

TRABAJOS PRÁCTICOS SOBRE SENSORES BIOMÉDICOS COMO EJEMPLO DE INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

Enrique Berjano

*Departamento de Ingeniería Electrónica. Universidad Politécnica de Valencia
E-mail: eberjano@eln.upv.es*

RESUMEN

Se presenta una metodología de trabajos prácticos de laboratorio sobre sensores biomédicos con el objeto de potenciar en los alumnos diferentes habilidades. Estos trabajos no son tanto de diseño electrónico, sino más bien de introducción a la investigación en cuanto a que no se parte de unas especificaciones concretas, sino de una hipótesis que hay que probar experimentalmente. De este modo los alumnos estudian el problema, diseñan y ejecutan los experimentos que ellos creen necesarios y analizan los resultados obtenidos. El área de la Instrumentación Biomédica permite en este sentido introducir aspectos interesantes que enriquecen enormemente el aprendizaje de las diferentes habilidades

1. INTRODUCCIÓN

La rapidez con la que se generan nuevos conocimientos en el campo de la ingeniería electrónica, y a la vez se desarrollan nuevas tecnologías, hace necesario el cambio en la formación universitaria del futuro ingeniero. Por ello es cada vez más importante educar en la innovación y procurar el desarrollo de la creatividad [1]. Esto implica por parte del estudiante ser capaz de diseñar ensayos para probar hipótesis [2,3], así como aprender a registrar los pasos realizados en dicho proceso [4] con objeto de que cualquier otro ingeniero pueda replicar los experimentos en otro momento o lugar. El aprendizaje práctico en las carreras de ingeniería está basado la mayoría de las veces en la realización por parte de los alumnos de una serie de medidas o montajes preestablecidos y siguiendo un guión previo con instrucciones más o menos precisas. Creo que esta dinámica, siendo útil en algunas circunstancias, no potencia la creatividad ni el espíritu de autoaprendizaje que cada vez más se demanda en las industrias [2].

Por ello, he planteado y probado una dinámica de prácticas de laboratorio con alumnos de último semestre de la titulación de Ingeniería Técnica en Electrónica Industrial. El objetivo principal ha sido promover en ellos la creatividad y la capacidad de innovación. El método está basado en la realización de trabajos de pseudo-investigación en grupos de dos alumnos. En estos trabajos lo importante fue dar respuesta a una cuestión real usando las técnicas de ingeniería electrónica conocidas por ellos. Evidentemente el problema así planteado era de final abierto, como la totalidad de los problemas de la vida real.

Con todo, el objetivo fundamental fue aprender a preparar y llevar a cabo experimentos con objeto de dar respuesta a una determinada cuestión. Asimismo, los trabajos permitieron cubrir otros objetivos de aprendizaje no menos importantes, como son:

1. Poner en práctica conceptos de acondicionamiento de señales proporcionadas por sensores biomédicos.
2. Potenciar el uso del diario de laboratorio como herramienta que permite el registro de procedimientos y resultados.

3. Abrir un espacio para el desarrollo de habilidades de *troubleshooting* (hallazgo de fallos) en el diseño y prueba de circuitos electrónicos.
4. Y aprender a analizar los resultados de los ensayos haciendo uso de un mínimo de estadística.

Por otro lado, todos los trabajos planteados han tenido una temática común: la instrumentación biomédica. Las razones y ventajas fueron expuestas a los alumnos en el momento de la presentación de los trabajos. Básicamente son tres:

- a) la fuente de señal es un elemento biológico, con la complejidad que esto conlleva respecto a la variabilidad entre sujetos (los dos alumnos integrantes del grupo) y entre circunstancias de medida. De este modo, el hecho de realizar experimentos con dos fuentes de señal diferentes produce resultados diferentes que obliga a utilizar una estadística descriptiva para poder sacar conclusiones.
- b) Cuando la fuente de medida es un ser vivo, es exigible más que en cualquier otra circunstancia tener presente aspectos de seguridad eléctrica.
- c) Por último, corresponde con mi área profesional y de investigación y por ello es posible aportar a los alumnos una experiencia próxima a la realidad.

Todo ello contribuye a abrir una ventana al mundo real [5]. De hecho, los trabajos tuvieron también dos objetivos específicos relacionados con la instrumentación biomédica:

1. Introducir al alumno en el campo de la instrumentación biomédica (registro de señales de origen fisiológico).
2. Lograr que el alumno compruebe por el mismo, y a partir de la exposición de los trabajos del resto de compañeros, que una determinada señal fisiológica puede ser captada usando diferentes principios de transducción.

2. METODOLOGÍA

Los trabajos se desarrollaron en el marco de una asignatura denominada Sensores (optativa de sexto semestre de la titulación de Ingeniero Técnico en Electrónica Industrial) de 9 créditos docentes (90 horas lectivas). Durante un total de unas 18 horas (6 sesiones prácticas de 3 horas cada una), los alumnos realizaron un trabajo por grupos usando un diario de laboratorio para registrar todo lo referente a los experimentos. La dinámica y justificación de dicha herramienta ha sido descrita previamente [4]. Lo más importante en estos trabajos prácticos fue que el diseño y la experimentación fueron planteados únicamente como el medio para lograr responder a una cuestión previamente planteada (una hipótesis). De este modo los alumnos tuvieron total libertad para preparar las experiencias prácticas que creyeron necesarias y llevarlas a cabo de una manera libre pero supervisada por el profesor.

Los alumnos trabajaron en un laboratorio de docencia en el área de la electrónica industrial. Concretamente, estaba dotado de diferente instrumental por cada puesto de trabajo: un osciloscopio analógico (HAMEG HM 203-6, 20 MHz, Hameg GMBH, Frankfurt, Alemania), un osciloscopio digital para medidas en tiempo real (TDS 210, 60 MHz - 1 GS/s, Tektronic Inc, OR, USA), un generador de señales de baja frecuencia (3011A, 2 MHz, BK Precision, Chicago, USA), un multímetro digital (FLUKE 73III, John Fluke, USA), y una fuente de alimentación para instrumentación (FAC-363, Instrumentación Electrónica Promax SA, L'Hospitalet, Barcelona, España). Asimismo los alumnos contaron con un material común compuesto de un medidor RLC automático de sobremesa (WK Wayneker 4225, England), y un puesto soldadura y construcción de prototipos.

La Tabla I muestra la lista de trabajos planteados con su título, objetivos y tareas a realizar en cada caso [7]. La evaluación fue continua en base al trabajo práctico desarrollado en cada

sesión y al contenido y forma del diario de laboratorio. También se valoró la exposición final de los resultados a partir de una presentación oral usando transparencias.

Tabla 1. Lista de trabajos prácticos planteados

<u>Trabajo 1</u>	Estudio comparativo entre corriente constante y pulsada en el LED de un sensor REFLEX para su uso en fotopletismografía por reflectancia.
Objetivo:	Conocer si el empleo de la corriente pulsada en el LED de un circuito REFLEX permite mejorar el registro de la señal de fotopletismografía.
Tareas orientativas:	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar, montar y probar circuitos de excitación (corriente continua y pulsada) para el LED de un sensor REFLEX (CNY70-Vishay, por ejemplo). - Diseñar, montar y probar circuitos de detección y demodulación de la señal obtenida en el fototransistor. - Realizar pruebas sobre el dedo de dos sujetos y comparar los resultados (valorar morfología de la señal, amplitudes, etc.)
<u>Trabajo 2</u>	Estudio comparativo entre termistor no autocalentado y termistor autocalentado en la detección del ritmo respiratorio por sonda nasal.
Objetivo:	Conocer cual de las dos técnicas permite obtener un mejor registro respiratorio.
Tareas orientativas:	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar, montar y probar circuitos de excitación para el termistor autocalentado y no autocalentado (divisores o puentes). - Diseñar, montar y probar circuitos de detección para el termistor no autocalentado y autocalentado mediante amplificadores. - Realizar pruebas en la nariz de dos sujetos y comparar los resultados (valorar morfología de la señal, amplitudes, etc.)
<u>Trabajo 3</u>	Estudio comparativo entre la técnica de guarda pasiva y guarda activa en cables apantallados para el registro de una señal de electrocardiografía (ECG).
Objetivo:	Conocer cual de las dos técnicas de apantallamiento permite obtener un mejor registro de ECG.
Tareas orientativas:	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar, montar y probar un amplificador para ECG de superficie para tres electrodos. - Diseñar electrodos y cables apantallados para la realización del experimento. Realizar medidas de capacidad del cable y estimar teóricamente la inmunidad a las interferencias. - Realizar registros de ECG sobre dos sujetos y comparar las dos técnicas (valorar morfología de la señal e interferencias).
<u>Trabajo 4</u>	Estudio del empleo de sensores piezoeléctricos de bajo coste para la detección de los sonidos cardíacos (fonocardiografía).
Objetivo:	Valorar si es posible la detección de los sonidos cardíacos a partir del empleo de un sensor de vibración (piezoeléctrico) de bajo coste.
Tareas orientativas:	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar, montar y probar un circuito amplificador de carga para el acondicionamiento del sensor piezoeléctrico. - Diseñar, montar y probar la sonda para el sensor piezoeléctrico. - Realizar pruebas en sobre el tórax dos sujetos y comprobar los registros (valorar morfología de la señal, amplitudes, etc.).

Trabajo 5	Estudio comparativo de la respuesta dinámica de dos sensores de presión sanguínea a partir de su respuesta a un escalón negativo.
Objetivo:	Poner a punto un sistema experimental para la calibración dinámica de un sensor de presión sanguínea y usarlo para el estudio comparativo de dos sensores de presión [7].
Tareas orientativas:	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar, montar y probar un circuito hidráulico que permita la excitación del sistema mediante una señal de tipo escalón negativo. - Diseñar, montar y probar un circuito de acondicionamiento (excitación del puente, amplificador, y filtros) para los dos sensores de presión sanguínea de línea. - Realizar pruebas con los dos sensores mediante el circuito hidráulico desarrollado y comparar los resultados.

3. RESULTADOS Y COMENTARIOS

En los últimos años he probado una metodología similar a la aquí planteada. En esta comunicación expongo los resultados obtenidos durante el curso 2002/2003. Durante este tiempo de experiencia he observado en general en los alumnos un espíritu independiente a la hora de plantear los ensayos experimentales y de buscar la información necesaria. Posiblemente haya contribuido a ello el hecho de que previamente a la realización de estos trabajos prácticos, los alumnos ya habían llevado a cabo un trabajo teórico haciendo uso extensivo de las herramientas de búsqueda de información disponibles, en especial vía Internet [6]. Por ello, no fue de extrañar que durante el desarrollo de los trabajos prácticos, algunos alumnos realizaran experiencias similares a las llevadas a cabo por otras personas (fabricantes de sensores, grupos de investigación) y sugeridas en documentos encontrados en Internet.

El citado espíritu de autoaprendizaje fue creciente con el tiempo. Sin embargo, he observado que se requiere una fuerte tutorización semanal por parte del profesor, sobre todo al principio y debido a la poca experiencia que el alumno posee en este tipo de trabajos. La causa de esto podría ser que casi toda la enseñanza práctica recibida anteriormente ha estado basada en seguir las instrucciones de un guión escrito y suministrado previamente por el profesor. De hecho, en estas circunstancias, he observado a menudo con desespero que cuando los alumnos deben realizar una determinada medida experimental en una sesión práctica con guión preestablecido, el objetivo fundamental para ellos se reduce a llevar a cabo dicha tarea, apuntar el resultado y poco más, o sea, les trae sin cuidado si el resultado es coherente, óptimo, esperanzador, etc., aún cuando el procedimiento de medida esté perfectamente llevado a cabo. Por contra, cuando los procesos experimentales son planificados por los propios alumnos de cara a dar respuesta a un problema real, son ellos mismos los que extreman las precauciones, documentándose previamente y planificando en mayor o menor medida su sesión de laboratorio. En este último caso la motivación del alumno viene no de rellenar un informe, sino de dar respuesta mediante datos reales a la citada cuestión. El tiempo en el laboratorio se hace en ese caso muy preciado. Este último aspecto también creo que debe ser potenciado en la docencia práctica: las horas de laboratorio en las empresas son caras, a veces incluso “de prestado” (considérese el caso de tener que llevar nuestros productos a un laboratorio de certificación de compatibilidad electromagnética que cobra por horas y no precisamente poco).

También mediante este planteamiento docente los alumnos descubren por ellos mismos la complejidad del mundo real, o dicho de igual modo, la excesiva simpleza de los modelos teóricos que previamente han estudiado. Asimismo se enfrentan a la difícil pero fundamental tarea de considerar sólo aquellos aspectos que pueden ser significativos, y justificar las simplificaciones y consideraciones llevadas a cabo.

Respecto a los resultados académicos señalar que los trabajos fueron realizados por la totalidad de los alumnos y la tasa de aprobados fue del 100%. La Tabla II muestra los resultados de una encuesta propia encaminada a valorar el grado de satisfacción general de los alumnos. En definitiva, si se dispone del tiempo suficiente, los proyectos de experimentación en laboratorio pueden llegar a ser una pieza clave en el currículo completo del estudiante [8].

Tabla II. Resultados de la encuesta sobre el grado de satisfacción de los alumnos.

	--	-	0	+	++
Temática de los trabajos planteados				6	3
Relación complejidad/tiempo disponible	1	3	3	2	
Medios prácticos e instrumental disponible			1	6	2
Método de evaluación			2	3	4
Autorización por parte del profesor			1	4	4
Experiencia personal en cuanto a aprendizaje				5	4
Satisfacción general				6	3

Nomenclatura: De muy positivo (++) hasta muy negativo (--). Los números representan valores absolutos.

4. CONCLUSIONES

En general los resultados han sido positivos. La experiencia seguirá desarrollándose en los próximos años. En un futuro, sería conveniente desarrollar material de apoyo para los alumnos con objeto de que éstos conozcan las ideas básicas sobre la presentación de resultados de experimentación en ingeniería, como por ejemplo el uso de gráficos en lugar de tablas, entre otras [9]. Como conclusión, creo que esta metodología puede permitir alcanzar el objetivo planteado, si bien el número de alumnos por grupo de prácticas no debería ser muy alto (<15) y además se requiere una intensa autorización por parte del profesor tanto en las sesiones prácticas como en las consultas personales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Berjano, "El desarrollo de la creatividad en el estudiante de ingeniería a través de trabajos prácticos orientados a la investigación," *I Jornadas de Innovación Educativa. Universidad Politécnica de Valencia*. 24-27 septiembre 2001. Libro de resúmenes. ISBN: 84-699-5944-1, p. 347-351.
- [2] R. Pindado, "Presente y futuro de la Ingeniería Industrial," *Ingeniería Industrial, 150 años en España*, Valladolid, 2000, pp. 357-366.
- [3] Accreditation Board for Engineering and Technology, Inc. *Criteria for Accrediting Programs in Engineering in the US*. Engineering Criteria 2000, Third Edition. Baltimore MD, 1998. (www.abet.org).
- [4] E. Berjano, "El diario de laboratorio en diseño electrónico y su uso en el ámbito universitario," *Mundo Electrónico*. Marcombo, N°. 321, junio 2001, pp. 60-65.
- [5] R. Morawski, R. Pallás-Areny, E. Petriu, M. Siegel, and Th. Laopoulos, "Current trends on teaching instrumentation and measurement," in *IMTC'99*. 1999, pp. 1715-1726.

- [6] E. Berjano: "Potenciando la visión industrial en la enseñanza de transductores mediante el uso de la WWW como recurso de información: Ventajas y limitaciones". *IV Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (TAE, 2000)*, Bellaterra, 2000. Vol. I, pp. 219-222.
- [7] R. A. Peura "Blood pressure and sound," In *Medical instrumentation. Application and design*, ed. J. G. Webster. John Wiley & Sons, New York, USA, 1995, pp. 354-407.
- [8] E. O. Doebelin, *Engineering experimentation. Planning, execution, reporting*. McGraw-Hill, 1995.
- [9] A. W. Fentiman, and J. T. Demel, "Teaching students to document a design project and present the results," *J. Eng. Educ.*, pp. 329-333, Oct.1995.