



MEMORIA DE LAS ACCIONES DESARROLLADAS
PROYECTOS DE MEJORA DE LA CALIDAD DOCENTE
VICERRECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y CALIDAD
X CONVOCATORIA (2008-2009)



❖ DATOS IDENTIFICATIVOS:

Título del Proyecto

**Experiencia de trabajo en equipo:
diseño de una planta de tanques acoplados**

Resumen del desarrollo del Proyecto

La presente memoria expone el resultado de una experiencia de trabajo en grupo para alumnos de la titulación de Ingeniería en Automática y Electrónica Industrial.

En resumen, la experiencia ha consistido en la realización de un trabajo similar a los realizados por los alumnos en sus proyectos fin de carrera pero con varias diferencias:

- Se ha realizado en equipo, por lo que la carga por alumno se redujo considerablemente.
- Se establecieron diferentes tareas y responsables.
- Se realizó durante el curso 2007/08.
- La documentación a entregar por el alumno (la parte más tediosa de un proyecto fin de carrera) fue mínima.

El objetivo final ha sido el diseño, la adquisición de los componentes y la implementación de una planta de ensayo para sistemas multivariables, compuesta por cuatro depósitos de agua acoplados entre sí, tal y como se describe en los apartados siguientes.

Los alumnos participantes fueron premiados en la UCO en la edición de 2008 de las “Mejores Actividades Académicas dirigidas”. Los resultados del proyecto se presentaron al concurso del Consejo social “Buenas Prácticas de Innovación Docente” en la convocatoria de 2008. Así mismo, parte de los resultados han sido utilizados por un alumno para la presentación de su proyecto fin de carrera. Como colofón, los resultados del mencionado proyecto fin de carrera se han presentado en las recientes “Jornadas de Automática” (Tarragona, Septiembre de 2008) donde han obtenido el premio Mathworks a la mejor aplicación de ingeniería de control.

	Nombre y apellidos	Código del Grupo Docente
Coordinador/a:	Jorge E. Jiménez Hornero	054
Otros participantes:	Francisco Javier Vázquez Serrano	054
	Luís Manuel Fernández de Ahumada	054
	Juan Garrido Jurado	054

Asignaturas afectadas

Nombre de la asignatura	Área de Conocimiento	Titulación/es
Ingeniería de control I	Ing. Sistemas y Automática	Ingeniería en Automática
Ingeniería de control II	Ing. Sistemas y Automática	Ingeniería en Automática
Modelado y Simulación de Sistemas Dinámicos	Ing. Sistemas y Automática	Ingeniería en Automática
Control de procesos	Ing. Sistemas y Automática	Ingeniería en Automática

MEMORIA DE LA ACCIÓN

Especificaciones

Utilice estas páginas para la redacción de la Memoria de la acción desarrollada. La Memoria debe contener un mínimo de cinco y un máximo de diez páginas, incluidas tablas y figuras, en el formato indicado (tipo y tamaño de fuente: Times New Roman, 12; interlineado: sencillo) e incorporar todos los apartados señalados (excepcionalmente podrá excluirse alguno). En el caso de que durante el desarrollo de la acción se hubieran producido documentos o material gráfico dignos de reseñar (CD, páginas web, revistas, vídeos, etc.) se incluirá como anexo una copia de buena calidad.

Apartados

1. Introducción (justificación del trabajo, contexto, experiencias previas etc.)

En las guías docentes ECTS realizadas para las asignaturas de Ingeniería de Control I y de Modelado y Simulación de Sistemas Dinámicos, de la titulación de Ingeniería en Automática y Electrónica Industrial, así como en las futuras de Ingeniería de Control II y de Control de Procesos de la misma titulación, aparece el concepto de trabajo en equipo.

Las experiencias de trabajo en equipo tienen como finalidad la mejora de determinadas competencias transversales: de esta forma se pretende mejorar la capacidad de organización y planificación del alumno, su visión general a la hora de resolver problemas, así como contribuir a la formación y desarrollo en la resolución de problemas complejos que requieren de grupos de trabajo.



Figura 1. Alumnos trabajando durante el proyecto

En la presente memoria se resume una iniciativa de trabajo en grupo que ha tratado de mejorar algunas de las competencias específicas de la titulación: cognitivas, como son el modelado y análisis de sistemas o el diseño de sistemas de control, procedimentales e instrumentales, como son la resolución de problemas complejos y actitudinales, tales como son fomentar la habilidad para trabajar de forma autónoma y en equipo y la capacidad en la toma de decisiones.

Todos los solicitantes ya habían sido responsables o participados en Proyectos de Innovación y Mejora de Calidad Docente a los largo de los últimos años y, en concreto, han participado en proyectos

similares cuyo objetivo consistía en la realización de determinadas prácticas experimentales grupales, donde se fomentaran las capacidades anteriormente mencionadas.

2. Objetivos (concretar qué se pretendió con la experiencia)

El objetivo final de la experiencia ha consistido en diseñar una actividad que fomentara el trabajo en grupo de parte del alumnado de la titulación de Ingeniería en Automática y Electrónica Industrial. La actividad consistió en el diseño, la adquisición y la implementación de una planta experimental con la que poder realizar ensayos de control multivariable.

3. Descripción de la experiencia (exponer con suficiente detalle lo realizado en la experiencia)

La primera fase de la actividad consistió en el diseño de la planta a realizar, así como la planificación y temporización de su implementación. La planta a construir se muestra en el siguiente esquema:

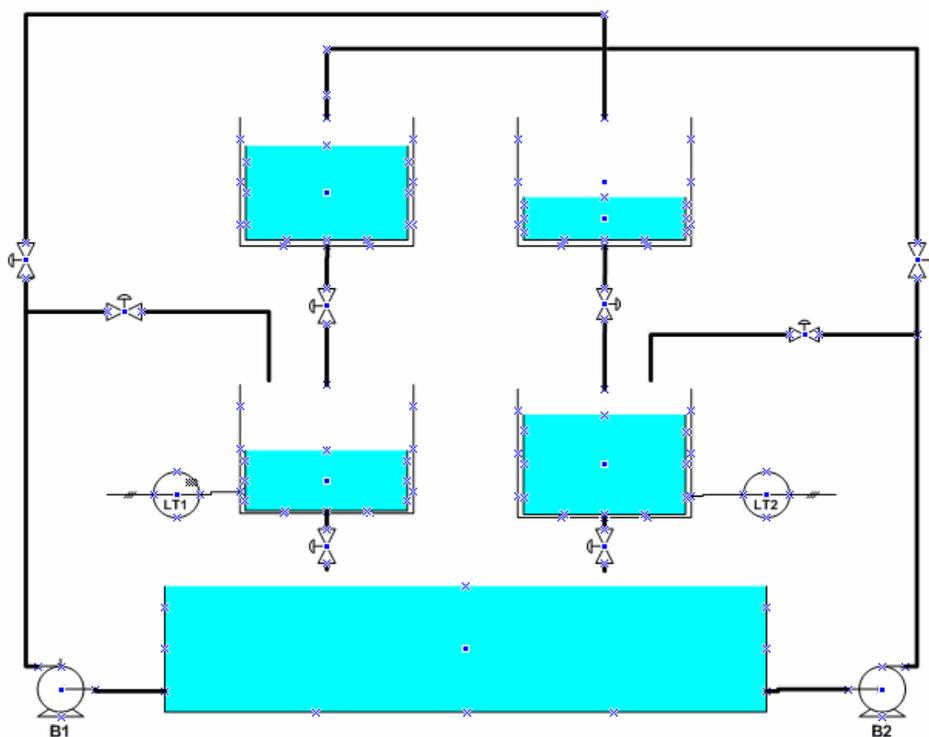


Figura 1: Esquema de la planta

Consta de cuatro depósitos acoplados y otro depósito pulmón. El agua es impulsada desde el depósito pulmón situado en la parte inferior hacia los dos depósitos superiores mediante dos bombas centrífugas trifásicas dirigidas por variadores de frecuencia. Parte de esta agua se introduce en los dos depósitos intermedios. Además, los depósitos superiores se vacían sobre los inferiores y éstos sobre el pulmón, con una dinámica controlada mediante las diferentes válvulas. El objetivo de control consiste en mantener constante los niveles de los depósitos intermedios. Para ello se puede manipular las velocidades de las bombas accionadas mediante los variadores de velocidad.

El equipo tiene asociada, pese a su simpleza, una alta problemática en control, debido al acoplamiento de las variables implicadas. En efecto, si se pretende mantener, por ejemplo, el nivel del depósito intermedio derecho se puede actuar sobre la bomba derecha o sobre la izquierda, pero éstas modificarán el nivel del otro depósito intermedio, el izquierdo. El acoplamiento puede regularse mediante las válvulas manuales conectadas, aumentando la dificultad de control cuanto más acopladas estén las variables implicadas

Una vez diseñada la planta, se adquirieron los materiales necesarios (la mayoría con cargo a fondos propios del departamento y grupo de investigación). Los elementos físicos utilizados en el circuito de control son un ordenador, dos variadores de frecuencia, dos sensores de presión diferencial, una placa de adquisición de datos (NI-DAQ 6035E), placas de interfaz, fuente de alimentación de los sensores, fuente estabilizada para las placas de interfaz y módulos de conversión corriente-tensión y de tensión-corriente. En la figura 2 se muestra una fotografía de la planta real completa.

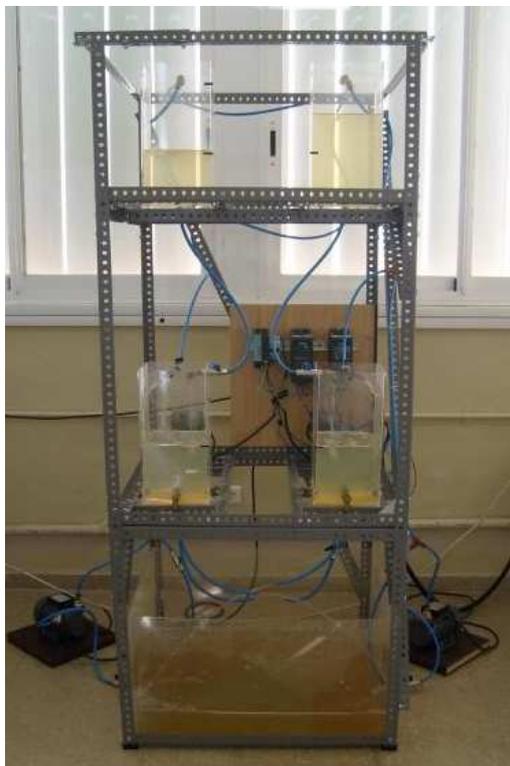


Figura 2: Planta real

En la fase final, realizada por un alumno en solitario, se diseñó el sistema de control, se obtuvo el modelo matemático de la planta (identificación) y se realizaron numerosos ensayos.

4. Materiales y métodos (describir la metodología seguida y, en su caso, el material utilizado)

Para llevar a cabo la experiencia se estableció la siguiente metodología:

1. Se eligió un profesor responsable de la experiencia, de entre los firmantes del presente documento.
2. Entre los alumnos, se eligió un coordinador del grupo, que fue el interlocutor con el profesor responsable.
3. Se formaron varios grupos de trabajo, cada uno con un responsable:
 - a. Grupo de simulación.
 - b. Grupo de ingeniería de proceso.
 - c. Grupo de control.
4. En una reunión colectiva se establecieron los requisitos finales del equipo a diseñar.
5. Los alumnos del grupo de simulación se encargaron de realizar un modelo matemático que permitiera hacer simulaciones de diversas experiencias que ayudarán en fases posteriores.
6. El grupo de ingeniería de procesos se encargó de elegir la instrumentación adecuada, que permitiera, dentro del presupuesto disponible, conseguir las especificaciones de diseño.
7. El mismo grupo de ingeniería se encargó de la adquisición de los componentes necesarios, familiarizándose con el manejo de catálogos.
8. La tarea más sensible del proceso fue el montaje de todos los componentes para formar el objeto del proyecto, en la que participaron todos los alumnos.

- El grupo de simulación validó el modelo realizado en la fase 5 con los componentes reales de la fase 8.

Hasta aquí tuvo lugar la tarea de los alumnos de clase. A partir de este punto, las tareas fueron realizadas por un alumno en su proyecto fin de carrera.

- En esta fase se diseñó, primero sobre el modelo y más tarde sobre el sistema real, una estrategia de control que permitió llegar a las especificaciones de la fase 4.
- Presentación de resultados

5. Resultados obtenidos y disponibilidad de uso (concretar y discutir los resultados obtenidos y aquéllos no logrados, incluyendo el material elaborado y su grado de disponibilidad)

La planta diseñada, mostrada en la fotografía de la figura 2, se encuentra totalmente operativa en el laboratorio de automática, situado en el aula. Además de haberla utilizado los alumnos que han trabajado en su diseño durante el curso 2007/08, la planta ha sido utilizada por un alumno de proyecto fin de carrera de la titulación, y durante el verano, por dos alumnos de nacionalidad mejicana matriculados en el programa de doctorado de la EPS.

Entre las operaciones realizadas por todos estos alumnos destaca la obtención de un modelo mediante identificación. Dicho modelo se muestra en las siguientes ecuaciones, que presentan una matriz 2x2 de funciones de transferencia del proceso $G(s)$.

$$G(s) = \begin{pmatrix} g_{11}(s) & g_{12}(s) \\ g_{21}(s) & g_{22}(s) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{8.9984 \cdot e^{-10.584s}}{(1+314.48s)} & \frac{3.7398 \cdot e^{-5s}}{(1+2510.9s)(1+332.26s)} \\ \frac{4.1614 \cdot e^{-5s}}{(1+575.96s)(1+2120.1s)} & \frac{9.6734 \cdot e^{-5.6591s}}{(1+327.93s)} \end{pmatrix}$$

Dicha matriz relaciona los niveles 1 y 2 (en %) de los depósitos a controlar con las frecuencias de los variadores (en Hz). Todas estas medidas son relativas al punto de operación usado en la identificación.

Alguna de las experiencias necesarias para llegar a ese modelo se muestra en la figura 3.

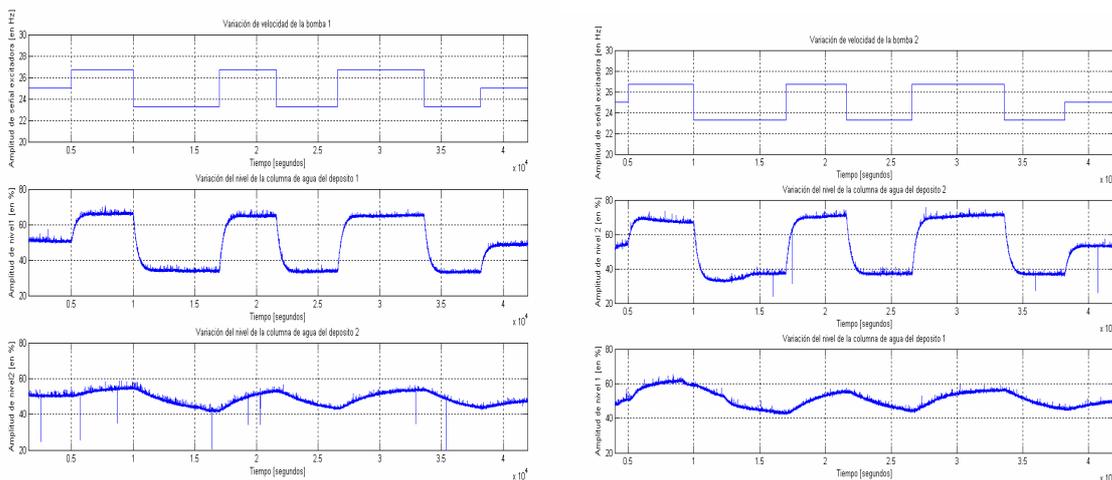


Figura 3: Curvas obtenidas durante la identificación.

Así mismo se ha diseñado una estrategia de control multivariable descentralizada, implementada en el Real-Time Workshop de Matlab, y utilizando dos algoritmos PID trabajando en paralelo.

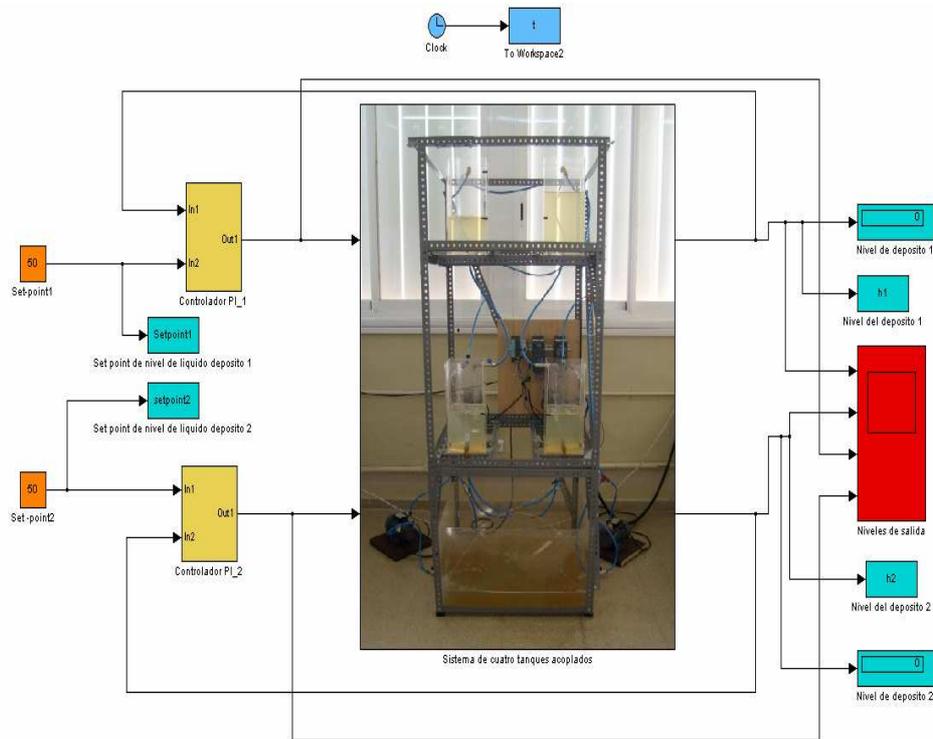


Figura 4: Esquema de bloques con el sistema de control.

6. Utilidad (comentar para qué ha servido la experiencia y a quienes o en qué contextos podría ser útil)

La experiencia ha cumplido su principal objetivo, que consistía en lograr una experiencia de trabajo en equipo que motivara al alumno a enfrentarse con un problema de ingeniería real. Como se ha comentado anteriormente, la planta ha sido utilizada tanto por los propios alumnos de las asignaturas involucradas como por un alumno que ha realizado su proyecto fin de carrera.

Por otro lado, y en lo concerniente a investigación, la planta está siendo utilizada por alumnos del programa de doctorado “Técnicas Avanzadas de Análisis, Simulación y Control” impartido en la EPS. En concreto, y gracias al convenio suscrito con la Universidad de Zacatecas (México), este verano la planta ha sido utilizada por dos estudiantes que han mejorado el algoritmo de control, y continúan trabajando sobre el modelo para tratar de obtener un sistema totalmente desacoplado mediante algún tipo de red.

7. Observaciones y comentarios (comentar aspectos no incluidos en los demás apartados)

8. Autoevaluación de la experiencia (señalar la metodología utilizada y los resultados de la evaluación de la experiencia)

Los resultados obtenidos han sido superiores a los previstos:

Desde el punto de vista formativo, el alumno ha participado en una actividad próxima a la que se tendrá que desenvolver en su futuro profesional, seleccionando componentes en catálogos, adquiriéndolos al mejor precio, instalándolos, acertando y equivocándose en la elección,...

Desde el punto de vista las competencias actitudinales, el alumno a realizado en grupo una actividad en la que las sumas de las partes ha formado un todo tangible: la planta. A su vez, se ha trabajado en una actividad donde el profesor no sólo ha transmitido sus conocimientos sino que ha sido un elemento más en el equipo de trabajo, coordinando, aconsejando y, en algunos momentos de

dificultad, también trabajando. Se ha favorecido la relación profesor-alumno fomentando el paradigma de enseñar a aprender.

9. Bibliografía

López, J. F. “Control multivariable de nivel de un sistema de tanques”. Laboratorio de Instrumentación y Control de Procesos. Dpto. de Ingeniería y Ciencias Químicas. Universidad Iberoamericana, México.

Johansson, K. H.; Horch, A; Wijk, O.; Hansson, A. (1999) “*Multivariable Control Using the Quadruple-Tank Process*”. Proceedings of the 38th Conference on Decision & Control, pp 807-812.

Morilla, F. Apuntes del curso de doctorado: Control multivariable. Departamento de Informática y Automática, UNED.

Pérez, M. A.; Laubwald, E. “Sistemas de depósitos acoplados” Controls system Principles. <http://www.control-systems-principles.co.uk>.

Vázquez, F.; Morilla, F.; Dormido, S. (1999) “*An iterative for tuning decentralized PID controllers*”. Proceedings of the 14th IFAC World congress, pp 491-496.

Vázquez, F.; Morilla, F.; García, E.; Sanmiguel, E. (2000) “Entorno Matlab para diseño de controladores PID” XXI Jornadas de Automática, Sevilla.

Vázquez, F. (2001) “Diseño de controladores PID para sistemas MIMO con control descentralizado”. Tesis doctoral. UNED.

Yebra, L. J.; Berenguel, M.; Dormido, S. (2003) “Modelo termohidráulico del sistema del cuatro tanques acoplados” XXIV Jornadas de Automática, León.

Córdoba, a 20 de septiembre de 2008

Jorge Eugenio Jiménez Hornero