

ELECTRÓNICA DE POTENCIA: REFLEXIONES SOBRE LA DOCENCIA Y HERRAMIENTAS DE APOYO

J.D. Aguilar Peña

*Departamento Electrónica. Universidad de Jaén. jaguilar@ujaen.es
<http://voltio.ujaen.es/jaguilar>*

RESUMEN

La Electrónica de Potencia, es una materia troncal y cuatrimestral en la titulación de Ingeniero Técnico Industrial, especialidad Electrónica Industrial. Durante estos últimos 20 años de docencia de esta materia, hemos podido constatar que es una materia árida y difícil para los alumnos, con un alto índice de alumnos no presentados. Necesita laboratorios específicos de costosa dotación y mantenimiento, siendo habitual en estos últimos años, la realización de prácticas de circuitos de carácter básico, con un apoyo muy fuerte de software de simulación para la parte de convertidores estáticos. Si el fracaso académico es elevado y la asistencia a clases lectivas es baja, el único camino para salir de esta situación es potenciar la docencia con nuevos métodos, huyendo de temarios enciclopédicos. Hacemos un breve repaso a los contenidos que se imparten en esta materia y las herramientas software utilizadas para la docencia, intentando establecer unas reflexiones sobre como impartir los mismos.

1. INTRODUCCIÓN

La Electrónica de Potencia, en adelante E.P., es una materia troncal y cuatrimestral en la titulación de Ingeniero Técnico Industrial, especialidad Electrónica Industrial y optativa (en la E.P.S. de Jaén) para la especialidad de Electricidad, con una carga lectiva de 4.5 créditos teóricos y 1.5 créditos prácticos. Durante los últimos 20 años de docencia de esta materia, hemos podido constatar que es una materia árida y difícil para los alumnos, con un alto índice de alumnos no presentados. Creemos que por su carácter no lineal y requerir un conocimiento avanzado de matemáticas, con un alto grado de abstracción para entender el funcionamiento de las diferentes configuraciones de convertidores estáticos. Por otra parte esta materia necesita laboratorios específicos de costosa dotación y mantenimiento, siendo habitual en estos últimos años, la realización de prácticas de circuitos de carácter básico, con un apoyo muy fuerte de software de simulación para la parte de convertidores estáticos. Además, en Escuelas Universitarias dependientes de universidades con poca tradición en enseñanzas técnicas, como era en nuestro caso de la Escuela Universitaria Politécnica de Jaén y Linares, dependientes en su día hace unos 10 años, de la Universidad de Granada, no disponían de los medios adecuados para impartir la docencia de muchas de las asignaturas con gran componente práctica, aunque la ilusión del profesorado en su mayoría joven que se ha ido incorporando en estos últimos años, sobre todo desde la creación de la Universidad de Jaén, ha suplido estas carencias con ilusión, trabajo e ingenio.

En la actualidad la mayoría de los alumnos suelen restringir sus estudios a los apuntes suministrados por el profesor de la asignatura y realizar colecciones de problemas propuestos en exámenes de convocatorias anteriores o problemas tipo propuestos por el profesor, de forma que cuando hay una variación importante sobre los mismos el fracaso es elevado.

2. ALGUNAS CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

La labor del Ingeniero es variada, dependiendo del tipo de puesto de trabajo que desempeñe. Cada una de las tareas a realizar implica una serie de conocimientos y aptitudes que precisa el futuro titulado y que deben administrarse en su etapa de aprendizaje[1]. ¿Son mucho más importantes las aptitudes que el alumno aprenda durante su etapa de formación que los contenidos meramente teóricos?, parece que la respuesta es afirmativa y existe hoy día un amplio consenso al respecto, la resolución a los problemas planteados y la forma más adecuada posible de resolverlos por parte del futuro ingeniero es una de las aptitudes fundamentales. La respuesta docente a este planteamiento viene dado por la técnicas constructivistas que han venido dominado en la didáctica moderna. Se trata de cambiar las tareas del docente, y de ser un mero transmisor de conocimientos, ha de convertirse en un elemento activo del aprendizaje individual del alumno, pasando a ser “*Maestro*”.

Organizaciones de prestigio como IEEE reconocen y recomiendan el desarrollo de habilidades tales como: Conocimiento y comprensión de hechos, conceptos, principios y teorías esenciales, capacidad de modelar y diseñar, análisis de criterios, especificaciones apropiadas para problemas específicos, planificación de estrategias de resolución, evaluación crítica, utilización de la teoría, práctica y herramientas para las especificaciones, diseño e implementación y evaluación.

Si el fracaso académico es elevado y la asistencia a clases lectivas es baja, el único camino para salir de esta situación es potenciar la docencia con nuevos métodos que impliquen aprendizaje en el estudio bibliográfico, enseñándoles a pensar, huyendo de temarios enciclopédicos y de ciertas lecciones magistrales cuyo contenido el alumno puede estudiar en cualquier texto. Dependiendo de los medios que se utilicen en el desarrollo de las clases, el grado de atención será diferente; Hoy día medios clásicos e incluso relativamente novedosos como lecciones magistrales con transparencias en color han dado paso a presentaciones multimedia con cañón y PC en la clase[2].

3. ELECTRÓNICA DE POTENCIA. CONCEPTO Y TENDENCIAS ACTUALES DE LA DOCENCIA

3.1. Concepto

La E.P. es una disciplina que ha evolucionado sustancialmente en los últimos años; La aparición de nuevos dispositivos semiconductores de potencia que tienden a desplazar en una amplia gama de aplicaciones a los tradicionales SCR's, las nuevas orientaciones didácticas y el carácter interdisciplinar de la materia, está aconsejando alterar la organización docente tradicional estructurada desde los dispositivos hasta las aplicaciones; Parece que la mayoría de los profesionales estamos de acuerdo en esto[3-7].

Es necesario situarse en el contexto adecuado para dejar claro que se entiende por E.P. Rashid[8] considera que la electrónica de potencia combina potencia, electrónica y control, definiendo esta como la aplicación de la electrónica de estado sólido para el control y conversión de la potencia eléctrica; Mohan[9] define la tarea de la E.P como el procesamiento y control de la energía eléctrica suministrando voltajes y corrientes de manera más óptima para ser utilizada por las diferentes cargas; Por lo tanto podríamos decir que “ *Electrónica de Potencia es la parte de la electrónica encargada del estudio de dispositivos, circuitos y procedimientos para el procesamiento, control y conversión de la energía eléctrica*”[10]. Y es la Electrónica Industrial quien estudia la adaptación de sistemas electrónicos a procesos industriales. En este ámbito el sistema electrónico será aquel circuito que se encarga de

controlar un proceso industrial y si es necesario un transvase y procesado de energía eléctrica entre la entrada y la carga entra en juego el sistema electrónico de potencia.

3.2. Docencia y tendencias

En la actualidad como hemos comentado anteriormente, esta disciplina se imparte en la diferentes Univ. Españolas en las titulaciones de la rama de Ingeniería Industrial (como troncal) y en la de Ingeniería de Telecomunicación en la especialidad de sistemas electrónicos (como obligatoria u optativa). Además algunas universidades ofrecen asignaturas relacionadas e incluso dividen las materia en diferentes asignaturas (componentes, convertidores, laboratorio, aplicaciones, etc.).

Hay algunos puntos en que la comunidad científica internacional relacionada con el tema parece que está de acuerdo [6]: 1.- Resulta aconsejable estudiar las topologías convertidoras antes que los dispositivos electrónicos de potencia. 2.- Reducir el tiempo dedicado al estudio de dispositivos de potencia, en favor de selecciones adecuadas a cada una de las topologías. 3.- Revisión básica de conceptos previos como armónicos, potencia con cargas lineales y no lineales, factor de potencia, transitorios, etc. 4.- Reducir el tiempo dedicado a los elementos rectificadores. 5.- Reducir o eliminar la conmutación forzada. 6.- Compaginar sesiones prácticas de laboratorio de montajes experimentales con simulación por ordenador.

En un estudio realizado por el Mohan y comentado por Hess[3] analiza los diferentes programas y temas tratados en diferentes universidades de USA y Canadá, apareciendo los cursos divididos en dos niveles como aparece en el siguiente cuadro.

<p>Cursos básicos: Maquinas; Introducción a la electrónica de potencia; Motores eléctricos.</p> <p>Cursos avanzados: Electrónica de potencia (II), Dispositivos electrónicos de potencia; Fuentes de alimentación; Control y estabilidad de motores eléctricos; Aplicaciones y utilidades; EMI Problemas y reducción; Técnicas avanzadas.</p>

<p>Introducción a la Electrónica de Potencia:</p> <p>Introducción</p> <p>Materiales</p> <p>Dispositivos semiconductores de conmutación</p> <p>Materiales magnéticos (Bobinas y transformadores)</p> <p>Rectificadores (Monofásico y trifásico)</p> <p>Rectificadores controlados</p> <p>Convertidores dc-dc</p> <p>Reguladores lineales</p> <p>Reguladores Conmutados</p> <p>Buck,Boost,Buck-Boost,Cuk</p> <p>Corriente continuada y discontinua</p> <p>Forward, Flyback</p> <p>Covertidores dc-ac</p>
--

Al mismo tiempo se establece un programa base para la asignatura básica de “Introducción a la electrónica de potencia”. En cuanto a los textos básicos utilizados en las 119 Escuelas analizadas de USA y Canadá tres son los más populares: Kassakkian[11], Mohan[9] y Rashid[8]. En España, una rápida revisión por Internet de los diferentes temarios aparecen Mohan, Rashid y Hart[12] (estando pendientes de un estudio mucho más exhaustivo) como referencias básicas. En este mismo estudio aparecen como prácticas de laboratorio montajes experimentales relacionados con los dispositivos en conmutación, elementos magnéticos y las

principales configuraciones de potencia (AC-DC, DC-DC, DC-AC), con una parte de simulación por ordenador importante, siendo básicamente la colección de circuitos de Rashid y Mohan [13,14] para Ppsice versión de estudiante, los más utilizados, aunque aparecen también algunas universidades que utilizan Matlab/ Simulink y Mathcad.

3.3. REFLEXIONES PERSONALES SOBRE LA DOCENCIA

● Hoy día existe una falta de medios y servicios técnicos en muchas aulas de nuestras Universidades para la adecuada implantación de las nuevas tecnologías en la docencia diaria. Muchas de ellas no disponen de cañón de proyección, un ordenador o la pantalla no está en la posición adecuada, pero la experiencia nos dice que debemos prepararnos adecuadamente para impartirla con estas nuevas TIC y que la docencia en el aula debe ir enfocada a las presentaciones dinámicas multimedia, utilizando las herramientas que tengamos a nuestro alcance.

● Elemento dinamizador de interés es la posibilidad de realizar trabajos individuales o en grupo complementarios al temario con influencia notable en la nota final, pues este hecho incide muy positivamente en el interés que el alumno puede mostrar en su realización. Estos trabajos deberán de estar tutorizados por el profesor y expuestos por el alumno en clase ante sus propios compañeros. Este tema creemos que es complicado en asignaturas troncales como la nuestra, en la que el número de alumnos es elevado y los créditos asignados son pocos; Mostrándonos la propia experiencia que si no se lleva un seguimiento adecuado y una presentación oral del mismo, el alumno entiende que es una sobrecarga que puede aportar poco, mostrando escaso interés. En este punto adquiere vital importancia la tutoría, que hemos de fomentar e incentivar cambiando la concepción de “tutoría” que normalmente se ha realizado hasta ahora.

● La simulación de circuitos electrónicos es una herramienta muy potente que provoca un estímulo positivo en el proceso de aprendizaje, cuando se incorpora en los problemas planteados en clase y como preparación de las prácticas de laboratorio, pero puede ser un hándicap la falta de manejo de la herramienta informática, siendo necesario inicialmente una atención especial; Por lo que es necesario una adecuada selección de la herramienta software y una preparación adecuada del material suministrado al alumno.

● Resulta difícil reducir la parte dedicada al estudio de los dispositivos electrónicos de potencia cuando no hay ninguna asignatura previa, ni posterior donde se vean con detalle este tipo de dispositivos.

4. HERRAMIENTAS DE APOYO A LA DOCENCIA

4.1. Requerimientos de los programas utilizados en la docencia de Electrónica de Potencia

Podríamos establecer diferentes parámetros objetivos de comparación entre los diferentes programas utilizados para la simulación de circuitos electrónicos de potencia ,como son, facilidad de uso por parte de los alumnos, relación calidad/precio, ¿existe versión de evaluación con la potencia adecuada?, ¿hay suficiente documentación en cuanto a manuales de uso?, ficheros de simulación y modelos que se pueden obtener de la propia Red Internet o de los diferentes fabricantes de componentes, los ficheros son estandar e intercambiables con otros programas, que tipos de análisis nos permite realizar, ¿la presentación de la información generada es buena?, el interface de visualización es facil de manejar, potente e intuitivo, permite almacenar los resultados, imprimirlos., etc. Moreland de Enotrac[15] establece una comparación entre tres de los programas más conocidos en esta materia Pspice, Matlab/Simulink y Saber. En este artículo solo comentaremos algunos de los programas, dejando para un posterior trabajo un estudio mas exhaustivo de los mismos.

4.2. Programas docentes de simulación on-line y herramientas matemáticas

A parte de los tradicionales programas de simulación ya comentados, existen herramientas didácticas muy potentes en la actualidad, que nos permiten estudiar y analizar el comportamiento de los sistemas electrónicos de potencia. Estas herramientas pueden ser un buen aliado en las clases, pues permiten trabajar on line en diferentes condiciones de funcionamiento; Comentaremos algunas de ellas, aunque basta con ver las últimas publicaciones y congresos del ramo para ver la gran cantidad de aplicaciones.

Curso asistido sobre simulaciones dinámicas interactivas sobre el tema “ Convertidores conmutados por la red” (CONRED) y Curso de inversores (INSIMEEP). (<http://www.iee.edu.uy>)

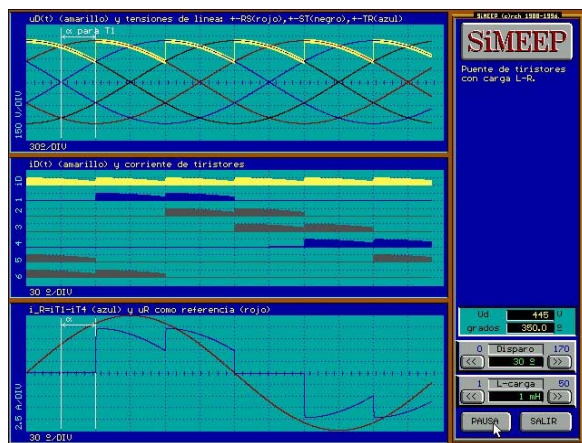


Ilustración 1.- Ejemplo de simulación CONRED

Basado en el programa SiMEEP, de los mismos autores, ampliamente difundido en los diferentes congresos TAAE realizados hasta la fecha [16,17]. A partir de este programa hay desarrolladas dos aplicaciones relacionadas con los rectificadores y los inversores. Esta herramienta implementada por compañeros de la Universidad de la República. Facultad de Ingeniería. Uruguay es una potente herramienta para trabajar en el aula.

Tutoriales en HTML sobre conceptos básicos con aplicaciones en Java, ficheros Matlab y Mathcad.



Ilustración 2.- Página principal tutorial Ventak

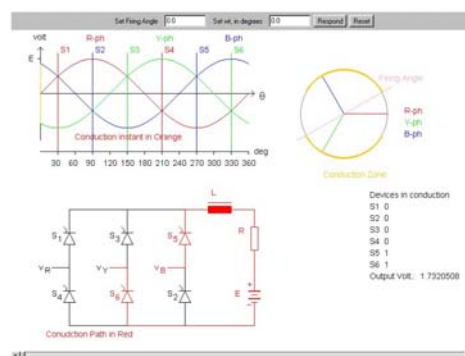


Ilustración 3.- Aplicación Java del tutorial de Ventak

Destacamos dos trabajos pioneros en el tema, “ Interactive Power Electronics on line text” de Ventak Ramaswamy (<http://www.ee.uts.edu.au/~venkat/pe.html> o también <http://www.powerdesigner.com>.) con posibilidad de descarga de todo el tutorial para trabajar off-line. Y el trabajo de Goncalves, “Java Applets for a WWW-HTML-based Course in Power Electronics”, en la misma línea que el anterior (<http://www.dee.feis.unesp.br/gradua/elepot/ajuda/applets.html>)

Interactive Power Electronics Seminar (iPES) <http://ipes.ethz.ch>

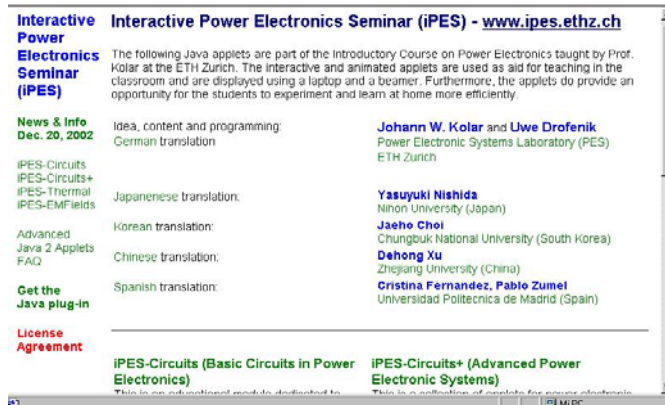


Ilustración 4.- Pagina principal tutorial iPES

Este excelente proyecto liderado por el Profesor Kolar y Drofenik del Power Electronic of Technology de Zurich, de distribución gratuita en la Red y traducido a varios idiomas entre ellos al castellano, está basado en animaciones mediante applets Java, abarcando diversas configuraciones y aplicaciones, desde convertidores estáticos básicos y avanzados, hasta electromagnetismo y problemas térmicos en semiconductores de potencia [18].

Herramientas matemáticas. Mathcad

La mayoría de los programas de simulación obtienen representaciones de determinadas variables del circuito, pero ninguno de estos programas permite la implementación de los diversos métodos para el análisis y resolución de los mismos paso a paso, por lo que la utilización de un programa de cálculo numérico como Mathcad puede ser una potente herramienta como apoyo a la consolidación de los procedimientos de resolución paso a paso de los diferentes problemas planteados en clase[19].

Algunos autores incorporan simulaciones y cálculos, el libro de Krein [20] incorpora varias aplicaciones de E.P. analizadas con esta herramienta, pudiendo descargar los ficheros de la web. http://power.ece.uiuc.edu/krein_text

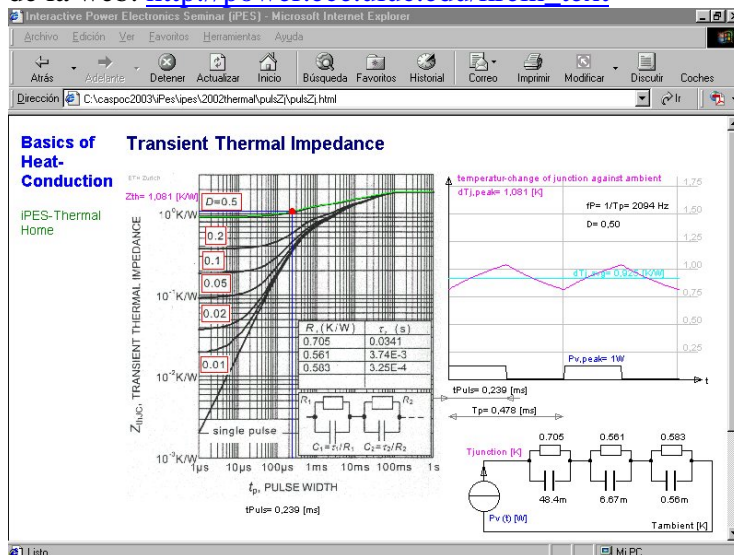


Ilustración 5.- Ejemplo del tutorial iPES sobre Impedancia térmica

Tampoco podemos olvidar las herramientas que ponen a nuestra disposición los fabricantes de componentes permitiendo el diseño on-line con simulación incluida como, International rectifier: (My Power home) <http://www.irf.com> National semiconductor (Webench. Simulación on-line) <http://www.national.com>

4.3. Programas de simulación

4.3.1. Matlab/Simulink <http://www.mathworks.com>

Es el programa más utilizado en nuestro ámbito junto con Pspice, y constituyen estándares cuyos resultados son aceptados en todos los foros de especialistas. En esta aplicación podemos tener un mayor control sobre los intervalos de cálculo, obviando determinados problemas de convergencia que frecuentemente presenta Pspice. Podemos encontrar diversas referencias de la utilización de esta herramienta[21-23].

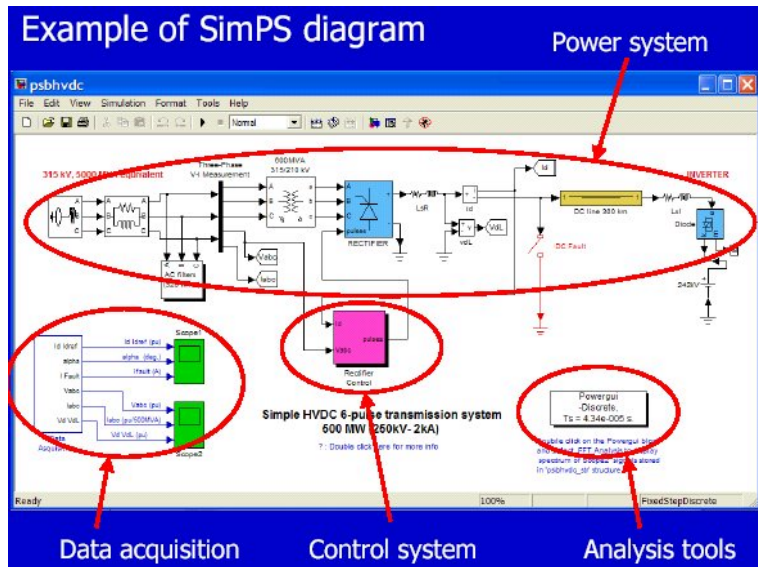


Ilustración 6.- Circuito realizado con Power System Blockset

entorno, es PLECS (Piece-wise linear electrical circuit simulation) [26] realizada por Power Systems Lab. ETH Zentrums/Zurich (<http://www.plexim.com>)

4.3.2. Saber <http://www.analogy.com>

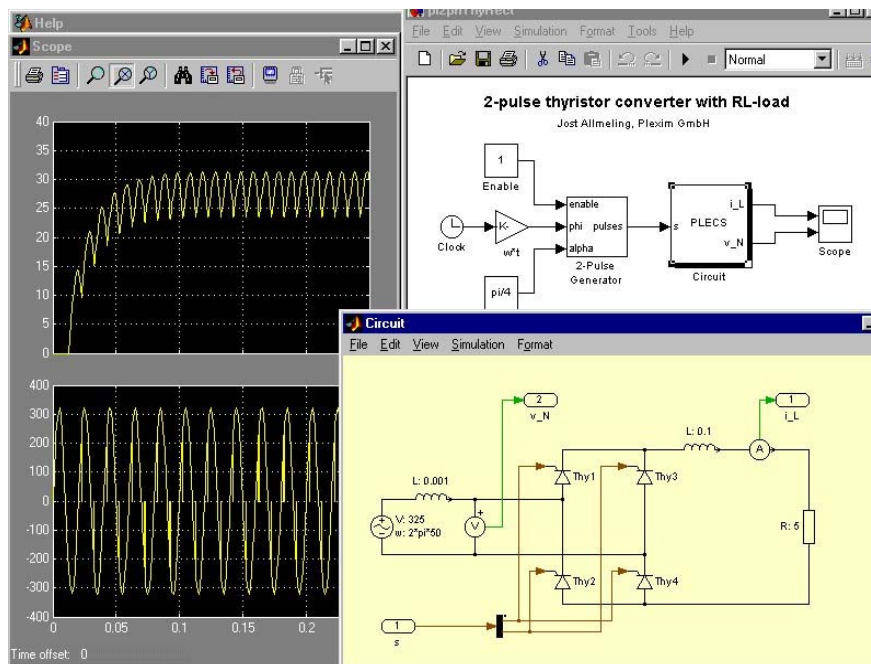


Ilustración 7.- Programa PELS

De Analogy Inc. fue desarrollado en USA a mediados de los 80 como una ayuda a la simulación en Ingeniería, la librería de modelos cubre no solo circuitos eléctricos y electrónicos, sino también mecánicos, magnéticos e hidráulicos. Realiza simulaciones analógicas, digitales y mixtas. El interface de salida de resultados es buena, utiliza AIM como lenguaje de programación, basado en el popular TCL/Tk (lenguaje de programación de dominio público), por lo que el usuario experto puede modificar y crear GUIs (<http://www.analogy.com>). Existen versiones para Windows NT y para Unix.

4.3.3. Psim 6.0

Es un programa específico para simulación de circuitos electrónicos de potencia y control de motores, disponible en <http://www.powersimtech.com>, hay una versión demo, que incorpora

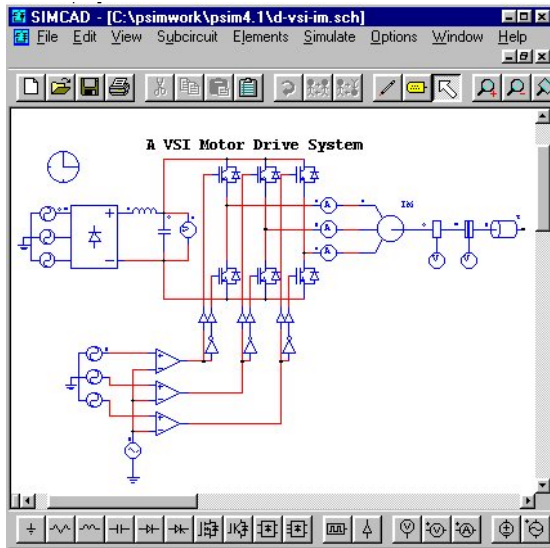


Ilustración 8.- Circuito ejemplo con PSIM

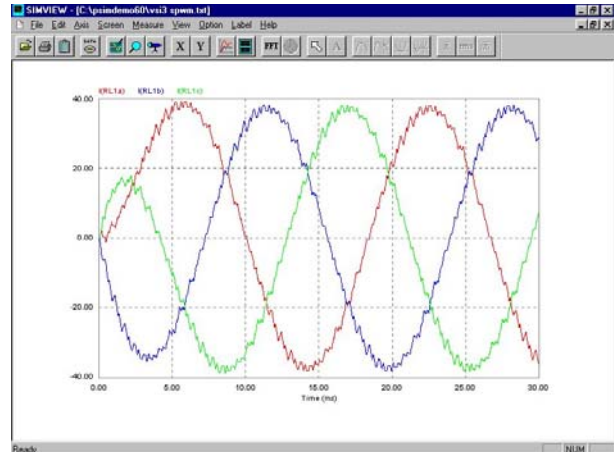


Ilustración 9.- Interface gráfica de salida SINVIEW de PSIM

muchos circuitos de aplicación y la posibilidad de realizar nuestros propios diseños. Es un programa con una interface de fácil manejo con un manual de usuario muy detallado. Posee tres módulos independientes: Esquemático(SIMCAD), simulador (PSIM Simulator) y una estorno de visualización de resultados elegante (SIMVIEW).

4.3.4 Caspoc <http://www.caspoc.com>

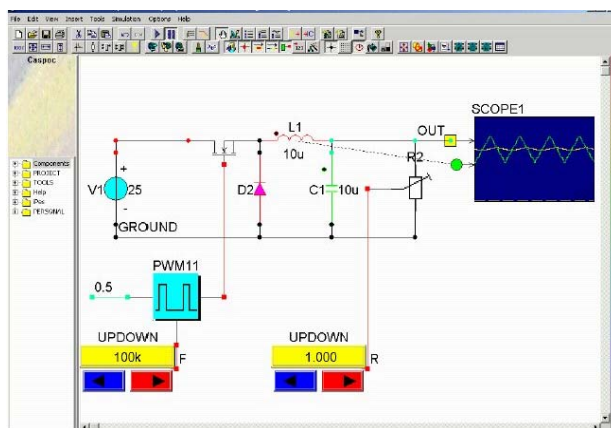


Ilustración 10. Pantalla esquemático caspoc

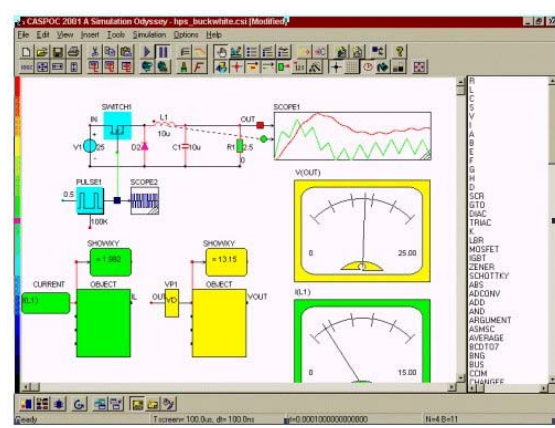


Ilustración 11. Caspoc con animaciones

Caspoc2003 es una excelente herramienta de simulación con la posibilidad de incorporar animaciones interactivas en las simulaciones realizadas, haciendo al programa muy didáctico y potente para su utilización docente. Existe una versión de evaluación freeware con las limitaciones propias de este tipo de programas, aunque permite realizar muchas simulaciones de los circuitos elementales, y una versión más económica para educación totalmente operativa, sin límites que incluye un workbook sobre E.P. y motores eléctricos en versión Windows[27,28].

4.3.5. Simplorer

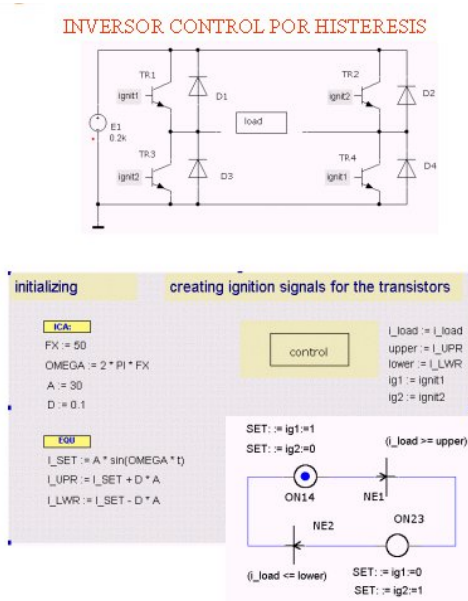


Ilustración 12.- Ejemplo realizado con Simplorer

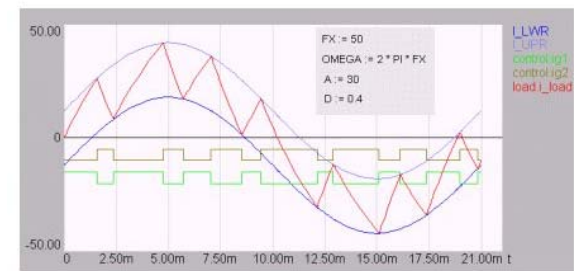
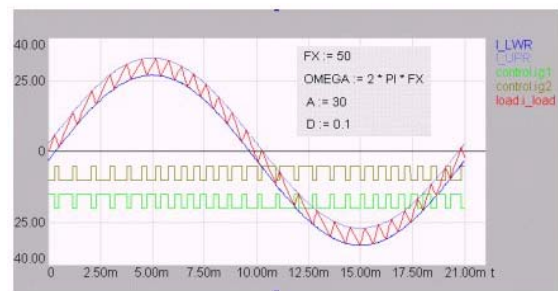


Ilustración 13.- Salida gráfica de Simplorer

Simplorer 6.0 disponible la versión de evaluación en <http://www.ansoft.com> o <http://www.simplorer.com> es un versátil programa utilizado en automoción, electrónica de potencia y control de motores. Dispone de gran cantidad de ejemplos que pueden utilizarse en el aula

4.3.6. Pspice

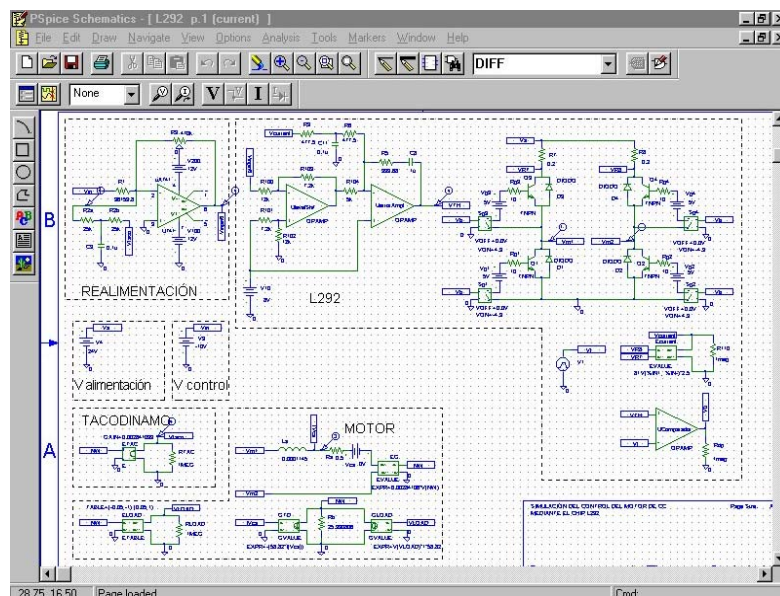


Ilustración 14. Esquemático de Orcad 9.1

Poco queda por decir de este conocido programa en los diferentes campos de la electrónica analógica y digital. Pspice desarrollado inicialmente por Microsim™ utilizando SPICE2 (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis), algoritmo desarrollado en los años 70 por la Universidad de California-Berkeley. En la actualidad incorporado en el paquete que comercializa Orcad (Orcad 9.2), junto con su conocido esquemático y PCB.

Como se ha comentado anteriormente dos de las aplicaciones docentes más conocidas en E.P son las de Mohan y Rashid [13,14], que están basadas en Pspice, muy utilizadas en las diferentes universidades del mundo. En la actualidad la mayoría de los libros de texto incorporan ficheros ejemplos de las diferentes configuraciones [29,30]. Existe mucha información sobre manejo del programa, tutoriales y ejemplos de aplicación [33-37], así como referencias en Internet de la que destacamos www.pspice.com y textos dedicados en exclusiva a la simulación de circuitos de potencia [31,32].

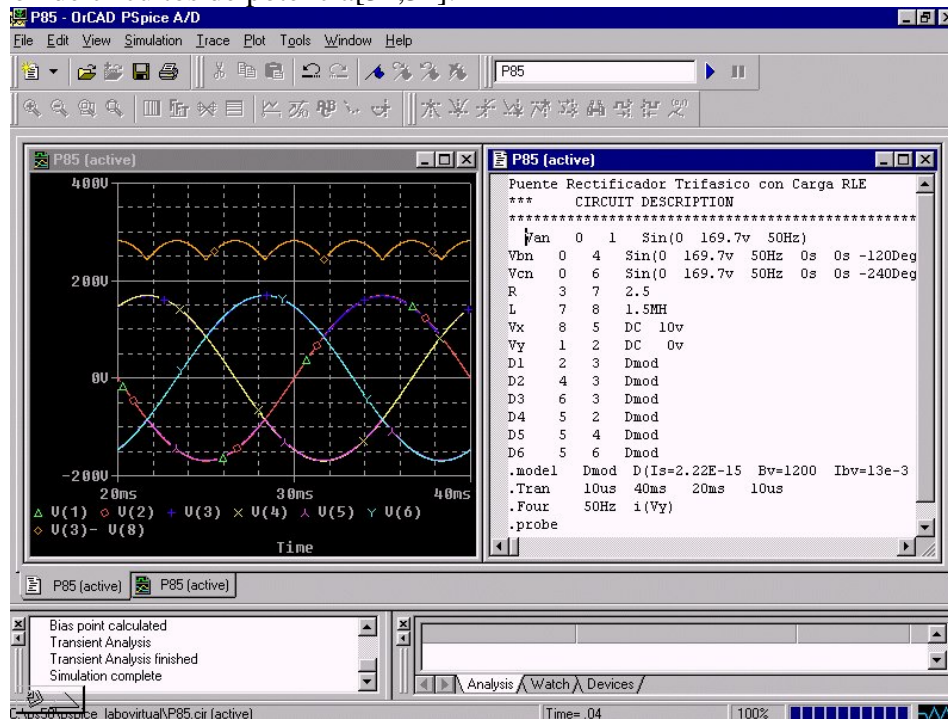


Ilustración 15.- Orcad Pspice A/D

Por último mencionar a los programas de simulación ICAP de Intusoft y el programa Electronic Workbench que ha mejorado mucho con el nuevo paquete MULTISIM, con un entorno muy didáctico y que compite actualmente con los demás programas.

5. CONCLUSIONES

Es difícil establecer una propuesta para la enseñanza de la E.P porque cada Universidad y centro tienen sus propias peculiaridades y expectativas, aunque si podemos establecer unas pautas comunes .



Proponemos unas clases que combinen presentaciones didácticas utilizando alguna de las herramientas mencionadas (powerpoint + Simeep + iPES) con la tradicional pizarra, procurando establecer una dinámica en clases participativa. Puede ser interesante simular algún ejemplo de los que se realicen en pizarra, pudiendo ser un estímulo positivo para el alumno, comentando los diferentes problemas que pueden surgir durante la simulación (es conveniente que el alumno disponga de las herramientas que el profesor utiliza en clase)



Los alumnos deben de disponer de las transparencias y material utilizado en clase, dejando bien claro que este material es solo un guión de estudio. Proponiendo un libro de texto como herramienta de estudio [12] junto con alguna referencia de ampliación [8].



Realizar una colección de problemas propuestos para realizar, con ficheros de cálculo en Mathcad de algunos de ellos y ficheros de simulación.



Un trabajo realizado entre dos alumnos, sobre diferentes configuraciones de circuitos de potencia con el cálculo y simulación correspondiente. Este trabajo tendrá una incidencia notable sobre la nota final. Utilizaremos la versión de evaluación de Pspice, por ser el programa con mayor cantidad de recursos didácticos relacionados con el tema, ser utilizado paralelamente en alguna otra asignatura y dejando otros programas como PSIM para otras asignaturas donde se simulen por ejemplo control de motores.

7. BIBLIOGRAFÍA

[1] Garcia, L., Luque,P.L., “¿Aptitudes o contenidos? Hacia una enseñanza técnica de calidad”. *X Congreso de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia 2002*

[2] Mata, F., “Estrategias para la motivación del alumnado. Algunos centros de interes”. *X Congreso de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia 2002*

[3] Herbert L. Hess, “ Power Electronics instruction in the USA and Canada: Topics, curricula and trends., *Int. J. Engng Ed. Vol 14, N° 4, p 282-288,1998*

[4] Duke, R.M., at al, “A survey of power electronics education in the US and Canadian universities”, *Workshop Proc. National Science Foundation Workshop on Developing Power Electronics Curriculum: Courses, Hardware, and Software Laboratories. University of Central Florida, Orlando, florida, USA, pp- 1-14 (NSF Workshop 1996) .*

[5] Batarseh,I at al., “Proposed power electronics curriculum”, NSF Workshop 1996.

[6] Burdio,J.M., “Nuevas tendencias en la enseñanza de la electrónica de potencia(I) y (II)”, *Actas TAEEE2002, Las Palmas de Gran canaria 2002*

[7] Spina, M., “Libro para la enseñanza de la electrónica de potencia”, *Actas TAEEE2002, Las Palmas de Gran canaria 2002, pp 387-390*

[8] Rashid, M.H., *Electrónica de Potencia: Circuitos, dispositivos y Aplicaciones*. Prentice Hall. 1993

[9] N. Mohan at al. *Power electronics. Converter applications and desing*. John Wiley & Sons. Third Edition. 2003

[10] Ferreres,A., *Proyecto docente Concurso de acceso al cuerpo de PTU*. Valencia Noviembre 2002.

[11] Kassakian/Schlecht/Verghese, *Principles of Power Electronics*. Addison Wesley Publications Co

[12] Hart, D.W., *Electronica de Potencia*. Prentice Hall 2001

[13] Rashid, M.H., *Spice for power electronics and electric power*, Prentice Hall.1993

[14]N. Mohan “ power electronics: Computer simulation, analisis, and education using Pspice,” *Minnesota power electronics Research & Education, 1992*

[15] Enotrac UK Limited, “Choosing a simulation tool”. *IEE Colloquium “ Power electronics and simulation” November 23rd,1998. <http://www.enotrac.com>*

[16] R. Chaer, G. Casaravilla, "Simulador de Circuitos de Electrónica de Potencia" *Primer Congreso sobre Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, Universidad Politécnica de Madrid, Tae94*. España, 1994.

- [17] G. Casaravilla, R. Chaer, W. Uturbey, "Utilización de SiMEEP en la enseñanza de electrónica de potencia aplicada al tema Inversores". *Segundo Congreso sobre Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, Taae 96 Universidad de Sevilla, España, 1996.*
- [18] Drogenik, U., et al, "New Web-bases interactive E-learning in power electronics and electrical machines", *6th IEEE Industry Application Society Annual Meeting*. Chicago, Illinois, Septiembre 2001
- [19] Fernández,L., "Herramientas de apoyo a la docencia en el análisis de los circuitos eléctricos". *X Congreso de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia 2002*
- [20] Philip T. Krein, *Elements of Power Electronics*, Oxford University Press, 1998
- [21] Mathworks, *La edición de estudiante de Simulink. Software de sistemas dinámicos*. Prentice Hall 1998
- [22] Pindado, R., et al, "El entorno Matlab-Simulink en la docencia semipresencial de electrónica de potencia," *X Congreso de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Valencia.2002*
- [23] Fernao Pires, V and J.F Silva, "Teaching nonlinear modeling, simulation, and control of electronics power converter using Matlab/Simulink", *IEEE Transaction on Education vol. 45, n° 3, August 2002*
- [24] Mathworks, Power System Blockset.[On-line] <http://www.mathworks.com>
- [25] IREQ/Hydro-Quebec. *Power system and power electronics training*, www.ireg.ca
- [26] PLECS User manual. <http://www.plexim.com>
- [27] Fedak, V., et al, Interactive E- Learning in electrical engineering. *Electrical Drives and power electronics International Conference, Slovakia, Septiembre 2003*
- [28] Bauer, P., et al, E-Learning for power electronics and electrical drives, *Electrical Drives and power electronics International Conference, Slovakia, Septiembre 2003*
- [29] Michael Jacob, J., *Power electronics: Principles & Application*, Delmar-Thomson Learning. 2002
- [30] Trzynadlowki,A.M., *Introduction Moder Power electronics*. Wiley 1998
- [31] Figueres, E. et al, *Simulación de circuitos electrónicos de potencia con Pspice*. Alfaomega-Universidad Politécnica de Valencia.
- [32] Ramshaw, R.S., Dever Shuurman, *Pspice simulation of power electronics circuits an introductory guide*. Chapman & Hall.
- [33] Aguilar J.D et al, *Simulación electrónica con pspice*. Rama 1995
- [34] Calvo,J.L., *Edición y simulación d circuitos con orcad*. RAMA 2003
- [35] Garcia, E., et al, *Pspice simulación y análisis de circuitos analógicos asistidos por ordenador*. Paraninfo. 1995
- [36] Canovas, A., *Simulación de circuitos electrónicos por ordenador con Pspice*, Paraninfo 1996
- [37] Perez J et al. *Simulación y Electrónica Analógica*, Rama 1998.