

# Laboratorios inteligentes: un nuevo instrumento de aprendizaje

## *SmartLab: a new learning tool*

J. Martínez Román, A. Sapena Baño, J. Pérez Cruz, M. Pineda Sánchez, M. Riera Guasp, R. Puche Panadero\*

### Resumen

Las prácticas de laboratorio en estudios de ingeniería deberían ayudar no solo al desarrollo de las habilidades experimentales, sino también a visualizar conceptos que permitan alcanzar un aprendizaje más significativo mejorando el desarrollo de las habilidades alcanzado en las clases de aula. La integración de técnicas de captura y procesamiento de señal utilizando dispositivos móviles para modernizar bancos de ensayo de laboratorios docentes, convirtiéndolos en laboratorios inteligentes o SmartLabs, es un camino efectivo para alcanzar esos objetivos.

### Palabras clave

Laboratorio docente, banco de ensayos, adquisición de datos, dispositivos móviles, aprendizaje significativo y duradero.

### Abstract

*Laboratory sessions in engineering education, beyond helping in the development of experimental abilities, should help to visualize concepts in order to achieve a more significant learning and, thus, and developing the abilities achieved during classroom sessions. The integration of signal acquisition and processing techniques using mobile devices to renovate teaching labs, turning them into SmartLab, is an effective means to reach such aims.*

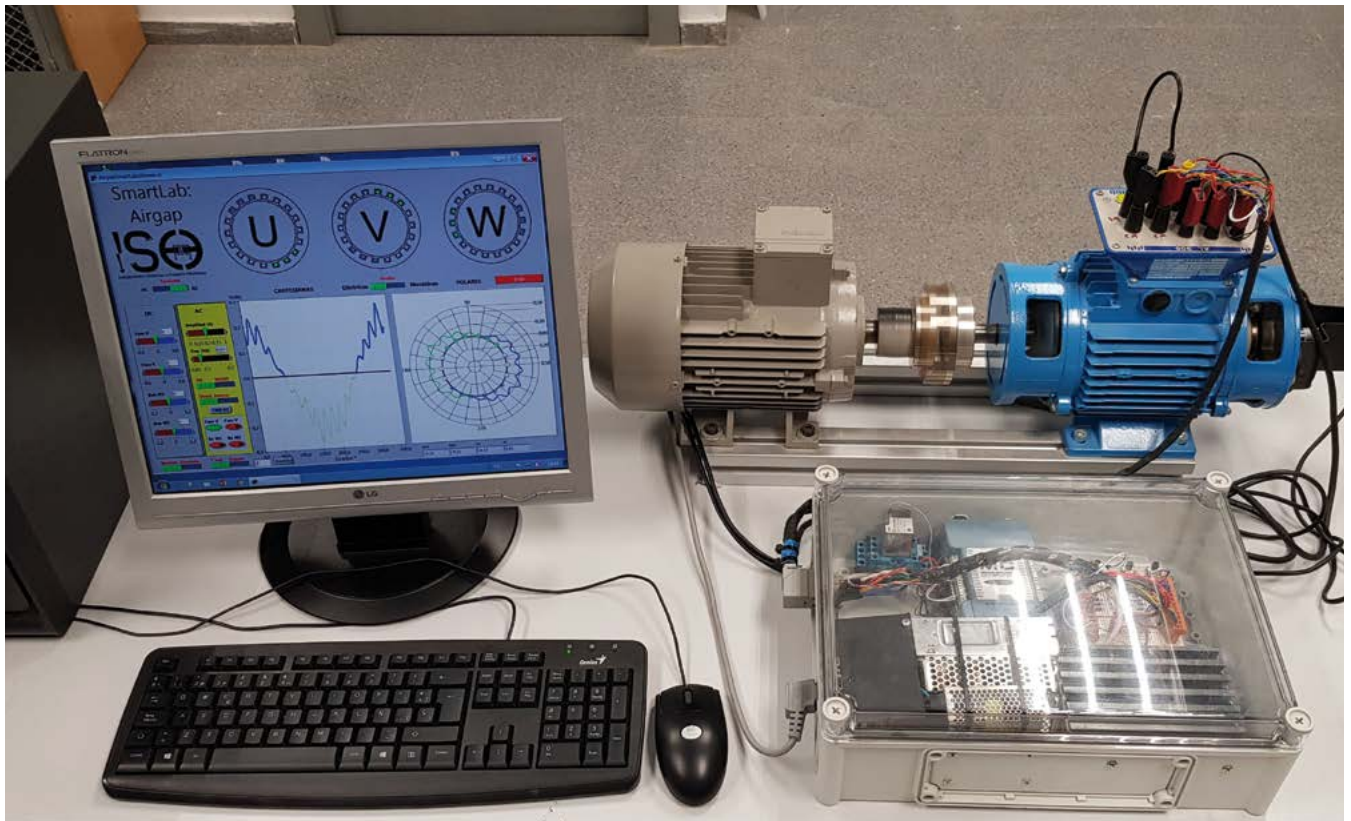
### Keywords

*Teaching labs, test bench, data acquisition, mobile devices, significant and long lasting learning.*

Recibido / received: 18/02/2019. Aceptado / accepted: 20/02/2019.

Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València. Camí de Vera s/n, 46022 València, Spain

\*Autor para correspondencia/corresponding author: Rubén Puche Panadero (rupucpa@die.upv.es)



## 1. Introducción

Las prácticas de laboratorio en estudios universitarios de ingeniería, además de contribuir al desarrollo de las habilidades experimentales, deberían proporcionar los medios para ayudar a los estudiantes a visualizar conceptos, a menudo complejos, que permitan alcanzar un aprendizaje más significativo y, así, una comprensión más duradera y efectiva de los conceptos introducidos y trabajados en las clases de aula.

Este hecho que, a menudo, los estudiantes encuentran dificultades para integrar el aprendizaje desarrollado en las sesiones de aula y en los laboratorios. Por ejemplo, en el ámbito de la ingeniería eléctrica, al que se va a referir mayoritariamente en este artículo, es habitual que esas dificultades estén relacionadas con la integración de conceptos complejos que son difíciles de visualizar (Bentz, 1995) (Pulijala et al 2013), pero también con la falta de equipos de medida y de equipos a ensayar que sean fáciles de usar y que estén diseñados específicamente para favorecer el aprendizaje de los estudiantes. En el caso de la ingeniería eléctrica y de otras ramas de la ingeniería industrial, esas dificultades se ven acentuadas por el uso de un en-

foque basado en herramientas matemáticas cuando, en realidad, el estudiante lo que necesita es visualizar el fenómeno para comprenderlo y poder asociar esa visualización cuando tiene que hacer uso de las herramientas matemáticas. En las últimas décadas se han empezado a utilizar simulaciones para ayudar a la visualización de esos conceptos abstractos (Pulijala et al, 2013) (Lapuebla-Ferri et al, 2018) y para reproducir el comportamiento de diferentes equipos en condiciones de ensayo. Sin embargo, este tipo de herramientas no están libres de inconvenientes como el tiempo necesario para que el estudiante se familiarice con ellas o la percepción por parte de los estudiantes de que tengan una validez limitada (Cañizares et al, 1997). Los laboratorios inteligentes utilizan un enfoque mixto en el que se ensayen equipos reales, pero utilizando las inmensas posibilidades en cuanto a procesamiento de datos y visualización de características de las herramientas de simulación, aprovechando así sus ventajas y evitando algunos de sus inconvenientes.

Un laboratorio inteligente o Smart-Lab (SL) se deriva a partir de un banco de ensayos tradicional incluyendo cua-

tro elementos adicionales indispensables: un conjunto de sensores, un sistema de adquisición de datos, un equipo que pueda realizar las funciones de procesado e interfaz gráfica (un ordenador, una tableta o un *smartphone*) y una aplicación diseñada ex profeso que gestione la adquisición de datos, el procesado de estos y la interfaz de usuario (Martínez-Roman et al, 2016). En la literatura técnica se pueden encontrar sistemas similares basados en un ordenador, denominados instrumentos virtuales (*virtual instruments, Vi*) de acuerdo con la terminología extendida por los propios fabricantes de sistemas de adquisición de datos. Por ejemplo, con relación a la ingeniería eléctrica, ya en 1984 (Gruber, 1984) se demostró que los Vis eran especialmente adecuados para ayudar a los estudiantes a reconocer ciertos conceptos de la teoría de máquinas eléctricas. También se ha demostrado su eficacia para mantener el interés del estudiante y reducir el tiempo requerido para realizar y analizar experiencias mediante una recogida y manipulación de los datos de los ensayos más eficiente (Williams et al, 2014) (Jiménez-Martínez et al, 2005), para proporcionar una interacción más amigable con el usuario (Shellshop et



Figura 1. Transformación de un banco de ensayos tradicional en un laboratorio inteligente o SmartLab.

al, 2004) y para reflejar los intereses y necesidades de los estudiantes cuando estos se involucran en su desarrollo (Heath et al, 2013).

En este artículo los autores describen su experiencia de 5 años en el desarrollo de SmartLabs orientados a diversas facetas del aprendizaje enmarcadas en su labor docente en el departamento de ingeniería eléctrica e influida por su labor investigadora en el grupo de instalaciones, sistemas y equipos eléctricos (iSEE, 2019) perteneciente al Instituto de Ingeniería Energética, ambos de la Universitat Politècnica de Valencia. En este sentido, es importante destacar la transferencia de la experiencia en el desarrollo de sistemas similares a los mencionados SmartLabs forjada en el marco de la labor investigadora de los autores y encaminada al desarrollo de bancos de ensayo más eficaces que permitan al investigador, mediante un adecuado preprocesado y representación de los resultados más significativos de los experimentos, reconocer los aspectos fundamentales de los ensayos realizados y dirigir así con mayor claridad la realización de nuevos experimentos que permitan mejorar la caracterización de los fenómenos en estudio. Estos SmartLabs que se van a describir se han desarrollado fundamentalmente con el objetivo de mejorar el aprendizaje de las asignaturas Máquinas Eléctricas, Tecnología Eléctrica y Sistemas y Tecnología Eléctrica en los grados de Ingeniería en Tecnologías Industriales (GITI) y de la Energía (GIE).

A continuación, se procederá a definir y describir con mayor detalle los elementos principales de un SmartLab y, a continuación, algunos de los SmartLabs desarrollados enfatizando las funcionalidades que los caracteri-

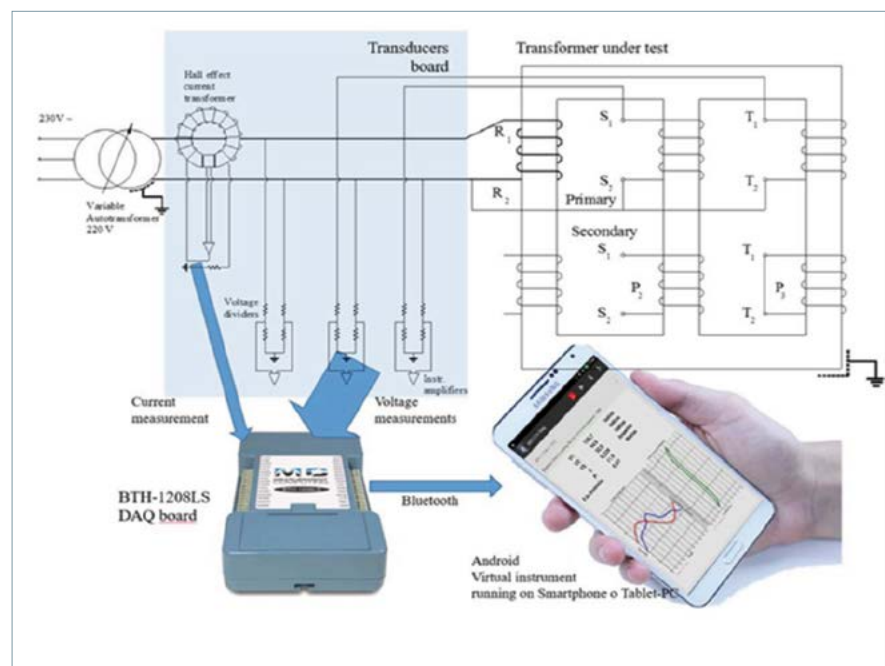


Figura 2. Conversión de un banco de ensayos tradicional de circuitos magnéticos de transformadores en SmartLab Magnetic

zan. Para terminar, se comentarán algunos de los resultados obtenidos tras su implantación.

### Definición y descripción de los componentes de un laboratorio inteligente

Un SmartLab es un sistema de ensayo derivado a partir de un banco de ensayos tradicional que permite tratar y presentar los resultados de los ensayos de forma efectiva y significativa con el fin de mejorar el aprendizaje de conceptos complejos. El término inteligente se refiere precisamente a la capacidad, por comparación con los bancos de ensayo tradicionales, de elaborar los resultados y mostrarlos de forma que resulte fácil para el usuario relacionarlos con conceptos complejos

con los que ha trabajado previamente en clases de aula, visualizándolos así en una aplicación real y favoreciendo un aprendizaje más significativo.

La conversión de un banco de ensayos tradicional en un SmartLab requiere (Fig. 1):

- La sustitución de la instrumentación tradicional por un conjunto de sensores que permitan convertir las magnitudes físicas que definen el estado de los equipos durante los ensayos en señales adaptadas a los requisitos del sistema de adquisición de datos.
- Un sistema digital de adquisición de datos que permita la captación y digitalización de las señales de los sensores en la forma que se requiera para su posterior procesado (tasa

de muestreo, resolución, almacenamiento, etc.).

- Un equipo que permita el procesamiento y la representación de los datos de los ensayos y que proporcione los elementos adecuados para una interacción favorable del usuario con el SmartLab, típicamente un ordenador, una tableta-PC o un *smartphone*.
- Una aplicación diseñada específicamente para el SmartLab que englobe las tareas de captura, procesamiento y visualización de los resultados de los ensayos con el objetivo último de proporcionar información relevante, visual y fácil de interpretar sobre los fenómenos que se pretenden estudiar en el banco, favoreciendo de esa forma relacionarlos con los resultados de aprendizaje del SmartLab.

Un ejemplo de la conversión de banco de ensayos tradicional a SmartLab lo tenemos en el caso del SmartLab Magnetic (Fig. 2). Como se observa en la figura, la instrumentación tradicional basada en voltímetros y amperímetros de alterna se ha sustituido por sensores adaptados a una tarjeta de adquisición de datos comercial. Esta tarjeta se comunica vía Bluetooth con una tableta-PC o *smartphone* en el que una *app* específica disponible en Google Play (iSEE, 2015a) procesa las señales de tensión y corriente para mostrar sus valores eficaces, sus formas de onda y, lo que es más importante, el ciclo de trabajo equivalente del circuito magnético.

El desarrollo de un SmartLab es considerablemente más sencillo si se elige como sistema digital de adquisición de datos una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) comercial. En ese caso, el fabricante ofrece un producto cerrado que incluye la electrónica de adaptación para entradas multirango, un sistema, normalmente basado en microprocesador, que incluye gestión de la memoria para el registro de datos y buses de comunicaciones cableadas o inalámbricas y un entorno de desarrollo de aplicaciones que facilita notablemente el desarrollo de aplicaciones básicas. Todas estas ventajas están asociadas, por desgracia, a un coste elevado tanto de la tarjeta de adquisición de datos como, a menudo, del entorno de desarrollo. Por el contra-

rio, hoy en día es posible desarrollar sistemas digitales de adquisición de datos basados en sistemas microcontrolador ( $\mu\text{C}$ ) con comunicación inalámbrica o cableada e integrando convertidores analógico/digitales (ADC) externos con un coste de componentes varias veces inferior al de una tarjeta DAQ de prestaciones similares. En este caso, el desarrollo del SmartLab es considerablemente más costoso, ya que hay que resolver adicionalmente la integración del ADC con el  $\mu\text{C}$ , la gestión de la memoria de datos capturados y de su transmisión al equipo de proceso y visualización.

Otra decisión importante en cuanto al desarrollo es la selección del soporte de las comunicaciones entre el sistema de adquisición de datos y el equipo de proceso: el estándar industrial reciente eran las comunicaciones cableadas pero, siempre que sea posible, contar con comunicaciones inalámbricas (típicamente vía wi-fi o Bluetooth) supone una facilidad de manejo muy superior que las hace preferibles.

En cuanto al equipo de proceso y visualización, la gran disponibilidad y el hecho de que su uso apenas requiera formación han hecho que las tabletas-PC y, especialmente, los *smartphones*, sean una plataforma muy adecuada al combinar una pantalla de buena resolución y una interfaz de usuario bien conocida en un dispositivo muy manejable a precio asequible (nulo si el usuario aporta su propio *smartphone*) y con una potencia de proceso que suele ser suficiente para la mayoría de las aplicaciones.

Por último, el diseño de la aplicación del SmartLab debe estar orientado a resaltar y poner de manifiesto de forma visual los conceptos básicos que subyacen a los ensayos que se puedan llevar a cabo en el banco. En este sentido, cabe apuntar dos nociones que son fundamentales para alcanzar ese objetivo: por una parte, contar con la experiencia de profesores que sean conscientes y estén acostumbrados a las dificultades específicas de los ensayos a tratar (análisis de los datos de los ensayos, recogida de estos, relación con la base conceptual, etc.) y, por otra, encargar, siempre que sea posible, el desarrollo de la aplicación a un alumno que haya realizado ese tipo de ensayos sobre un banco de ensayos tradicional, para que aporte un punto de

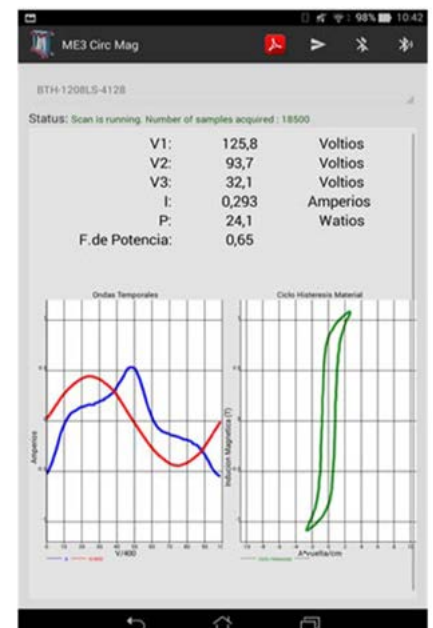


Figura 3. Interfaz de usuario de SmartLab Magnetic.

vista cercano a las necesidades y habilidades del usuario final, el estudiante de la asignatura. También es importante eliminar al máximo el tedio en la recogida de datos para favorecer la motivación del alumno y que centre su atención en alcanzar los resultados de aprendizaje, por lo que es muy conveniente la generación de informes de ensayo automatizados y el envío de estos por correo electrónico, integrados en la propia aplicación. Este es el caso de la práctica totalidad de los SmartLabs que se describen a continuación.

### Breve revisión de SmartLabs desarrollados

Los siguientes epígrafes proporcionan un resumen de varios SmartLabs desarrollados para las prácticas de laboratorio de Máquinas Eléctricas, Tecnología Eléctrica y Sistemas y Tecnología Eléctrica en los grados de Ingeniería en Tecnologías Industriales (GITI) y de la Energía (GIE).

#### SmartLab Magnetic

Este SmartLab (iSEE, 2015a) (Martínez-Roman et al, 2016) está orientado fundamentalmente a favorecer la correlación entre las características del circuito magnético de un transformador y el consumo de potencia activa y reactiva asociado, aunque también contribuye a mejorar la comprensión del desfase y deformación (acampanamiento y asimetría) de la corriente de

vacío de transformadores de potencia. El banco de ensayos permite estudiar al menos 4 configuraciones distintas de circuito magnético y el SmartLab captura y traza las formas de onda de tensión y corriente. Con ellas calcula un ciclo de trabajo equivalente del material del núcleo que el usuario puede ver cómo cambia al modificar la configuración del núcleo y comparar sus características (área e inclinación) con

el ciclo de trabajo de materiales magnéticos (Fig. 3).

#### SmartLab Airgap

El objetivo de este SmartLab es facilitar la comprensión de las complejas relaciones entre la estructura de un devanado y las corrientes que lo recorren con las características del campo magnético de entrehierro que

produce, fundamentalmente su amplitud, orientación y velocidad de giro. SmartLab Airgap (iSEE, 2014) permite alimentar independientemente una bobina diametral, una pareja de bobinas distribuidas y dos fases adicionales (formando en conjunto un devanado trifásico típico) formadas por tres bobinas distribuidas con corriente continua (ajustable en amplitud) o alterna (ajustable en amplitud y frecuencia) y en funcionamiento monofásico o trifásico equilibrado) y mide y representa (Fig. 4) la distribución del campo magnético en el entrehierro en tiempo real en la interfaz de la aplicación. En el caso de alimentación en alterna, utiliza frecuencias muy bajas (entre 0,2 y 0,05 Hz) para que el usuario pueda establecer visualmente la correlación entre frecuencia de la corriente y velocidad de pulsación (alimentación monofásica) o de giro (alimentación trifásica).

#### Smartlab Reactive

Este SmartLab (iSEE, 2015b) (Martínez-Roman et al, 2015) se ha diseñado para facilitar la comprensión de los sistemas de compensación de potencia reactiva al permitir operar por escalones una batería de condensadores para ajustar el factor de potencia de la instalación y reducir así la corriente de línea y mejorar la eficiencia de la instalación. La aplicación para tableta-PC o *smartphone* permite conectar/desconectar en modo manual, manual-guado y automático los escalones de compensación (condensadores) conforme cambia la carga (ajustable manualmente) mostrando en la interfaz de usuario la curva de carga en el plano Q-P (potencias reactiva y activa) junto al estado de la línea (modos manual y manual guiado) y las curvas de consumo en la línea (modo automático).

#### Otros SmartLabs desarrollados

Para no extender excesivamente la explicación, se enumeran algunos otros SmartLabs desarrollados: SmartLab PIA para guiar en la obtención y comparación de las curvas de disparo (térmico y magnético) de un pequeño interruptor magnetotérmico, Smartlab YD-start para asistir en la evaluación del arranque estrella-triángulo de máquinas de inducción o SmartLab FVD para facilitar la introducción a los accionamientos de velocidad variable y el control de velocidad de motores de inducción.

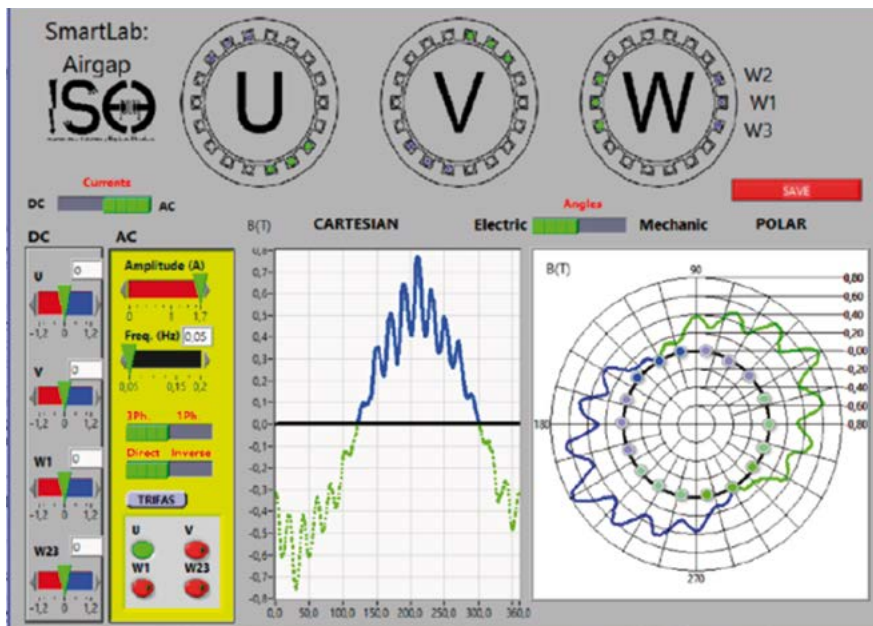


Figura 4. Interfaz de usuario de SmartLab Airgap con alimentación alterna trifásica. Para versión en vídeo se puede visitar <http://personales.upv.es/jmroman/SLA/smartlabairgap.avi>

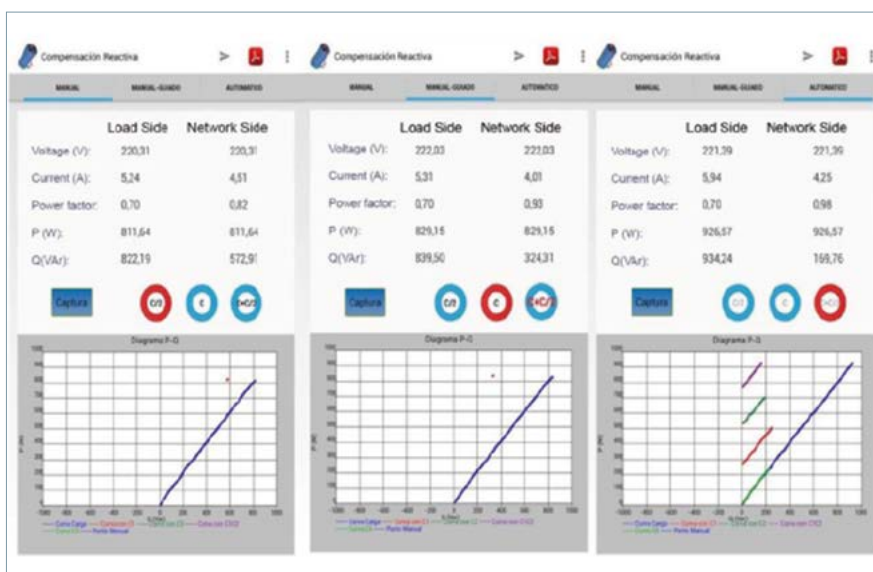


Figura 5. Interfaz de usuario de SmartLab Reactive. Izda.: modo manual, el usuario selecciona con los botones la etapa de compensación adecuada a la carga en cada momento. Centro: modo manual-guado, la app muestra en rojo el escalón más apropiado para la compensación más adecuada. Dcha.: modo automático, la app establece y conecta el escalón más adecuado de compensación para la carga existente en cada momento.

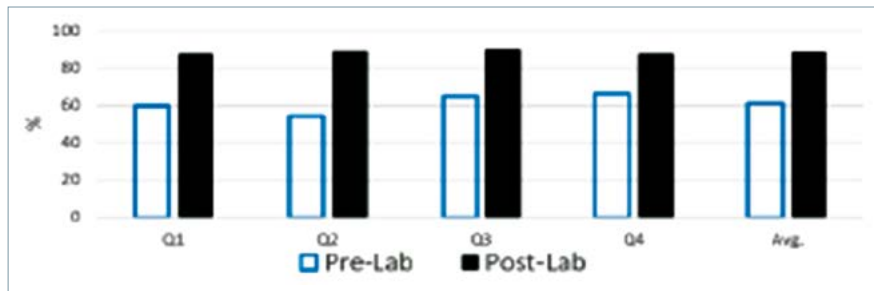


Figura 6. Resultados de la prueba de comprensión previa y posterior a la sesión de laboratorio utilizando SmartLab Airgap. Puntuación promedio para el conjunto de estudiantes (79) en cada una de las cuestiones y en el conjunto de la prueba.

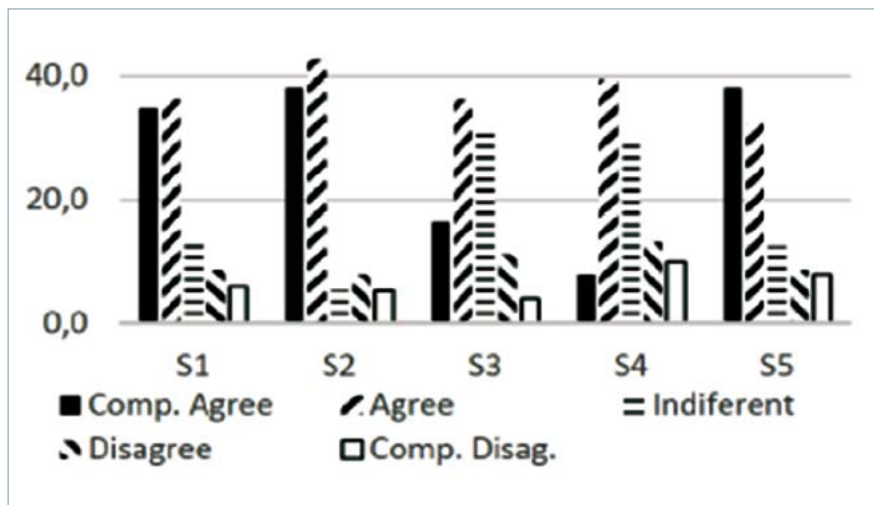


Figura 7. Resumen de las respuestas al cuestionario de satisfacción para alumnos tras la utilización de SmartLab Magnetic.

## Resultados

La evaluación de la influencia del empleo de los SmartLabs descritos en los epígrafes precedentes se ha realizado utilizando varias fuentes de información:

- Pruebas de comprensión previas y posteriores a la sesión de formación que los utilizaba.
- Cuestionarios de satisfacción sobre la utilización y efectividad del SmartLab.
- Evolución de las calificaciones o resultados de las pruebas de evaluación de asignaturas antes y después de la implantación de SmartLabs, y, por supuesto.
- La realimentación de los profesores responsables de las sesiones de laboratorio.

A modo de ejemplo, la figura 6 muestra la clara mejoría en la respuesta a preguntas conceptuales al realizar la prueba antes de la sesión de formación con SmartLab Airgap (pero después de las clases de aula) y tras la realización

de la sesión de formación. En el mismo sentido, la figura 7 muestra el buen nivel de satisfacción con SmartLab Magnetic alcanzado tras su implantación en las prácticas de laboratorio (Martínez-Román et al, 2016). La realimentación recibida por los profesores de las sesiones de prácticas de laboratorio ha sido, en general, muy positiva y se ha utilizado también, a menudo, como herramienta para mejorar el diseño de las primeras versiones de las aplicaciones.

## Conclusiones

La integración de modernas técnicas de captura y procesamiento de señal utilizando dispositivos móviles para modernizar bancos de ensayo de laboratorios docentes, convirtiéndolos en laboratorios inteligentes o SmartLabs, es un camino efectivo para mejorar el aprendizaje de los alumnos y que les ayuda en el proceso de visualizar conceptos complejos y favorece un aprendizaje más significativo de alumnos más motivados.

La experiencia de los autores en este sentido se fundamenta en el propio desarrollo de numerosos SmartLabs en el área de la ingeniería eléctrica y en los resultados de diversas fuentes de información como cuestionarios de satisfacción, calificaciones de las asignaturas, pruebas preutilización y posutilización de los SmartLabs y, por supuesto, la realimentación de los instructores.

## Bibliografía

- Bentz S. Integration of basic electromagnetism and engineering technology (1995) *Frontiers in Education Conference Proceedings*. Vol. 2, IEEE, 1995, pp. 4a5.4-4a5.7.
- Gruber S, Prole A. Measurement of Rotating Air Gap Magnetic Fields-An Undergraduate Laboratory Experiment (1979) , *IEEE Transactions on Education* 22 (3) 143-145.
- Heath W, Onel O, Green P et al. Developing a Student-Focused Undergraduate Laboratory. *Int J Electric Engin Educ*. 2013;50(3):268-78.
- ISEE (2014) UPV, Smartlab airgap demo videoclip, Sept 2014 [online]. Disponible en: [http://personales.upv.es/jmroman/SLA/smartlab\\_airgap.avi](http://personales.upv.es/jmroman/SLA/smartlab_airgap.avi).
- iSEE (2015a), SmartLab Magnetic. Google play store: SmartLab-magnetics, [online]. Disponible en: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.smartlab.magnetic>
- iSEE (2015b), SmartLab Reactive. Google play store: SmartLab-reactive, [online]. Disponible en: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mcc.ul.example.ainscan.smartlabreactive>
- iSEE (2019) web page. Disponible en: <https://isee.webs.upv.es/es/index.php>
- Jiménez-Martínez, JM, Soto F, De Jodar D, Villarejo JA, Roca-Dorda J. A new approach for teaching power electronics converter experiments (2005). *IEEE Transactions on Education* 48 (3) 513-519.
- Lapuebla-Ferri A, Jiménez-Mocholí AJ, Giménez-Palomares F, Monsoriu JA. Uso de laboratorios virtuales en la enseñanza de asignaturas de grados de la rama industrial: antecedentes, estado actual y reflexiones (2018). *Técnica Industrial*, marzo 2018, 319: 40-47.
- Martínez-Román J, Gomis-Cebolla R, Sapena-Bañó A, Pérez-Cruz J. Reactive power compensation smartlab (2015). XVII International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering (ISEF 2015), pp 1-8.
- Martínez-Román J, Sapena-Bañó A, Pineda-Sánchez M, Pucho-Panadero R. SmartLab Magnetic: A Modern Paradigm for Student Laboratories. *Sensors & Transducers*. 2016;197(2):58-66.
- Pulljala V, Akula AR, Syed A. A web-based virtual laboratory for electromagnetic theory (2013). *Technology for Education (T4E)*, 2013 IEEE Fifth International Conference on, IEEE, 2013, pp. 13-18.
- Sellschopp FS et al. An automated system for frequency response analysis with application to an undergraduate laboratory of electrical machines (2004), *IEEE transactions on Education* 47 (1) (2004) 57-64.
- Williams JM, Cale JL, Benavides ND et al. Versatile hardware and software tools for educating students in power electronics (2004), *IEEE Transactions on Education* 47 (4) (2004). 436-45.