

La asignatura “proyecto básico de ingeniería” del segundo curso de los grados de la ETSETB-UPC

R. Bragós, A. Oliveras, E. Alarcón, A. Camps, J. Pegueroles, M. García-Hernández, E. Sayrol
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació, ETSETB – Telecom BCN
Universitat Politècnica de Catalunya
Barcelona
sotsdirllabs@etsetb.upc.edu

Abstract— El Proyecto Básico de ingeniería es la segunda asignatura del itinerario de asignaturas de proyectos que se lleva a cabo en el segundo curso común de los nuevos grados de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación (ETSETB) de la Universitat Politècnica de Catalunya, de acuerdo con la metodología CDIO (www.cdio.org). En dicho itinerario, se van modulando la amplitud del enfoque y la profundidad. En la asignatura de primer curso, Introducción a la ingeniería TIC, se da una visión completa de un sistema TIC complejo a una profundidad moderada. En el proyecto de segundo curso, que se describe en esta comunicación, se describe inicialmente un sistema complejo y los estudiantes de cada grado sólo diseñan e implementan uno de sus bloques con una mayor profundidad. En el proyecto de tercer curso, equipos grandes de estudiantes (8-12) acometen el diseño e implementación de un sistema TIC complejo completo, desde la generación de especificaciones hasta el plan de empresa. Finalmente, en la tesis de grado, los estudiantes se integran individualmente en equipos de trabajo en empresas o grupos de investigación nacionales o en otros países.

El proyecto de segundo año (Proyecto Básico de ingeniería) hace hincapié en el diseño a nivel técnico y la caracterización de un bloque determinado a partir de sus especificaciones, conociendo el concepto del sistema completo. Un sistema TIC complejo se divide en bloques. Todos los estudiantes deben conocer la estructura del conjunto y las especificaciones de los interfaces entre los bloques, pero los equipos de trabajo de cada grado (3-4 estudiantes) se concentran en uno de los componentes del sistema. Pese a estar el segundo curso en el bloque común, la estructura de los grupos de laboratorio permite que los estudiantes puedan escoger el subsistema de acuerdo con el grado en el que se han matriculado y en el que se especializarán en el tercer y cuarto curso (electrónica, telemática, sistemas audiovisuales o sistemas de telecomunicaciones). El sistema escogido este año como tema del proyecto es un equipo de distribución de audio para el que los estudiantes del grado de Ingeniería Electrónica diseñan, implementan y caracterizan una etapa de amplificación de clase D.

Keywords- Ingeniería Electrónica; Amplificador de Audio; Amplificador clase-D; Aprendizaje basado en proyectos; CDIO

I. INTRODUCCION

En el curso académico 2010-2011 empezaron cinco nuevos grados en la ETSETB de la UPC (Telecom-BCN). Dos de ellos (Ingeniería de Sistemas Audiovisuales e Ingeniería Electrónica) ya habían comenzado el curso 2009-2010 como cursos piloto y los otros tres grados (Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Ingeniería Telemática y el grado generalista de Ciencia y Tecnología de las Telecomunicaciones) lo hicieron en septiembre de 2010.

La estructura de los planes de estudio se diseñó de acuerdo con los estándares de la iniciativa CDIO, [1] (www.cdio.org), de la que la Escuela forma parte. Se usó un enfoque mixto para integrar las competencias definidas por la UPC y por el Syllabus CDIO en los programas. Por un lado, se definieron los itinerarios de competencias con la participación de todas las asignaturas. Cada una puede contribuir al aprendizaje de varias competencias en un determinado nivel (básico, medio y avanzado) y debe contribuir activamente al desarrollo y evaluación de dos de ellas. Por otro lado, se han dispuesto cuatro asignaturas específicas basadas en proyectos a lo largo de los planes de estudio, en el segundo semestre de cada curso académico. Todas ellas incluyen actividades de diseño e implementación y permiten el desarrollo natural de múltiples competencias aunque tienen el encargo específico de evaluar cuatro de ellas:

- *Emprendeduría* e innovación
- Sostenibilidad y compromiso social
- Comunicación eficaz oral y escrita
- Capacidad de concebir, diseñar, implementar y operar sistemas complejos en el ámbito TIC

La figura 1 muestra la evolución del enfoque y la profundidad de las tres primeras asignaturas de proyectos. La primera y la tercera tienen una visión amplia, desde la definición del producto hasta el plan de negocio, mientras que en la segunda asignatura se tiene un enfoque más estrecho, puramente técnica, pero con mayor profundidad.

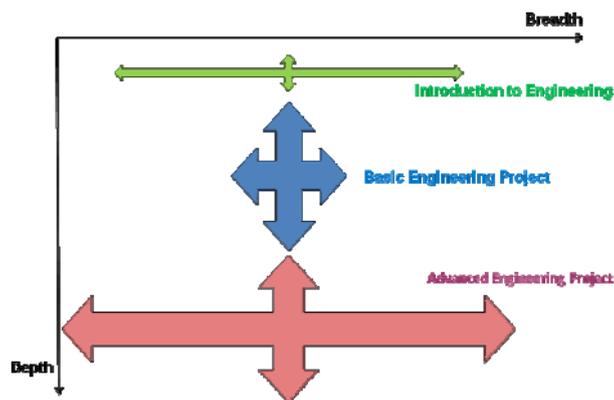


Figura 1. Enfoque y profundidad de las asignaturas de proyectos de los tres primeros años.

La asignatura de introducción a la ingeniería [2] ya está consolidada, con 4 ejecuciones en los últimos 3 cursos. La asignatura de Proyecto Básico de Ingeniería (PBE) se cursó con la primera cohorte de 24 estudiantes correspondientes al plan piloto en la primavera de 2011 y un segundo grupo de 10 estudiantes en otoño de 2011. El presente cuatrimestre va a ser la primera vez que la cursan la totalidad de los estudiantes del segundo semestre del segundo año, mientras que los del grupo piloto cursan el Proyecto Avanzado de tercer curso.

El proyecto incluido en la asignatura Introducción a la Ingeniería es parcialmente guiado y tiene una complejidad baja, pero tiene un enfoque amplio. Los alumnos, en grupos de 3-4 estudiantes parten de unas especificaciones de cliente a nivel de sistema, y tienen que diseñar algunas partes del sistema, construirlo y definir una idea de negocio basada en un dispositivo similar. Por otro lado, el proyecto de segundo año (PBE) tiene una mayor dificultad técnica y hace hincapié en la estructura modular de los sistemas TIC complejos. Se parte de unos requerimientos de cliente y se lleva a cabo una descomposición del sistema en bloques y la traducción de requerimientos en especificaciones de cada bloque en sesiones participativas con los estudiantes, guiadas por el profesor. Todos los estudiantes deben conocer la estructura del conjunto y las especificaciones de los interfaces entre los bloques, pero los equipos de trabajo de cada grado (3-4 estudiantes) se concentran en uno de los componentes del sistema. Pese a estar el segundo curso en el bloque común, la estructura de los grupos de laboratorio permite que los estudiantes puedan escoger el subsistema de acuerdo con el grado en el que se han matriculado y en el que se especializarán en el tercer y cuarto curso (electrónica, telemática, sistemas audiovisuales o sistemas de telecomunicaciones). En el proyecto de tercer año (Proyecto Avanzado de Ingeniería), grupos de trabajo grandes (9-12 estudiantes) acometen el diseño de un sistema completo, incluyendo su plan de negocio. Se debe concebir el producto, definir la estructura de bloques y los paquetes de trabajo, que se distribuyen entre los subgrupos de 3 estudiantes. Estos deben diseñar e implementar los subsistemas, integrarlos y definir un plan de negocio basado en el producto.

II. LA ASIGNATURA PROYECTO BÁSICO DE INGENIERÍA

A. Estructura

Dos de los seis créditos ECTS de la asignatura se ocupan en sesiones teóricas y prácticas sobre proyectos regulados en el ámbito TIC. El proyecto de diseño e implementación se lleva a cabo en los restantes 4 créditos ECTS (3 horas a la semana en el laboratorio + 4 horas semanales de trabajo autónomo). Se puede argumentar que una forma razonable de organizar esta doble función del sujeto habría sido el de incluir los aspectos regulatorios en los proyectos. Esto es cierto, pero esta solución conduce a la necesidad de llevar a cabo siempre proyectos de instalaciones comunes de telecomunicación con todos los estudiantes, mientras que la solución adoptada nos permite elegir una gama más amplia de temas. Hay una restricción debida a la estructura de nuestros planes de estudios: los estudiantes de los distintos grados están cursando su segundo año, que es común a todos ellos, pero tienen intereses ligeramente distintos. Para resolver este compromiso, hemos diseñado una estructura del curso donde los alumnos pueden elegir qué parte del sistema desarrollarán. Un sistema dado (figura 2a) se divide en cuatro bloques, incluyendo los aspectos del desarrollo de hardware (electrónica), comunicaciones, protocolos de red y aspectos de audio/video/imagen. Teniendo en cuenta que los estudiantes de segundo año se mezclan en grupos de clase, debemos prever laboratorios simultáneos con el apoyo de profesores de diferentes departamentos (figura 2b).

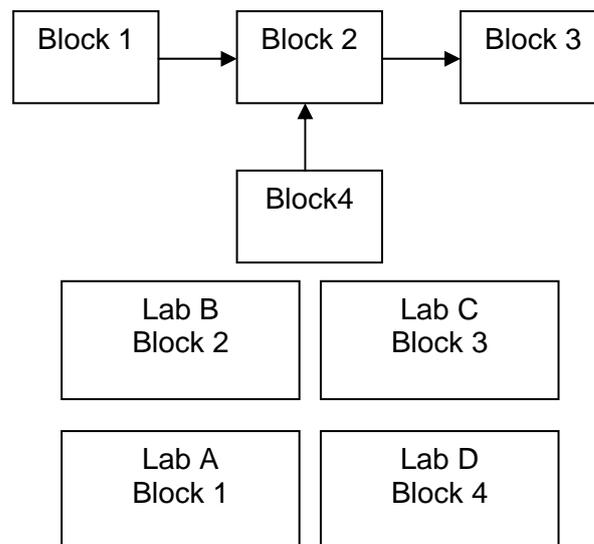


Figura 2: Diagrama genérico de bloques de un sistema (arriba) y realización en paralelo de los bloques en laboratorios simultáneos (abajo) correspondientes a cada grado.

Los laboratorios alojan hasta 20 estudiantes simultáneamente (5-6 grupos de 3-4 estudiantes) y están guiados por profesores especializados en cada una de las cuatro áreas. Los estudiantes del grado generalista pueden escoger cualquiera de los laboratorios. Como prerrequisito, los

estudiantes que cursen PBE deben tener como mínimo 18 créditos aprobados del primer semestre del segundo curso.

B. Diseño de la asignatura

Se ha intentado encontrar un equilibrio entre la metodología de aprendizaje basado en proyectos orientada a contenidos y el proyecto orientado a contexto, que cuadra más con el modelo docente de la Escuela, en el que las asignaturas de proyectos apoyan a las demás y no las sustituyen. La finalidad es proveer un contexto próximo al ejercicio profesional de la ingeniería, evitando el uso indiscriminado de metodologías que pueden ser efectivas para el aprendizaje de contenidos dentro de los proyectos, pero que resultan artificiales. Así, la estructura del curso incluye tres sesiones iniciales orientadas a dotar de contenidos disciplinares relacionados con el tema del proyecto utilizando parcialmente la metodología del puzzle. En este punto, el bloque queda totalmente especificado y documentado en el documento de requerimientos y especificaciones. Las siguientes 10 sesiones se dedican al diseño, creación de prototipos, validación de los bloques, integración y caracterización del subsistema. Los estudiantes organizan el proyecto en paquetes de trabajo, que plasman en el documento de Plan de Proyecto. Toda la documentación está en inglés. Se llevan a cabo dos revisiones del diseño (preliminary and critical design review) en las semanas 7 y 11 respectivamente. La documentación está adaptada del modelo LIPS [3].

C. Evaluación

La calificación del trabajo en grupo tiene el mayor peso en la nota de la asignatura, pero se han establecido algunas actividades en las que se puede obtener información de cada estudiante. Las asignaciones individuales iniciales (preparación de materiales para los puzzles) tienen un peso pequeño en la nota (10%), pero es necesario entregarlos a tiempo ya que, de lo contrario, se perjudica el arranque del proyecto de todo el grupo. Por lo tanto, hay una fuerte sanción (20% de la nota total por retraso en la entrega) si menos del 80% se entregan a tiempo. Otro 30% de la calificación se obtiene de dos pruebas individuales sobre conocimiento de los contenidos del proyecto. El restante 60% de la nota se asigna a la actuación del equipo conjunto, pero hay un 10% que proviene de la coherencia en las notas individuales de los miembros del equipo, para promover el esfuerzo de cada uno de los individuos y el compromiso con el grupo. Esta medida es controvertida y estamos analizando su utilidad real, aunque la intención inicial, que se declara a los estudiantes es forzar que el grupo ejerza presión sobre los individuos para que intenten conseguir un buen resultado. Se complementa con un cuestionario para la coevaluación de la participación de cada miembro en el trabajo de equipo. La evaluación de las prestaciones se basa en las rúbricas que tratan de tener en cuenta tanto los resultados y los procedimientos empleados por los estudiantes. El 20% proviene de la evaluación del planteamiento del diseño y las tareas preliminares (semana 7) y el 30% del resultado final, teniendo en cuenta la verificación de las especificaciones.

D. Implementación

El producto elegido el primer año ha sido el diseño de un componente de un sistema de audio para el hogar: un altavoz activo capaz de ser alimentado desde la red eléctrica y que reproduce el sonido procedente de una fuente de audio digital que se recibe de forma inalámbrica (figura 3).

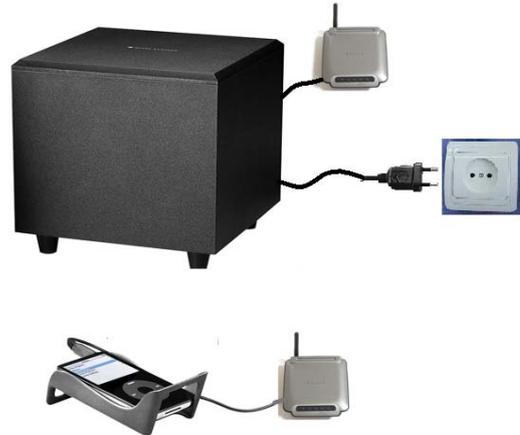


Figura 3: Definición del producto: componente de un sistema de audio doméstico que reproduce el sonido de una fuente de audio digital recibido a través de un enlace inalámbrico.

Los bloques en que se subdivide el sistema (figura 4) son: la codificación-decodificación de la señal, el enlace de transmisión, el protocolo de comunicación, la amplificación y la caracterización y preecualización. Dado que el primer año de aplicación, con el grupo piloto, los estudiantes fueron sólo de Ingeniería Electrónica y de Ingeniería de Sistemas Audiovisuales, la estructura del sistema y las características de los bloques fueron proporcionados por los profesores y los estudiantes diseñaron los bloques de amplificación y caracterización-preecualización. Esta segunda parte, correspondiente a los estudiantes del grado de Ingeniería de Sistemas Audiovisuales, consistía en el desarrollo de instrumentos virtuales llevados a cabo con la tarjeta de sonido del ordenador y código Matlab. La parte correspondiente a los estudiantes de Ingeniería Electrónica, que se detallará más por la temática del congreso, corresponde al diseño e implementación de un amplificador, que se caracterizará con las herramientas Matlab diseñadas por sus compañeros.

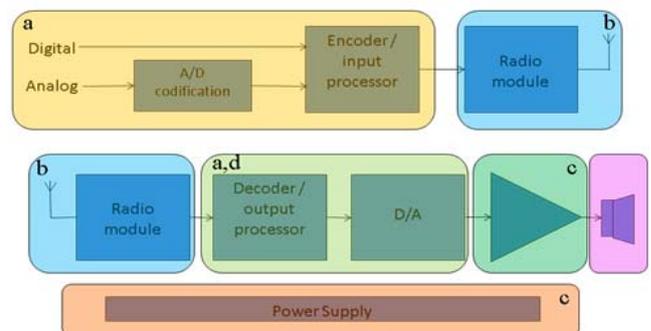


Figura 4: Estructura de bloques del sistema de audio

Las especificaciones que se fijan para el amplificador son las siguientes:

- Potencia de salida 2 W (mínima 1W)
- Distorsión armónica THD<1% (1 kHz)
- Eficiencia > 80%
- Ancho de banda (-3 dB) 20 Hz – 20 kHz
- Coste < 25 €prototipo, < 10 €serie de 1000 unidades

La restricción en la eficiencia de potencia (> 80%) lleva necesariamente a la elección de una estructura en clase D (amplificador conmutado). Aunque este amplificador admite realizaciones complejas desde el punto de vista de la estructura y del procesado de la señal, también admite realizaciones relativamente simples que pueden ser entendidas por los estudiantes de segundo año [4]. Los estudiantes han completado o están estudiando dos cursos sobre circuitos electrónicos, procesamiento de señales y redes. Sólo puede utilizar los bloques de circuitos básicos que conocen: amplificadores operacionales, comparadores, transistores y filtros.

Una vez introducido el curso y presentado el producto, su estructura de bloques y las especificaciones de las interfaces, se encargan las tareas individuales para preparar los puzzles, el primero sobre etapas de amplificación de audio (A, B, AB, D) y el segundo sobre características de los amplificadores de clase D (topologías, espectro de la señal, etapas de salida y filtros de salida). El tercer día los estudiantes tienen la información necesaria para preparar el documento de Requerimientos y Especificaciones. Una vez validado, preparan y presentan el documento del Plan del Proyecto, que incluye una descomposición en paquetes de trabajo y una planificación temporal. Durante las semanas 3 y 4, y en paralelo con las tareas de documentación, los grupos preparan un modelo de los bloques del amplificador en Matlab que les permite familiarizarse con las formas de onda del amplificador y experimentar con los parámetros básicos del diseño (frecuencia de conmutación, amplitudes, filtro de salida). En las semanas restantes, los grupos deben seguir ese plan, que se verifica en dos puntos: la revisión del diseño preliminar (PDR), en la semana 7, cuando el primer prototipo (sobre placa protoboard) debería estar operativo, y la Revisión Crítica del Diseño (CDR), en la semana 11, cuando no hay vuelta atrás en las alternativas elegidas y el segundo prototipo (sobre placa de topos) debería estar funcionando, de forma que quedan dos semanas para las tareas de finalización y mejora de las prestaciones.

III. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Hasta el momento, los 9 grupos que han llevado a cabo el proyecto han superado la asignatura. Todos han completado el diseño e implementación del circuito, aunque han presentado carencias en el cumplimiento de las especificaciones. La más frecuente es no llegar a la potencia nominal o hacerlo con una distorsión superior a la especificada. Sólo uno de los grupos ha

construido una tercera versión del prototipo sobre un diseño propio de circuito impreso (figura 5).

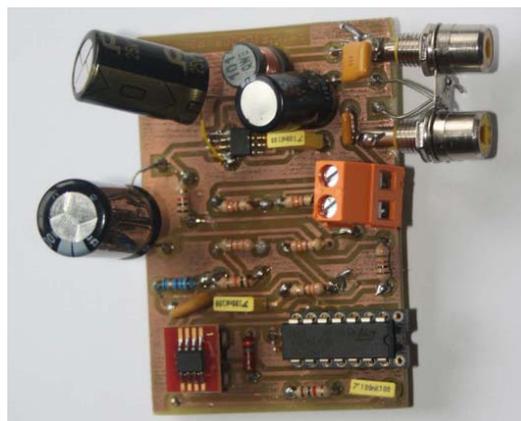


Figura 5: Implementación final del prototipo en placa de circuito impreso

Los estudiantes de segundo curso tienen o adquieren los recursos necesarios para entender y diseñar un amplificador de clase D a partir de los bloques básicos de su estructura: modulador PWM (generador de señal triangular + comparador), etapa de salida y filtro de salida. La etapa más problemática es el puente o semipunto de salida, ya que todavía no han cursado la asignatura de Electrónica de Potencia. Los profesores tutelan la elección correcta del circuito integrado que lo implementa.

Se ha intentado encontrar un equilibrio entre la metodología PBL orientada a contenidos y el proyecto orientado a contexto, que cuadra más con el modelo docente de la Escuela, en el que las asignaturas de proyectos apoyan a las demás y no las sustituyen. La mejora en el grado de autonomía respecto al proyecto de la asignatura de Introducción a la Ingeniería es notable, aunque requieren soporte cuando se presentan dificultades técnicas. Se espera que este aspecto mejore en el proyecto avanzado.

Las verdaderas ventajas de la introducción del modelo CDIO en los nuevos grados no podrán ser realmente apreciadas hasta que los estudiantes de las primeras promociones se hayan incorporado a la industria. De momento, la valoración de los estudiantes y profesores involucrados en la experiencia es positiva.

REFERENCES

- [1] Crawley, E. F., Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, D. "Rethinking engineering education: the CDIO approach". Springer, 2007.
- [2] Ramon Bragós, Josep Peguerols, Eduard Alarcón, Adriano Camps, Joan Sardà, Carolina Consolación, Jaume Mussons, Olga Pons, Albert Oliveras, Miguel García, Raúl Onrubia, Elisa Sayrol. Implementación y primeros resultados de la asignatura de introducción a la ingeniería en los nuevos grados de la ETSETB-UPC. FINTDI. Teruel, Mayo 2011
- [3] Svensson T. and Krysanter C., "The LIPS project model. Ver 1.0 " Linköping University, Sweden, 2004.
- [4] Trullemans Ch. Labrique F., "From KCL to Class D Amplifier". *ISCAS* 2008.