

EXPERIENCIA EDUCATIVA ORIENTADA A LA ENSEÑANZA DE LA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

C. FERNÁNDEZ¹, P. ZUMEL¹, M. SANZ¹, A. LÁZARO¹, A. BARRADO¹

¹Departamento de Tecnología Electrónica Electrónica
Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid
cristina.fernandez@uc3m.es

Este artículo revisa la metodología aplicada a un curso de introducción a la Electrónica de Potencia en la Universidad Carlos III de Madrid. Se detalla el material de innovación educativo que se ha desarrollado con el objetivo de promover la implicación de los alumnos en la asignatura e incrementar el número de aprobados sin reducir el nivel de exigencia. Además se comenta la visión de los alumnos del esfuerzo realizado y cómo éste ha repercutido en el número de aprobados y en la valoración de los alumnos en las encuestas docentes.

1. Introducción

La Electrónica de Potencia es una disciplina que tradicionalmente reviste complejidad debido a que involucra temas heterogéneos: electrónica analógica, análisis de circuitos, requisitos térmicos, campos electromagnéticos, teoría de control, etc. Según el plan de estudio de la titulación Ingeniería Técnica Electricidad impartida en la Universidad Carlos III de Madrid, la asignatura de Electrónica Industrial I, en la que se proporcionan los conocimientos básicos de la Electrónica de Potencia, se imparte simultáneamente con el Laboratorio de Electrónica en el primer cuatrimestre del segundo curso (figura 1). Por lo tanto se añade la inherente dificultad de una asignatura que integra varias disciplinas con el hecho de que es prácticamente el primer contacto de los alumnos con la electrónica.

Debido a estas dificultades la asignatura Electrónica Industrial I ha tenido tradicionalmente una elevada tasa de suspensos, mayor que en Electrónica Industrial II. Este mayor número de suspensos tiene su origen en que la asignatura encierra una mayor complejidad matemática y además los alumnos tienen una menor experiencia en el análisis de circuitos electrónicos.

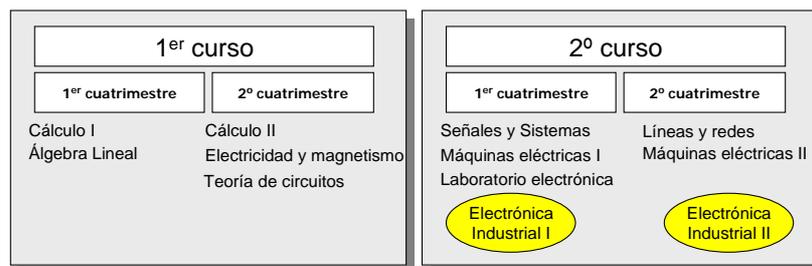


Figura 1. Situación de las asignaturas en el plan de estudios de Ingeniería Técnica Electricidad

| Aspectos específicos de las asignaturas | Visión de los alumnos |
|---|--|
| Asignatura conceptual Disciplina de razonamiento Mal situada en el plan de estudios Elevado nivel de ocupación del laboratorio | Tendencia del alumno a querer resolver los problemas mediante "recetas tipo" Bajo nivel de conocimientos de partida Bajo esfuerzo personal Baja asistencia a clase Mala planificación del alumno Bajo aprovechamiento de las prácticas Baja motivación del alumno Miedo al suspenso |

Tabla I. Resumen del marco particular de las asignaturas Electrónica Industrial I

En la Tabla I se analiza la problemática encontrada en la asignatura Electrónica Industrial I. Por un lado se detalla los aspectos específicos relativos a la asignatura y por otro la visión de los alumnos. Se observa que la asignatura es percibida por los alumnos como una disciplina de gran dificultad, lo que disminuye drásticamente su implicación en el proceso educativo. Esta desconexión de la asignatura hace que su dedicación sea escasa y que por lo tanto no lleguen a adquirir los conocimientos mínimos en un plazo de tiempo razonable.

Desde el curso 2003-2004 se han invertido grandes esfuerzos en la mejora de la asignatura, intentando conseguir aumentar el número de aprobados y mejorar la impresión que los alumnos tienen de ellas, pero sin rebajar el nivel de exigencia. Las medidas correctoras que se aplicaron iban orientadas a retener el interés de los alumnos por la asignatura e impedir una prematura sensación de fracaso [1]. Su objetivo por tanto era promover:

- Actitud activa del alumno.
- Apoyo al alumno fuera de la clase, en su casa o en la escuela.
- Apoyo al profesor para la explicación en clase.

En este artículo se trata de comentar la experiencia educativa que se desarrolló para impartir la asignatura Electrónica Industrial I y de exponer el material educativo que se desarrolló. Además se intentará valorar el resultado real que la aplicación de estos esfuerzos ha conseguido tanto en la mejora objetiva de la asignatura en cuanto a número de suspensos, como en la modificación de la percepción de los alumnos, valorada en la asistencia a clase y los resultados de las encuestas de actividad docente.

2. Resumen del conjunto de medidas adoptadas

Con el objetivo de paliar las dificultades descritas en la Tabla I se adoptaron una serie de medidas, referidas en la Tabla II, y que siguen como principios fundamentales:

- **Incrementar la motivación del alumno:** Despertar el interés del alumno por la asignatura.
- **Efectividad en la transmisión del conocimiento.**
- **Economía de medios:** Optimización de los medios disponibles y aumento del rendimiento que se puede extraer de ellos.

| Medidas adoptadas |
|--|
| Los grupos de prácticas de desdoblamiento (Departamento de Tecnología Electrónica) |
| Evaluación técnica por parte del profesorado de un libro específico de la materia |
| Publicación de un libro de problemas |
| Creación de grupos de trabajo para problemas específicos y puntuales (curso 2004/2005) |
| Se cargan en red los apuntes de la asignatura |
| Se ponen a disposición de los alumnos colecciones de exámenes resueltos y comentados |
| Se entregan colecciones de problemas tipo detallados |
| Se permite recuperar las prácticas realizando simulaciones con el PSIM |
| Realización de proyectos de innovación docente que se cargan en la red: herramienta interactiva y problemas de apoyo |

Tabla II. Medidas adoptadas para mejorar la calidad de la docencia de la asignatura Electrónica Industrial I

Para realizar una planificación exacta de los puntos de acción que se tenían que desarrollar, se realizó una encuesta entre los alumnos con el interés de conocer su perspectiva. Esta encuesta constaba de 4 bloques de preguntas, resumidos a continuación:

- Plan de estudios: preguntas referentes a las convocatorias consumidas en las asignaturas y en otras asignaturas afines.
- Contenidos de la asignaturas: preguntas acerca de los problemas, específicos o generales, acerca de lo tratado en clase, valoración del material docente proporcionado a los alumnos y valoración de las prácticas.
- Esfuerzo de alumno: dedicación del alumno, utilización del material docente y de las tutorías.

- Examen: cuestiones sobre la influencia de la situación en el calendario de exámenes, método de abordar la resolución del examen y dificultad del mismo.

A fin de no proporcionar un exceso de datos, a continuación se resumen las principales conclusiones obtenidas a partir de la encuesta:

- La gran mayoría de los alumnos encontraron problemas específicos en algún tema. Sin embargo un porcentaje mucho menor dice tener dificultades con los conceptos básicos.
- La resolución de problemas en clase es altamente valorada. De hecho, el contenido teórico es excesivo para la mayoría de los alumnos.
- Los materiales docentes puestos a disposición de los alumnos son bien valorados, aunque no todos se utilizan igual. Las colecciones de problemas son, sin duda, el elemento mejor valorado y más utilizado.
- Materiales para el autoaprendizaje, como simulaciones con PSIM o páginas web interactivas, son bien valorados, pero muy poco utilizados.
- En general, la asignatura no se estudia con continuidad, aduciendo falta de tiempo debido a las prácticas y trabajos de todas las asignaturas.

3. Material complementario desarrollado

Durante estos años se ha dedicado un importante esfuerzo a la generación de material docente que para ser utilizado en clase y fuera de ella, y que tiende a cubrir dos aspectos básicos: formación teórico-práctica a través de la resolución de problemas y formación en los conceptos teóricos fundamentales adaptada al currículum previo de los alumnos. En la Tabla III se enumera todo el material que ha sido elaborado y puesto a disposición de los alumnos por diferentes canales.

| Material docente desarrollado |
|--|
| Evaluación técnica del libro "Electrónica de Potencia" (autor: Daniel W. Hart) |
| Edición de un libro de "Problemas de Electrónica de Potencia" [2] |
| Problemas complementarios y recopilación de exámenes de cursos anteriores |
| Colección de transparencias de apoyo con los contenidos de la asignatura |
| Manual de utilización del programa de simulación PSIM |
| Herramienta interactiva basada en páginas web |
| Libros electrónicos basados en Mathcad |

Tabla III. Enumeración del material docente puesto a disposición de los alumnos

Parte de este material ha sido desarrollado en el marco de **dos proyectos de innovación docente** financiados por la propia Universidad Carlos III de Madrid. Estos proyectos se plantearon con una aproximación gradual del alumno a la Electrónica de Potencia.

3.1. Herramienta interactiva basada en páginas web

El primer proyecto de innovación docente aborda una primera aproximación a la Electrónica de Potencia, de modo que se desarrollaron unas páginas web que permiten estudiar los circuitos **desde un punto de vista descriptivo**. Se trata de un medio muy sencillo para los alumnos porque no requiere el conocimiento de ninguna herramienta específica de análisis de circuitos [3].

Para orientar el acceso de los alumnos a los applets que tienen más interés de cara a la asignatura de Electrónica Industrial, se desarrollaron unas páginas web con el contenido de la asignatura ordenado por temas y unidades didácticas (figura 2). Navegando por estas páginas web se accede a applets de Java (figura 3) en los que se puede comprobar de modo interactivo el funcionamiento de típicos circuitos y otros conceptos básicos de la Electrónica de Potencia.

Los applets de Java fueron proporcionados por el Seminario Interactivo de Electrónica de Potencia (iPES), una idea original de los profesores Johan Kolar y Uwe Drogenik, del Instituto de Tecnología de Zurich (ETH Zurich). Se trata de un proyecto puramente filantrópico y sin ánimo de lucro, que ha podido salir adelante gracias a la iniciativa de estos dos profesores y a su habilidad para implicar a profesores de todo el mundo, que colaboran con el proyecto traduciendo, difundiendo y empleando el material en sus propias clases [4, 5]. Se mantiene el contacto con esta universidad porque profesores de la Universidad Carlos III de Madrid colaboran en la traducción de las páginas web al español. Debido a la extraordinaria acogida del curso de introducción a la Electrónica de Potencia, la idea se ha extendido y ya se están realizando nuevos applets relacionados con cuestiones térmicas de la Electrónica de Potencia, campos magnéticos y eléctricos y electrónica general.

Con este material interactivo se pretende proporcionar a los alumnos una **herramienta de estudio sencilla y atractiva**. No es necesario un conocimiento exhaustivo de la materia para poder avanzar por el seminario, ya que los conocimientos se van adquiriendo muy gradualmente. Además, aunque se trata de applets interactivos, el alumno puede modificar sólo ciertos parámetros muy controlados, de modo que no incurre en funcionamientos extraños de los circuitos.

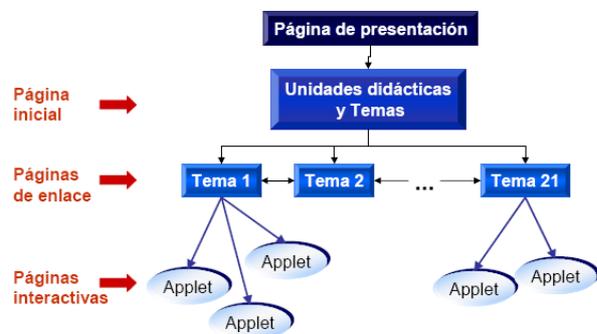


Figura 2. Estructura de la herramienta interactiva desarrollada

Ejemplo: contenido armónico de una onda periódica

La descomposición en armónicos de una onda periódica es un concepto básico para muchas materias, y también para la electrónica de potencia. Es muy conveniente ilustrar este concepto tomando como ejemplo formas de onda similares a las que se manejan en los convertidores de potencia.

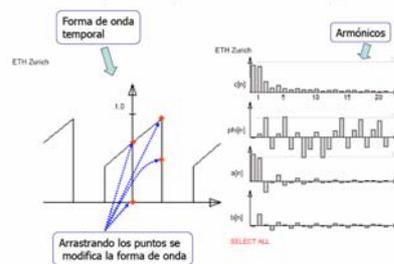


Figura 3. Ejemplo de applet de Java para representar el contenido armónico de una onda periódica

3.2. Libros electrónicos basados en Mathcad

En el marco de otro proyecto docente se realizaron unos libros electrónicos basados en el programa MathCAD (figura 4). Estos libros constituyen una aproximación al diseño de los circuitos de una forma más completa [6], al exigir el **conocimiento de una herramienta profesional [7] y mayor capacidad de análisis de los circuitos**. Además el alumno puede acceder a más parámetros que en el caso de los applets de Java, de forma que tiene que tener un mayor conocimiento del circuito para no llegar a modos de funcionamiento absurdos. El funcionamiento de los circuitos se describe de forma matemática y el programa permite obtener resultados tanto de tipo numérico como de tipo gráfico (formas de onda, gráficas de rendimiento, etc).

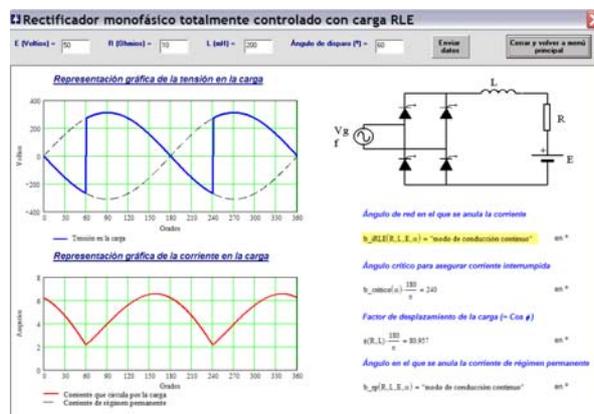


Figura 4. Libro electrónico basado en MathCAD® describiendo el comportamiento de un rectificador monofásico totalmente controlado

3.3. Incorporación del programa de simulación PSIM al transcurso habitual de la asignatura

La incorporación del simulador eléctrico PSIM al desarrollo de la asignatura ha aportado muchas ventajas:

- **Sencillez** de uso comparado con otros simuladores eléctricos en el mercado, como el ORCAD-PSPICE.
- **Incorporación habitual a las clases teóricas.** Durante las clases teóricas se muestran a los alumnos ejemplos de simulaciones con el programa PSIM y se les enseña a realizarlas por ellos mismos (figura 5).
- **Herramienta de autoaprendizaje** para los alumnos. Dispone de una **versión de demostración** que permite simular la mayoría de los circuitos de la asignatura, y que los alumnos se pueden instalar en sus ordenadores particulares sin ningún coste [8].
- **Recuperación de algunas prácticas de laboratorio con simulaciones.** Puesto que los alumnos de la asignatura Electrónica Industrial I no tienen una gran experiencia en el laboratorio, suelen tener dificultades para terminar las prácticas de forma satisfactoria. Como ayuda para incrementar su puntuación se les permite obtener mediante simulación con PSIM los resultados de las preguntas que no pudieron completar de forma presencial en el laboratorio.

Para facilitar y promover el uso de este programa se ha elaborado un manual de uso (figura 6) con información sencilla y concisa que les permite realizar las simulaciones de los circuitos que se enseñan en clase.

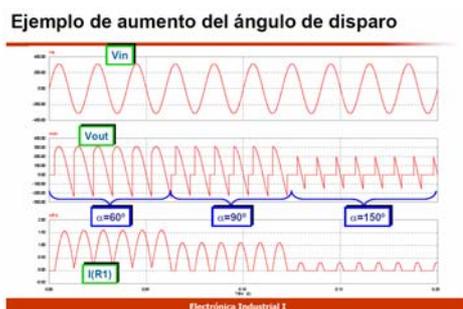


Figura 5. Formas de onda obtenidas con el programa de simulación PSIM



Figura 6. Manual de utilización del programa PSIM

4. Evaluación de los resultados conseguidos

El número de aprobados efectivamente aumentó en la asignatura de Electrónica Industrial I en casi quince puntos porcentuales. Además, los alumnos valoraron muy positivamente el esfuerzo docente realizado por los profesores, de modo que en las encuestas cada vez ha sido mayor la puntuación que se ha dado a los profesores.

En base a encuestas específicas realizadas a los alumnos en el curso 2004-2005, a las preguntas referentes al esfuerzo de los alumnos las conclusiones principales son las siguientes:

- El tiempo dedicado a la asignatura de manera continuada a lo largo del cuatrimestre no es demasiado grande, aduciendo como impedimento principal la realización de trabajos y prácticas.
- Las tutorías no son una herramienta ampliamente utilizada por la mayoría de los alumnos, y la razón proporcionada por los estudiantes es la falta de tiempo.
- La utilización del material docente adicional es desigual. Las colecciones de problemas son el material más valorado, seguido de las transparencias. A mucha distancia figuran herramientas adicionales como las simulaciones con PSIM o el curso interactivo de Electrónica de Potencia.

Por lo tanto, como conclusión principal se puede extraer que los alumnos no han dedicado significativamente más tiempo a la asignatura (dedican “el máximo que pueden dedicar”). En todo caso, ha hecho una **mejor utilización de su tiempo de estudio, apoyándose para ello en algunos de los materiales adicionales proporcionados por los profesores.**

5. Conclusiones

Para conseguir la titulación de Ingeniero Técnico Industrial en Electricidad en la Universidad Carlos III de Madrid es necesario un mínimo de tres años. La asignatura de Electrónica Industrial I, en la que se imparten los conceptos básicos de la Electrónica de Potencia, es cursada en el segundo año, de forma simultánea con otras asignaturas que imparten conceptos necesarios para la asignatura y siendo el primer contacto con la electrónica. El número de alumnos aprobados era bajo y la evaluación de los alumnos en las encuestas docentes era muy pobre, por lo que desde el año 2002 se han adoptado medidas pedagógicas para mejorar la impartición de las clases y el número de aprobados sin reducir el nivel de exigencia.

El origen de la alta tasa de fallos es la complejidad inherente de la asignatura, combinada con una inadecuada situación en el plan de estudios. Los esfuerzos realizados están por tanto orientados a retener el interés de los alumnos y prevenir una prematura sensación de fracaso que les hace abandonar demasiado pronto. Persiguiendo este objetivo se ha desarrollado nuevo material docente que permite a los alumnos estudiar y comprender la asignatura con más facilidad: nuevas transparencias de clase, material interactivo basado en páginas web y cursos guiados, libros electrónicos basados en herramientas matemáticas profesionales, incorporación de un simulador eléctrico (PSIM) al desarrollo habitual de la asignatura, etc.

La valoración que los alumnos han realizado del esfuerzo realizado es muy positiva, tanto en las encuestas oficiales de evaluación docente como en las encuestas específicas. Además los resultados académicos han mejorado significativamente. Sin embargo, los alumnos siguen valorando más las colecciones de problemas y las transparencias directamente orientadas a la superación del examen final que otros materiales desarrollados más innovadores y atractivos como las páginas web interactivas o los libros electrónicos.

6. Agradecimientos

Esta experiencia educativa, llevada a cabo por los autores del artículo, recibió el premio a la labor docente orientada a la puesta en práctica de la metodología de Bolonia y desarrollada en el curso 2005/06 en la “I Convocatoria de Premios a las Mejores Prácticas Docentes” de la Universidad Carlos III de Madrid.

7. Referencias

- [1] Fernández C.; Sanz C. M.; Zumel P.; Lázaro A.; Barrado A.; Olías E., “Top-down Approach for an Undergraduate First Course on Power Electronics”, IEEE International Conference on Engineering and Computer Education, ICECE 2005, Madrid (España), 13-16 noviembre 2005
- [2] A. Barrado, A. Lázaro, “Problemas de Electrónica de Potencia”, ed. Pearson Prentice Hall 2007, ISBN: 978-84-205-4652-0
- [3] Drogenik U., Kolar J., “Survey of Modern Approaches of Education in Power Electronics”, IEEE APEC 2002, volume 2, 10-14 March 2002 Page(s):749 - 755
- [4] Drogenik U. and Kolar J.W.: iPES – Interactive Power Electronics Seminar available at www.ipes.ethz.ch.
- [5] Zumel P.; Lázaro A.; Fernández C.; Sanz C. M.; Barrado A.; Olías E., “Top-down Approach for an Undergraduate First Course on Power Electronics”, IEEE Power Electronics Education Workshop, PEEW 2005, Recife (Brasil), 16-17 junio 2005
- [6] Sanz C. M.; Lázaro A.; Zumel P.; Fernández C.; Barrado A.; Olías E., “Improvement of Power Electronic Education with an Interactive Electronic Book based on MATHCAD”, IEEE Power Electronics Education Workshop, PEEW 2005, Recife (Brasil), 16-17 junio 2005
- [7] www.mathsoft.com
- [8] www.powersys.fr