



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

XIII JORNADES DE XARXES D'INVESTIGACIÓ EN DOCÈNCIA UNIVERSITÀRIA

Noves estratègies organitzatives i metodològiques en la formació
universitària per a respondre a la necessitat d'adaptació i canvi



JORNADAS DE REDES DE INVESTIGACIÓN EN DOCENCIA UNIVERSITARIA **XIII**

Nuevas estrategias organizativas y metodológicas en la formación
universitaria para responder a la necesidad de adaptación y cambio

ISBN: 978-84-606-8636-1

Coordinadores

María Teresa Tortosa Ybáñez

José Daniel Álvarez Teruel

Neus Pellín Buades

© **Del texto: los autores**

© **De esta edición:**

Universidad de Alicante

Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad

Instituto de Ciencias de la Educación (ICE)

ISBN: 978-84-606-8636-1

Revisión y maquetación: Neus Pellín Buades

Publicación: Julio 2015

Experiencias sobre el uso de la plataforma Arduino en prácticas de Automatización y Robótica

F. A. Candelas Herías; G. J. García Gómez; J. Pomares Baeza; C.A. Jara Bravo;
A. Delgado Rodríguez; C.M. Mateo Agulló; D. Mira Martínez; J. Pérez Alepuz

*Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal
Universidad de Alicante*

RESUMEN

En los últimos años las plataformas de hardware libre han adquirido gran relevancia en el desarrollo de prototipos y en la educación en tecnología. Una plataforma de hardware libre es básicamente un diseño de sistema electrónico microprocesador que sus autores difunden libremente y puede ser utilizado sin tener que pagar licencias. Entre la multitud de plataformas disponibles, destaca Arduino. Se caracteriza por su bajo precio, y que el software necesario para hacer funcionar la plataforma es libre y gratuito. Todo ello hace que estos dispositivos sean fácilmente accesibles por estudiantes. Este trabajo describe la aplicación de hardware libre a experimentos de laboratorio en asignaturas de ingeniería de la UA, especialmente del máster en Automática y Robótica, en las que se controlan sistemas industriales o robóticos. Esto contrasta con los experimentos clásicos en los que se emplean sistemas caros y difícilmente accesibles por el alumno. Además, los experimentos deben ser atractivos y de aplicaciones reales, para atraer el interés del alumno, con el objetivo principal de que aprenda más y mejor en el laboratorio.

Palabras clave: Prácticas, Laboratorio, Arduino, Hardware, Robótica

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema abordado

Este trabajo presenta los principales aspectos del desarrollo y los resultados más destacables de un proyecto de Redes de Investigación Docente que tiene como principal objetivo la aplicación de una plataforma de hardware libre, en concreto de la plataforma Arduino, en la realización de experimentos de prácticas de asignaturas de automatización en el curso 2014-15, principalmente en el Máster Universitario en Automática y Robótica impartido en la Universidad de Alicante. Para ello se ha considerado cierto equipamiento de laboratorio existente, con el que se pueden experimentar aspectos importantes de las asignaturas, y se ha adaptado este equipamiento para usar Arduino, de forma que ha sido posible diseñar experiencias prácticas usando esta plataforma. Para concluir el trabajo, también se ha captado la opinión de los estudiantes que han realizado las prácticas, con el objetivo evaluar ventajas e inconvenientes del uso de Arduino.

En los siguientes apartados de esta primera sección se presenta que es la plataforma Arduino y como se usa en enseñanza de temas de ingeniería, y se formaliza el propósito de este proyecto. En la sección 2 se explica cómo se ha abordado el proyecto, y el contexto en el que se ha aplicado. La sección 3 resume los experimentos de prácticas desarrollados y puestos en marcha, y muestra los resultados de la encuesta a los alumnos. Finalmente, la sección 4 resume las principales conclusiones del proyecto.

1.2. La plataforma Arduino

Antes de que aparecieran plataformas de hardware libre como Arduino, la creación de prototipos de sistemas software-hardware era complejo y caro. Por ello, muchas universidades y centros de investigación empezaron a desarrollar alternativas más baratas y sencillas a finales del siglo XX. Pero estas soluciones no eran generales y su popularidad fuera de su institución era pequeña. Hasta que en 2005 nació Arduino en el instituto IVREA de Italia, como un proyecto para estudiantes dirigido por Massimo Banzi, que aplicaba los conceptos de hardware y software libres, lo que supuso un cambio importante [1].

El concepto de hardware libre de Arduino hace referencia a un diseño de un sistema electrónico basado en microprocesador que está disponible de forma gratuita, para su uso o modificación. Además, el software usado para programar el sistema es libre y de acceso gratuito, y fácil de obtener, poner en marcha y usar [2][3]. Todo esto ha hecho que los dispositivos de la plataforma Arduino se hayan popularizado y extendido enormemente, y sea posible encontrar soluciones disponibles de forma abierta, para prácticamente todo tipo de proyectos. Así mismo, su hardware ha llegado a ser verdaderamente económico y fácil de adquirir.

Actualmente existen una gran variedad de placas de Arduino, que van desde las más sencillas como UNO o Leonardo (18 a 20€+IVA en la tienda oficial de Arduino), hasta las más avanzadas como la DUE (36€+IVA), que tiene un procesador ARM de 32 bits, o la YÚN (52€+IVA), que tiene un procesador adicional con Linux y WiFi [2]. Todos los dispositivos Arduino se programan fácilmente con el mismo entorno de desarrollo, mediante lenguaje C/C++, pudiéndose crear desde programas simples de un solo archivo basados en procedimientos, hasta programas complejos de múltiples archivos y orientados a objetos [2].

También es fácil encontrar documentación en internet sobre cualquier aspecto de la plataforma Arduino, y hay gran cantidad de libros de texto para usuarios con distintos niveles de conocimientos [4]. El éxito de la plataforma también ha hecho que se oferten muchos cursos sobre la misma, incluso por parte de instituciones relevantes, como por ejemplo el que organiza actualmente el Comité Español de Automática (CEA) [5].

Aunque Arduino se emplea mucho en robótica, también es muy popular en otras áreas como electrónica, domótica, modelismo, multimedia, música, bioingeniería, química, etc. Y para todas estas áreas, aunque especialmente en las más relacionadas con la ingeniería, Arduino es una plataforma muy extendida en educación, tanto a nivel de Bachiller como superior. Como ejemplo, se puede mencionar trabajos sobre la aplicación en la enseñanza de robótica [6], ingeniería química [7] o bioingeniería [8]. Incluso es posible usar Arduino junto con otras aplicaciones softwares propias de ingeniería, como el popular Matlab/Simulink [9].

1.3. Propósito del proyecto

El propósito principal del proyecto es diseñar y poner en marcha experimentos de prácticas basados en la plataforma de hardware libre Arduino para asignaturas del Máster Universitario en Automática y Robótica. Además de las ventajas que suele aportar esta plataforma citadas en el apartado anterior, se ha tenido en cuenta el uso de la misma por otro motivo importante, que se describe a continuación.

En el citado máster, se da el hecho de que los alumnos que ingresan en él proceden de diversas titulaciones de ingeniería (Informática, Multimedia, Telecomunicaciones, Industrial, Electrónica, Diseño de Producción, etc.), y si bien todos tienen una buena base en ingeniería, se ha constatado que los niveles de conocimientos sobre programación y aspectos del hardware dependen mucho del título de origen. En esto también afecta que el máster tiene una doble orientación, profesional e investigadora, y ocurre que hay alumnos que ingresan en él principalmente para ponerse al día en las tecnologías de hardware o programación. En general, se puede considerar que hay dos tipos de alumnos: mientras unos alumnos tienen buena base en hardware o automatización, pero no en programación, hay otros alumnos expertos en informática y programación, pero pocos conocimientos de automatización y control.

Considerando las características de la plataforma Arduino, se pensó que con era posible usarla para plantear prácticas de laboratorio atractivas para los dos tipos de alumnos citados. Por una parte, los alumnos con un perfil más industrial o de electrónica aprenden programación orientada a objetos con C++, beneficiándose de sus conocimientos del hardware. Y por otra parte, los alumnos con experiencia en informática aprenden a conectar y usar dispositivos sensores y actuadores, sacando provecho de su formación en programación. Este es el principal objetivo del proyecto.

También animó a la realización de este proyecto el hecho de que es relativamente fácil utilizar Arduino como controlador de equipos de prácticas disponibles, y se desea que era interesante seguir utilizando en las asignaturas. Además, el hardware de Arduino es libre y económico, y el software necesario es de libre distribución, lo que conlleva que la adquisición y la puesta en marcha de estos productos frente a otros controladores industriales profesionales sean mucho más asequibles. Esto también conlleva que sea fácil disponer de múltiples controladores Arduino para que los alumnos puedan trabajar individualmente, o en grupos pequeños, o que incluso los propios alumnos se animen a comprar sus propios controladores.

2. METODOLOGÍA

2.1. Descripción del contexto y de los participantes

El proyecto descrito en este trabajo se ha desarrollado principalmente para las siguientes asignaturas del Máster en Automática y Robótica que se imparte en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante: Sistemas de Control Automático (Código 37802), Informática Industrial (37806) y Nuevas Tendencias de la Robótica (37808). Pero además también ha sido aplicado en otras asignaturas optativas de grado, como son Automatización Industrial (34533) del Grado de Ingeniería Química, y Automatización y Robótica (34052) del Grado en Ingeniería Informática. Todas estas asignaturas abordan las temáticas interrelacionadas del control automático, la robótica y la informática industrial.

Más concretamente, el proyecto se ha centrado en algunas de las prácticas de laboratorio de las asignaturas citadas, para las que se ha tratado de desarrollar experimentos atractivos y fáciles de poner en marcha, y con un número adecuado de puestos de trabajo, sin que los experimentos dejen de enseñar aspectos importantes y de resultar interesantes a los alumnos. En cualquier caso, se abordan prácticas de laboratorio de asignaturas de ingeniería, en las que es común trabajar con equipos reales para automatización de máquinas o instalaciones, incluyendo robots. Este tipo de equipos son, en general, caros, y se dispone de un número de equipos reducido (muchas veces solo de uno) que deben ser compartidos por grupos de estudiantes.

Con respecto al equipo de autores, cabe mencionar que está compuesto por un grupo cuatro profesores Titulares de Universidad que son coordinadores y profesores de las asignaturas citadas antes, más un grupo de cuatro becarios que han cursado el Máster de Automática y Robótica, y por tanto, han sido alumnos de las asignaturas.

2.2. Procedimiento

Para el desarrollo del proyecto, se escogieron cuatro experimentos de laboratorio de entre los que se vienen realizando en las asignaturas consideradas. En cada experimento hay un equipamiento existente implicado, que originalmente incluía un controlador propio, con sus métodos de configuración y funcionamiento particulares. Estos equipos son un el cabezal de una impresora 3D, un robot cartesiano industrial, un

robot móvil seguidor de líneas, y un pequeño robot humanoide Robonova. En todos los casos, se dispone de una sola unidad de cada uno.

El primer paso fue abordar como incluir la plataforma Arduino en el equipo y en el experimento. Gracias a la flexibilidad de Arduino, a la experiencia de los profesores, y a otros experimentos sencillos con Arduino realizados en cursos anteriores [10], fue posible modificar cada equipo para usar Arduino con cierta facilidad, si bien en algún caso hubo que diseñar circuitos interfaz para conectar Arduino con los equipos.

Los diferentes experimentos de laboratorio se fueron diseñando a lo largo del curso, antes de la impartición de las asignaturas en donde se han aplicado. En la sección 3 se describen con detalle los experimentos, y los equipos que se usan en cada uno. Concretamente, los cuatro experimentos de laboratorio abordados han sido estos:

- Control de un robot cartesiano (2 grados de libertad) construido con elementos industriales.
- Control PID de temperatura sencillo del cabezal de una impresora 3D.
- Programación de un robot seguidor de líneas con control PID.
- Programación de un robot humanoide para que camine.

Para cada experimento se ha usado la versión de Arduino más adecuada al equipo que hay que controlar en cada caso. Además del propio Arduino incorporado a cada equipo, se adquirieron varias unidades más para que los alumnos puedan desarrollar y depurar sus programas simultáneamente, hasta tener una versión que pudieran ejecutar en el equipo final.

Al mismo tiempo que se realizó el diseño de los experimentos de laboratorio, y de la planificación de los problemas que debían resolver los alumnos, también se han redactado los manuales de prácticas necesarios, y que permiten a los alumnos conocer los principales aspectos de los equipos, y controladores Arduino, que deben manejar y programar. Esto no implica que el alumno no necesite buscar información adicional para resolver cuestiones concretas, ya que se considera importante que el alumno de ingeniería se desenvuelva buscando y examinando hojas de características y manuales de equipos y elementos hardware, puesto que necesitará esta experiencia para luego poder abordar proyectos por su cuenta.

Finalmente, se ha considerado la evaluación de la opinión de los alumnos mediante encuestas al final de asignaturas. Se ha planteado un modelo de encuesta de

común para los alumnos de las diferentes asignaturas, y de los resultados de la encuesta se han extraído conclusiones interesantes. Esto se aborda en el apartado 3.3.

3. RESULTADOS

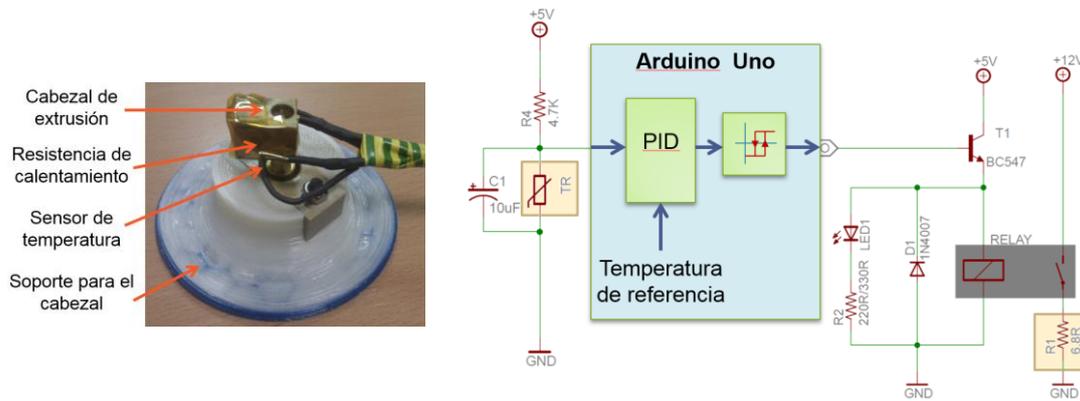
En esa sección se explican los aspectos principales de los cuatro experimentos de laboratorio desarrollados en torno a la plataforma Arduino, mencionándose el trabajo que el alumno debe realizar en ellos. Además, al final de la sección, se expone la encuesta sobre la opinión de los alumnos con respecto a las prácticas con Arduino, y se comentan los principales resultados extraídos de la misma.

3.1. Experimento de control de temperatura

Los objetivos de esta práctica de laboratorio son que los estudiantes conozcan el entorno de programación de Arduino, que sean capaces de implementar un circuito para el control de temperatura y aprendan las metodologías de ajuste de controladores PID (Proporcional-Integral-Derivada). La práctica se emplea en las asignaturas de Control Automático, Automatización Industrial, y Automatización y Robótica.

Para empezar, se propone a los alumnos que implementen los circuitos necesarios para realizar el control de temperatura en el cabezal de una impresora 3D (ver la Figura 1). Este cabezal tiene un sensor termistor que es empleado para medir su temperatura real y realimentarla al controlador. Una resistencia, activada por el controlador, se encarga de calentar el cabezal. Se hace, por lo tanto, necesario implementar dos circuitos básicos, uno para la lectura de la temperatura y otro para el accionamiento de la resistencia. En este experimento, el controlador usado es un sencillo Arduino UNO, y en él se programa el algoritmo de control. En concreto se usará un control PID que, dependiendo de la temperatura deseada y de la leída a través del termistor, determinará si la resistencia debe o no activarse.

Figura 1. Cabezal de impresora 3D y circuitos de conexión con Arduino



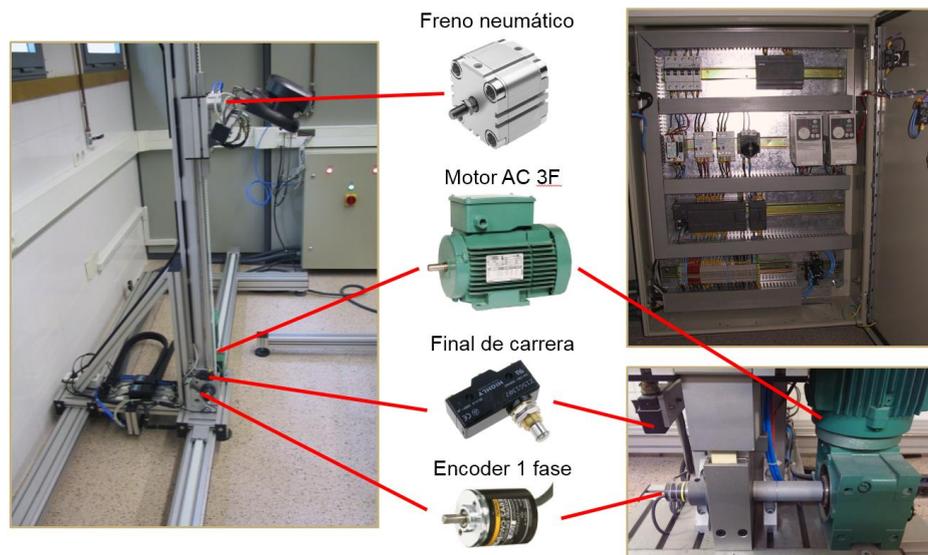
La Figura 1 también muestra los circuitos necesarios para conectar el Arduino al cabezal, y que debe implementar el alumno. Conectado a una entrada del Arduino, se emplea un divisor de tensión para convertir la temperatura percibida por el sensor en un valor de tensión proporcional, que el Arduino puede medir. El circuito de accionamiento con relé conectado a una salida digital del Arduino se encarga de dar potencia a la resistencia que calienta el cabezal.

Una vez que los alumnos han montado los circuitos anteriores, se proponen diferentes ejercicios de programación. El primero consiste en hacer unos programas sencillos para verificar que los circuitos funcionen correctamente. Después, se pide al estudiante que, partiendo de un programa de plantilla, complete éste para implementar el controlador PID. Finalmente, el alumno debe tratar de ajustar el controlador de forma que se alcance la temperatura deseada lo más rápidamente posible con la menor oscilación, y con un ciclo de histéresis de alrededor de esa temperatura. Para realizar las distintas fases de la práctica, el alumno dispone de tres sesiones de dos horas.

3.2. Experimento de control de un robot cartesiano

El siguiente experimento propuesto a los alumnos, se plantea como la implementación del control de un robot cartesiano que consta de un carro que se desplaza en dos grados de libertad, horizontal y vertical, abarcando un área de casi 2m^2 . El robot y sus componentes principales se pueden ver en la Figura 2. Con este experimento, los alumnos conocen los elementos básicos y características de un robot industrial, y aprender a realizar un programa de control básico del mismo para alcanzar posiciones con precisión. El experimento se lleva a cabo en la asignatura de Informática Industrial, donde los alumnos disponen de 15h para su realización.

Figura 2. Aspecto del robot cartesiano y sus principales elementos



Normalmente el robot cartesiano está gobernado por un PLC (*Programmable Logic Controller*), que es un controlador industrial con E/S (Entradas/Salidas) lógicas de 24V. Pero con en este experimento, se sustituye el PLC por un Arduino Mega 2560 para realizar control del robot. El Arduino Mega se caracteriza por disponer de gran cantidad de líneas E/S, lo que es imprescindible para interactuar con el robot cartesiano. Para poder conmutar entre el PLC y el Arduino, y para realizar la conversión de niveles de voltaje de las señales de E/S de 24V a las empleadas por el Arduino de 5V, los autores han desarrollado unos circuitos adaptadores, que también incluyen asilamiento eléctrico para evitar problemas de sobretensiones en el Arduino y el PC al que se conecta.

El robot incluye los elementos básicos de E/S usados en muchos equipos de automatización, como muestra la Figura 3. Como actuadores dispone de dos motores trifásicos de potencia, gobernados por variadores de frecuencia, y de un freno neumático para el eje vertical. Como sensores tiene cuatro pulsadores de final de carrera y dos *encoders* incrementales. Además el robot tiene una paleta con un joystick que permite realizar movimiento manuales, un botón-seta de emergencia y de varios pilotos. Todos estos elementos están conectados al Arduino mediante los adaptadores de niveles.

Para lograr que todos los alumnos conozcan el funcionamiento robot y sean capaces de hacer un programa de control básico para el mismo, sin impedir que los alumnos más destacados puedan incluir funciones más avanzadas al programa, se plantean dos bloques de tareas para realizar, uno con tareas obligatorias y otro con tareas opcionales. Las tareas obligatorias incluyen estos aspectos básicos: la calibración de los ejes, el control de freno del eje vertical, la detección de los finales de carrera,

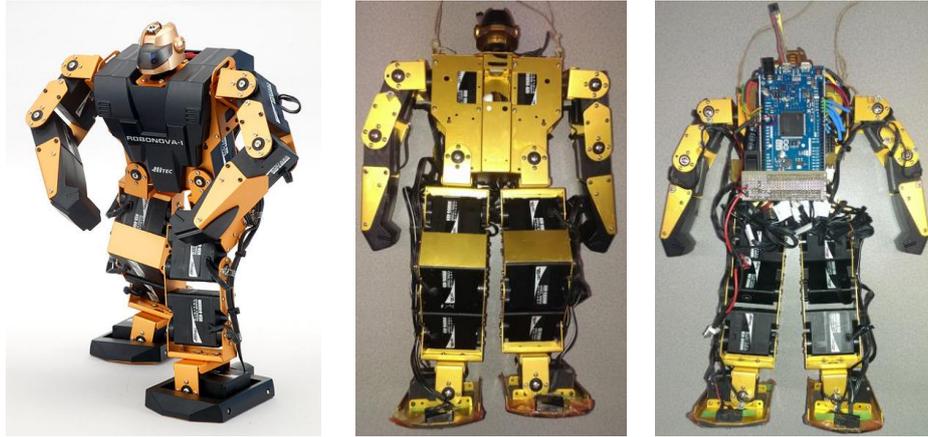
mover el carro en ambos los ejes con el joystick, gestionar el botón-seta de emergencia, y detectar una posible alarma en los variadores de frecuencia. Como tareas optativas se proponen estas: desplazamientos con aceleración y frenado (rampas de velocidad), desarrollar una interfaz gráfica de mando para un PC y un protocolo de comunicación con el Arduino, permitir desplazar según un número de pasos de *encoder* o una distancia en metros cada eje, y desplazar el carro a una posición destino desde la actual.

3.3. Experimento de programación de un robot humanoide

El robot Robonova es un famoso robot lúdico, con forma humana (bípedo y con dos brazos) de unos 31cm de alto, desarrollado y distribuido por la marca HiTec. Aunque este robot ya no se comercializa, hoy en día existen muchas alternativas similares. Gracias a sus 16 grados de libertad, el Robonova puede realizar multitud de movimientos similares a los de las personas, incluyendo andar, agacharse o levantarse, subir o bajar escalones, etc. La figura 4 muestra el aspecto del robot Robonova.

En la práctica de laboratorio con Robonova el alumno tiene que familiarizarse con el robot, y conseguir programarlo para que se desplace andando. Pero en vez de usar el controlador original del robot, que estaba bastante limitado en opciones de programación y conexión de sensores, se emplea como controlador un Arduino DUE (ver Figura 3). Este Arduino se caracteriza por usar un procesador ARM de 32 bits bastante más potente que los Arduinos clásicos, y más memoria de programa y de datos, por lo que tiene capacidad para generar las señales de consigna para todos los motores del robot, a la vez que puede ejecutar programas complejos y facilita la conexión de diferentes tipos de sensores, como los de contacto o de distancia usados en la práctica. Esta práctica se ha planteado como única de práctica de la asignatura Sistemas de Iteración Hombre Máquina, y para ella el alumno disponía de 15 horas en total.

Figura 3. Robonova original (izquierda), y versión modificada con Arduino Due (centro y derecha).



Como parte obligatoria de la práctica, el alumno debe programar el Arduino DUE del Robonova para que este robot recorra una distancia andando, de pie y lo más recto posible. Se valora que ese movimiento sea suave y natural, parecido al de una persona. Hay que tener en cuenta especialmente los motores de las dos piernas, pero también puede ayudar mover los brazos opcionalmente. La tarea de andar no es tan fácil como puede parecer, debido a que no solo hay que tener en cuenta los movimientos, sino también hay que garantizar que el robot tiene un equilibrio estable en cada instante.

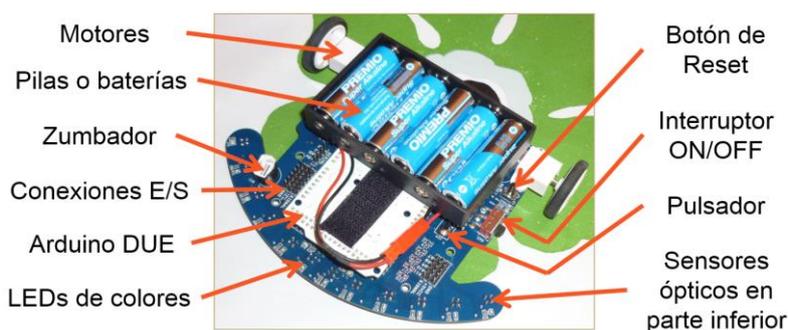
Antes de realizar la programación del robot con el lenguaje C++ mediante el IDE de Arduino, el alumno debe estimar los valores de posiciones clave de los servos, y los intervalos de tiempo que son necesarios para ejecutar las secuencias de movimientos o trayectorias básicas necesarias para las tareas que se desean, como dar un paso, levantarse, etc. Esto se puede hacer con una aplicación de simulación del Robonova, como por ejemplo la aplicación gratuita “RZ1 Action”. Con las posiciones y tiempos ya estimados, se puede plantear el diseño del programa. El programa debe ir enviando a los motores las posiciones que tiene almacenadas en los tiempos adecuados, aplicando un algoritmo de interpolación, y repitiendo una secuencia para conseguir que el robot ande paso a paso. Con el programa ya funcionando, hay que reajustar los movimientos hasta conseguir que el robot ande correctamente.

Como parte optativa, el alumno debe considerar que puede haber obstáculos grandes en mitad de la trayectoria por la que se desplaza el robot, y tiene que modificar el programa para que el robot pueda detectar los obstáculos mediante sus sensores, y en caso de determinar que hay un objeto delante, intentar esquivarlo rodeando el obstáculo.

3.4. Experimento de programación de un robot seguidor de líneas con control PID

En este caso se ha utilizado un robot GoShield-GR (ver Figura 4), diseñado en conjunto por la empresa GoShield, que lo comercializa, y los varios de los autores de este trabajo. Se trata de un robot rastreador especialmente pensado para competiciones de seguimiento de líneas. El robot tiene en su parte inferior 20 sensores foto-reflectivos que le permiten seguir líneas negras pintadas sobre un suelo blanco. El cerebro del robot es un Arduino DUE, como en el caso del experimento del robot humanoide.

Figura 4. Robot rastreador Go-Shield-CR



Aprovechando la cantidad de elementos que tiene el robot GoShield-GR, con él se han propuesto diferentes actividades a realizar por el alumno en orden, de forma que éste vaya comprendiendo bien el funcionamiento del robot y sea capaz de ir programando funciones cada vez más sofisticadas, dentro de la planificación temporal de la asignatura. Este robot se ha utilizado en varias asignaturas de automática y robótica, así como en cursos de libre elección curricular, y dependiendo de la asignatura se plantean más o menos experimentos. El catálogo de actividades que ha desarrollado con este robot se resume a continuación:

- *Hola mundo, Semáforos.* Estos ejercicios de iniciación consisten en programar los LEDs (*Light Emitting Diode*) del robot para que parpadeen con una cadencia determinada, o emulen los semáforos de un cruce con las temporizaciones adecuadas.
- *Código Morse.* Hay que usar el zumbador del robot para generar unos pitidos que representen la palabra “SOS” en código morse.
- *Luminosidad por pulsador.* Se trata de controlar el brillo de un LED según se actúa en el pulsador de que dispone el robot.
- *Ruleta Loca.* Utilizando los LEDs, el zumbador y el pulsador, se trata de emular un juego de ruleta, donde los LEDs se encienden en forma secuencial, y hay que intentar pulsar justo cuando determinado LED está encendido.

- *Sigue líneas básico.* El robot debe seguir una línea con la menor oscilación posible en su dirección con respecto a la línea, a una velocidad constante.
- *Control de velocidad.* El robot debe adecuar la velocidad de sus motores según la zona del trazado del circuito en la que se encuentre, esto es, dependiendo de las rectas y las curvas.
- *Control de dirección PID.* Cuando el robot circula con velocidad alta, resulta necesario aplicar un algoritmo de control PID (Proporcional-Integral-Derivada) para que no se salga del circuito.
- *Identificación de cruces.* Hay que idear la lógica del programa que permite al robot identificar cruces y decidir por donde ir en un circuito con múltiples caminos. Los cruces se identifican con marcas especiales en el recorrido.

Como se observa, el robot da mucho juego y permite al alumno trabajar con distintos aspectos de programación de controladores y de robots móviles, desde aspectos básicos de programación de entradas y salidas, hasta programación de algoritmos sofisticados. Las actividades hasta la “Sigue líneas básico” son obligatorias, y el resto se proponen como optativas a los alumnos más avanzados.

3.5. Opinión de los alumnos

Para concluir el trabajo, se ha realizado una encuesta anónima y voluntaria a los alumnos de las asignaturas implicadas para conocer su opinión sobre emplear la plataforma Arduino en los experimentos del laboratorio, y saber también sus niveles de conocimientos inicial y final sobre programación y hardware. Se ha utilizado la misma encuesta para las diferentes asignaturas, y se ha considerado que un mismo alumno podía estar matriculado en varias asignaturas para evitar opiniones duplicadas y tomar solo en cuenta su opinión para la primera asignatura que cursaba. En total, 8 alumnos respondieron a las 14 cuestiones que formaban la encuesta, y que se listan en la Tabla 1.

Tabla 1. Preguntas de la encuesta sobre la opinión respecto al uso de Arduino

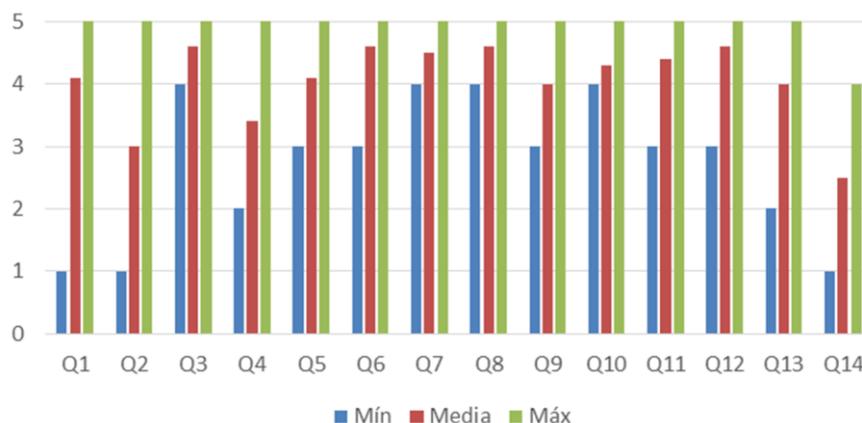
Ref.	Cuestión
Q1	Antes de empezar la asignatura, disponía de buenos conocimientos de programación.
Q2	Antes de empezar la asignatura, disponía de conocimientos de electricidad y/o electrónica.
Q3	La puesta en marcha del software y hardware de Arduino me ha resultado sencilla y rápida.
Q4	El tiempo disponible para desarrollar los experimentos de laboratorio ha sido suficiente.
Q5	El material disponible para desarrollar los experimentos de laboratorio ha sido el adecuado.
Q6	Hacer experimentos para controlar equipos reales incentiva el desarrollo de la práctica.
Q7	Es un acierto usar la plataforma libre Arduino para experimentos de prácticas frente a otros

	equipos de control de fabricantes específicos con hardware cerrado.
Q8	Me ha resultado fácil crear programas para el controlador de Arduino con su lenguaje C/C++.
Q9	Usando Arduino, he aprendido, o he mejorado mis conocimientos, sobre como conectar dispositivos de entrada y salida a un controlador.
Q10	Creo que los conocimientos adquiridos sobre Arduino me permiten usar esta plataforma para resolver otras aplicaciones de control, automatización o robótica por mi cuenta.
Q11	Me he comprado, o he pensado en comprarme, una placa de Arduino por mi cuenta para hacer los experimentos de la asignatura u otras aplicaciones.
Q12	Es probable que use la plataforma Arduino para resolver aplicaciones en el futuro.
Q13	Creo que la plataforma Arduino es aplicable también en un ámbito profesional, además del educacional.
Q14	He echado en falta trabajar con un controlador de características más industriales.

Las cuestiones Q1 y Q2 hacen referencia a los conocimientos previos de los alumnos sobre programación y hardware en general, antes de cursar la asignatura. Las cuestiones Q3 a Q5 tratan la disponibilidad de tiempo, medios y dificultad de la puesta en marcha del software y hardware necesarios para usar Arduino. El grado en que Arduino incentiva la realización de los experimentos se aborda en las cuestiones Q6 y Q7. La opinión del alumno sobre sus resultados se debe reflejar en las cuestiones Q8 a 10. Finalmente, las cuestiones Q11 a Q14 abordan otros aspectos.

Para cada cuestión, el alumno debía responder un valor entero entre 1 y 5 que indica su grado de acuerdo con la cuestión planteada, donde 1 significa “no estoy de acuerdo” y 5 significa “estoy totalmente de acuerdo”. La Figura 5 muestra los resultados de la encuesta, representado para cada cuestión, en el eje horizontal, el grado de acuerdo del alumno en el eje vertical. Para cada cuestión se representan el valor mínimo de todos los escogidos por los alumnos (azul), el valor medio (rojo), y el máximo (verde).

Figura 5. Resultados de la encuesta: grado de acuerdo del alumno (1-5) para cada cuestión (Q1-Q14)



Al analizar los resultados de la Figura 5, en primer lugar se puede ver como los valores mínimos y máximos para Q1 y Q2 muestran la disparidad de nivel de

conocimientos previos que tienen los alumnos tanto en programación como en *hardware*. Para Q3 se ve que los alumnos opinan en general que es fácil comenzar a trabajar con la plataforma Arduino. Respecto a la disponibilidad de tiempo medida por Q4, la opinión de los alumnos es variada. Los alumnos están muy de acuerdo con el hecho de usar Arduino en las prácticas, según reflejan los resultados de Q6 y Q7. Las respuestas a las cuestiones Q8 a Q10 reflejan que los alumnos consideran en buen grado que han adquirido o mejorado sus conocimientos. Asimismo, las respuestas a Q11 y Q12 reflejan como los alumnos están bastante dispuestos a comprar un Arduino por su cuenta. Respecto al uso de Arduino en un ámbito más profesional, frente al educacional, la opinión es variada, aunque positiva, como indica la cuestión Q13. Finalmente, las respuestas a la cuestión Q14 reflejan que hay cierta disparidad de opinión sobre si habría sido más interesante usar un controlador de características más industriales.

4. CONCLUSIONES

El trabajo descrito en este artículo ha conseguido llevar la plataforma Arduino a las prácticas de laboratorio de asignaturas de ingeniería, que abordan aspectos de automatización control y robótica, impartidas en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante, y especialmente en asignaturas del Máster en Automática y Robótica de la Universidad de Alicante. Aplicar Arduino en las prácticas de laboratorio ha sido relativamente fácil, gracias en gran parte a la experiencia de los autores. También ha contribuido a ello la facilidad de uso de puesta en marcha y uso de Arduino, y de toda la documentación que hay disponible sobre esta plataforma. Además, se han conseguido buenos resultados sobre el interés mostrado por los alumnos y el aprendizaje, lo que ha sido validado por una encuesta anónima a los alumnos.

La plataforma Arduino se aprende a usar rápidamente, y así los alumnos se centran en los problemas propios de los experimentos, como son el desarrollo y la programación de los algoritmos de control que hacen que el robot o la máquina funcione con las especificaciones dadas.

Uno de los problemas que se plantea en la enseñanza de asignaturas del Máster en Automática y Robótica es que los alumnos proceden de diferentes titulaciones y presentan niveles de conocimientos diferentes en hardware y programación. Con las prácticas basadas en Arduino se ha constatado que los alumnos pueden aprender mejor los conocimientos que les faltan. Así, los alumnos que conocían mejor aspectos de

hardware, aprenden programación orientada a objetos, mientras que los alumnos con una mejor base sobre informática, aprenden aspectos de hardware.

También se ha conseguido reutilizar equipamiento de laboratorio que había disponible y que no se aprovechaba bien, tras sustituir su electrónica de control por un controlador Arduino adecuado. Además, el bajo coste del hardware de Arduino y su software libre, anima a los alumnos a comprar sus propios dispositivos para practicar fuera del aula de laboratorio, o incluso desarrollar sus propios proyectos.

Aunque Arduino demuestra ser una excelente herramienta educativa, y también puede ser útil para muchas aplicaciones reales, no es conveniente dejar completamente de lado un equipamiento más profesional que Arduino. Es recomendable mantener experimentos de laboratorio que usen equipos industriales y comerciales dentro de lo posible, ya que esos serán los equipos con los que se encuentran habitualmente los alumnos en el ámbito profesional. Los mismos alumnos opinan de este modo, como también ha reflejado la encuesta realizada. Lo ideal es combinar Arduino con robots o máquinas reales.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Kushner, D. (2011). The Making of Arduino. IEEE Spectrum. Artículo web (mayo 2015): <http://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino>
- [2] Banzi, M. (2011). Getting Started with Arduino. 2º Edición. USA. O'Reilly.
- [3] Arduino Home: Portal oficial del hardware libre Arduino. Página web (mayo 2015): <http://arduino.cc>
- [4] Warren, J.D., Adams, J. & Molle, H. Arduino Robotics (Technology in Action). Apress, 2011.
- [5] Comié español de Automática (CEA) (2015). "Curso práctico on-line de Arduino Avanzado". Página web (mayo 2015): <http://www.ceautomatica.es/curso-online-de-cea-curso-practico-line-de-arduino-avanzado>
- [6] Valencia Peidró, A, Rodríguez, J.J., Azorín, J.M. & Reinoso, Ó. (2014). Implementación de una maqueta de control bilateral de 1 GDL con Arduino para telerrobótica. XXXV Jornadas de Automática. Valencia, septiembre de 2014.
- [7] Luzón, G., Fernández-Arteaga, A., Altmajer, D., García, A.I., Fernández, M. (2014). Uso de hardware y software libre en laboratorios de Ingeniería Química. II Congreso de innovación docente de Ingeniería Química. Valencia, enero 2014.

- [8] Fernández, M.A. & Sánchez, D. (2014). Desarrollo de materiales docentes para asignaturas de Bioingeniería. Proyectos de Innovación y Mejora Docente 2013/2014. Universidad de Cádiz.
- [9] Gil J.E., Muñoz, A.J., Torres, V., & Gómez, J.M. (2014). Uso de Simulink y Arduino para Prácticas de Robótica. XXXV Jornadas de Automática. Valencia, septiembre 2014.
- [10] Perea, I., Puente, S., Candelas, F.A. & Torres, F. (2010). Nueva tarjeta de sensorización y control para robot humanoide. XXXI Jornadas de Automática. Jaén, septiembre 2010.