



# EXPERIENCIAS DE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE BANCOS DE LABORATORIO COMPACTOS, DE BAJO COSTO, MODULARES, Y ESCALABLES, PARA LA FORMACIÓN DE ESTUDIANTES DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

**Javier Solano, María Alejandra Mantilla, Juan Manuel Rey**

**Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Colombia**

## **Resumen**

Los laboratorios son herramientas fundamentales para el proceso de aprendizaje y la enseñanza en todas las ramas del conocimiento, particularmente, en las áreas STEM. Con ellos se busca que los estudiantes adquieran habilidades prácticas que juegan un papel preponderante en su formación profesional. Los laboratorios convencionales usualmente empleados en programas de Educación Superior, requieren de una alta inversión en equipos, infraestructura, insumos, y personal necesario para ponerlos en servicio y mantenerlos en funcionamiento. Idealmente, los laboratorios deberían estar disponibles 24 horas y 7 días a la semana. Este trabajo compartirá algunas de las experiencias de diseño e implementación de bancos de laboratorio compactos, de bajo costo, modulares, escalables y de riesgo mínimo para la formación de estudiantes de ingeniería eléctrica y electrónica implementados en la Universidad Industrial de Santander.

**Palabras clave:** Laboratorios de bajo costo; generación de energía eléctrica; electrónica de potencia.

## **Abstract**

*Laboratories are fundamental tools for the learning and teaching process in all branches of knowledge, particularly in STEM areas. They are intended for students to acquire practical skills that play an important role in their professional training. Conventional laboratories, usually used in Higher Education programs, require a high investment in equipment, infrastructure, supplies, and personnel necessary to put them into service and maintain them in operation. Ideally, laboratories should be available 24 hours a day, 7 days a week. This paper will share some of the experiences of design and implementation of compact, low-cost, modular, scalable and minimal risk laboratory benches for the training of electrical and electronic engineering students implemented at the Universidad Industrial de Santander.*

**Keywords:** *Low-cost laboratories; electric power generation; power electronics*

## **1. Introducción**

Este trabajo presenta algunas experiencias de diseño, implementación y evaluación de bancos de laboratorio para la formación de estudiantes de ingeniería eléctrica y electrónica. Estos bancos de laboratorio buscan brindar soluciones para dos grandes problemas que afrontan las instituciones de educación superior: el alto costo asociado a la implementación, operación y mantenimiento de los laboratorios convencionales y la aparición de contingencias como la actual emergencia sanitaria que impide el desarrollo normal de las prácticas de manera presencial.

Estos bancos de laboratorio deben cumplir varias especificaciones de diseño que no se consideran en la mayoría de los laboratorios convencionales existentes en las universidades:

- ser compactos, teniendo en cuenta la baja disponibilidad de espacios destinados a laboratorios y la gran cantidad de estudiantes y asignaturas que los requieren.
- presentar un bajo costo de montaje, operación y mantenimiento por la dificultad de encontrar opciones de financiación.
- ser modulares para permitir su utilización en diversas asignaturas.
- ser escalables y de riesgo mínimo para quien los utilice, con el fin de permitir construir versiones portables para que los estudiantes puedan utilizarlos fuera de la universidad.

Trabajos previos realizados en la E3T han mostrado la viabilidad de implementar este tipo de equipos de laboratorio a costo razonable. El diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de estos equipos ha sido apoyado por estudiantes de pregrado y de posgrado en la modalidad aprendizaje basado en problemas y proyectos. Estos prototipos escalables a muy bajas potencias consideran aspectos de seguridad necesarios para reducir el riesgo eléctrico y podrían ser modificados para ser utilizados en espacios fuera de la universidad.



## 2. Formulación del problema

Las prácticas de laboratorio son de vital importancia para garantizar la formación integral y actualizada de los estudiantes y por ende la calidad en los programas de educación superior. Las reformas curriculares tienen como objetivo mantener actualizados los programas de acuerdo con las necesidades regionales y, para los programas de ingeniería en particular, de la industria local. Las prácticas de laboratorio son parte integral de estos currículos y deben ser actualizadas permanentemente.

Actualmente, las universidades enfrentan uno de los más grandes desafíos en la historia: mantener la actividad académica en medio de una crisis sanitaria mundial. Una de las consecuencias directas de la crisis del Covid-19 en la educación es la necesidad de implementar alternativas para reemplazar las clases presenciales. Virtualizar los cursos requiere resolver diferentes desafíos, por ejemplo, el acceso limitado a internet, la falta de computadores para los estudiantes más vulnerables, o la necesidad de capacitar a los docentes, estudiantes y en general la comunidad universitaria en un corto tiempo.

Considerando un escenario ideal donde los retos anteriormente mencionados sean resueltos, un desafío adicional aparece para la virtualización de asignaturas prácticas y teórico-prácticas. Muchas de las instituciones de educación superior no se encuentran totalmente preparadas para virtualizar sus prácticas de laboratorio, ni para ofrecer laboratorios no presenciales de calidad. Esta es una de las mayores inquietudes mostradas por los estudiantes en sus asambleas y por los profesores en sus claustros. En caso tal una emergencia similar llegase a ocurrir nuevamente, debemos estar preparados para afrontarla de una mejor manera.

Otro enorme desafío para garantizar la realización de prácticas de laboratorio, de acuerdo con la calidad de los programas, es el alto costo de los equipos, de la infraestructura, de los insumos y del personal necesario para poner en servicio y mantener en funcionamiento estos laboratorios. En lo posible, los laboratorios deberían estar disponibles 24 horas 7 días a la semana, pero esto en la realidad de muchas universidades no es posible. En algunas ocasiones, a pesar de que existen laboratorios, estos no pueden ser utilizados plenamente por razones como el bajo número de puestos de trabajo o el alto costo de los equipos que lleva a precauciones excesivas que desmotivan el uso de estos.

En muchas ocasiones, las prácticas de laboratorio se ven restringidas a trabajo demostrativo por parte del docente o laboratorista, minimizando la oportunidad de “aprender haciendo” por parte de los estudiantes, lo que permitiría de una mejor manera apropiarse del conocimiento. Por estas razones, la implementación de laboratorios compactos, de bajo costo y fáciles de operar siempre será un tema de gran interés para las instituciones de educación superior.

Las problemáticas presentadas anteriormente influyen negativamente en la calidad de la educación. Antes de la pandemia del Covid-19 nos preguntábamos ¿cómo brindar a los estudiantes, herramientas para facilitar su inserción en el laboratorio? ¿cómo virtualizar algunas de las prácticas de laboratorio como apoyo a las clases presenciales? Considerando el nuevo escenario, en el cuál debemos actuar de forma rápida pero organizada nos preguntamos ¿Cómo podemos ofrecer



educación de calidad virtual, específicamente en asignaturas que requieren trabajos prácticos en laboratorio?

### **3. Marco teórico**

Una de las principales limitantes para tener laboratorios a la medida para cada universidad, es el costo de los equipos, de la infraestructura necesaria, de los consumibles, de la capacitación del personal, del mantenimiento y operación y del espacio necesario para su construcción. Sin embargo, Los avances tecnológicos de los últimos años han abierto posibilidades para cambiar la estructura rígida de los laboratorios tradicionales, por una estructura flexible (Meneses, 2009).

La actualización y mejora de prácticas de laboratorio es un tema que interesa a una gran cantidad de investigadores a nivel mundial. Entre las soluciones más reportadas en la literatura se encuentra la virtualización de laboratorios, los laboratorios con acceso remoto por internet, la implementación de laboratorios de bajo costo, y el uso de simuladores en tiempo real Hardware-In-the-Loop (HIL).

Varias soluciones han sido implementadas para minimizar el efecto adverso de la falta de laboratorios. Uno de estos es los laboratorios virtuales que pueden complementar los conocimientos adquiridos en las clases teóricas o en los laboratorios presenciales, además comparados con estos, los laboratorios virtuales tienen una mayor flexibilidad y solucionan problemas de distancia, tiempo, espacios y recursos (Meneses, 2009; Rogers, 2004).

Entre los laboratorios virtuales para ingeniería eléctrica y electrónica se puede resaltar los laboratorios virtuales de máquinas eléctricas (Casals, 2003), sistemas de control (Kagami, 2020), sistemas de potencia (Milano, 2008).

Los egresados de ingeniería eléctrica deben contar con habilidades para aplicar los conocimientos de matemáticas ciencia e ingeniería, la habilidad de diseñar y llevar a cabo experimentos, así como analizar e interpretar los resultados de estos y la capacidad de diseñar sistemas, componentes y procesos (Meneses, 2009; Rogers, 2004). Por lo anterior, muchos de los trabajos en la literatura muestran un aporte muy importante por parte de los estudiantes en el diseño e implementación de laboratorios de bajo costo.

Entre los laboratorios de bajo costo de ingeniería eléctrica se puede resaltar los laboratorios de máquinas eléctricas (Morganti, 2017; Pinal, 2016; Bujanovic, 2014), sistemas de potencia (Blanquez, 2013), electrónica de potencia (Guerrero, 2016; Shirsavar, 2006), alta tensión (Mohseni, 2016), microrredes (Rizgiawan, 2019), o accionamientos eléctricos (Shirsavar, 2006). Otros trabajos han propuesto Laboratorios reales con instrumentos virtuales (Martis, 2006), o laboratorios con acceso remoto por internet (Stamelos, 2018; Wai, 2019; Yazidi, 2011).

La simulación HIL ha sido también muy utilizada en el diseño de laboratorios de bajo costo. Algunos subsistemas son reemplazados por un equivalente digital, implementado mediante un modelo matemático. Varios trabajos en la literatura proponen utilizar HIL para simular sistemas complejos



como vehículos eléctricos (Schupbach, 2002), convertidores de potencia (Lu, 2007), microrredes (Kumar, 2017), o máquinas eléctricas (Menghal, 2011).

#### 4. Ejemplos de trabajos desarrollados en la E3T

Trabajos previos realizados en la E3T han desarrollado prototipos y mostrado la viabilidad de implementar este tipo de equipos de laboratorio a costo razonable. El diseño, construcción, operación y mantenimiento de estos equipos ha sido apoyado por estudiantes de pregrado y de posgrado en la modalidad aprendizaje basado en problemas y proyectos. Estos prototipos de baja potencia consideran aspectos de seguridad necesarios para reducir el riesgo eléctrico y algunos de ellos podrían ser utilizados en espacios fuera de la universidad.

##### 4.1. Prototipos de laboratorio de energía fotovoltaica

Los trabajos de grado (Arenas, 2017; Chacón, 2016, Moreno 2019, Vargas 2017) y de posgrado (Archila 2016, Almeida 2018) se enfocan en la línea de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos. Estos trabajos principalmente trabajan la implementación y el control de los dispositivos de electrónica de potencia. La figura 1 ilustra un prototipo de laboratorio que puede ser utilizado para construir las curvas I-V y las curvas P-V de un generador fotovoltaico. La figura 2 ilustra un laboratorio de integración de energía fotovoltaica a la red desarrollado en varios trabajos de posgrado (Archila 2016, Almeida 2018) y ubicado en el Parque Tecnológico Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander.



**Figura 1.** Prototipo para la caracterización de paneles fotovoltaicos



**Figura 2.** Prototipo de Inversor fotovoltaico multifuncional

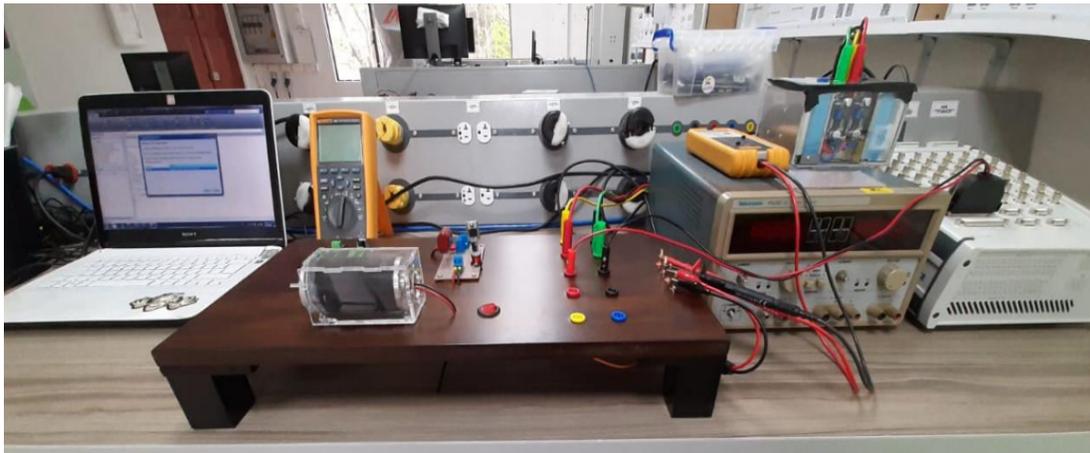


#### 4.2. Prototipos de laboratorio de control de sistemas eléctricos

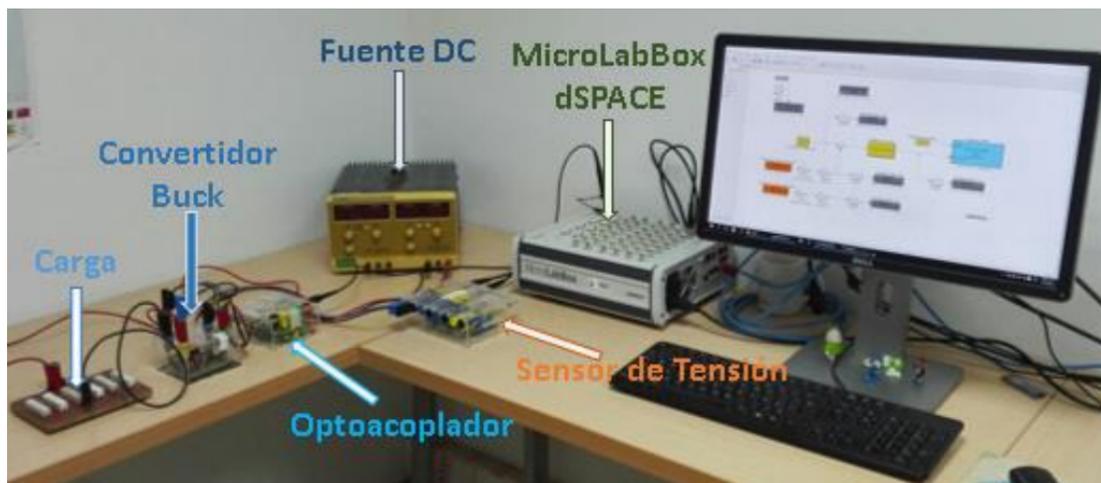
Los trabajos de grado (Díaz 2016, Vargas 2019) se enfocan en el control de sistemas eléctricos. La figura 3 ilustra un prototipo de laboratorio de control de un motor de corriente continua con imanes permanentes. La figura 4 ilustra un prototipo de laboratorio de control de un convertidor DC/DC utilizando lógica difusa. Estos prototipos se controlan con un controlador programable dSPACE MicroLabBox, pero para una próxima etapa, el control se realizará mediante un controlador de bajo costo tipo Arduino.

#### 4.3. Otros prototipos de laboratorio

Los trabajos de grado (Araujo, 2017; Angulo 2019, Romero 2018) exploran algunas aplicaciones del internet de las cosas, y proponen prototipos para el monitoreo de señales que pueden ser utilizadas en el sistema de control de un edificio inteligente. Finalmente, trabajos de grado (Galindo, 2018; Muñoz 2020) realizan el diseño de bancos experimentales para la caracterización de supercondensadores de potencia. Este banco es ilustrado en la figura 5.



**Figura 3.** Prototipo para el control de velocidad de un motor de corriente continua



**Figura 4.** Prototipo para el control de tensión para un convertidor DC/DC



**Figura 5.** Módulo de laboratorio para caracterización de supercondensadores.

## 5. Conclusiones

Este trabajo presenta algunos ejemplos de trabajos realizados por el Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL) de la UIS relacionados con la implementación de prototipos de equipos de laboratorio de bajo costo. El diseño, construcción, operación y mantenimiento de estos equipos ha sido apoyado por estudiantes de pregrado y posgrado.

Estos trabajos pueden llegar a ser utilizados en laboratorios de generación de energía eléctrica, máquinas eléctricas, sistemas de control o accionamientos eléctricos entre otras asignaturas. Para lograr lo anterior, estos prototipos deben ser articulados a través del diseño de estrategias pedagógicas que busquen fortalecer las competencias STEM. Para lograr este objetivo, se desarrollará el proyecto de investigación denominado “estrategia pedagógica para el fortalecimiento de competencias STEM mediante sistemas modulares de laboratorio”, financiado por la Vicerrectoría de Investigación y extensión de la Universidad Industrial de Santander

## 6. Referencias

### Artículos de revistas

- P. Casals-Torrens, «Virtual laboratory for learning asynchronous motors in engineering degrees», IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, vol. 8, no. 2, pp. 71–76, 2013.
- Guerrero-Hernández, J. A. Araque-gallardo, y M. Gallo-nieves, «Implementación de módulos didácticos para sistemas electrónicos de potencia», Revista Educación en Ingeniería, ol. 11, no. 21, pp. 9–13, 2016.
- R. M. Kagami, G. Kovalski, T. S. Uhlmann, L. Ant, y R. Z. Freire, «A generic weblab control tuning experience using the ball and beam process and multiobjective optimization approach», Information, 2020.
- Lu, X. Wu, H. Figueroa, and A. Monti, “A low-cost real-time hardware-in-the-loop testing approach of power electronics controls,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no. 2, pp. 919–931, 2007.



- G. Meneses Benavides, y C. Ordosgoitia Morales, «Laboratorio virtual basado en la metodología de aprendizaje basado», *Revista Educación en Ingeniería*, pp. 62–73, 2009.
- F. Milano, L. Vanfretti, y J. C. Morataya, «An open source power system virtual laboratory: the psat case and experience», *IEEE Transactions on Education*, vol. 51, no. 1, 2008.
- F. J. P. Pinal, S. Nava, J.C. Nuñez, I. Araujo, E. Vera, y A. Barranco, «Experimental b-learning laboratory for an electrical machines undergraduate course», *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 2, pp. 524–529, 2016.

## Conferencias

- F. R. Blaquez, E. Rebollo, F. Blaquez, y C. A. Platero, «Real time power plant simulation platform for training on electrical protections and automatic voltage regulators», 2013 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering, pp. 150–155, 2013.
- T. Bujanovic, y P. Ghosh, «Laboratory experiments for enhanced learning of electromechanical devices», *Proceedings of the 2014 Zone 1 Conference of the American Society for Engineering Education*, 2014.
- Y. V. P. Kumar and R. Bhimasingu, “Alternative hardware-in-the-loop (HIL) setups for real-time simulation and testing of microgrids,” 1st IEEE Int. Conf. Power Electron. Intell. Control Energy Syst. ICPEICES 2016, pp. 1–6, 2017.
- C. S. Martis, H. C. Hedesiu, L. Szabo, B. Tataranu, F. Jurca, and C. Oprea, “Electrical Machines Virtual Laboratory: Grid Connection of a Synchronous Generator,” vol. 00, no. i, pp. 1709–1714, 2006.
- P. M. Menghal and A. J. Laxmi, “Real time simulation: A novel approach in engineering education,” ICECT 2011 - 2011 3rd Int. Conf. Electron. Comput. Technol., vol. 1, pp. 215–219, 2011.
- H. Mohseni, M. H. Samimi, S. Seifi, M. Mohammadhossein, and J. Jadidian, “New laboratories in High Voltage Institute of University of Tehran for teaching power engineering courses,” vol. 10, pp. 2810–2816, 2016.
- F. Morganti, M. O. Younsi, y M. Cuevas, «Using arduino development platform in the diagnosis of ac electrical machines», 2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe), 2017.
- Rizqiawan, P. Hadi, and G. Fujita, “Development of Grid-Connected Inverter Experiment Modules for Microgrid Learning,” pp. 1–16, 2019.
- G. Rogers, y J. Krichen, «Adding interactivity to a non-interactive class», *Association of Small Computer Users in Education (ASCUE)*, pp. 217–224, 2004.
- R. M. Schupbach and J. C. Balda, “A versatile laboratory test bench for developing powertrains of electric vehicles,” *IEEE Veh. Technol. Conf.*, vol. 56, no. 3, pp. 1666–1670, 2002.
- S. A. Shirsavar, B. A. Potter, and I. M. L. Ridge, “Three-Phase Machines and Drives — Equipment for a Laboratory-Based Course,” vol. 49, no. 3, pp. 383–388, 2006.
- P. Stamelos, A. Papoutsidakis, V. Vikentios, S. A. Papazis, and M. G. Ioannides, “Experimental Educational System of AC Electric Drives with Internet of Things,” 2018 XIII Int. Conf. Electr. Mach., pp. 1497–1502, 2018.
- K. Wai, E. Cheng, and C. L. Chan, “Education sciences Laboratory for Undergraduate Teaching in Power Electronics,” 2019.
- Yazidi, H. Henao, S. Member, and G. Capolino, “A Web-Based Remote Laboratory for Monitoring and Diagnosis of AC Electrical Machines,” vol. 58, no. 10, pp. 4950–4959, 2011.



## Tesis de maestría

- Daniel Felipe Almeida Arguello. "Caracterización de inversores multinivel tipo puente-h en cascada". Tesis para optar al título de magister en ingeniería eléctrica, Universidad Industrial de Santander, 2018.
- John Edinson Archila Valderrama. "Implementación de un convertidor SEPIC para el seguimiento del punto de máxima potencia en sistemas fotovoltaicos". Tesis para optar al título de magister en ingeniería electrónica, Universidad Industrial de Santander, 2016.

## Tesis de pregrado

- Sneyher Angarita Arenas, Neifer David Sandoval Hernández. "Prototipo para la caracterización de paneles fotovoltaicos incorporando funciones de visualización de datos y sensado de variables meteorológicas". Tesis para optar al título de ingeniero electrónico, Universidad Industrial de Santander, 2017.
- Cristian Angulo Infante, Erica Liceth Muñoz. "Monitoreo, adquisición y transmisión de datos en tiempo real, mediante IOT, de las variables medidas por un prototipo de caracterización de paneles fotovoltaicos y de medición de variables meteorológicas". Tesis para optar al título de ingeniero electrónico, Universidad Industrial de Santander, 2019.
- Laura Daniela Araujo Quiroga, Jesús Alberto Caballero Méndez. "Sistema basado en IOT para el monitoreo del microclima asociado al proceso de desarrollo de cultivos verticales de lippia organoides". Tesis para optar al título de diseñador industrial e ingeniero electrónico, Universidad Industrial de Santander, 2017.
- José Julián Chacón Avendaño, Reynaldo Andrés Ortiz Jurado. "Implementación de un prototipo para la caracterización de paneles fotovoltaicos". Tesis para optar al título de ingeniero electrónico, Universidad Industrial de Santander, 2016.
- Hian Daniel Diaz Sáenz, Jonathan Alexander Pérez Munévar. "Modelado, simulación e implementación de un sistema de control de tensión para un convertidor Buck basado en lógica difusa". Tesis para optar al título de ingeniero electricista, Universidad Industrial de Santander, 2016.
- Juan Daniel Galindo Ramírez, Oscar Olarte Ortiz. "Simulación y montaje de un sistema para la caracterización de supercondensadores de baja potencia". Tesis para optar al título de ingeniero electricista, Universidad Industrial de Santander, 2018.
- Ingrid Johanna Moreno Celis, Manuel Sebastián Suárez Rojas. "Implementación de un inversor de tres niveles con cuatro ramas en topología de diodos anclados al neutro". Tesis para optar al título de ingeniero electricista, Universidad Industrial de Santander, 2019.
- Ricardo Rueda Romero. "Diseño de una unidad experimental de monitoreo de la calidad de ambiente interior". Tesis para optar al título de ingeniero electrónico, Universidad Industrial de Santander, 2018.
- Andrés Mauricio Muñoz Acosta, Henry Juliam Pineda Rueda. "Caracterización experimental del módulo de supercapacitores y simulación para su uso en fuentes híbridas". Tesis para optar al título de ingeniero electrónico, Universidad Industrial de Santander, 2020.
- Sergio Andrés Vargas Navarro, Jhonatan Alexander Porras Barba. "Diseño e implementación de un módulo de laboratorio para el control de velocidad de un motor de corriente continua de imanes permanentes". Tesis para optar al título de ingeniero electricista, Universidad Industrial de Santander, 2019.
- Lady Vanessa Vargas Parada, Sergio Rodríguez Becerra. "Convertidor DC/DC elevador dual intercalado para aplicaciones en sistemas fotovoltaicos". Tesis para optar al título de ingeniero electricista, Universidad Industrial de Santander, 2017.



## Sobre los autores

- **Javier Enrique Solano Martínez:** Ingeniero Electricista, Máster en ingeniería eléctrica, Doctor en ingeniería eléctrica de la Université de Franche-Comté. Profesor asociado UIS. [javier.solano@saber.uis.edu.co](mailto:javier.solano@saber.uis.edu.co) [javier.solano@saber.uis.edu.co](mailto:javier.solano@saber.uis.edu.co)
- **María Alejandra Mantilla Villalobos:** Ingeniera Electrónica, Magister en Ingeniería Electrónica y Doctora en Ingeniería de la Universidad Industrial de Santander. Profesora asociada de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander. [marialem@uis.edu.co](mailto:marialem@uis.edu.co)
- **Juan Manuel Rey López:** Ingeniero Electricista y Especialista en Docencia Universitaria de la Universidad Industrial de Santander, Doctor en Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica de Cataluña. Profesor Asistente de la Universidad Industrial de Santander. [juanmrey@uis.edu.co](mailto:juanmrey@uis.edu.co)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

