

AUTOMATIZACIÓN DE EXPERIMENTOS CON ARDUINO

AUTOMATION OF EXPERIMENTS USING ARDUINO

J. A. LESTEIRO-TEJEDA^a, D. HERNÁNDEZ-DELFIN^a, A. J. BATISTA-LEYVA^{a†}

a) Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), Universidad de La Habana, Cuba; abatista@instec.cu

† autor para la correspondencia

Recibido 15/10/2017; Aceptado 30/10/2017

La experimentación es base fundamental del método científico. La realización de experimentos precisos y exactos sirve para ganar conocimiento del Universo, esencial tanto para la formulación de nuevas teorías como para comprobarlas, una vez formuladas. Una tendencia contemporánea es la automatización de las instalaciones experimentales, lo que garantiza la repetitividad de las condiciones de realización del experimento, así como una flexibilidad extrema en el diseño de las mediciones. Un aspecto que no debe soslayarse es el costo de las instalaciones. En la presente contribución discutimos elementos del plan de estudios de las carreras de ciencias e ingeniería del InSTEC relacionados con la experimentación. Luego discutimos brevemente la arquitectura y programación de un micro-controlador Arduino, centrándonos en la automatización de algunas prácticas de laboratorio de Física General para estudiantes usando dichos dispositivos. Por último, discutimos los beneficios potenciales para el desempeño profesional del graduado, así como para sus competencias profesionales.

Experimentation is an essential component of the Scientific Method. Performing precise and exact experiments creates knowledge about the Universe, key for the formulation of new theories and for testing them, once they are formulated. Trending in modern experimental physics is the design of automatized measurement installations, which guarantees the constancy of experimental conditions, as well as an extreme flexibility in the measurement's design. Keeping low the cost of the equipment is something very important. University curricula on experimental physics must be adapted to these requirements if we want to graduate professionals well fitted to modern science and industry. In the present contribution we first discuss the experimental objectives in the curricula of the students at InSTEC, University of Havana. Then we analyze the use of Arduino based devices in the automation of some laboratory experiments and finally discuss the potential benefits for the professional performance and professional competences after graduation.

PACS: Computers in experimental physics, 07.05.-t; Design of experiments (computers), 07.05.Fb; Laboratory experiments and apparatus, 01.50.Pa; Physics education laboratory experiments, 01.50.Pa; Control devices, 07.07.Tw

I. INTRODUCCIÓN

La experimentación constituye un componente esencial de la Física. Es a través de la interacción con el entorno que se adquieren los conocimientos del comportamiento de las magnitudes físicas y sus interrelaciones que, luego de un proceso de abstracción, se convertirán en leyes y teorías físicas. Y es a través de experimentos que las predicciones de dichas teorías se contrastan con la realidad para precisar sus límites de validez y campos de aplicación.

Esta es la razón por la cual en el currículo de Física General para estudiantes de ciencias naturales e ingeniería los laboratorios tienen tanta importancia. En ellos los estudiantes adquieren habilidades en el diseño, realización y procesamiento de datos de experimentos que de alguna forma inciden sobre la teoría que han estudiado en conferencias. Realizando experimentos toman consciencia del poder predictivo de las teorías físicas. Lo dicho anteriormente implica la necesidad de la actualización constante de dichas prácticas, atendiendo a los contenidos, métodos y procesamiento numérico de los resultados.

La ciencia experimental moderna precisa de los experimentos automatizados. Esto puede estar vinculado con la agresividad de los entornos de medición (como es usual en las ciencias nucleares), con la realización de mediciones prolongadas o en lugares de difícil acceso (típico de

las ciencias de la Tierra), con la medición de múltiples parámetros simultáneamente o con regímenes de medición complejos, por ejemplo [1]. Es así que resulta conveniente introducir la automatización de las prácticas de laboratorio con dispositivos que sean seguros, fácilmente programables y baratos.

Estas características las cumplen los micro-controladores (μ c) Arduino [2]. En la presente contribución discutimos su aplicación en la realización de algunas prácticas de laboratorio de Física General, analizando cómo puede esto influir en las competencias profesionales del graduado.

II. DESARROLLO

II.1. Importancia de la experimentación en el currículo académico

Cuando se analizan los planes de estudio de las carreras del InSTEC (y de otras carreras de ciencia e ingeniería) se percibe la importancia de la experimentación para los graduados. Así, en los modos de actuación del Físico Nuclear se explicita que "deben realizar investigaciones destinadas a mejorar la eficiencia de los procesos productivos y de servicios, montar nuevas técnicas de análisis, [...] realizar investigaciones de carácter aplicado, desarrollando [...] el procesamiento computacional de los resultados" [3].

Cuando se estudia el campo de acción del graduado, este siempre incluye la aplicación de la automatización y la computación a los diferentes objetos de trabajo. Vemos además que entre las funciones se encuentra “participar en tareas de perfeccionamiento de procesos tecnológicos y en la introducción de nuevas tecnologías, construcción de equipos y sistemas de medición automatizados, además desarrollar software y hardware.”

En el caso particular de los Físicos Nucleares se observa que un objetivo general instructivo es “Organizar el trabajo de un laboratorio experimental, diseñando, montando y utilizando instalaciones para las mediciones nucleares”. Estos aspectos se aplican igualmente a los Ingenieros en Tecnologías Nucleares y Energéticas y a los Licenciados en Radioquímica.

Esto nos dice que cualquier mejora en la enseñanza de las técnicas experimentales redundará en las habilidades profesionales del graduado, en su desempeño y sus competencias profesionales.

Una forma de hacer esto consiste en introducir la automatización de experimentos en algunas prácticas de Física General, para que los estudiantes se familiaricen con estas técnicas, y puedan utilizarlas en su vida profesional. Son muchas las formas de realizar la automatización de los experimentos. Lamentablemente una parte importante de ellas consiste en la aplicación de tarjetas de adquisición de datos sumamente costosas, lo que lo hace prohibitivo en nuestra educación superior. Una solución es el uso de placas Arduino.

II.2. Micro-controladores Arduino

Arduino (Figura 1) surgió como proyecto educativo en año 2005 y en la actualidad es la tecnología líder en el mundo DIY (Do It Yourself) [4], aunque no la única [5,6]. Esta plataforma de desarrollo está basada en el micro-controlador Atmel AVR [7] e incorpora CPU, puerto serial para intercambio de datos, memoria, pines que permiten ser configurados como entrada y salida digitales y de entrada analógicas. Los microprocesadores más usados, todos de 8 bits, son ATmega168, ATmega328, ATmega1280, ATmega8 pues estos son simples, de bajo costo y permiten el desarrollo de una gran variedad de diseños. Desde el 2012, Arduino agregó el uso del CortexM3 de ARM de 32 de bits para aplicaciones que lo requieran. A través de los puertos el μc se conecta con un grupo de sensores y actuadores.

Arduino IDE es un entorno de desarrollo integrado en el que se escribe el código que se cargará en el μc . Tiene incorporado opciones de ayuda y ejemplos que facilitan la programación. Entre otras herramientas cuenta con un monitor serial, por la cual podemos enviar instrucciones al μc y recibir los datos mientras se ejecuta el programa. Este software se puede obtener gratuitamente y para varios sistemas operativos en la página oficial de Arduino [8].

Arduino C es el lenguaje de programación en el que se escriben los códigos. Es una variante de C, con funciones y

librerías especiales para el trabajo con los μc . Existen diversas fuentes de consulta disponibles gratuitamente [8–10].

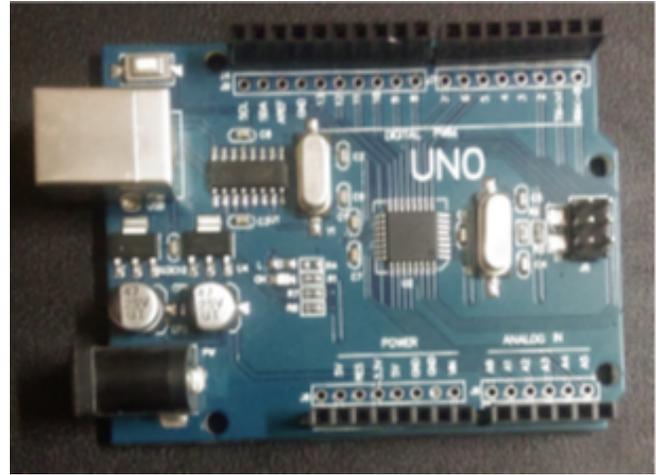


Figura 1. Foto de un modelo de Arduino (Arduino UNO) muy utilizado.

Para Arduino se pueden adquirir sensores y actuadores compatibles que permiten explotar su rendimiento al máximo asignándole disímiles tareas. Existen en el mercado diversos tipos de juegos de sensores, cubriendo una gama muy amplia (y creciente) de mediciones.

II.3. El uso de Arduino en laboratorios de Física General

A continuación describimos el uso de Arduino en un grupo de prácticas de distintas asignaturas de la Física General.

Las prácticas son:

1. Estudio de la caída libre (Mecánica)
2. Carga – descarga de un condensador (Electromagnetismo)
3. Estudio de la luz polarizada (Óptica)
4. Medición y control de magnitudes físicas (práctica conclusiva)

La idea general que siguen todas estas prácticas es la siguiente: se conecta al Arduino un sensor adecuado para medir la magnitud física de interés, al igual que cualquier salida de voltaje en caso que sea necesario y se carga un programa que controla el trabajo de todas las partes y almacena la información. Mostramos debajo un breve resumen de cómo se organiza cada práctica y describimos en más detalle la práctica 2.

II.4. Estudio de la caída libre

Se usa Arduino como contador de tiempo. El objeto se suspende de un electroimán, comenzando a caer al interrumpir Arduino la corriente de alimentación. El contador se detiene cuando un sensor de luz detecta la

interrupción del flujo luminoso que llega desde una fuente (que puede ser alimentada por Arduino). El programa entrega el tiempo que transcurre en el proceso (ver información suplementaria).

II.5. Carga descarga de un condensador

Esta práctica de laboratorio pertenece al curso de electromagnetismo y su objetivo es estudiar el proceso de carga y descarga de un capacitor para, comparando con la ecuación teórica que describe el proceso, calcular el valor de su capacidad. Como los procesos de carga y descarga son continuos, no es posible con instrumentos analógicos medir en cada momento la tensión en el capacitor. Este problema se soluciona midiendo la constante de tiempo del circuito $\tau = RC$.

En el proceso de carga, τ es el tiempo que tarda en cargarse hasta el 63% de la f.e.m. como puede calcularse a partir de la ecuación 1, que es la que rige el proceso.

$$V_C(t) = \epsilon (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (1)$$

En la descarga, considerando la ecuación del proceso:

$$V_C(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (2)$$

τ es el tiempo que tarda en llegar al 37% del voltaje inicial.

Cuando las mediciones se hacen manualmente es necesario realizar un número grande de repeticiones del experimento para poder disminuir la componente tipo A de la incertidumbre.

El uso de Arduino hace el proceso más simple y preciso. Esto se debe a que el μc puede funcionar como f.e.m. por una salida digital y como voltímetro por una entrada analógica. El circuito montado se muestra en la Figura 2.

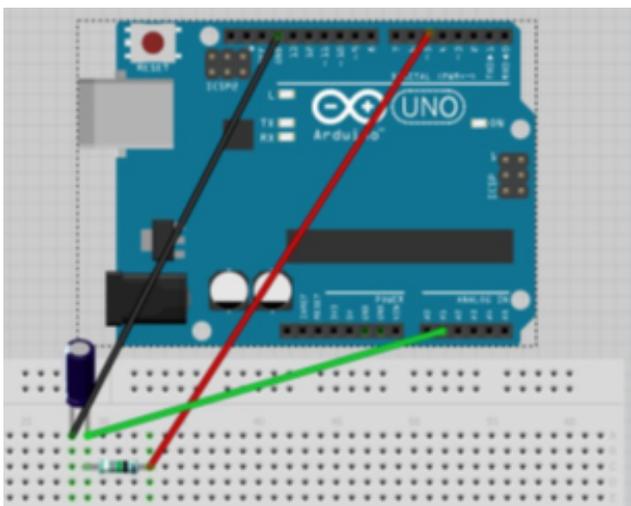


Figura 2. Modelo de prototipo para carga y descarga del capacitor (Rojo: 5V, Negro: GND, Verde: voltímetro). Véase el condensador en la esquina inferior izquierda.

Arduino puede realizar lecturas de voltaje en tiempos del orden de los milisegundos, lo que nos permite tomar

un gran número de puntos de voltaje como función del tiempo, tanto en carga como en descarga (Figura 3). Solo tenemos que decirle a la placa que si detecta diferencia de potencial en el capacitor al comenzar el proceso cierre el circuito por su interior para que se descargue a través de la resistencia. Un programa ejemplo se muestra en la información suplementaria. El programa se ejecuta de la siguiente forma.

Cuando se haya alcanzado el voltaje mínimo fijado (en este caso de 0.01 V) debe abrir el circuito convirtiendo su interior en una fuente de 5 V hasta que se alcance el voltaje máximo durante la carga (por ejemplo 4.8 V) y luego vuelve a cerrar su circuito para observar la descarga. Se fijaron estos valores límite porque teóricamente el tiempo en carga y descarga es infinito, lo que implica que el proceso puede ser innecesariamente largo.

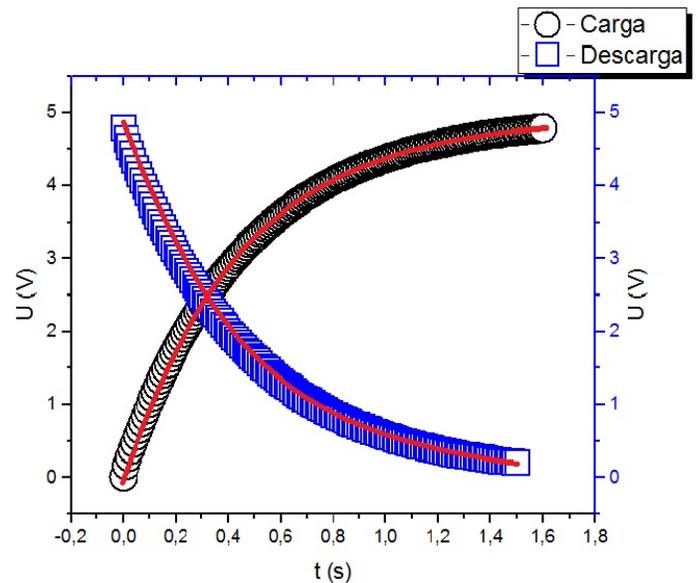


Figura 3. Voltaje vs tiempo registrado por Arduino en carga y descarga de un condensador. En ambos casos la línea continua representa el ajuste al modelo teórico.

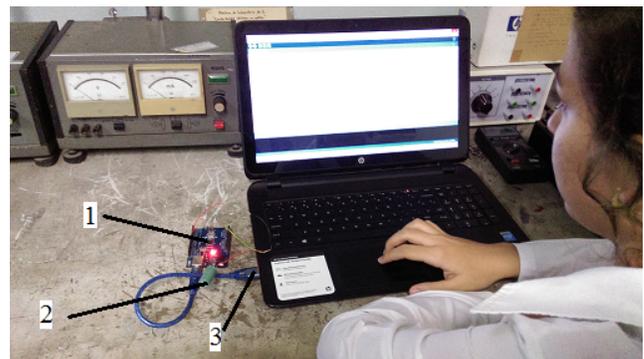


Figura 4. Montaje de la práctica en el momento de la realización. 1- Arduino funcionando, 2- Condensador, 3- Conexión USB Arduino - PC.

Los valores de tiempo se pueden recoger con la función *millis()*, que devuelve el tiempo transcurrido desde el inicio del programa. Con los datos recogidos en el monitor serial se puede hacer un ajuste a las funciones teóricas, ecuaciones 1 y 2 y a partir de los parámetros obtenidos hallar la capacidad del dispositivo con su incertidumbre.

Las mediciones se programaron con un intervalo de 10 ms, así, el Arduino tendrá tiempo suficiente para medir el voltaje. Con estos datos se obtienen valores de capacidad $C = 460(1) \mu\text{F}$ en la carga y $C = 477.4(6) \mu\text{F}$ en la descarga, comparables con los que se obtuvieron por otros métodos, incluyendo un multímetro profesional. Pero para realizar la práctica usando Arduino los estudiantes armaron el circuito, leyeron e interactuaron con el programa, capturaron los datos desde una computadora y los procesaron sin tener que tomar los datos de un instrumento.

La instalación es de una sencillez extrema, como se observa en la Figura 4.

II.6. Estudio de la luz polarizada

Esta práctica pertenece al laboratorio de óptica y su objetivo es la comprobación experimental de la Ley de Malus. Esta ley relaciona la irradiancia de la luz que emerge de un polaroide (I) con la irradiancia de la luz polarizada incidente (I_0) y el ángulo (θ) que forma el plano de vibración de la luz incidente con la dirección de polarización del polaroide:

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (3)$$

En la práctica el μc se acopla con un sensor de radiación visible (por ejemplo un fotodiodo) para medir la irradiancia de la luz que emerge. Es obvio que lo que se realiza es una medición relativa de la irradiancia, por lo que se debe calibrar la lectura del voltaje midiendo su valor a total oscuridad y a máxima iluminación.

II.7. Medición y control de magnitudes físicas

El control de diversos factores ambientales como la temperatura, la humedad y la iluminación (entre otros), es un aspecto fundamental en la vida profesional de la mayoría de los científicos, tanto para la realización de experimentos como para llevar registro de las condiciones físicas en interiores o exteriores [11, 12]. Es por eso que se propone una práctica de fin de ciclo de laboratorios de física que incluya la medición de varias magnitudes físicas simultáneamente y la emisión de señales que puedan ser utilizadas para el control. Para ello contamos con un Arduino y los sensores necesarios. En la práctica se utilizan un sensor de iluminación y otro de temperatura y humedad, pero obviamente hay múltiples posibilidades. Además por las salidas analógicas se emiten señales de voltaje respondiendo, por ejemplo, a la disminución de la iluminación por debajo de un umbral dado.

II.8. Otras prácticas de posible implementación

La versatilidad de Arduino y otros sistemas similares permite el diseño y montaje de prácticas de laboratorio que se acerquen mucho a las condiciones experimentales de los ambientes laborales más disímiles, dotando al estudiante de una herramienta casi universal de interacción y control

de dicho medio, que en el futuro pudiera convertirse en un elemento de incremento de la productividad del trabajo, no solo en el campo científico [12]. La unión de esta tecnología con las ideas del internet de las cosas [13] y la telefonía móvil [14] abren nuevas perspectivas para la experimentación cuyo límite es difícil de predecir [15–17]. Introducir estas técnicas en los laboratorios docentes es imprescindible, pudiendo resultar un elemento motivante para los estudiantes, además de ser una herramienta aplicable en los campos más disímiles, incluidas las ciencias sociales y de la conducta [18].

III. CONCLUSIONES

Las técnicas de automatización de experimentos con micro-controladores aportan a la enseñanza de la física experimental varios elementos que la hacen recomendable:

- Programar μc Arduino (vinculado con la programación en C, C++).
- Automatizar experimentos (nueva habilidad experimental).
- Familiarizarse con una tecnología novedosa, cada vez más utilizada en la ciencia y la técnica. Lo anterior redundará en nuevas competencias profesionales del graduado.

REFERENCES

- [1] R. Kwock, Field Instruments: Build it yourself, Nature 545, 253 (2017).
- [2] www.arduino.cc visitada el 29 – 05 – 2017.
- [3] Carrera de Física Nuclear, Plan de Estudios E. Ministerio de Educación Superior, Cuba (2017).
- [4] C. Vandeveld, F. Wyffels, B. Vanderborght, J. Saldien, Do-It-Yourself Design for Social Robots: An Open-Source Hardware Platform to Encourage Innovation, IEEE Robot. Autom. Mag. 24, 86 (2017).
- [5] Mejores alternativas a Arduino: del Do it Yourself al Internet de las Cosas. <https://bbvaopen4u.com/es/actualidad/mejores-alternativas-arduino-del-do-it-yourself-al-internet-de-las-cosas>. Consultado el 06/06/17.
- [6] J. M. Ruiz-Martín El crecimiento de los open sources de fabricación digital y su implementación en el media lab. De la high-tech al do it yourself. Revista Científica de Comunicación, 6, 67 (2015).
- [7] <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/default.aspx?tab=documents>, consultado el 12/10/17.
- [8] <https://www.arduino.cc/en/Guide>, <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>, bajados el 16/06/17.
- [9] J. Purdum, Beginning C for Arduino. Apress Ed. (2012) ISBN 978-1-4302-4777-7.
- [10] M. Margolis, Arduino cookbook. (O'Reilly Ed. Cambridge) Second Edition (2012).

- [11] S. D. Hicks, A. K. Aufdenkampe, D. S. Montgomery. Sensor Networks, Dataloggers, and Other Handy Gadgets Using Open-Source Electronics for the Christina River Basin. CZO. AGU2011. <http://www.stroudcenter.org/research/projects/czo/arduino.shtm>
- [12] Joshua M. Pearce, Building Research Equipment with Free, Open-Source Hardware, *Science* 337, 1303, (2012).
- [13] D. De Roeck, K. Slegers, J. Criel, M. Godon, L. Claeys, K. Kilpi, A. Jacobs, I would DiYSE for it!: a manifesto for do-it-yourself internet-of-things creation. Proceeding NordiCHI '12. Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense Through Design. Copenhagen, Denmark - October 14 - 17, 2012 ACM New York, NY, USA (2012). Pages 170-17.
- [14] A. D. Wickert, The ALog: Inexpensive, Open-Source, Automated Data Collection in the Field. *Bull. Ecol. Soc. Am.*, 95, 166 (2014).
- [15] H. Gali. An Open-Source Automated Peptide Synthesizer Based on Arduino and Python. DOI: 10.1177/2472630316685844, *SLAS TECHNOLOGY: Translating Life Sciences Innovation*. Online ISSN: 2472-6311
- [16] C. Anderson. In the Next Industrial Revolution, Atoms Are the New Bits. *Wired* Date of Publication: 01.25.10. <https://www.wired.com/2010/01/ff.newrevolution/>, consultado 06/06/2017.
- [17] A. A. Gadlima, Arduino as a learning tool. 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO), (2014) DOI: 10.1109/ICECCO.2014.6997577
- [18] A. D'Ausilio, A low cost, multipurpose lab equipment. *Behav. Res.* 44, 305 (2012).