

# MODELADO, SIMULACIÓN Y SUPERVISIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE PRODUCCIÓN EN EL ENTORNO ECOSIM - LABVIEW

Romualdo Moreno Ortiz  
Departamento de Telecomunicación e Ingeniería de Sistemas  
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria  
Universitat Autònoma de Barcelona  
08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès). Barcelona  
email: Romualdo.Moreno@uab.es

Marta Ruiz Horta  
UNISYS España,S.A  
empresa: Avda .Diagonal, 640 3º E  
08017 Barcelona  
email:marta.ruizhorta@es.unisys.com

## Resumen

*En este trabajo se ha abordado el modelado, simulación y supervisión de una planta piloto de producción y embotellado de líquidos, y su sistema de control. La planta consta de tres etapas de producción: evaporación, mezcla y embotellado del producto final. Siguiendo la filosofía de orientación a objetos, se ha desarrollado una librería de componentes básicos del sistema, la conexión de los cuales constituye el modelo en EcosimPro del sistema global. Finalmente, se ha desarrollado una interficie gráfica en LabView, para la supervisión de la simulación del proceso y su sistema de control. La comunicación EcosimPro-LabView se ha establecido, via TCP/IP, mediante un programa en C++ que utiliza las clases generadas a partir de un archivo de experimento de EcosimPro, y las facilidades de comunicación TCP/IP que ofrece LabView.*

*Este trabajo constituyó el proyecto de fin de carrera de Ingeniería en Informática, realizado por Marta Ruiz, bajo la dirección del Dr. Romualdo Moreno.*

**Palabras Clave :** Dejar tres líneas entre esta frase y la primera sección.

## 1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la competencia de los mercados internacionales está imponiendo a las empresas productoras exigencias crecientes de calidad, obligándolas además a esfuerzos de ahorro de energía, y a la adopción de políticas de tipo *just in time*, en un intento de maximización de beneficios.

En este contexto, la complejidad de los procesos de producción aumenta, y se traduce en un mayor esfuerzo por parte de los ingenieros, tanto en la etapa

de diseño de las unidades de procesamiento, como en el diseño de los sistemas de control, que ya no se limitan a la resolución del problema clásico de regulación, sino que, además, deben ofrecer una buena respuesta ante cambios rápidos en las consignas de operación, provocadas por ciclos de producción cortos. Así, los sistemas de control asumen, cada vez más, tareas de gestión de la producción, donde el concepto de flexibilidad de la producción está cobrando una gran notoriedad.

En nuestro departamento se viene trabajando desde hace algún tiempo en el estudio e implementación de estrategias de gestión dinámica de la producción. Así, a fin de disponer de un banco de pruebas real, para el ensayo de algoritmos, se ha construido una planta piloto de producción de líquidos, que consta de tres etapas: evaporación, mezcla y embotellado.

Esta planta pretende ser representativa de un proceso productivo propio del sector de las industrias de procesos, donde es frecuente la operación combinada de subsistemas de funcionamiento batch, con otros de funcionamiento continuo. Esto implica, por un lado, la coexistencia de variables de distinta naturaleza: de evolución temporal continua o discreta, y de rango continuo o discreto. Por otra parte, también deben abordarse problemas de control de naturaleza distinta: mientras que el control de sistemas continuos implica, básicamente, la implementación de lazos de control para la regulación de variables de proceso, el control de sistemas *batch* requiere, en general, la programación de una lógica secuencial (receta del *batch*), si bien, en algunos casos, puede necesitar, además, la regulación de variables de proceso, en alguna etapa de la secuencia.

En este escenario, de procesos productivos y sistemas de control cada vez más complejos, la posibilidad de disponer de herramientas de modelado que permitan la obtención rápida de modelos fiables de la planta y

su sistema de control, así como la verificación, mediante herramientas de simulación adecuadas, del correcto funcionamiento de todo el sistema, como paso previo a su implantación, se hace cada vez más necesaria. En ese sentido, la adopción de conceptos como el paradigma de la orientación a objetos en la fase de modelado, a fin de permitir la reutilización de modelos predefinidos, resulta de gran interés.

En este artículo se expone el desarrollo de un modelo en EcosimPro de la planta piloto a la que se ha hecho mención sobre estas líneas, las pruebas de simulación efectuadas, y la creación de un sistema de supervisión del proceso de simulación, desarrollado en LabView.

En la sección 2 se ofrece una breve descripción de las características físicas de la planta, y los aspectos fundamentales sobre su forma de operación. La sección 3 está dedicada al modelo de simulación. En primer lugar, se describe brevemente la librería de componentes desarrollados y, a continuación, se muestran algunos resultados de simulación. La sección 4 recoge los aspectos fundamentales del desarrollo y funcionamiento del sistema de supervisión de la simulación, realizado en LabView. Finalmente, en la sección 5 se exponen las conclusiones del trabajo.

## 2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PILOTO. FUNCIONAMIENTO

La figura 1 muestra la planta piloto de producción de líquidos, y parte de la instrumentación del sistema de control.



Figura 1: Planta piloto de producción

### 2.1 ESTRUCTURA DE LA PLANTA Y SU SISTEMA DE CONTROL

La figura 2 muestra un esquema de la planta piloto, donde pueden apreciarse los elementos de proceso que componen cada una de las etapas de producción, así como la instrumentación instalada, y los diferentes lazos que constituyen el sistema de control.

A continuación se describe brevemente el funcionamiento de cada una de las etapas de producción.

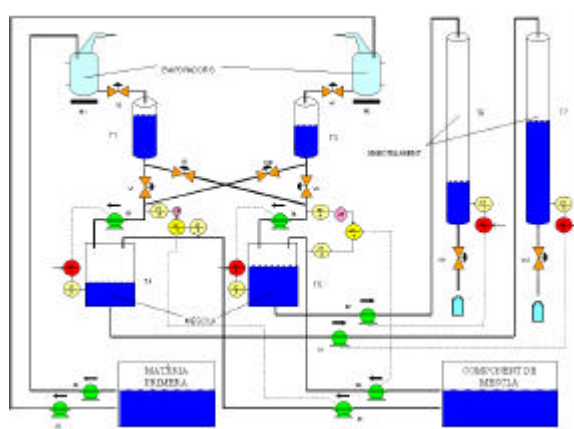


Figura 2: Esquema de la planta y su sistema de control

#### Etapa de Evaporación

Esta etapa consta de dos evaporadores de distinto tamaño. Su funcionamiento es en modo batch. En los evaporadores se carga una cierta cantidad de materia prima, consistente en una mezcla de dos líquidos. Se considera que el líquido más volátil constituye una "impureza" de la materia prima, que se elimina por evaporación. Una vez alcanzadas las condiciones de pureza deseadas, los evaporadores vierten su lote de producción sobre sendos tanques de almacenamiento intermedio.

Este proceso *batch* está controlado de forma automática.

#### Etapa de Mezcla

Esta etapa consta de dos tanques del mismo tamaño. La etapa de evaporación está conectada con la de mezcla mediante un juego de 4 electroválvulas que permite que cada uno de los tanques de mezcla pueda recibir el producto almacenado en cualquiera de los tanques de salida de los evaporadores, o de ambos a la vez.

En esta etapa, el producto de salida de los evaporadores se mezcla con un tercer componente. Cada relación de caudales de mezcla constituye una especificación de "tipo de producto" distinta.

En los mezcladores se controla:

- El nivel, actuando sobre el caudal de producto de salida de evaporadores.
- La relación de caudales de mezcla, actuando sobre el caudal del componente de mezcla.

## Etapa de Embotellado

Esta etapa consta de dos tanques altos y estrechos, del mismo tamaño, diseñados de este modo para favorecer el embotellado por gravedad. Cada tanque de mezcla está conectado directamente con uno de los tanques de embotellado.

En los tanques de embotellado se controla:

- El nivel, actuando sobre el caudal de salida del mezclador asociado.
- El proceso batch de embotellado.

### 2.1 OPERACIÓN DEL PROCESO. FLEXIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN

En su estado actual, la planta opera del modo siguiente:

1. Para cada línea de embotellado, se establecen las consignas de producción:
  - Tipo de producto.
  - Ritmo de producción (nº de botellas/min.)
2. Traducción de las consignas de producción:
  - El tipo de producto se traduce en una relación de caudales del mezclador.
  - El ritmo de producción se traduce en:
    - *Set-point* de nivel del embotellador.
    - Tiempo de llenado.
    - Especificación del ciclo de evaporación: volumen a cargar y periodicidad.

A partir de aquí, el sistema de control gobernará automáticamente la operación del proceso. No obstante, la afirmación anterior sólo será cierta siempre que, adicionalmente, se haya establecido:

- Qué evaporador debe servir el producto para cada línea de embotellado.
- La forma de conexión entre las etapas de evaporación y mezcla (combinación particular de electroválvulas abiertas y cerradas).
- El *set-point* de nivel de los tanques de mezcla.

Los puntos anteriores describen las variables de decisión del proceso, a nivel de gestión de la producción. Para la operación básica descrita, la asignación de estas variables de decisión puede ser simple; por ejemplo: teniendo establecido un tipo de producto distinto para cada línea de embotellado, se asociaría un evaporador a cada producto, de forma permanente. En consecuencia, las electroválvulas de conexión de las etapas de evaporación y mezcla se configurarían de manera que cada evaporador estuviese conectado permanentemente con el mezclador adecuado.

No obstante, el propósito de esta planta piloto es el estudio e implementación de algoritmos de gestión

dinámica de la producción, tema que constituye uno de los objetivos de un proyecto de investigación en curso, y que queda fuera del alcance de este artículo. En dicho proyecto, se pretende operar la planta de un modo distinto al descrito sobre estas líneas.

En efecto, el objetivo es que un programa de gestión de la producción reciba una lista de “órdenes de producción”, especificadas en términos de:

- Tipo de producto.
- Cantidad (nº de botellas) a producir.

y, a partir de aquí, organice la producción, asignando automáticamente los valores de las variables de decisión comentadas anteriormente, como resultado del proceso de optimización de un índice de naturaleza económica.

De aquí que la planta se haya diseñado con el nivel de flexibilidad descrito.

## 3 MODELO DE SIMULACIÓN

El modelo de simulación, realizado en EcosimPro, incluye todos los elementos de proceso de la planta, y de su sistema de control. De esta forma, el modelo permite la simulación del comportamiento descrito en la sección anterior como modo de operación básico de la planta.

### 3.1 LIBRERÍA DE COMPONENTES

Para cumplir con lo anterior, siguiendo la filosofía de la orientación a objetos, se ha desarrollado una jerarquía de clases de componentes que permite disponer de todos los elementos de la planta y su sistema de control, modelados en función de las exigencias de simulación que imponen las características de operación del proceso. Esta librería de componentes se describe brevemente a continuación.

Se dispone de un componente abstracto *Canal*, del cual derivan:

- *Tanque*: una entrada y una salida. Modela la evolución de la variable nivel.
- *Válvula*: Según la ecuación habitual para líquidos:

$$q = K_v a \sqrt{\frac{\Delta P_v}{r}} \quad (1)$$

y modelada para permitir la circulación de líquido en ambos sentidos.

- *Bomba*: modelada como una fuente de caudal (entre un mínimo y un máximo), gobernada por una señal de control.

Respecto al sistema de control, se dispone de un componente abstracto *Controlador*, del que derivan:

- *Cntrl\_OnOff*: Controlador de tiempo discreto, de tipo relé con histéresis.
- *Cntrl\_PID*: Controlador de tiempo discreto, de tipo PID, con mecanismo anti-windup.

Algunos componentes adicionales de la librería son:

- *Mezclador*: Tanque con 2 entradas y una salida.
- *Botella*: Tanque con una entrada y sin salida. El proceso de embotellado se simula haciendo que, una vez transcurrido el tiempo de embotellado, la variable nivel de este componente se asigne a cero de forma automática.
- *Referencia y Transmisor*: Necesarios para la implementación de los lazos de control.
- *Relación*: Multiplicador. Necesario para la implementación de la estructura de control de relación en los mezcladores.
- Componentes que implementan la lógica de control de los procesos batch:
  - Carga y descarga de los evaporadores.
  - Embotellado.

Finalmente, se aportan algunas consideraciones complementarias sobre el desarrollo del modelo de simulación:

- El proceso de evaporación no está modelado de forma explícita. El evaporador se trata como un tanque que se carga, y se descarga una vez transcurrido su tiempo de procesamiento.
- La conexión de componentes, tal como están modelados, hubiera podido conducir a situaciones sin sentido físico, en determinadas circunstancias; por ejemplo, una bomba que tiene conectada en su entrada una válvula cerrada. Puesto que la bomba está modelada como una fuente de caudal, gobernada por una señal de control, si dicha señal de control es no nula, la bomba estaría proporcionando un caudal que no tiene sentido físico. Para evitar este tipo de problemas, los componentes están dotados de puertos (que hemos denominado *evento*), de entrada y de salida, compuestos por variables de tipo boolean. Al conectar componentes, las variables de estos puertos se transmiten información relativa a estas situaciones de falta de sentido físico.

### 3.2 RESULTADOS DE SIMULACIÓN

A modo ilustrativo, en este apartado se mostrarán algunos resultados de simulación del modelo

desarrollado. Para ello se ha elegido la etapa de embotellado, ya que involucra un problema de control de un proceso continuo (control de nivel del tanque de embotellado) y, además, el control batch de llenado de las botellas.

Los resultados corresponden a un embotellador que trabaja con un ritmo de producción establecido de 8 botellas/minuto. Para todas las gráficas mostradas, los niveles están expresados en cm., las señales de control en %, y el tiempo en minutos.

La figura 3 muestra el set-point de nivel correspondiente al ritmo de producción establecido, y el valor del nivel del tanque embotellador, a partir del instante en que se establece el ritmo de producción mencionado. El rizado de la variable nivel lo produce, lógicamente, el llenado de las botellas.

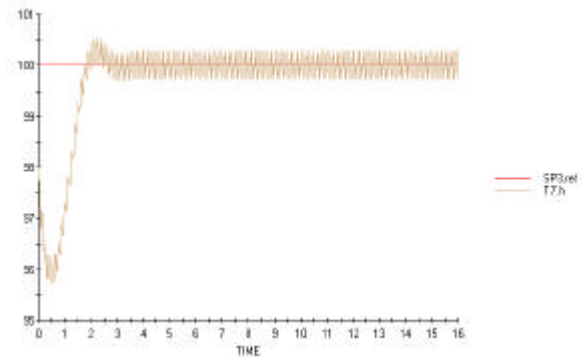


Figura 3: Set-point y nivel del embotellador.

La figura 4 muestra la evolución de la señal de control aplicada a la electroválvula de salida del tanque embotellador.

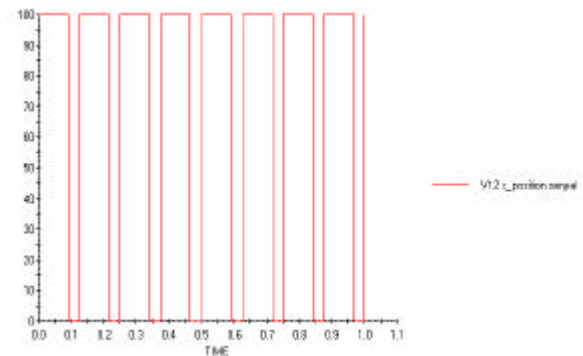


Figura 4: Señal de control sobre la electroválvula de salida del tanque embotellador.

Finalmente, la figura 5 muestra el proceso del embotellado; esto es, la evolución del nivel del componente *botella*, conectado a la salida de la electroválvula de descarga del tanque de embotellado.

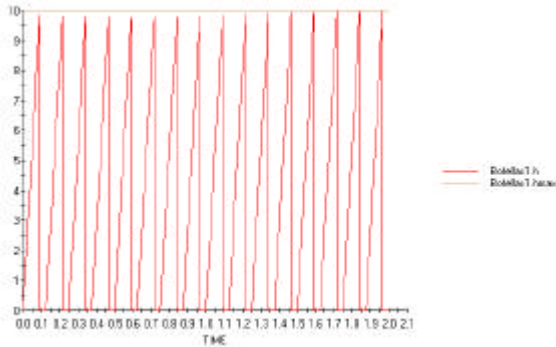


Figura 5: Llenado de las botellas.

#### 4 SUPERVISIÓN MEDIANTE LABVIEW

Este trabajo se completó con la implementación de un sistema de supervisión de la simulación del modelo desarrollado en EcosimPro, mediante una aplicación desarrollada en LabView [6] [7], que constituye un pequeño sistema SCADA, y sustituye a la consola de EcosimPro.

Más en detalle, el sistema de supervisión implementa el paradigma de comunicación de aplicaciones cliente/servidor, mediante la aplicación del protocolo TCP/IP, y está compuesto por los siguientes elementos:

- *Sistema SCADA*: Programa LabView, que representa un pequeño sinóptico del proceso y su sistema de control, y constituye un interface gráfico con la simulación en EcosimPro. Desde dicho SCADA es posible:
  - Monitorizar los valores de las variables de planta que se reciben desde el proceso de simulación.
  - Enviar al proceso de simulación, valores de parámetros, tales como: set-points y parámetros de sintonía de controladores, valores de apertura de electroválvulas y tiempos de ciclo de evaporación.
- *Aplicación Cliente*: Programa en C++ que, utilizando las clases generadas a partir de un fichero de experimento, gobierna el proceso de simulación de la misma manera que se haría dentro del entorno de EcosimPro, pero de forma completamente autónoma.
- *Aplicación Servidor*: Es el programa de arranque del sistema de supervisión. Se trata de un programa en LabView, que sincroniza el funcionamiento de los dos anteriores, y permite el intercambio de información entre ellos, utilizando las facilidades de comunicación TCP/IP de LabView.

Finalmente, a modo ilustrativo, la figura 6 muestra el el aspecto del SCADA desarrollado en LabView,

concretamente de la sección correspondiente a la etapa de mezcla del proceso.

Pueden apreciarse las variables (barras verticales) correspondientes a los lazos de control de nivel de los mezcladores (cuadros superiores). En estos controladores es posible modificar el *set-point*. También se aprecian las variables asociadas al control de caudal del componente de mezcla (cuadros inferiores). En este caso, los valores de *set-point* se establecen automáticamente a partir de la relación de mezcla establecida, que sí es un parámetro manipulable, y el valor del caudal del producto de salida de evaporadores. Finalmente, la figura muestra también la posibilidad de manipulación de las cuatro electroválvulas que conectan las etapas de evaporación y mezcla.

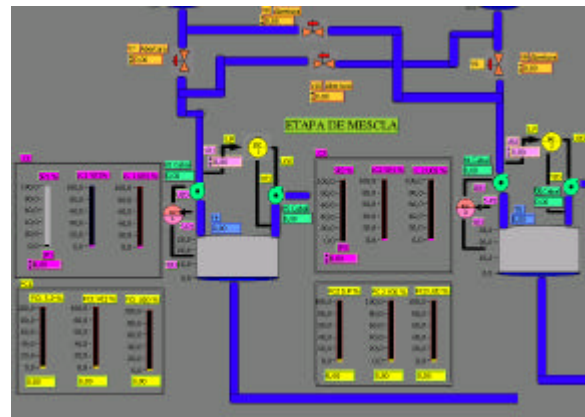


Figura 6: Sistema SCADA: Etapa de mezcla.

#### 5 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado un modelo de simulación en EcosimPro para una planta piloto de producción de líquidos, compuesta por las etapas de evaporación, mezcla y embotellado de los productos finales, así como de su sistema de control.

El modelo se ha construido a partir de la realización previa de una librería de modelos de componentes, que representa la jerarquía de elementos integrantes del sistema. Se ha realizado una batería de pruebas en simulación para verificar el correcto funcionamiento, tanto de los componentes individuales, como del proceso global.

El desarrollo mediante EcosimPro de una librería de componentes de este tipo resulta muy intuitiva, y una vez realizada, la creación del modelo de simulación de una planta de características similares sería inmediata.

Finalmente, se ha desarrollado una aplicación de supervisión del proceso de simulación, basada en un *sistema SCADA* desarrollado en LabView, y un programa C++, que utilizando las clases generadas a

partir de un archivo de experimento de EcosimPro, gobierna el proceso de simulación de forma autónoma, y se comunica con el SCADA.

El sistema de supervisión ha funcionado a satisfacción, si bien cabe destacar que, para un sistema con un elevado número de variables, como el mostrado aquí, el proceso es lento. Finalmente, una limitación clara de este sistema de supervisión es que debe realizarse *had hoc* para un proceso y un fichero de experimento concretos.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen a la CICYT la financiación concedida a través del proyecto DPI2000-0691-C02-01, que ha constituido el soporte para la construcción de buena parte de la planta piloto, así como de distintos trabajos de investigación relacionados con la misma.

### **Referencias**

- [1] Cellier, F.E Continuous System Modeling (1991), Springer – Verlag.
- [2] Empresarios Agrupados and ESA (Agencia Espacial Europea) (1999). *Ecosim Pro. EL Modeling Language*.
- [3] Empresarios Agrupados and ESA (Agencia Espacial Europea) (1999). *Ecosim. Getting Started*.
- [4] Empresarios Agrupados and ESA (Agencia Espacial Europea) (1999). *Ecosim. Simulation Guide*.
- [5] Empresarios Agrupados and ESA (Agencia Espacial Europea) (1999). *Ecosim. User Manual*.
- [6] Manuel Lázaro, Antonio (1996). *LabView: Programación Básica para el Control de instrumentación*. Editorial Paraninfo.
- [7] National Instruments Corporation (1996). *LabView User Manual*.
- [8] Ramos González, Juan José (1995) “Una Metodología de Modelado Orientado a Objetos para la Representación del Conocimiento Físico”. Trabajo de Investigación de Tercer Ciclo en Informática.