

ELECTRÓNICA ANALÓGICA Y DIGITAL. ENSEÑANZA COORDINADA DESDE LA TEORÍA A LA IMPLEMENTACIÓN.

Germán Ramos Peinado

Universidad Politécnica de Valencia. gramosp@eln.upv.es

RESUMEN

El objetivo del siguiente trabajo es el de profundizar en la coordinación de las asignaturas de tecnología electrónica impartidas en la E.T.S.I. de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Valencia. Partiendo de los contenidos teóricos impartidos en Electrónica Analógica y Electrónica Digital, se busca respetar el flujo natural de aprendizaje y diseño, pasando por la posterior simulación en PSPICE A/D, verificación práctica de los resultados en los laboratorios, e implementación final de uno de los diseños sobre placa de circuito impreso PCB. Todos estos aspectos son tratados en cuatro asignaturas diferentes, dos teóricas y dos de laboratorio. La coordinación se realiza empleando los mismos diseños clásicos de ejemplo, empezando por la teoría, siguiendo por la simulación, la verificación física e implementación en PCB. Esta sincronización también se realiza en el tiempo, de forma que el alumno/a trabaja con el mismo diseño de forma continua, reforzando la adquisición de conocimientos, su aptitud e interés.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la docencia de las asignaturas de Tecnología Electrónica en la E.T.S.I. de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), se imparte en segundo curso en cuatro asignaturas. Dos son las asignaturas teóricas de Electrónica Digital y Electrónica Analógica, en donde se cubren los aspectos teóricos y clásicos de estas materias. Las otras dos son asignaturas de laboratorio: Laboratorio de Diseño Electrónico por Ordenador (LDEO) y Laboratorio de Circuitos Electrónicos (LCE). En LDEO se cubren todos los aspectos del Diseño Electrónico Asistido por Ordenador: captura de esquemáticos, manejo de librerías, diseños jerárquicos, simulación analógica y digital en PSPICE A/D, y diseño y realización de placas de circuito impreso (PCB) con rutado manual y autorutado, llegando a realizar físicamente una PCB cada dos alumnos. En LCE se realizan las prácticas correspondientes a Electrónica Digital y Electrónica Analógica (familias lógicas, subsistemas combinacionales y secuenciales, generadores de señal, multiplicadores analógicos, amplificador electrocardiógrafo y amplificador de potencia de audio), algunas de ellas realizadas sobre módulos de circuitos realizados ya por los profesores.

El principal objetivo fijado ha sido el de coordinar los contenidos teóricos de las asignaturas de Electrónica Digital y Analógica, con la verificación de los mismos en las asignaturas de laboratorio (simulación y verificación física de resultados). La coordinación ha sido llevada a cabo tanto en contenidos como temporalmente. Para ello los diseños a simular y verificar en las asignaturas de laboratorio han sido seleccionados de entre los diseños clásicos o problemas tipo impartidos en las asignaturas teóricas (diseños combinacionales y secuenciales, filtros analógicos y generadores de señal, etc.). La coordinación temporal también es fijada, intentando que la teoría se vea en clase como mucho dos semanas antes de repetir el diseño en LDEO (esquemático y simulación) y LCE (verificación física del mismo). De esta manera se consigue que los alumnos trabajen en torno a un mismo diseño desde la

teoría a la implementación (respetando el flujo natural de diseño) en breve espacio de tiempo, consiguiendo un refuerzo del aprendizaje en ambos sentidos. Primero los contenidos teóricos se refuerzan al ser repasados y empleados en los laboratorios, y segundo, al tener la teoría más clara y reciente, profundizan más en los contenidos de las asignaturas de laboratorio al comprender mejor qué es y qué hace el diseño que simulan o montan, permitiendo un mejor aprendizaje de la herramienta de diseño y simulación empleada (MicroSim/ORCAD). El diagrama de la figura 1 muestra el flujo de trabajo por asignaturas.

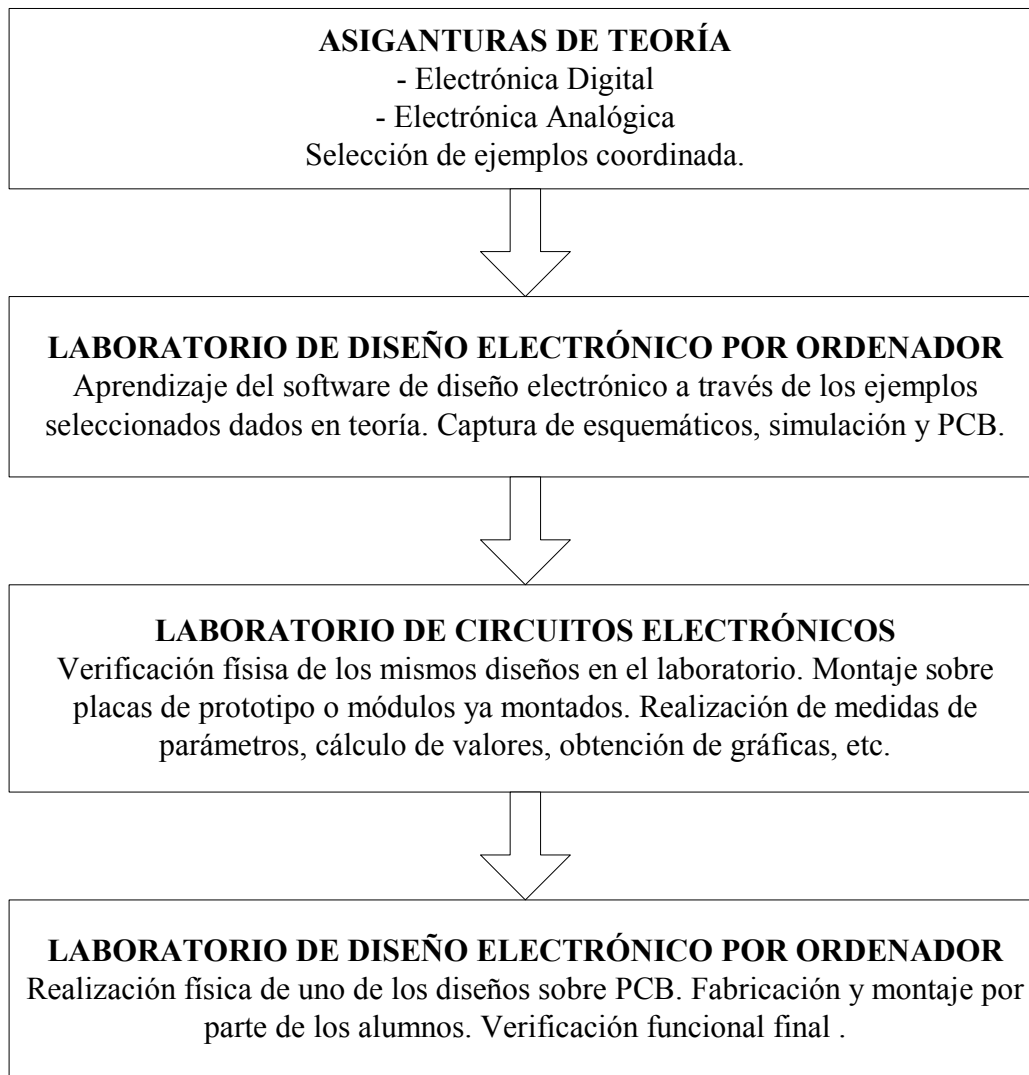


Figura 1

En paralelo se estimula al alumno/a a que emplee el software de diseño electrónico impartido en LDEO (MicroSim/ORCAD) para el resto de asignaturas, tanto en la verificación de resultados de los problemas teóricos, como en la experimentación y autoaprendizaje de todas las materias. Por supuesto, el uso de estas herramientas de simulación debe ser realizado de forma coherente configurando en cada momento los parámetros de funcionamiento de forma adecuada, y ante todo, adoptando una actitud crítica ante los resultados.

2. SITUACIÓN CRONOLÓGICA ACTUAL

La coordinación de todas las materias no podría ser realizada sin la sincronización de las asignaturas teóricas y las de laboratorio. Las asignaturas implicadas se imparten actualmente de la siguiente manera:

<i>3^{er} cuatrimestre</i>	<i>4^o cuatrimestre</i>
Electrónica Digital	Electrónica Analógica
Laboratorio de Diseño Electrónico por Ordenador (quincenal) Sesiones DIGITAL	Sesiones ANALÓGICA
Laboratorio de Circuitos Electrónicos (quincenal) Sesiones DIGITAL	Sesiones ANALÓGICA

Figura 2

Se aprecia como las dos asignaturas de laboratorio son impartidas anualmente y su docencia es en principio quincenal, hecho que flexibiliza la coordinación de los temarios, pudiendo retrasar o adelantar las sesiones prácticas a las teóricas con cierto grado de libertad para anticipar la teoría una o dos semanas antes de emplear dichos contenidos teóricos en los laboratorios, ya sea en simulación con PSPICE A/D (LDEO) o verificación física montando el circuito (LCE).

En el caso de LDEO, la asignatura arranca con los conceptos teóricos básicos sobre la metodología de diseño electrónico por ordenador, así como al manejo del entorno y captura de esquemáticos, dando tiempo a Electrónica Digital a avanzar en contenidos. En el cuarto cuatrimestre, se trata el diseño de placas de circuito impreso primero, dejando a Electrónica Analógica avanzar en su temario para poder afrontar con los conocimientos teóricos mínimos la simulación de sistemas analógicos y mixtos con PSPICE A/D. Antes de cada nuevo ejercicio o ejemplo, el profesor comenta y describe el funcionamiento del circuito implicado.

En LCE se realiza algo parecido, avanzando el contenido de las prácticas conforme las asignaturas teóricas han cubierto las materias necesarias. No obstante, al comienzo de cada sesión los profesores de la asignatura realizan una pequeña introducción teórica respecto a la funcionalidad del circuito empleado en cada práctica.

3. EJEMPLO. FILTRO DE BANDA ELIMINADA

La metodología empleada se muestra claramente en el siguiente ejemplo en torno al diseño teórico, simulación y verificación física de un filtro de banda eliminada en configuración de doble T. Los contenidos tratados en cada asignatura son comentados tal y como se explican en el aula en cada caso, siendo recibidos por los alumnos en cada asignatura con una cadencia de una a dos semanas en el orden indicado.

3.1. Electrónica Analógica

El esquema estudiado del filtro de banda eliminada en doble T es el mostrado en la figura 3. Una de las posibles aplicaciones comentadas es la de eliminación de interferencia de modo común introducida por la red eléctrica (50 Hz) para un amplificador electrocardiográfico.

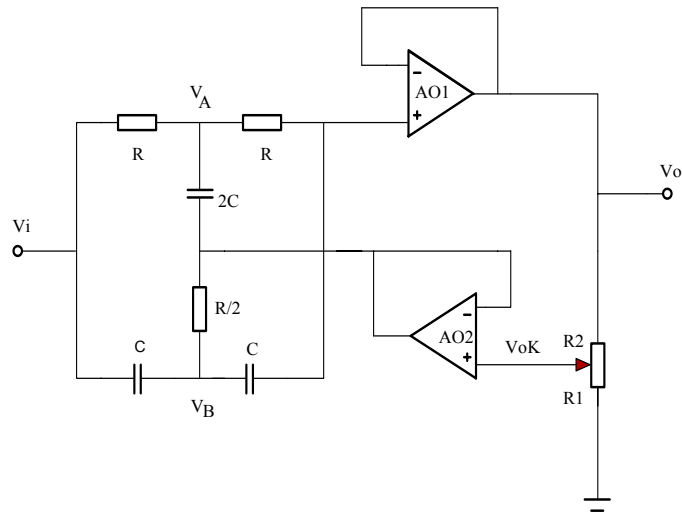


Figura 3

R_1 y R_2 son las resistencias internas del potenciómetro, y $K = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ su relación.

Estudiando la tensión en V_A tenemos que $V_i = 2 \cdot V_A \cdot (1 + C \cdot R \cdot s) - V_o \cdot (1 + 2 \cdot K \cdot C \cdot R \cdot s)$ y en V_B se obtiene que $V_i \cdot R \cdot C \cdot s = 2 \cdot V_B \cdot (1 + R \cdot C \cdot s) - V_o \cdot (2 \cdot K + R \cdot C \cdot s)$. Juntando ambas ecuaciones se llega a la relación $V_A + V_B \cdot R \cdot C \cdot s = V_o \cdot (1 + R \cdot C \cdot s)$ por lo que la función de transferencia del filtro viene dada por la expresión:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + (R \cdot C)^2 \cdot s^2}{1 + 4 \cdot (1 - K) \cdot R \cdot C \cdot s + (R \cdot C)^2 \cdot s^2}$$

Comparándola con la función de transferencia normalizada de un filtro de banda eliminada de segundo orden $A(s)$:

$$A(s) = A_o \frac{1 + \left(\frac{s}{\omega_o}\right)^2}{1 + 2 \cdot \xi \cdot \left(\frac{s}{\omega_o}\right) + \left(\frac{s}{\omega_o}\right)^2}$$

se identifican $\omega_o = \frac{1}{R \cdot C}$ y $Q = \frac{1}{4 \cdot (1 - K)} = \frac{1}{2 \cdot \xi}$, siendo parámetros independientes y dependiendo el factor de calidad Q únicamente de la posición del potenciómetro.

3.2. Laboratorio de Diseño Electrónico por Ordenador (LDEO)

En LDEO se emplea el filtro de banda eliminada en doble T a lo largo de las sesiones en las que se explican las simulaciones en alterna **.AC**, simulaciones paramétricas **.STEP**, de ruido **.NOISE** y de Monte Carlo **.MC**. Este diseño resulta muy adecuado desde el punto de vista didáctico para cubrir todas estas materias. El esquemático introducido y simulado por los alumnos es el de la figura 4. De nuevo se comenta la utilidad de este circuito para eliminar el acople de la red eléctrica (50 Hz) en un amplificador electrocardiográfico.

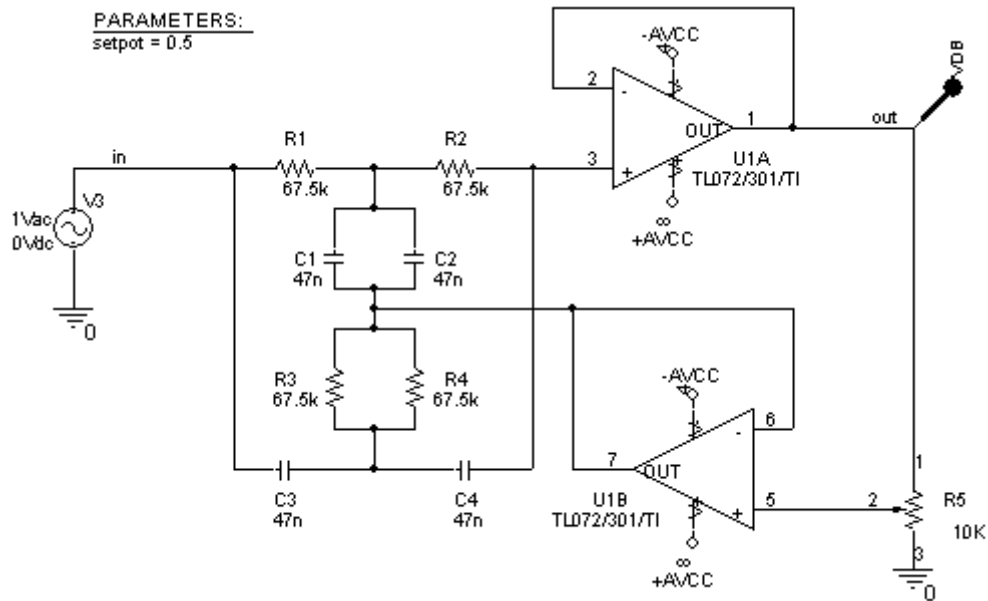


Figura 4

La respuesta en magnitud y fase se representa en la figura 5. Sobre ella se localiza la frecuencia eliminada y se enseña a visualizar los resultados en varias gráficas o varios ejes a la vez. También sirve el ejemplo para obtener resultados empleando la búsqueda con cursores y las *Goal Functions* de PSPICE A/D.

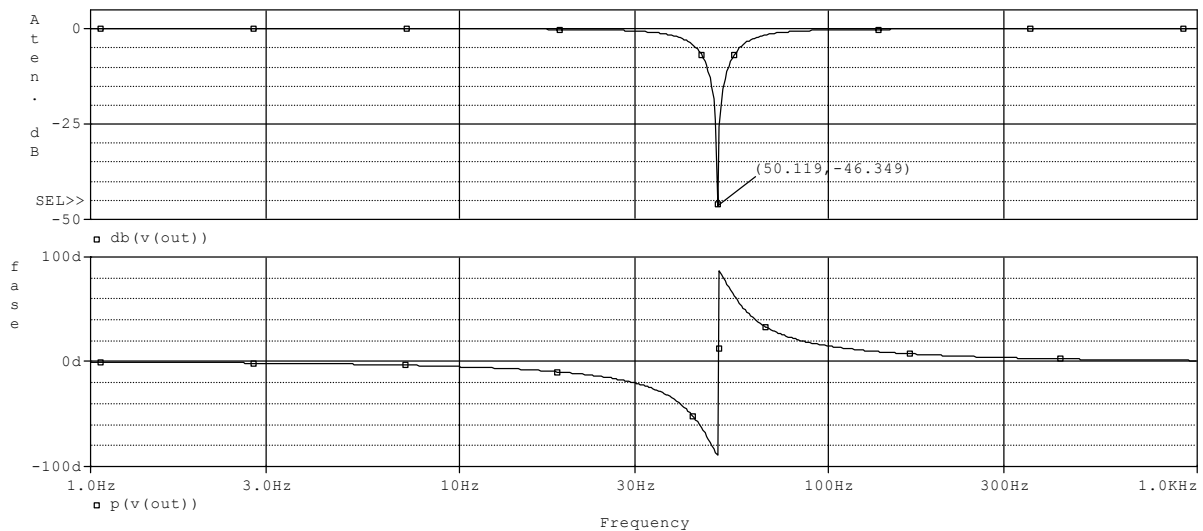


Figura 5

También se explica y se realiza sobre el mismo ejemplo un análisis paramétrico variando la posición del potenciómetro (parámetro SET) para modificar el valor de Q , pudiendo observar su efecto sobre el ancho de banda.

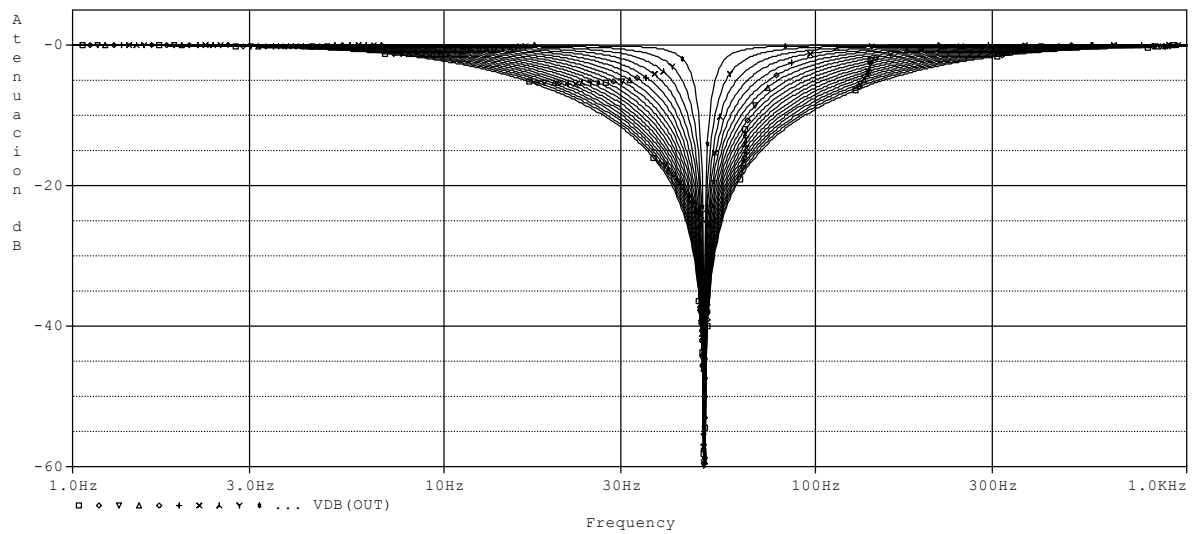


Figura 6

Y por supuesto un análisis de Monte Carlo para mostrar claramente los efectos de la tolerancia de los componentes convencionales (resistencias al 5% y condensadores al 20%), observando como se desplaza la frecuencia eliminada y su atenuación (figura 7), desvirtuando su función básica, la de eliminar la interferencia de 50 Hz.

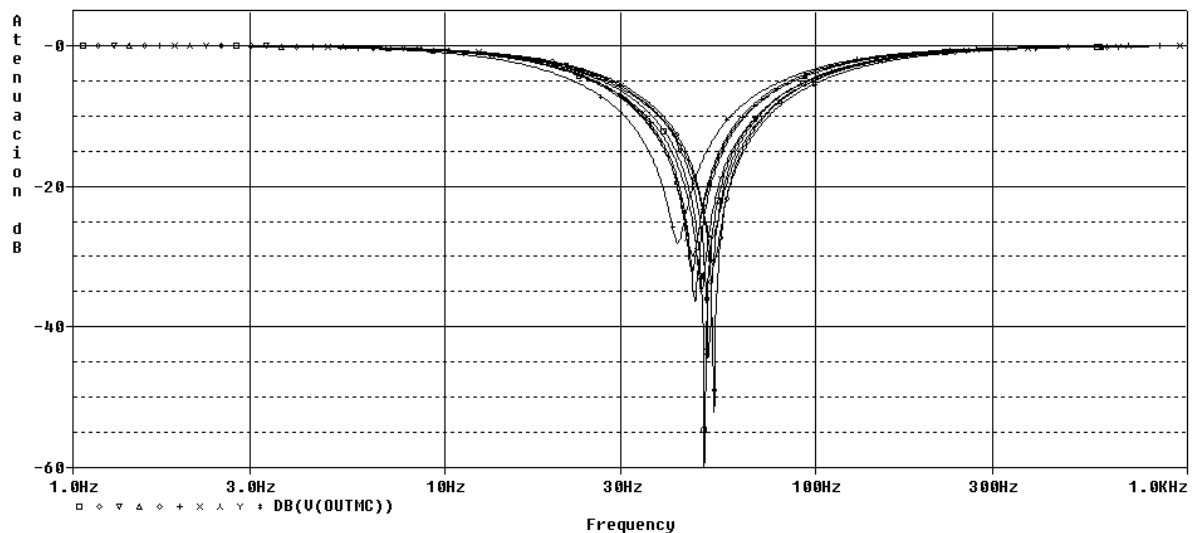


Figura 7

Los resultados de las simulaciones de Monte Carlo son analizados estadísticamente, observando las desviaciones obtenidas respecto a los valores teóricos en el histograma mostrado al realizar un *Performance Analysis* en el PSPICE A/D.

3.3. Laboratorio de Circuitos Electrónicos (LCE)

Después de haber estudiado y simulado el filtro de banda eliminada en doble T, se pasa a la verificación física del mismo en LCE. Esto se realiza en la práctica del Amplificador Electrocardiógrafo. Dados los problemas de medida observados otros años (debido a interferencias y montajes sobre las placas de prototipo), los profesores de LCE decidieron implementar el circuito sobre una placa de circuito impreso sobre la que los alumnos van a ir midiendo y analizando las diversas partes que lo forman: amplificador de instrumentación, filtro de rechazo de 50 Hz, filtros pasabajo y pasoalto, amplificador de ganancia ajustable, y generador de señal de test. Finalmente pueden comprobar el funcionamiento de todo el circuito visualizando en un osciloscopio digital la señal ECG obtenida de ellos mismos mediante unos electrodos. El circuito empleado es el de la figura 8.

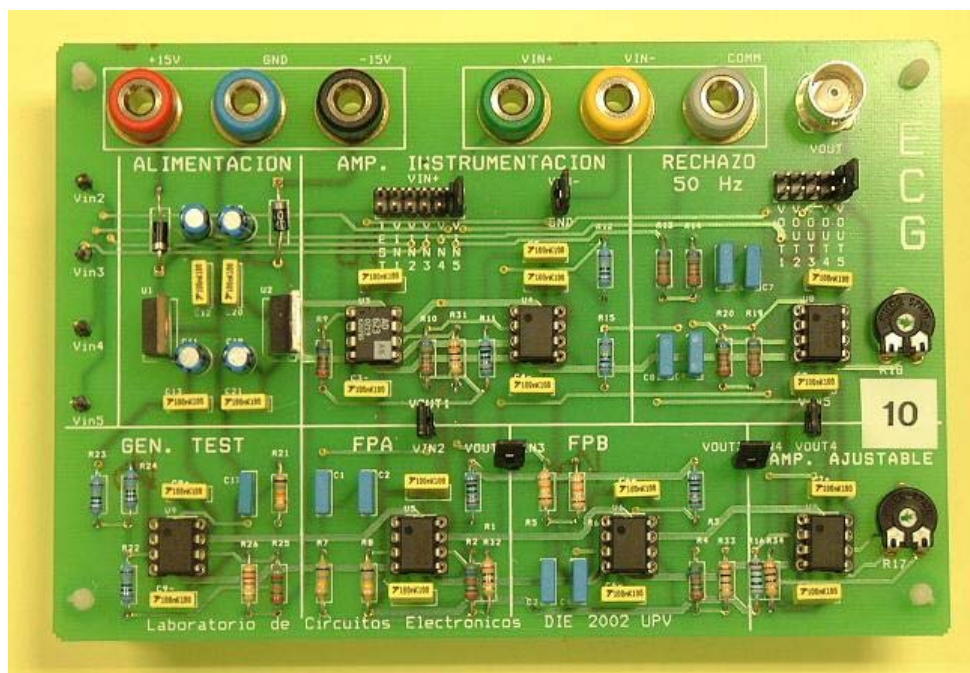


Figura 8

En el circuito, los alumnos tienen acceso a las entradas y salidas de todos los subcircuitos. En el caso del filtro de rechazo de 50 Hz, deben de calcular el valor teórico de los componentes, valor máximo y mínimo teórico del factor de calidad Q , y caracterizar la respuesta en frecuencia sobre una gráfica, obteniendo la frecuencia real rechazada f_0 , la atenuación máxima obtenida, y las frecuencias de corte superior f_{cs} e inferior f_{ci} .

3.4. Diseño y Fabricación de una Placa de Circuito Impreso PCB (LDEO)

Una de las tareas realizadas también en LDEO es la de simular, diseñar, montar y verificar una placa de circuito impreso PCB. El diseño montado suele ser un simple circuito a estable que enciende y apaga un LED o similar. La elección de diseños tan simples es debida diversos factores: rutado del circuito a simple cara (sencillo) y fácil comprobación por parte del alumno. Se considera más importante que el alumno vea y realice todo el proceso (desde el diseño hasta soldarlo y verificar su funcionamiento) que el propio diseño en sí. Por estas

razones, diseños como el del filtro de banda eliminada resultan demasiado complejos de verificar por parte del alumno (generador de señales, osciloscopio, ajuste). Un ejemplo de circuito realizado es el mostrado en la figura 9 correspondiente a un aestable implementado con un 555 y dos flip-flops para dividir la frecuencia generada por cuatro, señal que enciende y apaga un LED.

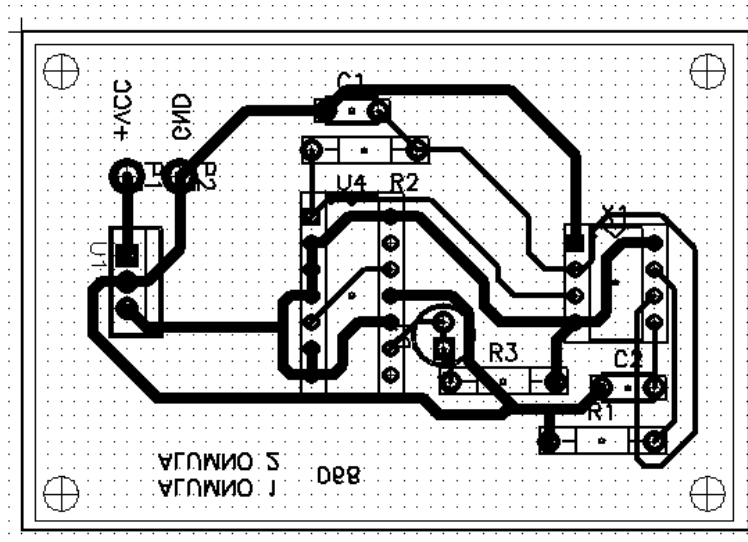


Figura 9

4. OBJETIVOS Y CAMBIOS METODOLÓGICOS

Los cambios metodológicos son mínimos en cuanto a contenidos. Las asignaturas siguen dando básicamente el mismo temario. Lo que sí cambia es el orden cronológico y su sincronización, así como los ejemplos sobre los que se va a trabajar en los laboratorios.

Los objetivos fijados son los siguientes:

- a) Respetar el flujo natural de aprendizaje de las materias de tecnología electrónica:
 - Clases teóricas impartidas en las asignaturas teóricas (Elec. Digital y Elec. Analógica)
 - Planteamiento de problemas de diseño en clase y resolución guiada de los mismos. (Electrónica Digital y Analógica)
 - Captura de esquemáticos y simulación de los mismos problemas (LDEO)
 - Montaje práctico y verificación de los diseños implementándolos sobre placas de prototipado (LCE)
 - Montaje final de uno de los diseños sobre placa de circuito impreso PCB (LDEO)
- b) Sincronizar tanto en tiempo como en contenidos el conjunto de las asignaturas para respetar el flujo de diseño del punto a), común a cualquier diseño electrónico actual, dando al alumno una visión real de la metodología de trabajo a emplear en un futuro. Los contenidos (diseños a resolver, simular e implementar) son fijados por consenso entre los responsables de las asignaturas, de entre los problemas tipo de cada asignatura teórica que estimulen y despierten el interés de los alumnos/as. De esta forma, y empleando el mismo ejemplo, el alumno/a sigue el flujo de diseño desde el

planteamiento y resolución teórica del mismo, pasando por la simulación y verificación, hasta la posterior implementación.

- c) Reforzar los conocimientos teóricos adquiridos en clase al emplearlos de nuevo a los pocos días en los laboratorios. Así el alumno/a comprende mejor que está simulando o montando, fomentando el estudio y seguimiento de las asignaturas de forma conjunta, aprendiendo a su vez las asignaturas de laboratorio con mayor profundidad al entender que es lo que está haciendo en los diseños de trabajo.
- d) Evitar las situaciones en las que el alumno/a no tiene la base teórica mínima para comprender qué es lo que está haciendo en las asignaturas de Laboratorio. Como la teoría se ha dado en clase de forma muy reciente, no se sentirá “perdido” al no entender que hace el diseño que está simulando o montando.
- e) Fomentar el uso del Software de Diseño Electrónico (MicroSim/ORCAD) empleado en Laboratorio de Diseño Electrónico por Ordenador como herramienta de verificación de resultados y de estudio en el resto de asignaturas. Dicho software será a su vez empleado en ejemplos de resolución en Electrónica Digital y Electrónica Analógica, y como herramienta de pre-simulación en Laboratorio de Circuitos Electrónicos.
- f) Fomentar la actitud crítica por parte del alumno/a ante los resultados de las simulaciones. Comprender las diferencias entre un circuito real (montado) y uno ideal (simulado).

5. CONCLUSIONES

Con una simple reorganización de las asignaturas y selección de los diseños sobre los que trabajar en los laboratorios, se consigue reforzar la asimilación de contenidos en ambas direcciones, de la teoría a los laboratorios y viceversa. Se ha observado que los alumnos/as presentan una actitud más receptiva y activa en los laboratorios, permitiendo aprender mejor dichas materias al entender la funcionalidad del diseño sobre el que está trabajando, prestando así más atención a, por ejemplo, qué hace el simulador PSPICE A/D en un análisis en alterna .AC, paramétrico .STEP, temporal .TRAN, etc. A la vez se consigue que el alumno vea la utilidad del Software de Diseño Electrónico como herramienta con la que estudiar, experimentar y verificar también la teoría, software y metodología de trabajo que va a seguir empleando en asignaturas posteriores.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] Larrea, M.A., Ramos, G., Herrero, V., Marín, J.L., *Diseño Electrónico por Ordenador*, Editorial Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2002

[2] Montilla, F., Gadea, R., Hibernón, A., Batalla, E., *Laboratorio de Circuitos Electrónicos*, Editorial Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2000

[3] Pérez, C., Batalla, E., Iranzo, M., Sebastián, A., Hibernón, A., *Electrónica Analógica Integrada*, Editorial Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 1995

[4] *PSPice User's Guide*, manual de Usuario, Cadence, 2000

[5] Gadea, R., Peiró, M., Lidón, J.V., Cerdá, J., Apuntes de clase de Electrónica Digital E.T.S.I. de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Valencia, 2003