

# Una Herramienta Software de Emulación para la Mejora del Aprendizaje de Convertidores CC-CC

Alfonso Lago Ferreiro, Senior Member, IEEE, Ana Rey-Alvite Simón, Sergio Lamas Casas

**Title— An Emulator Software Tool for Improving Learning of DC-DC Converters**

**Abstract— Power electronics disciplines involve different fundamental topics and technologies. The use of the Internet facilitates and supports the transmission of the theoretical concepts of the teacher to the student and improve the sequence of activities within the available time. The main goal of this work is to develop an emulator software tool to facilitate the usage of control loop fundamentals when applied to DC-to-DC converters. This emulator is a very solid tool for the educational community, and it allows students to analyze and design control circuits in a very flexible way. This resource is available online without time restrictions, allowing users to choose where and when they can learn and interact with the tool which offers a variety of different DC-DC converters, compensation networks and feedback topologies. Once the selection has been made and the different values of the components have been established, a frequency response analysis is shown. The development of the software tool can be operated using any modern browser under any platform and device. The effectiveness of the presented emulator software tool was assessed with the feedback obtained for the students and the results obtained therefor.**

**Index Terms— Closed-loop learning, DC-to-DC converters learning, Internet, Semi-presential Learning.**

## I. INTRODUCCIÓN

ESTE artículo es una extensión de dos estudios presentados en los siguientes congresos: (i) XII Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e instrumentación (SAAEI 2015) [10], y (ii) 2016 Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica (TAAE 2016) [11]. Basado en resultados de las dos anteriores investigaciones, este artículo presenta una herramienta *e-learning* que fue desarrollada para enseñar y aprender el funcionamiento de los convertidores CC-CC, uno de los objetivos de la materia *Electrónica Industrial* del 4º curso del Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática. A través del uso de esta herramienta, los estudiantes adquieren cinco de las nueve competencias

Manuscrito recibido el día de mes de año; revisado día de mes de año; aceptado día de mes de año.

English versión received Month, day-th, year. Revised Month, day-th, year. Accepted Month, day-th, year.

A. Lago Ferreiro, Departamento de Tecnología Electrónica, Universidadde Vigo, Campus Universitario de Vigo, Vigo 36310, España (alago@uvigo.es). A. Rey-Alvite Simón, Daimler Group Services Madrid S.A (anareyalvite@hotmail.com). S. Lamas Casas, ENOTRAC Ltd, England ([serlasca\\_92@hotmail.com](mailto:serlasca_92@hotmail.com)) (<https://orcid.org/...>)

esenciales asignadas a dicha materia. Además, los resultados de los informes, tanto cualitativos como cuantitativos, obtenidos de la evaluación realizada a los estudiantes tanto en el uso de la herramienta como en el progreso de su conocimiento dentro de la materia, muestran la eficacia del emulador, confirmando que hay una mejora de su rendimiento.

A partir de la década de los años 60 y coincidiendo con los orígenes de Internet, el crecimiento de la tecnología de comunicación ha crecido exponencialmente destacando, sobre todo, el servicio Web hasta tal punto que hay una gran confusión entre ambos términos. Este crecimiento se ha acentuado en los últimos años debido a la evolución de la tecnología móvil y 3G/4G/5G.

En este trabajo se ha elegido el entorno NetBeans IDE por ser un proyecto de código abierto y debido a su gran potencia para desarrollar aplicaciones y facilitar su programación [1].

El emulador presentado en este estudio, se implementa con la tecnología HTML5 debido a su versatilidad y aplicabilidad [2], [3]. Puede ser usada como una plataforma de interfaz de aplicación (API) que integra diversas funcionalidades avanzadas.

HTML5 JavaScript API presenta fortalezas muy indicadas para el desarrollo de nuestro objetivo [4], [5].

El bloque de tecnologías de programación para HTML5 (HTML, CSS y JavaScript) proporciona un conjunto de herramientas potentes y de gran flexibilidad para crear nuevas aplicaciones de propósitos diferentes y para una gran variedad de dispositivos como los ordenadores personales, teléfonos inteligentes, tabletas, televisores inteligentes, etc.

El nuevo estándar CSS3 ha sido ampliamente adoptado por las versiones más recientes de los navegadores y no hay duda de que revoluciona el diseño y uso de las interfaces entre el usuario y la web.

HTML5 incluye el lenguaje JavaScript como bloque integrado. El trio formado por HTML5, CSS y JavaScript se utiliza para el diseño de páginas y aplicaciones web.

De este modo, se ofrece un entorno integrado que incluye los APIs de JavaScript estandarizados. Se consigue una plataforma de desarrollo más rápida y potente que permite a los programadores crear aplicaciones para un amplio conjunto de navegadores y plataformas. JavaScript como lenguaje integrador amplía su uso en sistemas operativos utilizados en diferentes ordenadores y dispositivos, tanto para servidores como para clientes.

El emulador se integra como herramienta que forma parte del temario de la materia *Electrónica Industrial* bajo la plataforma Moodle que ofrece la Universidad de Vigo en su aplicación integrada FAITIC [6]-[8].

Para evitar la dependencia de programas con licencia y enfocar todo el esfuerzo en los conceptos fundamentales de los convertidores CC-CC y su control, esta herramienta está constituida por tres emuladores independientes que permiten a los estudiantes familiarizarse con los conceptos de conversión, compensación y lazos de control. Además, haciendo uso de los diagramas de Bode, muy adecuados para el seguimiento de actividades tanto teóricas como prácticas, la aplicación permite a los usuarios obtener las respuestas en frecuencia de las tres topologías básicas: reductor, elevador y reductor-elevador y sus topologías derivadas. Finalmente, reseñar que no solo permite la actualización dinámica de los datos, sino que facilita la comprobación del resultado de los cálculos y su corrección, si es necesario.

La Sección II describe los detalles del desarrollo de los emuladores. En la Sección III se describe su funcionalidad y uso en el curso propuesto. La Sección IV muestra los resultados y su discusión y finalmente, la Sección V resume las principales conclusiones y sugerencias futuras para mejorar la aplicación y la metodología.

### I. DESARROLLO DE EMULADORES PARA TOPOLOGÍAS DE LAS REDES DE COMPENSACIÓN Y LAZOS DE CONTROL

La herramienta educativa que se presenta en este estudio incluye tres emuladores independientes. El primero se desarrolló para el estudio de las tres topologías de las redes de compensación utilizadas y las otras dos, especialmente pensadas para el estudio del comportamiento de los lazos de control (control en modo tensión y en modo corriente). La plataforma elegida para el desarrollo de estas aplicaciones ha sido NetBeans IDE.

#### A. Emulador de las redes de compensación.

El trabajo desarrollado en este artículo ha sido orientado a la necesidad de una herramienta para el estudio, análisis y aprendizaje del comportamiento de las redes de compensación utilizadas en la realimentación de los convertidores conmutados CC-CC que trabajan con control en modo corriente [9]. Mientras se desarrollaba la aplicación y la documentación relacionada, se decidió que primero los estudiantes deberían aprender cómo funciona la red de compensación y posteriormente integrarla en un lazo de realimentación con un convertidor conmutado.

En un trabajo previo se ha creado un emulador con las tres diferentes topologías de las redes de compensación [10]. Sus principales características son:

- Posibilidad de analizar la respuesta dinámica de cada topología individual o simultáneamente, para dos o incluso las tres. Esta característica convierte el emulador en una herramienta muy interesante para comparar las características y el comportamiento de las respuestas de los diferentes circuitos.

- Una vez que el usuario ha seleccionado una o más redes de compensación para obtener el diagrama de Bode, el emulador proporciona un formulario para cada una de ellas en el que los estudiantes pueden introducir los valores de los componentes y más tarde modificarlos para ver cómo cambia la respuesta del circuito.

- Una vez que los datos de los componentes se han introducido y se visualiza en pantalla el diagrama de Bode, el usuario puede cambiar el número de décadas entre un valor mínimo y máximo con el objetivo de apreciar, con el mayor detalle posible, los resultados obtenidos. Finalmente,

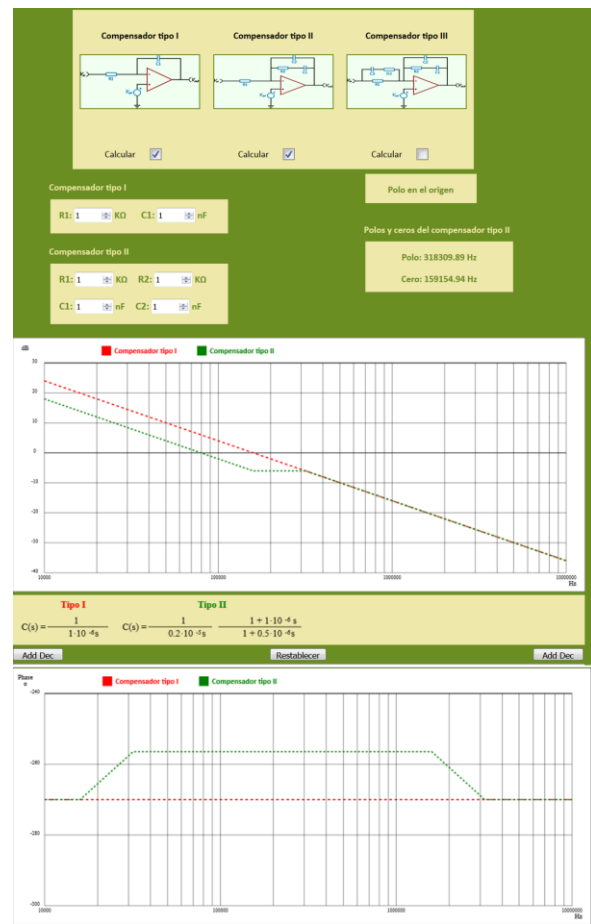


Fig. 1. Interfaz gráfica global.

se dispone de un botón de inicialización para reestablecer el escalado inicial.

El emulador está desarrollado en tres módulos dependientes: estructura, presentación y funcionalidad.

Cada uno de estos módulos se crea con lenguajes diferentes con el objetivo de obtener el comportamiento deseado.

El usuario puede seleccionar o deseleccionar uno o más compensadores. Una vez realizada la selección se visualiza un formulario para introducir los valores de los diferentes componentes que constituyen el compensador, tanto resistores como condensadores. Una vez que se completan los datos, el emulador ejecuta automáticamente los cálculos necesarios para la obtención de los diagramas de Bode de ganancia y fase. La función de transferencia puede ser consultada en su formato estándar entre los dos diagramas.

Si se elige la opción de analizar más de un compensador, sus respuestas se representarán en línea discontinua cada una de ellas con un color diferente (incluido el texto) para una mejor visualización. La Fig. 1 muestra la interfaz gráfica global de cada emulador de la red de compensación.

#### B. Emuladores lazo cerrado.

Los emuladores en lazo cerrado se han diseñado para completar la formación del estudiante y ofrecerle una herramienta para el aprendizaje de la respuesta en frecuencia de sistemas de conversión CC-CC [11], [12], [13], [14]. Se han desarrollado dos emuladores: uno, para control en modo tensión y otro para control en modo corriente. Ambos fueron creados como el siguiente paso en el proceso de aprendizaje, que comenzó con las redes de compensación, y que se puede caracterizar de la siguiente manera:

- La posibilidad de seleccionar cualquier topología de la red de compensación y diseñar un lazo de control para cualquier tipo de convertidor conmutado. Es posible un total de nueve combinaciones.

- Se pueden programar y modificar todos los parámetros de cualquier componente de la red de compensación.

- Algunos de los parámetros del circuito, relacionados principalmente con los componentes electrónicos, se pueden ajustar para emular un comportamiento real más cercano.

- Un análisis detallado de la respuesta en frecuencia. Una vez que el usuario programa todos los parámetros y se muestra el diagrama de Bode, es posible ajustar los parámetros del gráfico.

De la misma forma que para las redes de compensación, estos emuladores están desarrollados en tres módulos dependientes: estructura, presentación y funcionalidad.

### C. Estructura de los emuladores.

Cada aplicación del emulador del sistema en lazo cerrado, es desarrollado en un único fichero HTML que contiene la presentación y la funcionalidad.

Para describir la estructura del emulador, se divide el diseño en diferentes áreas en las que el usuario hace uso de diferentes funciones. Así, se tiene el área de selección de la topología del convertidor y de la red de compensación, el área en la que se definen los valores de los parámetros de los componentes y su modificación posterior si es necesario, el área en la que se visualiza los diagramas de datos y el área donde se muestran algunos datos del análisis.

1) **Área de selección:** En esta zona de la pantalla, el usuario puede elegir el circuito convertidor a partir del conjunto de topologías básicas y la correspondiente red de compensación necesaria para cerrar el lazo. Esta área está desarrollada con un conjunto de imágenes estáticas localizadas y escaladas por medio de CSS.

2) **Área de parametrización:** Esta área está constituida por tres formularios. El primero permite al usuario definir los parámetros del convertidor de potencia conmutado, la segunda los correspondientes a la red de compensación y la tercera la tensión pico-valor del modulador PWM y los valores de los resistores de la red de muestreo si la hubiera, (control en modo tensión) o para la única red de muestreo, si la hubiera, (control en modo corriente). Finalmente, otro formulario permite definir la frecuencia de cruce por cero deseada y para dicho valor se muestran las características de ganancia y fase del convertidor y de la red de compensación.

3) **Área de representación de datos:** Esta área corresponde a los diagramas de ganancia y fase y los botones necesarios para ajustar las décadas del eje de frecuencias o devolver la representación a su estado inicial. El objetivo principal de esta área es dibujar la respuesta en frecuencia del circuito de compensación, muestreo y ambos cuando operan juntos en la configuración de lazo cerrado. Esta parte de la aplicación se define dentro de una etiqueta <canvas> cuyo principal propósito es la representación gráfica con JavaScript. Cada diagrama de Bode se crea individualmente con esta etiqueta.

Los botones se implementan con la etiqueta <input> para permitir añadir y eliminar décadas en el eje de frecuencias. Para desarrollar un interfaz más útil, las décadas pueden ser añadidas o eliminadas a ambos lados del gráfico. También se implementa un botón para restablecer la configuración

inicial. Esta característica es la misma que la empleada en el emulador de la red de compensación.

4) **Área de comprobación de resultados:** Esta zona de la página es la última en ser mostrada al usuario y en la que se podrá consultar si el ejercicio o diseño ha sido realizado correctamente. Consta de dos partes:

- **Zona de comprobación de los datos de frecuencia:** en dicha zona se muestran las frecuencias a las que aparecen los polos y ceros de los convertidores y de las redes de compensación. Dispone de un formulario en el que se puede establecer la frecuencia de corte deseada para obtener el margen de fase necesario para obtener la estabilidad del sistema completo.

- **Zona de función de transferencia:** en dicha zona se muestra la función de transferencia total calculada con los datos que el usuario ha introducido. Esto permite al estudiante conocer, en todo momento, si los datos son correctos para la aplicación deseada.

El código HTML empleado está contenido en un par de etiquetas, y un solo elemento <canvas> para trazar la función de transferencia.

### D. Presentación.

Con la creación de las diferentes áreas en código HTML, la estructura de la aplicación está claramente definida por medio de etiquetas. Además, todos los elementos dentro de

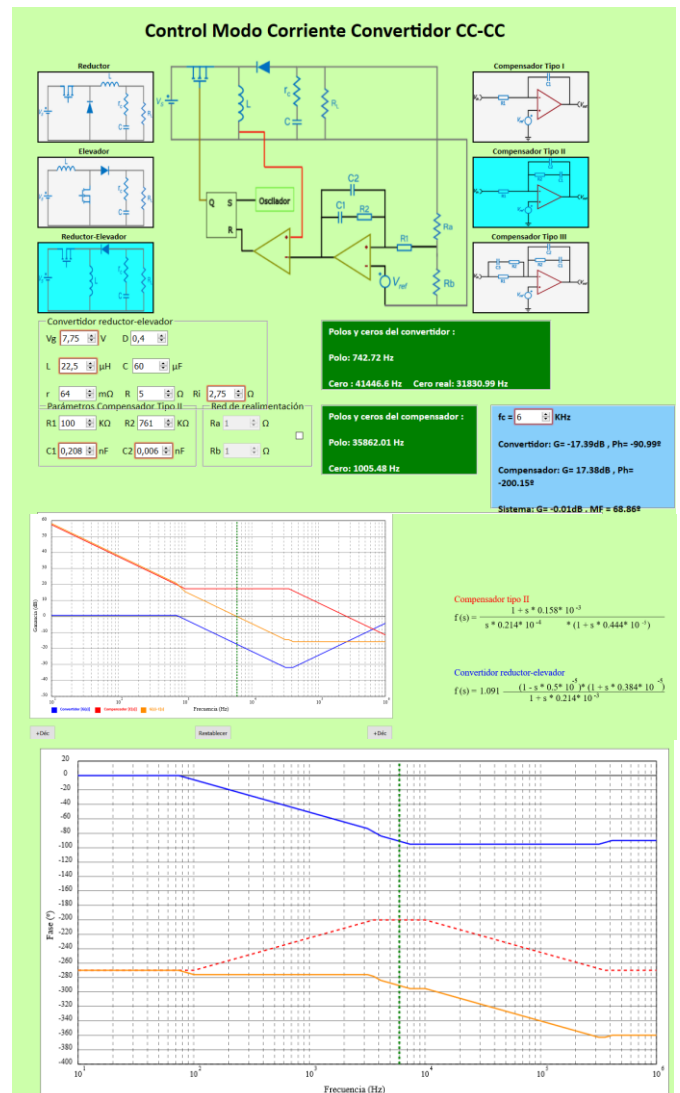


Fig.2. Interfaz final para control en modo corriente.

cada área pueden distribuirse dentro de la página usando CSS3.

Para dibujar adecuadamente la respuesta dinámica, es necesario establecer las fronteras y la escala del eje de frecuencias. En estos emuladores, se establece un método de comparación de las frecuencias máximas y mínimas para finalmente dibujar el diagrama de Bode. El sistema compara entre tres rangos diferentes: la frecuencia límite del circuito de compensación, la correspondiente al circuito convertidor y finalmente la resultante de la respuesta en lazo cerrado del sistema. El método desarrollado para la red de compensación se aplica en esta parte del código.

La fig. 2 muestra el interfaz final para un ejemplo basado en un ejercicio de control en modo corriente.

## II. FUNCIONALIDAD DE LOS EMULADORES

Los emuladores están incluidos en la materia "Electrónica Industrial", de cuarto curso, segundo cuatrimestre, del Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Vigo.

Los estudiantes deben realizar un Proyecto Basado en el Aprendizaje (PBL) que corresponde al diseño y simulación de un convertidor de potencia conmutado CC-CC junto con el tipo de control adecuado a las características de diseño. [15], [16]. Una vez que en clase se ha visto la teoría, en la primera parte del diseño, se usan los emuladores y una vez ratificado el correcto funcionamiento en una segunda fase se realiza la simulación utilizando el software del PSIM. Este programa es utilizado en la materia de Electrónica de Potencia del mismo curso en el primer cuatrimestre. Permite al estudiante reforzar la emulación realizada mediante la simulación con componentes comerciales y adquirir los resultados de aprendizaje relacionados en la guía docente de la materia relativos a las habilidades sobre el proceso de simulación de convertidores electrónicos de potencia CE22, CE24 y CT6 (ver tabla I).

En la fig. 3, se muestra el esquema del PBL. El diseño y simulación del sistema propuesto tiene un peso del 60%, la

TABLA I  
COMPETENCIAS

Competencias	Descripción
CG3	Conocimiento en materias básicas y tecnológicas que los capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, que los dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.
CG4	Capacidad para resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y capacidad para comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la ingeniería industrial en Electrónica Industrial y Automática.
CE22	Conocimiento aplicado de electrónica de potencia.
CE24	Capacidad para diseñar sistemas electrónicos analógicos, digitales y de potencia.
CT3	Comunicación oral y escrita de conocimientos.
CT6	Aplicación de la informática en el ámbito de estudio.
CT9	Aplicar conocimientos.
CT14	Creatividad.
CT17	Trabajo en equipo.

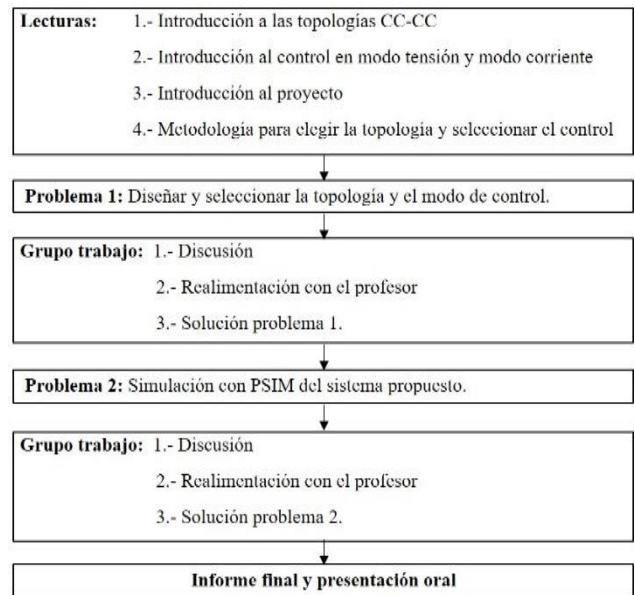


Fig.3. Esquema del PBL.

defensa oral del mismo un 15% y las prácticas de laboratorio un 25%.

Cuando se organiza la estructura y se definen los diferentes elementos de los emuladores, a través de JavaScript, se les proporciona la funcionalidad adecuada para que los estudiantes puedan estar capacitados para comprender el principio de operación y característica de los diferentes convertidores CC-CC y su control. Para ello, se crean funciones capaces de gestionar los diferentes eventos. También se generan acciones dinámicamente que constituyen y muestran los resultados a los estudiantes. Hay una región con los tres tipos de convertidores a estudiar, y otra con las topologías de los compensadores.

Una vez que el usuario tiene una primera aproximación visual de estas áreas, intuitivamente seleccionará el convertidor deseado y su red de compensación asociada. Los estudiantes pueden modificar todos los parámetros, tanto del convertidor como del lazo de control, para conocer cómo puede variar el comportamiento del sistema. Los módulos seleccionados permanecerán visualmente resaltados con un cambio del color de fondo, tal como se muestra en la figura 4 para un ejemplo de un control en modo tensión. Este ejemplo corresponde al estudio y diseño de un convertidor flyback de 310V/5V, 5 W, trabajo propuesto a los estudiantes del curso 2016/2017.

El título y el contenido del formulario puede cambiar dinámicamente permitiendo que solamente se muestren los parámetros de entrada necesarios, en lugar de las seis posibles combinaciones. La fig. 4 muestra los campos pertenecientes a la topología del convertidor y a la red de compensación, así como las unidades de los componentes con el objetivo de ayudar a los estudiantes a seleccionar adecuadamente los valores necesarios.

Un área se dedica a mostrar los diagramas de Bode de ganancia y fase, los botones que permiten añadir o eliminar décadas en el eje de frecuencias, y el correspondiente para resetear el diagrama a su escala inicial.

El principal propósito es dibujar la respuesta en frecuencia de la etapa del convertidor conmutado, seleccionar la frecuencia de cruce por cero, el circuito de la red de compensación y ambas etapas en lazo abierto. Se pueden añadir o eliminar hasta un máximo de cinco décadas del eje de frecuencias con el objetivo de no incrementar en

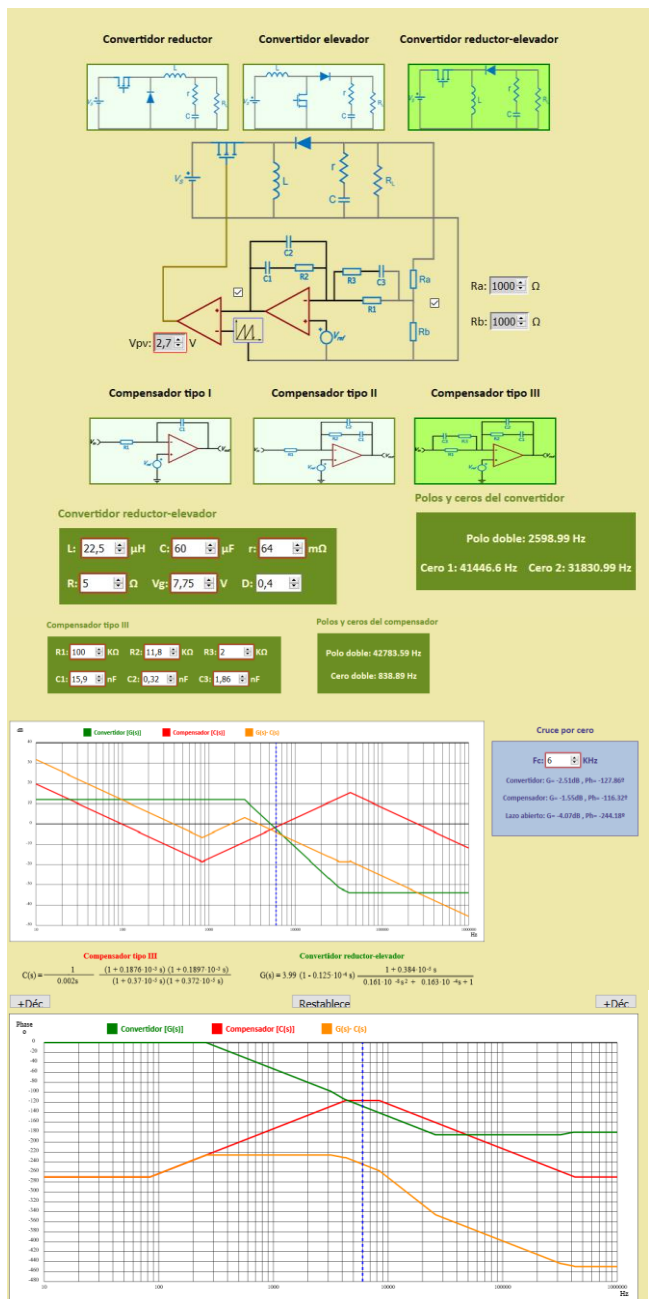


Fig.4. Interfaz final para control en modo tensión.

exceso el número puesto que no ayudaría a comprender el comportamiento del circuito. Un área de análisis de datos está destinada a asegurar que algún ejercicio o diseño del lazo de compensación se hizo correctamente.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La materia “Electrónica Industrial” comenzó en el curso 2013/2014. La herramienta del emulador comenzó a utilizarse con un grupo de 54 estudiantes a lo largo de los cursos académicos: 2015/2016, 2016/2017 y 2017/2018. Estos estudiantes han tenido que completar el PBL que corresponde al diseño y simulación de un convertidor de potencia CC-CC junto con el más adecuado modo de control.

Los estudiantes pertenecen a la orientación de Electrónica Industrial de cuarto curso del Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática. Para la materia objeto del trabajo disponen de 32 horas de teoría y 48 de trabajo autónomo para el desarrollo del PBL. En esta materia se estudian los convertidores PWM CC-CC junto con el control en modo tensión y modo corriente y una introducción a los

convertidores resonantes en un período de ocho semanas. Considerando la limitación de tiempo y la complejidad del contenido del material, los emuladores permiten ayudar a los estudiantes a entender los conceptos de una manera dinámica y visual. El estudiante puede, incluyendo solamente los parámetros característicos del convertidor o del compensador, comprobar si el diseño teórico realizado es correcto o no y, de forma rápida, el comportamiento de los mismos y su respuesta en frecuencia sin necesidad de simular los circuitos. Por lo tanto, la herramienta le permite elegir que topología y que red de compensación es la más adecuada para el proyecto a realizar. Hay que tener en cuenta la limitación de que la respuesta en frecuencia se realiza mediante aproximación asintótica. Sin embargo, la localización de los polos y ceros realizada por la herramienta cumplen con las especificaciones de estabilidad de un sistema en lazo cerrado.

En el marco del Espacio Europeo de Educación Superior (EHEA), las competencias de los estudiantes se evalúan de acuerdo con la siguiente pregunta: ¿Ha adquirido el estudiante las competencias del curso? Dichas competencias se muestran en la tabla I. El uso de la herramienta del emulador permite adquirir al estudiante las CG4, CE22, CE24, CT9 y CT14.

Por otra parte, el software de simulación PSIM, que ya es utilizado en la materia de Electrónica de Potencia del mismo curso en el primer cuatrimestre, permite al estudiante reforzar la emulación realizada mediante la simulación con componentes comerciales. El uso de este programa permite que el estudiante adquiera los resultados de aprendizaje relacionados en la guía docente de la materia relativos a adquirir habilidades sobre el proceso de simulación de convertidores electrónicos de potencia (CE22, CE24 y CT6).

Finalmente, el estudiante en sus 18 horas de prácticas, realiza el montaje en laboratorio de dos convertidores (reductor y elevador) con los circuitos comerciales (LM2576\_ADJ y LM2585\_ADJ, y el circuito de control TL494, para comprobar, sobre prototipos, el comportamiento de un convertidor reductor y un elevador.

#### A. Resultados cualitativos.

Una vez finalizado el curso, a los estudiantes se les pasa una encuesta con un conjunto de preguntas (ver tabla II) para

TABLA II

RESULTADOS DEL CUESTIONARIO

Número	Preguntas	Puntos	$\sigma$
1	Consideras los emuladores adecuados para el aprendizaje de los conceptos teóricos	4.61	0.56
2	Los resultados del emulador modelan adecuadamente el funcionamiento del circuito	4.00	0.96
3	Consideras adecuada la presentación del emulador (fácil manejo, entendimiento, etc)	4.39	0.82
4	Qué nivel de motivación consideras que tiene el emulador para utilizarlo cuando se trabaja con los convertidores continua-continua	4.32	1.04
5	Consideras que el uso del emulador mejora la comprensión del funcionamiento del circuito cuando se trabaja con software de simulación	4.54	0.87
6	Recomendarías el uso de los emuladores a otros estudiantes	4.57	0.86
7	Cuál es el grado de satisfacción del uso de los emuladores	4.43	0.86

evaluar el grado de satisfacción relacionado con el uso del emulador.

Las respuestas a todas las preguntas han sido medidas utilizando la escala de Likert de cinco puntos: 1- En total desacuerdo, 2- En desacuerdo, 3- Neutro, 4- De acuerdo y 5- Totalmente de acuerdo. En la tabla II se muestran los valores medios de los resultados junto con la desviación estándar.

Destacar que para todas las preguntas el resultado es satisfactorio. Sin embargo, es necesario enfatizar los resultados de las preguntas 1, 5 y 6. La elevada puntuación significa que los estudiantes consideran la herramienta del emulador apropiada para comprender y aprender los conceptos de la materia y que también recomiendan su uso.

La fiabilidad del conjunto de datos obtenidos ha sido evaluada con el coeficiente alfa de Cronbach, por medio de la ecuación (1)

$$\alpha = \left[ \frac{n}{n-1} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}{\sigma^2} \right] \quad (1)$$

donde:

n: número de preguntas = 7

$\sigma_i^2$ : varianza de cada pregunta.  $\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = 5.22$

$\sigma^2$ : varianza total = 28.82

El coeficiente alfa de Cronbach obtenido es de 0.95, que valida la fiabilidad de la escala del cuestionario.

### B. Resultados cuantitativos.

Los resultados obtenidos por los estudiantes se han analizado estadísticamente de forma homogénea cada año académico. Los estudiantes matriculados en 2013/2014 y 2014/2015 (antes del uso de los emuladores) se han incluido juntos y de igual forma se ha realizado para los matriculados en los cursos 2015/2016, 2016/2017 y 2017/2018 (cursos en lo que se utilizaron los emuladores). En la fig. 5 se muestran los resultados en ambos períodos. El uso de los emuladores mejora los resultados obtenidos, especialmente en el rango de buenos resultados (7.0-8.9).

La Universidad de Vigo compara, cada año académico y en una escala de 1 a 5, los resultados obtenidos por las materias respecto a los correspondientes al área de conocimiento y a la Universidad. La fig. 6 muestra como los resultados obtenidos en la materia con el uso de los

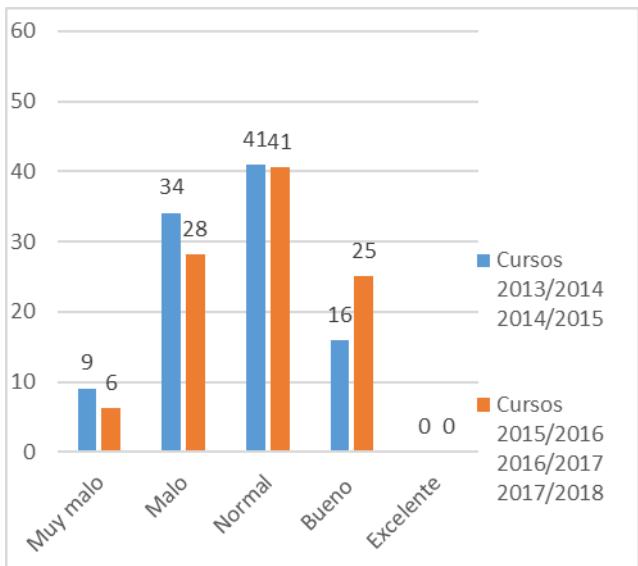


Fig.5. Porcentaje de estudiantes con calificaciones, dentro de un determinado rango, en la materia con (naranja) y sin (azul) emuladores. Puntuación máxima 10 puntos; con los siguientes rangos 0-2.5 (Muy malo), 2.5-4.9 (Malo), 5-6.9 (Normal), 7.0-8.9 (Bueno) and 9.0-10 (Excelente)

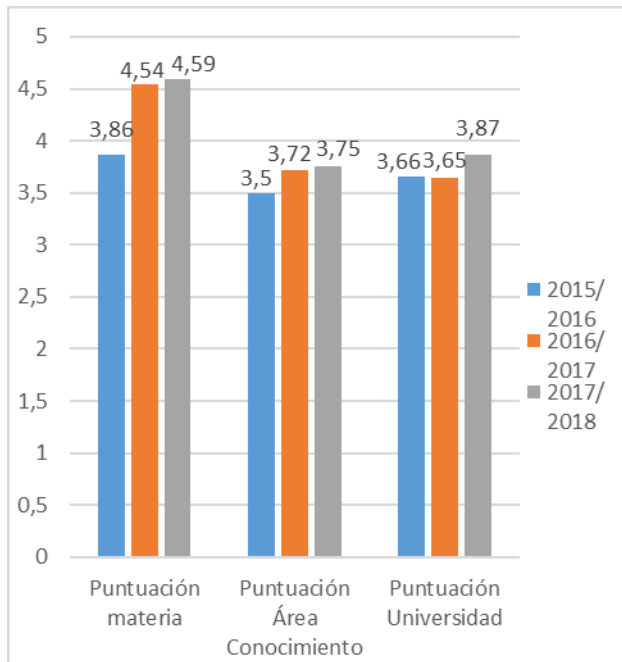


Fig.6. Puntuaciones materia, área de conocimiento y Universidad.

emuladores es superior de forma permanente a los obtenidos en el área de conocimiento y en la Universidad.

### IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta una herramienta online que emula el comportamiento de un conjunto diferente de convertidores de potencia y de redes de compensación. Esta herramienta tiene diversas dimensiones practicas entre las que cabe destacar su aplicabilidad tanto para la enseñanza como para los propósitos de aprendizaje permitiendo un método fiable y eficiente para comprobar las respuestas a ejercicios y diseños propuestos en la materia.

Además, debido a que la aplicación ha sido desarrollada en el marco de HTML5, proporciona una solución a la emulación que puede ser visualizada y utilizada en cualquier navegador actual y en cualquier plataforma y dispositivo. La nueva aplicación puede considerarse como un desarrollo híbrido, ya que no es realmente un software para una plataforma específica.

La eficacia de esta herramienta de software se evaluó con la realimentación positiva de los estudiantes y por los resultados obtenidos.

La creciente demanda de dispositivos móviles abre vías prometedoras para la investigación, en las que nuestro equipo está trabajando actualmente tal como, el desarrollo de una aplicación multiplataforma que permita a los alumnos acceder al contenido del curso sin tener acceso a la web. El uso de Apache Cordova como marco para el desarrollo de las aplicaciones puede ser una buena solución para teléfonos inteligentes o tabletas, que se pueden descargar desde diferentes plataformas como Android o IOs.

### V. REFERENCIAS

- [1] Oracle Corporation, "Netbeans IDE Features" 14 June 2017. [Online]. Available: <https://netbeans.org/features/index.html>.
- [2] J. D. Gauchat. "El gran libro de HTML5, CSS3 y JavaScript". Ed. Marcombo, Barcelona, 2012.
- [3] Jorge Ferrer, Víctor García, Rodrigo García - Curso completo de HTML. (Disponible en [http://es.tldp.org/Manuales-LuCAS/doc-curso-html/doc-curso-html.pdf])
- [4] L. Van Lancker. "HTML5 y CSS3: Domine los estándares de las aplicaciones web". Ed. Eni, Barcelona, 2013.

- [5] L. Van Lancker. "Los API JavaScript de HTML5". Ed. Eni, Barcelona, 2013.
- [6] M.H, Rashid. "Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones". Ed. Pearson Education, México, 2004.
- [7] C.P. Basso. "Switch-mode power supplies: SPICE simulations and practical designs". Ed. McGraw-Hill, cop. New York, 2008.
- [8] Alfonso Lago Ferreiro, Andrés A. Nogueiras Meléndez, Ana María Cao Paz, Jorge Marcos Acevedo, Manuel Castro. "A B-Learning New Approach Applied to a Practical Power Electronics Converters Course". 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE 2015). 21-24 October 2015. El Paso, Texas (USA).
- [9] K. Wan, "Advanced current-mode Control Techniques for DC-DC Power Electronic Converters," Missouri University of Science and Technology, 2009.
- [10] Ana Rey-Alvite Simón, Sergio Lamas Casas, Andrés A. Nogueiras Meléndez, Alfonso Lago Ferreiro. "Emulador de circuitos compensadores para convertidores de potencia CC-CC". XII Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación (SAAEI 2015). 8-10 de Julio de 2015. Zaragoza (España).
- [11] Alfonso Lago Ferreiro, Ana Rey-Alvite Simón, Sergio Lamas Casas, Andrés Augusto Nogueiras Meléndez. "A Current-Controlled DC-to-DC Switchedmode Power Converters Emulator Software". Technologies Applied to Electronics Teaching TAEE, 2016. 22-24 de Junio de 2016. Sevilla (España).
- [12] Alfonso Lago Ferreiro, Ana Rey-Alvite Simón, Sergio Lamas Casas, Andrés Augusto Nogueiras Meléndez, Jorge Marcos Acevedo. "Herramienta educativa para el estudio de circuitos de control en modo tensión de convertidores CC/CC". XXIII Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación (SAAEI 2016). 6-8 de Julio de 2016. Elche (España)
- [13] Cristina Fernández, Marlon Granda, Pablo Zumel, Marina Sanz, Antonio Lázaro, Andrés Barrado. "Diseño automático del lazo de control de un convertidor cc/cc a partir de la identificación de la respuesta en frecuencia del sistema en lazo abierto y/o lazo cerrado". Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación (SAAEI 2017). Valencia, 2017.
- [14] Ridley Engineering, Software, 30 December 2019. [Online]. Available. <http://www.ridleyengineering.com/>.
- [15] Zhe Zhang, Claus Thorp Hansen, Michael A.E. Andersen. "Teaching Power Electronics With a Design-Oriented, Project-Based Learning Method at the Technical University of Denmark". IEEE Transactions on Education, Vol. 59, No.1, February 2016.
- [16] Natasa Hoic-Bozic, Martina Holenko Dlab, Vedran Mornar. "Recommender System and Web 2.0 Tools to Enhance a Blended Learning Model". IEEE Transactions on Education, Vol. 59, No.1, February. 2016.



**Alfonso Lago Ferreiro (M'94-SM'12)** nació en Lalín, España en 1962. Es Licenciado con tesina de licenciatura por la Universidad de Santiago de Compostela, España, en 1988 y doctor Ingeniero Industrial por la Universidad de Vigo, España, en 1994. Es Profesor Titular en la Universidad de Vigo desde 1995 Sus principales temáticas de interés son los convertidores conmutados DC-DC, control de convertidores de potencia e innovación educativa. Dr. Lago es miembro Senior del IEEE desde 2012 y miembro de la IEEE Industrial Electronics Society, IEEE Power Electronic Society, and IEEE Education Society. Ha sido miembro de la directive de la Sección Española del IEEE en la que ha ocupado los puestos de Coordinador de Capítulos (2012-2015), Secretario (2016-2017) y Vicepresidente (2018-2019).



**Sergio Lamas Casas** nació en Tordoia, España, en 1992. Ha obtenido el Grado de Ingeniero en Electrónica Industrial y Automática en 2015. En 2017 ha realizado el Máster en Wind Energy Systems en la Universidad de Strathclyde, Scotland. Es Ingeniero de Proyectos en ENOTRAC Ltd, desde Septiembre de 2017. Sus principales áreas de interés son el análisis, diseño y control de sistemas de potencia orientados a la energía eólica. Desde Marzo de 2017 es miembro del IET.



**Ana Rey-Alvite Simón** nació en Santiago de Compostela, España, en 1992. Ha obtenido el Grado de Ingeniera en Electrónica Industrial y Automática en 2015 y, actualmente, está cursando el Master de Ingeniería en Organización en la Universidad Politécnica de Madrid, España. Ha sido becaria en el Centro Tecnológico de Automoción de Galicia (O Porriño, España) durante 3 meses en 2014 y en Peugeot Citroën Automóviles España, S.A. (Vigo, España) 2 meses en 2015- Desde Julio de 2017 trabaja como Business Intelligence Consultant en Daimler Group Services Madrid S.A. en San Sebastián de los Reyes, España. Sus principales áreas de interés son el desarrollo de herramientas web usando HTML5, JavaScript y CSS3, junto con la gestión de base de datos.