

METODOLOGIA DE DISEÑO ELECTRÓNICO DENTRO DE PRÁCTICAS OBLIGATORIAS DE LABORATORIO

ELECTRONIC DESIGN METHODOLOGY IN LAB EXPERIMENTS

Carlos J. Jiménez Fernández
cjesus@us.es

Antonio López Ojeda
alojeda@us.es

Carlos León de Mora
cleon@us.es

*Universidad de Sevilla. Escuela Universitaria Politécnica.
c/ Virgen de África, 7 41011 Sevilla*

En la metodología de diseño de circuitos electrónicos tiene mucha importancia el uso de herramientas software. En el caso de diseño con circuitos discretos, éstas se usan para la verificación del comportamiento antes de la construcción del mismo. Esta metodología, que difícilmente puede enseñarse en clases de aula, puede verse en las prácticas de laboratorio. En esta comunicación presentamos el diseño de las prácticas de laboratorio de la asignatura Electrónica Analógica, en la que se integran herramientas informáticas de simulación antes del montaje de un sistema electrónico de forma que el alumno tenga un conocimiento del flujo de diseño analógico.

Palabras Clave: Prácticas de laboratorio, aprendizaje basado en proyectos.

Software tools are very important in the design methodology of electronic circuits. In the case of discrete circuit design, the software tools are used to verify the behaviour before its implementation. This methodology, which can hardly be taught in classroom lessons, can be seen developed in the laboratory. In this paper we present the design of laboratory practices by the Analog Electronics subject. Those practices integrate simulation tools before the implementation of an electronic system so that the student gets knowledge of the analog design flow.

Keywords: Laboratory practices, project-based learning.

1. Introducción.

Las asignaturas relacionadas con la enseñanza de la electrónica suelen tener una parte de teoría y problemas y otra parte de prácticas obligatorias de laboratorio. Las prácticas son una parte importante de la

docencia, y deben servir para que los alumnos aprendan destrezas y problemáticas que sólo aparecen en los laboratorios, pero también servir como refuerzo de los contenidos enseñados en las clases de aula (tanto teóricas como de problemas).

Por otro lado, es muy difícil introducir en

las clases de aula la metodología de diseño de circuitos electrónicos que se sigue en la práctica. En general esta metodología no sólo requiere del diseño y análisis a mano, sino que se introducen herramientas informáticas de verificación. Esta metodología sí puede ser presentada y utilizada en las prácticas de laboratorio

Sin embargo, las prácticas obligatorias se encuentran con diversos problemas. Uno de ellos viene dado por la corta duración de las sesiones (en nuestro caso de dos horas), lo que hace que las tareas que se puedan hacer sean muy sencillas y que el alumno no le vea la utilidad práctica a lo que está haciendo. Esto a su vez lleva a un segundo problema, la falta de motivación del alumno.

En este artículo describiremos el diseño de las prácticas de la asignatura de Electrónica Analógica para conseguir dos objetivos: en primer lugar que el alumno aprenda de forma práctica la metodología de diseño de circuitos analógicos y en segundo lugar que el alumno monte un sistema de mediana complejidad en el que vea una utilidad práctica. Esto además debe incidir en la mejora de la motivación del alumno (Jiménez, 2009).

El sistema a montar debe tener unas características especiales puesto que se tiene que ir construyendo en distintas fases, que se corresponderán con las sesiones de laboratorio. Otra característica es que debe cubrir el mayor número de temas de la asignatura. El mejor sistema que reúne estas características es un amplificador de audio, pues puede dividirse en distintos módulos y con él se cubre gran parte de temario de la asignatura.

2. Metodología de Diseño Electrónico.

El diseño electrónico tiene como objetivo

la obtención de un circuito funcionalmente correcto, lo más sencillo y eficiente posible y en el menor plazo de tiempo. Por ello, la metodología de diseño debe garantizar que se minimicen los errores, y que, caso de que se produzcan, éstos se detecten en la fase más temprana posible. Por ello la fase de diseño se introducen puntos de verificación en distintas etapas del diseño y caminos de vuelta atrás antes de comenzar el montaje del circuito. La herramienta fundamental para la verificación del comportamiento es el simulador. No se puede considerar que el circuito está correctamente diseñado hasta que la simulación dé como resultado el comportamiento deseado.

Para los circuitos analógicos se utilizan simuladores eléctricos a nivel de transistores, en su mayoría basados en SPICE (Nagel 1973). En nuestro caso se ha escogido PSPICE, pues tiene un entorno gráfico sencillo de manejar y se dispone de una versión libre que permite realizar todas las simulaciones necesarias.

El flujo de diseño típico de un circuito analógico se muestra en la figura 1. El primer paso consiste en generar unas especificaciones de diseño, las cuales describen la funcionalidad esperada así como otras propiedades, como el consumo de potencia, espacio máximo que puede ocupar, etc. En general, las especificaciones del diseño dejan bastante libertad al diseñador en aspectos como la topología del circuito, la colocación de distintos componentes, etc.

El método habitual de describir el diseño a nivel de transistores y operacionales es mediante la “captura de esquemas”, que proporcionan una forma gráfica, sencilla e intuitiva de colocar e interconectar los componentes para así realizar el diseño. El circuito debe incluir las fuentes de alimentación, la tierra y los conectores de

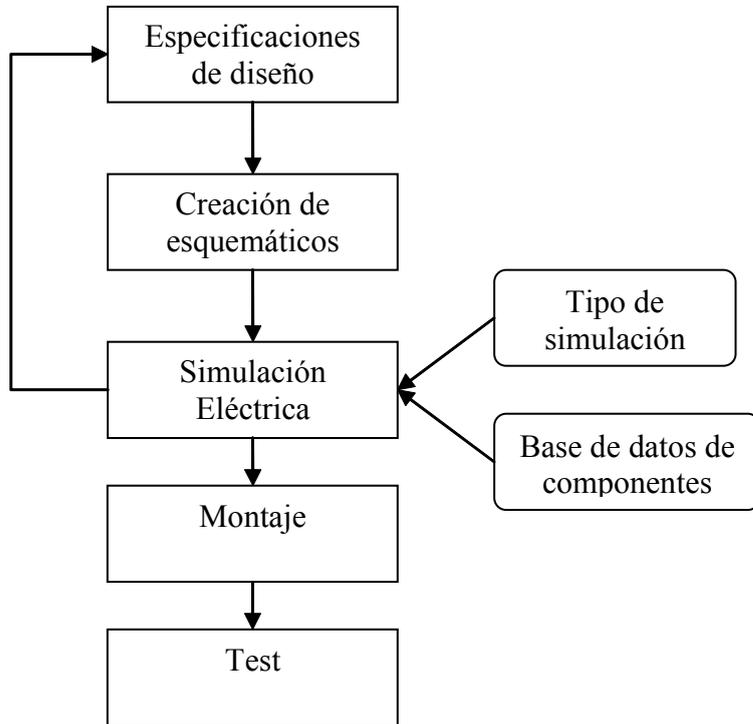


Figura 1. Flujo de diseño analógico.

entrada y salida.

Después de completar la descripción del circuito utilizando la herramienta de captura de esquemas, el funcionamiento eléctrico y la funcionalidad del circuito deben ser verificados utilizando un simulador eléctrico. La simulación detallada a nivel de transistores es el primer paso en la validación de la operación, en ella no sólo se detectan errores respecto a las especificaciones, sino que también se detectan errores en la creación de los esquemáticos. En este paso es extremadamente importante que los resultados de simulación sean los correctos antes de

seguir con los siguientes pasos de diseño.

Una vez que los resultados de simulación indican que el circuito funciona correctamente se pasa a la etapa de montaje. Tras la realización del montaje hay que proceder a la verificación del funcionamiento, ahora en un laboratorio, antes de proceder a su uso en su ubicación definitiva.

3. Asignatura Electrónica Analógica.

Electrónica Analógica es una asignatura troncal, de carácter anual, de segundo curso,

correspondiente a la titulación de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Electrónica Industrial (Plan 2001) que se imparte en la Escuela Universitaria Politécnica de la Universidad de Sevilla. La asignatura tiene 12 créditos LRU que se corresponden con 11 créditos ECTS (5.5 teóricos y 5.5 prácticos). Estos créditos se organizan en cuatro horas de clase semanales, de las cuales 3 son de aula (2 teóricas y 1 de problemas) y 1 de laboratorio (que se agrupan en sesiones de dos horas, por lo que el alumno realiza una práctica cada dos semanas). El número medio de alumnos por curso es de 100 en los últimos cursos.

La asignatura tiene como objetivos generales establecer los conceptos básicos para el estudio de los circuitos analógicos, como son la amplificación, la respuesta en frecuencia, la realimentación y la estabilidad, así como describir los circuitos básicos de aplicación (amplificadores, filtros, osciladores, circuitos basados en diodos y transistores, etc.). En la base de la mayoría de las aplicaciones está el Amplificador Operacional. La asignatura parte de los componentes básicos (transistores, diodos, operacionales, etc.) a nivel de elementos de circuito y se enfoca hacia el análisis de circuitos en tensión alterna y continua en régimen senoidal estacionario.

Al ser una asignatura de segundo curso de carrera, se asume que el alumno posee conocimientos básicos de teoría de circuitos y análisis matemático adquiridos en asignaturas del primer curso de carrera. Respecto al laboratorio, el alumno ya ha adquirido cierta destreza en el manejo del instrumental de un laboratorio de electrónica.

La metodología que se emplea para impartir la asignatura se compone de distintos pasos. En cada tema se comienza con la exposición

de los fundamentos teóricos aplicables, prosiguiéndose con aplicaciones prácticas de los mismos (problemas). En aquellas situaciones en las que se considera adecuado, se intercalan algunas sesiones prácticas dentro de los conocimientos teóricos, con el objeto de afianzar conocimientos. Una vez cumplido este ciclo para cada tema, se realizan prácticas obligatorias de laboratorio, en las que se experimenta con los conceptos adquiridos. También se emplean recursos informáticos (simuladores), tutorías personalizadas y la plataforma de enseñanza virtual de la Universidad de Sevilla para fomentar la relación entre profesor y alumnos y favorecer el acceso a los contenidos.

El temario a impartir se estructura en siete grandes temas más uno de introducción:

1. Introducción a la electrónica analógica.
2. Circuitos con diodos y transistores.
3. Etapas amplificadoras básicas.
4. Amplificadores operacionales.
5. Respuesta en frecuencia de los amplificadores y filtros.
6. Amplificadores realimentados.
7. Estabilidad y osciladores.
8. Aplicaciones de los amplificadores operacionales.

Como material de apoyo, además de una amplia bibliografía por cada tema, se dispone de boletines de problemas con más de 100 ejercicios, casi todos con su correspondiente solución. En relación a las prácticas, se realizan 10 a lo largo del curso.

4. Objetivos globales en el diseño de las prácticas.

El diseño de las prácticas de laboratorio debe tener en cuenta alguno de los objetivos tradicionales:

- Que el alumno adquiera destrezas en el

montaje de circuitos analógicos discretos, mediante la realización de circuitos sencillos y su montaje con placas de prototipado.

·Que el alumno consolide los conocimientos adquiridos en las clases de aula (tanto de teoría como de problemas).

Pero también hemos perseguido otros objetivos, como son:

·Que el alumno aprenda la metodología de diseño de circuitos analógicos con el empleo de herramientas de simulación con las que comprobar, previamente al montaje, el adecuado funcionamiento del circuito.

·Que el alumno realice, con el conjunto de todas las prácticas, un sistema de mediana complejidad, con una funcionalidad muy clara y verificable.

Estos dos nuevos objetivos están muy ligados, puesto que es difícil la aplicación de la metodología real de diseño de circuitos electrónicos (en este caso de circuitos analógicos) en circuitos muy sencillos. Sin embargo, el montaje de un sistema electrónico de mediana complejidad tiene una dificultad añadida en las prácticas obligatorias: el montaje ha de realizado en sesiones de prácticas de dos horas de duración. Por ello, dicho montaje ha de ser obligatoriamente modular, es decir, debe poder montarse en distintos pasos. El hecho de que el montaje sea modular introduce en estas prácticas de una forma simplificada de aprendizaje basado en proyectos (Galena 2006).

Como sistema a realizar se ha escogido un amplificador de audio. Este sistema tiene numerosas ventajas dentro de la asignatura Electrónica Analógica.

Por un lado los amplificadores de audio representan uno de los sistemas analógicos más utilizados en la actualidad. Además es un sistema modular, que puede dividirse en subsistemas que pueden ir montándose en

diferentes pasos. Este aspecto es esencial en nuestro planteamiento, puesto que este proyecto ha de llevarse a cabo en sesiones obligatorias de prácticas, que se realizan en sesiones de dos horas de duración. Finalmente destacamos que este proyecto cubre prácticamente todos los aspectos teóricos de la asignatura: reguladores de tensión, amplificación en pequeña señal y en gran señal mediante el uso de transistores y amplificación y filtros mediante el uso de amplificadores operacionales.

La realización de este sistema tiene una dificultad importante: los alumnos deben ir completando su montaje paso a paso, manteniendo lo que han ido montando. Para ello, el material requerido para la realización de las prácticas es mucho mayor al requerido habitualmente, donde una vez terminada la práctica el alumno desmonta lo realizado permitiendo su reutilización por parte de otros alumnos. En esta práctica cada alumno debe mantener los montajes realizados, para ir construyendo en sucesivas prácticas el sistema completo. Esto hace que se necesite material para cada alumno que realice las prácticas y no por cada puesto de que se disponga en el laboratorio. Ha de tenerse en cuenta que el número aproximado de alumnos que anualmente realizan estas prácticas es de 80.

Por todo esto, se necesitarán como material extra, además de los componentes, placas de prueba, cables de conexiones simples (de distintos colores y longitudes), cables de conexiones con terminales tipo bananas y pinzas de cocodrilo (en distintos colores), conformadores de componentes, alicates de corte y pines de prueba.

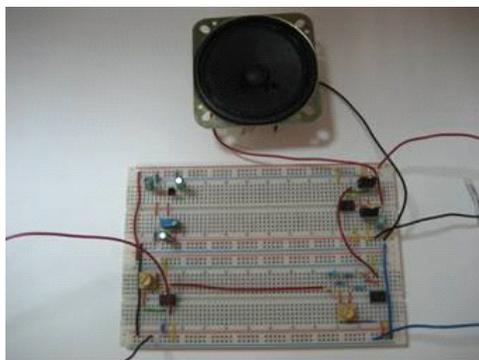


Figura 2. Regleta de prototipo con los montajes realizados por el alumno.

5. Propuesta de las prácticas a realizar.

Todas las prácticas constan de dos fases: la primera, denominada estudio teórico, consiste en el análisis del circuito propuesto. Esta fase la lleva a cabo el alumno como trabajo personal en casa. Dicho análisis se realiza de acuerdo con los conceptos y metodologías desarrollados previamente en las clases de teoría y problemas. Los alumnos deben disponer de los resultados del estudio teórico antes de realizar la segunda fase, denominada desarrollo experimental. Esta se lleva a cabo en el laboratorio bajo la supervisión de un profesor y su contenido puede ser de dos tipos, en función del trabajo a realizar por el alumno en el laboratorio:

- Prácticas de simulación: el alumno tiene que crear el esquemático del circuito, definir los análisis que hay que realizarle y evaluar los resultados de la simulación, contrastándolos con los correspondientes del estudio teórico, comentando las principales diferencias observadas. Los resultados obtenidos en la simulación se emplean para completar el estudio teórico de una práctica de montaje.

- Prácticas de montaje: hay que montar

físicamente el circuito en una regleta de prototipos, realizar distintos tipos de medidas sobre el mismo, llevar a cabo los cálculos necesarios para comprobar los resultados del estudio teórico y comentar las diferencias más significativas observadas con indicación de sus causas principales.

Todas las prácticas se realizan de forma individual. Cada sesión de laboratorio tiene una duración de 2 horas, a cuya finalización, el alumno entrega al profesor el estudio teórico junto con las medidas y cálculos realizados en el desarrollo experimental. Una vez calificados son devueltos al alumno en la siguiente sesión de laboratorio.

En las prácticas en las que se tenga el amplificador de audio completo, además se lleva a cabo una comprobación “acústica” de la función realizada por el circuito correspondiente. Para ello se utiliza como fuente de sonido, la tarjeta de audio del PC. La salida procesada es aplicada al amplificador de potencia clase B (práctica 5) y la salida de ésta se lleva a un altavoz. La Figura 2 muestra una de las regletas de prototipo una vez completadas todas las prácticas por parte del alumno.

5.1. Breve descripción de las prácticas.

Para alcanzar el objetivo fundamental se ha programado un conjunto de 10 prácticas que se llevan a cabo a lo largo de todo el curso. El listado de las mismas, junto con el objetivo específico de cada una de ellas, se presentan en la Tabla 1.

La temporización de las prácticas está coordinada con las clases de teoría y de problemas, de modo, que cada práctica se realiza después de que los conceptos y metodologías necesarios hayan sido desarrollados.

Práctica	Objetivos
1. Análisis de un circuito analógico usando Pspice	Descripción de circuitos analógicos y análisis en el dominio del tiempo usando un programa de simulación
2. Rectificador de onda completa	Estudio de las características reales del rectificador de onda completa
3. Regulador de tensión	Estudio de las características reales del regulador de tensión
4. Etapa amplificadora básica con transistor bipolar	Montaje de una etapa amplificadora básica, estudio de sus características y utilización como etapa de entrada en un amplificador de audio
5. Amplificador de potencia clase B	Montaje de un amplificador de potencia clase B, estudio de sus características y utilización como etapa de salida en un amplificador de audio
6. Características estáticas del amplificador operacional	Estudio de algunas de las características reales del amplificador operacional: tensión de offset, corriente de polarización e intensidad de offset
7. Características dinámicas del amplificador operacional	Estudio de algunas de las características reales del amplificador operacional: tiempo de subida, sobredisparo y velocidad de respuesta. Utilización como control de volumen en un amplificador de audio.
8. Simulación de un filtro activo	Análisis en el dominio de la frecuencia de un filtro activo usando un programa de simulación
9. Filtro activo	Montaje de un filtro activo, estudio de su respuesta en frecuencia y utilización como control de tono en un amplificador de audio.
10. Simulación del Oscilador puente Wien	Estudio de un oscilador senoidal basado en amplificador operacional.

Tabla 1. Objetivo específico de cada práctica.

En la primera práctica se enseña al alumno a manejar las funciones básicas de un programa de simulación de circuitos electrónicos. Esta herramienta será de utilidad al alumno a lo largo de todo el curso, no sólo para

comprender el funcionamiento de los distintos montajes que realizará en el laboratorio, sino para completar la comprensión de los diversos circuitos que se estudian en la asignatura y comprobar los resultados de muchos de los

circuitos que se plantean en los boletines de problemas.

En la segunda y tercera práctica se estudian los dos bloques básicos necesarios para conseguir una tensión continua a partir de otra alterna: el rectificador y el regulador de tensión. Estos dos montajes podrían emplearse para generar las tensiones de alimentación necesarias para los circuitos de las siguientes prácticas.

La cuarta práctica constituye la etapa de entrada del amplificador de audio. El circuito elegido integra, además, el control de volumen. La práctica quinta se corresponde con la etapa de salida del amplificador de audio, de modo que, conectada con la de la práctica anterior, nos da una primera versión del amplificador de audio, pudiéndose comprobar acústicamente su funcionamiento.

En la práctica sexta se estudian las características estáticas del amplificador operacional. La séptima práctica es una variante de la etapa de entrada, basada en amplificador operacional. Se integra en el amplificador de audio sustituyendo a la etapa de entrada realizada en la práctica cuarta.

En la octava práctica se simula un filtro activo empleado como etapa de control de tono del amplificador de audio. Se aprende a realizar un análisis frecuencial a un circuito analógico. En la novena, se realiza el montaje de la etapa de control de tono y se integra en el amplificador de audio. Finalmente, en la décima práctica se simula un oscilador viendo como se lleva a cabo un análisis de Fourier de la señal generada.

5.2. Satisfacción de los alumnos.

En la última sesión de laboratorio del curso, se pasó una encuesta a los alumnos para conocer su opinión respecto al conjunto de

prácticas realizadas. Como aspectos mejor valorados, destacan el apoyo prestado por el profesor durante la sesión en el laboratorio, el tiempo disponible para la realización de los montajes y el material disponible para el desarrollo de las prácticas.

Algunas de las cuestiones menos valoradas fueron la existencia de solapamiento en los contenidos con prácticas de otras asignaturas, y la consideración de si lo aprendido sería valioso para su futuro profesional.

6. Conclusiones

Se ha presentado el diseño de las prácticas de laboratorio de la asignatura Electrónica Analógica con el objetivo de que los alumnos vayan montando, en distintas fases, un amplificador de audio, que es un sistema analógico de media complejidad. Con este diseño se han conseguido distintos objetivos: por un lado introducir en las prácticas de laboratorio la metodología de diseño de circuitos electrónicos, y por otro mejorar la motivación de los alumnos con el montaje de un sistema del que pueden comprobar de forma experimental su correcto funcionamiento.

Desde el punto de vista de los alumnos, ha supuesto una mejora muy importante en su motivación. No sólo por la necesidad de conseguir que el montaje “funcione de verdad”, sino porque la prueba experimental de escuchar el sonido de un altavoz y saber que ese sonido procede de un circuito que ellos han construido tiene un valor insustituible. Para los alumnos supone una prueba definitiva de que los circuitos funcionan. Creen porque han visto (en este caso porque han escuchado).

Desde la perspectiva del profesor y los ayudantes de laboratorio ha supuesto un aumento de trabajo. Cuando en otras prácticas

se prepara material para nueve alumnos (número de puestos de trabajo de los que dispone el laboratorio), en estas prácticas hemos tenido que preparar material para ochenta. Se han tenido que solucionar problemas de almacenamiento tanto de los componentes como, sobre todo, de todos los montajes que los alumnos han ido realizando, con sus correspondientes etiquetas.

7. Referencias bibliográficas

Jiménez, C.J.; López, A. y León, C. (2009). Aplicación de una Metodología de Aprendizaje Basada en Proyectos en Prácticas Obligatorias de Laboratorio. *17º Congreso Universitario de Innovación en Enseñanzas Técnicas*: Valencia.

Galena, L. (2006). Aprendizaje basado en proyectos. *Revista CEUPROMED*. (<http://ceupromed.ucol.mx/revista/PdfArt/1/27.pdf>) (2/11/2009).

Nagel, L.W. y Pederson, D.O. (1973). *SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)*, Memorandum No. ERL-M382. University of California: Berkeley.

Fecha de recepción: 04-03-09

Fecha de revisión: 24-03-10

Fecha de aceptación: 20-04-10

Fecha de publicación: 01-07-10