

# Medida de variables con Arduino en la asignatura Instrumentación Electrónica

C. Rus-Casas, G. Jiménez-Castillo, A. Fernández-Solas, J. I. Fernández Carrasco,  
F. J. Muñoz-Rodríguez  
Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática  
Escuela Politécnica Superior de Jaén, Universidad Jaén, España  
Email: crus@ujaen.es

**Abstract—** La instrumentación electrónica muestra a los graduados en ingeniería las claves en la medida de variables que intervienen en los procesos naturales o industriales, así como las consideraciones teóricas y prácticas de un proceso de medida real. En este trabajo se presenta la experiencia llevada a cabo para iniciar al estudiante en la automatización del proceso de medida utilizando una tarjeta de Arduino en el proceso de calibración de un sensor de temperatura.

**Keywords—** Instrumentación electrónica; medidas automatizadas; sensores y Arduino

## I. INTRODUCCIÓN

Las universidades españolas siguen las líneas de orientación del Espacio Europeo de Educación Superior y su enfoque de formación en competencias para capacitar a los futuros ingenieros en las funciones de su profesión [1]. La docencia en ingeniería se apoya en la adquisición de competencias y coloca las prácticas de laboratorio en una posición importante que ayuda a la preparación profesional del futuro ingeniero. Esta enseñanza, basada en la solución de problemas potencia la autonomía de los estudiantes y la implicación de éstos en el proceso de enseñanza-aprendizaje [2-5].

Una de las tareas fundamentales para el estudiante en las distintas asignaturas de ingeniería electrónica en los laboratorios de electrónica es la medida de las señales. La medida de las señales que afectan a un proceso industrial es una competencia de carácter transversal para los estudiantes de la rama ingeniería industrial [6].

La capacidad de llevar a cabo el diseño necesario para realizar las medidas de una señal está considerada como una de las habilidades técnicas más deseables para los graduados de ingeniería. Este aprendizaje integrador tiene como objetivo básico que los estudiantes apliquen lo que han aprendido para poder resolver problemas más complejos. El estudiante, a lo largo de las asignaturas del grado también debe desarrollar habilidades no exclusivamente técnicas como son la capacidad de resolución de problemas, el trabajo en equipo y la comunicación; posteriormente todo esto lo aplicará en su trabajo [7], [8].

En este trabajo se presenta la experiencia llevada a cabo para iniciar al estudiante en la automatización del proceso de medida utilizando una tarjeta de Arduino en el proceso de caracterización de un sensor de temperatura.

Seguidamente se presentan dos epígrafes que recogen los ámbitos en los que se basa este trabajo, por un lado

experiencias docentes que usan plataformas hardware y software abierto y de otro lado cómo se abordan las prácticas de la asignatura Instrumentación Electrónica en diferentes universidades. Fruto de estas revisiones, los docentes implicados en este trabajo plantean iniciar en la medida automatizada de variables con Arduino en la asignatura Instrumentación Electrónica.

### A. Aplicaciones docentes realizadas con Arduino en el ámbito docente del grado de ingeniería.

En el ámbito docente hoy en día se está dando un lugar importante a los sistemas basados en software y hardware abierto gracias a iniciativas como Arduino [9]. Lejos de ser sistemas excesivamente robustos y precisos están generando una corriente de aficionados a la electrónica entre los estudiantes que los profesores universitarios deben aprovechar. Son cada vez más los profesores e incluso los investigadores que usan Arduino para desarrollar aplicaciones en todos los campos [10].

En los últimos años las plataformas Hardware-Software de código abierto han sido ampliamente utilizadas en el entorno educativo en diferentes ámbitos del conocimiento. Arduino ha permitido que se proporcionen cursos en los que se requiere poca experiencia por parte del alumnado, además, suelen estar diseñados para realizarlos remotamente desde casa [11]. No solo se plantea utilizar Arduino en las escuelas de ingeniería, sino en diferentes niveles educativos, desde edades comprendidas de los cuatro a los seis años para el aprendizaje de programación de iniciación a la robótica [12] [14], a estudiantes de institutos [13].

Arduino es una plataforma de hardware abierto basada en software y hardware fácil de usar [14]. Hay una gran variedad de plataformas Hardware-Software libre, debido a ello, hay autores que han analizado las posibilidades que ofrecen las diferentes plataformas de Hardware-Software libre (Arduino, Freedom y Launchpad), sugiriendo incluso un procedimiento para la selección más idónea de la plataforma a escoger. Aunque puede ser una tarea ardua, puesto que depende de distintas circunstancias la elección de un hardware que solucione de la mejor manera posible un problema [15].

Hay experiencias, como la descrita en la asignatura “Sensores y Procesado de Señal” del Grado en Física que ha permitido al alumnado desarrollar proyectos relacionados con la monitorización de fenómenos físicos y el control sobre determinados actuadores en función del estado de la variable a monitorizar empleando Arduino. Como resultado de esta experiencia los alumnos han realizado proyectos que permiten

controlar la temperatura en un rango óptimo, riego automático para plantas según la humedad de estas, detención de obstáculo para la navegación robótica y una traducción del color a sonido [16].

Otras experiencias abordan la formación en robótica para potenciar la innovación del alumno y la motivación de estos durante su proceso de aprendizaje con el empleo de Hardware-Software de código libre. En este caso se utilizó Arduino para controlar Robots de cuatro ruedas con un brazo manipulador y drones educativos [17].

Además, es importante resaltar cómo este tipo de plataformas, de código libre, han permitido gracias a sus características abordar metodologías de Aprendizaje Basado en Proyectos (PBL, Learning Based in Project) en cualquier asignatura del ámbito de ingeniería, consiguiendo que el alumno se implique más en su proceso de aprendizaje, ya que intenta de resolver problemas de mayor complejidad [18].

También para solventar problemas en ámbitos multidisciplinares se ha empleado Arduino con éxito. Restos académicos en los que a los alumnos se le plantean utilizar sistemas de impresión 3D de bajo coste y Arduino. Con ello, se permitió el desarrollo de competencias y habilidades [19].

Todas estas experiencias han animado a los profesores de Instrumentación Electrónica a plantear en una de las prácticas de la asignatura el uso de Arduino para la medida de temperatura y de esta forma iniciar a los estudiantes en el ámbito de los sistemas de adquisición de datos.

#### B. La asignatura Instrumentación Electrónica.

En la práctica industrial, un ingeniero en Electrónica Industrial y Automática manipula máquinas y procesos en los que se usan sensores. La correcta puesta en marcha de dichos sensores es esencial para que las máquinas y los procesos funcionen adecuadamente. De ahí que sean necesarios conocimientos de sistemas de medición e instrumentación. Medir de manera correcta ayuda a estudiar y resolver problemas de ingeniería de cualquier tipo. La formación en sistemas de medida e instrumentación está recogida en la orden CIN/351/2009 [20].

En la realización de esta trabajo, se han consultado las guías docentes de seis universidades españolas en las que se imparte la asignatura Instrumentación electrónica en la mayoría de los casos de la titulación Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática. Se trata de una asignatura obligatoria en todas las universidades consultadas. Es una asignatura principalmente de tercer curso de grado y que tiene asignados 6 créditos ECTS. El número de créditos se reparte entre 3 créditos teóricos y tres créditos prácticos. Sólo una universidad consultada asigna 4.5 ECTS.

Por este motivo en todas las universidades revisadas el número de horas de sesiones de laboratorio es grande. Este número de horas está comprendido entre 12 horas y 25 horas. Se debe matizar que en la universidad con el número menor de horas corresponde a la asignatura de 4.5 créditos ECTS.

La revisión realizada, que se muestra en la Tabla I, se ha centrado en aspectos como el tipo de evaluación llevada a cabo

y si incorporan en la asignatura una práctica de sistemas de iniciación a la adquisición de datos como es el caso de nuestra experiencia.

TABLA I COMPARATIVA DE LAS PRÁCTICAS EN LA ASIGNATURA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA EN DIFERENTES UNIVERSIDADES.

	<i>Tipo de evaluación</i>	<i>Realizan prácticas de iniciación a la adquisición de datos</i>
<b>Universidad A</b>	Evaluación continua. Actividades de evaluación final.	No
<b>Universidad B</b>	Evaluación continua. Evaluación de prácticas. Examen final. Examen de prácticas	No
<b>Universidad C</b>	Evaluación continua. Examen de evaluación final Evaluación de prácticas. Evaluación de trabajos en grupo.	Sí (Seminario)
<b>Universidad D</b>	Evaluación continua. Examen de evaluación final. Evaluación de prácticas.	Sí. <i>Actividades vinculadas:</i> <i>Entrega colección de problemas resueltos</i>
<b>Universidad E</b>	Examen de evaluación final. Trabajo académico. Pruebas objetivas (tipo test) durante cada una de las sesiones prácticas de laboratorio y dos en teoría.	No
<b>Universidad F</b>	Examen de evaluación final (100% de la nota) Memoria de prácticas para poder presentarse al examen final.	No

De las seis universidades cuya guía docente de la asignatura Instrumentación Electrónica ha sido consultada, tan solo dos incorporan un apartado específico para los sistemas de adquisición de datos. Pero sí hay que destacar que en todas las universidades consultadas se evalúa cuidadosamente el avance de los alumnos en la parte práctica. Por este motivo se ha valorado entre los docentes implicados en esta experiencia

incorporar una práctica dedicada a los sistemas de adquisición de datos que permita la integración de todos los contenidos de la asignatura, seguidamente se describe la experiencia.

II. DESCRIPCION DE LA EXPERIENCIA

Como se ha indicado anteriormente, en la actualidad la educación superior de calidad, debe tener las herramientas necesarias para desarrollar competencias en medida de señales.

Para conocer el comportamiento y evolución de las variables físicas como la temperatura, la presión, la luminosidad, el caudal, entre otras es necesario estudiar la respuesta de los sensores ante las variaciones físicas, técnicas de medida, acondicionamiento, sistemas de adquisición de datos y protocolos de comunicaciones industriales. En la tabla 2 se muestra el programa de prácticas que se lleva a cabo en la asignatura obligatoria de tercer curso Instrumentación Electrónica.

La Fig. 1 muestra el esquema llevado a la práctica en el que el estudiante pasa por todas las etapas necesarias para una correcta automatización del proceso de medida: Caracterización, acondicionamiento de señal y posteriormente procesamiento digital mediante una tarjeta de adquisición de datos para poder ser visualizada en un display o en la pantalla de un ordenador.

TABLA II. PROGRAMA DE PRÁCTICAS REALIZADO EN LA ASIGNATURA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TITULACIÓN GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL.

Programa de Prácticas	
Bloques de prácticas	Conceptos teóricos trabajados en las prácticas
P1-P2	Diseño de circuitos de medida y adaptación de señal
P3-P4	Cálculo y diseño de circuitos atenuadores, amplificadores, valor eficaz, convertidores V/I - I/V, etc. -
P5-P7	Acondicionamiento de señal: diferencial y amplificador de instrumentación discreto e integrado.
P8-P10	Diseño de sistemas de medida de variables físicas mediante transductores de temperatura, luminosidad, etc.
P11	Introducción a los sistemas de adquisición de datos: Automatización del proceso de medida

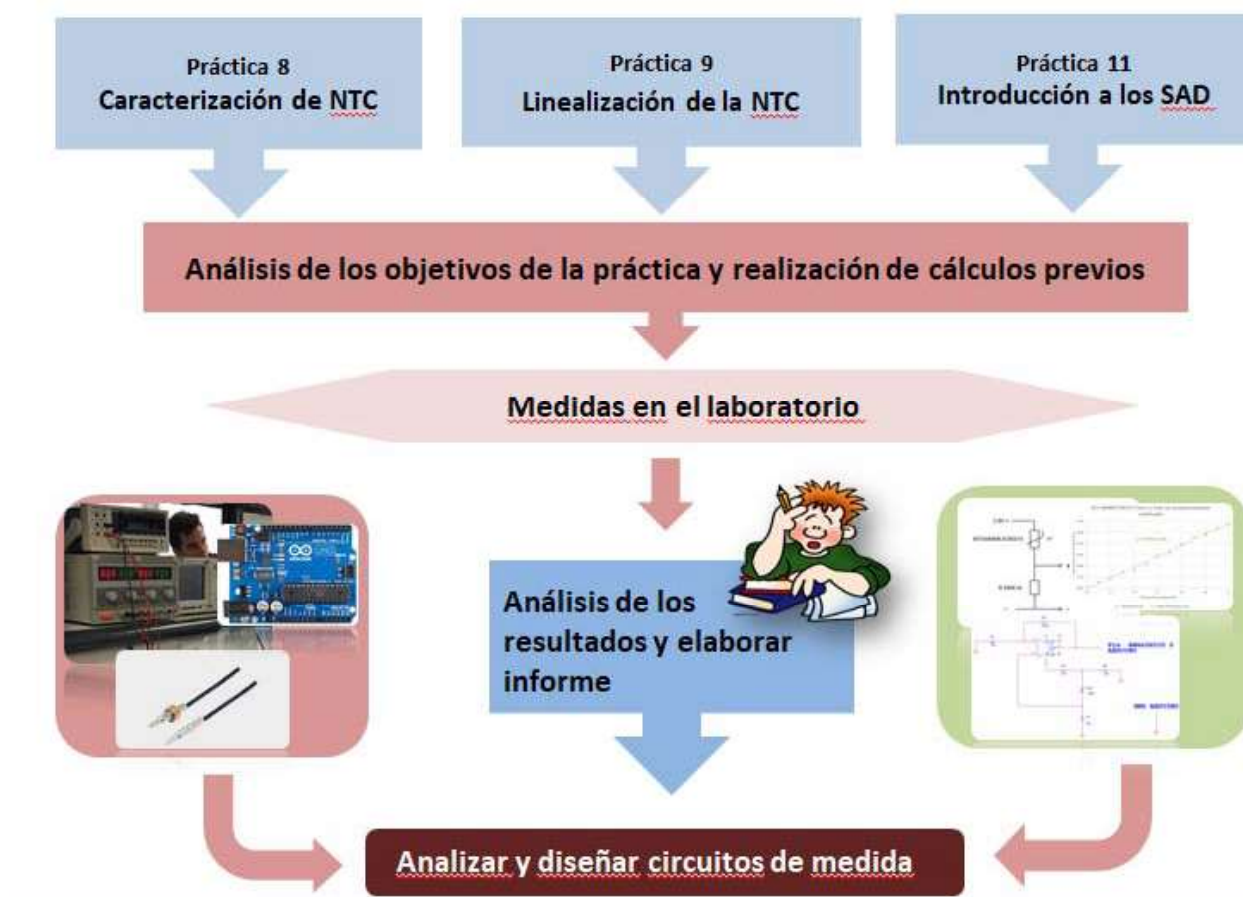


Fig. 2. Esquema de las prácticas en las que se monitoriza la temperatura con una tarjeta Arduino.

En la asignatura Instrumentación Electrónica se debe dar a conocer al estudiante el tratamiento de las señales procedentes de los sensores para poder ser medidas. Especialmente aquellas que requieren de instrumentación específica o técnicas de acondicionado. El sensor, en este caso de estudio una NTC (Negative Temperature Coefficient – coeficiente de temperatura negativo), convierte un fenómeno físico, la temperatura en una señal eléctrica medible. Este dispositivo cambia su valor de resistencia en función de la variable que se pretende medir (temperatura).

A los estudiantes de Instrumentación Electrónica se les plantean las siguientes sesiones prácticas relacionadas con este sensor

- Práctica 8 Caracterización de NTC

Objetivos:

- a) Conocer el comportamiento de un sensor de temperatura tipo NTC, caracterizando su salida dentro de un rango de funcionamiento.

$$R_T = R_0 * e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (1)$$

- b) Saber interpretar los parámetros de la hoja de características para poder realizar un diseño.
- c) Representar la curva teórica para las temperaturas que proporciona el fabricante.
- d) Comparar los valores teóricos con los que se adquieren experimentalmente en el laboratorio.

- Práctica 9 Linealización de la NTC

Objetivos:

- a) Linealizar la respuesta del sensor usando el método de la resistencia serie.
- b) Analizar la sensibilidad de un circuito.

- Práctica 11 Introducción a los Sistemas de Adquisición de Datos SAD. Adquisición de datos de temperatura empleando una NTC y una placa de Arduino.

Objetivos:

- a) Automatizar el proceso de medida de la temperatura empleando una tarjeta de Arduino y una NTC.
- b) Analizar la sensibilidad del circuito

En la práctica primera el estudiante se familiariza con el comportamiento del sensor y con los datos que el fabricante proporciona. En la segunda práctica se debe obtener la salida linealizada del sensor. Para ello será necesaria una etapa de acondicionamiento de señal.

En la última práctica se obtiene una salida en tensión proporcional a la temperatura que se está midiendo en el laboratorio que pueda ser interpretada por la tarjeta de adquisición de datos de Arduino. Es decir, las variaciones de tensión que se produzcan en el circuito deben coincidir con el

fondo de escala que presenta uno de los canales de la tarjeta de adquisición de datos de Arduino. En este sentido, para adaptar la señal de tensión de pequeño nivel generada en la primera etapa del circuito es necesario amplificarla hasta los 5V. Este valor de 5 V coincide con el valor de fondo de escala de entrada del canal analógico de Arduino.

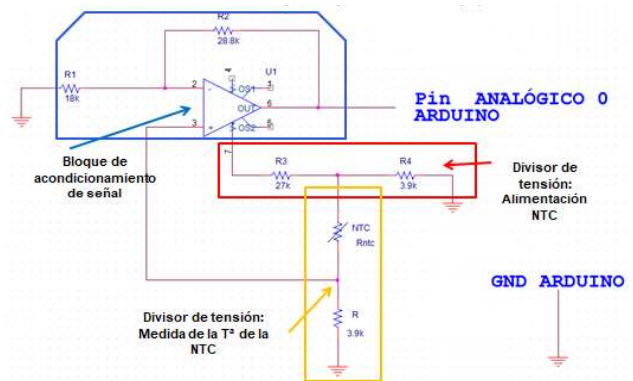


Fig. 2. Acondicionamiento de señal para monitorizar la temperatura de la NTC con una tarjeta Arduino.

De esta forma también se consigue hacer la señal más robusta frente a las posibles interferencias. Para el diseño de este bloque el estudiante debe ajustar la resolución teniendo en cuenta que el convertidor analógico digital de la tarjeta Arduino, la empleada en esta práctica tiene 10 bits.

En la asignatura, los estudiantes tienen el objetivo de adquirir experiencia sobre las características que debe poseer un sistema para medir de forma automatizada distintas magnitudes. Será en la práctica 11, en la que el estudiante convierte la señal del sensor alterada por la variación de un fenómeno físico, en este caso temperatura, en una señal eléctrica medible. Para ello diseña circuitos de acondicionamiento necesarios (linealización y amplificación) para presentarlos a la entrada de un canal de la tarjeta Arduino. Posteriormente el estudiante realizará el programa de Arduino que permita realizar medidas de manera automática de la salida del circuito diseñado y almacenará las medidas en un fichero para su posterior calibración.

Esta aplicación, desde un punto de vista didáctico integra la totalidad de los temas tratados en la asignatura. Para los estudiantes, aunque inicialmente les resulta compleja, acaba siendo motivadora para los estudiantes.

### III. RESULTADOS OBTENIDOS

En la evaluación de la asignatura Instrumentación Electrónica la parte práctica tiene un peso del 40% de la nota final. En el caso de las tres prácticas descritas en el epígrafe anterior suponen un 30% de la nota de prácticas. Para la evaluación de las prácticas se les ha definido a principio de curso una rúbrica sencilla. La rúbrica considerada en la

evaluación de todas las prácticas y tiene en cuenta aspectos como:

- Cálculos matemáticos involucrados en la práctica.
- Medidas realizadas con los instrumentos del laboratorio.
- Justificación de los resultados obtenidos.
- Cálculo de los errores.
- Conclusiones de la práctica.

La mejora del rendimiento académico de los estudiantes ha sido importante pero el equipo docente destaca la motivación de los estudiantes en su proceso de aprendizaje, ya que los estudiantes han completado las medidas propuestas con otras que no estaban planteadas en el propio guion de prácticas.

Al finalizar las prácticas se han propuesto una serie de cuestiones para conocer la opinión del alumnado. En la Tabla II se muestran dos cuestiones de carácter general en las que se pregunta al estudiante sobre su percepción del fomento de autoaprendizaje en la asignatura y sobre la efectividad de las prácticas en la comprensión de la asignatura. En este sentido los docentes destacan gratamente cómo un 82.33% de los estudiantes aprecian la conexión de los contenidos teórico prácticos, aunque algunos valorarían positivamente que en las sesiones prácticas no se emplease tanto tiempo para llevarlas a cabo.

TABLA III. CUESTIONES SOBRE LA ASIGNATURA Y LAS PRÁCTICAS EN GENERAL

Preguntas planteadas a los alumnos	Respuestas obtenidas
Cree que en la asignatura se fomenta el autoaprendizaje por parte del alumno.	1. Si: (94.44%) 2. No: (5.56%)
Creas que las prácticas te han ayudado a comprender y seguir mejor la asignatura	1. Si: (71,11%) 2. Si pero me han quitado mucho tiempo: (11.22%) 3. No (15,67%)

También se ha preguntado a los estudiantes sobre aspectos como:

- 1) Es adecuada y me ayuda a comprender bien el concepto asociado a la práctica
- 2) Está temporizada adecuadamente
- 3) La práctica me ha motivado en los contenidos de la asignatura

A estas preguntas se ha pedido que sean valoradas de 1 a 5. Las respuestas de la práctica 11, han sido recogidas en la Tabla III. Las respuestas de los estudiantes muestran la satisfacción por los contenidos planteados en la práctica 11: Introducción a los Sistemas de Adquisición de Datos SAD. Adquisición de datos de temperatura empleando una NTC y una placa de Arduino, así como por la temporización asignada y como este

tipo de prácticas del laboratorio que permiten conectar la teoría con un problema real hace que los estudiantes se motiven y aumenten su interés por la asignatura.

TABLA IV. CUESTIONARIO REALIZADO A LOS ALUMNOS DE LA ASIGNATURA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA SOBRE LA PRÁCTICA 11 EN LA QUE SE USA ARDUINO PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE MEDIDA DE TEMPERATURA

Preguntas planteadas a los alumnos	Valoración de los estudiantes				
	1	2	3	4	5
1		12%	25%	38%	29%
2	2%	6%	5%	14%	73%
3			19,7%		80,3%

Los resultados finales de la asignatura han supuesto un incremento en la nota media de los alumnos en prácticas respecto a cursos anteriores. El último bloque de prácticas también ha influido en el aumento del número de estudiantes que han elegido la asignatura optativa Sistemas de Adquisición de Datos que es la asignatura que da continuación a los contenidos de la asignatura Instrumentación Electrónica.

#### IV. CONCLUSIONES

En este artículo se muestra como los estudiantes han considerado que las competencias experimentales que se ponen en práctica son más completas. Tras realizar la caracterización del sensor de manera automática con el programa realizado con Arduino, los estudiantes consideran que son más conscientes de los resultados del aprendizaje ya que en esta práctica controlan la instrumentación, generan y procesan los datos para calibrar el sensor en estudio.

En asignaturas obligatorias, con un elevado número de alumnos en clase, como es el caso de Instrumentación Electrónica el uso de un dispositivo como Arduino hace posible la realización de prácticas complejas. Arduino, además permite realizar una práctica de bajo costo y la posibilidad de usar su software libre que no implica la adquisición de paquetes de licencias de software comercial o tener que dedicar un tiempo específico a manejar el entorno de programación

En cuanto al profesorado implicado, consideramos que la experiencia ha sido satisfactoria. La medida de variables con Arduino en la asignatura Instrumentación Electrónica ha supuesto una experiencia positiva que potencia la innovación y la motivación de los alumnos durante su proceso de aprendizaje.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Vicerrectorado de enseñanzas de grado, postgrado y formación permanente de la Universidad de Jaén la subvención del proyecto “Integración de entornos y redes personales de aprendizaje como mejora de la docencia universitaria en la ingeniería (PLE-PLN)” Plan I2D-UJA 2016

## REFERENCIAS

- [1] S. Feinman-Nemser, "Teacher learning: How do teachers learning to teach," Cochran-Smith, M; Feinman-Nemser, Sh. Y McIntyre, DJ y Demers, KE Handb. Res. Teach. Educ. Endur. Quest. Chang. Context., pp. 697–705, 2008.
- [2] L. D. Feisel and A. J. Rosa, "The role of the laboratory in undergraduate engineering education," *J. Eng. Educ.*, vol. 94, no. 1, pp. 121–130, 2005.
- [3] F.J. Muñoz, M. Torres, J.V Muñoz., C. Rus, J. D. Aguilar. And J Aguilera. Laboratorio Remoto para el Aprendizaje de los Sistemas Fotovoltaicos Autonomos. X Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAAE 2012. <http://taee.euitt.upm.es/actas/2012/navegacion/taee%202012/docs/0174-vf-000059.pdf> .
- [4] M. Torres, C. Rus, J.V Muñoz., F.J. Muñoz. Diseño de una aplicación docente para el control del equipamiento del laboratorio: PC-LAB. Revista de iniciación a la investigación. *Ini Inv*,6:a2 (2011). <http://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/ininv/article/view/555> .
- [5] M. Torres, C. Rus, J.V Muñoz., F.J. Muñoz. Desarrollo de un instrumento virtual con fines docentes para la asignatura Sistemas de Adquisición de Datos. X Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAAE 2012. <http://remo.det.uvigo.es/TAAE/imagenes/Actas/docs/0120-vf-000037.pdf>
- [6] M. A. Pérez, J. C. Campo, J. C. Antó, F. J. Ferrero, and G. Grillo, *Instrumentación Electrónica*. 2004.
- [7] D. Jonassen, J. Strobel, C. Lee, L. Technologies, E. T. Programme, L. Sciences, and T. A. Group, "Everyday Problem Solving in Engineering :," *J. Eng. Educ.*, vol. 9, no. 2, pp. 139–151, 2006.
- [8] R. J. Robinson and J. Wellin, "Introducing Data Acquisition and Experimental Techniques to Mechanical Engineering Students in the Freshmen Year," 2002 ASEE Annu. Conf. Expo. Vive L'ingenieur!; Montr. Canada; 16–19 June 2002, 2002.
- [9] Arduino, "Página Web de Arduino." [Online]. Available: <http://www.arduino.cc>. [Accessed: 21-Dec-2017].
- [10] J.-C. Chou, R.-T. Chen, Y.-H. Liao, J.-S. Chen, M.-S. Huang, and H.-T. Chou, "Dynamic and wireless sensing measurements of potentiometric glucose biosensor based on graphene and magnetic beads," *IEEE Sens. J.*, vol. 15, no. 10, pp. 5718–5725, 2015.
- [11] J. Sarik and I. Kymissis, "Lab kits using the arduino prototyping platform," *Proc. - Front. Educ. Conf. FIE*, pp. 1–5, 2010.
- [12] K. Ramírez-Benavides and L. A. Guerrero, "MODEBOTS: Entorno de programación de robots para niños de la primera infancia con edades comprendidas entre 4-6 años," *VAEP-RITA Versión Abierta Español-Portugués – Rev. Iberoam. Tecnol. del Aprendiz.*, vol. 2, no. 3, pp. 139–146, 2014.
- [13] L. M. Herger and M. Bodarky, "Engaging students with open source technologies and Arduino," *ISEC 2015 - 5th IEEE Integr. STEM Educ. Conf.*, pp. 27–32, 2015.
- [14] D. a Mellis, T. Igoe, M. Banzi, and D. Cuartielles, "Arduino: An open electronic prototyping platform," *Proc. CHI*, vol. 2007, pp. 1–11, 2007.
- [15] M. A. Perales, F. J. Barrero, and S. L. Toral, "Análisis comparativo de distintas plataformas para la enseñanza de Sistemas Electrónicos Digitales," in *TAAE 2016: XII Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica: Libro de Actas*, 2016, pp. 26–33.
- [16] P. Brox, G. Huertas-sánchez, A. López-angulo, M. Álvarez-mora, and I. Haya, "Diseño de sistemas sensoriales basados en la plataforma Arduino," in *TAAE 2016: XII Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica: Libro de Actas*, 2016, p. 532.
- [17] P. Plaza, S. R. Automation, E. Sancristobal, G. Fernandez, and M. Castro, "Herramienta Colaborativa Robótica Educativa basada en Lógica Programable y Arduino," in *TAAE 2016: XII Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica: Libro de Actas*, 2016, pp. 420–427.
- [18] H. González-Jorge, D. Roca, S. Torres, J. Armesto, and I. Puente, "Una experiencia de Aprendizaje Basado en Proyectos en el ámbito tecnológico: Diseño de un sistema de navegación indoor de bajo coste," *Rev. Form. e Innovación Educ. Univ.*, vol. 7, no. 1, pp. 8–19, 2014.
- [19] M. Fernandez-Vicente, L. Armesto, and A. Conejero, "Beneficios de la Integración de los Laboratorios de Fabricación Digital (FabLab) en la Educación Superior," *Innovación Educ. en las enseñanzas técnicas Vol. II*, vol. 144, no. September, pp. 1545–1554, 2014.
- [20] Ministerio de Ciencia e Innovación, "Orden CIN/351/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial," 2009.