



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:  
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16  
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,  
COLOMBIA



Encuentro Internacional de  
Educación en Ingeniería ACOFI

# Demostradores experimentales de bajo costo para prácticas en el aula de la asignatura de circuitos eléctricos

**Diego Jiménez Alvernia, Juan Manuel Rey, Johanna Ribero**

**Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Colombia**

## Resumen

Este trabajo describe la experiencia de diseño y uso de demostradores portátiles de bajo costo para prácticas experimentales en el aula en los cursos de pregrado de Circuitos Eléctricos I y II de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T) de la Universidad Industrial de Santander (UIS). Las prácticas en aula son usadas como estrategia pedagógica con el fin de reforzar y contrastar conceptos teóricos de forma inmediata, sin necesidad de desplazarse hasta los laboratorios, generando ambientes de aprendizaje significativos que motivan a los estudiantes a profundizar conceptos y fenómenos físicos estudiados.

**Palabras clave:** circuitos eléctricos; demostrador; experimento en aula

## Abstract

*This work describes the experience of designing and using low-cost portable demonstrators for experimental practices in the classroom for Electrical Circuits I and II courses of the School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering (E3T) of the Industrial University of Santander (UIS). Classroom practices are used as a pedagogical strategy to immediately reinforce theoretical concepts without waiting to go to the laboratories, generating meaningful learning environments that motivate students to study in depth concepts and physical phenomena.*

**Keywords:** electrical circuits; demonstrator; classroom experiment

## 1. Introducción

La capacidad de analizar circuitos eléctricos es una competencia fundamental en la formación de estudiantes de ingeniería eléctrica, electrónica y afines (**Gómez Vásquez, 2017**) (**Cipparrone, 2019**). En los cursos en los que se desarrolla esta competencia se estudian las bases teórico-prácticas para el análisis de sistemas eléctricos de potencia (generación, distribución y transporte de energía eléctrica), aplicaciones de automatización de procesos industriales, conversión de energía eléctrica a otros tipos de energía como la mecánica (motores), diseño de dispositivos electrónicos, telecomunicaciones, entre otras aplicaciones que permiten el desarrollo de procesos productivos y soportan el estilo de vida moderno. La complejidad de la fundamentación matemática y física con la que se modelan las leyes fundamentales de los circuitos eléctricos representa un desafío en el proceso de enseñanza/aprendizaje pues puede llevar con facilidad a interpretaciones conceptuales erróneas (**Duit, 1997**) (**Andrade, 2018**) (**Campos, 2021**). Por lo anterior, es pertinente el desarrollo de propuestas pedagógicas en el aula que ayuden a los estudiantes a comprender de una mejor manera los conceptos teóricos estudiados (**Cartensen, 2009**) (**Trajovic, 2011**) (**O'connell, 2011**) (**Lawanto, 2012**) (**Alvernia, 2021**).

Las prácticas en el aula (o demostraciones experimentales en el aula) consisten en la realización de montajes experimentales sencillos, cortos e ilustrativos para ejemplificar y/o contrarrestar conceptos durante las clases teóricas. Aunque las asignaturas de Circuitos Eléctricos de la E3T tienen componentes prácticas de laboratorio, estas se realizan en las instalaciones de los laboratorios de la E3T con el objetivo de que los estudiantes desarrollen habilidades prácticas y manuales para el montaje, manipulación y análisis de circuitos eléctricos. A diferencia de las prácticas de laboratorio convencionales, las demostraciones en el aula son realizadas por el docente como estrategia pedagógica con el fin de reforzar y contrastar conceptos teóricos de forma inmediata, sin necesidad de desplazarse del salón de clase. Sin embargo, equipar un aula de clase con equipos de experimentación puede representar un alto costo y, adicionalmente, no siempre se cuenta con la disponibilidad de las instalaciones e infraestructura de laboratorios para asistir con la totalidad de estudiantes que componen los cursos teóricos.

En internet es posible encontrar algunas demostraciones en aula que se han hecho virales por el impacto que generan en el desarrollo de las clases. Principalmente en cursos de física, en los que se acompaña la explicación de conceptos teóricos con verificaciones sencillas pero interesantes (ver: <https://youtu.be/77ZF50ve6rs>). Por lo anterior, el presente trabajo describe la experiencia de diseño y uso de demostradores portátiles de bajo costo. Esta experiencia complementa el trabajo colaborativo de los co-autores que se ha venido dando para la reestructuración de los cursos de circuitos eléctricos I y II de la Universidad Industrial de Santander (UIS), cuyos resultados se presentaron parcialmente en el *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería - ACOFI 2021*, en la ponencia titulada "Estrategias pedagógicas basadas en herramientas TIC para la enseñanza de circuitos eléctricos" (**Alvernia, 2021**). En las siguientes secciones se presentará la metodología empleada para el diseño de los demostradores y el primer prototipo (montaje experimental) a implementar en el presente periodo académico (2022-1).



## 2. Metodología para el diseño de los demostradores en los cursos de circuitos eléctricos

En los programas académicos de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica de la UIS, la enseñanza de los circuitos eléctricos se imparte en dos cursos: **Circuitos Eléctricos I** en donde se detallan temáticas como las leyes fundamentales, técnicas de análisis para circuitos en corriente continua, frecuencia compleja, análisis senoidal en régimen permanente (corriente alterna), régimen transitorio y potencia compleja; y **Circuitos Eléctricos II** donde se abordan temáticas más avanzadas relacionadas a aplicaciones específicas de circuitos y herramientas matemáticas de análisis tales como circuitos trifásicos, respuesta en frecuencia, transformada de Laplace (régimen transitorio), circuitos acoplados magnéticamente y redes de dos puertos o cuadripolos.

Para diseñar los demostradores se propone una metodología compuesta por cuatro etapas, la cual se ilustra en la figura 1.

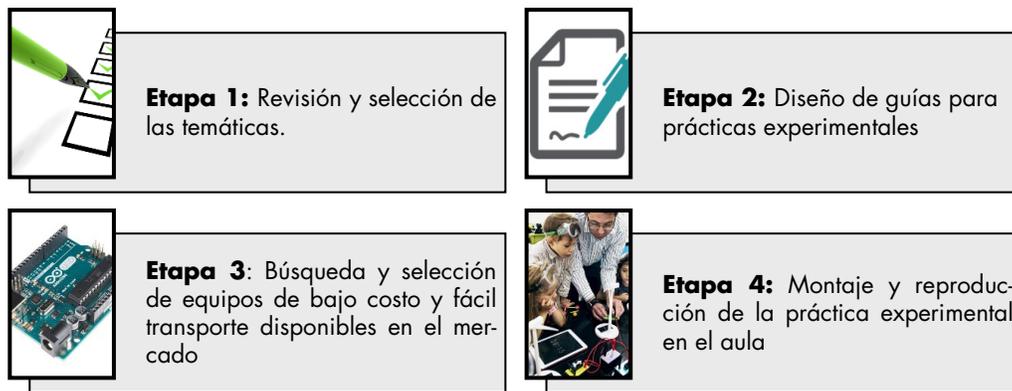


Figura 1. Metodología propuesta para el diseño de demostradores.

La primera etapa consiste en la revisión y selección de temáticas específicas que se abordarán en las demostraciones en aula de cada una de las asignaturas. Como criterios se tuvieron en cuenta la relevancia de estos contenidos y la practicidad experimental, entendida como la viabilidad de reproducir experimentalmente ejemplos en el aula usando infraestructura portátil y de bajo costo.

Por ejemplo, la temática *Circuitos Trifásicos* de la asignatura Circuitos Eléctricos II fue descartada debido a su poca practicidad experimental, pues un montaje demostrativo sobre este tema requeriría el uso de equipos e infraestructura de laboratorio especializada que no cumple con los criterios esperados para los demostradores (portátiles y de bajo costo). Las temáticas seleccionadas de cada curso para la experiencia práctica en el aula son las siguientes:

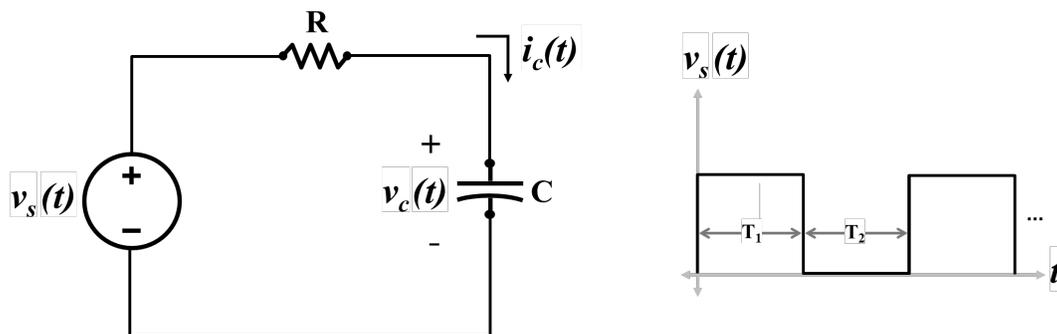
Circuitos Eléctricos I	Circuitos Eléctricos II
Leyes fundamentales de circuitos	Respuesta en frecuencia
Análisis senoidal en régimen permanente	Régimen transitorio
Régimen transitorio	Circuitos acoplados magnéticamente

La segunda etapa propuesta consiste en el diseño de guías para prácticas experimentales en las que se detallan los fenómenos físicos a reproducir en el aula. En estas guías se especifican los conceptos teóricos que se esperan contrastar en las demostraciones experimentales, así como los esquemas circuitales a implementar. Las guías servirán de apoyo a los docentes, pues a diferencia de las prácticas de laboratorio en las que son los estudiantes quienes realizan los montajes, en las demostraciones es el docente quien presenta la práctica y la usa para ejemplificar un concepto de manera inmediata (en el aula) y específica (relacionándolo con una ecuación, fórmula, idea o fenómeno puntual).

En la tercera etapa se hace la búsqueda y selección de equipos e instrumentos de medición de bajo costo y fácil transporte disponibles en el mercado. Cabe destacar que en el año 2021 las aulas de clase de las diferentes sedes de la UIS fueron modernizadas con equipos de cómputo y proyección audiovisual que permiten realizar actividades híbridas (presenciales y virtuales simultáneas), facilitando la visualización de señales eléctricas censadas. Como etapas finales, se realiza el montaje y reproducción de la experiencia en el aula, para luego evaluar el impacto sobre el proceso de aprendizaje de los estudiantes. A continuación, se describe la primera propuesta de demostrador que se implementará en el periodo académico actual (2022-1) en los cursos de circuitos eléctricos I y circuitos eléctricos II

### 3. Prototipo de demostrador experimental

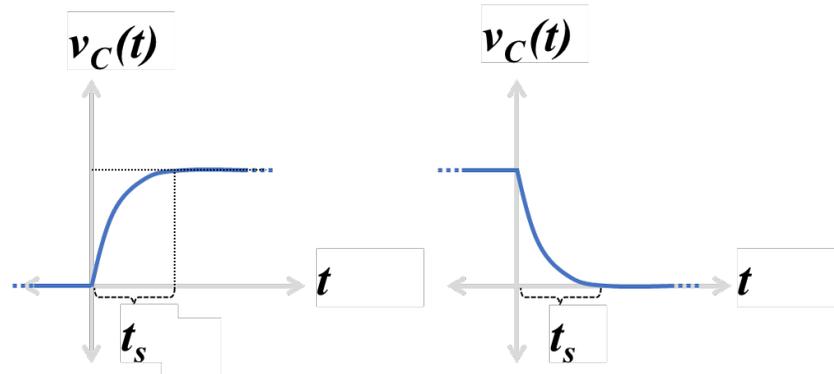
El primer prototipo desarrollado de demostrador experimental para experiencia práctica del aula está enfocado en el estudio y comprobación de la respuesta dinámica de circuitos eléctricos de primer orden (análisis en régimen transitorio). Se selecciona esta temática debido a la complejidad en el desarrollo matemático para modelar el comportamiento de un circuito eléctrico en condiciones dinámicas y la posibilidad de visualizar el comportamiento de las señales eléctricas para desarrollar una mejor comprensión de los eventos dinámicos de un circuito eléctrico. Para la práctica en el aula se propone el montaje experimental presentado en la figura 2.



**Figura 2.** Montaje experimental para visualizar la carga y descarga de un condensador

En este montaje se estudia el comportamiento del fenómeno físico de la carga y descarga

de un condensador en un circuito de primer orden sometidos a cambios instantáneos (encendido y apagado) de una fuente de tensión. El tiempo de encendido y el tiempo de apagado de la fuente se pueden programar con el fin de detallar el tiempo de establecimiento de carga y/o descarga ( $t_s$ ) del condensador el cual depende de los valores de los elementos del circuito, en este caso de la capacitancia y la resistencia (constante de tiempo).



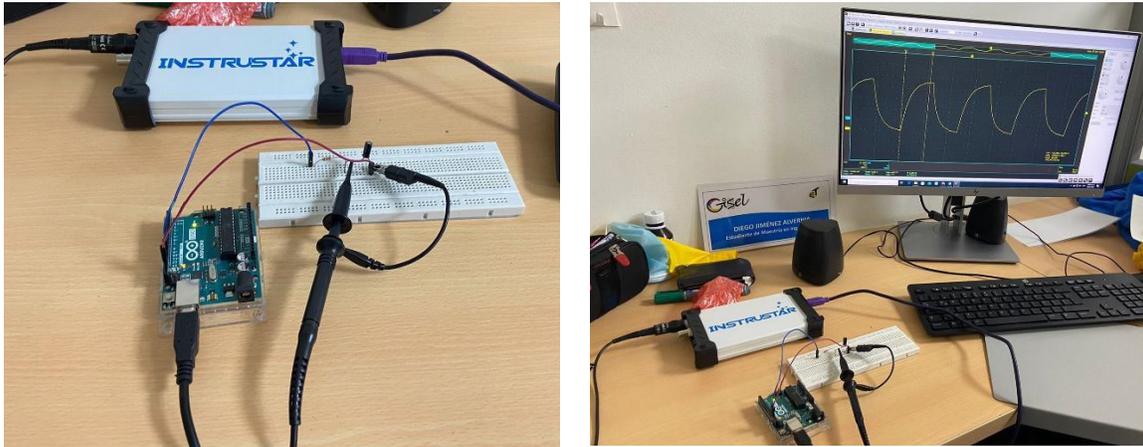
**Figura 3.** Comportamiento de la carga y descarga de un condensador en circuitos de primer orden

Con la demostración en el aula se busca la comprobación de los cálculos y el modelado matemáticos basados en la fundamentación teórica. Adicionalmente, se propone analizar diferentes casos de estudio que impliquen la variación de los tiempos de encendido y apagado de la fuente, cambios en los elementos que componen el circuito y consideraciones a la hora de realizar el montaje físico.

Para el montaje experimental se emplearán los siguientes equipos

- Arduino UNO:** Arduino es un microcontrolador de propósito general y bajo costo que permite sensor señales, enviar información de manera inalámbrica, controlar dispositivos electrónicos, entre otras funciones. Para el montaje experimental, el Arduino representa la fuente de alimentación programable
- Protoboard:** Es una placa de pruebas que permite realizar el montaje de circuitos eléctricos. La ventaja del protoboard es que no requiere soldar componentes de circuitos y así poder montar y desmontar cualquier circuito de aplicación de forma rápida y segura.
- Resistencia 4 bandas:** se emplean para aplicaciones de baja potencia y protección de otros dispositivos electrónicos.
- Condensador electrolítico:** este tipo de condensador es empleado en aplicaciones de almacenamiento de energía, filtros y circuitos de baja frecuencia.
- Osciloscopio Instrutar ISD205A:** Este instrumento portátil de medición permite la medición y visualización a través de un ordenador de señales de tensión. Su costo es bajo y sus especificaciones operativas son ideales para el desarrollo de demostradores con las características deseadas.

En la figura 4 se detalla el montaje experimental que se implementará en el aula:



**Figura 4.** Demostrador experimental para visualizar la carga y descarga de un condensador

#### 4. Conclusiones

Este trabajo presentó la experiencia de diseño e implementación de prácticas experimentales en el aula basadas en demostradores portátiles de bajo costo para los cursos de pregrado de circuitos eléctricos I y circuitos eléctricos II de la E3T de la UIS. Estas demostraciones son usadas como estrategia pedagógica para visualizar fenómenos complejos de circuitos eléctricos sin la necesidad de desplazarse a instalaciones de laboratorio gracias a su fácil portabilidad y bajo costo, mejorando la experiencia de aprendizaje en el aula. Adicionalmente, este tipo de ambientes de aprendizaje significativo facilita la comprensión del método científico al contrastar el modelo físico-matemático con resultados experimentales. En futuros trabajos se presentará la evaluación del impacto que tuvieron en los procesos de aprendizaje de los estudiantes.

#### 5. Referencias

- Alvernia, D. J., & Rey, J. M. (2021). ESTRATEGIAS PEDAGÓGICAS BASADAS EN HERRAMIENTAS TIC PARA LA ENSEÑANZA DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería.
- Andrade, F. A. L. D., Barbosa, G. F., Silveira, F. L. D., & Santos, C. A. D. (2018). Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples. Revista Brasileira de Ensino de Física, Vol 40, 2018.
- Campos, E., Tecpan, S., & Zavala, G. (2021). Argumentación en la enseñanza de circuitos eléctricos aplicando aprendizaje activo. Revista Brasileira de Ensino de Física, Vol. 43, 2018. ISSN 1806-9126.
- Carstensen, A. K., & Bernhard, J. (2009). Student learning in an electric circuit theory course: Critical aspects and task design. European Journal of Engineering Education, 34(4), 393-408.

- Cipparrone, F. A., Beccaro, W., & Kaiser, W. (2019). Modeling and Analysis of Inductive “Kick-back” in Low Voltage Circuits. *IEEE Transactions on Education*, 63(1), 17-23.
- Duit, R., & von Rhöneck, C. (1997). Learning and understanding key concepts of electricity. *Connecting research in physics education with teacher education*, 1, 1-6.
- Lawanto, O. (2011). The use of enhanced guided notes in an electric circuit class: An exploratory study. *IEEE Transactions on Education*, 55(1), 16-21.
- O'Connell, R. M. (2011, October). Work in progress—adapting team-based learning to the first circuit theory course. In *2011 Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. T2C-1). IEEE.
- Palma, L., Morrison, R. F., Enjeti, P. N., & Howze, J. W. (2005). Use of web-based materials to teach electric circuit theory. *IEEE Transactions on education*, 48(4), 729-734.
- Trajković, L. (2011, May). Teaching circuits to new generations of engineers. In *2011 IEEE International Symposium of Circuits and Systems (ISCAS)* (pp. 1187-1190). IEEE.
- Tsihouridis, C., Vavougios, D., Ioannidis, G. S., Alexias, A., Argyropoulos, C., & Poullos, S. (2015, September). The effect of teaching electric circuits switching from real to virtual lab or vice versa—A case study with junior high-school learners. In *2015 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)* (pp. 643-649). IEEE.
- Vásquez, E. G. (2017). ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE PARA UN CURSO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS DEL ÁREA DE INGENIERÍA. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*.

## Sobre los autores

- **Diego Alfonso Jiménez Alvernia:** Ingeniero Electricista y Profesor Cátedra Asociado de la Universidad Industrial de Santander. [diego.jimenez@e3t.uis.edu.co](mailto:diego.jimenez@e3t.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)
- **Leidy Johanna Ribero Amado:** Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander. [leidyribero66@gmail.com](mailto:leidyribero66@gmail.com)

---

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

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

