

# La automatización de un laboratorio de ingeniería química para uso docente: una plataforma multidisciplinar para la realización de trabajos de fin de carrera e investigación

Gerard Escudero<sup>1</sup>, Moisès Graells<sup>2</sup>, Josep M. Guerrero<sup>3</sup> y Sebastián Tornil<sup>3</sup>

Escola Universitaria d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona

<sup>1</sup> Dpto. Llenguatges i Sistemes Informàtics

<sup>2</sup> Dpto. Enginyeria Química

<sup>3</sup> Dpto. Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial  
Universitat Politècnica de Catalunya

Urgell 187, 08036 Barcelona

{gerard.escudero,moises.graells,josep.m.guerrero,sebastian.tornil}@upc.edu

## Resumen

Este artículo describe cómo un proyecto a largo plazo, la informatización de los laboratorios docentes de ingeniería química, puede ser utilizado para que alumnos de distintas especialidades de Ingeniería Técnica Industrial hagan trabajos de fin de carrera de carácter multidisciplinar, con objetivos claros y que a la vez tengan una aplicación práctica evidente. Algunos de estos proyectos incluso pueden ser llevados al ámbito de la investigación.

## 1. Introducción y motivación

La propuesta de este artículo se enmarca dentro de las titulaciones de ingeniería técnica industrial en electrónica y en química industrial de la *Escola Universitaria d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona* (EUETIB), adscrita a la *Universitat Politècnica de Catalunya* (UPC). Los autores, pertenecientes a diferentes departamentos de esta universidad, forman un grupo multidisciplinar<sup>1</sup> que tiene como uno de sus objetivos la automatización del laboratorio de química del centro.

Durante los años de impartición de las respectivas asignaturas y la dirección de diferentes trabajos de fin de carrera (TFC), a los autores les han surgido una serie de inquietudes. Por un lado, dentro del ámbito de la ingeniería química se da el caso de que los alumnos realizan prácticas y

proyectos de laboratorio en un entorno totalmente tradicional. Por ejemplo, la medida de una temperatura se realiza mediante un termómetro de mercurio y se anota en un papel. Esta es una opción barata y también didáctica, pero no debería ser la única. En un ámbito industrial real se utilizaría una sonda de temperatura conectada a una tarjeta de adquisición, la cual permitiría el acceso a estos datos y facilitaría su posterior procesamiento (almacenamiento, monitorización, control...).

Por otro lado, muchos de los TFCs desarrollados en la especialidad de electrónica [1,2,3,4,5] se centran en la realización de placas electrónicas conectables a un ordenador personal vía algún puerto o bus (serie, paralelo, USB, PCI...). Muchas de ellas son tarjetas de adquisición de datos de propósito general, para las cuales no siempre es fácil encontrar procesos realistas a los que aplicarlas.

Dadas estas inquietudes, en el año 2003 se propusieron y realizaron una serie de proyectos de fin de carrera multidisciplinarios [6,7,8], donde alumnos de las especialidades de química y electrónica trabajaron de forma conjunta para abordar proyectos de monitorización y control de procesos químicos. En este marco, los alumnos de electrónica tenían un proceso realista que instrumentalizar y los de química las herramientas para implementar el control del proceso.

La buena marcha de estos trabajos y los resultados obtenidos hicieron que los autores de este artículo se plantearan el proyecto a largo plazo para mejorar la calidad docente descrito en la siguiente sección. Este objetivo se recogió entre los compromisos asumidos por el profesorado en el proyecto piloto de Planificación Estratégica de

---

<sup>1</sup> Centro para la Integración, Automatización y Optimización de procesos químicos (CIAO): <http://ciao.euetib.upc.es>

las asignaturas de Experimentación en Ingeniería Química (PEEEQ 2003-2006) [9].

La sección 2 está dedicada a la descripción del proyecto que nos sirve de plataforma para la realización de estos TFC, la sección 3 nos describe el trabajo realizado y los que vienen a corto plazo y la sección 4 concluye el trabajo.

## 2. Descripción del proyecto

El laboratorio de ingeniería química de la EUETIB tiene una serie de equipos para la realización de experimentos químicos (baños termostáticos, columnas de destilación, fermentadores...). La figura 1 muestra una de las columnas de destilación del laboratorio.

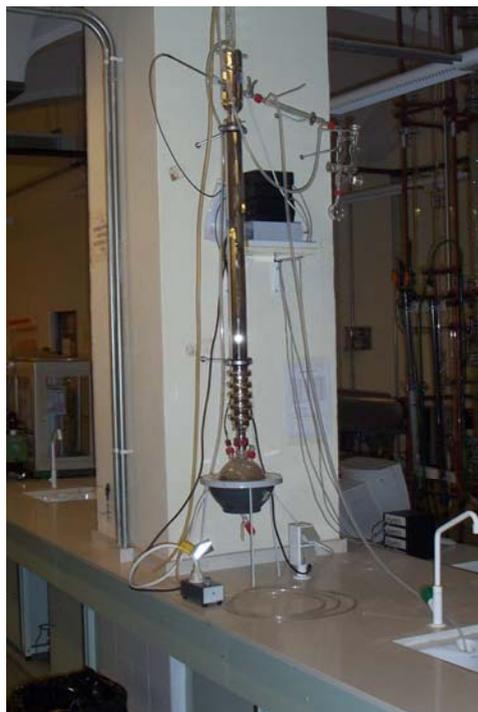


Figura 1. Columna de destilación

El objetivo final del proyecto es doble. Por un lado queremos desarrollar un laboratorio virtual y uno remoto de procesos químicos del estilo del que se describe en [10] para simular y controlar el movimiento de un brazo mecánico en una asignatura de robótica. Por otro lado queremos crear los instrumentos para que los alumnos de

ingeniería química puedan realizar prácticas de informática industrial a todos los niveles, es decir, desde instrumentar uno de los equipos citados a programar la monitorización y/o control de los equipos. Los dos subapartados de esta sección están dedicados a explicar estos dos objetivos con mayor profundidad.

### 2.1. Automática e instrumentación industrial para ingenieros químicos

Se quiere que los alumnos de ingeniería química, sin conocimientos de electrónica y escasos de programación (la necesidad de esta formación debería revisarse), vean la problemática y el funcionamiento del entorno de la informática industrial. Para conseguir este objetivo se ha pensado en montar algún dispositivo altamente usable que nos permita la instrumentación de los equipos químicos.

El principal problema para lograr esto, dada la experiencia de los TFC anteriores, es la escasez de conocimientos de electrónica que tienen los alumnos de química. Los primeros TFC se resolvieron creando una placa exclusiva para cada equipo químico. Esto nos genera tres grandes inconvenientes: 1) la rigidez, el equipo queda montado y fijo y los alumnos no tienen capacidad para manejarlo; 2) el mantenimiento, la necesidad de tener a un electrónico a mano cuando se estropea algún componente de la placa; y 3) la falta de escalabilidad, el tener que realizar una placa para cada equipo químico o cuando queremos añadir alguna nueva variable al proceso.

Para solucionar estos problemas se diseñó e implementó una placa simple a la que pudiéramos conectar un único sensor o actuador y que funciona vía el puerto USB [11]. La figura 2 muestra el esquema de conexión de un proceso con dos sensores y dos actuadores, y la figura 3 una foto del resultado de la implementación de dicha placa. Para este caso necesitaríamos cinco placas. La etapa de acondicionamiento de la señal de los sensores no está incluida en el circuito de conexión al USB. Esta está incluida en el recuadro sensor. Este recuadro representa un circuito con la etapa de acondicionamiento a la que se conecta la sonda. Tendremos un diseño diferente para cada tipo de sensor (temperatura, presión...). Para los actuadores tendremos un modelo parecido. Todos

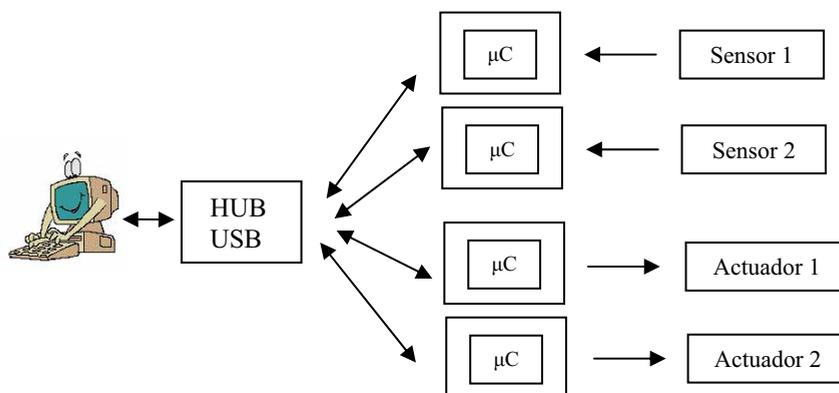


Figura 2. Esquema de conexión

estos dispositivos tienen la conexión a la placa USB.

Las ventajas de este modo de actuar son: 1) la usabilidad; un ingeniero químico al que se le proporcionan estos dispositivos –tipo *plug & play*– es capaz de conectar sin complicaciones un equipo químico a un ordenador personal. 2) El mantenimiento; en caso de defecto en un componente se puede cambiar la placa entera y listos. Y 3) la escalabilidad, si queremos añadir una variable más a un equipo o instrumentar otro equipo, sólo tenemos que coger más placas y sensores y/o actuadores y listo. No hay necesidad de disponer de un electrónico.

El inconveniente principal de este diseño es el precio de la replicación de componentes, aunque no es excesivo. Otro punto discutible del diseño es la seguridad industrial al usar la interfaz USB y no un bus industrial. Este hecho no creemos que sea importante, dado que el diseño está pensado para ser utilizado en entornos docentes o en entornos de fabricación flexible para especialidades de demanda reducida y gran valor añadido (química fina, farmacéutica, etc.).

Esta placa se controla desde el ordenador personal vía los controladores USB de *Human Input Device* (HID). Existen librerías y/o controladores para todos los lenguajes de programación actuales para manipular este tipo de dispositivos. En nuestro caso, estamos utilizando el entorno Delphi de Borland<sup>2</sup>, que tiene una versión para uso no comercial que llaman

*Personal Edition*, y una librería de componentes de libre distribución conocida como el proyecto *Jedi*<sup>3</sup>. Esta librería de componentes Delphi contiene cientos de componentes de uso general, uno de ellos nos permite programar la comunicación con dispositivos HID del USB de manera muy sencilla.

Otro de los problemas surgidos al realizar los primeros TFC ha sido la visualización de los datos que se van recogiendo. Para paliar este problema se realizó una paleta de componentes Delphi para la monitorización de señales [12] que contiene, como más importantes, la representación visual de un termómetro, un tacómetro y un gráfico de líneas que admite más de una señal. La figura 4 muestra una captura de los componentes tacómetro, termómetro, gráfico de líneas y la paleta completa.

## 2.2. Laboratorio virtual y remoto de procesos químicos

La segunda parte del proyecto que se tiene en mente es la simulación de procesos químicos. Es decir, se quiere disponer de unas herramientas que permitan que los alumnos realicen prácticas con simuladores y que después apliquen lo simulado a un caso real en el laboratorio. Algo del estilo de lo que aplican en [10] a la robótica, pero aplicado a la ingeniería química. Se quieren construir simuladores de componentes sencillos como objetos que después puedan ser utilizados para construir un simulador de procesos químicos.

<sup>2</sup> <http://www.borland.com>

<sup>3</sup> <http://www.delphi-jedi.org>

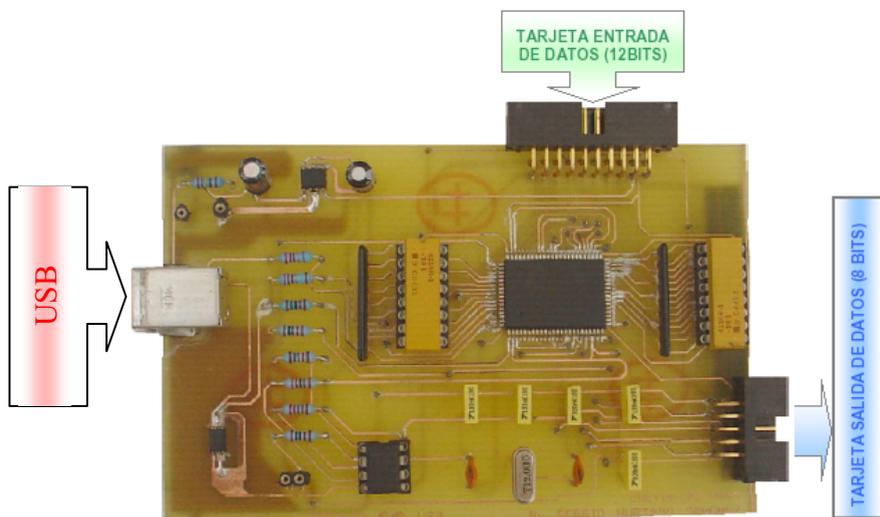


Figura 3. Placa de conexión USB para sensor o actuador

### 3. Trabajos de fin de carrera

Los proyectos descritos en la sección anterior están siendo utilizados como plataforma para el desarrollo de TFC. Los profesores tienen que dedicar un esfuerzo a la descomposición en pequeños componentes que puedan ser desarrollados en el tiempo que dura un TFC. Además de dedicar especial atención a que el trabajo quede bien documentado de cara a ser utilizado por otros alumnos posteriormente. Esta sección está dedicada a detallar algunos de los TFC que se han dirigido.

#### 3.1. Automática para ingeniería química

En este apartado describiremos tres de los TFC dedicados a este ámbito. El primero ha sido el diseño e implementación de la paleta de componentes Delphi para monitorización [12]. Este trabajo contiene los componentes de monitorización previamente detallados, así como una ayuda para los mismos en formato HTML y un tutorial de cómo usarlos y otro de cómo crear nuevos componentes<sup>4</sup>. En la figura 4 se pueden ver varios de estos componentes en uso: termómetro, tacómetro, *displays*...

El segundo TFC importante [11] ha sido el diseño del dispositivo HID para la conexión de sensores y actuadores a un ordenador personal vía USB mostrado en la figura 2 y descrito en la sección anterior. La figura 3 muestra la placa resultado de la parte intermedia del esquema anterior.

El tercer TFC consiste en la automatización de la columna de destilación [13] de la figura 1. Una columna de destilación es un equipo químico que sirve para separar una mezcla líquida aprovechando la distinta volatilidad de sus componentes. Partiendo de los TFC comentados anteriormente se ha llegado a monitorizar la columna de destilación, que involucra dos sensores y dos actuadores. Actualmente, lo están utilizando alumnos de química industrial para realizar experimentos. Este proyecto ha llevado la idea de escalabilidad, modularidad y *plug&play* hasta sus máximas consecuencias; tanto a nivel hardware como software. En la figura 4 podemos ver las ventanas que aparecen tras conectar al sistema un sensor de temperatura, un actuador de control de reflujo y un actuador de manta calefactora. Están ventanas internas a la aplicación se activan a través del evento *onPlug* del USB (este evento se activa cuando hay una conexión o desconexión en el bus). La aplicación funciona adicionalmente con tecnología web-flash.

<sup>4</sup> Toda la información y software está disponible bajo licencia de libre distribución.

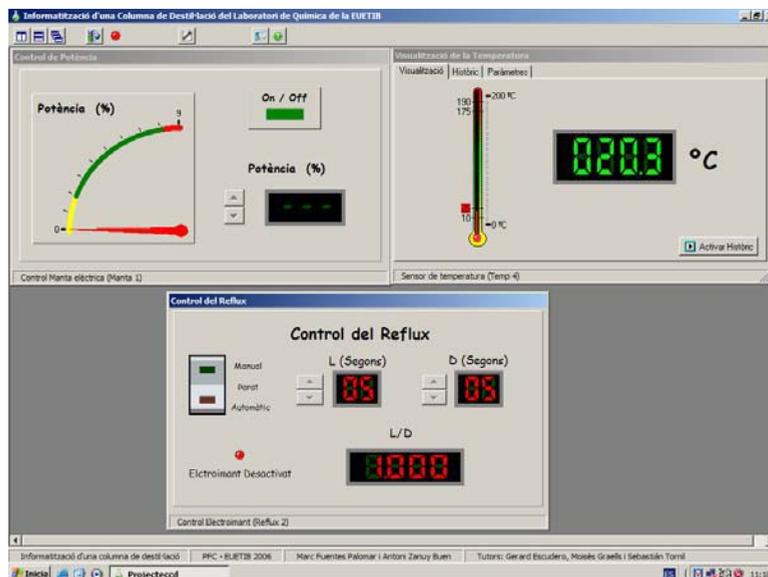


Figura 4. Software para la monitorización de una destiladora

Actualmente, se está llevando a cabo un TFC que sigue en la línea de crear componentes electrónicos que encapsulen diferentes tipos de sensores y actuadores. En concreto, se pretende encapsular un sensor de caudal y mejorar la precisión de un actuador que controla una fuente de calor. A partir de este momento se están proponiendo TFC a realizar por parte de alumnos de la ingeniería electrónica y software para la monitorización y control de equipos químicos por parte de alumnos de la ingeniería química.

### 3.2. Laboratorios virtuales y remotos

En el terreno de los laboratorios virtuales se han llevado a cabo diferentes proyectos. Aquí destacaremos dos de ellos. El primero de ellos ha consistido en la conexión de un simulador de procesos químicos comercial (HYSYS<sup>TM</sup>) al Delphi vía la tecnología COM [8]. En este caso se diseñó un proceso químico en un simulador comercial y se creó una interfaz de manejo al mismo que funciona remotamente bajo el protocolo TCP/IP.

El segundo TFC [14] ha sido el desarrollo de una herramienta para la simulación y optimización de redes de tratamiento de aguas residuales. Este trabajo se sitúa en otro nivel y en lugar de pretender el detalle de las medidas de cada

operación, aborda problemas de toma de decisiones a nivel de proceso, en el que se integran un conjunto de operaciones modeladas como cajas negras.

## 4. Investigación

Este último TFC se publicó en sendos congresos internacionales de ingeniería química [15,16,17]. A partir de este primer trabajo se ha desarrollado un prototipo más extenso para hallar configuraciones más óptimas de redes de depuradoras para el tratamiento de aguas residuales y se está planteando el uso en redes eléctricas. Hay que añadir que el tema no está cerrado en absoluto y que la alumna en cuestión sigue trabajando con los autores después de haber terminado el TFC<sup>5</sup>.

## 5. Conclusiones

El plantearse un proyecto ambicioso y a largo plazo puede ser una plataforma ideal para

<sup>5</sup> Gracias, por una parte, a que esta alumna prosigue sus estudios de segundo ciclo y por otra, al Programa de Formación de Estudiantes en Departamentos e Institutos de la UPC, promovido por el ICE de la Universidad ([http://www.ice.upc.edu/formacio\\_departaments.htm](http://www.ice.upc.edu/formacio_departaments.htm))

Trabajos de Fin de Carrera. Los alumnos acogen con muy buenos ojos el hecho de participar en un proyecto útil, en algo que quede y que lo utilicen las generaciones posteriores de alumnos de la escuela. Otro punto que ven muy favorable es el hecho de estar tomando y afectando a decisiones de un proyecto de gran envergadura, que incluso puede llegar a publicarse en congresos de investigación.

### Agradecimientos

A todos los alumnos que han querido ayudar al aprendizaje de las siguientes generaciones de alumnos de la escuela: David Agustí, Núria Arranz, Xavi Cano, Gerard España, Roger Fernández, Marc Fuentes, Rafael Gallego, Ferrán Gascón, Manuel González, Sergio Hurtado, Cristina Martín-Sistac, Chakir M'Rabet, Francisco J. Pablos, Enrique Pérez, Enric Queralt, Cristina Rubio, Pau Serrano y Toni Zanuy. A Jordi Jorba por su ayuda y a la dirección de la EUETIB por su respaldo y financiación.

### Referencias

- [1] Queralt, E. "Disseny d'una tarjeta d'adquisició de dades per a bus PCI". TFC de la EUETIB (UPC). 2004.
- [2] Gallego, R. "Tarjeta d'adquisició de dades per a bus PCI". TFC de la EUETIB (UPC). 2006.
- [3] M'Rabet, C. "Adquisición remota de datos mediante tarjeta PCI". TFC de la EUETIB (UPC). 2006.
- [4] Fernandez, R. "Módulo de adquisición de datos con interfaz USB". TFC de la EUETIB (UPC). 2005.
- [5] España, G. "Velocimetre digital amb connexió USB". TFC de la EUETIB (UPC). 2005.
- [6] Agustí, D. "Informatización de un proceso de destilación". TFC de la EUETIB (UPC). 2003.
- [7] Arranz, N.; Pablos, F. J. y Rubio, C. "Informatización de un fermentador". TFC de la EUETIB (UPC). 2003.
- [8] González, M. y Pérez, E. "Instrumentación y monitorización de columnas de rectificación". TFC de la EUETIB (UPC). 2003.
- [9] Graells, M. y Jorba, J.. Un proyecto piloto para la planificación estratégica y acreditación de las asignaturas. A: Actas del XII Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. CEIB - EUETIB, 2004, p. 1-6.
- [10] Candelas, F. A.; Torres, F.; Gil, P.; Ortiz, F.; Puente, S. y Pomares, J. "Laboratorio virtual remoto para robótica y evaluación de su impacto en la docencia". Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. pp. 49-57. 2004.
- [11] Hurtado, S. "Desenvolupament d'un sensor de temperatura USB". TFC de la EUETIB (UPC). 2005.
- [12] Cano, X. y Serrano, P. "Paleta de components visuals per a control industrial". TFC de la EUETIB (UPC). 2004.
- [13] Fuentes, M. y Zanuy, T. "Informatització d'una columna de destil·lació". TFC de la EUETIB (UPC). 2006.
- [14] Martín-Sistac, C. "Disseny de xarxes de tractament d'aigües residuals". TFC de la EUETIB (UPC). 2004.
- [15] Martín-Sistac, C. y Graells, M. "A Robust Hybrid Search Technique for Solving Distributed Wastewater Treatment Systems" Computer Aided Chemical Engineering Series: European Symposium on Computer Aided Process Engineering – 15, Elsevier (ISBN 0-444-51987-4). Computer Aided Chemical Engineering Series Vol. 20A, pp. 949-954. Amsterdam, The Nedeerlands, 2005.
- [16] Escudero, G.; Martín-Sistac, C. y Graells, M. "A modeling framework for addressing the design and operation of distributed wastewater treatment system's (Poster T10-027). 10th Mediterranean Congress of Chemical Engineering. Barcelona, Spain, November 2005.
- [17] Martín-Sistac, C., Escudero, G. y Graells, M. "General Framework for Solving the Design and Operation of Wastewater Treatment Networks". 17th European Symposium on Computer Aided Process Engineering. 2007.