

Una aproximación a la Informática Industrial para la Ingeniería Química

Gerard Escudero¹, Pedro Gomis²

Escola Universitaria d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona
Departamentos de "Llenguatges i Sistemes Informàtics"¹ y
de "Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Infomàtica Industrial"²
Universitat Politècnica de Catalunya
Urgell 187 - 08036 Barcelona
{gerard.escudero, pedro.gomis}@upc.edu

Resumen

Muchos de los futuros ingenieros químicos van a trabajar en plantas o industrias donde se producen productos químicos cuya línea de producción se basa en procesos. Por lo que es importante que un ingeniero en química al acabar la carrera debería conocer herramientas de informática industrial y qué comporta la instrumentación, el control y la automatización de plantas de producción con procesos químicos. En este artículo exponemos los contenidos de una asignatura orientada a tal efecto.

1. Introducción y motivación

La titulación de Ingeniero Técnico Industrial de la "Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona" (EUETIB), adscrita a la "Universitat Politècnica de Catalunya" (UPC), incluye la especialidad en Química Industrial. Por Química Industrial, se entiende el conjunto de materias que hacen referencia a los procedimientos y sistemas de fabricación de todos los compuestos químicos. Además de asignaturas directamente vinculadas a la especialidad como fundamentos de química, química analítica, fisicoquímica y química orgánica, se incluyen cursos relacionados con los sistemas de regulación y control de los procesos y de informática aplicada a los entornos industriales propios del sector Químico.

Este documento desarrolla las experiencias recogidas durante la puesta en práctica de una asignatura optativa *–Informàtica en Entorns Industrials–* de informática industrial para la especialidad de Ingeniería Técnica Industrial en Química de la EUETIB de la UPC.

La asignatura fue ideada conjuntamente entre profesores de la EUETIB pertenecientes a tres disciplinas diferentes: química, automática e informática. Desde el punto de vista de los profesores de química se ha visto la necesidad de enseñar a los alumnos cómo funciona a nivel de automática e informática una planta industrial, debido a que durante la carrera, casi la totalidad de las prácticas de química se realizan a la antigua usanza, es decir, con pequeñas plantas piloto sin ningún tipo de automatización. Una vez salen al mercado laboral, se encuentran con que las industrias tienen toda la planta química automatizada, monitorizada y controlada toda mediante ordenadores.

La sección 2 de este artículo está dedicada a la exposición de los objetivos y contenidos de la asignatura, así como: la metodología y los mecanismos de evaluación empleados durante la impartición de la asignatura. La sección 3 enumera los recursos docentes generados y utilizados por la misma y, la sección 4, describe la realimentación que hemos recibido por parte de los alumnos. Para finalizar, concluimos el artículo enumerando las líneas de trabajo en las que estamos y todo lo propuesto a corto plazo.

2. La asignatura

Esta sección está dedicada a la exposición de los contenidos de la asignatura *Informàtica en Entorns Industrials* así como a su metodología docente y sus mecanismos de evaluación.

2.1. Objetivos y temario de la asignatura

El objetivo principal de la asignatura es que el alumno llegue a interpretar cómo funcionan los componentes informáticos en entornos

industriales incluyendo aspectos de automática de una planta química real. Es decir, que identifique cómo funciona la informática en el control de procesos y el desarrollo de aplicaciones en entornos de ventanas.

No se pretende que el alumno sea capaz de montar un sistema de tales características; estamos en una carrera de ingeniería química, no de automática y/o informática. El objetivo es que el alumno tome conciencia de los componentes y la problemática de dichos sistemas y sea capaz de interactuar con los ingenieros electrónicos e informáticos con su nomenclatura.

Para conseguir estos objetivos [1] se ha dividido la asignatura en dos partes que se imparten en paralelo (dos horas semanales de docencia presencial dedicadas a cada una de ellas): *programación visual y automática*.

Al acabar la parte de programación visual el alumno ha de ser capaz de: 1) comprender las nociones básicas de la programación orientada a objetos; 2) interpretar el diseño e implementar siguiendo un guión aplicaciones en entornos de ventanas; y 3) comprender el funcionamiento del software a nivel de monitorización en la informática industrial.

Al finalizar la parte de automática el estudiante podrá: 1) describir las características de señales, de acuerdo a su naturaleza; 2) interpretar y operar con técnicas de simulación sistemas de control en tiempo continuo y digitales; 3) interpretar técnicas y operar dispositivos para adquisición y conversión de datos provenientes de transductores analógicos y convertirlos a señales digitales (A/D); y 4) comprender el funcionamiento y aplicar el software de cálculo y simulación Matlab – Simulink®. Para esta parte el alumno dispone de conocimientos vistos en una asignatura troncal previa: *Control i Instrumentació de Processos Químics*.

Tomando en cuenta los objetivos descritos, la figura 1 muestra el temario de las dos partes de la asignatura. Cada parte está dimensionada para realizarse en 28 horas presenciales.

2.2. Metodología docente y evaluación

La metodología docente está basada en el aprendizaje orientado a proyectos. Es decir, se le pide al alumno que desarrolle pequeños

<p>Parte I: Programación visual</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Programación modular 2. Programación orientada a objetos 3. Componentes visuales 4. Creación de una Aplicación 5. Interacción Persona-Ordenador 6. Representación en 3D <p>Parte II: Automática</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Señales 2. Sistemas 3. Sistemas de Control 4. Convertidores A/D y microcontroladores
--

Figura 1. Temario de la asignatura

proyectos donde el núcleo del mismo se realiza de manera muy guiada, y contiene pequeñas posibles ampliaciones para que realicen por su cuenta de manera optativa. Los diferentes proyectos se han dividido de manera que se puedan realizar cada una de estas divisiones en una sesión de laboratorio de dos horas y, que a la vez, represente un concepto de la teoría a dar.

Cada semana se realiza una sesión de laboratorio de programación visual y una de automática. Cada sesión empieza con una exposición teórica de alrededor de diez minutos sobre la temática del día y se dedica el resto de la sesión a que el alumno realice una práctica guiada. Se le pide al alumno que haga un informe sobre la práctica a entregar al inicio de la siguiente sesión de laboratorio. Con el objetivo de mejorar el aprendizaje, se les proporciona realimentación corrigiendo los informes en un máximo de una semana a partir de la fecha de entrega.

La evaluación de la asignatura consiste en una media ponderada de la asistencia a clase y la evaluación de los informes de las sesiones de laboratorio para cada una de las partes (programación visual y automática). Como se dedica el mismo tiempo a cada una de las partes, éstas tienen el mismo peso en el cálculo de la nota final.

Una restricción importante, dada la metodología utilizada, es el número de alumnos. Actualmente, el número máximo de alumnos que se puede matricular de la asignatura está

limitado a 15, dada la cantidad de trabajo semanal que conlleva. Este trabajo requiere entre tres y cuatro horas semanales, que no incluye la preparación inicial del material, y consta de: la corrección de informes, la consultas de alumnos y el mantenimiento de la documentación y la página web.

2.3. Descripción de los proyectos

Este apartado está dedicado a describir la tipología de los proyectos que se proponen en la asignatura.

Para la parte de programación visual se proponen dos proyectos obligatorios más uno optativo. El objetivo del primer proyecto consiste en repasar conceptos básicos de programación, realizar un primer objeto e introducir la programación orientada a eventos con formularios. El segundo proyecto consiste en realizar una aplicación estándar completa de monitorización. Para la realización del mismo hemos utilizado una tarjeta de adquisición comentada en el siguiente apartado y mostrada en la figura 2, a la que hemos conectado una sonda de temperatura. La aplicación está basada en la captura de una señal de temperatura y la generación de otra con números aleatorios. Estas señales son utilizadas para crear todas las funciones de una aplicación para entorno de ventanas típica (abrir, guardar, imprimir, copiar, pegar, ayuda...). La figura 3 muestra una captura de pantalla de la aplicación a generar. El proyecto optativo de la parte de programación visual consiste en la realización de una aplicación que representa en 3D una molécula del agua y permite mover la cámara alrededor de la misma.

Para la parte de automática se proponen varios proyectos para abarcar los objetivos específicos mencionados. La adquisición y procesado de señales se realiza con un primer proyecto de adquisición y tratamiento de un conjunto de señales dadas en una matriz de Matlab, donde se aprovecha para introducir el uso de este software; este tema se cierra con un proyecto donde se usa un transductor de temperatura y la tarjeta de adquisición, a comentar, de la figura 2, usando los recursos de Matlab y Simulink, que también será descrito en el siguiente apartado. Se incluyen 3 proyectos para interpretar y simular sistemas lineales,



Figura 2. Tarjeta de adquisición USB LabJack U12

sistemas de control analógicos y sistemas de control digitales comparando en estos últimos los tipos de controladores más usados en la industria [2, 3]. Las figura 4 y 5 muestran ejemplos de proyectos: un sistema de control digital de un proceso y una aplicación de visualización de un proceso real de adquisición y tratamiento de una señal de temperatura. Adicionalmente, se realizan 3 proyectos para uso de temporizadores y transmisión de datos por puerto serial y se incluye una aplicación para realizar una interfaz entre el software de programación visual y el Matlab.

2.4. Recursos técnicos

Este apartado está dedicado a enumerar y comentar los recursos técnicos (hardware y software) que utilizan los alumnos mientras cursan la asignatura.

A nivel hardware se utiliza la tarjeta de adquisición comercial LabJack¹ U12 que funciona vía el puerto USB del ordenador (ver figura 2). Esta tarjeta viene con *drivers* y documentación muy clara. El hecho de utilizar esta tarjeta nos ha reportado numerosas ventajas: 1) No necesitar un laboratorio de informática industrial especial. Las clases se pueden realizar en cualquier aula de informática. 2) Motivar al alumnado al utilizar una tecnología actual. Y

¹ <http://www.labjack.com>

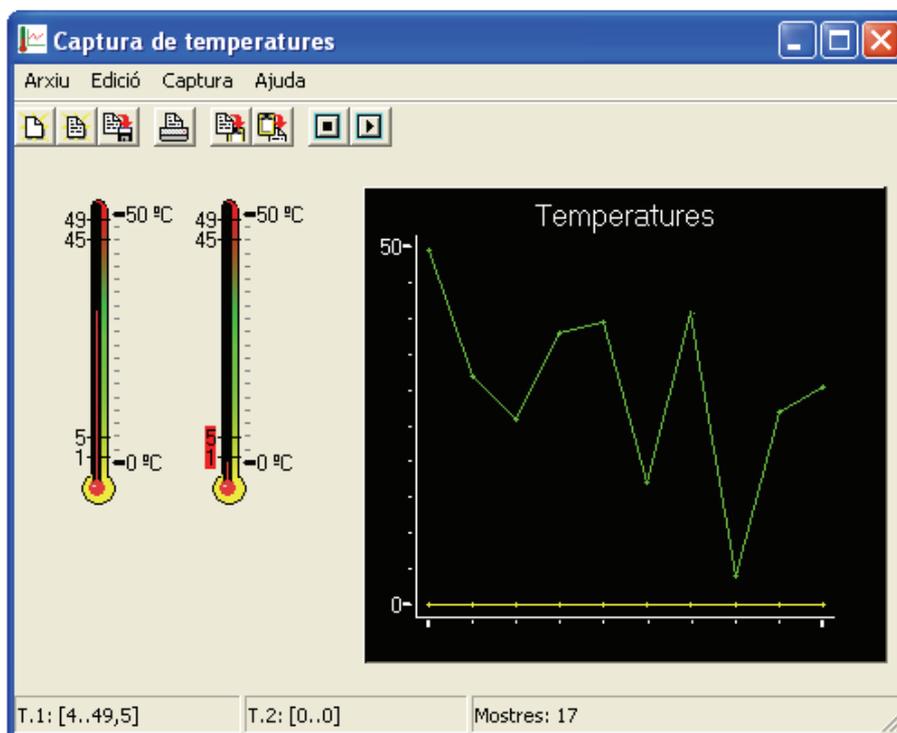


Figura 3. Segundo proyecto de la parte de programación visual

3) la usabilidad del producto (tanto a nivel hardware como software). El producto viene con unos *drivers* sencillos y está bien documentado [4, 5]. Para medir la temperatura, se ha utilizado la sonda de temperatura EI-1022 de la misma empresa [6].

A nivel software se han utilizado diferentes productos en las dos partes de la asignatura. En la parte de programación visual se utiliza el lenguaje de programación Delphi [7] de Borland². Este entorno de programación dispone de una versión (Personal Edition) que tiene una licencia para uso no comercial. Esto nos reporta la ventaja de que el alumnado dispone de una versión que pueden instalar en su ordenador personal. Para el segundo proyecto obligatorio se ha utilizado una paleta de componentes Delphi para monitorización (ver [8] y siguiente apartado) que se pueden ver en la figura 3. Para

el proyecto opcional de esta parte, se ha utilizado un paquete de componentes Delphi que encapsula la librería OpenGL llamado GLScene³ [9]. Esta librería tiene licencia pública Mozilla.

En la parte de Automática se ha usado el Matlab⁴, que es un lenguaje de programación y entorno de trabajo basado en cálculo numérico de amplia aplicación en la industria y de uso académico. Originalmente (1970) fue creado en Fortran como resultado de un proyecto para adaptar programas de cálculo de valores propios *-eigenvalues-* (EISPACK) y de ecuaciones lineales (LINPACK). Luego fue complementado y reimplementado en lenguaje C (1984) y su nombre parte de su aplicación inicial como LABORATORIO de MATRICES para enseñanza de álgebra lineal y cálculo numérico. Actualmente

² <http://www.borland.com>

³ <http://www.glscene.org>

⁴ <http://www.mathworks.com>

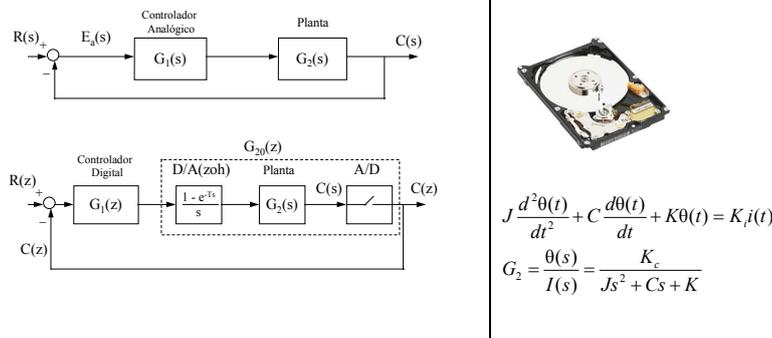


Figura 4. Sistema de control del proceso G2(s) en tiempo continuo con un controlador digital G1(z). G2(s): Sistema de posición angular: Motor de CD.

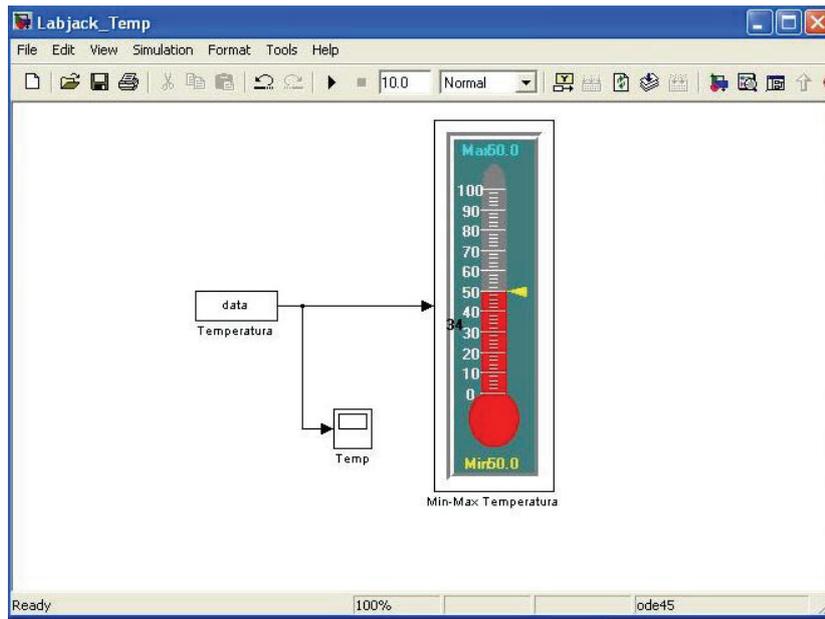


Figura 5. Aplicación en Simulink para capturar y mostrar la temperatura de un proceso

integra además funciones de cálculo matricial y de visualización gráfica junto con un grupo de librerías (*toolboxes*) para aplicaciones de ingeniería de control y tratamiento de la señal, entre muchas otras. Para el análisis, modelado y simulación de sistemas de control se utiliza la herramienta Simulink, que es un conjunto de librerías para diseño de sistemas dinámicos

basados en modelos y de gran ayuda para la enseñanza de sistemas de control. En la asignatura se utiliza el Matlab ver 6.2 y sus *toolboxes* de tratamiento de la señal (Signal Processing toolbox ver 5.1), sistemas de control (Control System toolbox ver 5.1) y de simulación (Simulink ver 4.1). La UPC dispone de licencias de campus para sus ordenadores,

por lo que los alumnos disponen de este software en las salas de ordenadores de la Escuela. Existe una versión libre de cálculo numérico compatible con Matlab, el GNU Octave⁵, del que se pueden obtener también en internet herramientas compatibles para el tratamiento de señal y sistemas de control. No hay una herramienta como el Simulink en Octave aunque incluye funciones de simulaciones.

3. Recursos docentes derivados

Durante los cuatro años de impartición de la asignatura se han generado una serie de recursos didácticos a los que va dedicado este apartado.

En primer lugar hay que destacar la creación de una página Web para la asignatura⁶ donde están centralizados todos los recursos y documentación de la misma. La Web contiene, en su primer apartado, la descripción de los objetivos y el temario de la asignatura; las transparencias de teoría y los guiones de prácticas están en el apartado “documentació” (la figura 6 muestra una captura de pantalla); y los recursos software, recopilados o creados por nosotros, están en el apartado de componentes. Todo este material está disponible para quien lo quiera utilizar, con licencia GNU.

El segundo punto a destacar es la documentación generada. Se han generado transparencias para toda la teoría de la asignatura y guiones para las prácticas de laboratorio (que las describen paso a paso y en detalle) para todos los temas del temario de las dos partes de la asignatura, programación visual y automática. Se presentan aplicaciones prácticas y la referencia fundamental de conceptos teóricos que sirven de soporte a las prácticas de la asignatura. Incluyen cómo programar todas las funciones típicas de una aplicación de ventanas (copiar o imprimir texto e imágenes, guardar...) en Delphi, así como el tratamiento de señales en Matlab. Además se han creado diversos tutoriales para temas concretos como creación de archivos de ayuda en formato “hlp” y “chm”, uso de cuadros de

diálogo en Delphi, un tutorial del GLScene, entre otros.

En el apartado de componentes cabe destacar la recopilación de componentes Delphi con licencia libre para trabajar con el USB, puerto serie, archivos de ayuda “chm” y el GLScene. Además de la recopilación se ha realizado un trabajo de creación de una paleta componentes Delphi libres para la monitorización en la informática industrial. Dicha paleta se ha realizado vía un trabajo de fin de carrera [8] y está disponible –la paleta de componentes con su código fuente y un sistema de ayuda en formato “html”– en el apartado “components” de la Web de la asignatura. Actualmente, estamos automatizando diversos procesos químicos (como puede ser una destiladora) del laboratorio de química de la escuela vía diversos trabajos de fin de carrera. Hemos creado una placa electrónica para conectar un PC a sensores y actuadores que funciona por el puerto USB [10]. Esperamos replicar esta placa en un futuro cercano y suplantar la placa comercial que utilizamos en este momento.

En componentes se dispone, también, de las utilidades necesarias para realizar aplicaciones de la tarjeta de adquisición de Labjack en Matlab y Delphi.

4. Evaluación por parte del alumnado

Este apartado está dedicado a analizar la asignatura desde el punto de vista del alumno. Es decir, a cómo ve el alumnado la asignatura.

El primer parámetro a tener en cuenta es el que ha resultado de pasar nosotros mismos a los alumnos una adaptación de las encuestas SEEQ [11] hecha por el ICE de la UPC⁷. En este cuestionario, las preguntas están agrupadas por temas. La tabla 1 muestra los resultados (recogidos durante tres años) ponderados por número de alumnos de los temas que nos han parecido más relacionados con la asignatura propiamente dicha y no con el profesor (hay que destacar que estos son mayores que los que se muestran). Estos cuestionarios, como en el caso anterior, valoran de uno a cinco. Los resultados están alrededor del cuatro, lo que muestra la

⁵ <http://www.octave.org>

⁶ <http://webon.euetib.upc.es/assignatures/iei/>

⁷ http://www-ice.upc.es/pro_accio/seeq/presentacio.htm

Informàtica en Entorns Industrials

- temari
- documentació
- components
- programari
- notes
- Gerard
- Pedro

Material Docent Programació Visual

Transparències de teoria

- (08-11-2003) [Programació Visual \(B/N\)](#)
- (23-10-2003) ["Human Computer Interface" \(B/N\)](#)
- (29-12-2004) [Creació de fitxers d'ajuda ".chm"](#)
 - (29-12-2004) [Llista de paraules buides per al català](#)
 - (29-12-2004) [Llista de paraules buides per al castellà](#)

Pràctiques

- (18-09-2003) [Programació Modular](#)
- (23-10-2003) [Programació Orientada a Objectes](#)
- (23-10-2003) [Primer Formulari](#)
- (11-04-2005) [Aplicació final \(I\): Instal·lació de components \(documentació\) \(B/N\)](#)
- (18-04-2005) [Aplicació final \(II\): Creació d'objectes \(documentació\) \(B/N\)](#)
- (02-05-2005) [Aplicació final \(III\): Arxius de dades \(documentació\) \(B/N\)](#)
- (09-11-2005) [Pràctica 7: Quadres de diàleg, menús](#)

Material Docent Automàtica

Transparències de teoria

- (15-09-2003) [Señales](#)
- (30-09-2003) [Sistemas](#)
- (07-10-2003) [Sistemas2](#)
- (20-10-2003) [Sistemas3](#)
- (27-10-2003) [Sistemas4](#)
- (08-11-2004) [Sistemas5](#)

Pràctiques

- (23-09-2004) [Introducción al tratamiento de señales](#)
 - [Senyal Electrocardiograma](#)
- (11-10-2004) [Sistemas lineales](#)
- (11-10-2004) [Acciones de control](#)
- (11-10-2004) [Controladores digitales](#)
- (11-10-2004) [Programación de timers](#)
- (11-10-2004) [Port serie](#)
- (11-10-2004) [Comunicación serial](#)
- (02-12-2004) [Interfaz Delphi-Matlab](#)
- (12-12-2004) [Adquisición con LabTask](#)

Figura 6. Página Web de la asignatura

buena acogida por parte del alumnado. Las encuestas SEEQ tienen un pregunta específica dedicada a compara la asignatura con las demás: "Este curso es mejor que la mayoría de los que he hecho en esta Universidad". La media ponderada por número de alumnos era de 3,5 sobre 5. Las últimas preguntas de estas encuestas están dedicadas a contenido abierto. Lo que más veces han comentado los alumnos como puntos fuertes son: la claridad de las prácticas, la documentación de la asignatura, el interés de la asignatura, la atención personalizada y la resolución de dudas.

El último punto a tener en cuenta tiene que ver con la historia de la asignatura. Inicialmente se pensó en ofertar la asignatura con quince plazas y sólo durante los cuatrimestres de otoño. Los dos primeros años se llenó el cupo en los dos primeros días de matriculación. Debido a

Grupo	Valoración
Aprendizaje	3,9
Contenidos	3,8
Exámenes	4,3
Bibliografía	4,0

Tabla 1. Valoración de las encuestas SEEQ

esto, decidimos ofertar la asignatura los dos cuatrimestres. Con todo, tenemos constancia de que se entregan instancias por parte de los alumnos pidiendo matricular la asignatura. A la lectura de todos estos datos, se ve una clara implicación de la popularidad y aceptación de la asignatura por parte del alumnado, y más teniendo en cuenta que en primer año sólo entran 90 alumnos en la especialidad de química de la escuela.

5. Conclusiones y trabajo futuro

En este artículo hemos presentado los contenidos y recursos de una asignatura de informática industrial orientada a un alumnado sin conocimientos de electrónica y muy escasos de programación. Pese a esto, se están utilizando tecnologías actuales, como la interfaz USB, la programación bajo entornos de ventanas y Matlab/Simulink, como parte básica. La asignatura ha tenido una gran aceptación entre el alumnado, ya que más de un tercio del alumnado está cursando esta asignatura optativa.

Las cuestiones pendientes básicas que estamos llevando a cabo o tenemos intención de hacer a corto plazo son: 1) la actualización de los guiones de prácticas y la documentación de

teoría; 2) la sustitución del hardware USB comercial por uno nuestro; y 3) la adaptación de diversas prácticas actuales a temáticas más relacionadas con la química.

El trabajo presentado es el resultado de cuatro años de evolución de una asignatura donde el aprendizaje está orientado a proyectos, tiempo que nos ha llevado alcanzar una situación estable. A partir de este momento los cambios serán menores, teniendo en cuenta el estado del arte y el carácter dinámico del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Agradecimientos

Queremos agradecer a Antoni Pérez por los útiles comentarios durante la redacción de este artículo. También al ICE de la UPC por su dedicación a la formación de formadores y muy especialmente a Pilar Almajano y a Miguel Valero.

Referencias

- [1] Valero-García, M. y Navarro, J. J. "Niveles de Competencia de los Objetivos Formativos en las Ingenierías". JENUI 2001, pp. 149-153.
- [2] Åström, K. J. y Witenmark, B. "Sistemas Controlados por Computador". Ed Paraninfo, Madrid. 1988.
- [3] Phillips, C. L. y Nagle, H.,T. "Digital Control System Analysis and Design". Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1995.
- [4] "LabJack U12 Quickstart Guide". (<http://www.labjack.com/downloads>)
- [5] "LabJack U12 Users Guide". (<http://www.labjack.com/downloads>)
- [6] "Universal Temperature Probe MODEL EI-1022 Instruction Manual". (<http://www.labjack.com/downloads>)
- [7] Cantú, M. "Mastering Delphi 7. Sybex". (Traducido al castellano: 'La Biblia del Delphi 7' de Anaya)
- [8] Cano, X. y Serrano, P. "Paleta de components visuals per a control industrial". Trabajo de Fin de Carrera de la EUETIB, UPC. Barcelona, 2004.
- [9] "GLScene Online Documentation". (<http://caperaven.co.za/>)
- [10] Hurtado, S. "Desarrollo de un sensor de temperatura USB". Trabajo de Fin de Carrera de la EUETIB, UPC. Barcelona, 2005.
- [11] Marsh, H. W y Roche, L. A. "The use of student evaluations of university teaching in different settings: The applicability paradigm". Australian Journal of Education, 36, 278-300, 1992.