

**MEMORIA DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS
PROYECTOS DE INNOVACIÓN EDUCATIVA
VICERRECTORADO DE INNOVACIÓN Y CALIDAD
DOCENTE**

DATOS IDENTIFICATIVOS:

1. Título del Proyecto

Proyecto industrial colaborativo basado en microcontroladores

2. Código del Proyecto

125106

3. Resumen del Proyecto

En el próximo curso los alumnos dispondrán de sistemas basados en microcontrolador, sobre los que realizarán varios proyectos, finalmente les agregarán micrófonos y zumbadores o altavoces, de forma que puedan comunicarse unos con otros. De este modo, el prototipo de un alumno podrá emitir cadenas de sonidos que los otros equipos deben identificar, respondiendo en el caso de que sean llamados. Cada alumno tendrá un trabajo de desarrollo particular, pero a la hora de realizar las pruebas su trabajo se integrará con el del resto de compañeros. Los alumnos realizarán un proyecto de tipo industrial, con restricciones de tiempo real y colaborativo. Se fomentará el uso de inglés y se someterá a evaluación del alumnado la actividad propuesta.

4. Coordinador/es del Proyecto

Nombre y Apellidos	Departamento	Código del Grupo Docente
Joaquín Olivares Bueno	Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica	30
José Manuel Palomares Muñoz	Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica	30

5. Otros Participantes

Nombre y Apellidos	Departamento	Código del Grupo Docente	Tipo de Personal
José María Castillo Secilla	Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica	30	Becario FPDI
Fernando León García	Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica		Alumno colaborador

6. Asignaturas afectadas

Nombre de la asignatura	Área de conocimiento	Titulación/es
Informática Industrial	Arquitectura y Tecnología de Computadores	Máster en Control de Procesos Industriales
Sistemas en Tiempo Real	Arquitectura y Tecnología de Computadores	Ingeniería en Informática
Sistemas en Tiempo Real	Arquitectura y Tecnología de Computadores	Grado en Ingeniería Informática

MEMORIA DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN EDUCATIVA

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 letra: 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 los mismos.*

Apartados

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

En la actualidad, los alumnos de las titulaciones de Ingeniería Informática y Grado en Ingeniería Informática hace de manera mayoritaria sus prácticas sobre sistemas basados en microprocesadores, habitualmente ordenadores. Los microprocesadores se caracterizan principalmente por ser elementos de control de carácter general y con una potencia de cálculo bastante elevada. Estos dispositivos requieren una gran cantidad de elementos adicionales para su correcto funcionamiento, a expensas de un elevado consumo energético. Sin embargo, no están indicados en sistemas empotrados, en los que prima un bajo consumo energético.

Los sistemas empotrados utilizan principalmente los microcontroladores. Estos elementos incluyen una gran cantidad de unidades internas que permiten activar el microcontrolador sin necesidad de incluir muchos elementos adicionales. Estos dispositivos tienen un gasto energético muy reducido, incluyendo muchos perfiles de bajo consumo.

Los alumnos del Grado en Ingeniería Informática que han escogido la especialidad de Ingeniería de Computadores se han enfrentado por primera vez con diversos microcontroladores en diversas asignaturas de la especialidad. Entre las asignaturas de la especialidad se encuentra “Sistemas en Tiempo Real”, asignatura similar a la obligatoria de la titulación de segundo ciclo Ingeniería en Informática. En esta asignatura, se realizó un proyecto de innovación educativa en el que se dotó el laboratorio de la asignatura con quince robots LEGO Mindstorms NXT. Estos robots incluyen un microcontrolador compatible ARM7TDMI de 32-bits, el Atmel AT91SAM7S256. Estos microcontroladores pueden ser manejados por una implementación del Sistema Operativo de Tiempo Real OSEK/VDX, el sistema nxtOSEK. El uso de estos robots está integrado dentro de las prácticas de ambas asignaturas.

Adicionalmente, en la titulación de Máster en Control de Procesos Industriales, los alumnos provienen de muchas titulaciones diferentes y poseen muy variados niveles de conocimiento del ámbito electrónico y de programación de sistemas. La evaluación de esta asignatura se realiza mediante proyectos teórico/prácticos. Algunos alumnos, debido a las deficiencias de conocimientos de base no pueden realizar desarrollos muy avanzados, aunque la mayoría son capaces de realizar implementaciones de sistemas basados en microcontroladores de un nivel bastante avanzado.

Existen una gran variedad de microcontroladores, que se suelen clasificar en familias según el ancho de palabra, siendo las más habituales los de 8, 16 y 32 bits. Los microcontroladores de 32 bits suelen proporcionar mayores capacidades de cómputo y suelen ser utilizarse para algoritmos de altos requisitos. Sin embargo, en general, los microcontroladores de 8 bits son suficientes para la gran mayoría de tareas de control de los sistemas empotrados. Dentro de los

microcontroladores de 8 bits, la plataforma Arduino han tenido un gran éxito, ya que se han desarrollado bajo el modelo Open Hardware y han logrado un gran volumen de usuarios que han desarrollado librerías y placas de expansión. Adicionalmente, Arduino tiene un *framework* de programación sencillo, completo y fácil de utilizar incluso por neofitos. Utiliza una versión del lenguaje de programación *Wiring*, similar a C/C++.

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

- Que los alumnos desarrollen proyectos con procesamientos típicos industriales cuya característica común sea utilizar microcontroladores que solventen un problema complejo y que requiera de procesamiento en tiempo real. Los alumnos trabajarán en la parte final de forma colaborativa.
- Se utilizarán foros en internet en los que los alumnos podrán preguntar y responder cuestiones de otros compañeros.
- Mejora del idioma inglés: la documentación que utilizarán los alumnos, así como la encuesta final que realizarán se proporcionan en dicho idioma para acostumbrar a su uso por parte del alumnado.
- Al final del cuatrimestre se pasará una encuesta con objeto de evaluar la actividad y el grado de satisfacción del alumnado.

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

La experiencia de este proyecto debe ser dividido en tres bloques, uno por cada asignatura involucrada. Aunque inicialmente se planteaba realizar la misma experiencia para todas las asignaturas, pero analizando el nivel del alumnado de cada asignatura, se entendió que evidentemente no era posible esta opción.

Con respecto a la asignatura “Sistemas en Tiempo Real” de 2º Ingeniería en Informática, asignada al primer cuatrimestre, se les planteó la opción de desarrollar proyectos para evaluar la asignatura. Sin embargo, los alumnos declinaron esta opción alegando que tenían una excesiva carga docente y preferían realizar la evaluación tradicional, compuesto por un examen de teoría y por unas sesiones de prácticas. Por tanto, esta asignatura no participó en la experiencia y no se les llegaron a proponer ningún tipo de proyecto.

Para evitar el mismo problema de la asignatura anterior, para la asignatura “Sistemas en Tiempo Real” de 3º de Grado en Ingeniería en Informática de la especialidad de Ingeniería de Computadores ubicada en el 2º cuatrimestre, se les propuso a los alumnos incluir los proyectos como prácticas optativas adicionales, manteniendo el mismo tipo de evaluación tradicional. En este caso, la mayoría de los alumnos (12 alumnos de 13 matriculados) decidieron realizar los proyectos, enmascarados como práctica optativa. Dicha práctica estaba compuesta por varios apartados de dificultad incremental. En este caso, todos los alumnos lograron implementar de manera satisfactoria al menos el primero de los apartados. Cuatro alumnos consiguieron realizar completamente todos los apartados del proyecto/práctica optativa. Hay que hacer mención especial que el nivel de los alumnos de 3º de Grado en Ingeniería Informática es medio-alto, pero aún carecen de muchos conocimientos y competencias, ya que les faltan bastantes asignaturas por cursar en la titulación.

La asignatura “Informática Industrial” del Máster en Control de Procesos Industriales es un asunto completamente diferente, ya que el mecanismo de evaluación es mediante proyectos, por lo que los alumnos asumieron directamente este trabajo como los proyectos que debían realizar para superar la asignatura. Para esta asignatura se ofertaron desde proyectos de tipo teórico sin implementaciones reales del sistema, para aquellos alumnos que no poseían habilidades de

programación ni diseño de sistemas empotrados, hasta proyectos muy avanzados para aquellos alumnos que poseían capacidades contrastadas de programación y desarrollo de sistemas empotrados con microcontroladores. Hay que indicar que la mayoría de alumnos desconocían su potencial y casi todos indicaban que tenían un nivel inferior de competencias al que realmente tenían. Gracias a las prácticas guiadas realizadas en la asignatura se pudo determinar con mayor precisión el nivel de cada alumno y proponerles algún proyecto para su realización. A aquellos alumnos que escogieron los proyectos de nivel de dificultad más elevado se les dio la opción de ampliar el proyecto transformándolo en su Trabajo Fin de Máster.

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

4.1 **“Sistemas en Tiempo Real” 3º Grado Ing. Informática**

Se han utilizado diverso material del departamento, como los kits de Robots LEGO Mindstorms NXT, utilizados en la asignatura “Sistemas en Tiempo Real” de 3º de Grado en Ingeniería Informática en la especialidad de Ingeniería de Computadores. Estos dispositivos están compuestos por un microcontrolador ARM7TDMI de 32 bits modelo AT91SAM7S256 con 256 KB de Flash y 64 KB de RAM. También incluyen un microcontrolador AVR de 8 bits modelo ATmega48 con 4 KB de Flash y 512 Bytes de RAM, utilizado para el control digital de los periféricos y para el control de las comunicaciones Bluetooth, que se encuentra integrado en el dispositivo. Este dispositivo permite la conexión directa mediante cables RJ12 modificados de 3 motores/actuadores y hasta 4 sensores. En la Fig. 1 se muestra un kit completo del Kit LEGO Mindstorms NXT en su versión Educational.



Fig. 1: Kit Lego Mindstorms NXT modelo Educational (Cód. 9797)

Este modelo se ha modificado para poder instalarle un *firmware* modificado que permite incorporar un nuevo sistema operativo con restricciones de Tiempo Real, *nxtOSEK* (basado en el S.O. de Tiempo Real *OSEK/VDX*). Gracias a esta modificación, los alumnos pueden programar utilizando el lenguaje de programación C/C++ con soporte de tareas y sincronización. Para programar utilizando este sistema hay que construir dos ficheros: un fichero de especificación del sistema (extensión *.oil*) y un fichero de codificación de funcionamiento (extensión *.c/.cpp*).

El primer fichero (*OIL*) indica al sistema qué elementos del propio sistema se van a utilizar:

- Tareas del sistema: Nombre, Tipo de planificación (apropiativa o no apropiativa). Prioridad estática. Tamaño de la pila de memoria.
- Contadores: Nombre, valor máximo de la cuenta.
- Alarmas: Nombre, contador al que está asociado, valor de activación, acción a tomar al activarse (activar una tarea, mandar una señal, etc.)
- Recursos: Nombre, prioridad.
- Otros: Señales, Interrupciones, etc.

En el fichero C/C++ se codifican las tareas, haciendo uso de la API del sistema nxtOSEK, tanto en sus aspectos de acceso al Sistema Operativo como en el acceso a periféricos (sensores, actuadores y otros elementos internos del sistema).

En esta asignatura, se ha realizado hincapié en el aspecto del control en Tiempo Real de los proyectos, de manera, que los alumnos han pasado de programar de manera lineal, con una única tarea que incluye control de lazo cerrado y llamadas explícitas a la espera de tiempo (la función `sysTick_wait_ms` permite indicar el tiempo de espera en milisegundos, durante el cual el sistema se mantiene en bajo consumo) a programar con múltiples tareas que se despierta y se duermen, bien por prioridades o explícitamente. Esta forma de programar es mucho más eficiente, ya que permite hacer tareas con pocas líneas de código y dejar que sea el Sistema Operativo de Tiempo Real el encargado del control de activación y desactivación de las mismas, redundando todo ello en tiempos de respuesta más rápidos y menor consumo energético.

Se les han explicado este mecanismo a los alumnos, que han podido ponerlo en práctica en tres actividades semi-guiadas de dificultad incremental. Finalmente se les ha propuesto que implementen el siguiente proyecto:

- A) *Diseñar y programar un robot (Robot Explorador) que sea capaz de encontrar a otro (Robot Base) utilizando únicamente el sensor de sonido. Para ello, el robot Base emitirá sonidos a una determinada frecuencia que deberá escuchar el robot Explorador, localizando la posición del robot Base mediante la potencia medida. Tanto el robot Base como el Explorador se encontrarán en un espacio libre de obstáculos. El robot Base generará sonido durante 1 segundo manteniéndose en silencio durante otro segundo. El robot Base no se moverá del sitio inicial.*
- B) *Modificar el diseño anterior para que sea capaz de funcionar en un entorno con otros robots Base, de tal manera, que primero escuche el entorno y compruebe si una determinada frecuencia musical está ocupada o no. En caso de que esté ocupada, buscará la siguiente frecuencia musical libre para emitir. Para que el robot Explorador sepa cuál es el robot Base que debe encontrar y en qué frecuencia musical está emitiendo, el robot Base enviará la señal de su número en pulsaciones cortas (0.5 segundos de sonido y 0.5 segundos de silencio), seguido de 1 segundo de silencio. El robot Base no se moverá del sitio inicial. Ejemplo:*

Robot 3 determina que la frecuencia musical RE está libre y emite de manera constante:



C) *Modificar el diseño anterior para que sea capaz de funcionar en un entorno con otros robots Base en los que éstos se muevan siguiendo una trayectoria no conocida por el robot Explorador.*

Esta última opción no se pudo implementar porque el sensor que incluye el Kit LEGO Mindstorms NXT no permite identificar la frecuencia de los sonidos recibidos.

Se abrió un foro en el Aula Virtual de la asignatura para que los alumnos pudieran preguntar dudas y comentar con sus compañeros las experiencias. Además, al finalizar la experiencia, se les presentó también en el aula virtual una encuesta de evaluación. El contenido se muestra a continuación.

Statements	Responses				
	SA	A	N	D	SD
Myself					
My learning was productive					
My learning was funny					
I'm feel qualified to design embedded systems for industry					
Methodology					
I prefer a methodology based on projects than one based on traditional exams					
Games are useful to introduce real life industrial problems					
Games are useful to capture my interest for the subject					
Facilitators					
The facilitator was an effective tutor					
The facilitator helped me to underlying basic information					
The facilitator encouraged me through questioning, challenging, and critiques					
The facilitator promoted a comfortable learning environment					
Learning material					
I found that working through the problems increased my understanding of the subject					
I could identify gaps in my knowledge base and address these as learning issues					
I found that using the resources increased my understanding					
Resuming					
I'm satisfied with the subject learning methodology					

Note: SA = Strongly Agree, A = Agree, N = No Opinion, D = Disagree, SD = Strongly Disagree

4.2 “Informática Industrial” Máster en Control de Procesos Industriales

Para la asignatura “Informática Industrial” optativa del Máster en Control de Procesos Industriales se han utilizado diversos materiales que disponía el Departamento de Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica de la Universidad de Córdoba y otros materiales que se han adquirido. Han estado disponibles para los alumnos, entre otros:

- **Arduino Uno (5 unidades):** Sistema basado en el microcontrolador ATmega328 de 8 bits a 16 Mhz, con 32 KB de Flash, 1 KB de EEPROM y 2 KB de SRAM. Permite conectividad de 6 pines analógicos y 20 digitales (6 de los cuales proporcionan salidas PWM). Funciona con 5 V.

- Arduino FIO (5 unidades): Sistemas similar al anterior, con un microcontrolador ATmega328P, que funciona a 3.3 V. Este modelo incluye un zócalo para incluir un módem de comunicación inalámbrica.
- Sensores analógicos de iluminación y temperatura.
- Sensores digitales de sonido (micrófono preamplificado).
- Sensor termográfico puntual (MLX90614ESF-BCI).
- Sensor de humo y CO2.
- Sensor volumétrico PIR de presencia.
- Sensor magnético de apertura de puertas.
- Zumbadores.
- LED.
- Servomotores.

En la Fig. 2 se muestra un Arduino Uno y en la Fig. 3 se muestra un Arduino FIO.

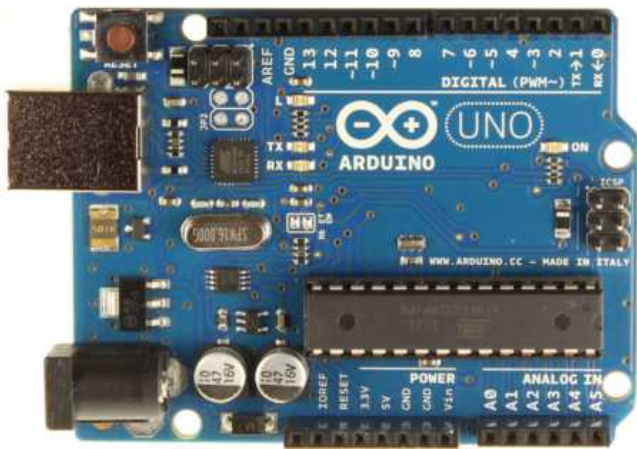


Fig. 2: Arduino Uno

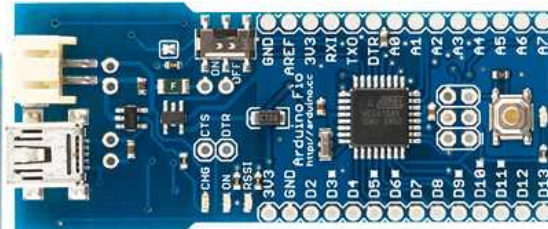


Fig. 3: Arduino FIO

En este sentido, se propuso un catálogo muy amplio de proyectos, entre los que cabe destacar los siguientes, que son los categorizados como “Avanzados”:

A) Diseño de un escáner termográfico:

Mediante el uso de un sensor de temperatura por infrarrojos de gradiente compensado con un campo de visión $< 10^\circ$, diseñar un sistema que capture a distancia la temperatura de un objeto caliente e ilumine un conjunto de led según la temperatura.

B) Sistema de control de navegación de un vehículo terrestre teledirigido

Sustituir el sistema electrónico de control de un coche teledirigido para incluir un sistema Arduino que reciba información mediante un Módem Zigbee. Los comandos que aceptará el módulo de control serán: AvanzaX, RetrocedeX, GiraDerechaY, GiraIzquierdaY, donde X indica el tiempo medido en milisegundos e Y el número de grados. Cuando el sistema no reciba ningún comando de control remoto, parará el vehículo, manteniéndose a la espera de recibir nuevas órdenes.

C) Sistema portable de evaluación de la calidad del aire

Diseñar un sistema alimentado con baterías que analice la calidad del aire (mediante un sensor de Humo/CO2), activando una señal luminosa de aviso cuandola calidad del aire

descienda de un nivel aceptable. Si la calidad del aire desciende a valores peligrosos, generará un sonido de alarma.

D) Sistema de evaluación de uso de espacios docentes

Construir un sistema que contenga un sensor de iluminación, un sensor de sonido, un sensor volumétrico de presencia y un sensor de apertura de puertas, para detectar el uso que se realiza de los laboratorios durante un periodo de tiempo. Los datos se almacenarán en la memoria interna del sistema y se descargarán al finalizar la prueba.

Todos estos proyectos fueron ampliados para presentarlos como Trabajos Fin de Máster.

De igual manera que para la asignatura anterior, se publicó en el Aula Virtual de la asignatura una encuesta de evaluación, con los mismos contenidos que en el caso anterior. También se abrieron foros para que los alumnos pudieran plantear preguntas y dudas a sus compañeros. En caso de que no se resolviesen en un tiempo prudencial, los profesores procedían a indicarles dónde buscar la solución (habitualmente páginas web) o en caso de no encontrar ninguna referencia, indicar una posible solución.

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).

Los resultados obtenidos de esta experiencia han sido positivos, aunque no se ha podido explotar todas sus posibilidades debido a que requiere bastante esfuerzo y disponibilidad por parte de los alumnos, y en algunos casos, los alumnos se quejan de tener demasiada carga docente, como fue el caso de “Sistemas en Tiempo Real” de 2º curso de la titulación de 2º ciclo de Ingeniería en Informática.

En las asignaturas que los alumnos sí siguieron la metodología, los resultados del proyecto fueron positivos, aunque la calidad del resultado obtenido dependía mayoritariamente de las actitudes, aptitudes y conocimientos de los alumnos. Así pues, hubo alumnos que partían de un nivel de programación medio-bajo, que el proyecto les sirvió para incrementar su interés y realizar proyectos de mayor calidad, realizando muchas consultas en el foro e incluso resolviendo dudas de otros compañeros. Por el contrario, otros alumnos con buen nivel de programación implementaron su proyecto con el mínimo de calidad exigible y sin aprovechar en absoluto la infraestructura web de la asignatura.

Los resultados de las encuestas no proporcionaron resultados significativos, ya que las contestaron muy pocos alumnos. Esto es debido a que se activaron pocos días antes de finalizar el curso y durante el periodo de exámenes, por lo que pocos alumnos accedieron y vieron la encuesta activa. Sin embargo, a nivel cualitativo, mediante preguntas directas a los alumnos, estos indicaron que, en general, esta metodología les atraía más que los tradicionales exámenes, aunque reconocían que requería mucho más trabajo por su parte. Se quejaron de que quizás la documentación que les ofrecimos no era muy extensa. Sin embargo, eso no debe tomarse como un aspecto negativo, ya que se había planificado proporcionar una documentación concisa para poder remitirles a diversas páginas web que proporcionaban en inglés mucha más información.

Los trabajos propuestos como prácticas adicionales de la asignatura “Sistemas en Tiempo Real” de 3º de Grado en Ingeniería Informática fueron desmontados al finalizar la asignatura para poder almacenar los robots en sus cajas para los alumnos de las siguientes asignaturas que los volverán a utilizar. En dicho sentido, no es posible reaprovechar los diseños que los alumnos propusieron. Como ejemplo, en la Fig. 4 se muestra el diseño del robot del alumno que alcanzó la calificación final de “Matrícula de Honor” en la asignatura. Este alumno propuso utilizar dos micrófonos para realizar triangulación del sonido mediante el procesamiento de la potencia del

sonido recibida en ambos micrófonos. Evidentemente, al utilizar dos micrófonos, este robot ubicaba el sonido con mayor precisión y más rápidamente que el del resto de sus compañeros.



Fig. 4: Robot detector de sonidos con dos micrófonos

Con respecto a la asignatura “Informática Industrial” del Máster de Control de Procesos Industriales, muchos de los proyectos realizados se han desmontado para que los materiales puedan ser utilizados por otros alumnos de siguientes cursos, sin embargo, algunos proyectos se mantendrán porque es probable que puedan servir de base para futuros desarrollos. Entre ellos cabe destacar el escáner termográfico, que fue ampliado para presentarlo como Trabajo Fin de Grado, incluyendo una webcam y un conjunto de servomotores para controlar la posición del sensor térmico por infrarrojos. En la Fig. 4 se muestra el sistema hardware final de dicho trabajo. Se puede ver el Arduino Uno dentro de la caja de plástico, los servomotores que mueven los engranajes de la estructura donde se ha incorporado el sensor termográfico y toda la circuitería adicional necesario para el correcto funcionamiento.

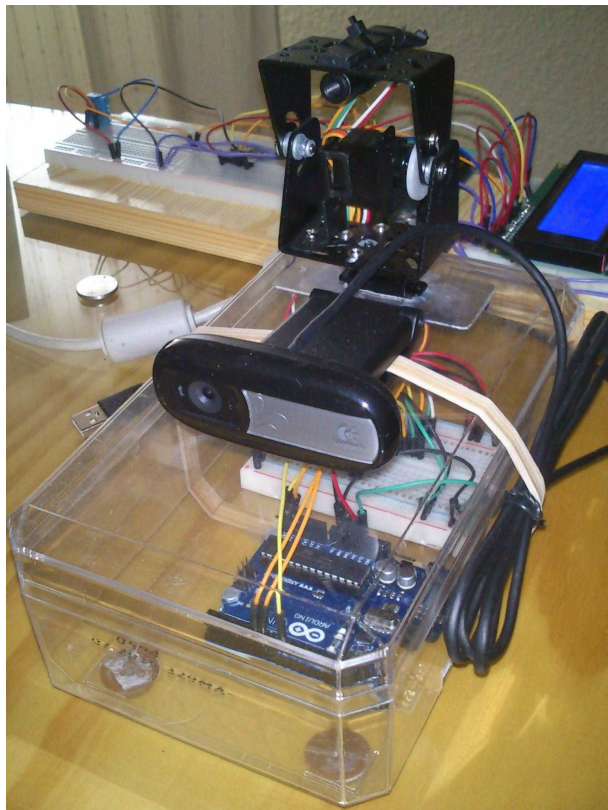


Fig. 5: Resultado prototipo Cámara Térmica

El alumno no sólo implementó el sistema electro-mecánico sino que también diseñó e integró el software que se encarga de capturar los datos, de sincronizar los movimientos de los servomotores para escanear toda la imagen y de enviar las temperaturas al ordenador. En el ordenador, el alumno también diseñó un programa que se encarga de recibir los datos e interpolarlos para reconstruir la imagen térmica. Además, también recibe la imagen de una webcam para tener las dos imágenes simultáneas. En la Fig. 5 se puede ver una captura de pantalla del entorno para una prueba con un vaso con agua caliente.

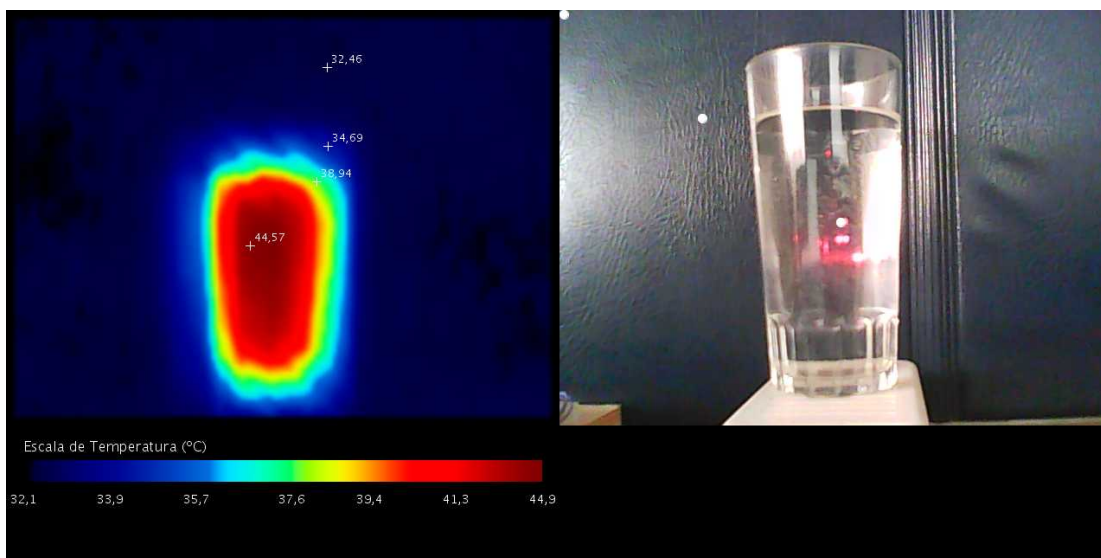


Fig. 6: Captura del escáner térmico de un vaso de agua caliente.

La mayoría de diseños realizados por los alumnos pueden replicarse, ya que los alumnos han entregado en las memorias de las prácticas documentación suficiente para poder rehacer el sistema. Sin embargo, la experiencia nos indica que, aunque las descripciones y gráficos que incluyen los alumnos incluyen todas las características principales, existen muchos detalles que no se incluyen y que hacen que en muchos casos, los nuevos prototipos no funcionen exactamente igual. Esto es una ventaja para el profesorado ya que puede volver a proponer los mismos trabajos en cursos posteriores, ya que el alumnado no podrá copiar exactamente los trabajos previos y tendrá que ajustarlos y adaptarlos al diseño que hayan realizado de manera efectiva.

En cualquier caso, como se ha indicado anteriormente, la gran mayoría de sistemas se desmontan para recuperar los componentes y por tanto, no se encuentran disponibles.

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

Este proyecto ha servido para iniciar a los alumnos en el desarrollo de sistemas electro-mecánicos basados en microcontroladores con un cierto enfoque industrial. En dicho sentido, se ha encendido un interés innegable en el estudio de este tipo de plataformas. Ello ha llevado a que se aumentasen el número de Trabajos Fin de Máster ligados al desarrollo de sistemas empotrados basados en microcontroladores.

La experiencia de este proyecto puede ser aprovechada por cualquier otra asignatura del ámbito de las ingenierías. Si bien, los productos específicos resultantes (los sistemas diseñados por los alumnos) probablemente no puedan ser reaprovechados directamente por otros profesores o alumnos, la metodología sí que es perfectamente adaptable a muchas otras asignaturas.

La experiencia de este proyecto y de otros anteriores nos está indicando que la metodología de evaluación basada en proyectos permite explotar más intensamente las propuestas del plan Bolonia. Los alumnos realizan trabajos de nivel y complejidad elevada de una manera muy amena y van integrando las técnicas prácticas, que tanto demandan los alumnos y las empresas, con las bases teóricas que necesitan para el diseño efectivo de los sistemas, que es uno de los aspectos que más nos preocupa desde el punto de vista estrictamente académico. Es evidente, que cuanto mayor enfoque práctico tenga una asignatura, mayor adaptabilidad tendrá a este tipo de proyectos. No podemos recomendar este tipo de evaluación por proyectos para asignaturas fundamentales con alta carga teórica, ya que los alumnos podrían dejar muchas lagunas de conocimiento.

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

Este tipo de proyectos requieren mucho esfuerzo tanto por parte del alumno como por parte del profesorado, especialmente cuando el nivel del grupo es muy heterogéneo, ya que requieren mucha guía individualizada de aspectos técnicos básicos. Por tanto, para este tipo de proyectos se hace casi imprescindible la presencia de alumnos colaboradores, becarios del departamento u otros profesores ayudantes, junto con el profesor responsable.

Otro elemento que hay que tener en cuenta es que este tipo de proyectos exigen que existan laboratorios abiertos fuera de las horas de docencia, para que los alumnos puedan seguir trabajando en sus proyectos. Para esos casos, el visto bueno del departamento y del resto de profesores y técnicos de laboratorio son imprescindibles. Para evitar una sobrecarga del docente, estas aperturas extraordinarias del laboratorio deben estar vigiladas por un alumno colaborador, becarios adscritos al departamento o por un técnico de laboratorio con cierta experiencia.

8. **Bibliografía.**

Para este proyecto no se ha utilizado bibliografía de tipo tradicional (libros o artículos en revistas), sino accesos a páginas web. La lista de páginas web es demasiado extensa para incluirla en esta memoria.

Córdoba, a 29 de septiembre de 2013