LA INTRODUCCIÓN DE LA ACTIVITAD DIRIGIDA EN LA ENSEÑANZA DE LA ELECTRÓNICA ANALÓGICA PARA ESTUDIANTES DEL GRADO DE ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

Herminio Martínez; Joan Domingo; Antoni Grau
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona (EUETIB)
Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)
C/ Comte d'Urgell, 187. ES–08036, Barcelona
herminio.martinez@upc.edu

RESUMEN.

A pesar del indiscutible avance y desarrollo de la electrónica y los sistemas digitales, es bien cierto que la electrónica analógica, y especial aquélla que incide directamente en el amplificador operacional realimentado en tensión y sus aplicaciones, es uno de los pilares fundamentales sobre los que se asientan los modernos planes de estudio para estudiantes de electrónica en diferentes ámbitos de la ingeniería (industrial, telecomunicaciones, etc.).

Dentro de la oferta de asignaturas troncales de la titulación de Grado de Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática (EIA) de la Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona (EUETIB) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), aparecidas a raíz de la puesta en marcha del actual plan de estudios de grado, dentro de Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), existe una asignatura, *Electrónica Analógica* (EAEIA), que permite al estudiante de la citada especialidad adentrarse en los conocimientos de esta materia. La presente comunicación expone la filosofía de esta asignatura, de forma que analiza la orientación que se pretender dar, en especial dentro del nuevo marco de asignaturas ofertadas en la EUETIB donde, además de las horas de teoría, problemas y laboratorio, ha de darse cabida a las actividades dirigidas que el nuevo plan contempla.

1.- EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ENSEÑANZA DE LA ELECTRÓNICA ANALÓGICA DENTRO DE LA ESPECIALIDAD DE ELECTRÓNICA INDUSTRIAL EN LA EUETIB.

El estudiante de Ingeniería Electrónica, dentro de los modernos planes de estudio, no solamente debe adquirir una sólida base en el conocimiento de la electrónica y sistemas digitales para el control de plantas industriales en sus diversas vertientes (microprocesadores y microcontroladores, dispositivos lógicos programables, autómatas programables, etc.). En efecto, debe, además, conocer aquellos sistemas electrónicos analógicos que le permitirán, en su posterior carrera profesional, la adquisición de datos o informaciones, el control de sistemas y plantas industriales, y las

comunicaciones en dichos entornos. Bajo esta premisa, y dentro de la rotulación de grado de Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática (EIA), ofertada por la EUETIB en el plan de estudios puesto recientemente en marcha dentro del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), las asignaturas del área de la Electrónica Analógica, tienen una importancia clave para la formación del futuro Ingeniero Electrónico [1].

En el ya desaparecido Plan 72, la electrónica analógica formaba parte de un compendio de materias dentro del temario de asignaturas que formaban al ingeniero electrónico (sección de Electrónica Industrial, dentro de la especialidad de Electricidad). Básicamente éstas eran dos: Electrónica Básica, y Electrónica Industrial. Una vez superado el primer curso de la Carrera con asignaturas comunes ('***Álgebra Lineal***', '***Cálculo Infinitesimal***', '***Física***' '***Química***' y '***Dibujo Técnico***'), la '***Electrónica Básica***', era una asignatura anual de 2º curso, formada por un total de 21 créditos, simultaneada con '***Teoría de Circuitos y Electrometría***', de 15 créditos (figura 1). En ella se desarrollaban los conocimientos necesarios que deben afrontarse en un curso universitario de ingeniería electrónica: las leyes eléctricas básicas (leyes de Kirchhoff, teoremas de Thévenin y Norton, etc.), los componentes discretos básicos y sus circuitos de aplicación (diodos, transistores bipolares, y transistores de efecto de campo), los sistemas analógicos básicos, en torno al amplificador operacional realimentado en tensión (VFOA), los sistema digitales básicos (simplificación de funciones, circuitos combinacionales y secuenciales típicos), y las estructuras conversoras estáticas de potencia básicas (rectificadores controlados y no controlados, y troceadores de tensión).

Por su parte, la '***Electrónica Industrial***', era una asignatura anual de 3er curso, formada por un total de 18 créditos, y donde se ampliaban los horizontes de la Electrónica en sus diferentes campos. En particular se trataban temas relacionados con la electrónica digital microprogramada (microprocesadores), las técnicas de comunicación analógicas y digitales, la electrónica de potencia, y las técnicas de filtrado, principalmente analógico.

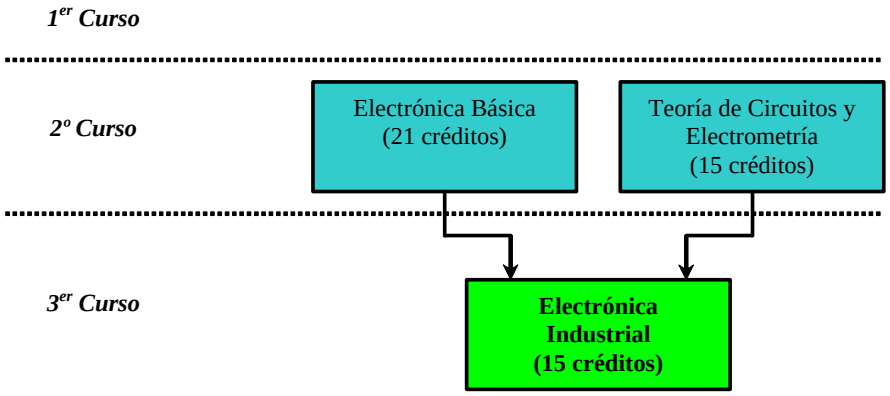

Fig. 1.- *Enseñanza de los sistemas electrónicos dentro del Plan 72 para la especialidad de Electricidad Industrial (sección de Electrónica Industrial) en la EUETIB.*

Este inmenso abanico de temas referentes a la ciencia Electrónica hacía que ambas asignaturas representaran un *handicap* difícil de superar para el estudiante, cuando además, la carga docente principal se centraba en desarrollos teóricos de pizarra y no en clases prácticas o de laboratorio, generalizándose la idea de que, a pesar del interés que despertaban los temarios de las dos asignaturas, los conocimientos de electrónica impartidos en ella eran altamente densos.

A raíz de la implantación del Plan de estudios 95, se pensó en una mejor racionalización en la impartición de las asignaturas referentes a la Electrónica. En efecto, el estudiante de Electrónica, dentro de un entorno de asignaturas cuatrimestrales, se introducía al mundo de la Electrónica con la asignatura obligatoria de 3 créditos de 1er cuatrimestre ***Introducción a los Circuitos Eléctricos*** (figura 2.*a*), y ***Tecnología Electrónica–1***, ésta de 6 créditos. Realizada estas asignaturas, el siguiente encuentro del estudiante con el mundo de la electrónica analógica era en el 2º cuatrimestre de la carrera con la asignatura cuatrimestral troncal de 6 créditos ***Componentes y Circuitos Electrónicos Analógicos***, que se simultaneaba con la asignatura, también de 6 créditos, ***Teoría de Circuitos*** y ***Tecnología Electrónica–2***, ésta de 3 créditos. En esta asignatura, además de estudiar los componentes discretos básicos, y sus circuitos de aplicación (diodos, transistores bipolares, y transistores de efecto de campo), se hacía una introducción a los sistemas basados en amplificadores operacionales. A continuación, en 3er cuatrimestre, el estudiante se enfrentaba con la asignatura de ***Técnicas Analógicas y de Filtrado***. En ella, se ampliaban los conocimientos relacionados con la temática analógica, como son los temas relativos al análisis y diseño de filtros analógicos, las etapas amplificadoras de potencia, los osciladores sinusoidales y los sistemas PLL (*Phase–Locked Loops*).

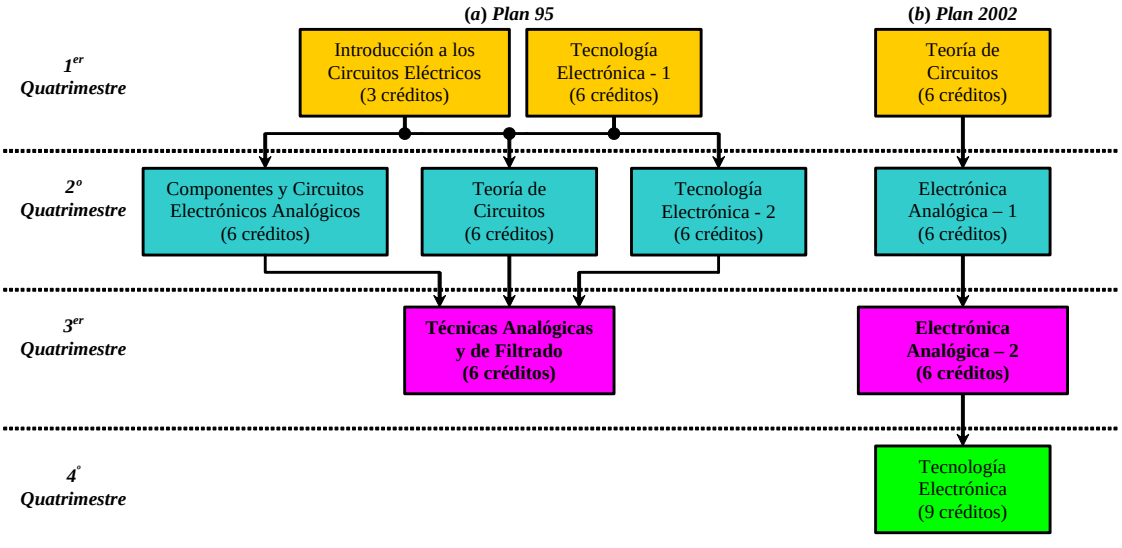

Fig. 2.- *Enseñanza de los sistemas electrónicos analógicos para la especialidad de Electrónica Industrial en la EUETIB.* ***(a)*** *Dentro del Plan 95.* ***(b)*** *Dentro del Plan 2002.*

Con la revisión del Plan de estudios 95, en el año 2002 se implanta en la EUETIB el Plan 2002, donde se intentó corregir las anomalías más significativas de las asignaturas existentes en las diferentes titulaciones de la Escuela. Esta revisión afectó también a las asignaturas relacionadas con la Electrónica Analógica para la especialidad de Ingeniería Electrónica. Una de las principales anomalías detectadas en relación a las mismas radicaba en un cierto desorden en cuanto a las materias impartidas.

A este respecto, e intentando corregir dicha anomalía, en el nuevo plan 2002, es en 2º cuatrimestre cuando se presentan la asignatura troncal ***Electrónica Analógica–1***, de 6 créditos, una vez cursada en 1er cuatrimestre la asignatura de ***Teoría de circuitos***, también de 6 créditos (figura 2.*b*). En esta asignatura, además de profundizar en las leyes básicas (leyes de Kirchhoff, teoremas de Thévenin y Norton, etc.), y el comportamiento de las redes pasivas *RLC*, se estudiaban en detalle los componentes discretos básicos (diodos, transistores bipolares, y transistores de efecto de campo), así como sus circuitos de aplicación (rectificadores, fuentes de alimentación, amplificadores, etc.).

Una vez aprobada la asignatura *Electrónica Analógica*–1, en 3er cuatrimestre el estudiante se encontraba con la asignatura obligatoria, también de 6 créditos, ***Electrónica Analógica–2***. Ésta estaba centrada en un curso alrededor del amplificador operacional y sus aplicaciones en diferentes campos. Por la propia naturaleza de la asignatura, el diseño de la misma estaba hecho para que sea enfocada desde un punto de vista altamente práctico. Dicha asignatura se cursa de forma simultánea con otras asignaturas propias de la Ingeniería Electrónica como son ***Electrónica de Potencia***, ***Informática Industrial*** e ***Instrumentación Electrónica***.

2.- CONTEXTUALIZACIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LA ELECTRÓNICA ANALÓGICA DENTRO DEL GRADO DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA EN LA EUETIB.

Con los nuevos planes de estudios dentro del EEES, aparece en el año 2009 la titulación de grado de Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática. La asignatura de Electrónica Analógica, de 6 créditos ECTS se encuentra en el cuatrimestre 6º (6Q) de la titulación (ver la figura 3), conviviendo con asignaturas afines a la de Electrónica Analógica como *Instrumentación Electrónica* e *Informática Industrial*, y otras de formación básica para el ingeniero electrónico, como son *Electrónica de Potencia* y *Técnicas de Control* [1].

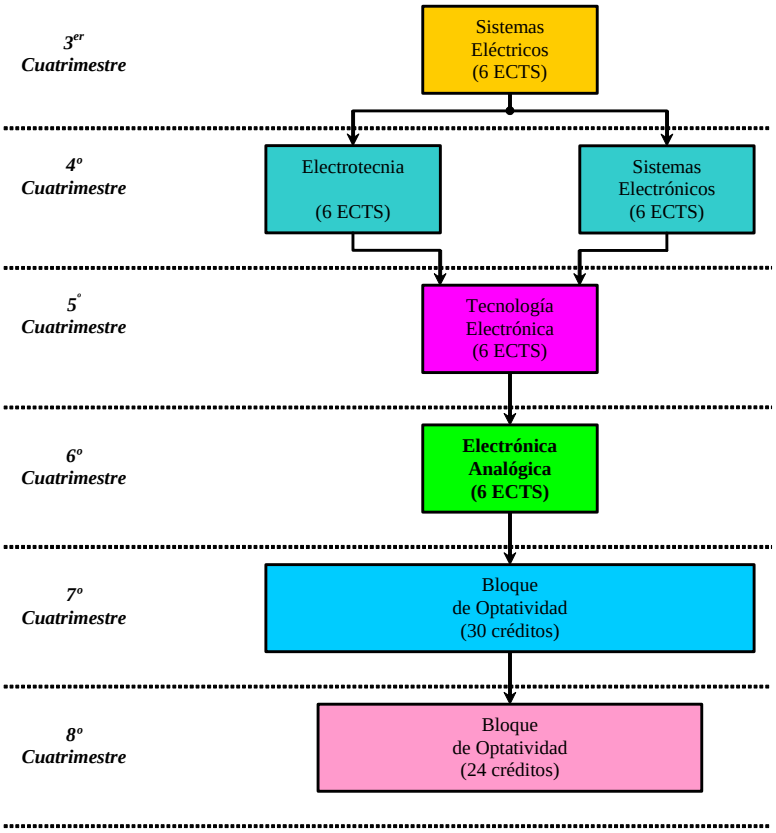

Fig. 3.- *Enseñanza de los sistemas electrónicos analógicos para la titulación de grado de Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática en la EUETIB dentro del actual plan de estudio dentro del marco del EEES.*

3.- CONOCIMIENTOS A IMPARTIR EN LA ASIGNATURA 'ELECTRÓNICA ANALÓGICA' DENTRO DEL GRADO DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA EN LA EUETIB.

Teniendo en mente la idea mencionada en el apartado anterior, los conocimientos a impartir en esta asignatura se han dividido en 5 grandes bloques, cada uno de ellos con entidad propia, pero que en conjunto permiten obtener al alumno una idea clara de los sistemas analógicos basados en amplificadores operacionales. Estos cinco bloques o capítulos tratados en el presente curso son los siguientes (figura 4):

1. El amplificador operacional trabajando con realimentación negativa.
2. El amplificador operacional trabajando con realimentación positiva.
3. El amplificador operacional real.
4. Osciladores sinusoidales y generadores de señal.
5. Filtros activos analógicos (de tiempo continuo y de capacidades conmutadas).

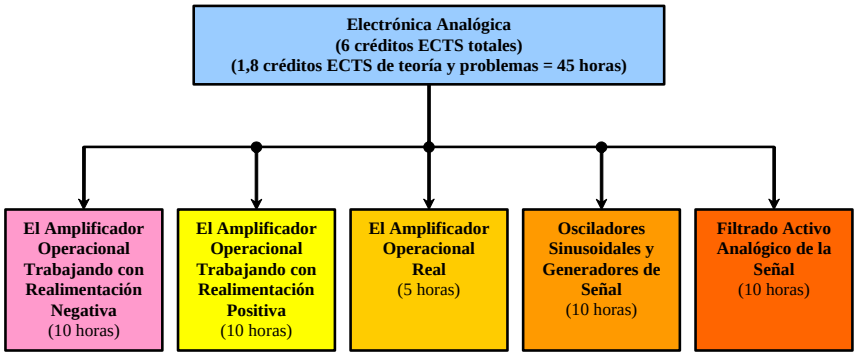

Fig. 4.- *Distribución temática de la asignatura 'Electrónica Analógica'. Las horas indicadas corresponden a las de teoría y problemas de la misma.*

4.- MÉTODO DOCENTE. EL ADECUADO EQUILIBRIO ENTRE TEORÍA, PROBLEMAS, LABORATORIO Y ACTIVIDADES DIRIGIDAS.

Con la puesta en marcha del actual Plan de las titulaciones de grado dentro del EEES en la EUETIB, se apuesta porque gran parte de las asignaturas de la carrera, especialmente aquéllas optativas que lleven al estudiante a seguir una intensificación dentro de una determinada especialidad, conlleven un porcentaje de créditos referentes a las denominadas 'actividades dirigidas' (ADs). En las mismas, se propone al estudiante la realización de diferentes actividades (teóricas, prácticas o de búsqueda de información), en el transcurso de las cuales profesor y estudiante no deben coincidir en el espacio ni en el tiempo. Eso sí, el profesor tutoriza, guía y, si es necesario, introduce elementos de corrección de dichas actividades para, finalmente, evaluarlas adecuadamente. El número de dichos créditos es variable, dependiendo de la asignatura, pero ronda entre el 10 % y el 25 % del total de créditos de la asignatura en la mayoría de ellas.

En particular, para la asignatura EAEIA, de los 6 créditos ECTS en total que tiene la asignatura, 2,8 créditos ECTS corresponden a actividades presenciales en el aula (70 horas totales a lo largo de todo el cuatrimestre). De estos 2,8 créditos, 0,4 ECTS (es decir, un 14,3% de la actividad presencial en el aula) corresponden a actividades dirigidas (10 horas presenciales en el aula en todo el cuatrimestre). El otro 85,7% se reparte entre teoría y problemas, con 1,8 créditos ECTS (45 horas totales a lo largo de todo el cuatrimestre), y 0,6 créditos ECTS de prácticas de laboratorio (15 horas totales en todo cuatrimestre), relacionadas siempre con los contenidos teóricos presentados en las sesiones previas de la asignatura (figura 4).

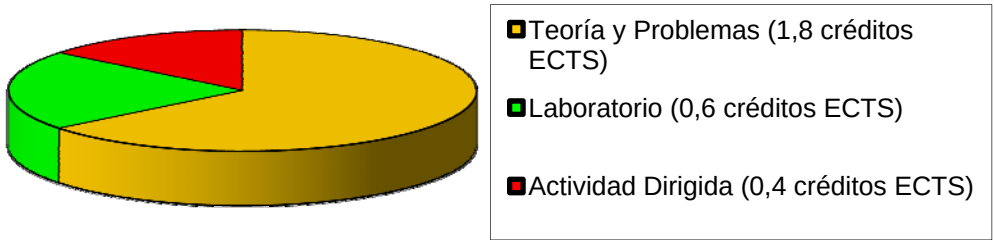

Fig. 5.- *Distribución porcentual de horas presenciales entre teoría y problemas (62,5 %), laboratorio (25 %) y actividades dirigidas (12,5 %) de la asignatura 'Electrónica Analógica'.*

Esta distribución de créditos hace que se impartan semanalmente tres horas de teoría y problemas, y sesiones quincenales de laboratorio de dos horas de duración a lo largo de todo el cuatrimestre (considerando cuatrimestres de quince semanas), dejando disponibles en el cuatrimestre unas 10 horas por alumno para la realización de las actividades dirigidas propuestas.

En las actividades dirigidas de la asignatura interviene una primera parte de actividades donde el estudiante, de forma individual o por parejas, debe analizar y simular diferentes circuitos haciendo uso del programa OrCAD-PSpice®.

La segunda parte de actividades dirigidas propone al estudiante la realización física de un proyecto, utilizando técnica de aprendizaje de trabajo cooperativo, en el que se implementa un sistema analógico utilizando circuitería electrónica de bajo coste. En efecto, el profesor presenta una serie de títulos a los estudiantes (por ejemplo, amplificadores y ecualizadores de audio, el control de un pequeño motor de DC, etc.) y los alumnos, generalmente en grupos de dos o tres personas, ***trabajando de forma cooperativa, según la técnica puzzle***, deben diseñar, simular, montar, soldar y testear en el laboratorio el circuito propuesto por ellos mismos en una placa de pruebas que cumpla con la tarea especificada en el título del trabajo.

En las 10 horas consideradas presenciales de la actividad dirigida (AD), el grupo de estudiantes es guiado en el aula por el profesor para que el trabajo se desarrolle dentro del marco marcado y pautado en clase. Ahora bien, fuera el aula, el grupo de estudiantes debe seguir trabajando en el proyecto, de forma que, además de las 10 horas "presenciales", se contemplan una serie de horas (alrededor de 30 más), donde el grupo de estudiantes debe seguir con la actividad dirigida fuera del aula (es decir, "***no presencialmente***").

Se ha visto en el último cuatrimestre de impartición de la asignatura que es altamente positiva la presentación del montaje delante del conjunto de la clase. El procedimiento consiste en que al final de cuatrimestre se dediquen unas horas a tal fin, de forma que durante unos diez o quince minutos el grupo exponga (incluso podríamos decir 'venda') el diseño realizado por

ellos mismos, mediante el uso de algunas transparencias. Una vez finalizada esta explicación, el resto de alumnos de la clase y el mismo profesor pueden hacer las preguntas que crean oportunas al respecto. La evaluación puede hacerla el propio profesor o, incluso, pueden participar los propios alumnos, emitiendo de forma personal una nota del resto de grupos de la clase. La interacción de los grupos con el conjunto de la clase, así como la motivación por el hecho de ser los propios estudiantes quienes han de defender 'su' diseño, son elevadas.

5.- CONCLUSIONES.

Aunque en general los alumnos entran a la asignatura con alguna reticencia respecto a la asignatura, cabe decir que, a pesar del ambicioso temario propuesto, que conlleva por parte del alumno un importante trabajo de estudio y asimilación de conocimientos, por la relativamente alta carga de contenidos, la satisfacción de los alumnos respecto a la asignatura es altamente satisfactoria.

La introducción de herramientas *software* también en un factor importante a tener en cuenta. Especialmente se hace uso de OrCAD-PSpice® para la simulación y análisis de los circuitos estudiados tanto en las sesiones teóricas y de problemas como en las clases de laboratorio. No obstante, se dejan las puertas abiertas para la utilización de diversos programas informáticos para materia específica del temario. Éste es el caso, por ejemplo, de los filtros analógicos, donde se incorporan herramientas como FilterPro, FilterLab o Filter Wiz PRO para la síntesis de filtros analógicos, sin tener que utilizar para tal fin los, comúnmente, engorrosos métodos analíticos o mediante tablas.

Respecto a la actividad dirigida, y pese al considerable número de horas que conlleva la realización de un prototipo electrónico que realiza una determinada tarea, prácticamente todos los/las alumnos/as consideran que aporta un contacto directo con el laboratorio de electrónica y con la realización, montaje y soldadura de circuitos, indispensable para los futuros ingenieros técnicos. La satisfacción personal de cada uno de los miembros que forman los grupos de trabajo queda sobradamente satisfecha cuando consiguen hacer funcionar el prototipo diseñado e implementado por ellos mismos.

Al respecto de lo indicado en el párrafo precedente, conviene indicar y hacer hincapié que, a pesar de que los alumnos dedican a la actividad dirigida 10 horas por cuatrimestre presenciales, en casa dedican un número considerablemente mayor, para poder llevar a cabo la actividad dirigida con éxito.

Como hemos comentado anteriormente, pensemos que estas horas de actividad "no presencial" de la actividad dirigida (AD) fuera del aula están

consideradas en los créditos ECTS de la asignatura. Concretamente, de los 6 créditos ECTS de la asignatura, solamente 2,8 créditos ECTS corresponden a actividades presenciales en el aula (70 horas totales a lo largo de todo el cuatrimestre). Como también hemos ya mencionado previamente, de estos 2,8 créditos, 0,4 ECTS corresponden a actividades dirigidas (10 horas presenciales en el aula en todo el cuatrimestre); 1,8 ECTS corresponden a teoría y problemas (45 horas totales a lo largo de todo el cuatrimestre); y 0,6 créditos ECTS de prácticas de laboratorio (15 horas totales en todo cuatrimestre). Los otros 3,2 créditos ECTS corresponden a 80 horas de actividad fuera de aula, repartidas entre el estudio de la materia teórica de la asignatura, realización de informes y cuestiones previas de laboratorio, y a la continuación de las actividades dirigidas.

A pesar de esta carga de trabajo para el estudiante, el número de aprobados es altamente satisfactorio, gracias en buena medida a la realización de estas actividades dirigidas. En las últimas convocatorias de la asignatura, el porcentaje de los alumnos aprobados en la asignatura ronda el 75% – 85% del total de alumnos matriculados.

Cabe resaltar finalmente que el hecho de realizar por grupos las actividades dirigidas conlleva poner en práctica uno de los objetivos de la asignatura y, en general, de todas las asignaturas del plan de estudios 2002 puesto en funcionamiento en la EUETIB: la incentivación personal y motivación de los estudiantes por el trabajo en grupo y el cooperativismo en el aprendizaje.

BIBLIOGRAFÍA.

[1] Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona (EUETIB), www.euetib.upc.edu/els-estudis/estudis-de-grau/grau-en-enginyeria-electronica-industrial-i-automatica , consulta: 20 de junio de 2012.