



CAMBIANDO EL ROL DE LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES EN LA ENSEÑANZA DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA

CHANGING THE ROLE OF THE EXPERIMENTAL ACTIVITIES IN TEACHING POWER ELECTRONICS

Oswaldo López Santos

Universidad de Ibagué, Ibagué (Colombia)

Resumen

En este artículo se discute la importancia de diversificar las estrategias pedagógicas utilizadas en el laboratorio, con el fin de conseguir un rol más activo de la experimentación en la enseñanza de la electrónica de potencia. Las actividades propuestas están basadas en la necesidad de aplicar metodologías de enseñanza en el ambiente experimental, que incentiven el aprendizaje del estudiante y permitan optimizar el espacio y tiempo que éste comparte con el docente para tal fin. La iniciativa es presentada tomando como contexto el uso de recursos de ingeniería aplicados en electrónica de potencia, tales como prototipado rápido e implementación de convertidores a base de bloques. El diseño de algunas actividades aplicadas en diferentes temas de la electrónica de potencia es descrito detalladamente, evidenciando las diferencias sustanciales con las prácticas tradicionales. Finalmente, la discusión resalta el efecto positivo de las actividades aquí presentadas y motiva su transferencia a otras áreas de la educación en ingeniería.

Palabras clave: enseñanza en electrónica de potencia, actividades experimentales, herramientas didácticas, prototipado rápido

Abstract

This paper discusses the relevance of diversifying the pedagogical strategies used in the laboratory to achieve a more active role of experimentation in teaching power electronics. The proposed activities are based on the need to apply teaching methodologies in the experimental environment to stimulate students' learning and optimize the space and time spent with the teacher for said purpose. The initiative is presented within the context of using engineering resources applied in power electronics, such as rapid prototyping and power electronics building blocks (PEBB). The design of some activities in different

topics of power electronics are described in detail, showing substantial differences with traditional practices. Finally, discussion highlights the positive effect of the activities proposed herein and motivates its transfer to other areas of engineering education.

Keywords: teaching power electronics, experimental activities, didactic tools, rapid prototyping

Introducción

La electrónica de potencia es un área de la ingeniería electrónica que ha venido tomando un papel protagónico en el desarrollo de la humanidad (Mellitt, 2008). Entre las muchas áreas de aplicación actual se destaca el aprovechamiento de las energías alternativas, el transporte a base de energía eléctrica, la industria aeroespacial y la electrónica de consumo. Lo anterior, sumado a la necesidad de utilizar convertidores de potencia en la mayoría de los procesos industriales demanda una participación cada vez más activa de los ingenieros electrónicos e ingenieros electricistas en esta área, y esto a su vez, implica la necesidad de una mejor formación sin requerir extender el número de asignaturas asociadas en los currículos (Rashid, 2004). Por esta razón, la enseñanza de la electrónica de potencia ha despertado interés en la comunidad académica y, por lo tanto, hoy es posible acceder a experiencias de profesores e investigadores enfrentando este desafío en el nuevo contexto tecnológico del mundo. Estas propuestas de innovación para la educación y la investigación en electrónica de potencia pueden clasificarse en tres grupos importantes: a) aplicación de nuevas estrategias metodológicas (Nogueiras *et al.*, 2005), b) uso de herramientas computacionales basadas en plataformas interactivas (López-Santos *et al.*, 2011) o Internet (Nafpaktitis *et al.*, 2006) y, c) uso de herramientas de prototipado rápido y opciones avanzadas de implementación (Jacobs *et al.*, 2004).

La aplicación de nuevas estrategias pedagógicas en la enseñanza de la ingeniería han resultado de la discusión permanente acerca de los roles del educador y el estudiante en el proceso de formación y la necesidad de involucrar al estudiante como partícipe activo. Para ello, cada estrategia debe ser cuidadosamente seleccionada para una temática específica, un ambiente de aprendizaje específico o incluso, un grupo de estudiantes específico. De esta manera, el concepto de buena enseñanza

planteado en Biggs (2006), se ve representado en la intencionalidad pedagógica gracias a la cual el estudiante se motiva y participa activamente, logrando que una actividad de enseñanza se convierta efectivamente en una actividad de aprendizaje. Con base en lo anterior, puede afirmarse que la innovación de estrategias metodológicas aplicadas en la enseñanza de la electrónica de potencia, implica necesariamente la participación activa de los estudiantes (Abramovitz, 2011).

De otro lado, con las redes de computadores y la intensificación en el uso de tecnología en la educación, se han desarrollado también herramientas que permiten acercar cada vez más a los estudiantes a la electrónica de potencia sin depender de un espacio físico común, explorando la autonomía en el aprendizaje a partir de laboratorios remotos (Andújar, *et al.*, 2010), y herramientas interactivas (Zumel *et al.*, 2006), (Fernández *et al.*, 2008). Algunas propuestas, además, incorporan la intención de lograr mayor eficiencia experimental, como se muestra en (Jiménez-Martínez *et al.*, 2005), (Fernández *et al.*, 2002) y (Lab-Volt, 2011). Adicionalmente, es posible lograr que productos académicos resultantes de proyectos de investigación, sean adecuados para retornar el conocimiento explorado de una forma más elaborada y brinden facilidades para el desarrollo de nuevos proyectos (López-Santos, 2011). Con esta misma perspectiva, se han traído a la educación conceptos que en principio han sido pensados para el desarrollo industrial o de investigación, tales como el prototipado rápido y la construcción de convertidores de potencia a base de bloques (PEBB).

Como se muestra en (Monti *et al.*, 2003), (Cirstea *et al.*, 2004) y (Rao *et al.*, 2009), la complejidad de implementación de los convertidores de potencia, ha convertido al prototipado rápido en una herramienta común tanto para la investigación como para la enseñanza de la electrónica de potencia (Choi *et al.*, 2012). Adicionalmente, la construcción

de convertidores a base de bloques presentada en (Hingorani, 2003), (Rosado et al., 2006) y (Boroyevich, 2010) que permite la implementación de convertidores modularmente, también ha sido explorada con intencionalidad pedagógica en (Mohan *et al.*, 2001) y (Robbins *et al.*, 2002). Ambos conceptos apuntan a focalizar las actividades con el objetivo de que el estudiante o investigador no tenga que trabajar en el desarrollo experimental de algo cuyo funcionamiento se encuentra ya esclarecido. Así, si el objetivo de una práctica en el área de control es la aplicación del control digital sobre un convertidor de potencia, la actividad se focalizará en el sistema de control digital y no en el convertidor, lo que permite abordar el problema completo en menor tiempo y con mayor eficacia, sin excluir ningún elemento fundamental en la experiencia. Por supuesto, la anterior afirmación considera que existe previamente un prototipo de inversor sobre el cual puede aplicarse control digital.

Con base en lo expuesto, las actividades experimentales deben jugar un rol fundamental en la enseñanza de la electrónica de potencia, y por lo tanto, es necesario complementar las estrategias tradicionales a través de la innovación pedagógica. Este artículo presenta ejemplos que permiten abordar trabajo experimental en electrónica de potencia

a partir de prototipos existentes de convertidores electrónicos y que conllevan cada una a un ambiente diferente de aprendizaje. El artículo parte del contenido típico de la asignatura de electrónica de potencia y posteriormente conceptualiza cada una de las actividades propuestas. Luego, se plantean tres ejemplos de actividades experimentales basadas en prototipos existentes, entre los cuales se presenta un rectificador con corrección de factor de potencia (PFC), un convertidor electrónico para una lámpara fluorescente compacta (bombilla ahorradora) y dos topologías de inversores monofásicos. Finalmente, se presenta la discusión, el análisis de los resultados y las conclusiones.

Contenido curricular de electrónica de potencia

Como se muestra en la figura 1, el contenido temático de electrónica de potencia cubierto en pregrado puede resumirse en tres áreas: Conversión AC-DC, conversión DC-DC y conversión DC-AC. Estas temáticas pueden distribuirse en varios cursos o presentarse de forma compacta en un solo curso. En cualquier caso, se espera que un ingeniero electrónico desarrolle las capacidades para analizar, diseñar, implementar y evaluar circuitos electrónicos de potencia de las clasificaciones AC-DC, DC-DC y DC-AC.

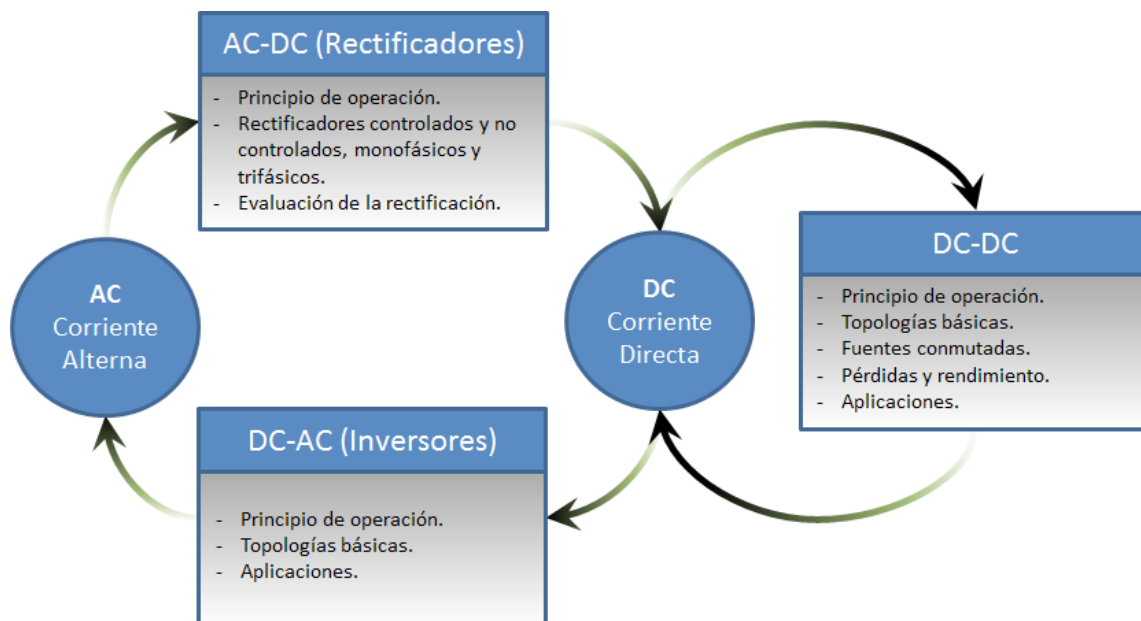


Figura 1. Diagrama conceptual del contenido temático de electrónica de potencia en pregrado.

Para cubrir el requerimiento antes mencionado, es necesario plantear diferentes metodologías que permitan involucrar de forma activa la simulación y la experimentación en el proceso de enseñanza de la electrónica de potencia. Este artículo presta especial atención a las actividades experimentales, sin desconocer la relevancia de la simulación como herramienta de validación, incluso dentro de la misma etapa experimental.

Demostración experimental orientada por el docente

La demostración experimental por parte del docente como método de enseñanza constituye la posibilidad de que el estudiante comparta un ambiente de aprendizaje práctico en el cual el docente es moderador. Así, el docente puede hacer uso de

un prototipo real como herramienta pedagógica para demostrar la forma en que debe realizarse un procedimiento, verificar conceptos a partir de mediciones y señales observadas en instrumentos, e incluso discutir relaciones complejas con base en la observación. La figura 2 muestra un diagrama conceptual de la actividad de demostración por parte del docente en donde se encuentran discriminadas las etapas del desarrollo de la misma. Es importante notar que el planteamiento aquí presentado tiene en cuenta que el estudiante debe desarrollar de forma preliminar actividades que serán complementadas a través de la demostración experimental realizada por el docente. Este tipo de actividades deben propiciar un cuestionamiento alrededor de la demostración y posteriormente se debe proponer una actividad para que el estudiante re-cree a través de su propio análisis los resultados de la práctica y pueda discutirlos con el docente.

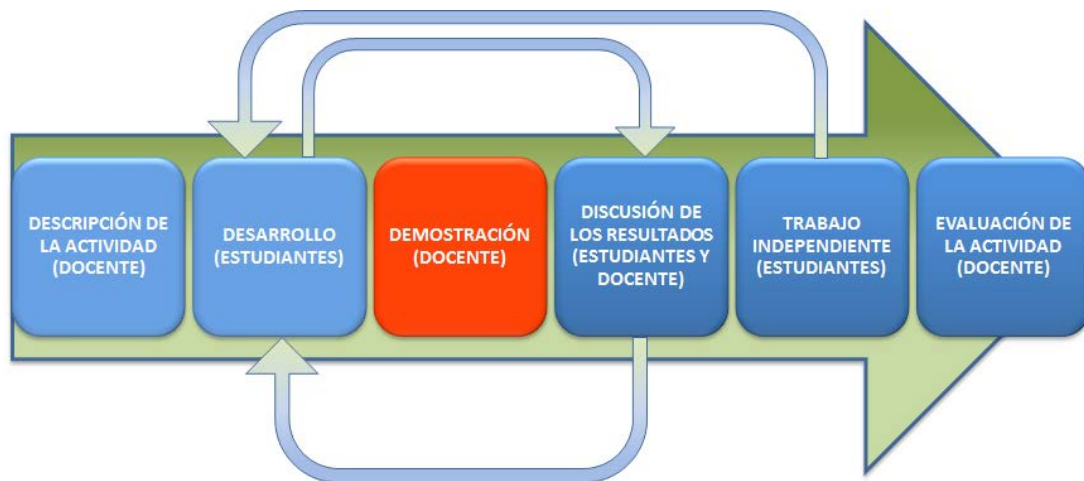


Figura 2. Diagrama conceptual de la actividad de demostración por parte del docente.

Evaluación de parámetros sobre un prototipo existente

La evaluación de parámetros es una actividad común en la enseñanza de la electrónica. Suele aplicarse en cursos de electrónica básica, teoría de circuitos y otras donde se desea reconocer el funcionamiento de los dispositivos, tales como, diodos, transistores, opto-acopladores, etc. Al referirse a una actividad de este tipo en electrónica de potencia o control electrónico, el nivel de complejidad del sistema sobre el cual se desea evaluar parámetros dificulta

que se cumpla plenamente el objetivo, ya que se obliga a la obtención de un funcionamiento previo del sistema. El uso de un prototipo existente, concentra el desarrollo de la actividad en la evaluación de los parámetros y en el fortalecimiento de esta competencia específica demandada para el ingeniero. La figura 3 muestra un diagrama conceptual de la actividad de evaluación de parámetros sobre un prototipo en donde se encuentran discriminadas las etapas del desarrollo de la misma. En este caso es necesario disponer de prototipos y equipos que permitan que el estudiante realice las

mediciones correspondientes, se cuestione acerca de los resultados y tenga la posibilidad de retomar la actividad en caso de que no encuentre coherencia

entre lo medido y lo esperado. Por consiguiente, este tipo de actividad resulta muy completa acompañada de una actividad de simulación.



Figura 3. Diagrama conceptual de la actividad de evaluación de parámetros.

Implementación de un bloque en un sistema

El concepto de construcción a base de bloques tiene como objetivo fundamental la reducción de costos basada en la estandarización. Por esta razón, la aplicación del concepto permite diferenciar en un sistema de electrónica de potencia, una o más etapas de potencia estándar y una etapa de control. No obstante, también es posible tener etapas de comunicaciones y/o supervisión. Así, la estructura de cualquier convertidor de potencia puede ser llevada a una descripción en bloques y, por lo tanto, las funciones inmersas en él, se pueden discriminar. Al

fusionar este concepto con el de prototipado rápido en el laboratorio, es posible intervenir un prototipo para la modificación, implementación o evaluación de cada uno de sus bloques. De esta manera, la existencia del sistema completo, permite que el estudiante conozca su funcionamiento en forma previa al desarrollo de la actividad y posteriormente enfoque su trabajo en un solo bloque. La figura 4 muestra un diagrama conceptual de la actividad de implementación de un bloque en un sistema, en donde es importante notar la ventaja que supone la posibilidad de observar el funcionamiento esperado del sistema durante todas las fases de una práctica.

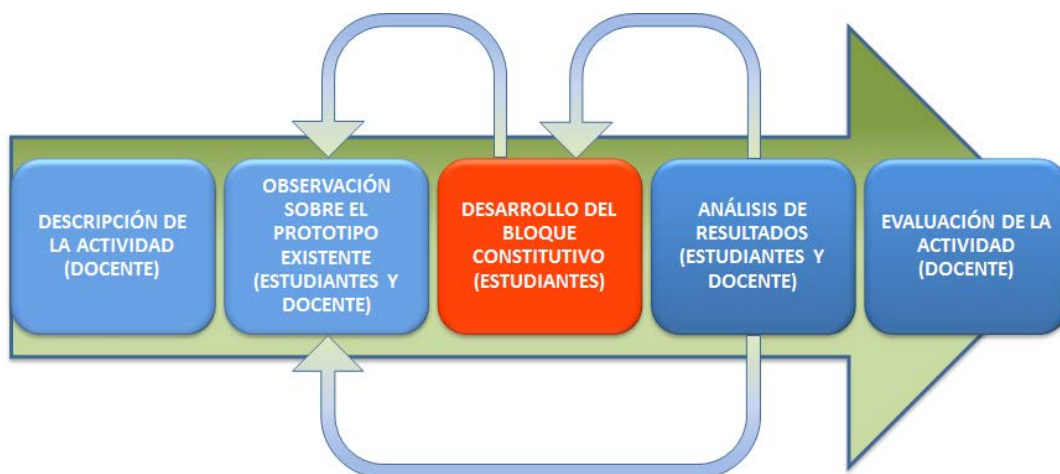


Figura 4. Diagrama conceptual de la actividad de implementación de un bloque constitutivo de un sistema

Desarrollo de las actividades propuestas

Con el fin de evaluar las actividades propuestas han sido diseñadas e implementadas prácticas de laboratorio abordando las siguientes temáticas:

- Medición y análisis de potencia.
- Lámparas fluorescentes compactas.
- Inversores monofásicos

La práctica de análisis de potencia, es realizada aplicando demostración experimental por parte del docente y permite explorar a través de la medición de potencia eléctrica, la diferenciación entre las potencias real, reactiva y de distorsión, la distorsión armónica de corriente, el factor de potencia y el factor de potencia de desplazamiento. No obstante, la parte más importante de la práctica consiste en discutir la relación entre las variables mencionadas, logrando un aprendizaje más profundo de la temática. Por ejemplo, si un estudiante comprende la relación entre la distorsión armónica de corriente y el factor de potencia comprenderá mucho más los fenómenos que afectan la calidad de energía que un estudiante que simplemente comprende los conceptos de distorsión armónica y factor de potencia por aparte. En este sentido, la aplicación de este tipo de actividad refuerza las relaciones cognitivas que puede resultar cuando el estudiante aprende usando solamente expresiones matemáticas y simulaciones, lo que ha sido trabajo de otros autores que enfocan sus propuestas en un mejor uso de las herramientas (Shaffer, 2007).

La aplicación de la demostración experimental en la práctica de medición y análisis de potencia, requiere de un prototipo de sistema electrónico contaminante y un equipo de análisis de calidad de potencia. Como sistema contaminante se usa un rectificador trifásico no controlado con filtro capacitivo y como equipo de análisis el analizador de calidad de potencia FLUKE 43B. Para el desarrollo de la práctica los estudiantes realizan las mediciones en forma autónoma y posteriormente el docente realiza las mediciones discutiendo las relaciones entre los parámetros y contrastando los resultados. Luego de la realización de la práctica el estudiante analiza los resultados experimentales y los contrasta con simulaciones y cálculos matemáticos, permitiendo así, la realización de un segundo ciclo de verificación.

Esta práctica, puede acompañarse también de una actividad basada la temática de rectificación con corrección de factor de potencia, presentada en (Erickson, *et al.* 2000), con la realización de mediciones sobre un sistema electrónico desarrollado para ser no contaminante. En esa vía se ha desarrollado un prototipo de rectificador en donde el estudiante puede apreciar que la problemática que originan ciertos dispositivos electrónicos puede ser corregida con la aplicación de la teoría de control en un convertidor de potencia real. La figura 5, muestra el montaje experimental para la medición de potencia sobre el rectificador monofásico con corrección de factor de potencia.

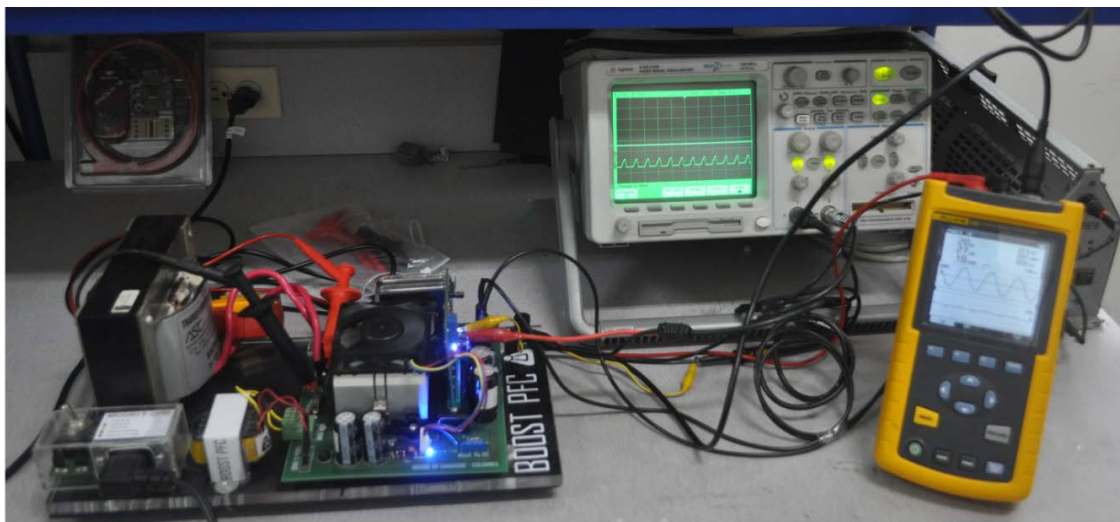


Figura 5. Montaje experimental para medición y análisis de potencia

La práctica enfocada a las lámparas fluorescentes compactas cuyo funcionamiento es descrito en (Cunill-Solà, *et al.* 2007), ha sido desarrollada como proyecto final en un curso de electrónica industrial durante el año 2011. En esta práctica se ha propuesto la implementación de un bloque de un sistema a partir del funcionamiento de una lámpara fluorescente compacta comercial (más comúnmente llamada bombillo ahorrador). En la actividad se reemplaza el convertidor electrónico original por un convertidor

de topología diferente construido por los estudiantes, conservando el tubo fluorescente. En este sistema se pueden identificar cuatro bloques constitutivos: el bloque de alimentación, el bloque de potencia, el bloque de transformación y el bloque de control. Para el bloque de alimentación, la red es reemplazada por una fuente de alimentación DC de 24V con el fin de facilitar el desarrollo de la actividad. La figura 6 muestra el montaje final entregado por un grupo de estudiantes para la evaluación de la práctica.

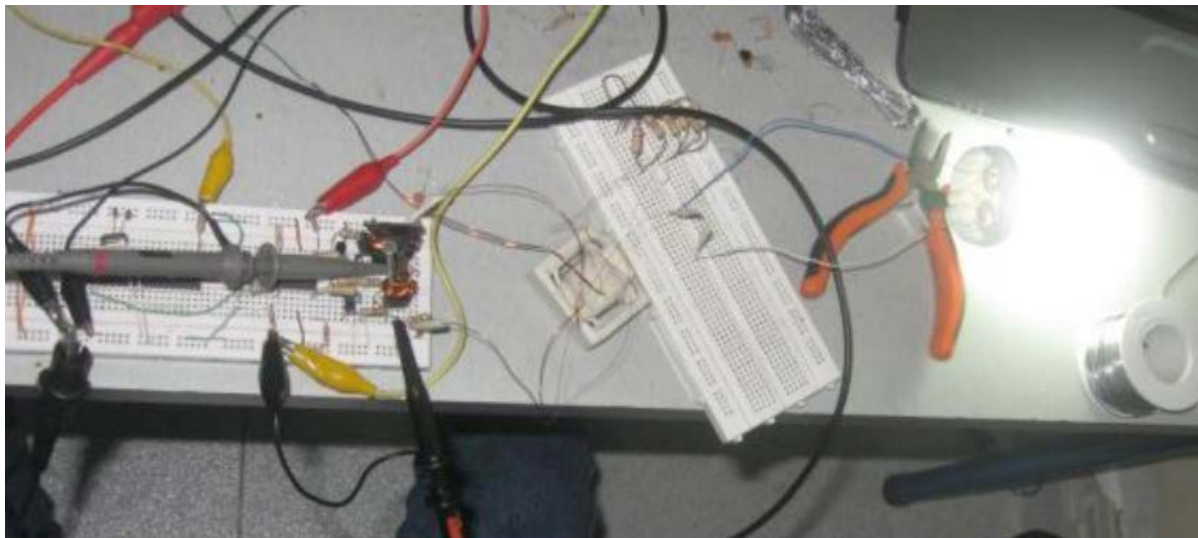


Figura 6. Fotografía de montaje realizado por estudiantes en la práctica enfocada a las lámparas fluorescentes compactas

Para el desarrollo de esta práctica, se ha realizado una sesión de demostración experimental por parte del docente, en la que se hacen mediciones para determinar la forma, frecuencia y amplitud de la tensión que se requiere para el funcionamiento de la lámpara. Esta sesión, también impone las condiciones del proyecto con base en el fenómeno que se observa en forma compartida entre el docente y los estudiantes, planteando la solución con base en lo visto durante el curso. Puesto que la temática de convertidores resonantes necesaria para el desarrollo de un convertidor con la topología típica de las lámparas fluorescentes compactas no es abordada en el curso, el desafío

de la práctica está en lograr el funcionamiento a partir de una topología más básica. Así, el estudiante se enfrenta a una actividad de implementación de un bloque constitutivo del sistema, partiendo de la existencia del bloque de transformación (tubo electroluminiscente) y el bloque de alimentación desarrollando el bloque de potencia para conseguir de nuevo el funcionamiento completo de la lámpara. En esta primera experiencia se usó un convertidor DC-AC en topología push-pull (Emadi, *et al.*, 2009), usando la configuración mostrada en la figura 7 que corresponde al diagrama realizado por un grupo de estudiantes.

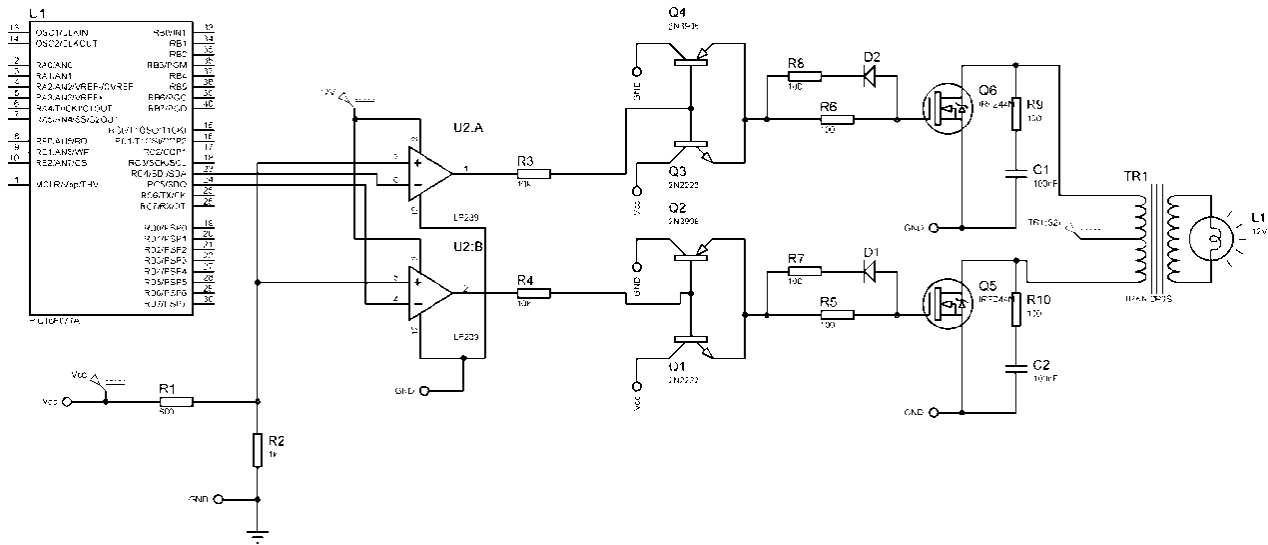


Figura 7. Diagrama experimental del convertidor desarrollado por los estudiantes en la práctica de lámparas fluorescentes compactas.

La práctica enfocada a los inversores monofásicos, resulta del uso de un prototipo de inversor monofásico de medio puente y un prototipo de inversor monofásico de puente completo construidos en el desarrollo de un proyecto de investigación. Con ellos es posible realizar una demostración experimental orientada por el docente, evaluación de parámetros sobre el prototipo existente, e implementación de un bloque constitutivo del sistema, como un conjunto completo

de actividades experimentales alrededor de la temática de inversores monofásicos. Por ahora, el estudiante puede modificar parámetros como amplitud, índice de modulación y frecuencia de salida a través de del programa alojado en el microcontrolador. No obstante, actualmente se desarrolla una interfaz gráfica con opciones de medición, análisis y control. La figura 8 muestra uno de los junto con el montaje experimental de demostración.

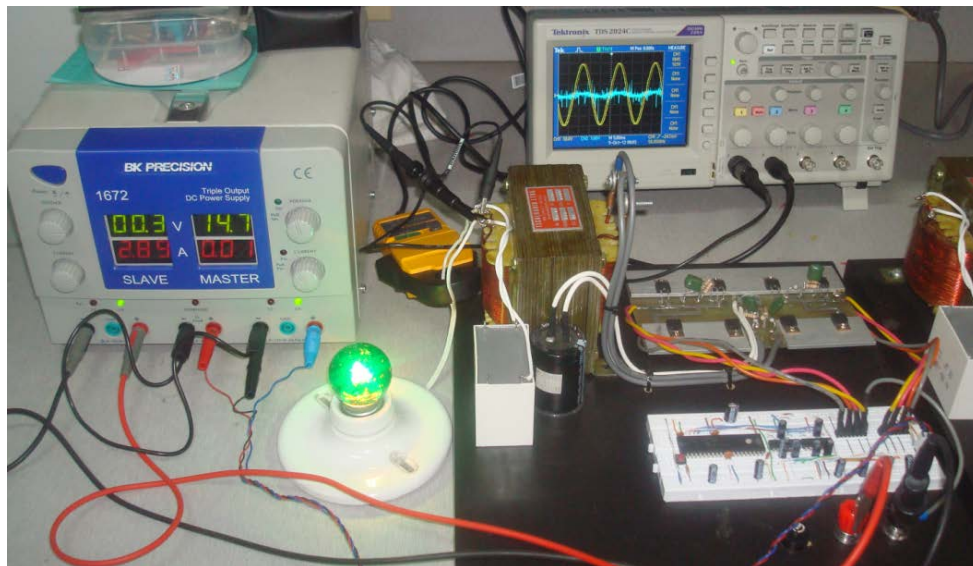


Figura 8. Montaje experimental basado en prototipos de inversores monofásicos

De forma complementaria, también es posible aplicar diferentes técnicas de control digital (Buso, *et al.*, 2006), involucrando estudiantes de cursos de pregrado y posgrado, permitiendo que los estudiantes apliquen fácilmente los métodos de diseño revisados en clase usando un modelo suministrado previamente por el docente.

Análisis de resultados

Con el fin de establecer un punto de partida para estudiar el efecto de las actividades propuestas en este artículo, ha sido aplicada una encuesta a un grupo de 29 estudiantes que han cursado durante los años 2010, 2011 y 2012, las asignaturas del área de electrónica industrial en las que se abordan las temáticas correspondientes a electrónica de potencia. La encuesta cuestiona acerca de la percepción que tiene el estudiante de las actividades de laboratorio

tradicionales en comparación con las actividades aquí presentadas. Las preguntas realizadas son las siguientes:

1. ¿La realización de una demostración experimental por parte del docente influye positivamente en el aprendizaje?
2. ¿Qué considera más conveniente en una práctica de laboratorio: Desarrollar el sistema completo, desarrollar un bloque de un sistema o interconectar bloques existentes?
3. ¿Considera necesaria la existencia de prototipos funcionales para el desarrollo de prácticas de electrónica de potencia?
4. ¿Tiene alguna influencia que los prototipos sean desarrollados por estudiantes?

Además, la respuesta a cada pregunta debía ser remarcada con el argumento de cada estudiante. Los resultados obtenidos son presentados en la figura 9.

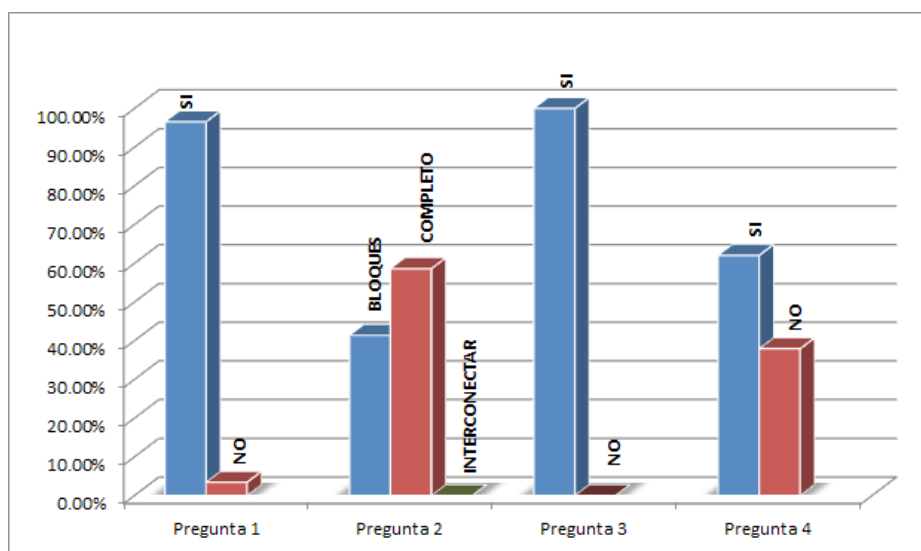


Figura 9. Resultados de la aplicación de encuesta a estudiantes

A partir de los resultados obtenidos en la pregunta uno, se puede concluir que los estudiantes en general perciben que el rol activo del docente en las actividades del laboratorio tiene un efecto positivo en su aprendizaje. Dentro de las justificaciones encontradas, las más relevantes obedecen al estímulo y confianza obtenidos al percibir al profesor más abierto a compartir su conocimiento y experiencia para facilitar el descubrimiento que debe realizar el estudiante durante una práctica.

Los resultados de la pregunta tres, permiten concluir que los estudiantes están abiertos al desarrollo de actividades experimentales a partir de prototipos funcionales, manifestando la percepción de ventajas significativas. Además, los resultados de la pregunta 2 permiten identificar que consideran fundamental su participación en la implementación, ya que ningún estudiante encuestado prefiere el desarrollo de una práctica en la que simplemente deba interconectar bloques. Las justificaciones

presentadas por los estudiantes que prefieren el desarrollo de un bloque o el desarrollo del sistema completo, se argumentan en la necesidad de que su propia experiencia, creatividad y habilidad les conduzca al aprendizaje, ya que un esquema de prácticas desarrollado donde no sea necesaria su intervención, no resulta atractiva. Adicional a esto, los estudiantes que prefieren el desarrollo de un bloque y no un sistema completo, argumentan que desarrollar partes de un sistema que muchas veces no corresponden al objeto de la asignatura que adelantan incide directamente en el éxito del trabajo experimental y la evaluación.

Los resultados de la pregunta cuatro nos confirman que la disposición de prototipos de buena calidad, funcionalidad y robustez realizados por otros estudiantes del mismo programa, generan motivación, en el sentido que se asegura que los objetivos planteados en la práctica se pueden conseguir sin esfuerzo sobrenatural. No obstante, algunos estudiantes que respondieron que no importa la procedencia de los prototipos, argumentan que lo más importante es la calidad y robustez de los prototipos, siendo esto una condición para que este tipo de herramientas sea vinculada a los recursos de laboratorio.

Discusión

La aplicación de herramientas de prototipado rápido e implementación de convertidores a base de bloques ha tomado gran auge en la educación en ingeniería electrónica y especialmente en electrónica de potencia, como lo demuestra el volumen de publicaciones académicas con este enfoque. No obstante, muchas de estas aplicaciones cubren completamente los requerimientos del sistema, convirtiendo la experiencia con la herramienta en algo muy parecido a una simulación. Por lo tanto, pese a la inquietud que genera la existencia de una herramienta que facilite el trabajo experimental y tenga mayor garantía de funcionalidad, el estudiante de ingeniería electrónica quiere hacer implementación, ya sea construyendo un circuito completo o desarrollando un bloque constitutivo. De esta manera, trabajos como el presentado en (Choi *et al.*, 2012), en donde se introduce una herramienta específica de

prototipado rápido cuyo desarrollo se basa en la iniciativa de aplicar el método Concebir-Diseñar-Implementar-Operar (CDIO), pueden tener un mayor impacto, no queriendo con esta afirmación desconocer el también valioso aporte que generan los desarrollos centrados en las herramientas.

Los trabajos presentados en (López-Santos, 2011) y en (Jiménez-Martínez *et al.*, 2005), cuyos propósitos son similares y se enfocan en proponer una nueva metodología soportada en innovaciones de hardware-software, permiten abordar el problema metodológico de la enseñanza acompañado del uso de herramientas de simulación o experimentación. En esta misma vía, las ideas aquí discutidas, cuestionan acerca de la necesidad de abordar diferentes actividades de enfoque experimental apoyadas en desarrollos didácticos con el fin de lograr mejores indicadores en la motivación de los estudiantes y mejores resultados en el aprendizaje. Sin embargo, a diferencia de los trabajos mencionados, aquí se ha tratado de establecer a priori la percepción del estudiante acerca de este cambio metodológico formulando inquietudes para el desarrollo de estrategias pedagógicas que usen el laboratorio como ambiente de aprendizaje. Con esto en mente, se afirma que la descripción de las actividades y la explicitud de la intencionalidad pedagógica contribuyen formalmente en la discusión del efecto real que causan en el aprendizaje las metodologías que usan prototipos experimentales basados en los conceptos de prototipado rápido e implementación a base de bloques.

Conclusiones

Diferentes actividades experimentales que permiten llevar metodologías de enseñanza al laboratorio y mejorar el proceso de aprendizaje en electrónica de potencia han sido presentadas y discutidas en este artículo. El trabajo realizado, ha permitido evidenciar la percepción del estudiante respecto a las hipótesis que se manejan del uso de herramientas especializadas en la enseñanza de la electrónica de potencia. En este sentido, los resultados permiten concluir que las herramientas utilizadas deben articularse con actividades que requieran de la implementación realizada por los estudiantes y una participación más activa del docente.

El principal aporte de este trabajo ha consistido en plantear una alternativa innovadora para aprovechar en mayor medida el espacio que brinda el laboratorio, usando el contexto enriquecido de los avances tecnológicos aplicados a la enseñanza de la electrónica de potencia. Además, se han descrito prácticas basadas en prototipos, sobre las cuales se aplican los conceptos de prototipado rápido en construcción a base de bloques. Estas iniciativas han sido argumentadas usando estructuras conceptuales planteadas para cada tipo de práctica propuesta. Así, esta contribución estimula la reflexión para continuar en la búsqueda y desarrollo de metodologías que garanticen mayores niveles motivación en los

estudiantes y estimulen el aprovechamiento de los espacios experimentales apoyados en resultados de investigación en el contexto tecnológico actual.

Agradecimientos

El autor presenta su agradecimiento a los estudiantes que han contribuido con este trabajo con el desarrollo de prototipos a través de asistencias de investigación o trabajos de grado. Así mismo a los estudiantes del curso de Electrónica Industrial I en el periodo 2011B por su aporte en la recopilación de evidencias incluidas.

Bibliografía

- Abramovitz A. (2011). Teaching Behavioral Modeling and Simulation Techniques for Power Electronics Courses. IEEE Transactions on Education, November, pp. 523-529.
- Andújar J.M. y Mateo T.J. (2010). Diseño de Laboratorios Virtuales y/o Remotos. Un Caso Práctico. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, Enero, 64-72
- Biggs J. (2006). Calidad en el Aprendizaje Universitario. Narcea S.A. de Ediciones, España, pp. 100-127.
- Boroyevich D. (2010). Building Block Integration in Power Electronics. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Bari, Italy, July.
- Buso S. and Mattavelli P. (2006). Digital Control in Power Electronics. Morgan & Clypool Publishers, USA, 1-31.
- Choi S. and Saeedifard M. (2012). An Educational Laboratory for Digital Control and Rapid Prototyping of Power Electronics Circuits. IEEE Transactions on Education, May, 263-269.
- Cirstea. M. (2004). Power Electronic Systems Modelling & Controller Rapid Prototyping – An Efficient Method Using VHDL. IEEE Workshop on Computers in Power Electronics, Illinois, USA, August.
- Cunill-Solà J. and Salichs M. (2007). Study and Characterization of Waveforms from Low-Watt (<25W) Compact Fluorescent Lamps with Electronic Ballasts. IEEE Transaction on Power Delivery, October, 2305-2311.
- Emadi A., Khaligh A., Nie Z. and Lee Y-J. (2009). Integrated Power Electronic Converters and Digital Control. CRC Press, Taylor & Francis Group, USA, pp. 24-26.
- Erickson R.W. y Maksimovic D. (2004). Fundamentals of Power Electronics. Kluwer Academic Publisher, New York, 637-701.
- Fernández C., García O., Cobos J.A. and Uceda J. (2002). Self-Learning Laboratory Set-up for Teaching Power Electronics Combining Simulation and Measurements. IEEE Annual Power Electronics Specialist Conference, Cairns, Queensland, Australia, June.
- Fernández C., Zumel P., Sanz M., Lázaro A. y Barrado A. (2008). Herramienta interactiva para la enseñanza de la electrónica de potencia. VIII Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, Zaragoza, España, Julio.
- Hingorani N.G. (2003). Power Electronics Building Blocks Concepts. IEEE Power Engineering Society General Meeting, Toronto, Canada, July.
- Jacobs J., Detjen D., Karipidis C-U. and De Doncker R.W. (2004). Rapid Prototyping Tools for Power Electronic Systems: Demonstration with Shunt Active Power Filters. IEEE Transactions on Power Electronics, March. 500-507.
- Jiménez-Martínez J.M., Soto. F., de Jodán E., Villarejo J.A. and Roca-Dorda J. (2005). A New Approach for Teaching Power Electronics Converter Experiments. IEEE Transaction on Education, August, 513-519.
- Lab-Volt (2011). 0.2-kW Power Electronics Training System. Model 8032. Consultado el 27 de septiembre de 2012 en <http://www.labvolt.com/downloads/datasheet/dsa8032.pdf>
- López-Santos O. (2011). Metodología para la investigación en electrónica de potencia basada en una nueva herramienta didáctica. Revista Educación en Ingeniería, Diciembre, 80-89.

- López-Santos O. and Rico-Pinto, A.M. (2011). PVECLAB: Power electronics training, teaching and experimentation tool. European Conference on Power Electronics and Applications, Birmingham, UK, September.
- Mellitt, B. (2008). Power Electronics: Yesterday and Today. IET Power Electronics Journal. March, 1-3.
- Mohan N. and Schott O.A. (2001). Teaching of First Course on Power Electronics: A Building-Block Approach. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Ohio, USA, January.
- Monti, A., Santi, E., Dougal R.A. y Riva M. (2003). Rapid Prototyping of Digital Control of Power Electronics. IEEE Transactions on Power Electronics, May, 915-923.
- Nafpaktitis D., Triantis D., Tsiakas P., Stergiopoulos C. and Ninos K. (2006). Using New Technologies for Teaching Power Electronics and Assessing Students. International Conference on E-Learning in Industrial Electronics, Hammamet, Tunisia, December.
- Nogueiras A., Lago A., Eguizabal L., Marcos J. and Martínez-Peñalver C. (2005). Power Electronics Education: Lectures, Simulation and Laboratory Synergetic Approach. The International Conference on Computer as a Tool, Copenhagen, Denmark, September.
- Rao, Y.S. and Chandorkar M. (2009). Rapid Prototyping Tool for Electrical Load Emulation using Power Electronic Converters. IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications, Kuala Lumpur, Malaysia, October.
- Rashid M.H. (2004) Why, What and How of Teaching Power Electronics. International Conference on Power Electronics Systems and Applications. Hong Kong, China, November.
- Robbins W., Mohan N., Henze C. and Undeland T. (2002). A Building-Blocks-Based Power Electronics Instructional Laboratory. IEEE Annual Power Electronics Specialist Conference, Cairns, Queensland, Australia, June.
- Rosado S., Wang F. and Boroyevich D. (2006). Design of PEBB Based Power Electronics Systems. IEEE Power Engineering Society General Meeting. Montreal, Quebec, Canada, June.
- Shaffer, R. (2007). Fundamentals of Power Electronics with MATLAB. Thompson, Boston, Massachusetts, 4-61.
- Zumel P., Fernández C., Lázaro A., Barrado A., Olías E. y Pleite J. (2006). Herramienta interactiva para la enseñanza de la electrónica de potencia. XII Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas, Barcelona, España, Julio.

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