

# **INTEGRACIÓN DE TEORÍA SIMULACIÓN Y PRÁCTICA DE LABORATORIO EN ASIGNATURAS DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

## **INTEGRATION OF THEORY, SIMULATION AND LAB COURSES IN ELECTRICAL ENGINEERING**

**A. Arroyo, A. Ortiz, F. Delgado, P. Sánchez, M. A. Cavia, M. Mañana**

*Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética,*

*E.T.S.I.I., Universidad de Cantabria,*

*Avenida de los Castros, 39005 Santander, España*

*Teléfono: +34-942-201376*

*Fax: +34-942-201385*

*E-mail: [delgadof@unican.es](mailto:delgadof@unican.es)*

### **RESUMEN**

Desde hace mucho tiempo se está intentando promover cambios en la educación de la ingeniería. La desregulación de la industria eléctrica también está causando cambios en los tipos de trabajos a los que acceden los ingenieros después de terminar sus estudios. Este trabajo describe algunos de los esfuerzos de los profesores de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Cantabria, por ofrecer a los estudiantes una experiencia de aprendizaje más activa en el área de los circuitos y las máquinas eléctricas. Asimismo, se presenta un resumen del plan de estudios del nuevo Grado en Ingeniería Eléctrica. Los cursos afectados son uno de circuitos eléctricos y otro de conversión de energía, ambos obligatorios para todos los estudiantes del Grado en Ingeniería Eléctrica. Se proporciona la metodología a seguir en la impartición de las asignaturas, así como las tareas que los estudiantes deben realizar. También se presentan observaciones y análisis sobre las experiencias implementadas. En el documento se describe el trabajo realizado con el objetivo de convertir a los cursos tradicionales de ingeniería eléctrica en cursos en los que el aprendizaje pueda fluir con facilidad de la clase magistral al laboratorio o al software de simulación.

### **PALABRAS CLAVE**

Aprendizaje activo, Ingeniería eléctrica, Espacio Europeo de Educación Superior (EEES)

## **SUMMARY**

Changes in engineering education have been promoted for long time. The deregulation of the electricity industry is also causing changes in the types of jobs that engineers access after completing their studies. This paper describes some of the efforts of teachers in Electrical Engineering from the University of Cantabria, to offer students a more active learning experience in the areas of electrical circuits and electrical machines. It also presents a summary of the curriculum of the new Degree on Electrical Engineering. The selected courses for this article are focused on Electrical Circuits and a Power Conversion, both mandatory for all students studying the Degree on Electrical Engineering. It provides the methodology to be used in teaching these subjects, and the tasks that students must perform. It also presents observations and analyzes the experiences implemented. The paper describes the work done with the aim of converting traditional electrical engineering courses on others in which learning can flow easily from the lecture to the laboratory or to the simulation.

## **KEY WORDS**

Active learning, Electrical engineering, European Higher Education Area (EHEA)

## **INTRODUCCIÓN**

Algunos empresarios utilizan la siguiente analogía para describir lo que las empresas están buscando en los nuevos ingenieros: “Los programas tradicionales producen ingenieros que pueden volar como las águilas, pero lo que los empleadores desean son águilas que se elevan en formación”. Ya no es lo suficientemente bueno el tener excelentes habilidades técnicas; los ingenieros deben saber trabajar en equipo, comunicarse de forma efectiva, y además tener excelentes habilidades técnicas. La industria eléctrica constituye una infraestructura fundamental para nuestra sociedad y está experimentando un profundo cambio debido a la desregulación. Para trabajar en un entorno tan competitivo, los futuros ingenieros deben estar preparados para el aprendizaje permanente y la actualización continua de conocimientos.

El formato de una clase tradicional tiende a fomentar un aprendizaje pasivo. Es común leer opiniones de expertos en diversos campos -educadores, arquitectos, ejecutivos de grandes empresas industriales- que coinciden en su análisis del sistema universitario tradicional. Es necesario centrarse menos en la clase magistral y mejorar los vínculos entre los laboratorios y las aulas. Hay que aumentar la participación activa en las clases, las experiencias de trabajo en equipo y el aprendizaje cooperativo. También se recomienda que la tecnología se integre en la asignatura de manera que se reduzcan los costes educativos. Por otro lado, en los proyectos constructivos y en los problemas de diseño de propósito práctico se consigue elevar el interés de los estudiantes, lo que demuestra que las respuestas a muchos de los problemas reales no se pueden encontrar en un libro de texto. El aprendizaje cooperativo y los proyectos en equipo son un formato natural en el estudio de diversas disciplinas, y, dado que el aprendizaje es un proceso social, estos métodos ayudan a maximizar el aprendizaje técnico, además del desarrollo de importantes habilidades interpersonales y de comunicación. La Web e Internet permiten a los estudiantes comunicarse unos con otros y con el instructor de forma

asincrónica. Las asignaciones de problemas, los tutoriales, las búsquedas de información, el intercambio de archivos, y los anuncios a los alumnos se pueden hacer tanto dentro como fuera del aula. El uso de estas herramientas en el proceso educativo proporciona habilidades tecnológicas y de comunicación que son, actualmente, fundamentales para los ingenieros.

La siguiente sección proporciona los motivos que justifican un cambio de estrategia hacia un aprendizaje más activo. También se describe el plan de estudios del Grado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Cantabria (UC). Se presentarán y comentarán ejercicios desarrollados en algunas de las asignaturas de este plan. Por último, se analizan las posibles metas para el futuro.

## **1. APRENDIZAJE ON-LINE**

La UC pone actualmente a disposición de sus profesores dos herramientas informáticas para implementar técnicas de aprendizaje activo en las distintas asignaturas; Blackboard y Moodle. Ambas aplicaciones facilitan:

- El aprendizaje autónomo del estudiante mediante la realización de ejercicios prácticos a través del ordenador.
- La evaluación de las competencias adquiridas por los estudiantes.
- La comunicación del profesor con los estudiantes, y entre los propios estudiantes.
- El almacenamiento de las bases teóricas de la asignatura.
- El seguimiento del trabajo realizado durante el curso por los estudiantes.

Ambas aplicaciones están basadas en internet, lo que permite un acceso libre del estudiante, que marca su propio ritmo de aprendizaje. Por otro lado, estas herramientas se muestran también muy útiles en el aprendizaje tutorizado, donde el profesor está presente en clase mientras los alumnos realizan alguna tarea, y ayudan al alumno con las dudas que puedan surgir. La mayoría de las asignaturas del curriculum del Grado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Cantabria utilizan estas plataformas de aprendizaje a través de internet.

### **1.1. Curriculum del Grado en Ingeniería eléctrica en la Universidad de Cantabria**

El graduado en Ingeniería Eléctrica es un profesional de la Ingeniería especializado. Dispone de conocimientos científicos y tecnológicos relacionados con la generación, transporte y distribución de la energía eléctrica, conocimientos económicos y de gestión empresarial. Este titulado recoge las atribuciones del actual Ingeniero Técnico Industrial, especialidad electricidad, según lo establecido en la CIN/351/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial, y es competente para analizar, evaluar y plantear soluciones a problemas en los campos del diseño, construcción, puesta en marcha y supervisión de sistemas eléctricos.

De acuerdo a las directrices establecidas en el Espacio Europeo de Educación Superior [1], la Universidad de Cantabria asume el criterio de que las asignaturas tengan 6 créditos ECTS considerándose cada crédito 25 horas de trabajo del alumno, siendo el 40% horas presenciales

de contenidos impartidos por los profesores. La organización del Plan de Estudios se distribuye en cuatro cursos, repartidos en 8 cuatrimestres de 15 semanas de docencia [2].

El plan de estudios desarrolla las materias de formación básicas en los dos primeros cuatrimestres y en 18 créditos del segundo curso: las definidas por la orden ministerial CIN/351/2009 (60 créditos), y las definidas por la Universidad de Cantabria (12 créditos) que incluyen inglés y contenidos transversales en valores y destrezas personales; asimismo, la formación básica se amplía para dotar al alumno de mayores fundamentos en ingeniería eléctrica en el segundo cuatrimestre (6 créditos).

Las materias de tecnología específica de las ramas de la orden ministerial CIN/351/2009 se ubican en el quinto cuatrimestre (18 créditos), en el sexto (24 créditos), y en el séptimo cuatrimestre (6 créditos).

En el cuarto y quinto cuatrimestre se sitúan 12 créditos de ampliación de materias comunes a la rama industrial mientras que en el sexto, séptimo y octavo cuatrimestres se ubican los 12 créditos de ampliación de tecnología específica.

En el octavo cuatrimestre (18 créditos) se ubican las materias optativas. El alumno debe seleccionar una de las tres materias optativas y cursar al menos 12 créditos de los 18 ofertados en cada materia. Los 6 créditos restantes son de libre configuración, que los puede realizar en esta u otra asignatura optativa del plan de estudios u otra asignatura de la Universidad diferenciada de los contenidos de su plan de estudios. Los créditos de libre elección se pueden emplear en la realización de prácticas en externas.

La distribución de las asignaturas propias del área eléctrica, a lo largo de los cuatro cursos, se resumen en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Asignaturas del área eléctrica

<b>Primer Curso</b>	Fundamentos de ingeniería eléctrica
<b>Segundo Curso</b>	Teoría de circuitos I
	Teoría de circuitos II
	Máquinas eléctricas I
<b>Tercer Curso</b>	Instalaciones eléctricas de media y baja tensión
	Sistemas eléctricos de potencia
	Máquinas. Eléctricas II
	Electrónica de Potencia
	Generación Eléctrica
	Líneas e instalaciones eléctricas de alta tensión
	Diseño y cálculo de máquinas eléctricas
<b>Cuarto Curso</b>	Ampliación de líneas e instalaciones eléctricas de alta tensión
	Accionamientos eléctricos
	Centrales eléctricas y energías renovables
<b>Optativo A</b>	Domótica y luminotecnia
	Vehículos eléctricos e híbridos

	Simulación de sistemas eléctricos
<b>Optativo B</b>	Operación de sistemas eléctricos
	Ampliación de energías renovables
	Introducción a la ingeniería nuclear

## 2. EXPERIENCIAS DE APRENDIZAJE

En este apartado se describen dos experiencias de aprendizaje utilizadas en distintas asignaturas del Grado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Cantabria.

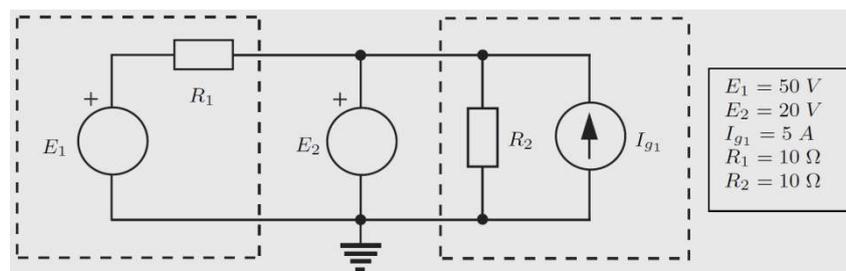
### a. Estudiantes simulando y construyendo un circuito eléctrico

La herramienta de simulación LTspice se utiliza en las asignaturas dedicadas a la enseñanza de teoría de circuitos. Este es un software gratuito desarrollado por la empresa Linear Technology. [3]

El aprendizaje de las asignaturas mencionadas requiere, en numerosas ocasiones, de la realización de cálculos complejos y de longitud considerable. Por ello, los estudiantes utilizan este programa informático para comprobar la corrección de sus resoluciones manuales, tanto en su aprendizaje autónomo como en el tutorizado. Toda esta metodología de enseñanza ha sido recogida en un libro publicado por algunos de los autores de esta comunicación [4].

Inicialmente, se organizan dos seminarios en los que se explica a los alumnos los fundamentos de la medida eléctrica y de la simulación mediante LTspice. El primero se realiza en el laboratorio de electrotecnia y el segundo en un aula de ordenadores.

Una vez que los alumnos conocen ambos entornos, se forman grupos de estudiantes, dos o tres personas, y se les suministra un enunciado en el que se plantea un circuito eléctrico, como por ejemplo el de la figura 1. Los equipos de estudiantes disponen de una media de tres horas para resolver cada ejercicio.



**Figura 1.** Ejemplo de circuito eléctrico propuesto para su resolución.

En primer lugar los alumnos han de resolver el problema de forma manual, posteriormente tienen que plantear el código, figura 2, necesario para la resolución con LTspice y probarlo en el aula de ordenadores, y finalmente deben construir el circuito en el laboratorio de electrotecnia y demostrar, mediante aparatos de medida, la exactitud de la solución.

Los laboratorios de electrotecnia y el aula de ordenadores del departamento de ingeniería eléctrica están situados uno frente a otro en la misma planta de la Escuela, y ambos permanecen abiertos para que los grupos dispongan de los puestos de trabajo con libertad durante el desarrollo de la práctica.

### Circuito LTspice 7.1.

```
*Sentencias de datos
VE1 1 0 50
VE2 2 0 20
Ig1 0 2 5
R1 1 2 10
R2 2 0 10

*Sentencias de control y salida
.DC VE2 -100 100 1
.MEAS DC V_Generador_Rendimiento_Positivo FIND (v(2)/v(1))*100 WHEN v(2)=20
.MEAS DC V_Generador_Rendimiento_Negativo FIND (v(2)/v(1))*100 WHEN v(2)=-30
.MEAS DC V_Receptor_Rendimiento_Positivo FIND (v(1)/v(2))*100 WHEN v(2)=80
.MEAS DC I_Generador_Rendimiento_Positivo FIND ((i(ig1)-i(r2))/i(ig1))*100 WHEN v(2)=20
.MEAS DC I_Generador_Rendimiento_Negativo FIND ((i(ig1)-i(r2))/i(ig1))*100 WHEN v(2)=80
.MEAS DC I_Receptor_Rendimiento_Positivo FIND (i(ig1)/(i(ig1)-i(r2)))*100 WHEN v(2)=-30
.END
```

**Figura 2.** Ejemplo de resolución de circuito eléctrico mediante LTspice.

La coincidencia de resultados de las distintas resoluciones certifica su corrección. En cambio, si se producen divergencias, los alumnos deben encontrar las causas que las provocan.

Al finalizar la actividad propuesta, cada grupo mostrará al profesor los resultados obtenidos durante la sesión práctica, recibiendo una calificación a la ejecución del trabajo. Además los alumnos redactarán un informe que recogerá:

- La descripción del problema planteado.
- La resolución analítica del ejercicio con referencias a los conceptos teóricos utilizados.
- El código LTspice implementado con las salidas tipo texto o gráficas del mismo.
- Un esquema de conexión y el listado de características de los componentes y aparatos de medida utilizados durante la construcción del circuito.

## **b. Estudiantes simulando y construyendo una máquina eléctrica**

La metodología presentada en este apartado se aplica en asignaturas dedicadas a la enseñanza de las máquinas eléctricas.

Al comenzar la asignatura, y de la misma forma que en el caso anterior, los estudiantes asisten a varios seminarios (3) que se desarrollarán con la siguiente secuencia:

- En el primero se presentan los medios materiales que posee el laboratorio de máquinas eléctricas y como se ha de trabajar en él.
- En el segundo se introduce al estudiante en el manejo de la herramienta de simulación electromagnética Flux (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.3**), software basado en elementos finitos [5].
- En el tercero se presenta otro software denominado Motor-CAD (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.4**) que se utilizará para poder estudiar la evolución térmica de los diferentes componentes de la máquina eléctrica [6].

El programa informático de simulación electromagnética –Flux- no es gratuito. En el caso de no poder tener acceso a él se podrá recurrir a otros, que, aunque no son tan potentes, pueden proporcionar resultados fiables (como por ejemplo FEM).

Flux permite realizar un estudio electro-magnético de las máquinas eléctricas. Determinando de esta manera todos los parámetros eléctricos y magnéticos del mismo. Además este software permite realizar una parametrización de la geometría pudiendo así modificarla de manera rápida y sencilla.

Motor-CAD permite realizar un modelo sencillo de la máquina e introducir algunos parámetros térmicos, lo que posibilita el cálculo de las temperaturas existentes en la máquina ante diversos regímenes de funcionamiento.

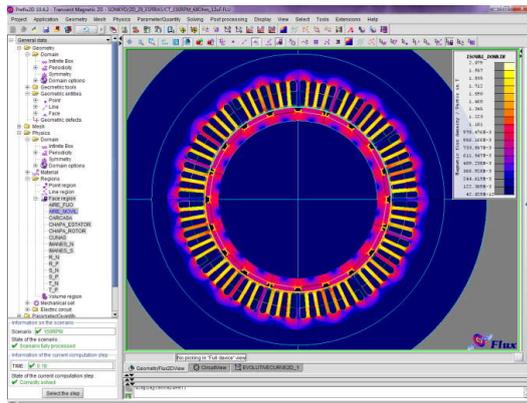


Figura 3: Flux

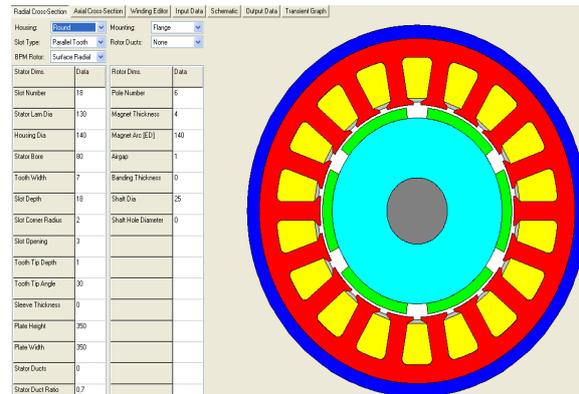


Figura 4: Motor-CAD

Una vez que los alumnos conocen estos entornos, se forman grupos de estudiantes, dos o tres personas, y se les suministra la máquina eléctrica a resolver. Los diferentes equipos dispondrán del laboratorio de máquinas y del aula de ordenadores en el horario establecido para el proyecto, al principio del curso.

En primer lugar los alumnos han de ensayar la máquina en el laboratorio con la metodología planteada en la clase de teoría.

Una vez ensayada la máquina en el laboratorio, los estudiantes podrán utilizar las medidas obtenidas en el mismo y compararlas con las que se obtengan durante la simulación de la máquina que se realizará en el aula de ordenadores.

Dada la complejidad de funcionamiento de las máquinas eléctricas y el tiempo requerido para manejar los conceptos teóricos y los fundamentos de la simulación, a cada grupo de estudiantes se le asignará un tipo de máquina eléctrica y tendrán los tres primeros meses del cuatrimestre para desarrollar el proyecto.

Finalmente, durante el último mes del cuatrimestre, todos los grupos realizarán una presentación a sus compañeros y al profesor, donde expondrán una justificación teórica breve, el desarrollo del trabajo y los resultados obtenidos en las diferentes etapas.

La secuencia de pasos descrita previamente de manera somera, se presenta en el diagrama de flujo de la Fig. 5. Esta figura se explica con detalle a continuación:

Los primeros pasos serán definir todas las características de la máquina en ambos programas. Algunas de las mismas pueden ser: aspectos geométricos, devanado eléctrico, métodos de refrigeración, etc.

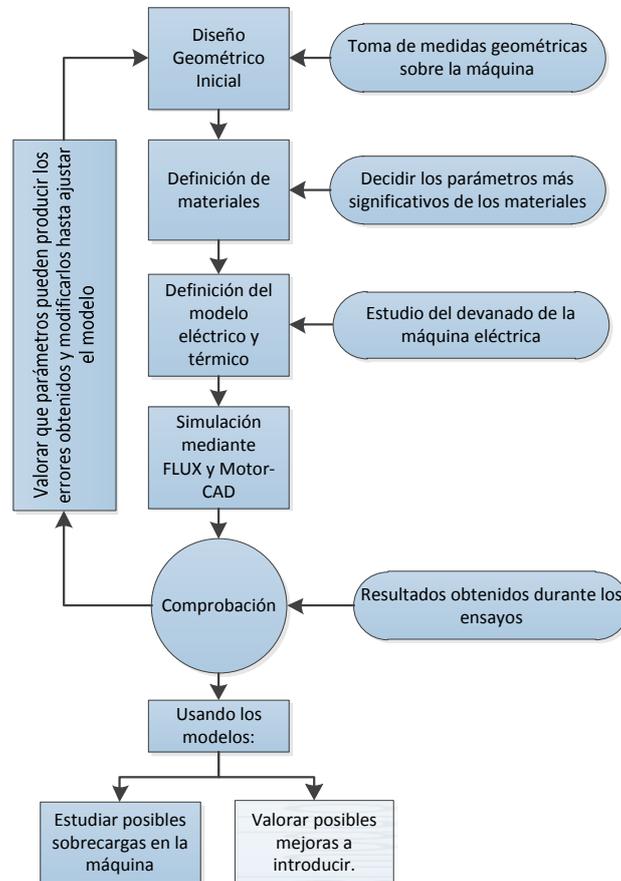
A medida que los alumnos van desarrollando los modelos se van percatando de aspectos constructivos que inicialmente no habían tenido en cuenta. Esto les permite retener la información posiblemente durante más tiempo que si hubieran estudiado.

Una vez finalizados los modelos se deberán simular. De esta manera los estudiantes obtienen los primeros datos que pueden contrastar con los reales, obtenidos durante los ensayos.

Normalmente estos primeros datos no se corresponden mucho con la realidad. Es en este momento cuando deberán realizar un proceso de autocritica y estudiar los posibles errores

cometidos. Esta reflexión les llevará a comprender mejor los detalles más técnicos de la máquina.

Una vez se cree conocer los errores, se modificarán en los modelos y se volverán a simular. Se deberá valorar si las modificaciones introducidas mejoran o empeoran los resultados. Este proceso se repetirá las veces necesarias hasta se considere tener un modelo fiable.



**Figura 5:** Diagrama de flujo de la experiencia

En este punto los alumnos adquieren dos cosas:

1. Un conocimiento detallado del comportamiento de la máquina ante diferentes modificaciones en la misma.
2. Una idea de la fiabilidad de los modelos de simulación. Estos programas no permiten un modelo fiable al 100% y siempre presentan un porcentaje de error. Los alumnos deberán aprender a valorar y cuantificar dicho error.

Una vez obtenidos los modelos, se está en disposición de estudiar la máquina real.

Primeramente se valorará si la máquina está correctamente diseñada. Para ello se deberán comprobar ciertos parámetros como pueden ser: saturación magnética de los materiales, formas de onda de tensión e intensidad, pérdidas, temperatura alcanzada en los diferentes elementos, etc.

A continuación, y teniendo en cuenta lo establecido en el apartado anterior, se estará en disposición de proponer posibles mejoras que incrementen la eficiencia de la máquina. Estas mejoras propuestas deberán ir acompañadas de su correspondiente comprobación, haciendo uso de los elementos de simulación.

Una vez propuestas las mejoras se deberá realizar un estudio económico, calculando el incremento o la reducción de los costes de fabricación de la máquina. Una reducción en los costes siempre se ve como positivo. Sin embargo, un aumento de los mismos debe estar perfectamente justificado analizando el periodo de amortización.

Otro punto, que los alumnos deberán analizar mediante los programas, será someter a la máquina a diferentes sobrecargas que pudieran acontecer en la realidad, como: cortocircuitos, sobre velocidades, etc. De esta manera se darán cuenta que estas herramientas no sólo son útiles durante el periodo de diseño si no que también lo serán como medidas preventivas.

Como ejercicio final se les pedirá que enumeren los conceptos que han aprendido, al hacer uso de los programas de simulación, y las principales conclusiones que han extraído.

### 3. CONCLUSIONES

La aplicación de metodologías creativas de aprendizaje en los nuevos grados -resultado de la implantación Espacio Europeo de Educación Superior- está suponiendo un cambio profundo en la forma de entender la docencia, en la titulación de Ingeniería Eléctrica, tanto para el profesorado como para el alumno. Los profesores han de ganar en versatilidad, dominando diversas herramientas de docencia que, además, han de saber combinar con habilidad: la clase magistral se debe apoyar en la aplicación práctica de los conceptos, bien mediante simulación con herramientas informáticas, mediante prácticas en laboratorio, o una combinación de ambas. Por lo que respecta a los alumnos, éstos han dejado de ser sujetos pasivos de la docencia, implicándose en la asignatura. Ello les ha supuesto un mayor trabajo, factor que se contrarresta con una más adecuada adquisición de conocimientos y de competencias como el trabajo en grupo, la capacidad de resolver problemas, la oratoria, etc.

### REFERENCIAS

- [1] Espacio Europeo de Educación Superior. Disponible en: <http://www.eees.es/> (14/04/2012)
- [2] Memoria de verificación del Grado en Ingeniería Eléctrica. Disponible on-line en: <http://www.unican.es/Centros/etsiit/planes/GIE.htm> (14/04/2012)
- [3] *LTspice software. Disponible on-line en: <http://www.linear.com/designtools/software/#LTspice>* (14/04/2012)
- [4] Sánchez Barrios P., *et al. Teoría de Circuitos: Problemas y Pruebas Objetivas orientadas al aprendizaje*. 2007. Ed.: Pearson Prentice Hall.
- [5] Tutoriales de Flux. Disponible on-line en: <http://univ.cedrat.com/en/software-information/solutions-for-the-classroom/flux-educational.html> (14/04/2012)
- [6] Tutoriales de Motor-CAD. Disponible on-line en: <http://www.motor-design.com/tutorials.php> (14/04/2012)