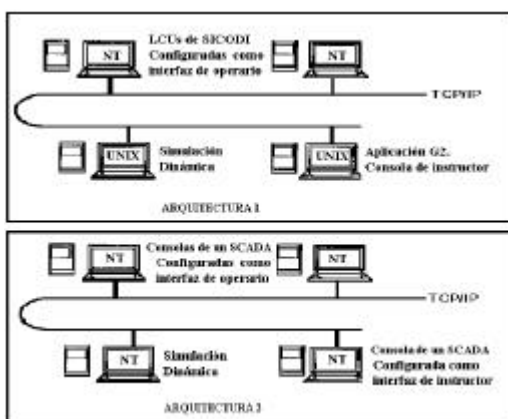


Fig. 4

- En la segunda arquitectura solamente se utilizan máquinas con el sistema operativo WINDOWS NT. Se utiliza un SCADA desarrollado en el CTA

que puede actuar como interfaz de operario o de instructor y las comunicaciones están basadas en el estándar OPC (OLE for Process Control).

La forma en la que se genera un servidor OPC es la siguiente: EcosimPro genera los fuentes C++ correspondientes a las clases de la simulación y el experimento. A partir de estos se genera el servidor OPC de forma automática mediante un programa. Una vez generado el servidor se configura con las variables a las que se quieren tener acceso (fig. 5), y se registra. El servidor puede ubicarse en una máquina local o remota.



Fig. 5

Al haber generado un servidor OPC con la simulación, este se puede conectar directamente con un SCADA (Fig.6). Para conectarlo al servidor hay que realizar la configuración del SCADA con los datos a los que se va acceder de la simulación, crear y configurar sinópticos, tablas, etc... Además de esto si se desea utilizar la capacidad de instructor hay que configurar el módulo de Consola de Instructor.

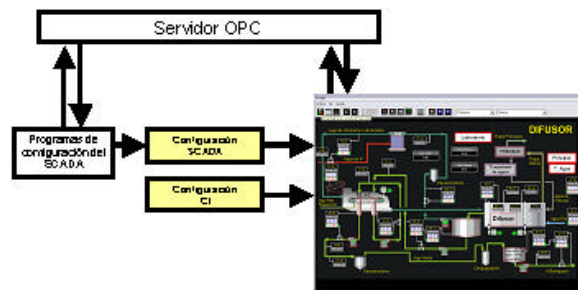


Fig.6

La arquitectura resultante para el simulador es la que se muestra en la figura 7. Hay una simulación en un PC dentro de una red Windows, y una serie de operarios accediendo a ella, además un instructor conectado al sistema que puede proponer ejercicios.

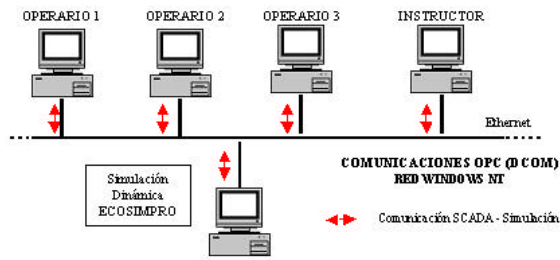


Fig.7

En el caso en el que hayan varias simulaciones lo único que varía en el esquema es que van a haber varias simulaciones comunicándose entre ellas, y los puestos de operación accediendo a ellas de la misma forma que cuando hay una sola.

## 2.2 Simulación dinámica

El motor de simulación es un programa de ordenador que resuelve un sistema de ODES y eventos que modelan el comportamiento dinámico del sistema simulado. Estos modelos deben representar el proceso de fabricación del azúcar de un modo fiable por lo que se recurre a modelos de primeros principios o modelos de conocimiento.

Evidentemente es posible desarrollar un programa de simulación usando un lenguaje de programación de alto nivel más un conjunto de rutinas para integrar ecuaciones diferenciales. Sin embargo, no es la metodología más adecuada debido al coste humano (conocimientos de programación y cálculo numérico) y temporal que conlleva desarrollar programas de simulación de esta forma. Por esta razón se decidió usar un lenguaje de simulación que permitiese escribir el modelo de simulación con una sintaxis lo más próxima al conjunto de ecuaciones que lo describen y evitar los problemas de programación y de uso de las rutinas de integración. Inicialmente el lenguaje seleccionado fue ACSL (Advanced Continuous Simulation Language).

ACSL es un buen lenguaje de simulación que estructura el modelo matemático de un modo monolítico en tres regiones (inicial, dinámica y terminal) y con una sintaxis muy sencilla. Sin embargo el mayor problema es que no permite descomponer el sistema modelado de un modo modular y por tanto no permite la reutilización de modelos. Siendo la reutilización de modelos un punto crucial si se quiere disponer de una herramienta de

formación flexible que permita poder modificar con facilidad el programa de simulación de modo que se puedan simular diferentes fábricas.

Para ello se ha optado por utilizar una herramienta de modelado dentro del grupo de los OOML (Object Oriented Modelling Languages), en particular se ha seleccionado EcosimPro. Estas herramientas permiten descomponer un modelo de un modo jerárquico y generar el código de simulación a partir de la manipulación simbólica de las ecuaciones que describen los modelos componentes y de las ecuaciones asociadas a los elementos de conexión. Esta descomposición jerárquica del modelo permite desarrollar librerías de modelos componentes (Fig. 8), que puedan ser utilizadas para describir distintos procesos productivos.

Se han desarrollado una serie de librerías a partir de las cuales se han modelado las siguientes secciones de una fábrica azucarera:

- Difusión.
- Evaporación.
- Depuración.
- Cuarto de azúcar.
- Calderas.
- Secadero.
- Alcoholera.

Como ejemplo en la 9 se tiene la sección de cristalización de una factoría.

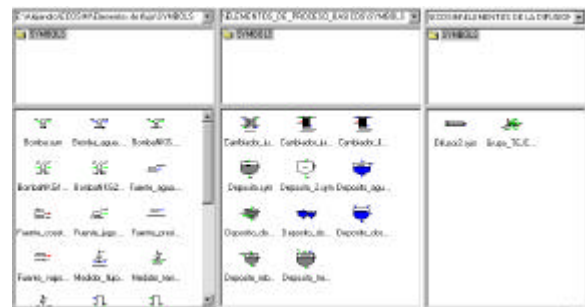


Fig. 8

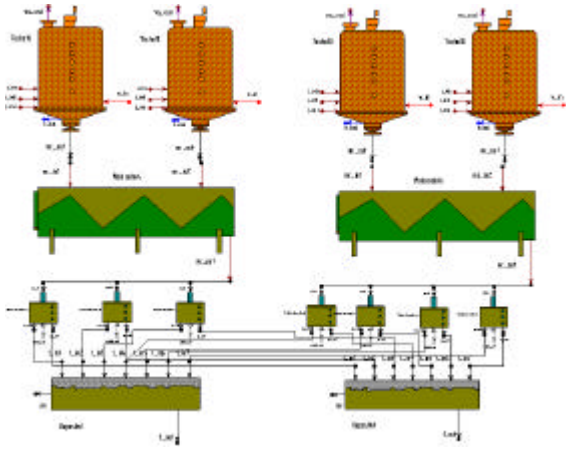


Fig. 9

EcosimPro se ha seleccionado como herramienta de simulación porque, además de permitir el desarrollo de librerías y la reutilización de modelos, el modelo de simulación es generado como una clase C++ que junto con las rutinas de integración es fácil de incluir en otra aplicación software. Esta facilidad permite desarrollar ejecutables que simulen el comportamiento del sistema en tiempo real o acelerado y con capacidad de servidor de datos OPC (OLE for Process Control). El uso del estándar OPC permite que la simulación se comunique con cualquier cliente OPC genérico, ya sea un sistemas de control distribuido, un SCADA, un controlador, otra simulación ...facilitando la reutilización del código de simulación en múltiples aplicaciones.

### 2.3 Entorno de operación y supervisión

Las consolas de operario permiten la actuación del mismo modo que en el proceso real:

- Navegación por sinópticos.
- Presentación de resultados, de modo gráfico y en tablas.
- Actuación del operario (cambiando consignas o manipulando señales de control en manual) y en ocasiones el cambio de los valores de los parámetros de los reguladores.

La consola de instructor permite:

- Las mismas funciones que al operario.
- La actuación manual sobre el proceso. Seleccionando unidades de proceso tanto a través de sinópticos (Fig.10) como de menús de usuario (Fig.12) en los que dichas unidades están organizadas jerárquicamente por secciones de producción y por tipo de unidad.

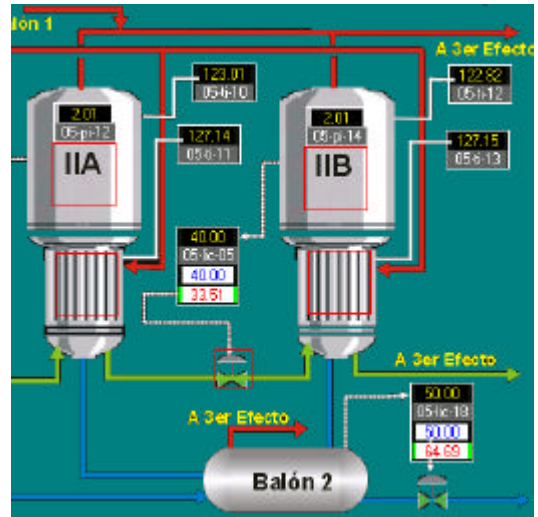


Fig.10

- La selección, creación y grabación de sesiones de entrenamiento en las que se concatenan fallos y cambios en las condiciones de contorno.

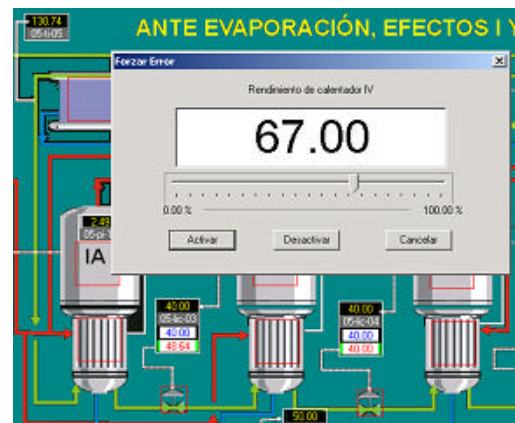


Figura 11

- La activación y proyección de videos y sinópticos para suministrar al operario información adicional o para marcar alguna pauta dentro del desarrollo del entrenamiento.

Al finalizar la sesión de entrenamiento los resultados están disponibles en los históricos del sistema de control para que puedan ser analizados y comentados por el instructor y el operario.

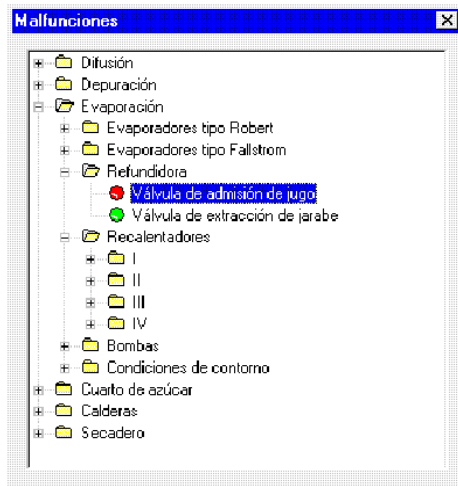


Figura 12

## 2.4 Equipo de desarrollo y líneas de trabajo actual y futuro

El proyecto se ha desarrollado en el CTA (Universidad de Valladolid) por un equipo multidisciplinar, y las líneas de trabajo llevadas a cabo son:

- Desarrollo, en EcosimPro, de una librería de modelos dinámicos de unidades de proceso y productos azucareros.
- Construir los modelos de las secciones de una fábrica de referencia, y validarlos con datos experimentales y con conocimientos de expertos.
- Dotar a la simulación de cada sección de una interfaz OPC y capacidad de ejecución en tiempo real.
- Desarrollo y configuración del SCADA para las distintas secciones productivas, tanto como consola de operario como consola de instructor.
- Comunicar las simulaciones de cada sección de modo que cooperen de un modo distribuido.
- Desarrollar las sesiones de entrenamiento y sus correspondientes manuales.

## 3. CONCLUSIONES.

Se ha desarrollado un simulador de factorías azucareras de alcance total que emula una sala de control, y cuya finalidad es el entrenamiento de operarios.

Este simulador tiene la posibilidad de dos arquitecturas: una utiliza un sistema de control distribuido desarrollado en el CTA (SICODI), y otra arquitectura emplea un SCADA, también desarrollado en el CTA, cuyas comunicaciones están basadas en el estándar OPC.

En cuando al leguaje de modelado para llevar a cabo

la simulación dinámica de todos los procesos de una azucarera, se ha escogido EcosimPro ya que permite una descomposición jerárquica del modelo y el desarrollo de librerías de modelos de componentes que se pueden reutilizar.

## Referencias.

- [1] Acebes L.F, Achirica J, García M.A. and Prada C. "A Simulator to train plant operators of a beet-sugar factory", *In Proceedings of the IMACS Symposium on Systems Analysis and Simulation SAS'95*, pp. 659-662. (1995).
- [2] García M.A., Acebes L.F., Nicolas J.L., Prada C. , "A Dynamical Training Simulator for Beet-Sugar Factories", *In Proceedings of the 21th General Assembly of the CITS*, pp 399-403. Editorial Bartens. ISBN 3-87040-072-2.1999 (1999).
- [3] Zamarreño J.M., Acebes L.F. and Alves R., "OPC-based real time simulator: architecture and practical example", *In Proceedings id 41<sup>st</sup> SIMS Simulation Conference (SIMS'2000)*, A gas chromatographic study of the kinetics of the uncatalysed esterification of acetic acid by ethanol", *J. Chromatog 47*, 109-118 (2000).