

Una herramienta pedagógica para el estudio de dispositivos empotrados

A pedagogic tool for the study of embedded devices

Sidney Rodríguez Medina**Luis Eduardo Caballero Martínez****Imandra Rojas Díaz**

Universidad de Camagüey, Cuba.

Correo(s) electrónico(s)wendyrm@nauta.cu

Recibido: 5 de septiembre de 2019**Aceptado:** 8 de noviembre de 2019

Resumen: En la Carrera de Ingeniería Eléctrica, se presentan insuficiencias al diseñar y programar con sistemas electrónicos empotrados y desarrollar aplicaciones afines, por esto el objetivo de este trabajo es el diseño y construcción de un medio de enseñanza basado en el microcontrolador Arduino, usando métodos investigativos-interactivo, obteniendo como resultado un nuevo puesto de trabajo para la docencia y la investigación y un sistema de prácticas de laboratorio, además despierta el interés por el estudio de nuevas tecnologías en los alumnos y por ser de bajo costo y fácil fabricación puede ser reproducido en todas las universidades del país.

Palabras clave: Microcontrolador Arduino; Medio de enseñanza; Nuevas tecnologías; Dispositivos empotrados

Abstract : In the Electrical Engineering Degree, there are shortcomings when designing and programming with embedded electronic systems and developing related applications, for this reason the objective of this work is the design and construction of a teaching medium based on the Arduino microcontroller, using investigative methods- interactive, obtaining as a result a new job for teaching and research and a system of laboratory practices, also arouses interest in the study of new technologies in students and for being low cost and easy manufacturing can be reproduced in all universities in the country.

Keywords: Arduino microcontroller; Teaching means; New technologies; Embedded devices

Introducción

Dijo el comandante Ernesto Che Guevara en uno de sus discursos: “*Esta gran humanidad ha dicho basta y ha echado a andar*” (1). Quizás el sentido político de este fragmento, sea diferente, pero la grandeza de pensamiento de quien lo dijo, permite que se tome para encabezar este trabajo, porque en realidad ha sido así. En los últimos tiempos, el desarrollo científico técnico alcanzado a nivel mundial ha sido alto y ha ocurrido a una velocidad que supera, en la mayoría de los casos, a los sistemas de enseñanza-aprendizaje existentes. El

cúmulo de materias es cada vez mayor, el tiempo de estudios de pregrado y postgrado en las universidades es el mismo y la tendencia en muchos países es a disminuirlo (2) (3).

Desarrollo

En Cuba, desde 1962, con la Reforma Universitaria, se planteó el concepto de perfeccionamiento continuo de los diseños y contenidos de los planes de estudio, *“con la mira de satisfacer las demandas del desarrollo socioeconómico del país en cada momento y, también, para valorar sistemáticamente lo mejor de las tendencias internacionales que resultara pertinente adaptar al contexto nacional en la formación de profesionales.”* (3).

De esta forma, desde la creación de la carrera de Ingeniería Eléctrica en 1973, hasta la fecha, se ha transitado por diversos planes de estudio hasta comenzar, en el curso 2017 - 2018, el Plan de Estudio E. En este plan se produce una reducción considerable del número de horas correspondientes a la Disciplina Electrónica desde el currículo base. Como diferencia fundamental, a juicio de los autores, se encuentra la eliminación de la asignatura Microcontroladores de los currículos bases y propios, sin embargo, la flexibilidad del Plan posibilita la creación de asignaturas electivas u optativas que posibiliten complementar el sistema de conocimientos propuestos.

Por otra parte, el mundo actual evidencia un desarrollo acelerado de tecnologías que llevan implícita la utilización de la microelectrónica, la robótica y la programación, donde los profesionales deben enfrentar problemas cada vez más complejos. Ya se diseñan ciudades inteligentes, sistemas de mercados inteligentes, autopistas con vehículos no tripulados, etc. En el sector eléctrico, específicamente, todos los sistemas de protección de líneas, redes; los sistemas automáticos, los de alimentación, regulación, etc., están implementados sobre sistemas electrónicos modernos.

En Cuba se dificulta el acceso a estas tecnologías por diversas causas, entre ellas, el bloqueo al que está sometida, por eso es importante desarrollar iniciativas propias en las universidades que contribuyan al desarrollo de las tecnologías y ello, desde el punto de vista

del proceso formativo en la carrera, exige el conocimiento cabal de los dispositivos electrónicos modernos.

Como la tendencia es a reducir la cantidad de horas por asignaturas y la unificación de materias afines, es necesario hacer transformaciones en cuanto a medios y herramientas que agilicen el proceso y que permitan el uso de nuevas tecnologías para crear las bases en la formación de un profesional más competente y actualizado ante el vertiginoso desarrollo de la humanidad. Esta idea se ve reflejada en varios acápites de los Lineamientos de la Política Económica y Social de Cuba para el quinquenio que transcurre (4). Específicamente, en el Lineamiento 152 se orienta: “*actualizar los programas de formación e investigación en las universidades en función del desarrollo económico y social del país y de las nuevas tecnologías*” (4)

En la Disciplina Electrónica del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Camagüey “*Ignacio Agramonte Loynaz*”, se ha desarrollado un conjunto importante de trabajos relacionados con la modernización de los laboratorios docentes para la impartición de las asignaturas (5)(6) (7)(8)(2) que han incluido el perfeccionamiento de las prácticas que se realizan desde la Electrónica General o Analógica, transitando por la Digital y los Microcontroladores. En esta última temática, se destacan los trabajos realizados por Gomero en el 2017 (5), Roque en el 2018 (7) y Donatien en el 2018 (8). En los tres se ponen a punto nuevos sistemas para el aprendizaje de dispositivos microelectrónicos: el microcontrolador 89C52 en el primer caso, el mismo microcontrolador y dos microprocesadores de INTEL en el segundo trabajo y en el último trabajo referenciado, un dispositivo de arreglo de compuertas lógicas programables (FPGA en sus siglas en inglés). Además, se destaca el trabajo de diploma de Jorge Danger relacionado con las asignaturas de Circuitos y Mediciones Eléctricas el que consistió en crear una plataforma interactiva de estas asignaturas para facilitar el acceso a la información a los estudiantes y así contribuir al proceso de enseñanza-aprendizaje (2).

Algunos paradigmas de diseño modernos, como *Cyber-physical Systems* (CPS) e *Internet of Things* (IoT), han aumentado la importancia de los sistemas empotrados o embebidos (9).

La enseñanza de estos sistemas es cada vez más importante dentro de la formación de los futuros ingenieros en informática, automática, electrónica e ingeniería eléctrica, debido a que ellos representan una nueva generación que posibilitan controlar diferentes objetos y sistemas de manera escalable, distribuida y descentralizada y en ellos se hace particular énfasis en los aspectos de comunicación con capacidad multitarea. Precisamente ellos abren un nuevo espectro en aplicaciones del perfil del ingeniero electricista, debido a la necesidad de atender la comunicación con sensores/actuadores, con otros dispositivos y con la interfaz de usuario, así como de la ejecución con restricciones de tiempo real.

Al respecto, cada vez es más adecuado el empleo de plataformas *hardware* previamente desarrolladas y como primer paso aquellas con microcontroladores y sin sistema operativo como los Arduinos (10). También sobre estas plataformas se han desarrollado proyectos de trabajo de diploma en la carrera (11) (12). La totalidad de ellos han trabajado aplicaciones de diversa índole, fundamentalmente domótica. Los estudiantes que las han desarrollado se han preparado de forma autodidacta y con medios propios, pues el estudio de estos sistemas no se encuentra en el currículo de la carrera y, por ende, no se cuenta en los laboratorios docentes la base material de estudio apropiada para la investigación.

Los sistemas empotrados es una materia que se presta bien a asignaturas orientadas a proyectos, donde los alumnos deben construir “artefactos” en vez de realizar prácticas de laboratorio más o menos guionizadas. El desarrollo de estos proyectos puede ser difícil.

Por tanto, el **problema** de la presente **investigación** consiste en las insuficiencias que presentan los estudiantes en el diseño y programación con sistemas electrónicos empotrados que dificultan la realización de aplicaciones en el campo de la Ingeniería Eléctrica.

El **objeto de la investigación** está constituido por los sistemas electrónicos empotrados y el **campo de la investigación** queda limitado a los sistemas Arduinos.

El empleo de estas plataformas en la enseñanza en ingeniería ha sido estudiado en diversos trabajos (13) (14). Además de su bajo costo, su principal ventaja es tener una gran

comunidad de usuarios, por lo que hay disponibles multitud de tutoriales, herramientas, ejemplos de uso, librerías y *hardware* de Entrada/Salida.

El **objetivo de la investigación** consiste en el diseño, construcción y puesta a punto de un nuevo puesto de trabajo para el estudio de un sistema microcontrolador Arduino para el desarrollo de aplicaciones propias de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Esto conduce a formular la **Hipótesis**: Si se desarrolla un medio de enseñanza basado en la tecnología de Arduino, se facilitaría la adquisición de conocimientos y habilidades para el diseño y programación de sistemas electrónicos empotrados en aplicaciones del perfil de la Ingeniería Eléctrica.

Para cumplimentar el objetivo propuesto y en correspondencia con la hipótesis se plantean las siguientes **tareas de investigación**: Caracterización de los sistemas electrónicos empotrados y los paradigmas modernos de diseño y programación de aplicaciones, Descripción de los sistemas microcontroladores Arduinos, Diseño y construcción de nuevo puesto de trabajo para el estudio de los sistemas microcontroladores Arduino, Selección de las prácticas de laboratorio y proyectos posibles a realizar en el puesto de trabajo y elaboración de las mismas, Simulación y corrida real de las prácticas, Documentación y elaboración del informe escrito del trabajo.

De forma general, el trabajo queda estructurado de la siguiente forma. En el Capítulo I se realiza una descripción pormenorizada de los sistemas electrónicos actuales con énfasis en los paradigmas de diseño y programación actuales sobre plataformas Arduinos, haciendo énfasis en las ventajas e inconvenientes que presentan estos sistemas desde el punto de vista de la enseñanza.

En el Capítulo II se presenta el diseño del nuevo puesto de trabajo en su totalidad, con los bloques correspondientes para el estudio de las principales potencialidades de estos sistemas.

En el ANEXO I: Manual de Prácticas de Laboratorio para el desarrollo de proyectos en la maqueta didáctica., se muestra un conjunto importante de aplicaciones realizadas sobre el

nuevo puesto de trabajo, que incluyen los diseños, la programación, la simulación y la orientación para las prácticas diseñadas.

Finalmente, se destacan las conclusiones más importantes del trabajo. El trabajo aporta un nuevo puesto de trabajo para la docencia y la investigación en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Camagüey y un sistema de prácticas de laboratorio y proyectos de investigación sobre esta mesa inteligente de gran importancia para el pregrado y el postgrado.

Los sistemas electrónicos empotrados con énfasis en la plataforma Arduino.

Hasta hace poco tiempo, el prototipo de los sistemas *hardware/software* para implementación de lazos de control completos (señales procedentes de sensores, procesamiento de éstas, etapas de conversión A/D y D/A, implementación de leyes de control, señales hacia los actuadores, etc.), requería del uso de un PC, costosas tarjetas de entrada/salida o el uso de un autómata programable con igualmente costosos módulos de entrada/salida.

Desde finales del siglo XX, en los centros universitarios y de investigación, se buscaron alternativas para abaratar y simplificar el costo económico y el tiempo de diseño y programación de prototipos de sistemas *hardware/software* para implementar lazos de control. Así nacieron sistemas para cada aplicación, los cuales estaban basados usualmente en microcontroladores, debido a su facilidad innata para el tratamiento de señales de entrada/salida.

Aun así, el microcontrolador era caro, requería de elementos adicionales, caros también, para su programación, y solo solucionaba una parte del problema, que era fundamentalmente la implementación del controlador, pero quedaban por resolver cuestiones referentes a adaptación de señales, facilidad de programación, memoria, estandarización, hacer el sistema abierto, costos y, sobre todo, de integración en lo referente a buses y comunicaciones alámbricas e inalámbricas.

Es entonces que nacen un conjunto de sistemas empotrados o embebidos más flexibles y en especial, nació, en el año 2005, el Arduino.

En el presente capítulo se realiza una descripción pormenorizada de los sistemas empotrados abiertos, con énfasis en la plataforma Arduino. Se destacan sus principales características, fabricantes, filosofía del diseño y programación y la enseñanza de los mismos para desarrollo de aplicaciones.

Sistemas empotrados

Un sistema empotrado (SE), también conocido en la literatura especializada como sistema embebido, está integrado por circuitos integrados programables, memoria flash o ROM, el correspondiente circuito impreso y el *software* embebido o empotrado como parte esencial del mismo sistema, conocido en inglés como *firmware* o *embedded software*. El *software* empotrado se utiliza para controlar los productos electrónicos y, usualmente, se ejecuta sobre un microprocesador interno, o en un microcontrolador, o en un procesador digital de señal (DSP), o en una compuerta programable en campo (FPGA), o en un controlador lógico programable (PLC) y a veces en una PC de propósitos generales adaptada para fines específicos (15).

Actualmente los paradigmas (*front end*) de diseño y programación sobre estos sistemas y, de forma general, para la programación, se encuentran en los *Cyber-physical Systems (CPS)* (16): sistemas ciber-físicos (*CPS*) es la sinergia del mundo físico con el mundo cibernético. El objetivo final es lograr una mejor calidad de vida mediante el monitoreo y control, del mundo físico en el que vivimos utilizando las capacidades del mundo cibernético (17) e *Internet of Things (IoT)* (18): una de las definiciones que se acota perfectamente a “*Internet of things*” es la indicada por *Altimeter Group* donde se define como la interconexión y la interacción de lo digital y el mundo físico, en el que la Tecnología permite integrar “cosas” físicas a las redes de información a través de infraestructuras de Internet existentes y emergentes. Es decir, IoT es una plataforma para conectar personas, objetos, y entornos para informar y permitir la visibilidad, compromiso y la innovación. (19)

Los CPS representan una nueva generación de sistemas empotrados que deben controlar diferentes objetos y sistemas de manera escalable, distribuida y descentralizada. En ellos se hace particular énfasis en los aspectos de comunicación mediante los protocolos estándar de TCP/IP. Respecto de los aspectos computacionales estos nuevos sistemas empotrados deben tener capacidad multitarea. Este requisito viene dado por la necesidad de atender la comunicación con sensores/actuadores, en muchos casos a través de buses con otros dispositivos y con la interfaz de usuario, así como de la ejecución con restricciones de tiempo real.

Estos aspectos han aumentado la complejidad de los sistemas empotrados. A este respecto, cada vez es más adecuado el empleo de plataformas *hardware* previamente desarrolladas. Un primer paso son aquellas con microcontroladores y sin sistema operativo como Arduino.

Arduinos

El Arduino nace como un proyecto para estudiantes en el Instituto IVREA, en Ivrea (Italia). Desde entonces numerosos investigadores y, sobre todo, empresas multinacionales de *hardware* y *software* se han sumado mediante colaboraciones al proyecto Arduino. Por poner solo un ejemplo, Google colaboró en el desarrollo del Kit Android ADK (*Accessory Development Kit*), una placa Arduino capaz de comunicarse directamente con teléfonos móviles inteligentes bajo el sistema operativo *Android* para que el teléfono controle luces, motores y sensores, conectados a Arduino.

El concepto de sistema *hardware/software* abierto impregnó a Arduino desde su nacimiento, incorporando la facilidad *Plug and Play*, también escrito como *Plug&Play* (en español conectar y usar), también conocida por su abreviatura "PnP", es la capacidad de un sistema informático de configurar automáticamente los dispositivos al conectarlos. También la tecnología de un dispositivo que permite conectarlo al ordenador y utilizarlo inmediatamente, sin un proceso previo de configuración, aspecto este que no debe confundirse con que no necesite la instalación de controladores, los que, en la mayoría de los casos, son instalados y configurados automáticamente por el Sistema Operativo y su

capacidad de trabajo con todas las plataformas informáticas tales como MacOSX, Windows y GNU/Linux. (20)

Arduino es el elemento ideal como prototipo en el ámbito de la instrumentación y el control, ya que soluciona de manera sencilla todo el lazo de control, desde la adquisición de señales procedentes de los sensores de la planta hasta, incluido el controlador, las señales de control hacia los actuadores de la misma.

Desde 2005 la potencia y capacidades de Arduino no han dejado de crecer y todo a un precio asequible casi para cualquier usuario. En medio se dispone de todo tipo de *kits Plug and Play* con la plataforma base e incluso completísimas plataformas robóticas con facilidades incorporadas a bajos precios.

Arduino está permitiendo sin duda que el costo y la complejidad electrónica/informática no sean las barreras para desarrollar proyectos de instrumentación, control, robótica, etc. Esto está permitiendo que los estudiantes puedan plantearse la realización de proyectos reales que hasta ahora eran impensables. Además, se pueden utilizar junto a aplicaciones de libre distribución que sirven de soporte en el proceso de desarrollo de proyectos de ingeniería, con énfasis en la implementación de lazos de control de altas prestaciones, cubriendo los diferentes elementos involucrados en un lazo de control moderno.

Con el empleo de Arduino, se cubren aspectos avanzados que permiten abordar cualquier proyecto de diseño con éxito, al combinar herramientas *software* de programación y simulación con el conocimiento de un extenso conjunto de elementos *hardware*.

Arduino es un proyecto y no un modelo concreto de placa, lo que quiere decir que compartiendo su diseño básico se pueden encontrar con diferentes tipos de placas. Las hay de varias formas, tamaños y colores para las necesidades del proyecto en el que se desee trabajar, las hay sencillas o con características mejoradas, Arduinos orientados al Internet de las Cosas o la impresión 3D. En la figura 1.1 se muestran ejemplos de placas microcontroladoras Arduino.



Arduino UNO

Arduino Mega

Arduino Leonardo

Figura 1.1 Ejemplos de placas microcontroladoras Arduino (21)

Además, las placas Arduino también cuentan con otro tipo de componentes llamados Escudos (*Shields*) o mochilas. Se trata de una especie de placas que se conectan a la placa principal para añadirle una infinidad de funciones, como GPS, relojes en tiempo real, conectividad por radio, pantallas táctiles (Displays de Cristal Líquido o LCD), placas de desarrollo, y una larguísima lista de elementos. Ejemplos de ellos se muestran en la figura 1.2.



Módulo con fotorresistencia KY-018

Módulo con relé KY-039

Sensor de movimiento

Figura 1.2 Escudos y elementos que incorporan las placas Arduino (22).

La enorme flexibilidad y el carácter libre y abierto de Arduino hacen que se pueda utilizar este tipo de placas prácticamente para cualquier cosa, desde señales lumínicas con LED, hasta básculas conectadas, pasando por robots, persianas controladas por voz y muchas aplicaciones en el desarrollo de nuevas tecnologías.

En el caso particular de Arduino, las aplicaciones pueden ser escritas en cualquier lenguaje de programación disponible para su microcontrolador AVR.

Proyectos sobre Arduino en Cuba y el mundo

Existen multitud de entornos de aplicación de Arduino: automatización industrial, domótica, herramienta de prototipo, plataforma de entrenamiento para aprendizaje de electrónica, tecnología para artistas, eficiencia energética, monitorización, adquisición de datos, DIY, aprendizaje de habilidades tecnológicas y programación, etc. (23). Es por eso que en el mundo se han podido realizar múltiples proyectos con esta plataforma, algunos ejemplos de estos son:

1.- Diseño de un Sistema de Adquisición de Datos Ultrasónicos orientada a aplicaciones Biomédicas, realizado por David J. Santos Llave (Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú), Roberto Lavarello Montero (*University of Illinois at Urbana Champaign IL 61801, Urbana, Illinois, USA*) y Benjamín Castañeda Aphan (*University of Rochester NY 14627, Rochester, New York, USA*). Este consiste en el diseño e implementación de un sistema de generación y adquisición de señales de ultrasonido en el rango de los Megahertz. Ambos sistemas han sido desarrollados considerando las características de señales utilizadas en aplicaciones médicas convencionales de ultrasonido (24).

2.- Sistema Arduino en la Automatización de Sistemas de Riego, realizado en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. El propósito general de esta investigación es integrar la tecnología de la placa Arduino a los sistemas de riego con la finalidad de mejorar el control del agua en el riego, evitar el desperdicio y el mal uso de este líquido tan vital (25).

3.- Diseño de un vibrómetro con Arduino y Simulink realizado en conjunto de: Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba, Ecuador e Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría. La Habana, Cuba. El que consiste en el diseño, simulación e implementación de un vibrómetro, medidor de velocidad, de aceleración, de fase o frecuencia, para medir la frecuencia oscilatoria de una estructura en particular (incluyendo la corteza terrestre) en un rango amplio. Un instrumento de bajo costo que podría medir la frecuencia de las oscilaciones de la corteza terrestre (26).

Cuba, no está ajena a este desarrollo, cuenta actualmente con proyectos de instalaciones domóticas, como, por ejemplo: el sistema de gestión técnica centralizada para el control del clima y la iluminación del bloque habitacional del hotel Capri (27) y el control en tiempo real, a través de un programa, del sistema de iluminación del Complejo de Investigaciones Tecnológicas Integradas (CITI) (27), ubicado en las áreas de la Universidad Tecnológica de la Habana. En varias universidades del país se han realizado trabajos sobre el proyecto Arduino, tales como: Diseño de un sistema de control domótica basado en la plataforma Arduino, de la Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echeverría. (27). El Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de República del Salvador compartió conocimientos sobre robótica educativa y Arduino como parte de una colaboración con la UCI (Universidad de Ciencias de la Información) de Cuba, donde se desarrolló un taller sobre el uso de Arduino o placas electrónicas que actúan como cerebro de un robot, las cuales se pueden construir y ampliar con elementos electrónicos distintos. De esta manera, se desarrollaron ejemplos básicos con el uso de la tarjeta *breadboard*, con conectores de lagarto y componentes electrónicos, conectores de cable de reciclaje y otros (28).

En Camagüey, también se realizan eventos para promover esta nueva tecnología. Uno de ellos fue el encuentro realizado en la filial camagüeyana de la FRC (Federación de Radioaficionados de Cuba) con la presencia de los Ingenieros Olemis Lang Camina y Pavel Milanés Costa, conferencia teórica sobre estas populares placas de desarrollo de dispositivos digitales e interactivos, todo un taller, que incluyó prácticas del funcionamiento de estos, con simulaciones de circuitos dominados por *software*; circuitos compuestos por LED (*Light Emitting Diode*, en español: Diodo Emisor de Luz). Al final de este instructivo se demostraron varias aplicaciones con Arduino que han desarrollado estos ingenieros: el primero fue un singular instrumento desarrollado a partir de esta tecnología y que permite saber con exactitud a qué frecuencia resuena una determinada antena, como número dos un equipo de medición multipropósito, capaz de entregar valores exactos de frecuencia y potencia real de cualquier equipo bajo prueba. También se mostró un circuito elaborado a partir de un Arduino, que puede sustituir al circuito de control y al generador de frecuencia

de muchos de los transceptores de alta frecuencia que hoy operan varios de los radioaficionados a lo largo del país, y por último, se presentó un vehículo en miniatura, un juguete que puede ser manejado por control remoto y que sus tele-comandos están desarrollados a partir de esta tecnología, es decir, tanto la recepción, como la trasmisión de las distintas órdenes para “manejar” al pequeño auto (29).

En la universidad de Camagüey se han desarrollado múltiples trabajos de diplomas referentes a esta tecnología (Arduino). A continuación, se muestran varios ejemplos:

-Trabajo de Diploma desarrollado por José Luis Pérez Álvarez (2017) dedicado a un sistema de protección de baja tensión con Placa microcontroladora Arduino y tenía como objetivo diseñar un prototipo de protecciones eléctricas que integre los diferentes tipos de protecciones, sobre la base de una placa microcontroladora Arduino, para la enseñanza de esta temática (14).

-Trabajo de Diploma de Erichel Espinosa Almanza (2018), dedicado al rediseño del controlador automático de una máquina de soldar por puntos. En el trabajo se abordaron las tareas acometidas para la recuperación de una máquina de soldar por puntos de procedencia rusa, modelo MTP, del año 1990, perteneciente al taller de soldadura de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Camagüey. (12)

Estos trabajos han sido desarrollados en universidades e instituciones científicas de forma independiente y con recursos propios; por lo que se hace necesario, potenciar, desarrollar e incentivar el uso de medios de enseñanza que formen a un profesional con los conocimientos teóricos –prácticos básicos para que pueda entender y trabajar con esta tecnología, y que, en el futuro laboral; diseñe, ejecute mantenimientos, e inversiones relacionadas con este tema.

Enseñanza de los sistemas empotrados

Generalidades sobre la enseñanza de los sistemas empotrados a nivel mundial

El público educativo requiere de un enfoque diferente en su proceso de aprendizaje, en el cual las nuevas tecnologías sean incluidas como parte fundamental para el desarrollo de

actividades escolares. Si bien, mantener a los alumnos motivados y comprometidos con el estudio es todo un reto, la inclusión de diversas tecnologías logrará que este proceso comience con esta ardua labor de atraer la atención de los alumnos y dé resultados positivos (15).

El aprendizaje cooperativo/colaborativo juega un papel fundamental en este ámbito, como metodología activa. En ella se incentiva el trabajo en grupo, entendiendo que la resolución de problemas “en sociedad” es un marco perfecto de cara a la preparación de futuros profesionales. La adopción de una metodología que sigue estas ideas, como es el aprendizaje basado en proyectos (*PBL*, del inglés *Project Based Learning* y *Problem Based Learning*), está siendo fundamental para abordar muchas materias, y entre ellas, a las conducentes a la obtención de los títulos en ingenierías. Según algunos especialistas, pequeños cambios en la metodología seguida, pueden ayudar enormemente al alumno a seguir de una mejor manera las asignaturas.

La enseñanza de sistemas empotrados es cada vez más importante dentro de la formación de los futuros ingenieros en informática, automática o electrónica (9). Estos sistemas constituyen una materia que se presta bien a asignaturas orientadas a proyectos, donde los alumnos deben construir “artefactos” en vez de realizar prácticas de laboratorio más o menos guionizadas. Esto aumenta el nivel de complejidad de las asignaturas que imparten dicha materia, especialmente para alumnos con menores conocimientos de programación. Incluso, en aquellos con dichos conocimientos, el tiempo de desarrollo, un recurso siempre escaso en cualquier asignatura, y en especial, bajo las condiciones del nuevo Plan de Estudio E, puede ser grande. El modelo de programación de Arduino facilita la programación multitarea y la comunicación entre dispositivos. En especial, el sistema embebido Arduino UNO, basado en el microcontrolador ATmega328, permite realizar aplicaciones académicas, con un excelente desempeño técnico que incluye, entre otros, características como su bajo costo y que sus componentes Analógicos/Digitales permiten leer hasta 7 canales de datos, tienen 14 pines de entradas/salidas digitales (de los cuales 6 pueden utilizarse como salidas PWM emulando una salida analógica de nivel variable), 6

entradas analógicas. Este microcontrolador de la compañía Atmel, cuenta con 32KB de memoria flash, 126 KB de memoria RAM y 1KB de memoria EEPROM, es decir, tiene capacidad de memoria suficiente para desarrollar aplicaciones complejas de adquisición de datos y control.

Arduino puede utilizarse para desarrollar objetos interactivos autónomos como prototipos o, interaccionar con *software* instalado en la computadora. Las placas pueden montarse a mano o adquirirse. El IDE es libre que puede descargarse gratuitamente. Al ser open hardware, tanto su diseño como su distribución son libres. El alumno cuenta con un apoyo importante cuando empieza a investigar (actividades de clase como parte de su formación y estrategia del profesor) sobre la programación con Arduino, la comunidad, la cual no solo está compuesta por ingenieros y científicos sino también por gran cantidad de artistas y aficionados a la electrónica y, es parte de una creciente tendencia hacia el desarrollo de *hardware/software open source* por parte de revolucionarios tecnológicos privados conjuntamente con empresas que comercializan *kits* de electrónica (15).

El empleo de estas plataformas en la enseñanza en ingeniería ha sido estudiado en diversos trabajos. (27) (24). Además de su bajo costo, su principal ventaja es tener una gran comunidad de usuarios detrás, por lo que hay disponibles multitud de tutoriales, herramientas, ejemplos de uso, librerías y *hardware* de E/S.

Enseñanza de sistemas empotrados en la Universidad de Camagüey

En la Universidad de Camagüey el estudio de sistemas empotrados se evidencia a través de las asignaturas de Microcontroladores y Electrónica donde se obtienen los conocimientos necesarios para su comprensión y uso. El tema reviste una importancia superlativa para el estudiante de pregrado que debe al graduarse, estar dotado de una preparación acorde al rápido desarrollo tecnológico experimentado en el mundo en los últimos tiempos. Mediante el uso de laboratorios existentes en estas disciplinas se van creando habilidades teórico-prácticas, proporcionando al estudiante una preparación para poder enfrentarse a trabajos de diploma que traten sobre dicho tema, algunas incursiones se pueden encontrar en los

trabajos de diploma de: Orlando Febles Casanovas (2016) Diseño de Dispositivo de Compensación Automático de Energía Reactiva Experimental , con el objetivo de realizar el diseño de un prototipo didáctico de compensación automático de energía reactiva escalonado utilizando una placa microcontroladora Arduino, con el fin de facilitar el estudio del proceso de la compensación de energía reactiva; René David Cirión Soto(2018) Sistema rectificador controlado motor conectado con “Arduino”,que tiene como objetivo elaborar una interfaz compacta que permita el control del sistema rectificador controlado motor a través de un ordenador; Erichel Espinosa Almanza (2018) Rediseño del controlador automático de una máquina de soldar por puntos, con el objetivo de recuperar una máquina de soldar por puntos de procedencia rusa, modelo MTP, del año 1990, perteneciente al taller de soldadura de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Camagüey. El tema ha sido poco explotado y en general en la Universidad de Camagüey existen carencias en el desarrollo de sistemas empotrados; es por esta razón que este trabajo de diploma pretende incrementar el uso de estas tecnologías por los estudiantes a través de un medio de enseñanza-aprendizaje que le permita incursionar y desarrollar nuevas habilidades con el fin de ampliar sus conocimientos e incentivar un mayor estudio sobre el tema, logrando una mejor asimilación y preparación del estudiantado.Luego de investigar y estudiar los puntos relacionados con este capítulo se puede concluir que: Dentro de los sistemas empotrados la plataforma Arduino es de gran aplicación tecnológica y factible de desarrollar su uso en Cuba, en la universidad de Camagüey hay carencia de medios que motiven su uso, se hace necesario promover iniciativas dentro del Ministerio de la Educación Superior que contribuyan a la introducción y desarrollo de sistemas de enseñanza- Aprendizaje en las universidades con el objetivo de graduar profesionales actualizados técnica y tecnológicamente.

Herramienta pedagógica como instrumento metodológico para el estudio de microcontroladores Arduino.

Elementos constructivos de la herramienta didáctica

Como soporte para la utilización y aplicación práctica de esta plataforma y sus componentes; se montaron en dos placas de acrílico, los diferentes elementos con los accesorios necesarios para cada proyecto propuesto. Esta placa se fijó a una estructura de madera (mesa) que fue diseñada con el objetivo de formar dos puestos de trabajo independientes (medio de enseñanza). La investigación previa fue orientada a desarrollar una “mesa” que cumpliera con determinadas características: Materiales de uso común y fácil adquisición, Fabricación sencilla, Peso ligero y de fácil traslado, Dimensiones optimizadas, Bajo costo, con el objetivo de generalizar su fabricación.

En esta “mesa” pueden trabajar (estudiar) dos alumnos o equipos de alumnos simultáneamente, realizando prácticas (proyectos) diferentes en un espacio reducido, por lo que de existir varios de estos puestos de trabajo en cada universidad (en pequeños laboratorios) se optimiza el tiempo de realización de prácticas docentes y con ello, el tiempo de aprendizaje, aspecto muy importante con la aplicación de los nuevos planes de estudios superiores y una de las razones de este trabajo.

También como ya se menciona en el anterior capítulo, forma parte de la motivación y la creación de las bases para proyectos futuros que incentiven el desarrollo de nuevos conocimientos y de mejores profesionales. La foto del puesto de trabajo se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1 Foto del puesto de trabajo

Otro aspecto importante para lograr el éxito del trabajo, es el estudio de temas y materiales que lo complementan, además de los que forman parte de los programas de estudio de la especialidad, incluyendo el intercambio de conocimientos con otras facultades, así como la investigación en los sistemas de redes (internet, intranet, etc.) existentes. A esta herramienta también se anexa un manual que contiene didácticamente las especificaciones y orientaciones necesarias para desarrollar exitosamente las prácticas, que, como consecuencia optimizan el proceso de enseñanza-aprendizaje, incentivando además, el interés por las nuevas tecnologías y la creación de nuevos proyectos. El manual tiene la siguiente estructura:

3.1.- Introducción	¡Error! Marcador no definido.
3.2.- Ejemplos de proyectos	¡Error! Marcador no definido.
<i>Proyecto 1 LED (Diodo Emisor de Luz)</i>	¡Error! Marcador no definido.
I.- Descripción general	¡Error! Marcador no definido.
II.- Componentes requeridos	¡Error! Marcador no definido.
III.- Descripción de los componentes.....	¡Error! Marcador no definido.
IV.- Orientaciones para realizar la práctica.....	¡Error! Marcador no definido.
V.- Recomendaciones.....	¡Error! Marcador no definido.
VI.- Esquema eléctrico y Simulación.....	¡Error! Marcador no definido.
VII.- Programación.....	¡Error! Marcador no definido.

Conclusiones

Se puede decir de este trabajo que: aporta un nuevo medio de enseñanza-aprendizaje para la docencia y la investigación en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Camagüey y un sistema de prácticas de laboratorio y proyectos de investigación sobre esta mesa inteligente para el desarrollo de aplicaciones propias de la carrera de Ingeniería Eléctrica de gran importancia para el perfil del ingeniero Electricista. La mesa inteligente:

Contribuye a la adquisición de conocimientos y habilidades para el diseño y programación de sistemas electrónicos empotrados en aplicaciones del perfil de la Ingeniería Eléctrica el pregrado y el postgrado. Con su uso el público educativo tendrá un enfoque diferente en su proceso de aprendizaje, en el cual las nuevas tecnologías sean incluidas como parte fundamental para el desarrollo de actividades escolares. La inclusión de diversas tecnologías logrará en este proceso atraer la atención de los alumnos y dar resultados positivos. Un marco perfecto de cara a la preparación de futuros profesionales. La adopción de una metodología que sigue estas ideas, optimiza el tiempo y el espacio de desarrollo del estudiante, un recurso siempre escaso en cualquier asignatura, y en especial, bajo las condiciones del nuevo Plan de Estudio E. La necesidad de autopreparación previa en diferentes temas afines, el espacio reducido que ocupa y la posibilidad de trabajo simultánea; justifican esta optimización. Por ser de gran aplicación para el proceso enseñanza-aprendizaje, fácil fabricación y bajo costo es factible de desarrollar su uso en Cuba.

Referencias bibliográficas

- Guevara, E. *Che Guevara*. [En línea] 5 de abril de 2014. [consulta: 15 de diciembre de 2018.] Recuperado de: <http://www.hey-che.com/frases-de-che-guevara>
- Morales, J. D. (2018) *Aplicación de la tecnología educativa a la disciplina de los Circuitos Eléctricos y Mediciones*. Memoria de ingeniería. Universidad de Camaguey, Cuba.
- Castro, F y Hart, A. *Ley de Reforma Universitaria de 1962*. [En línea] La Habana, Cuba: MES, 10 de enero de 1962. Recuperado de: https://www.ecured.cu/Ley_de_Reforma_Universitaria
- Asamblea Nacional del Poder Popular. *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución*. [En línea] La Habana: PCC, 18 de abril de 2011. Recuperado de: <http://www.cuba.cu/gobierno/documentos/2011/esp/1160711i.pdf>
- Gomero, L. (2017). *Sistema de entrenamiento para el estudio del 8051*. Memoria de ingeniería. Universidad de Camaguey. Cuba.

- Ramos, J. .D. (2018). *Modernización de prácticas de laboratorio de Electrónica digital*. Memoria de ingeniería. Universidad de Camaguey. Cuba.
- Roque, E.L. (2018). *Sistema de prácticas de laboratorio de Microcontroladores*. Memoria de ingeniería. Universidad de Camaguey., Cuba.
- Pollé, D. (2018). *Sistema de entrenamiento sobre FPGA*. Memoria de ingeniería. Universidad de Camaguey, Cuba.
- Catalán, C y Blesa, A. Enseñanza de sistemas empotrados: De Arduino a Raspberry Pi. *Actas de las XXII Jenui*. [En línea] Almería, 8 de Julio de 2016. ISBN: 978-84-16642-30-4. Recuperado de :<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/90524/43%20-%20Ensen~anza%20de%20sistemas%20empotrados-%20De%20Arduino%20a%20Raspberry%20Pi.pdf>
- Arduinos. [En línea] 2019. Recuperado de :<http://www.Arduino.cc>.
- Espinosa, E. (2018) *Rediseño del Controlador Automático de una máquina de soldar por puntos*. Memoria de ingeniería. Universidad de Camaguey. Cuba.
- Pérez, J. L. (2017) *Sistema de Protección de baja tensión con placa microcontroladora Arduino*. Memoria de ingeniería. Universidad de Camaguey, Cuba, 2017.
- Santiago, L. (2014). Modelo de aprendizaje basado en proyectos en la enseñanza introductoria de la asignatura de Electrónica y el lenguaje de programación del sistema embebido Arduino. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*. n 2 ISSN: 2007 - 8412. Recuperado de :www.pag.org.mx/index.php/PAG/article/download/214/262
- Ragunathan, R., Insup, L., Luis, S. y John, S. (2010). *Cyber-physical Systems:The next computing revolution*. Design Automation Conference. California, USA. Recuperado de: <https://www.cs.virginia.edu/~stankovic/psfiles/Rajkumar-DAC2010-Final.pdf>
- Universidad Pontificia Bolivariana. (s/f) *CPS-Cyber-Physical Systems*. Universidad Pontificia Bolivariana. Disponible en:

<http://www.adimenlehiakorra.eus/documents/29934/43025/CPS+Cyber-Physical+Systems.pdf/1651f25b-4767-4982-9267-e2d2ee41ed8f>

Jayavardhana, G.; Rajkumar, B.; Slaven, M.; Marimuthu, P. (2013). *Future Generation Computer Systems. Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions*. Recuperado de [:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X13000241](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X13000241)

ÍNCIPY. (2015). *Internet of Things (IoT) en la transformación digital de las empresas*. España. Disponible en: <https://www.fundacionseres.org/Lists/Informes/Attachments/987/150923%20internet-of-things.pdf>.

ECURED. (2011). *Plug and Play*. Cuba. Recuperado de: https://www.ecured.cu/Plug_and_Play

PIGRA. (2014). *Catálogo de productos pigra*. Comercial group S.A de C.V. Recuperado de: http://www.pigra.com.mx/assets/catalogo_pigra2014.pdf

AG ELECTRÓNICA S.A. (2017). *Kit de sensores y actuadores compatibles con Arduino*. República del Salvador. Recuperado de: <http://www.agspecinfo.com/pdfs/K/KITSENAT.PDF>.

Aprendiendo Arduino. (2019). Recuperado de: <http://www.txorierri.net/Arduino-aplicado-a-la-automatizacion-industrial/>

Santos, D. J ; Lavarello, R y Castañeda, B. (s/f). *Diseño de un Sistema de Adquisición de Datos Ultrasónicos Orientado a Aplicaciones Biomédicas*. Recuperado de: <https://docplayer.es/28119128-Dise%C3%B1o-de-un-sistema-de%20adquisicion-de-datos-ultrasonicos-orientados-a-aplicaciones-biomedicas.html>

Cervantes, W.R ; Santana, L.A y Molina, B.A. (2016). Arduino en la automatización de los sistemas de riego. *Revista Colombiana de computación*. Universidad Autónoma de Bucaramanga. Vol. 17, n. 2. Colombia Recuperado de

<http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/6356/José%20Armando%20Carrazana%20Pérez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Altamirano, E.V , Vallejo, G.E y Cruz, J.C. (2016). Diseño de Vibrómetro con Arduino y Simulink. Enero-diciembre 2016, n. 9 Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/320917587_Disenio_de_vibrometro_con_Arduino_y_Simulink

Canasí, M ; Rodríguez, Y ; Mani, M.S ; Rodríguez, A y Moya, A. A. (2018). *Diseño de un Sistema de Control Domótico basado en la plataforma Arduino*. La Habana. Recuperado de: <http://www.informaticahabana.cu/sites/default/files/ponencias2018/ELE27.pdf>

Portal de Transparencia. (2015). *MINED comparte conocimientos de robótica con Cuba*. [En línea] El Salvador: Ministerio de educación, ciencia y tecnología. Recuperado de: <https://www.mined.gob.sv/index.php/noticias/item/7445-mined-comparte-conocimientos-de-robótica-con-cuba>

Federación de Radioaficionados de Cuba. (2018). *Encuentro Técnico en Filial de Camaguey*. Camaguey. Cuba. Recuperado de: <https://www.frcuba.cu/filiales-grupos/camaguey/nuevo-encuentro-tecnico-en-la-filial-camagueeyana.html>