

ANEXO V. MEMORIA FINAL DE PROYECTOS. MODALIDADES 1, 2, 3 Y 4

CURSO ACADÉMICO 2018/2019

DATOS IDENTIFICATIVOS:

1. Título del Proyecto

Experiencia de trabajo en equipo: Práctica para control de la calefacción en un autobús.

2. Código del Proyecto

2018-1-5002

3. Resumen del Proyecto

La experiencia descrita en la presente memoria final ha consistido en el diseño de una planta experimental para ensayo de sistemas de control para una Unidad de Control de Climatización de un autobús. En el sistema diseñado se pueden implementar diferentes estrategias de control, utilizando sus diversos componentes, como las dos soplantes o las válvulas motorizadas. Una vez ha sido construida, el alumnado puede diseñar lazos de control basándose en diferentes metodologías, con la intención de minimizar una determinada función objetivo basada no sólo en el error de temperatura sino también en el esfuerzo de las señales de control. Por otro lado, también ha sido objetivo del proyecto que la planta sirva como herramienta didáctica al estudiante en diversas asignaturas del Grupo Docente. Durante el proceso de diseño, se ha pretendido promover la colaboración y trabajo en equipo del alumnado participante.

4. Coordinador/es del Proyecto

Nombre y Apellidos	Departamento	Código del Grupo Docente
FRANCISCO JAVIER VAZQUEZ SERRANO	INFORMATICA Y ANALISIS NUMERICO	54

5. Otros Participantes

Nombre y Apellidos	Departamento	Código del Grupo Docente	Tipo de Personal
JORGE EUGENIO JIMÉNEZ HORNERO	INFORMATICA Y ANALISIS NUMERICO	54	PDI
JUAN GARRIDO JURADO	INFORMATICA Y ANALISIS NUMERICO	54	PDI
RAFAEL DAVID RODRIGUEZ CANTALEJO	INFORMATICA Y ANALISIS NUMERICO	54	PDI
MARIO LUIS RUZ RUIZ	MECÁNICA	54	PDI
JOSE ANGEL GALLARDO ARROYO	INFORMATICA Y ANALISIS NUMERICO	--	PAS
MANUEL LARA ORTIZ	INFORMATICA Y ANALISIS NUMERICO	--	Becario

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

El concepto de trabajo en equipo aparece en la mayoría de las guías docentes relacionadas con la Automática ya que un buen ingeniero de control debe aprender a manejar multitud de conceptos, ideas y técnicas y, además, saber aplicarlos a procesos reales de la industria. De ahí que el principal objetivo de la docencia en Automática sea cubrir no solo necesidades de carácter teórico, sino también dotar al alumnado de la capacidad de enfrentarse a problemas de ingeniería. Las experiencias de trabajo en equipo como actividades académicas dirigidas tienen como fin la mejora de varias competencias transversales; de esta manera se intentan mejorar la capacidad de planificación y organización del alumnado y su formación y desarrollo en la resolución de problemas complejos que requieren de grupos de trabajo. La presente memoria presenta los resultados de un proyecto que ha tratado de mejorar las siguientes competencias de los ingenieros:

- Genéricas
 - Trabajo en equipo
 - Resolución de problemas
 - Proporcionar capacidades de abstracción, análisis y síntesis.
 - Capacidad de organización y planificación
 - Contribuir a la formación y desarrollo del razonamiento científico
- Cognitivas (Saber):
 - Diseño e implementación de sistemas de control
 - Modelado y análisis de sistemas
- Procedimentales/Instrumentales (Saber hacer):
 - Resolución de problemas
- Actitudinales (Ser):
 - Habilidad para trabajar de forma autónoma y en equipo
 - Toma de decisiones

Por otro lado, una de las líneas de acción prioritarias en la actual convocatoria de proyectos de Innovación Docente es **“la transferencia del conocimiento teórico a la práctica”**, en la que la presente memoria encaja perfectamente como se puede comprobar en los siguientes apartados.

Como objetivo técnico del proyecto, se ha perseguido diseñar una planta experimental que incluye una Unidad Central de Control (UCC) utilizada para la climatización de los autobuses IRIZAR, grupo vasco y una de las principales compañías mundiales en número de ventas del sector. El profesor solicitante de la propuesta ha mantenido un contrato OTRI de asesoramiento con la empresa sevillana Hispacold, perteneciente al citado grupo, que le permite conocer de primera mano la problemática de este tipo de equipos. La UCC, donada por esta empresa, consta de varios intercambiadores de calor, válvulas motorizadas y soplantes, de forma que con instrumentación adicional y un sistema de control (alojado en un autómatas programable) ha permitido a nuestros alumnos participar en el diseño de una planta experimental con la que realizar prácticas futuras de Grado o de Máster.

La experiencia se ha llevado a cabo principalmente para la asignatura Laboratorio de Control de Procesos del Grado de Ingeniería en Electrónica Industrial de cuarto curso. Aun así, otras asignaturas del mismo Grado como Regulación Automática (de segundo), Ingeniería de Control

(de tercero) o Tecnologías de Control (del Master de Ingeniería Industrial) también se podrán beneficiar de los resultados obtenidos.

La necesidad de abordar diferentes aspectos para implementar las posibles soluciones (uso de la instrumentación, diseño de estrategias de control, programación de PLCs, etc.) justifican la necesidad de haber contado con un grupo de trabajo.

Los solicitantes de la presente propuesta han participado anteriormente en varios proyectos de experiencia de trabajo en equipo, en los que varios alumnos de la extinta titulación de Ingeniería en Automática y Electrónica Industrial o del Grado de Ingeniería en Electrónica Industrial estuvieron implicados. Dichos proyectos fueron parcialmente financiados a través de diversas convocatorias de proyectos de Mejora de Calidad Docente. En ellos, se consiguió que el alumnado llevara a cabo una planificación de las actividades a realizar, selección y adquisición de los componentes, implementación de las plantas proyectadas, incluso presentar algún trabajo en las Jornadas de Automática, de carácter anual. Tras los buenos resultados de convocatorias anteriores, el presente proyecto ha pretendido llevar a cabo un trabajo similar pero enfocado a una problemática del control de climatización y, en concreto, de calefacción de un vehículo de transporte público.

Por otro lado, varios de los solicitantes han participado en los procesos de análisis de la calidad de las titulaciones de Ingeniería en Electrónica, y de Ingeniería en Automática y Electrónica Industrial, presentando como una de las carencias la falta de dotación en laboratorios y el bajo número de horas dedicadas a verdaderas prácticas experimentales, a lo que iniciativas como la mostrada en este proyecto tratan de poner remedio.

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

La experiencia ha consistido en el diseño de una planta experimental en la que poder implementar sistemas de control para una Unidad de Control de Climatización (UCC) de un autobús, como la mostrada en la figura 1.



Figura 1 – Unidad Central de Climatización (UCC) de un autobús

La mayoría de los componentes ya estaban disponibles en el laboratorio: la propia UCC, un ordenador, un autómatas, relés, pequeño material eléctrico, etc. El proyecto ha permitido la

adquisición de una estructura mecánica que pudiese dar soporte de forma segura a toda la planta, así como alguna fuente de alimentación.

Una vez construida la planta sobre su estructura metálica, se han programado diferentes estrategias de control, utilizando sus diversos componentes, como las dos soplantes o las válvulas motorizadas. El sistema de control permite futuras implementaciones que se adaptarán a los objetivos docentes de las prácticas que se diseñen. Además de participar en su diseño y construcción, los alumnos implicados han diseñado lazos de control basándose en diferentes metodologías, con la intención de minimizar una determinada función objetivo basada no sólo en el error de temperatura sino también en el esfuerzo de las señales de control. Durante el proceso de diseño, se ha perseguido promover la colaboración y trabajo en equipo del alumnado participante.

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

El punto de partida del presente proyecto supone el diseño y montaje de un sistema como el que se muestra en la figura 2, que ya se incluía en la propia solicitud. El núcleo del mismo es la UCC, que como se ha comentado anteriormente incluye dos intercambiadores de calor aire-agua, uno utilizado para refrigeración y otro para calefacción, además de dos ventiladores que fuerzan la entrada del aire (soplantes), varias válvulas que modifican el recorrido del aire, así como una válvula proporcional que permite modificar el caudal de agua caliente.

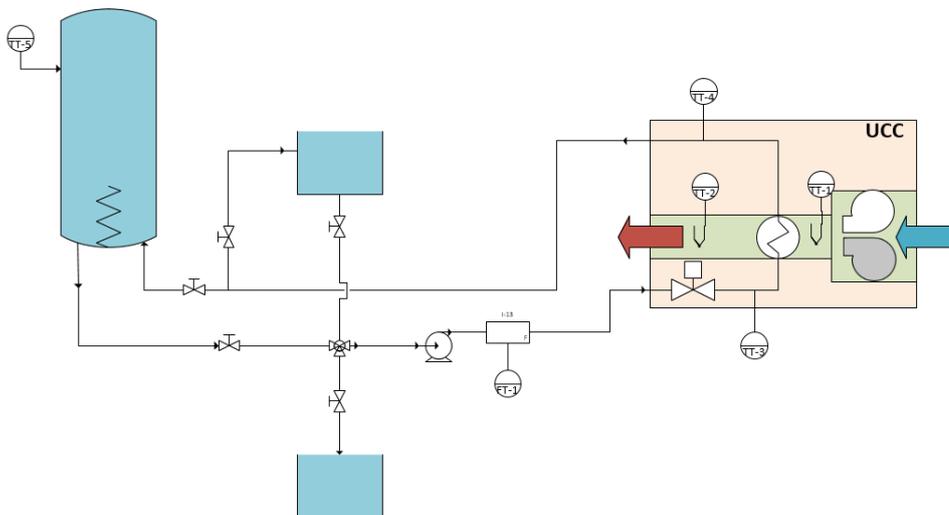


Figura 2 - Esquema de la planta

Basado en el esquema anterior, el diseño inicial se puede apreciar en la figura 3. Al sistema se le ha incorporado un termo eléctrico, cedido por una de las empresas subcontratadas en el Campus de Rabanales. El objetivo de este termo es tratar de producir agua caliente, de forma similar a la que se obtendría del agua de refrigeración del motor de combustión interna del autobús.



Figura 3 – Planta diseñada, fase inicial

Al sistema, como se aprecia en la misma figura 3, se le han añadido los depósitos, las tuberías, las conexiones, la instrumentación (caudalímetro, bomba de agua, sensores de temperatura,...) así como el propio sistema de control (autómata programable, ordenador) y las fuentes de alimentación de todo el conjunto. La mayoría de los componentes de alto coste han sido adquiridos por el propio equipo solicitante (con cargo al departamento o al grupo de investigación), habiendo financiado el presente proyecto principalmente la estructura metálica de soporte. En la figura 4 se muestra a dos de los alumnos del grupo de trabajo instalando el cuadro eléctrico.



Figura 4 – Cableado del cuadro eléctrico

El equipo diseñado en una primera versión tenía algunos problemas. El primero relacionado con su estabilidad mecánica, dado el peso de los componentes instalados. Debido a ello, se diseñó una estructura basada en perfiles de aluminio comerciales, que fueron adquiridos con cargo al proyecto como se indicó en la solicitud. En la figura 5 se muestra una captura del software utilizado para el diseño de la estructura que también sirvió para el replanteamiento de las conducciones hidráulicas.

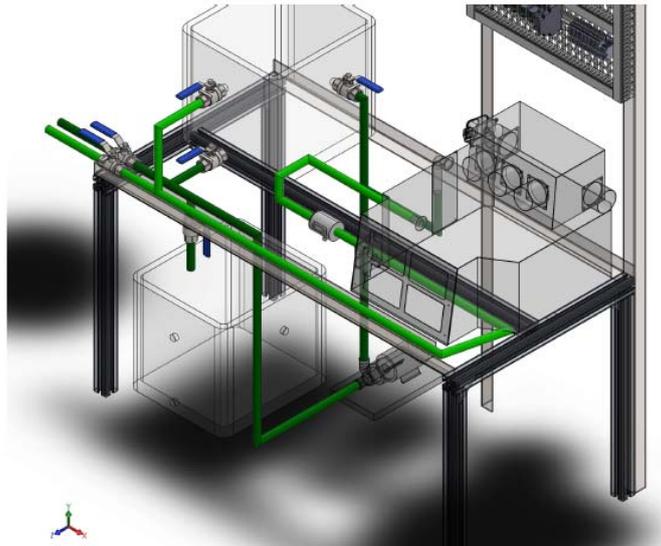


Figura 5 – Diseño de la estructura metálica y pipelining

Otro problema que tenía la primera versión estaba relacionado con la alimentación eléctrica. En un vehículo los componentes eléctricos y electrónicos se alimentan de la batería del propio vehículo, que en el caso de los autobuses de IRIZAR es de 24V. Algunos de los componentes a los que esta batería debe alimentar son de poca potencia. Sin embargo, algunos tienen una alta demanda, como son los motores eléctricos, como pueden ser las bombas de impulsión de agua o los ventiladores para forzar aire en los intercambiadores de calor, las denominadas soplantes. La UCC dispone de una bomba de agua y de dos soplantes, que se alimentan a 24 V, pero que al tener una potencia elevada consumen una corriente también elevada. Las fuentes de alimentación de 24 V DC son muy habituales en nuestros laboratorios, pero no es fácil disponer de alguna de tan elevada potencia. Por esa razón, y como ya estaba previsto en la memoria de solicitud, se adquirieron dos fuentes de alimentación que trabajan en paralelo y juntas son capaces de proporcionar la potencia y corriente suficiente para el peor de los casos (que todo esté funcionando a máxima potencia simultáneamente).

Las mangueras de agua instaladas, las típicas de regadío, funcionaron perfectamente en los primeros ensayos hasta que se iniciaron los de media temperatura, para las que no están diseñadas. Estas mangueras (de color verde en las figuras anteriores) fueron sustituidas por otras que son capaces de soportar hasta 100°C.

Finalmente, otro alumno se encargó en paralelo de seleccionar e instalar un caudalímetro de aire para poder medir el caudal que proporcionan las soplantes. Es de mencionar que estos ventiladores pueden controlarse desde el autómatas y variar su velocidad de acuerdo a una consigna establecida, por lo que el caudal de aire es también variable y controlado. En la figura 6 se muestra una fotografía de la última versión de la planta donde se observan las siguientes mejoras:

- Estructura metálica, adquirida con cargo al presente proyecto.
- Fuentes de alimentación, (parte superior del cuadro eléctrico, de color blanco), adquirida con cargo al presente proyecto.
- Tuberías de salida de aire (zona central), instaladas por los técnicos de mantenimiento del Campus, y sufragado con fondos propios.
- Caudalímetro de aire, instalado en las tuberías de salida de aire, también sufragado con fondos propios.
- Mangueras de agua para alta temperatura, también sufragado con fondos propios.

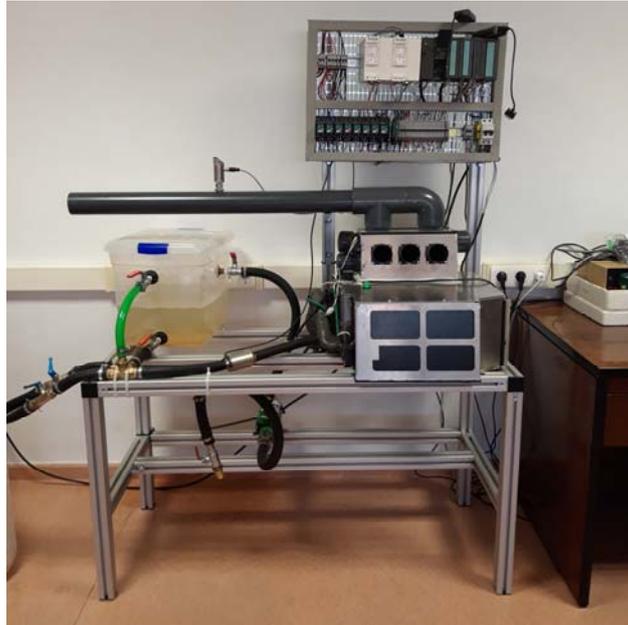


Figura 6 – Planta final diseñada

El conjunto completo, planta y PC puede verse en la figura 7.

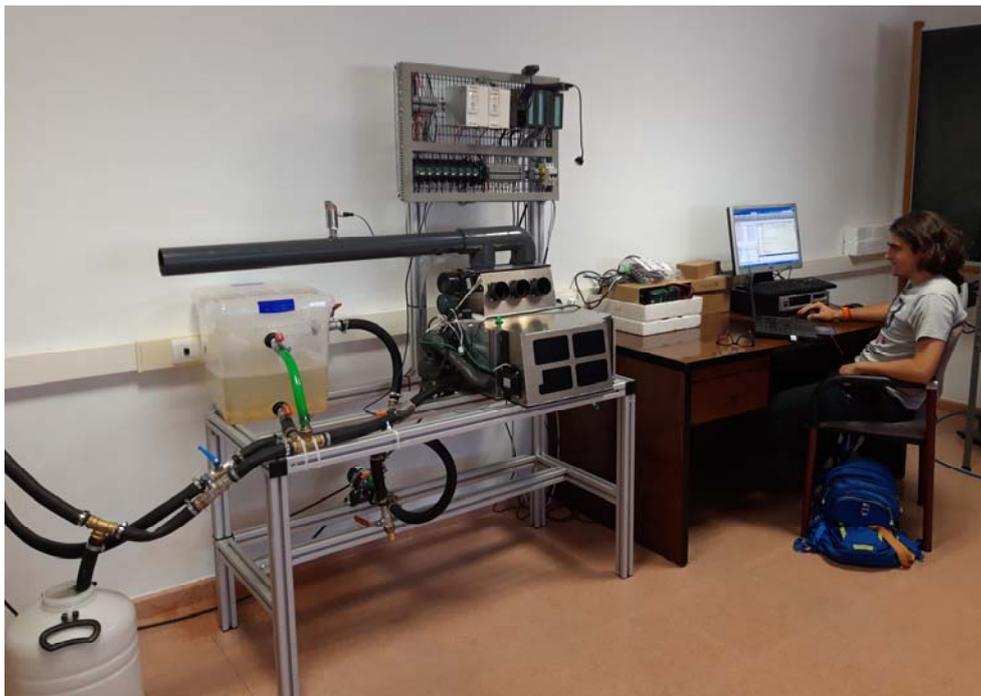


Figura 7 – Conjunto planta más PC

4. **Materiales y métodos** (describir el material utilizado y la metodología seguida).

Como se indicó en la solicitud, una de las primeras tareas por parte del alumnado fue decidir la instrumentación a usar para medir o actuar sobre las diferentes variables del proceso. Para finalizar el montaje de la planta fue necesario establecer el sistema de control donde se implementarán las diferentes estrategias que se quieran comprobar. Para ello, los alumnos pudieron valerse de cualquier tipo de información que consideran oportuna de fuentes bibliográficas o incluso de ciertas

experiencias llevadas a cabo con el proceso experimental real. Los controles diseñados por el grupo han sido recopilados por el profesor responsable.

Para llevar a cabo los objetivos planteados se siguió la siguiente metodología:

1. Se estableció un profesor responsable y coordinador de la experiencia, de entre los firmantes del presente documento.
2. Entre el alumnado, se eligió un coordinador de grupo, que fue el interlocutor con el profesor responsable.
3. En una reunión colectiva se establecieron los requisitos finales del equipo a diseñar.
4. Fue necesario elegir los componentes adecuados, que permiten, dentro del presupuesto disponible, conseguir las especificaciones de diseño (2 semanas).
5. El alumnado se enfrentó a problemas de tipo software (programación de algoritmos de control) y de tipo hardware, siempre bajo la supervisión y ayuda del profesor responsable correspondiente (2 semanas).
6. Montaje en su conjunto de todos los componentes que conforman el sistema (4 semanas).

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).

El equipo implementado se ha puesto a disposición de los alumnos de la asignatura “Laboratorio de Control de Procesos” del Grado de Ingeniería Electrónica Industrial para la realización de prácticas experimentales y para el desarrollo de Trabajos Fin de Grado. En este momento, se encuentra en fase de documentación el manual de usuario. Se prevé también llevar a cabo, en el próximo curso académico, un benchmark de control entre varios equipos de alumnos, que inicialmente estaba planteado pero que, por impedimentos temporales, finalmente no ha podido ser realizado en el curso actual.

El principal resultado que se espera obtener es la mejora en competencias del alumnado implicado, entre las que se podría destacar:

- Mejora de competencias generales, como la toma de decisiones, organización y planificación mediante el diseño y construcción de la planta real trabajando en grupo.
- Mejora en competencias específicas de la Automática (conocimiento del modelado, técnicas de control y aplicación a la automatización industrial) mediante la motivación de los estudiantes y una mejor comprensión de las principales etapas en el análisis y diseño de un problema de control: instrumentalización de la planta, modelado del sistema, diseño de la estrategia de control, simulación hasta alcanzar las especificaciones requeridas, implementación del controlador, experimentación real, etc.
- Obtener una planta experimental operativa que pueda servir para prácticas en futuros cursos de las asignaturas implicadas.

Desde el punto de visto técnico se han realizado algunos ensayos con objeto de caracterizar la válvula de control de la UCC, y que en la convocatoria de septiembre serán presentado como TFG de uno de los alumnos implicados. En concreto, en la figura 8 se observa cómo responde el caudal al aumentar de 0 a 100% la apertura de la válvula y luego en sentido descendente. Este tipo de ensayos ha permitido obtener una curva característica de la válvula, figure 9, en la que se observa una fuerte no linealidad así como un alto grado de histéresis.

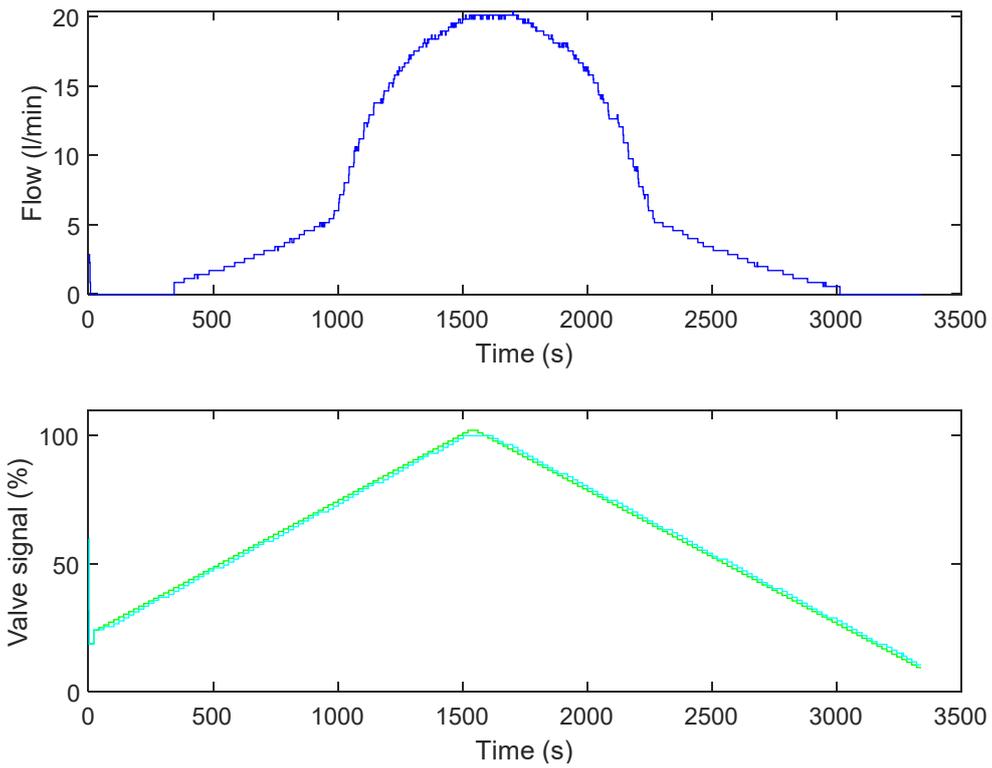


Figura 8 – Ensayo de caudal frente a apertura

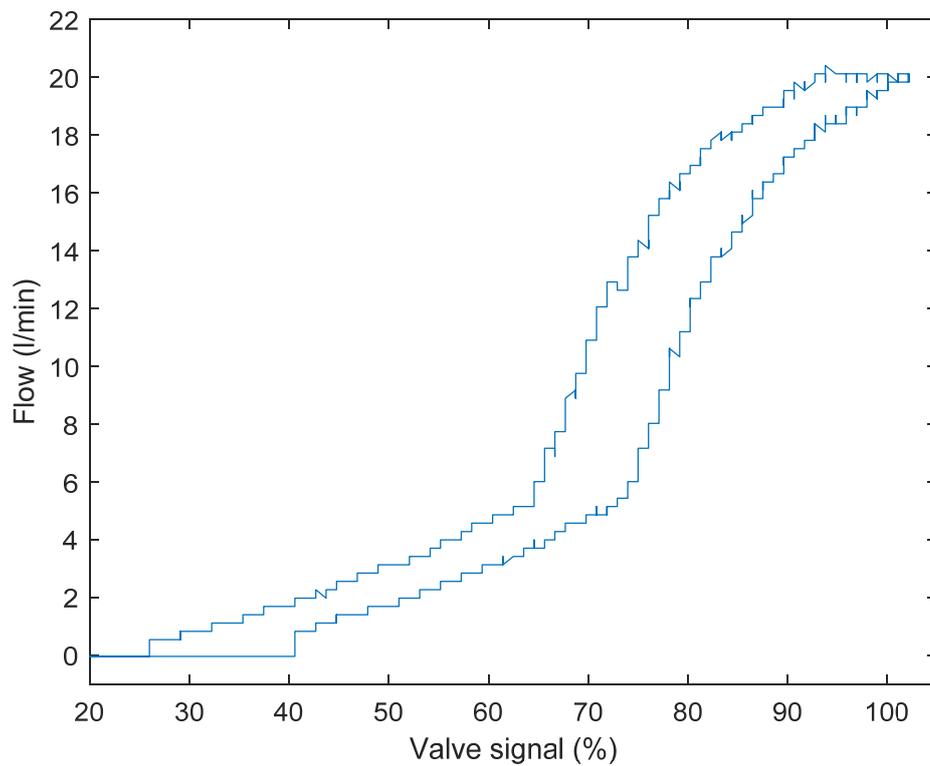


Figura 9 – Curva característica de la válvula de caudal de la UCC

También se han realizado ensayos en lazo cerrado, como el de la figura 10, donde se aprecia el seguimiento de una consigna de caudal

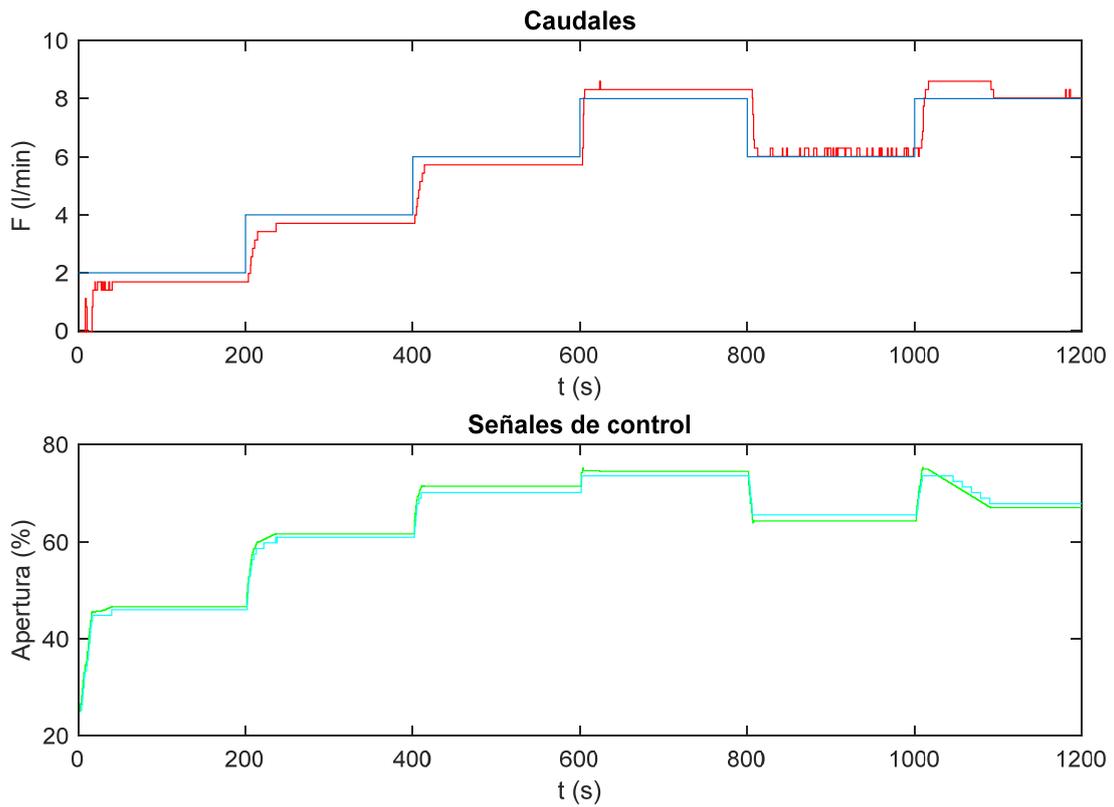


Figura 10 – Ensayo en lazo cerrado

En la figura 11 se muestra una captura del SCADA diseñado por los alumnos y en la figura 12 una captura de uno de los experimentos con cambios de temperatura.

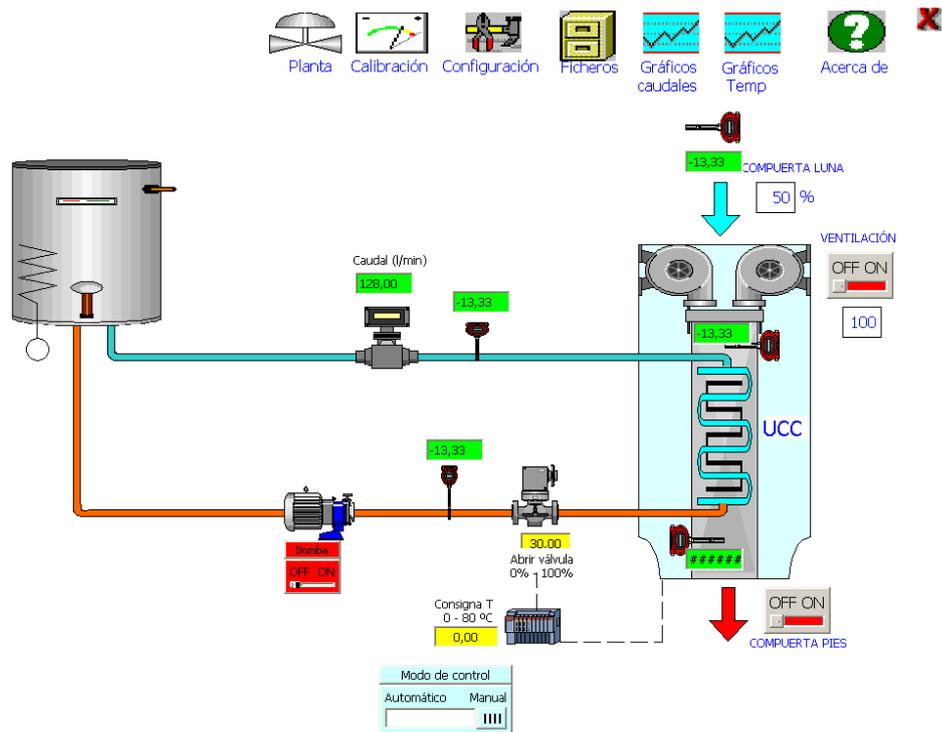


Figura 11 – Pantalla principal del SCADA

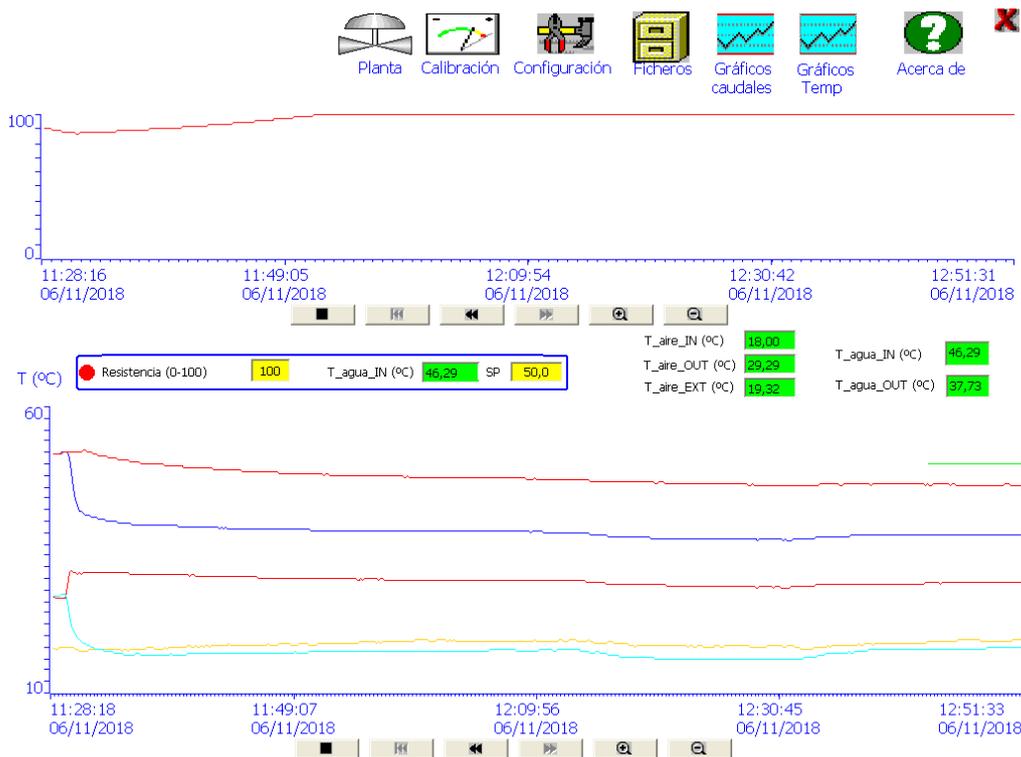


Figura 12 – Pantalla de gráficas de temperatura del SCADA

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

El proyecto 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 el diseño, implementación y control de plantas reales. El esfuerzo invertido en el montaje y puesta a punto del sistema, así como su modelado matemático y controles propuestos, permiten que los resultados obtenidos en esta experiencia sirvan como punto de partida para futuros trabajos. De hecho, dado el carácter de la planta, así como su relación con los sistemas de climatización, en donde varios de los participantes implicados tienen gran interés científico, el sistema diseñado será utilizado en el futuro para la realización de Trabajos Fin de Grado o para labores de investigación.

Además, la planta desarrollada podrá ser usada para hacer prácticas de regulación en diversas asignaturas del área de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Córdoba. Las prácticas de control de temperatura con fluidos como agua e intercambiadores de calor suelen necesitar demasiado tiempo como para hacer experiencias en sesiones de una o dos horas, o requieren el uso de equipos demasiado caros. Al trabajar con aire y usar habitáculos reducidos se pueden hacer experiencias de control en ese tiempo.

7. **Observaciones y comentarios** (comentar aspectos no incluidos en los demás apartados). Desde el punto de vista formativo, los alumnos han participado en una actividad próxima a la que tendrán que desarrollar en su futuro profesional, seleccionando componentes en catálogos, adquiriéndolos al mejor precio, instalándolos, acertando y equivocándose en la elección, etc.

Desde el punto de vista de las competencias actitudinales, los alumnos han realizado en grupo una actividad en la que la suma 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.

Con relación a los recursos económicos consumidos, aunque el presupuesto concedido para la presente experiencia fue de 950 €, se han gastado 919,13 €, aunque obviamente la mayor parte de los equipos ya estaban disponibles, bien donados por la empresa Hispacold (grupo IRIZAR) o bien adquiridos con fondos del grupo docente.

Como aspecto futuro a mejorar en la planta, hay que indicar que su principal problema actual se encuentra en la fuente de agua caliente. En un vehículo normal, se cuenta con una fuente constante de agua caliente que puede llegar a 70-80°C y que proviene del sistema de refrigeración del propio motor de combustión interna. Sin embargo, en laboratorio, con componentes habituales es difícil reproducir un caudal de agua de hasta 15 l/min a esta temperatura. Un intento con un termo eléctrico como el instalado no es capaz de producirla, ya que la resistencia interna puede ser del orden de los 2000 W y serían necesarios unos 12.000W. Por tanto, en caso de querer reproducir el comportamiento térmico de un vehículo, para hacer ensayos en las mismas condiciones, sería necesario disponer de un motor térmico de gasoil o gasolina (algo poco práctico dentro de un laboratorio) o una caldera de gas natural, cuya adquisición se está considerando en la actualidad.

Córdoba, 27 de junio de 2019