

MEMORIA DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS
PROYECTOS DE INNOVACIÓN PARA GRUPOS DOCENTES

CURSO 2015/2016

DATOS IDENTIFICATIVOS:

1. Título del Proyecto

Diseño y puesta a punto de un sistema de control del confort basado en PLC y dispositivos inalámbricos.

2. Código del Proyecto

2015-2-5024

3. Resumen del Proyecto

En este proyecto se ha desarrollado un sistema de monitorización y control de las condiciones de confort de una habitación de oficinas de la Universidad de Córdoba. La motivación de la experiencia ha sido la de analizar la interoperabilidad de un sistema de supervisión escalado, empleando como elementos de campo dispositivos inalámbricos basados en la plataforma TinyOS y, como elementos de supervisión y control, PLCs industriales ya disponibles en el Departamento el Departamento. Concretamente la experiencia se ha llevado a cabo en el Laboratorio de Edificios Inteligentes del Área de Ingeniería de Sistemas y Automática y ha abarcado en diferente medida el dimensionamiento y la instalación de todo el hardware requerido, la programación de los equipos y el establecimiento de protocolos de comunicación entre las motas y el sistema de supervisión. A partir de esto, se ha desarrollado una experiencia representativa a modo de práctica, con objeto de que sea considerada en alguna de las asignaturas implicadas en el área.

4. Coordinador/es del Proyecto

Nombre y Apellidos	Departamento	Código del Grupo Docente
Jorge Eugenio Jiménez Hornero	Informática y Análisis Numérico	54

5. Otros Participantes

Nombre y Apellidos	Departamento	Código del Grupo Docente	Tipo de Personal (1)
Ángel Ruiz Moreno	Informática y Análisis Numérico	54	Personal contratado
Rafael David Rodríguez Cantalejo	Informática y Análisis Numérico	54	PDI
M ^a Luisa Delgado Guerrero Guerrero	Informática y Análisis Numérico		Personal Externo

(1) Indicar si se trata de PDI, PAS, becario/a, alumnado, personal contratado, colaborador o personal externo a la UCO

6. Asignaturas implicadas

Nombre de la asignatura	Titulación/es
Automática	Grado de Ingeniería en Electrónica Industrial
Automatización Industrial	Grado de Ingeniería en Electrónica Industrial
Sistemas Automatizados	Grado de Ingeniería en Electrónica Industrial

MEMORIA DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE

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

El diseño y desarrollo de sistemas de adquisición de datos, supervisión y control de procesos se considera fundamental en los planes de estudios de los Grados de Ingeniería, especialmente en la rama de Electrónica Industrial. Este hecho se pone de manifiesto por la existencia de competencias específicas relacionadas con el control automático en los documentos Verifica de dichos Títulos, haciendo hincapié en la necesidad de ir incorporando en las materias correspondientes los avances que puedan ir surgiendo en nuevas tecnologías.

En el campo de la ingeniería de control y los sistemas automatizados, los sistemas de control en red o, lo que es lo mismo, sistemas que emplean medios comunes de comunicación digital entre los agentes que conforman un sistema de supervisión y control (también llamados NCS o Networked Control Systems) están adquiriendo especial relevancia en los últimos tiempos. Esto se debe a varios motivos, principalmente, al aumento de las necesidades de interconexión e intercambio de información, a la aplicación del control distribuido de procesos y, especialmente, al exponencial incremento del volumen de información manejada por los sistemas interdependientes. De los diferentes tipos de redes industriales, cada vez son de mayor uso las de tecnología inalámbrica, dadas las evidentes ventajas que conllevan, fundamentalmente en cuanto a flexibilidad de instalación, costes de la misma, etc. Concretamente, en el ámbito de la automatización industrial, las redes de sensores-actuadores inalámbricos (o WSAAN, Wireless Sensor and Actuator Networks) se están empleando cada vez con mayor frecuencia en los sistemas de control distribuido. No obstante, su implantación presenta una serie de problemas, entre los que cabe destacar la gestión eficiente de la energía (en el caso de sistemas alimentados por baterías) o los relacionados con la propia red de comunicación, como son las pérdidas de datos, los retardos, la disponibilidad de la red o el establecimiento de protocolos de uso reconocibles y operables por todos los elementos interconectados.

Los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (del inglés HVAC) abarcan todos los equipos que controlan las condiciones y distribución de aire en interiores. Dichas condiciones deben ser lo más confortables y saludables posibles para los ocupantes de las estancias, por ejemplo, con objeto de maximizar su productividad. La automatización y control de sistemas de HVAC también se ha convertido en un tema de especial interés en las últimas décadas, en buena medida por el grado de presencia que tienen en numerosas aplicaciones relacionadas con el bienestar o confort (climatización) o con la conservación de bienes de consumo (refrigeración). En el caso de la climatización de edificios, el conocimiento de los mecanismos más adecuados de gestión tiene una repercusión directa en el actual marco competitivo de la eficiencia energética de edificios (representando alrededor del 20% del consumo nacional neto de energía). En este sentido, el conocimiento de sus principios de funcionamiento, su automatización y control óptimo se considera una aplicación importante para el currículo del alumnado del Grado de Electrónica Industrial.

Dado el interés que suscita en la actualidad la problemática planteada para la formación de los futuros titulados, en el presente proyecto se ha diseñado y probado una plataforma experimental de ensayos basada en controladores lógicos programables (PLC) y dispositivos de bajo coste inalámbricos, conocidos como “motas”. El supuesto planteado ha consistido en la supervisión y control de las condiciones de confort de una habitación de oficinas, un proceso de gran interés dado su carácter interdisciplinar desde el punto de vista de la ingeniería de control, la automatización de procesos, la aplicación a las nuevas tecnologías o la eficiencia energética.

Desde el punto de vista de la automatización propiamente dicha de un sistema como el planteado, la problemática global deriva del tratamiento de las diferentes arquitecturas, protocolos y medios de transmisión, debiendo afrontar adecuadamente los flujos de datos y la interconexión de los diferentes dispositivos de automatización: pantallas, PLCs, sensores, actuadores, etc. Mientras que a bajo nivel se pretende plantear el uso de dispositivos inalámbricos dotados de baterías, a alto nivel se quieren aplicar redes síncronas basadas en protocolos estándar de comunicaciones como MODBUS o PROFINET. Por este motivo, mientras que las estrategias de muestreo en los dispositivos inalámbricos deben atender a requisitos de eficiencia energética, en los niveles superiores el flujo de información debe estar garantizado para mantener las consignas de control en niveles admisibles y todo ello debe coordinarse de manera que los diferentes protocolos de comunicaciones entre equipos no planteen problemas operacionales.

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

En base a las consideraciones expuestas en la introducción, se plantearon diferentes objetivos para la realización de este proyecto de innovación educativa. Entre los objetivos principales se encuentran los siguientes:

- Diseño de la plataforma de experimentación para la supervisión de los principales parámetros de confort de una habitación de oficinas.
- Selección y adquisición de material para completar la implementación del sistema.
- Selección de la ubicación, montaje de los dispositivos, conexión, programación y prueba de los mismos.
- Elaboración de un supuesto práctico de uso.

3. **Descripción de la experiencia** (exponer con suficiente detalle qué se ha realizado en la experiencia).

Para el desarrollo de este proyecto se llevaron a cabo diversas actuaciones. La primera consistió en la adquisición de una pasarela MODBUS inalámbrica preparada para trabajar sobre el estándar Zigbee 802.15.4 y de dos nuevas motas con sensores integrados similares a las disponibles en los laboratorios del Área. La pasarela compatible con las motas empleadas en esta experiencia está preparada para implementar una subred sobre el protocolo MODBUS RTU. Debido a que se precisa el conexiónado con un sistema de supervisión SCADA sobre PC y con un PLC industrial, también es preciso incorporar una pasarela MODBUS RTU a MODBUS TCP. Este material se encuentra ya disponible en los equipamientos del laboratorio del Área; particularmente se ha empleado el módulo EX9132C-2-MTCP.

El siguiente paso fue la distribución y montaje de todos los dispositivos y equipos implicados en el sistema. Los primeros elementos que se ubicaron fueron las motas inalámbricas. Se instalaron 5 motas, cuatro de ellas en las esquinas de la sala (téngase en cuenta que el laboratorio tiene forma rectangular) a una altura de 2 metros, y la quinta y última junto a una de las unidades interiores de las máquinas de aire acondicionado, con objeto de tener una referencia de temperatura similar a la que emplea la máquina en su propio controlador. Las motas se encapsularon en una caja de protección de plástico ABS, que fue la que se fijó a las paredes. Las motas disponen de portapilas tipo AAA. Este medio de alimentación fue el que se empleó para la experiencia. En el futuro se prevé la sustitución y/o respaldo adicional mediante baterías Li-po de 3.7 V 600 mAh. Una vez dispuestos los dispositivos inalámbricos, los siguientes elementos que se instalaron fueron las pasarelas, el PLC y el PC que alberga el sistema SCADA. Se cableó todo el sistema empleando para la red TCP cables Ethernet cruzados con conectores RJ-45 y, para el conexiónado de los elementos MODBUS RTU (red RS-485 a dos hilos), cableado unifilar de 1,5 mm² del disponible en los laboratorios del Departamento. Para realizar la interconexión de los dispositivos a la red Ethernet fue necesario emplear un switch también disponible.

El siguiente paso fue la programación de los equipos, comenzando por las motas inalámbricas. Las motas se programan en el entorno TinyOS, un sistema operativo orientado a la implementación de arquitecturas basadas en redes de sensores. El programa se definió para habilitar el envío periódico de muestras con una cadencia parametrizable, de tal forma que las motas pudieran estar en modo de bajo consumo (“dormidas”) durante el resto del tiempo. En el futuro se pretende implementar estrategias de adquisición más complejas, basadas en eventos, predictivas o teniendo en cuenta la evolución dinámica del sistema.

Una vez definido el programa para las motas se llevó a cabo la programación de las pasarelas y del SCADA PC. La programación de la pasarelas consistió en habilitar los 15 “Holding registers”, necesarios para recibir las 3 medidas de cada mota. Estos registros quedan disponibles a la red MODBUS donde la pasarela que actúa como dispositivo esclavo. El dispositivo maestro es el SCADA PC, que además actúa como servidor OPC (OLE for Process Control) tal y como se comentará más adelante.

El SCADA PC se desarrolló en el entorno TIA Portal v13, con el cual el alumnado está familiarizado debido a que se emplea en las actividades docentes e investigadoras del Área. En este sentido, se definió un sistema de supervisión lo más simple e intuitivo posible, con un número reducido de pantallas y variables, dado que se prevé su modificación y escalado en futuras modificaciones, acorde a las necesidades de las asignaturas y prácticas empleadas. En una sola pantalla con control de acceso de usuario a programación, se definió el conjunto de botones necesario para establecer la consigna de regulación y las variables del controlador. Se definió un gráfico simple de tendencias para observar las variables monitorizadas en las 5 motas: temperatura, humedad y nivel de iluminación. Por motivos y restricciones técnicas del sistema, el sistema de control se definió para que la variable controlada fuera exclusivamente la temperatura.

El controlador se implementó en Matlab, estableciendo una comunicación entre SCADA PC y controlador vía OPC. Este aspecto se consideró con un doble objetivo; por un lado, que el alumnado se familiarice con el uso de enlaces OPC entre diferentes tipos de dispositivos y, por otro, con el ánimo de poder implementar estrategias de control complejas con un software con el que el alumnado está muy familiarizado, como es el entorno Matlab-Simulink. La estrategia de control desarrollada en la experiencia fue un controlador centralizado que, a partir de las lecturas de temperatura, definiera una ley de control conmutada para el arranque/parada de los equipos de aire acondicionado.

La actuación sobre el arranque o parada de las máquinas de aire acondicionado se realiza mediante una entrada de inicio externa que dispone la unidad interior de la máquinas de aire acondicionado, de forma que sólo ha sido necesario emplear una salida digital del PLC S7-1200 por máquina, que actúa sobre un relé externo para indicar a la máquina de aire si ésta debe arrancar o parar. En este sentido, fue necesario implementar el programa para la activación/desactivación de la salida digital del PLC en base a las consignas recibidas desde Matlab a través del enlace OPC definido entre Matlab y el SCADA PC. Este programa también se implementó en TIA Portal v13, considerando un PLC S7-1200.

El proyecto finalizó con la prueba de la operación y comunicación de todos los dispositivos y la elaboración de un caso práctico de uso enfocado al alumnado.

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

En cuanto a los medios humanos, para la realización del proyecto se ha contado con la participación de los profesores y personal externo implicado en el mismo.

Del mismo modo, se ha utilizado un PC en el que se ha instalado todo el software requerido y se ejecuta el SCADA. También se ha empleado material adicional disponible en el Área, compuesto por cableado eléctrico y los dispositivos adicionales requeridos (comentados en la sección 3). La versión

instalada para la implementación del SCADA es TIA Portal v13 y la versión de Matlab es la 2014a. El PC donde se ha instalado el SCADA también fue el empleado para las capturas de pantalla mostradas en las evidencias proporcionadas.

5. **Resultados obtenidos** (concretar y discutir los resultados obtenidos y aquellos no logrados, incluyendo el material elaborado).

Los principales objetivos globales del proyecto se han satisfecho, destacando:

- Supervisión, monitorización y control de las condiciones ambientales de la sala escogida. En este sentido, el funcionamiento puede considerarse satisfactorio, teniendo en cuenta las limitaciones y restricciones impuestas por la instalación existente y la finalidad didáctica del proyecto.
- Adquisición del material necesario para implementar la planta experimental.
- Montaje eléctrico y de las arquitecturas y dispositivos implicados en el sistema de supervisión en los niveles deseados; dispositivos de campo inalámbricos de bajo coste, sistema de supervisión y control basado en PLC industrial y estrategia de control avanzado desarrollada en Matlab-Simulink.
- Implementación de los programas, enlaces y protocolos.
- Pruebas del sistema y elaboración de un supuesto práctico.
- Difusión del trabajo en el Área y oferta de Trabajos Fin de Grado.

El único aspecto que no se ha podido desarrollar en su totalidad (se ha llevado a cabo parcialmente) estaría relacionado con la implementación del sistema de control y actuación. En la plataforma desarrollada, el sistema de control tiene posibilidad de arrancar y parar los dispositivos de aire acondicionado, lo cual se realiza mediante una entrada de inicio externo que disponen las máquinas. No obstante, con los medios actuales disponibles, no es posible variar desde el sistema de supervisión las consignas de velocidad del difusor o la temperatura de salida del aire (potencia frigorífica). Estos aspectos pueden plantearse en futuras mejoras de la plataforma experimental con la adquisición del material y los medios adicionales requeridos para su implementación.

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

La experiencia ha servido para desarrollar una planta experimental innovadora y de carácter multidisciplinar que trata aspectos muy variados del currículo de los alumnos del Grado de Ingeniería Electrónica Industrial, como son la automatización industrial, las comunicaciones industriales, la ingeniería de control, las nuevas tecnologías de monitorización y el control y eficiencia energética de edificios. Por todos estos aspectos, se considera un proyecto de gran valor educativo que, con toda probabilidad, será explotado y mejorado en los futuros cursos con nuevos supuestos prácticos y/o posibilidades de operación y control.

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

Se puede considerar que el sistema diseñado es lo suficientemente flexible y robusto para que responda a las expectativas de aprovechamiento de los alumnos de las asignaturas involucradas. Dada su gran flexibilidad, permite no sólo ensayar la metodología basada en eventos, sino también cualquier otra estrategia clásica. Esto permite concluir que el sistema constituye un valioso recurso como banco de ensayos genérico, dado que puede emplearse, con la reconfiguración y reprogramación adecuadas, para un amplio abanico de temas relacionados con la automatización y la ingeniería de control. Por

otra parte, dada la posibilidad de trabajar con redes inalámbricas, la ampliación o incremento de la complejidad del proceso combinándolo con otros, a modo de sistema de control distribuido, es de una extrema sencillez.

8. Bibliografía.

TinyOS Alliance, 2014. TinyOS community forum. URL www.tinyos.net
Advanticsys, 2014. Advanticsys Wiki. URL www.advanticsys.com/wiki/index.php?title=Main_Page
The Modbus organization. URL <http://www.modbus.org/>
WinCC V13 Runtime profesional V13.
Mandado Pérez, E. (2009). Autómatas programables y sistemas de automatización. Barcelona: Marcombo.
IEEE 802.15.4, 2006. IEEE Std 802.15.4-2006. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY). Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs).
TinyOS
Levis, P.; Gay, D.; Culler, D.; Eric B., 2009. NesC 1.3 Language Reference Manual.
Tmote Sky Datasheet. URL <http://www.eecs.harvard.edu/~konrad/projects/shimmer/references/tmote-sky-datasheet.pdf>

9. Mecanismos de difusión

Se ha ofertado un TFG en las asignaturas implicadas en el presente proyecto vía plataforma Moodle. Adicionalmente, se ha puesto en conocimiento la disponibilidad de la instalación y todo el material generado al resto de profesorado implicado en el Área, con el ánimo de que propongan otros casos prácticos para otras asignaturas y/o TFGs relacionados, así como para la difusión del trabajo desarrollado en el presente proyecto de innovación.

10. Relación de evidencias que se anexan a la memoria

Se juntan ficheros PDF con la siguiente información:

- Manual de programación de las motas.
- Fotografía de las motas y del montaje experimental desarrollado.
- Fotos/Capturas de la interfaz del SCADA PC, del esquemático del sistema de control implementado en Matlab-Simulink y gráfica de tendencias de las variables medidas en la habitación de pruebas.
- Supuesto práctico.

Córdoba, 10 de agosto de 2016

Sra. Vicerrectora de Estudios de Postgrado y Formación Continua