



**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS  
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica.**

**Centro de Estudios de Electrónica y Tecnologías de la  
Información (CEETI)**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Actividades prácticas para la asignatura  
Bioinstrumentación Avanzada**

**Autor: Alfonso Darío López Camero**

**Tutor: Dr.C. Alberto Taboada Crispi**

**Santa Clara**

**2011**

**"Aniversario 53 de la Revolución"**



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS  
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

**Facultad de Ingeniería Eléctrica.**

**Centro de Estudios de Electrónica y Tecnologías de la  
Información (CEETI)**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

Actividades prácticas para la asignatura

Bioinstrumentación Avanzada

**Autor: Alfonso Darío López Camero**

[alcamero@uclv.edu.cu](mailto:alcamero@uclv.edu.cu)

**Tutor: Dr.C. Alberto Taboada Crispi**

**Prof. Titular, Investigador Titular, CEETI [ataboada@uclv.edu.cu](mailto:ataboada@uclv.edu.cu)**

Santa Clara

2011

"Aniversario 53 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Biomédica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Departamento  
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de  
Información Científico-Técnica

*PENSAMIENTO*

❖ *No importa cuánto sepas, sino las ganas que tengas de seguir aprendiendo.*

*Daniel Korn*

## DEDICATORIA

❖ *A mi familia, por haberme guiado y apoyado todos estos años.*

## AGRADECIMIENTOS

- ❖ *A mi tutor Alberto Taboada, por su ayuda incondicional en todos los momentos que he necesitado, así como por su interés en transmitirme sus conocimientos y motivarme cada día a la superación como profesional.*
- ❖ *A mis padres, por haberme apoyado siempre durante el transcurso de la carrera.*
- ❖ *A mi hermana Gretel, por servirme como ejemplo cada día para continuar mis estudios.*
- ❖ *A mi novia Elianny, por estar siempre a mi lado y ayudarme en todos los momentos con su amor y cariño.*
- ❖ *A mis amigos Reinier, Yaxel, Jose, Yandier, Heriberto, Marcos, Peña, Alexey y Lian, por apoyarme y haber compartido todos estos años conmigo.*
- ❖ *A todas aquellas personas que de una manera u otra contribuyeron a la realización de esta tesis.*

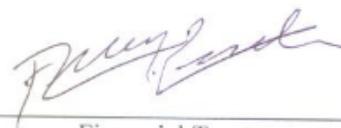
## TAREA TÉCNICA

- Verificación y estudio de los componentes e instrumentos disponibles en la universidad.
- Familiarización con los equipos e instrumentos de laboratorio.
- Actualización de la documentación de la asignatura.
- Proposición de actividades prácticas para la asignatura que exploten los recursos disponibles.
- Montaje y verificación de los distintos circuitos que conforman las actividades prácticas.
- Elaboración de un material complementario para un mejor desarrollo de los laboratorios.



---

Firma del Autor



---

Firma del Tutor

## RESUMEN

En la Facultad de Eléctrica de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas se estudia la carrera de Ingeniería Biomédica desde hace pocos años. El programa educacional de esta carrera tiene como misión principal la formación de un personal profesional destinado al trabajo en el amplio campo de la bioingeniería. El plan de asignaturas incluye materias del perfil de sistemas y señales, así como de instrumentación biomédica. En el segundo semestre del quinto año de la carrera se imparte la asignatura de Bioinstrumentación Avanzada, la cual estaba limitada en cuanto a prácticas de laboratorios, tanto reales como simulados. El problema anterior es lo que hace necesario la realización de esta tesis, mediante la cual quedarán confeccionados los laboratorios que complementarán la asignatura. Estas actividades prácticas estarán centradas en una serie de contenidos, con el propósito de aumentar los conocimientos de los estudiantes, acerca de las técnicas para el diseño de *hardware*.

## TABLA DE CONTENIDOS

Actividades prácticas para la asignatura Bioinstrumentación Avanzada .....	i
Actividades prácticas para la asignatura Bioinstrumentación Avanzada .....	ii
<i>PENSAMIENTO</i> .....	i
<i>AGRADECIMIENTOS</i> .....	iii
TAREA TÉCNICA .....	iv
RESUMEN .....	v
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA BIOINSTRUMENTACIÓN AVANZADA. ...</b>	<b>5</b>
1.1 Bioinstrumentación. Conceptos generales.....	5
1.1.1 Aplicaciones de la bioinstrumentación avanzada. ....	6
1.2 La Bioinstrumentación como asignatura.....	7
1.2.1 Antecedentes a la asignatura de Bioinstrumentación Avanzada en Cuba y el mundo. 8	
1.3 Estructura de la asignatura Bioinstrumentación Avanzada en la carrera de Ingeniería Biomédica en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. ....	8
1.3.1 Técnicas de diseño de hardware. ....	9
1.3.1.1 Componentes pasivos. ....	9
1.3.1.2. Circuitos impresos.....	17
1.3.1.3. Fuentes de alimentación. ....	20
1.3.1.4 Fabricantes y suministradores de componentes electrónicos. ....	22
1.3.2 Herramientas de ayuda al diseño. ....	22
1.3.3 Estado actual y tendencias de la bioinstrumentación.....	23
<b>CAPÍTULO 2. IMPLEMENTACIÓN DE LAS ACTIVIDADES PRÁCTICAS DE BIOINSTRUMENTACIÓN. ....</b>	<b>24</b>

2.1	Introducción.....	24
2.2	Instrumentación, componentes y simuladores electrónicos que se emplean. ....	24
2.2.1	Equipos electrónicos que se utilizan. ....	24
2.2.2	Componentes electrónicas que se emplean. ....	30
2.2.3	Simuladores electrónicos.....	30
2.3	Diseño de las actividades prácticas. ....	34
2.3.1	Estructura general de las actividades prácticas.....	34
2.3.2	Listado general de las actividades prácticas. ....	35
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....		37
3.1	Análisis de las prácticas de laboratorios. ....	37
3.2	Comentarios y recomendaciones de las prácticas de laboratorios.....	40
3.3	Resultados de la utilización de las prácticas de laboratorios. ....	41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		43
Conclusiones .....		43
Recomendaciones.....		43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		45
ANEXOS .....		49
Anexo I	Distribución de la asignatura Bioinstrumentación Avanzada.....	49
Anexo II	Estructura de la asignatura por temas.....	50
Anexo III	Actividades Prácticas Reales.....	51
Anexo IV	Actividades Prácticas Simuladas.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## INTRODUCCIÓN

La bioinstrumentación es la rama de la ciencia que aplica los principios de mediciones a la instrumentación biomédica. Esta incluye métodos para obtener mediciones, tanto invasivas como no invasivas, a partir del cuerpo humano, específicamente de órganos, células o moléculas. La instrumentación electrónica es la encargada del diseño de equipos e instrumentos empleados para el procesamiento digital y analógico de las diferentes señales fisiológicas adquiridas, para obtener con la mayor calidad posible la información contenida en estas, la cual es utilizada por los especialistas de la medicina para el diagnóstico posterior. Debido al desarrollo vertiginoso de las tecnologías biomédicas, surge la necesidad de la formación de un nuevo profesional con un rol necesario e importante en este campo. Este profesional es el ingeniero biomédico, el cual debe ser una persona capacitada y preparada en el perfil de la electrónica, con suficientes conocimientos de medicina, biología y química, que le permiten entender el principio de funcionamiento de cualquier equipo destinado al cuidado de la salud, así como desarrollar nuevos dispositivos y algoritmos para el procesamiento de sistemas biológicos [1].

En la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, específicamente en la Facultad de Eléctrica existe la carrera de Ingeniería Biomédica, que tiene como objetivo fundamental la formación de ingenieros biomédicos, que serán el punto clave en la política trazada por el país, con la que se pretende alcanzar o mantener la excelencia y competitividad internacional en el campo de la Ciencia e Innovación Tecnológica, a partir de productos y tecnologías novedosas, como son: nuevas vacunas y fármacos, equipos médicos de alta tecnología, técnicas avanzadas para el diagnóstico y tratamiento médico, y el desarrollo de programas (*software*), entre otras [2].

Esta carrera presenta un amplio programa de materias relacionadas al campo de la electrónica y la medicina. En el cuarto año de la carrera, los futuros profesionales pueden optar por dos perfiles, el de Señales y Sistemas y el de Bioinstrumentación. Los estudiantes pertenecientes a este último grupo, reciben en el segundo semestre de quinto año una asignatura llamada Bioinstrumentación Avanzada. Esta materia debido a la reciente creación de la carrera presenta problemas con las actividades prácticas de laboratorios reales y simulados.

Con vista de darle solución a tal situación se hace necesario la realización de esta tesis, la cual se basa en la necesidad de elaborar actividades prácticas reales y simuladas para la asignatura de Bioinstrumentación Avanzada, ya que las que existían eran escasas e insuficientes. Como antecedentes a la presente tesis se encuentran la realización de las distintas actividades prácticas de la asignatura integradora de la carrera, los laboratorios de Electrónica Analógica, Electrónica Digital y Mediciones Electrónicas, así como los programas educacionales de la carrera en otras universidades del mundo. El objetivo general de la tesis consiste en perfeccionar las actividades prácticas de laboratorios de Bioinstrumentación Avanzada utilizando los recursos disponibles en la universidad (componentes e instrumentos electrónicos). En vísperas de cumplir este objetivo se implementaron algunos objetivos específicos tales como:

- Diseñar distintos circuitos relacionados con la bioinstrumentación.
- Confeccionar diferentes prácticas de laboratorios con el fin de elevar las habilidades de los estudiantes.
- Elaborar un folleto que sirva de material complementario para la asignatura de Bioinstrumentación Avanzada.

Respecto a lo anterior se trazaron una serie de tareas técnicas, mediante las cuales se lograrán cumplir todos los objetivos de la tesis. Estas son:

- Verificación y estudio de los componentes e instrumentos disponibles en la universidad.
- Familiarización con los equipos e instrumentos de laboratorio.
- Actualización de la documentación de la asignatura.

- Proposición de actividades prácticas para la asignatura que exploten los recursos disponibles.
- Montaje y verificación de los distintos circuitos que conforman las actividades prácticas.
- Elaboración de un material complementario para un mejor desarrollo de los laboratorios.

La realización de este trabajo presenta una gran importancia ya que se obtendrán resultados que permitirán elevar la calidad de las clases de la asignatura Bioinstrumentación Avanzada, y ayudará a que a los estudiantes logren adquirir mayores habilidades prácticas, por lo que se puede decir que representa un gran peso en el desarrollo de la docencia en la carrera de Ingeniería Biomédica.

El informe de la tesis presenta tres capítulos:

En el Capítulo 1 se muestra el marco teórico referencial donde se hace una introducción a la bioinstrumentación como una rama de la electrónica, así como la importancia que representa en el campo de la biomedicina. Seguidamente se hace un análisis de la misma como materia educacional del plan de asignaturas de la carrera de Ingeniería Biomédica, en conjunto con una breve descripción de los temas que se incluyen en esta asignatura. También se aborda acerca de los antecedentes que presenta la disciplina de Bioinstrumentación Avanzada tanto en Cuba como en el resto del mundo, así como las tendencias actuales de la bioinstrumentación en el mundo.

En el Capítulo 2 se realiza una caracterización de los distintos instrumentos electrónicos de laboratorios, componentes y paquetes de *software* que se emplean en la realización de las actividades prácticas. Además se trata acerca del diseño de los laboratorios en cuanto a la estructura general que presentan los mismos, así como aspectos que se tienen en cuenta para su implementación.

En el Capítulo 3 se hace un análisis de la utilización de los instrumentos de laboratorios y las distintas herramientas de ayuda al diseño que se emplean en cada actividad práctica. Unido a esto se expresan una serie de comentarios y recomendaciones que se deben tener

---

en cuenta para un mejor desarrollo de los laboratorios. Finalmente se presentan algunos resultados obtenidos a partir de la aplicación de estas actividades en los estudiantes.

Por último se dan a conocer las conclusiones obtenidas a partir del desarrollo de la tesis, así como las recomendaciones finales del trabajo para su futura implementación y puesta en práctica.

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA BIOINSTRUMENTACIÓN AVANZADA.**

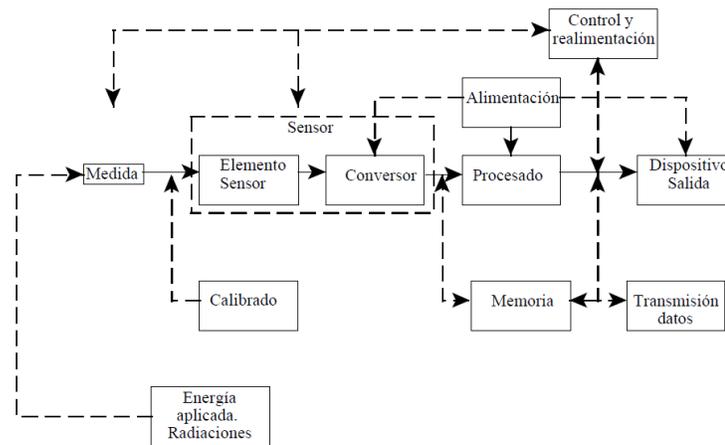
En el presente capítulo se hace una introducción a la bioinstrumentación poniendo principal énfasis en las técnicas de diseño de hardware, algunas herramientas de ayuda al diseño, así como el estado actual y tendencias de la bioinstrumentación en el mundo. La realización de esta tesis se hace necesaria para satisfacer las necesidades de actividades prácticas de laboratorios (tanto simuladas como reales), para la complementación de la asignatura optativa Bioinstrumentación Avanzada de la carrera Ingeniería Biomédica en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. También podemos decir que con la elaboración de la presente tesis se hace un aprovechamiento de la literatura internacional relacionada con el tema de la bioinstrumentación, dándole actualidad a los temas tratados en la misma. A modo de resumen, en el presente capítulo se hará un breve esbozo de los conceptos generales de bioinstrumentación, algunas aplicaciones, antecedentes de esta asignatura, así como la estructura que tendrá la misma durante su impartición como materia.

### **1.1 Bioinstrumentación. Conceptos generales.**

Para comenzar primeramente debemos saber que se le denomina instrumento a cualquier dispositivo empleado para medir, registrar y/o controlar el valor de una magnitud que se desea observar. La instrumentación desde este punto de vista puede considerarse como la ciencia y tecnología del diseño, y utilización de los instrumentos. La instrumentación biomédica trata sobre los instrumentos empleados para obtener información al aplicar energía a los seres vivos, así como los destinados a ofrecer una ayuda funcional o a la sustitución de funciones fisiológicas. Existen equipos o instrumentos los cuales tienen un

fin específico, entre estos se encuentran los de diagnóstico, monitorización, terapia, y rehabilitación [3], [4].

A continuación, en la **Figura 1. 1**, se muestra un esquema general de un sistema de instrumentación médica:



**Figura 1. 1. Esquema general de instrumentación biomédica.**

La bioinstrumentación es aquella rama de la ciencia encaminada a construir sistemas básicos de instrumentación de variables fisiológicas usando principios de medición y conceptos de electrónica con una visión integral, de trabajo en equipo, creativa y analítica. Entre los aspectos principales de la bioinstrumentación podemos mencionar algunos como la elección o diseño del instrumento acorde al tipo de examen, conexión de instrumentos a redes de alimentación, calibraciones de distintos equipos, la realización de diferentes mediciones, así como el análisis cuidadoso de los resultados obtenidos de estas [1].

### 1.1.1 Aplicaciones de la bioinstrumentación avanzada.

La bioinstrumentación como una de las tantas ramas en que se divide la instrumentación de manera general presenta una gran variedad de aplicaciones debido a que el desarrollo del equipamiento médico está sujeto a transformaciones constantes para la mejora, tanto en calidad como en facilidad de empleo, ya sea por el paciente o el personal médico especializado en los diagnósticos.

Entre algunas de estas aplicaciones se encuentran los equipos de imaginología, tales como rayos X, fluoroscopia, tomografía computarizada, ultrasonido, imágenes por resonancia magnética, endoscopia, etc. También están los equipos de diagnóstico, entre los cuales

podemos citar los medidores de presión arterial; analizadores de sangre; electrocardiógrafos (ECG); electroencefalógrafos (EEG); equipos de anestesia; entre otros. Además se tienen los equipos de tratamiento como los fisioterapéuticos; de hemodiálisis; etc. Hay que tener en cuenta que en todos estos equipos la bioinstrumentación está presente, tanto en la composición electrónica de los mismos, como en la adquisición de las señales biomédicas para el diagnóstico.

Tampoco debemos dejar fuera otras aplicaciones en las que está presente la instrumentación médica, pero relacionadas con el funcionamiento correcto del organismo, tales como la construcción de diferentes tipos de implantes o prótesis y los marcapasos.

La bioinstrumentación está presente en las comunicaciones, siendo este el caso de la telemedicina o biotelemedicina. En la actualidad se desarrolla constantemente para mejorar los servicios de asistencia médica que se prestan a los pacientes, entre los cuales podemos encontrar las tele-consultas, que pueden contribuir a disminuir el déficit de especialistas en las áreas rurales, reforzando la organización y mejorando la gestión de salud, ya que se puede acceder a una base de datos y llevar a cabo la consulta [5], [6].

Analizando todo lo antes mencionado, nos damos cuenta que la instrumentación biomédica presenta un amplio campo de aplicaciones y que esta se encuentra sometida a constantes transformaciones para satisfacer las necesidades del hombre en cuanto a la calidad y comodidad del equipamiento médico, así como de los servicios del sistema de salud.

## **1.2 La Bioinstrumentación como asignatura.**

Esta asignatura como materia docente que se imparte durante la formación de profesionales relacionados con el campo de la electrónica, principalmente de ingenieros biomédicos, tiene como fin principal que el estudiante primeramente se relacione con los equipos de medición de los laboratorios (osciloscopio, multímetro, generador de funciones, fuente variable de corriente directa, tablero de pruebas) y aprender sobre la teoría básica de los distintos componentes y dispositivos electrónicos (resistores, capacitores, inductores, transistores y diferentes circuitos integrados). Posteriormente este podrá realizar diseños y montajes de circuitos sencillos, así como la verificación del funcionamiento de estos de forma real, así como simulada, empleando las distintas herramientas computarizadas existentes en la universidad, de las cuales deberán tener conocimientos.

### **1.2.1 Antecedentes a la asignatura de Bioinstrumentación Avanzada en Cuba y el mundo.**

La asignatura de Bioinstrumentación Avanzada presenta antecedentes tanto en el mundo como en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. La afirmación anterior viene dada por la presencia de asignaturas con nombres similares en los programas educacionales de la carrera de Ingeniería Biomédica en distintas universidades del mundo. Otras asignaturas difieren casi solo en el nombre, ya que los contenidos que se imparten son muy similares.

En nuestro país, principalmente en la Universidad Central de Las Villas, la Bioinstrumentación Avanzada como materia docente que se imparte en la formación de ingenieros biomédicos tiene asignaturas que le preceden en cuanto a contenidos. En la propia carrera están presentes la Electrónica Analógica (I, II), la Electrónica Digital (I, II), Mediciones Electrónicas, las actividades prácticas realizadas en los primeros años de la carrera en la asignatura integradora Ingeniería Biomédica (I, II, III, IV), así como la propia Bioinstrumentación (I, II, III) del programa de asignaturas.

Tener en cuenta también que la Instrumentación como asignatura está presente en otras carreras de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad, tales como Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, e Ingeniería en Automática y Sistemas Computacionales.

Debido a todo lo antes abordado, se puede decir que la Instrumentación está presente en todas aquellas carreras relacionadas con el mundo de la electrónica y la computación.

### **1.3 Estructura de la asignatura Bioinstrumentación Avanzada en la carrera de Ingeniería Biomédica en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.**

A continuación se hará una breve explicación de la estructura que tendrá la asignatura de Bioinstrumentación Avanzada en la carrera de Ingeniería Biomédica en la Universidad Central de Las Villas, mediante un sencillo resumen de cada tema a impartir en el transcurso de la misma, teniendo en cuenta que la realización de las actividades prácticas de laboratorios (simulados y reales) de la materia estarán dadas a partir de estos contenidos.

### 1.3.1 Técnicas de diseño de hardware.

En este tema se abordan aspectos relacionados con el diseño de la parte electrónica de la bioinstrumentación. Primeramente, el estudiante debe conocer acerca de la teoría de los principales componentes electrónicos, tanto pasivos como activos, así como su principio de funcionamiento. Posteriormente se tratará acerca del diseño de circuitos impresos en conjunto con los distintos ruidos que afectan las señales durante su procesamiento. También se abordará acerca del diseño de los diferentes tipos de fuentes de alimentación, que son requeridas en los sistemas electrónicos.

Teniendo en cuenta que el diseño del *hardware* cada día requiere de una mayor precisión y eficiencia, ya que constituye el núcleo interno de cualquier equipo biomédico, se abordará acerca de los distintos fabricantes y suministradores a nivel mundial de componentes electrónicas. Con esto se logrará que los estudiantes obtengan conocimientos acerca de la gran variedad de los dispositivos electrónicos que existen, y se basen en esto cuando vayan a realizar un diseño de envergadura.

#### 1.3.1.1 Componentes pasivos.

Dentro de los dispositivos electrónicos están presentes los componentes pasivos tales como los resistores, los capacitores y los inductores.

Desde el punto de vista de la resistividad, podemos encontrar materiales conductores (presentan muy poca oposición al paso de la corriente eléctrica), aislantes (no permiten el flujo de corriente) y resistivos (que presentan cierta resistencia).

Es por esto que se fabrica un tipo de componentes llamados resistores, cuyo único objeto es proporcionar en un pequeño tamaño una determinada resistencia al paso de la corriente, cuyo valor nominal es especificado por el fabricante [7], [8], [9], [10].

Los resistores son componentes eléctricos pasivos en los que la tensión instantánea aplicada es proporcional a la intensidad de corriente que circula por ellos. Su unidad de medida es el ohmio ( $\Omega$ ) [11], [12], [13]. Se pueden dividir en tres grandes grupos:

- Resistores lineales fijas: su valor de resistencia es constante y está predeterminado por el fabricante.
- Resistores variables: su valor de resistencia puede variar dentro de ciertos límites.

- Resistores no lineales: su valor de resistencia varia de forma no lineal dependiendo de distintas magnitudes físicas (temperatura, luminosidad, etc.)

En cuanto a su composición se pueden distinguir varios tipos de resistores entre las cuales están:

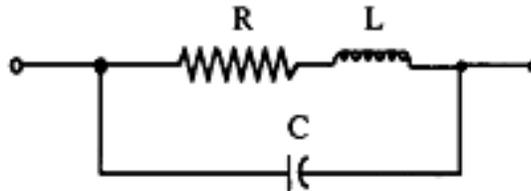
- De hilo bobinado (*wirewound*).
- Carbón prensado (*carbon composition*).
- Película de carbón (*carbon film*).
- Película de óxido metálico (*metal oxide film*).
- Película metálica (*metal film*).
- Metal vidriado (*metal glaze*).

Cuando hablamos de los resistores y potenciómetros debemos aclarar que los diseñadores electrónicos tienen una gran variedad de estos componentes para escoger. En muchas ocasiones se pasan por alto los resistores como las fuentes de error en los circuitos de comportamiento complejo. Esto se debe a algunas características que presentan estos componentes dentro de las cuales podemos citar el coeficiente de temperatura ( $TC_s$ ), cuyo valor puede exceder los 10 ppm/°C, incluso para algunos de los resistores de películas metálicas, alcanzando valores de hasta cientos de ppm/°C en los resistores de carbón. Debido a esto si se quieren hacer diseños de circuitos basados en resistores con un mínimo de errores relacionados con la temperatura se tienen que considerar los puntos que a continuación se hacen referencia:

- Usar resistores con bajo  $TC_s$  absoluto.
- Mantener una estrecha correspondencia con la resistencia de  $TC_s$ .
- Emplear resistores con baja resistencia térmica.

Los resistores también pueden exhibir niveles significativos de inductancias y capacitancias parásitas. En la **Figura 1. 2** se muestra el modelo equivalente de un resistor a altas frecuencias, donde se observa que el valor de impedancia no solo va a depender de la resistencia como tal. Los fabricantes especifican a menudo este efecto parásito como una

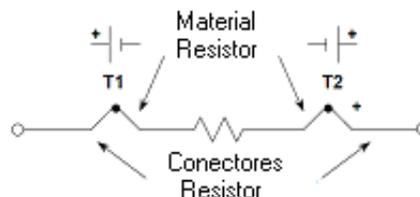
reactancia de error (expresada en % o ppm), basado en la diferencia entre la magnitud de impedancia y la resistencia DC, del resistor a una o más frecuencias [14].



**Figura 1. 2. Circuito equivalente de un resistor a altas frecuencias.**

Otro problema sutil que pueden presentar los resistores es el efecto termopar. Este no es más que en donde quiera que haya una unión entre dos conductores de metales diferentes, existirán como resultados voltajes termoeléctricos. En cualquier amplificador operacional de baja precisión este efecto es la principal fuente de inexactitud, llegando a ser la fuente del error dominante en diseños de circuitos que requieren de una alta precisión.

En la **Figura 1. 3** se muestra el esquema del efecto termopar presente en los resistores, donde se puede observar que cada resistor presenta dos efectos termopar, formados entre los terminales del componente resistivo y la placa de cobre del circuito impreso.



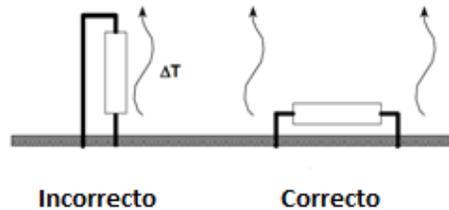
Efecto Termopar en resistores típicos

- Composición de carbón 400  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Película metálica 20  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Hilo bobinado 2  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

**Figura 1. 3. Esquema y valores del efecto termopar en distintos tipos de resistores.**

Note que estos efectos de termopar son relativamente insignificantes para las señales de corriente alterna o AC. Incluso para señales de corriente directa, estos se cancelarán si el resistor entero está a una temperatura uniforme, lo cual se logra con una correcta ubicación del componente en el circuito impreso. Pero si hay una disipación de potencia significativa

en el resistor, o su orientación con respecto a una fuente de calor no es simétrica, trae consigo que uno de los terminales del resistor se caliente más que el otro causando un error de voltaje termoeléctrico neto, como se muestra en la **Figura 1. 4**.



**Figura 1. 4.** Los efectos de termopar en los resistores pueden ser minimizados con la orientación que iguala las temperaturas de los terminales.

Los resistores también están sujetos a cambios de su valor nominal en función del voltaje aplicado entre sus terminales. En resistores del orden de los megaohm ( $M\Omega$ ), conocidos como *High Megohm*, este coeficiente de voltaje puede alcanzar valores desde 1 ppm/ V hasta 200 ppm/ V, lo cual representa otra razón a tener en cuenta en aplicaciones de precisión como los divisores de alto voltaje.

Las fallas estructurales que presentan los resistores, también pueden ocasionar dificultades en los circuitos si estas no son consideradas cuidadosamente de antemano. Un ejemplo de esto son los resistores de composición de carbón, los cuales cuando presentan problemas se convierten en un circuito abierto, de aquí que este tipo de componente se emplee en algunas aplicaciones como fusible, jugando así un papel secundario.

El factor de envejecimiento es otra de las características a tener en cuenta en los resistores, ya que estos tienden a cambiar ligeramente su valor con respecto al tiempo de fabricación. Este factor es especificado por el fabricante expresado en *ppm/año*.

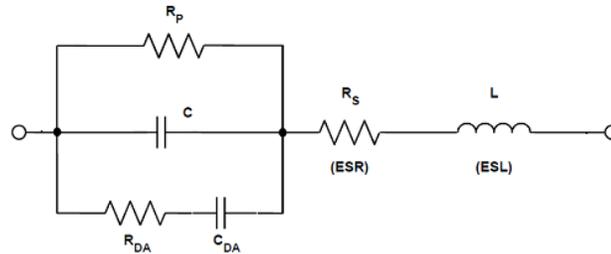
Como conclusión al tema de los resistores, debemos aclarar que los aspectos tratados anteriormente son comunes tanto a los resistores fijos como a los variables y que no son los únicos presentes en este tipo de componente. La **Tabla 1. 1** muestra una comparación entre los diferentes tipos de resistores atendiendo a algunas de las características abordadas [14], [15].

Tabla 1. 1. Comparación de diferentes tipos de resistores.

Tipo de resistor	Ventajas	Desventajas
Composición de carbón	Muy bajo costo, alta potencia, amplio intervalo de valores y pequeño tamaño.	Tolerancia elevada, alto TC (1500 ppm/°C).
Hilo bobinado	Tolerancias bajas (0,01%), bajo TC (1 ppm/°C) y alta potencia.	Problemas de reactancia, gran tamaño y muy costosos.
Película metálica	Buena tolerancia (0,1%), TC bueno (<100 ppm/°C), costo moderado, amplio rango de valores y bajo coeficiente de voltaje.	Baja potencia y deben ser estabilizados con <i>Burn-In</i> .
Metal volumétrico	Muy baja tolerancia (0,005%), muy bajo TC (< 1 ppm/°C), baja reactancia y bajo coeficiente de voltaje.	Baja potencia y muy costosos.

El capacitor como componente pasivo, también presenta un amplio rango de variedades disponibles para los diseñadores electrónicos, dando lugar a los errores dinámicos y estáticos en los diseños de circuitos de precisión, los cuales a veces son fáciles de olvidar. Primeramente debemos saber que los capacitores se dividen en dos grandes grupos: los electrolíticos (polarizados) y los no electrolíticos. Atendiendo a su composición podemos encontrar capacitores de tantalio, aluminio, cerámica, mica, vidrio, papel y plásticos como los de poliéster, polietileno, policarbonato, *mylar* y teflón [8], [9], [10], [13], [14].

Un capacitor al igual que un resistor presenta en su estructura elementos parásitos que interfieren en su comportamiento ante el paso de la corriente, fundamentalmente a altas frecuencias. En la **Figura 1. 5** se muestra el modelo de trabajo de un capacitor no-ideal, en el que está definida la capacitancia nominal ( $C$ ), la resistencia de aislamiento ( $R_p$ ), la resistencia equivalente en serie ( $R_s$  o ESR) y la inductancia equivalente en serie (ESL), así como la resistencia  $R_{DA}$  y la capacitancia  $C_{DA}$ , relacionados con el fenómeno de la absorción dieléctrica ( $DA$ ).



**Figura 1. 5. Circuito equivalente de un capacitor no-ideal.**

Acerca de la resistencia de aislamiento, la resistencia equivalente en serie y la inductancia equivalente en serie, hay que saber que estos actúan como elementos parásitos llegando a degradar el comportamiento de un circuito. Los efectos de estos elementos son considerados en conjunto y definidos como un factor de disipación ( $DF$ ), mediante el cual se mide la ineficiencia básica del capacitor. Este factor varía en función de la temperatura y la frecuencia a que se encuentra trabajando el capacitor, en los de mica y vidrio el  $DF$  puede variar desde 0,03 % hasta 0,1 %, mientras que en los de cerámica este puede estar desde valores menores que 0,1 % hasta mayor que 2,5 % a temperatura ambiente, y para los electrolíticos este factor alcanza valores superiores a este último.

En relación con la elección de un capacitor para un diseño atendiendo a su valor de capacitancia, podemos decir que está limitada, tanto por el rango de valores disponibles, así como por los de tolerancia. En cuanto a las variaciones que pueden presentar los capacitores en función de la temperatura, tenemos que el valor de capacitancia, el  $DF$  y la  $DA$ , dependen en algunos tipos de capacitores aproximadamente de forma lineal y en otros no. También hay que tener en cuenta a la temperatura que va a estar trabajando el componente, ya que por ejemplo los de polietileno se derriten cerca de los 85 °C, mientras que los de teflón pueden resistir valores de hasta 200 °C [14], [16].

En la **Tabla 1.2** se muestra una comparación de algunos tipos de capacitores.

Tabla 1. 2. Comparación de diferentes tipos de capacitores.

Tipo de capacitor	Ventajas	Desventajas
Poliétileno	Baratos, baja <i>DA</i> (0,001 % a 0,02 %), buena estabilidad (120 ppm/°C)	Dañados por temperatura (> +85 °C), gran tamaño y alta inductancia.
Polipropileno	Baratos, baja <i>DA</i> (0,001 % a 0,02 %), estables (220 ppm/°C) y amplio rango de valores de capacitancia.	Dañados por temperatura (> +105 °C), gran tamaño y alta inductancia.
Teflón	Baja <i>DA</i> (0,003 % a 0,02 %), buena estabilidad, trabajan en altas temperaturas (> +125 °C) y amplio rango de valores de capacitancia.	Costosos, gran tamaño y alta inductancia.
Policarbonato	Buena estabilidad, bajo costo, amplio rango de temperaturas de trabajo y valores de capacitancia.	Gran tamaño, limitados solo para aplicaciones de hasta 8 bits ( <i>DA</i> >0,1 %) y alta inductancia.
Poliéster	Estabilidad moderada, bajo costo, amplio rango de temperaturas de trabajo y baja inductancia (formados por películas).	Gran tamaño, limitados solo para aplicaciones de hasta 8 bits ( <i>DA</i> ~0,3 % a 0,5 %) y alta inductancia (convencionales).
Cerámica NPO	Pequeños, baratos, buena estabilidad (30 ppm/°C) y baja inductancia.	Bajos valores de capacitancia ( $\leq 10$ nF).
Cerámica monolítico	Baja inductancia y amplio rango de valores de capacitancia.	Mala estabilidad, alta <i>DA</i> (>0,3 %) y alto coeficiente de voltaje.
Mica	Baja inductancia, buena estabilidad y baja <i>DA</i> (0,003 %).	Gran tamaño, costosos y bajos valores de capacitancia ( $\leq 10$ nF).
Electrolítico de aluminio	Valores de capacitancia altos y relativamente pequeños.	Muy alta <i>DA</i> , altas corrientes de fugas, mala estabilidad, mala

		precisión y usualmente polarizados.
Electrolítico de tantalio	Relativamente pequeños y altos valores de capacitancia.	Muy alta $DA$ , altas corrientes de fugas, mala estabilidad, mala precisión, usualmente polarizados y caros.

El inductor es el otro componente pasivo que se estudiará debido a la importancia que representa el mismo en cualquier diseño electrónico, ya que la inductancia está presente en todos los conductores, y que en el funcionamiento a altas frecuencias, no se puede olvidar su influencia. Cuando se realiza cualquier diseño hay que tener en cuenta que todos los conductores son inductivos por muy pequeños que sean, incluso los caminos de los circuitos impresos también tienen asociados una inductancia [8], [9], [10].

En las **Figura 1. 6** queda expresada la ecuación para calcular la inductancia en cualquier conductor de longitud  $L$  (mm) y radio  $R$  (mm):



$$\text{Inductancia conductor} = 0.0002L \left[ \ln \left( \frac{2L}{R} \right) - 0.75 \right] \mu\text{H}$$

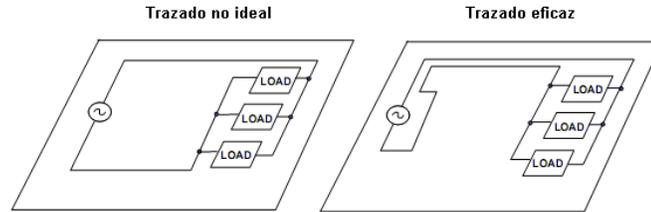
Ejemplo : Un conductor de 1 cm de largo y 0,5 mm de diámetro tiene una inductancia de 7,26 nH.  
 $2R = 0,5 \text{ mm}; L = 1 \text{ cm}$

**Figura 1. 6. Cálculo de la inductancia en un conductor.**

Debemos aclarar que en los sistemas reales esta fórmula resulta ser un aproximado, pero da una idea del orden de magnitud de inductancia involucrada. Nos dice que 1 cm de alambre de 0,5 mm de diámetro tiene una inductancia de 7,26 nH, cuyo valor es aproximado al medido de forma real. Esta inductancia a una frecuencia de 10 MHz trae consigo una impedancia de  $0,46 \Omega$ , llegando a introducir un pico equivalente a 1 % de error en un sistema de  $50 \Omega$ .

Entre los aspectos que se deben tener en cuenta acerca de la inductancia en los circuitos electrónicos se encuentra la inductancia mutua, factor que representa un problema en la transmisión de señales. Este principio está presente en aquellos circuitos donde el área que existe dentro de la vuelta del esquema es grande, lo cual es directamente proporcional al

valor de inductancia y de la impedancia AC respectivamente. Mientras que si los caminos exteriores y de regreso están conjuntamente más cercanos, entonces la inductancia mutua se reducirá en gran proporción. La **Figura 1.7** muestra la explicación realizada anteriormente.



**Figura 1.7. Trazado no ideal y eficaz de los caminos.**

Este efecto de inductancia mutua también está presente como un problema en la transmisión de señales por cables, principalmente cuando existe un solo retorno en común para las diferentes líneas. Dicho efecto indeseado puede ser reducido con la colocación de un retorno para cada línea de señal, o empleando un par de cables de forma trenzada.

Los inductores, en conjunto con los capacitores, son empleados para diseños de circuitos de sintonía, que constituyen aplicaciones de precisión. Se debe tener en cuenta la frecuencia a que se desea trabajar, ya que esta tiene que ser muy inferior a la frecuencia de resonancia del inductor, la cual es ofrecida por los fabricantes en las hojas de datos.

La otra característica del inductor es su Factor de Calidad ( $Q$ ), que es la relación de la impedancia reactiva entre la resistencia. Su cálculo se realiza como:

$$Q = \frac{2\pi fL}{R}. \quad (1)$$

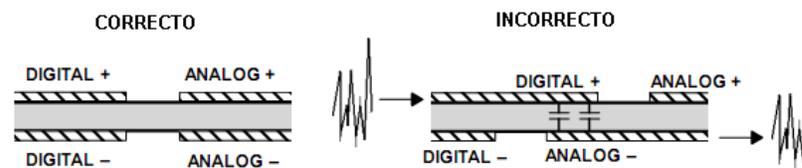
A modo de resumen acerca del tema de componentes pasivos, teniendo en cuenta que cada día los diseños de sistemas requieren de una mayor precisión y alta velocidad de funcionamiento, debemos aclarar que siempre se deben analizar con profundidad todos aquellos factores que están presentes en este tipo de componentes, los cuales pueden llegar a constituir fuentes de errores en cualquier sistema electrónico [14].

### **1.3.1.2. Circuitos impresos.**

Este tema estará centrado al diseño de tarjetas de circuitos impresos (*PCB*), ya que son en gran medida el método más común para el ensamblado de modernos circuitos electrónicos.

Estas tarjetas están formadas por la unión de una capa de aislamiento (o capas) y uno (o más) patrones del conductor de cobre. Debido a la constitución de los circuitos impresos, estos pueden introducir varias formas de errores en un diseño electrónico, particularmente si el circuito funcionará a altas frecuencias y requiere de una alta precisión. Dentro de los efectos del *PCB* que causan daños en el funcionamiento de circuitos se encuentran las resistencias de fuga; caídas de voltaje falsas en los caminos, vías, y planos de tierra; la influencia de capacitancias parásitas, la absorción dieléctrica (*DA*), entre otros. Además los *PCBs* tienden a absorber la humedad atmosférica, lo que significa que los cambios de humedad hacen a menudo contribuciones de algunos efectos parásitos [8], [14], [17].

En el diseño del circuito impreso también es de vital importancia el tema de la tierra en el mismo, lo cual constituye una ventaja significativa en los *PCBs* basados en diseños analógicos, cuyo problema se soluciona empleando el plano de tierra. Este tema se debe tener en cuenta con una mayor preocupación cuando se está trabajando con señales mixtas (analógicas-digitales), ya que no se debe emplear el mismo camino de retorno de un lazo para conectar la tierra de las dos señales, porque traería consigo la introducción de ruido. La **Figura 1. 8** hace una descripción de lo expresado anteriormente [18], [19], [20].



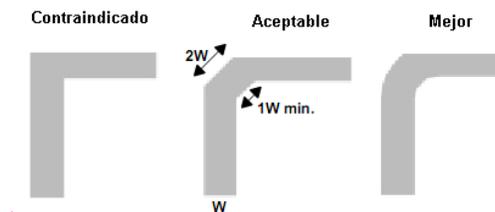
**Figura 1. 8.** Formas de colocar los planos digitales y analógicos.

Muchos diseñadores piensan que el cobre es un superconductor, por lo que obvian el efecto resistivo, que presentan los caminos del circuito impreso y los conductores de conexión que se emplean en el ensamblado de todo sistema electrónico. Por ejemplo un camino de 0,25 mm de ancho (10 mils) que son los empleados usualmente en cualquier diseño, presenta una resistencia de 19 m $\Omega$ /cm, la cual puede resultar muy grande. Estos conductores de cobre también generan un efecto inductivo indeseado, que se debe tener en cuenta sobre todo en el trabajo a altas frecuencias. Por ejemplo, un conductor (o camino) común en un diseño presenta un valor de inductancia que varía entre 6 nH/cm y 12 nH/cm [18].

Otro aspecto que se debe tener en cuenta es la capacitancia parásita producida entre las placas y los caminos de cobre, la cual si aplicamos la teoría nos damos cuenta que está presente un gran número de veces en cualquier *PCB*, por lo que los circuitos deben ser diseñados con el fin de que esto no afecte su comportamiento, (2) describe el cálculo de este valor de capacitancia, donde  $\epsilon$  es la constante dieléctrica,  $A$  es el área entre las placas,  $d$  la separación que existen entre ellas y  $C$  el valor de capacitancia.

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d} \quad (2)$$

Hasta el momento se analizaron los problemas que se presentan en un circuito impreso debido a su estructura, los cuales introducen efectos negativos en el comportamiento de cualquier circuito. A continuación se abordará de manera breve temas relacionados con el diseño como tal de los *PCBs*. Entre los aspectos que se deben tener en cuenta a la hora de realizar el diseño de un impreso tenemos la localización de las componentes, o sea, primeramente separar el bloque analógico del digital, tratar que los distintos circuitos integrados se encuentren en el centro de la placa, la mayor parte de los conectores deben estar localizados en los bordes de la tarjeta, al igual que los potenciómetros u otros componentes de ajuste en el circuito. En relación con el trazado de los caminos se tiene que evitar que estos formen ángulos de  $90^\circ$  en las esquinas o entre ellos, ya que esto debilitaría el trazo, mediante la **Figura 1. 9** se puede obtener una mejor comprensión respecto a esto [21], [22], [23].



**Figura 1. 9. Formas de trazar los caminos en el circuito impreso.**

Como resumen al tema de los circuitos impresos, tenemos que aclarar que los aspectos tratados anteriormente no constituyen los únicos que se deben tener presentes cuando se va a realizar el diseño del impreso correspondiente a un esquema electrónico y que estos serán abordados con una mayor profundidad y seriedad en las distintas clases relacionadas con este contenido [24], [25], [26], [27], [28].

### 1.3.1.3. Fuentes de alimentación.

Todo equipo eléctrico, necesita un bloque que le suministre la energía necesaria para su funcionamiento, este bloque los constituyen las fuentes de alimentación. Debido a la importancia de estas, habrá un tema dentro de la asignatura dedicado a las mismas. En este punto se abordará sobre las distintas fuentes de alimentación que pueden estar presentes en cualquier equipo médico, las cuales cada día requieren de una mayor garantía y estabilidad.

Estas se pueden dividir en dos grupos: los reguladores lineales de sistemas analógicos de alto comportamiento, entre las que se encuentran las líneas de suministro AC, los sistemas alimentados desde baterías y los de conversión DC-DC, y los sistemas alimentados por fuentes conmutadas, las cuales permiten obtener varias salidas con diferentes niveles de voltaje y polaridad, requerimiento que se hace necesario en la mayoría de los equipos relacionados con el campo de la bioinstrumentación, aunque durante su empleo se tienen que tener en cuenta las técnicas de control del ruido, de las interferencias electromagnéticas, así como un diseño de alta calidad [29].

En relación con los reguladores lineales de voltaje se puede decir que han sido por un largo tiempo bloques constructivos estándares, los cuales han ido evolucionando hasta llegar a proporcionar voltajes de salida desde 3 V hasta 24 V, y capaces de manejar corrientes de salida tan bajas como 100 mA (o menor) y tan altas como 5 A (o mayor). Una característica esencial que estos presentan es el bajo ruido que producen en relación con los reguladores conmutados. Este tipo de regulador presenta otra cualidad importante, que es la relacionada con el costo, ya que son relativamente baratos respecto a los otros. Por otra parte estos presentan una mala eficiencia, ya que requieren un voltaje de entrada no regulado mayor que el voltaje de salida, llegando a existir una diferencia entre la entrada y la salida de 2 V o más [14], [30], [31].

Con el paso del tiempo, ha habido un desarrollo de los reguladores lineales con el fin de disminuir la diferencia entre el voltaje de entrada y el de salida, estos nuevos reguladores son conocidos como *Low Dropout regulator (LDO)*, donde esta diferencia alcanza valores muy bajos, llegando a ser de apenas 0,5 V, lo que posibilita un mejoramiento de la eficiencia de este tipo de regulador lineal.

Los reguladores *LDO* son elementos claves en los sistemas de alimentación a partir de baterías, que requieren de una salida de voltaje estable, como los equipos portátiles, de los cuales existe una gran variedad en el campo de la medicina [14], [32], [33].

Acerca de los reguladores conmutados, conocidos por las iniciales *SMPS* (*Switched Mode Power Supply*), debemos conocer que en estos la transferencia de energía desde la entrada a la salida no se realiza en forma continua, sino en forma de paquetes mediante la inclusión de elementos reactivos que actúan como acumuladores de energía. Esto es posible gracias a las tecnologías desarrolladas para la fabricación de los elementos activos y pasivos requeridos en el diseño de fuentes conmutadas. El advenimiento de transistores MOSFET de potencia con altas capacidades de conmutación, junto con la disponibilidad de diodos de alta velocidad y superiores materiales magnéticos han impulsado definitivamente la adopción de este tipo de circuitos convertidores como base de diseño de todo tipo de fuentes de alimentación [34], [35].

Este tipo de fuente presenta grandes ventajas respecto a los reguladores lineales, como un tamaño y peso reducido, una mayor frecuencia del rizado de salida, alta eficiencia, bajo costo y un amplio rango de tensiones de entrada. Como factores negativos de las fuentes conmutadas encontramos su mayor complejidad de diseño, la emisión de señales de interferencia de radiofrecuencia y menor velocidad de respuesta ante bruscas variaciones de carga, las dos últimas pueden ser superadas mediante un adecuado diseño [36], [37], [38], [39], [40], [41].

Un método desarrollado para los sistemas de alimentación conmutados, es el conocido como *charge-pump*, los cuales se basan en la conmutación de la energía almacenada en los capacitores, convirtiéndola en un voltaje de salida. Mediante este tipo de reguladores se pueden obtener a partir de un voltaje de entrada de una polaridad determinada, niveles de voltaje de salida superiores o inferiores, así como alternar la polaridad de los mismos. Un aspecto importante de estos es que no requieren de componentes inductivos, así la generación de interferencias electromagnéticas (*EMI*) es mínima. Estos reguladores son fáciles de implementar, ya que solo requieren de 2 capacitores externos, 1 diodo en caso de los dobladores de voltaje y un capacitor de entrada, son relativamente baratos y llegan a tener una eficiencia superior al 90 % [14].

#### **1.3.1.4 Fabricantes y suministradores de componentes electrónicos.**

Si bien es necesario en cualquier circuito electrónico la realización de un buen diseño, también lo es la calidad de los distintos componentes que van a conformar el mismo, ya que en estos está basada la garantía principal del diseño.

Este tema que será relativamente breve en el plan de la asignatura, enseñará a los estudiantes algunas vías y formas de elegir los diferentes dispositivos electrónicos, teniendo en cuenta principalmente su calidad y otros aspectos de interés para cualquier diseño que se quiera llevar a cabo, como lo es el costo. Para esto se darán a conocer los principales fabricantes de componentes electrónicos a nivel mundial como lo son: *Analog Devices*, *National Instruments*, *Texas Instruments* (TI), *National Semiconductor* (recientemente fundida con TI), *Linear Technology*, así como los principales suministradores, entre los que se encuentran *Farnell* y *Digi-Key*, que mediante el empleo de las herramientas automatizadas presentes en sus sitios *Web*, permiten realizar una búsqueda rápida y precisa dentro de la gran variedad de componentes que ofrecen.

#### **1.3.2 Herramientas de ayuda al diseño.**

Dentro de este tema de la asignatura se estudiarán algunas de las herramientas computarizadas avanzadas que existen para la ayuda al diseño de sistemas electrónicos, las cuales también se emplean para realizar diferentes tipos de análisis de forma simulada a los mismos, lo cual nos permite tener una idea de cómo será su comportamiento realmente.

Entre estas herramientas se encuentra el Multisim 10.1, confeccionada por *National Instruments*. Otra herramienta de simulación es LTspice IV, diseñada por *Linear Technology*, fundamentalmente para simulaciones de circuitos que trabajen a altas frecuencias, siendo su principal ventaja en cuanto a otros simuladores. Además se trabajará con el FilterPro 2.0 de *Texas Instruments*, programa implementado para la ayuda en el diseño de filtros activos. El otro programa a emplear es el Tina TI v7.0, desarrollado por los mismos fabricantes del FilterPro 2.0, utilizado para el diseño y simulación de esquemas que contienen circuitos integrados [42], [43], [44], [45], [46].

### **1.3.3 Estado actual y tendencias de la bioinstrumentación.**

Basándose en que la electrónica es la rama científico-técnica que ha hecho las aportaciones más espectaculares en la instrumentación biomédica en los últimos años, dentro de este tema de la asignatura Bioinstrumentación Avanzada se estudiará el estado actual en que se encuentra la bioinstrumentación en el mundo, así como los campos a desarrollar dentro de la misma en el futuro. Dentro de estas se pueden mencionar las aplicaciones relacionadas con los sentidos artificiales como el olfato, el gusto, la visión y la audición, así como el desarrollo de la biometría.

Debemos aclarar que este tema quedará incluido dentro de la asignatura sólo para elevar el conocimiento del estudiante sobre la instrumentación biomédica, por lo que queda fuera de las prácticas de laboratorios que se realizarán, y será evaluado mediante seminarios u otras formas, y se debe tener en cuenta también que los temas que se incluirán aquí pueden ser variados en el transcurso de los cursos escolares.

## **CAPÍTULO 2. IMPLEMENTACIÓN DE LAS ACTIVIDADES PRÁCTICAS DE BIOINSTRUMENTACIÓN.**

### **2.1 Introducción.**

En el desarrollo del presente capítulo se abordarán temas de gran interés relacionados con la confección de las actividades prácticas. Primeramente se hará mención a los distintos equipos y componentes electrónicos que se utilizan en las actividades, así como los diferentes simuladores que son empleados. También se dará una breve descripción de todos estos por separado (equipos, componentes y *software*), donde se darán a conocer las principales características de los mismos, como rangos de medición y posibilidades que brindan, en el caso de los instrumentos, así como las ventajas de unos respecto a los demás en los diferentes análisis de comportamiento de los circuitos, en el caso de los simuladores. En el epígrafe final de este capítulo, se hará una breve descripción de la estructura general de las actividades prácticas.

### **2.2 Instrumentación, componentes y simuladores electrónicos que se emplean.**

A continuación se muestran los distintos equipos, componentes y paquetes de *software* que son necesarios para el desarrollo de las actividades prácticas, donde se hace una breve descripción de los mismos, teniendo en cuenta sus principales características y ventajas.

#### **2.2.1 Equipos electrónicos que se utilizan.**

Dentro de los instrumentos electrónicos que se emplean para la confección de las distintas prácticas tenemos el tablero de pruebas DAC-457000, el Multímetro Digital UT804, el Osciloscopio Digital AT7328S, la Fuente Regulable de Corriente Directa XJ17432L y el Generador de Funciones XJ1633.

### Tablero de pruebas DAC-457000

El tablero de pruebas como instrumento electrónico es considerado un entrenador analógico-digital de primer nivel y de alta calidad, ya que combina todas las funciones esenciales del experimento analógico con el experimento digital [47]. Entre sus características principales tenemos que está compuesto de un tablero trasladable donde se hacen los montajes del diseño para su comprobación, 2 *displays* de *LEDs* digitales de 7 segmentos BCD y un altavoz de 0,25 W. Este constituye el único conector universal que reserva diferentes órdenes en el tablero para ser conectados a conveniencia del circuito a desarrollar. Su función versátil hace innecesario que los usuarios tengan que complementar por otros métodos el experimento. En una palabra, es ideal para los estudiantes con carreras cercanas al mundo de la electrónica y los circuitos como es el caso de la Ingeniería Biomédica. A continuación hacemos referencias de algunas sus especificaciones.

Contiene 2820 puntos interconectados en una placa de níquel, donde se conectan las componentes, con la ventaja de que pueden cambiarse y reemplazarse en dependencia del circuito que se pretende montar para su comprobación. Los componentes pueden tener una separación entre sus patas de alambre sólido de 0,3 a 0,8 mm, factor indispensable para diseños que contengan circuitos integrados.

Este tablero de prueba contiene diferentes bloques que se emplean en la comprobación de los circuitos, entre ellos se encuentra:

- Fuente de Voltaje:

DC salida (fijo): +5 V, 1 A y -5 V, 1 A.

DC salida (variable): 0 V a +15 V, 1 A.

DC salida (variable): 0 V a -15 V, 1 A.

- Potenciómetros:

Resistor variable de 1 k $\Omega$ .

Resistor variable de 100 k $\Omega$ .

- Generador de funciones:

Tipos de ondas: cuadrada, triangular y sinusoidal.

Rangos de frecuencia:

1 Hz–10 Hz, 10 Hz–100 Hz, 100 Hz–1kHz, 1 kHz–10 kHz, 10 kHz – 100 kHz.

Amplitud: 0 – 10 V<sub>p-p</sub>.

- Adaptadores:

Tipo Banana (2).

Tipo BNC (2).

- Conmutadores de pulsos (2).

- Conmutadores de datos (16):

Posición 0 representa un 0 lógico (0 V).

Posición 1 representa un 1 lógico (5 V).

### **Multímetro Digital (UT-804)**

El Multímetro Digital UT804 es del tipo de instrumento que se emplea para un puesto de trabajo fijo, presenta una estructura firme y de fácil manejo para el personal que lo emplee. Este es un instrumento que contiene auto-escalado, factor de gran ventaja en los equipos de medición. Además, este multímetro no mide solamente voltaje y corriente AC, sino que es capaz de efectuar mediciones de voltaje y corriente DC, valores de resistencia, capacitancia, temperatura, frecuencia, comprobación de diodos y continuidad. Estas mediciones se llevan a cabo empleando los conectores (puntas) que este trae incluido [48].

Este equipo puede alimentarse conectado directamente a la corriente (AC 110 V/60 Hz) o usando 6 baterías de 1,5 V. Está estructurado por un *display LCD*, los terminales de salida, un interruptor rotativo mediante el cual se selecciona la opción que nos posibilita realizar la medición deseada, y los botones funcionales, los cuales se describen en la **Tabla 2. 1**.

**Tabla 2. 1. Descripción de los diferentes botones.**

<b>Botón</b>	<b>Descripción</b>
<i>SELECT</i>	Seleccionar cualquier función alternativa del interruptor rotativo.

<i>RANGE</i>	Seleccionar el intervalo de la entrada.
<i>STORE</i>	Guardar el valor de lo medido.
<i>RECALL</i>	Buscar el valor guardado.
<i>SETUP</i>	Pasar a una nueva selección.
<i>SEND</i>	Dar salida al dato.
<i>MAX/MIN</i>	Visualizar el máximo y el mínimo en la medición que se realiza.
<i>HOLD</i>	Mantener en pantalla el valor obtenido.
<i>EXIT</i>	Salir.

En la **Tabla 2. 2** se hace mención a algunas de las especificaciones básicas del equipo.

**Tabla 2. 2. Especificaciones del Multímetro Digital UT-804.**

<b>Función</b>	<b>Rango</b>
Voltaje DC	0 a 1000 V
Voltaje AC ( <i>rms</i> )	0 a 1000 V, 100 kHz (ancho de banda)
Tolerancia	Voltaje DC: 0,025% Corriente AC: 0,4%
Corriente DC	0 a 10 A (5~10 A por $\leq 10$ s)
Corriente AC ( <i>rms</i> )	0 a 10 A (5~10 A por $\leq 10$ s)
Resistencia	0 a 40 M $\Omega$
Capacitancia	0 a 40 mF
Frecuencia	0 ~ 400 MHz
Temperatura	-40 °C ~ 1000 °C

### **Osciloscopio Digital (AT-7328S)**

El Osciloscopio Digital AT7328S (*Atten Instruments*) es otro de los equipos electrónicos que es utilizado en el desarrollo de estos laboratorios, ya que forma parte de los instrumentos más importantes de medida que existen actualmente en el mundo de la electrónica. Este representa gráficamente las señales eléctricas que le llegan, las cuales pueden variar en el tiempo, pudiéndose observar en la pantalla muchas más características de la señal que las obtenidas con cualquier otro instrumento de medición [49].

Este instrumento cuenta con dos canales de medición, los cuales pueden trabajar de forma independiente o simultánea, es decir podemos observar en la pantalla las gráficas correspondientes a cada canal en un mismo eje de coordenadas, lo cual constituye una ventaja a la hora de realizar análisis entre dos señales a la vez. Ambos canales cuentan con dos tipos de controles en general, los cuales se utilizan como reguladores ajustando la señal de entrada, y permiten, consecuentemente, medir en la pantalla. El primer control regula el eje X (horizontal) y aprecia fracciones de tiempo (segundos, milisegundos, microsegundos). El segundo control regula el eje Y (vertical) controlando la tensión de entrada (V, mV,  $\mu$ V). Se debe aclarar que dichas escalas determinan el valor de las cuadrículas que dividen la pantalla, que mediante un simple cálculo nos permiten conocer el valor final de la señal a medir, tanto en tensión como en frecuencia.

Este equipo también incluye controles para el desplazamiento vertical y horizontal de la señal, así como un control para ajustar la intensidad y el foco de la señal en la pantalla, permitiendo una mejor visualización.

La importancia del osciloscopio está dada por la gran cantidad de actividades que se pueden realizar con este, a continuación se hacen referencias a algunas de ellas:

- Determinar directamente el período y el voltaje de una señal.
- Determinar indirectamente la frecuencia de una señal, aunque en este modelo se puede medir la frecuencia automáticamente.
- Determinar qué parte de la señal es DC y cuál es AC.
- Localizar averías en un circuito.
- Medir el desfase entre dos señales.

- Determinar qué parte de la señal es ruido y como varía este en el tiempo.

### Fuente DC Regulable (XJ17432L)

Constituye otro de los instrumentos que se emplean en la elaboración de las actividades prácticas. La Fuente DC Regulable XJ17432L, brinda la posibilidad de obtener distintos valores de voltajes y corrientes que son necesarios muchas veces para la alimentación de circuitos que se desean comprobar. Este equipo cuenta con dos canales, que pueden funcionar de manera independiente, en serie o en paralelo. Incluye un sistema de controles para cada canal, basados en potenciómetros, los cuales son los encargados de regular los valores de salida, ya sean de voltaje o corriente según sea necesario. Además, presenta dos *displays* que muestran el valor ajustado mediante los controles para cada canal [50].

En la **Tabla 2. 3** quedan, de manera resumida, las especificaciones básicas en cuanto a los rangos de salida que se pueden obtener de esta fuente regulable:

**Tabla 2. 3. Rangos de salida de voltajes y corrientes.**

Canales	Rangos de salida (voltaje-corriente)
CH1/CH2 (Independiente)	0~30 V / 0~6 A ; 0~60 V / 0~3 A
CH1/CH2 (Serie)	0~60 V / 0~6 A ; 0~120 V / 0~3 A
CH1/CH2 (Paralelo)	0~30 V / 0~12 A ; 0~60 V / 0~6 A
CH3	0~5 V / 3 A

### Generador de Funciones (XJ1633)

Un generador de funciones es muy necesario para el diseño de circuitos, por lo que su empleo en el desarrollo de las prácticas se hace necesario. Este generador nos permite obtener diferentes formas de onda, cuyas frecuencias y amplitudes son ajustables en un amplio rango [51].

Con este generador de funciones se pueden obtener a la salida ondas sinusoidales, triangulares y cuadradas. La frecuencia de estas ondas puede ser ajustada desde una

fracción de Hz hasta varios MHz. Este generador de funciones, específicamente trabaja en un rango de frecuencias de entre 0,2 Hz a 2 MHz. También cuenta con una función de barrido la cual puede ser controlada tanto internamente como externamente con un nivel de DC. El ciclo útil (*duty cycle*), el nivel de *offset* en DC, la razón y ancho del barrido y la amplitud de la señal, pueden ser controlados por el usuario mediante los controles que este incluye en su estructura.

Además, cuenta con un selector para escoger el tipo de función que se va a emplear, así como con un *display* que permite observar el valor del parámetro que se está ajustando.

### **2.2.2 Componentes electrónicas que se emplean.**

Los distintos dispositivos electrónicos que se utilizan en el montaje de las actividades prácticas se pueden dividir en dos grupos. En uno de estos se encuentran todos aquellos componentes propios de las diferentes herramientas computarizadas de ayuda al diseño que son utilizadas, y el otro grupo contiene aquellos componentes reales que se necesitan en algunos de los laboratorios, tales como resistores y capacitores de diferentes tipos y valores, transistores para distintos fines y de diferente polaridad (PNP y NPN), diodos, amplificadores operacionales presentes en circuitos integrados (TL084, TL082), así como diseños realizados de circuitos impresos.

### **2.2.3 Simuladores electrónicos.**

Para diseñar, analizar y comprobar el funcionamiento de los distintos circuitos que conforman estas prácticas no sólo existe la vía experimental de forma real, sino también la virtual. Es por eso que se hace necesario el empleo de diferentes paquetes computacionales diseñados para este fin, que permiten al estudiante interactuar con el diseño, de forma simulada, y por tanto adquirir mayores conocimientos para su vida como profesional en el campo de la electrónica.

Los paquetes de *software* que se utilizan son el Multisim 10.1, el Tina TI 7.0, el FilterPro 2.0, el LTspice 4.0 y el Ultiboard 10.1.

#### **Multisim 10.1**

Este es un *software* diseñado por *National Instruments Circuit Design Suite*. Constituye una herramienta ampliamente usada en el campo profesional, gracias a su potente entorno

interactivo. No requiere de un conocimiento amplio en simulación, ni una amplia experiencia en el uso de herramientas de este tipo. Con Multisim se realiza la captura, simulación y postprocesado de los distintos esquemas que sean diseñados, lo que elimina los altos costos de realizar el diseño en múltiples etapas repetitivas, asegurando la calidad del mismo.

Presenta innumerables ventajas en cuanto a otros programas. Es necesario destacar la facilidad de manejo que este presenta debido a que se puede trabajar en él de forma intuitiva, por su fácil presentación, mediante las diferentes simbologías. Proporciona varios instrumentos virtuales (multímetro, generador de funciones, osciloscopio, wattímetro, analizador de red, analizador de distorsión, entre otros) que se usan para medir la conducta de los circuitos. Se debe destacar que estos instrumentos se parecen a los que simplemente existen en un laboratorio de electrónica. Usando los instrumentos virtuales es la manera más fácil para examinar la conducta de un circuito y mostrar los resultados de una simulación sin necesidad de construir el circuito físicamente o usar los instrumentos reales.

El Multisim 10.1 incluye diferentes opciones de análisis de comportamiento de un circuito. Dentro de estas técnicas se encuentran: el análisis AC, que es usado para calcular la respuesta de frecuencia de circuitos lineales; el análisis transiente, empleado para calcular la respuesta del circuito en función del tiempo; el análisis de ruido, que calcula la contribución del ruido de cada componente al rendimiento del circuito; y el barrido paramétrico, que se emplea para obtener la respuesta del circuito en función de la variación de un parámetro cualquiera.

### **FilterPro 2.0**

El FilterPro es un *software* confeccionado por *Texas Instruments*, con el fin de diseñar filtros activos de una manera más rápida y eficaz. Este permite, una vez entrado los datos (frecuencia de corte, orden del filtro), calcular los valores automáticamente de los componentes del filtro (resistores y capacitores). Además, muestra gráficamente la respuesta de frecuencia (magnitud y fase) del mismo, lo que representa una ventaja en este tipo de diseño respecto a otros programas, ya que se puede emplear como una interfaz de cálculo, por ejemplo, se puede determinar rápidamente, mediante una prueba, cuántos polos se necesitan en un filtro determinado para darle solución a una situación dada [44].

En este *software* se pueden diseñar filtros de varios tipos de aproximaciones tales como *Butterworth*, *Chebyshev*, *Bessel*, entre otros, los cuales pueden ser paso bajo, paso alto, pasa banda, supresor de banda y *notch*. Además permite el diseño de los filtros con distintos tipos de arquitecturas como son la *MFB Single Ended*, *Sallen-Key* y la *MFB Fully Differential*. Otra ventaja del mismo es que posibilita diseñar filtros de hasta 10 polos, lo cual es un valor considerable, también permite cambiar la tolerancia comercial de los capacitores (E12, E24, E48, E96, E192) y resistores (E6, E12, E24) que intervienen en el diseño, lo cual es fundamental para su implementación práctica.

### **Tina TI 7.0**

Desarrollado por *Texas Instruments*, constituye un poderoso, económico y asequible paquete de *software* para la ayuda al diseño, el análisis y la comprobación en tiempo real de circuitos electrónicos, ya sean analógicos, digitales o mixtos, específicamente aquellos que incluyen en su diseño circuitos integrados. Este programa presenta características únicas para emplearse en el ambiente de entrenamiento, ya que incluye herramientas específicas para probar los conocimientos de los estudiantes, supervisando el progreso e introduciendo técnicas para la solución de problemas.

Entre los tipos de análisis de comportamiento que se pueden realizar con este simulador se pueden mencionar el análisis DC y AC, transiente, de Fourier, de ruido, de Monte Carlo, así como análisis del peor de los casos. También da la posibilidad de realizar simulaciones digitales, debido a que el programa presenta un rápido y poderoso simulador para este tipo de circuitos específicamente, que permite rastrear paso a paso el funcionamiento del diseño, tanto hacia delante como hacia atrás, y llevar a cabo el análisis lógico. Una ventaja que presenta este *software* es que puede ir más allá de la simulación, o sea, cuando el hardware suplementario del mismo se instala en la computadora, las herramientas poderosas de Tina pueden hacer las medidas en tiempo real en los circuitos reales y desplegar los resultados en sus instrumentos virtuales.

### **LTspice VI**

El LTspice VI constituye un programa desarrollado por *Linear Technology*, específicamente para la ayuda al diseño y el análisis del comportamiento de los diferentes sistemas que operan a altas frecuencias, como los reguladores conmutados, lo cual sería

imposible de realizar con otros simuladores comerciales existentes, o tardarían mucho tiempo las simulaciones.

Este *software* permite realizar la simulación de los distintos diseños especificando el tipo de análisis, entre los cuales están el análisis transiente, análisis de frecuencias o análisis AC, análisis de ruido, barrido DC, análisis del punto de operación y de la función de transferencia. Otra característica que presenta el LTspice IV es que permite obtener el reporte de eficiencia del esquema diseñado, mediante el cual se puede saber la potencia disipada por cada componente, así como el valor de la eficiencia del circuito expresada en por ciento (%). Con el uso de este software también se puede obtener el listado de los componentes electrónicos que se emplean en cualquier diseño, ofreciendo la posibilidad de cambiarlos por componentes reales utilizando los diferentes catálogos incluidos en el LTspice IV, lo cual resulta ventajoso a la hora de realizar un diseño, ya que las mediciones de voltajes y corrientes, así como las simulaciones del circuito darán una idea muy semejante al funcionamiento real del sistema [43], [45], [46].

### **Ultiboard 10.1**

El otro *software* empleado en el desarrollo de las diferentes actividades prácticas es el Ultiboard 10.1, implementado por *National Instruments*. Este proporciona una plataforma fácil e intuitiva para el diseño de circuitos impresos (*PCBs*). Ultiboard 10.1 ofrece funcionalidad automatizada para ganar en velocidad, así como técnicas manuales destinadas a alcanzar altos niveles de precisión. Mediante la integración completa de este *software* con el Multisim 10.1 se logra una perfección completa del *PCB*, utilizable para prototipos profesionales y académicos.

Entre las características que describen al Ultiboard 10.1 se encuentran las distintas herramientas de trazado, la colocación exacta y rápida de las componentes en la placa de cobre, así como la fácil exportación de los *Gerber Files*, estándar necesario para la fabricación industrial de prototipos. Además, incluye herramientas que facilitan el diseño tales como: la vista simultánea en 3D, la vista de pájaro, la creación de nuevos *footprints*, el empleo del plano de tierra, e incluye tecnologías de montaje superficial y hueco pasante, asociadas a una base de datos de *footprints* correspondientes a diferentes tipos de componentes.

## **2.3 Diseño de las actividades prácticas.**

El presente epígrafe abordará sobre aspectos que se tienen en cuenta en la confección de las actividades, así como la estructura general que tendrán las mismas.

### **2.3.1 Estructura general de las actividades prácticas.**

En cuanto a la estructura de los laboratorios, primeramente se debe tener en cuenta que la confección de estos es con fines educativos, ya que van a formar parte de manera complementaria en una de las asignaturas que conforman el programa de la carrera de Ingeniería Biomédica. Debido a todo esto, en la elaboración de cada actividad se tiene en cuenta cómo enfocar los distintos ejercicios hacia el estudiante, o sea, los laboratorios estarán compuestos por varios ejercicios con diferentes niveles de complejidad en orden ascendente, pero confeccionados de manera que si el estudiante sólo llega a completar un ejercicio o dos, este logre cumplir los objetivos del tema correspondiente a la práctica, quedando los demás ejercicios para que el estudiante profundice y obtenga mayores conocimientos.

Las actividades prácticas contarán con una estructura formada por un título, que será breve y específico en cuanto al contenido de la práctica y una introducción, en la que se orientará una preparación previa al estudiante de la técnica operatoria, así como del estudio de la bibliografía correspondiente al tema. Además, se incluye el objetivo a cumplir con la realización de la actividad, el cual es único y general; la presentación de los instrumentos y componentes a emplear, que debe ser detallada para permitir la preparación del laboratorio; la técnica operatoria a desarrollar por el estudiante, compuesta por los ejercicios propuestos, redactada de manera concreta y explícita; así como la orientación para la realización del informe, para entregar al profesor cuando este lo exija. En la **Figura 2. 1** se muestra un esquema que describe lo anterior.



Figura 2. 1. Esquema de la estructura general de las actividades prácticas.

### 2.3.2 Listado general de las actividades prácticas.

Las actividades prácticas que se desarrollan en este trabajo, incluyen 8 con herramientas de ayuda al diseño y la simulación, en el laboratorio de computadoras, y 4 laboratorios de montaje y medición con componentes reales, en el laboratorio de electrónica. Debe destacarse que, aunque aquí serán llamados laboratorios reales (LR) los que se efectuarán en el laboratorio de electrónica, y laboratorios simulados (LS), los que se efectuarán en el laboratorio de computadoras, pueden considerarse todos estrictamente como laboratorios reales, pues el objeto de estudio en el caso de los segundos, es precisamente los paquetes de ayuda al diseño y la simulación. No se trata aquí de sustituir el montaje de un circuito electrónico con componentes reales por uno con componentes simuladas, sino adquirir habilidades en el diseño asistido por computadora de circuitos electrónicos y de circuitos impresos.

En el Anexo de esta tesis, se incluyen en detalle las actividades prácticas, con toda la estructura especificada en 2.3.1. Aquí solo se listan los títulos de las prácticas, para ayudar a comprender el análisis de los resultados mostrado en el Capítulo 3, sin necesidad de leer todos los anexos.

#### Actividades prácticas reales:

LR1: Medición y verificación de componentes pasivas.

LR2: Circuitos prácticos con componentes activas (1).

LR3: Circuitos prácticos con componentes activas (2).

LR4: Análisis y comprobación de circuitos impresos.

Actividades prácticas simuladas:

LS1: Distribuidores de componentes pasivas.

LS2: Simulación de circuitos equivalentes.

LS3: Simulación de circuitos con componentes activas.

LS4: Distribuidores de componentes activas.

LS5: Diseño y simulación de fuentes (1).

LS6: Diseño y simulación de fuentes (2).

LS7: Diseño de circuitos impresos (1).

LS8: Diseño de circuitos impresos (2).

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En el presente capítulo se hace un análisis de las actividades prácticas sobre el empleo en cada una de ellas del equipamiento electrónico y las herramientas computarizadas de ayuda al diseño. También se darán a conocer algunas recomendaciones y comentarios de gran interés, que se deben tener en cuenta para una mejor realización de los laboratorios, y por tanto, para que haya un mayor aprovechamiento de los mismos por parte de los estudiantes. Para finalizar el capítulo, se expondrán algunos resultados basados en la realización de estos laboratorios por los estudiantes.

### 3.1 Análisis de las prácticas de laboratorios.

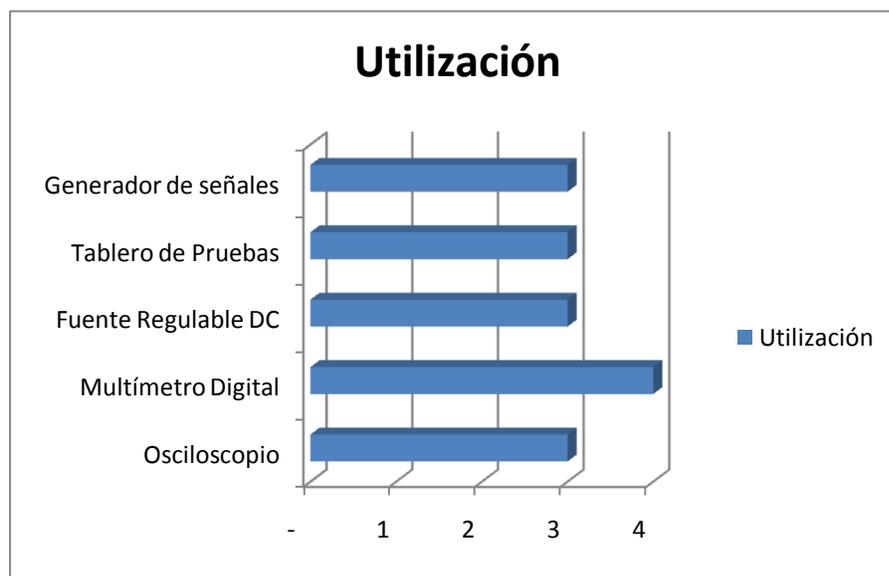
Uno de los aspectos que se analizarán dentro de este epígrafe es la utilización de los instrumentos electrónicos (osciloscopio, tablero de pruebas, fuente regulable DC, generador de señales y multímetro digital) disponibles en la facultad, para la realización de las diferentes actividades prácticas reales de la asignatura de Bioinstrumentación Avanzada. La **Tabla 3. 1** muestra la frecuencia de utilidad de estos equipos.

**Tabla 3. 1 Empleo de los equipos electrónicos en los laboratorios reales.**

<b>Instrumentos Electrónicos</b>	<b>Laboratorio Real 1</b>	<b>Laboratorio Real 2</b>	<b>Laboratorio Real 3</b>	<b>Laboratorio Real 4</b>
Osciloscopio	X	X	X	
Multímetro Digital	X	X	X	X
Fuente Regulable DC	X	X	X	

Tablero de Pruebas	X	X	X	
Generador de señales	X	X	X	

De la tabla anterior se obtiene el gráfico de la **Figura 3. 1**, donde queda mostrado de una manera más representativa la utilización de los instrumentos electrónicos en la puesta en práctica de los laboratorios reales. Analizando esta figura nos damos cuenta que el estudiante tiene una interacción continua con los distintos equipos utilizados en el campo de la electrónica, lo cual posibilita que estos aumenten las habilidades de trabajo con los mismos, adquiridas con anterioridad, en el transcurso de la carrera por medio de otras asignaturas. Este aspecto es de vital importancia, ya que el estudiante como futuro profesional de esta rama, se verá obligado a emplear estos instrumentos en distintas situaciones de su vida laboral, cumpliéndose así uno de los objetivos de la asignatura, y por ende de la carrera.



**Figura 3. 1. Utilización de las prácticas**

En la elaboración de las actividades prácticas de laboratorio fueron empleadas una serie de herramientas computarizadas de ayuda al diseño, las cuales se describieron brevemente en el capítulo 2. En la

**Tabla 3. 2** se muestra la distribución que tuvieron las mismas en los laboratorios.

Tabla 3. 2 Empleo de las herramientas de ayuda al diseño en los laboratorios.

Herramientas Computarizadas	LS1	LS2	LS3	LS4	LS5	LS6	LS7	LS8
Multisim 10.1		X					X	X
FilterPro 2.0			X					
Tina TI 7.0			X					
LTspice IV					X	X		
Ultiboard 10.1							X	X
Herramientas Automatizadas de Fabricantes y Suministradores	X			X				

A continuación se muestra un gráfico que ilustra de manera más detallada la información ofrecida por la tabla anterior.

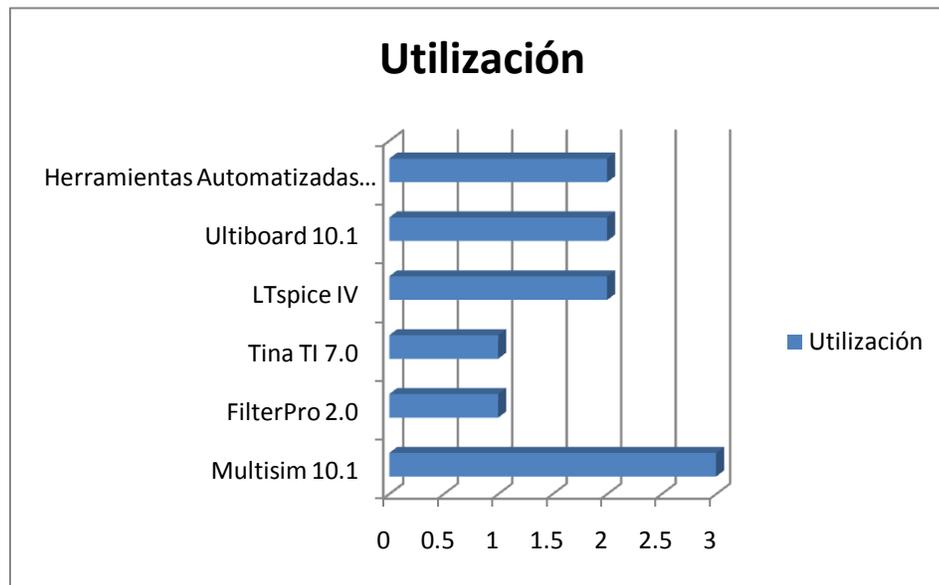


Figura 3. 2 Cantidad de veces que se emplean los simuladores.

Analizando el gráfico anterior, se puede observar que los distintos simuladores son utilizados con poca frecuencia, esto se debe a que cada tema relacionado con las prácticas

fue asociado a un *software* específico, con el objetivo de que los estudiantes aprendan a trabajar con otras herramientas y se den cuenta que existe una gran variedad de estas, en las cuales pueden apoyarse para diseñar y comprobar el funcionamiento de cualquier circuito.

### **3.2 Comentarios y recomendaciones de las prácticas de laboratorios.**

Existen algunos problemas que conllevan a que las actividades prácticas no se lleven a cabo con el grado de satisfacción y calidad que se pretende, e impiden que el estudiante pueda sacar un mayor provecho de cada laboratorio.

Uno de estos inconvenientes es el problema presentado con las computadoras que existen actualmente en el laboratorio de estudiantes 106, debido a que estas no cuentan con los requerimientos óptimos de *hardware* para trabajar con los distintos simuladores a pesar de que los aquí seleccionados corren aceptablemente en las máquinas disponibles en este momento. La mayor afectación es por la limitada capacidad instalada de memoria *RAM*, la que debiera tratar de incrementarse en el futuro.

Otro problema, pero en este caso asociado a las prácticas reales, que se presenta a menudo a la hora de llevar a cabo la técnica operatoria correspondiente, es la rotura o mala calibración de los distintos equipos electrónicos que serán empleados, cuya situación ocasiona pérdidas de tiempo y que constituye un factor negativo hacia el estudiante. Para tratar de eliminar esta dificultad se recomienda realizar una revisión detallada, por parte del técnico de laboratorio, de cada uno de los equipos que se utilizarán, y de ser posible confeccionar de forma casera un conjunto de destornilladores que serían repartidos por puestos de trabajo, con fines de que el propio estudiante realice la calibración del instrumento en caso necesario.

También hay otros aspectos secundarios, que influyen negativamente en la calidad de la ejecución de las prácticas de laboratorio. Ejemplo de esto es la falta de preparación previa por parte de los estudiantes acerca de la práctica a realizar. Para evitar esto se recomienda que el profesor oriente un estudio previo de la actividad práctica que se realizará (incluyendo la bibliografía relacionada al tema del laboratorio), y que se realicen evaluaciones que dependan directamente de este estudio, y que las mismas se tengan en cuenta en la evaluación final de la asignatura.

Otra dificultad presentada a la hora de la realización de los laboratorios es la poca experiencia de trabajo que tienen algunos estudiantes con los diferentes instrumentos electrónicos, lo cual trae como resultado que estos no puedan terminar la técnica operatoria correspondiente en el tiempo establecido. Con el fin de eliminar esto se recomienda habilitar un tiempo de laboratorio, en donde el estudiante pueda practicar y adquirir mayores habilidades con los equipos, así como terminar si lo desea, aquellos ejercicios que no logró resolver durante la clase.

### **3.3 Resultados de la utilización de las prácticas de laboratorios.**

Empleando como base la realización de las actividades prácticas por estudiantes de quinto año de la carrera de Ingeniería Biomédica (22 estudiantes), se pudieron obtener resultados relacionados con el nivel de complejidad de cada práctica entre los propios estudiantes, y el tiempo promedio que demoran en completar el laboratorio, demostrándose así la utilidad que presentan estas actividades para el aprendizaje. Se debe aclarar que las prácticas que fueron desarrolladas por este grupo de estudiantes estuvieron sujetas a cambios durante la elaboración de esta tesis, en busca de mejorar su contenido y estructura.

Analizando de manera general las distintas dificultades presentadas por los estudiantes en los laboratorios, se obtuvo como conclusión que todos cumplen con el nivel inferior de complejidad de los ejercicios, aproximadamente la mitad del grupo o un poco más en algunas ocasiones logran vencer el nivel medio, y apenas 4 o 5 estudiantes completan la técnica operatoria correspondiente, llegando al nivel superior. La **Figura 3. 3** y la **Figura 3. 4** muestran de una forma más representativa lo comentado anteriormente en cuanto a los laboratorios reales y simulados respectivamente.

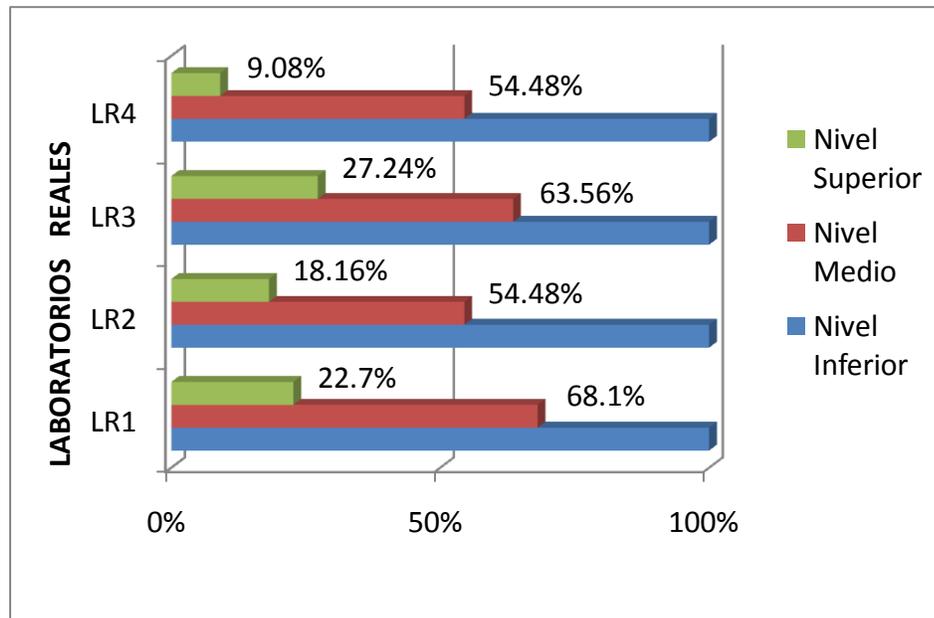


Figura 3. 3 Nivel de complejidad presentado en los laboratorios reales.

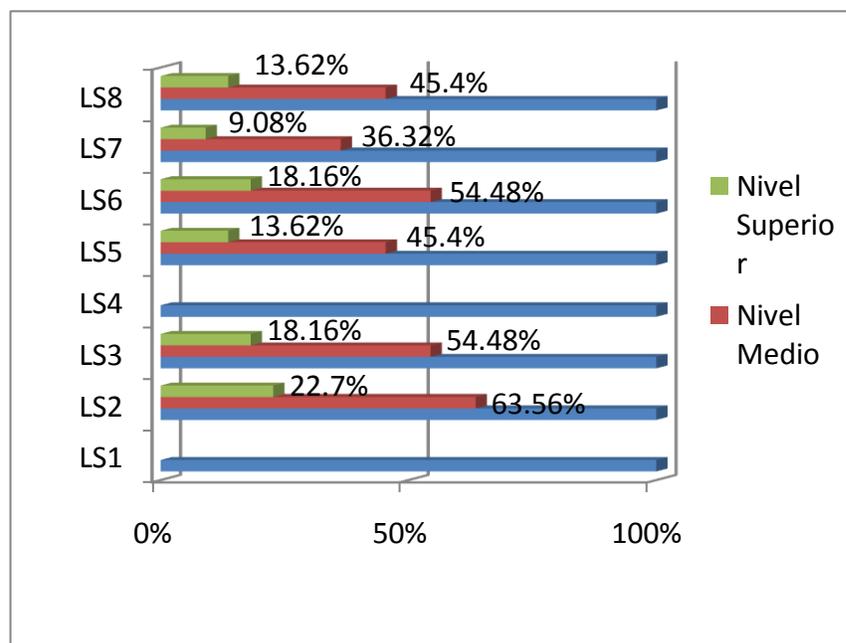


Figura 3. 4 Nivel de complejidad presentado en los laboratorios simulados.

En cuanto al tiempo empleado en la realización de los ejercicios, se pudo observar que está dado por la propia complejidad de estos, unida a las habilidades y conocimientos que poseen los estudiantes.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Con la realización de la tesis quedaron confeccionadas las actividades prácticas de laboratorios reales y simulados para la asignatura de Bioinstrumentación Avanzada en la carrera de Ingeniería Biomédica en la UCLV.
- El contenido de las actividades prácticas correspondiente a cada tema cumple con los requerimientos de aprendizaje de los estudiantes para su preparación como futuros profesionales.
- El balance de actividades prácticas dentro de la asignatura Bioinstrumentación Avanzada resulta muy favorable para la obtención de habilidades.

El folleto elaborado con los detalles de las actividades prácticas, basado en recursos disponibles (instrumentos, equipos, componentes, computadoras, paquetes de software), debe resultar de gran ayuda para la impartición de la asignatura.

### Recomendaciones

- Publicar el folleto confeccionado, en el que quedan plasmadas las actividades prácticas de laboratorios diseñadas en la tesis, el cual servirá para facilitar el trabajo del profesor, así como el estudio de los estudiantes.
- Realizar una reproducción de este folleto y ubicarlo en la biblioteca de la facultad para que el estudiante pueda revizarlos antes de la clase correspondiente.
- Colocar una edición digital del folleto en la Plataforma Moodle donde el estudiante pueda acceder al mismo.

- 
- Exigir preparación previa (pudiendo comprobar con una pregunta de entrada), e informe al final del laboratorio. Tener en cuenta las evaluaciones realizadas en el desarrollo de cada actividad práctica para la nota final de la asignatura.
  - Crear condiciones para el estudio independiente de los estudiantes en los laboratorios reales, montando sus propios circuitos en tiempo extra.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Webster, John. G., (August 2003). **Bioinstrumentation**, University of Wisconsin. ISBN: 978-0-471-26327-2.
- [2] Rodríguez, E., (2003). **Enseñanza de la Ingeniería Biomédica en Cuba**. Departamento de Bioingeniería, ISPJAE, La Habana, Cuba.
- [3] Navarro, Rafael Barea., (2002). **Introducción y conceptos básicos de la instrumentación biomédica**. Departamento de Electrónica. Universidad de Alcalá.
- [4] **Enabling the Next Generation of Medical Instrumentation**. Analog Devices. Available at <http://www.analog.com>, consultado en mayo de 2011.
- [5] Guler, Nihal Fatma.; Ubeyli, Elif Derya., (April 2002). **Theory and Applications of Biotelemetry**. Journal of Medical Systems, Vol. 26 No. 2, pp.159.
- [6] Marcano, Ruth.; Gómez, Liris.; Miranda, Pablo; Medina, Rubén; Nuñez, Luis. (Octubre 2009). **La Telemedicina en Venezuela: Una Revisión**. Available at <http://www.cecalc.ula.ve>, consultado en mayo de 2011.
- [7] Perlaza, Samir Medina.; Perdomo, Laura Sandino., (2000), **Laboratorio de instrumentación básica. Tipos de resistencias**. Pp.1-4, Available at <http://www.monografias.com>.
- [8] Catsoulis, John. (May 2005). **Designing Embedded Hardware**, 2nd Edition.
- [9] Pallás, Ramón –Areny; Webster. (1999). **Analog Signal Processing**, Publisher: Wiley-IEEE. ISBN - 9814126969
- [10] Ott, Henry W. (1988). **Noise Reduction Techniques in Electronic Systems** 2<sup>nd</sup> Edition, Ed. New York: John Wiley and Sons.

- [11] Grant, Doug; Scott, Wurcer. **Avoiding Passive-Component Pitfalls**. Analog Devices Application Note AN-348, (1995).
- [12] López, Francisco Aguilar. **Resistencias: Clasificación de resistencias**. Available at [http://www.lcardaba.com/articles/R\\_tipos/R\\_t](http://www.lcardaba.com/articles/R_tipos/R_t), consultado en mayo del 2011.
- [13] Chan, Shu-Park, (2000). **The Electrical Engineering Handbook**.
- [14] Bryant, James; Jung, Walt; Kester, Walt. (2005). **The Data Conversion Handbook. Chapter 9: Hardware Design Techniques**. Pp. 1-126. Elsevier-Newnes.
- [15] Hernik, Yuval. (April 2010). **Component Selection and Layout Strategies for Avoiding Thermal EMF Noise**.
- [16] Webster, John G. (2004). **Electrical Measurement Signal Processing and Displays**.
- [17] Hendrick, Tom. (August 2000). **Reducing PCB design cost: From schematic capture to PCB layout**.
- [18] Carter, Bruce. (2001). **Op Amps for Everyone. Chapter 17: Circuit Board Layout Techniques**. Texas Instruments.
- [19] Ardizzoni, John; Falls, Denis. (September 2005). **A Practical Guide to High-Speed Printed-Circuit-Board Layout**. Analog Devices.
- [20] Brokaw, Paul; Barrow, Jeff. (1984). **Grounding for Low- and High- Frequency Circuits**. Analog Devices Application Note AN-345.
- [21] Ardizzoni, John, (May 2005). **Keep High-Speed Circuit-Board Layout on Track**. EE Times.
- [22] Brokaw, Paul. (2009). **An IC Amplifier User's Guide to Decoupling, Grounding, and Making Things Go Right for a Change**. Analog Devices Application Note AN-202.
- [23] Fabian Kung Wai Lee, (August 2008). **Open notes on High-Speed Printed Circuit Board (PCB) Design**. Available at <http://persona.mmu.edu.my/~wllkung/ADS/ads.htm>.
- [24] Sean Mercer, (January 1999). **Minimizing RF PCB Electromagnetic Emissions. RF Design**.
- [25] Jung Walt, (2005). **OP Amp Applications Handbook**. Elsevier-Newnes.

- [26] Jones, David L., (June 2004). **PCB Design Tutorial**.
- [27] Carter, Bruce. (August 2000). **The PCB is a component of op amp design**.
- [28] Walsin Technology Corporation, (2002). **Surface Mounted Technology Notes**. Available at <http://www.passivecomponent.com>.
- [29] Simpson, Chester. (2006). **Linear and Switching Voltage Regulator Fundamentals**.
- [30] Simpson, Chester. (May 2000). **Linear Regulators: Theory of Operation and Compensation**. National Semiconductor Application Note 1148.
- [31] National Semiconductor, (September 2002). **Introduction to Power Supplies**. Application Note 556.
- [32] Texas Instruments, (2008). **Power Management Guide**.
- [33] Linear Technology Corporation, (2007). **Power Management for Portable Products: High Performance Analog ICs**. Available at <http://www.linear.com>.
- [34] Nachez, Antonio. (2003). **Aplicaciones de la conversión CC-CC. Fuentes Conmutadas**. Universidad Nacional de Rosario, Argentina.
- [35] García, Jose Luis Ola. (2000). **Conmutación de corriente continua-corriente continua en fuentes conmutadas**. Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Landívar. Boletín Electrónico No. 03.
- [36] Counsil, Joseph A. (August 2000). **Switching Power Supply Tutorial**.
- [37] Texas Instruments, (2008). **Signal Chain and Power Management Featured Product Guide**. Available at <http://www.ti.com>.
- [38] Linear Technology Corporation, (2006). **Solutions for 1 or 2 Cell Alkaline and Nickel Powered Handhelds**, Linear Technology Chronicle, Vol. 15 No. 1.
- [39] Maxim Integrated Products, (November 2001). **DC-DC Converter Tutorial**, Application Note 2031. Available at <http://www.maxim-ic.com/an2031>.
- [40] L.Haachitaba Mweene. (2002) **Best Layout Practices for Switching Power Supplies**. Power designers No. 114. Available at <http://www.powernational.com>.
- [41] Malvino, Albert; Bates, David J. (2007). **Principios de Electrónica**. 7ma Edición.

- [42] Méndez, Alfonso. (Febrero 2010). **Técnica de Laboratorio: Diseño de circuitos impresos**. Universidad Politécnica de Catalunya.
- [43] Join LTspice User's Group. (2008) **Switcher CAD III/LTspice Getting Started Guide**.
- [44] Bishop, John; Trump, Bruce; R. Mark Stitt. (November 2001). **FilterPro MFB and Sallen-Key Low-Pass Filter Design Program**. Application Report. Texas Instruments.
- [45] Zacchigna, Federico G. (2011). **Tutorial Rápido de LTspice**, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. Available at <http://www.fi.uba.ar/materias/6625>, consultado en mayo de 2011.
- [46] Fernández García, José Manuel. (2010). **LTspice IV**, Centro de Formación Profesional Revillagigedo.
- [47] Sun Equipment (Shanghai) Corporation, (2007). **Instruction Manual DAC-457000 Digital and Analog Circuit Lab**.
- [48] Uni-Trend Technology, (2006). **Operating Manual Digital Multimeter UT-804**. Available at <http://www.uni-trend.com>.
- [49] Atten Instruments Corporation, (2006). **Operating Manual Oscilloscope AT-7328S**.
- [50] **Instruction Manual Laboratory DC Power Supply XJ17432L**, (2004).
- [51] **Operating Manual Function Generator XJ1633**, (2004).

**ANEXOS****Anexo I Distribución de la asignatura Bioinstrumentación Avanzada.**

<b>Temas</b>	<b>Conferencia</b>	<b>CP</b>	<b>Laboratorios 106</b>	<b>Laboratorios 308</b>
<b>Componentes Pasivas</b>	2	2	2	1
<b>Componentes Activas</b>	2	2	2	2
<b>Fuentes Integradas</b>	2	1	2	-
<b>Circuitos Impresos y Ruidos</b>	2	1	2	1
<b>Total</b>	8	6	8	4

La asignatura tiene un total de 64 h clases, de las cuales 24 h son de laboratorios. Nota: faltan 4 seminarios y 3 evaluaciones parciales.

## Anexo II Distribución de Contenidos por semanas y formas de docencia.

Semana	Contenido	Actividades
1.	Introducción a la asignatura. Componentes Pasivas. Componentes Pasivas. Selección de R, C, L. Selección de R, C, L (1).	C1 C2 CP1
2.	<b>Distribuidores de componentes pasivas: Digi-key y Farnell.</b> Selección de R, C, L (2). <b>Modelos de comportamiento de componentes pasivas.</b>	LS1 CP2 LS2
3.	<b>Medición y verificación de componentes pasivas.</b> Componentes activas. Amplificadores operacionales. Componentes activas. Amplificadores de instrumentación y aislamiento.	LR1 C3 C4
4.	Selección y uso de componentes pasivas. Selección y uso de amplificadores operacionales. Selección y uso de amplificadores de instrumentación y aislamiento.	Ev1 CP3 CP4
5.	<b>Simulación de circuitos con componentes activas.</b> <b>Circuitos prácticos con componentes activas (1).</b> <b>Circuitos prácticos con componentes activas (2).</b>	LS3 LR2 LR3
6.	<b>Distribuidores de componentes activas: Digi-key y Farnell.</b> Fuentes de alimentación en bioinstrumentación (1). Fuentes de alimentación en bioinstrumentación (2).	LS4 C5 C6
7.	<b>Diseño y simulación de fuentes (1).</b> <b>Diseño y simulación de fuentes (2).</b> Selección y uso de componentes activas.	LS5 LS6 Ev2
8.	Selección de fuentes de alimentación. Circuitos impresos (1). Circuitos impresos (2).	CP5 C7 C8
9.	<b>Análisis y comprobación de circuitos impresos.</b> <b>Diseño de circuitos impresos con Ultiboard (1).</b> Diseño de circuitos impresos.	LR4 LS7 CP6
10.	<b>Diseño de circuitos impresos con Ultiboard (2).</b> Diseño de circuitos impresos.	LS8 Ev3
11.	Estudios de casos 1. Estudios de casos 2.	S1 S2
12.	Estudios de casos 3. Estudios de casos 4.	S3 S4

### **Anexo III    Actividades Prácticas Reales**

#### **Bioinstrumentación Avanzada**

#### **Laboratorio Real # 1**

#### **Título: Medición y verificación de componentes pasivas.**

#### **Objetivos:**

- Medir y leer resistores y capacitores.

#### **Introducción:**

El estudiante debe estudiar Capítulo 4 Electronic 101: Resistor, Capacitor e Inductor. pp. 73-88 de “*Designing Embedded Hardware*” (John Catsoulis); pp. 41-56, 150, 151, 155-173, 177-195 y 214-216 de “*Materiales y Componentes Electrónicos*” (Amado García y Diego Romoleroux, Editorial Pueblo y Educación) correspondientes al tema de Resistores Capítulo 3 y al tema de Condensadores Capítulo 4 respectivamente. Otra bibliografía para el estudio es “*The Electrical Engineering Handbook*” (Chan, Shu Park), el tema “Componentes Pasivas”. También debe tener conocimiento de cómo medir desfasaje empleando el osciloscopio mediante las figuras de Lissajous, para esto puede revisar “*Electrical Measurement Signal Processing and Displays*” (John Webster), el capítulo 5 “*Phase Measurement*”.

#### **Instrumentos y materiales:**

- Multímetro Digital UT – 804.
- Tablero de pruebas y conectores.
- Conjunto de resistores diferentes.
- Conjunto de capacitores (WV de 6 V a 25 V).
- Osciloscopio con accesorios.

#### **Técnica Operatoria:**

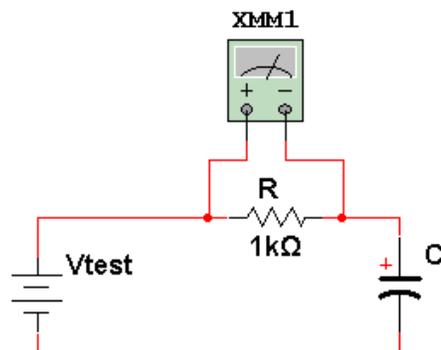
1. De la muestra de resistores dados:
  - a) Identifique el tipo de cada resistor y lea los datos que especifica el fabricante (valor nominal, tolerancia y potencia).
  - b) Mida todos los resistores con el multímetro digital UT – 804 y complete la Tabla 1. Verifique el ajuste a cero del multímetro cortocircuitando las puntas.
  
2. De la muestra de capacitores dados:
  - a) Identifique el tipo de cada capacitor y lea los datos que especifica el fabricante (valor nominal, tolerancia y voltaje de trabajo).
  - b) Mida todos los capacitores con el multímetro digital UT – 804 y complete la Tabla 2.

3. Emplee los resultados obtenidos en el Ejercicio 2 para medir corriente de fuga en los distintos capacitores.

a) Mida directamente la corriente de fuga de los capacitores electrolíticos de la muestra dada utilizando el circuito dado a continuación donde el valor de  $R$  ( $R = 1 \text{ k}\Omega$ ) es conocido. Comente los resultados obtenidos.

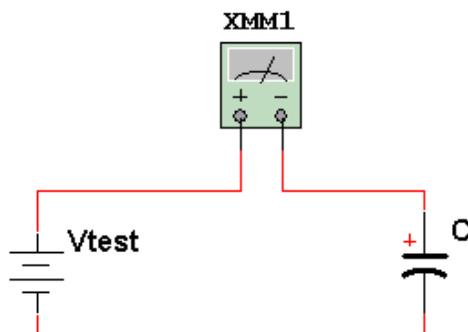
**Nota:** Tenga en cuenta que la corriente de fuga en capacitores electrolíticos de voltaje de trabajo (WV) igual o mayor de 300 V es aceptable hasta un valor de 0,5 mA, para valores de WV de 100 V a 300 V esta debe ser de 0,2 mA y para WV menores de 100 V la corriente de fuga debe ser menor que 0,1 mA, siendo este nuestro caso.

- Al voltaje de trabajo ( $V_{test} = WV$ ).
- A un 60 % del voltaje de trabajo ( $V_{test} = 0,6 WV$ ).
- A un 10 % por encima del voltaje de trabajo ( $V_{test} = 1,1 WV$ ).



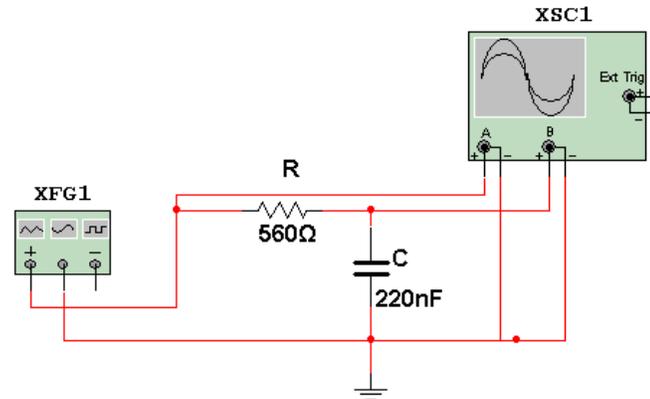
b) Mida la resistencia de aislamiento ( $R_a$ ) de los capacitores no electrolíticos de la muestra dada, mediante el circuito dado a continuación, donde la resistencia interna del multímetro es conocida ( $R_v = 2,5 \text{ G}\Omega$ ). Comente los resultados obtenidos.

**Nota:** Tenga en cuenta que se puede considerar que el capacitor está en buen estado cuando la  $R_a$  es del orden de 100 MΩ o mayor

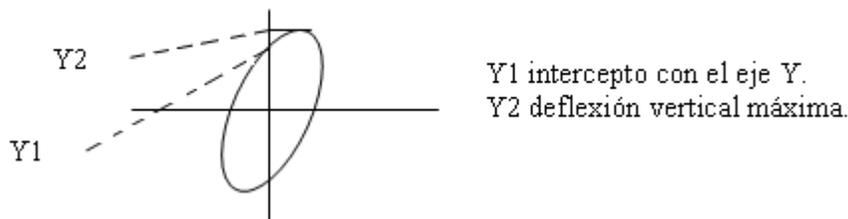


$$R_a = R_v \times \frac{V_{test} - V_m}{V_m}$$

4. Realice el montaje del siguiente circuito, el cual representa una red RC.



- Obtenga con el generador de funciones una señal de 10 Vpp y 1 kHz. Visualícela en el osciloscopio por **CH1**.
- Obtenga por **CH2** la señal de **CH1** desfasada debido al efecto del filtro pasobajo RC. Seleccione la posición **CHOP** o **ALT** para observar los dos canales a la vez. Observe que la fuente de disparo **SOURCE** no puede ser **CH1/ CH2** (debe ser **CH1** o **CH2**) porque si no, no se observa el desfasaje relativo.
- Verifique la expresión del desfasaje  $\theta = \arctan(f/f_c)$ , donde  $f_c = 1/(2\pi RC)$ .
- Obtenga el desfasaje  $\theta$  mediante las figuras de Lissajous, donde  $\theta = \arcsen(Y_1/Y_2)$  y compruebe el resultado del inciso anterior.



- Repita los incisos c) y d) para distintos valores de  $f$ , según la Tabla 3. Comente los resultados obtenidos.

**Tabla 1**

Tipo de Resistor	Valor Nominal	Valor Real	Tolerancia	Potencia

**Tabla 2**

Tipo de Capacitor	Valor Nominal	Valor Real	Tolerancia	Voltaje de trabajo (WV)

**Tabla 3**

Frecuencia	1 kHz	3 kHz	5 kHz	8 kHz	10 kHz
Desfasaje $\theta$ c)					
Desfasaje $\theta$ d)					

Orientación para el Informe:

El informe a entregar al profesor debe incluir todas las tablas que resuman cada uno de los pasos de la Técnica Operatoria, así como la discusión de los resultados.

## Bioinstrumentación Avanzada

### Laboratorio Real # 2

#### Título: Circuitos prácticos con componentes activos (I).

#### Objetivos:

- Diseñar y montar de forma real circuitos prácticos empleando componentes activos.

#### Introducción:

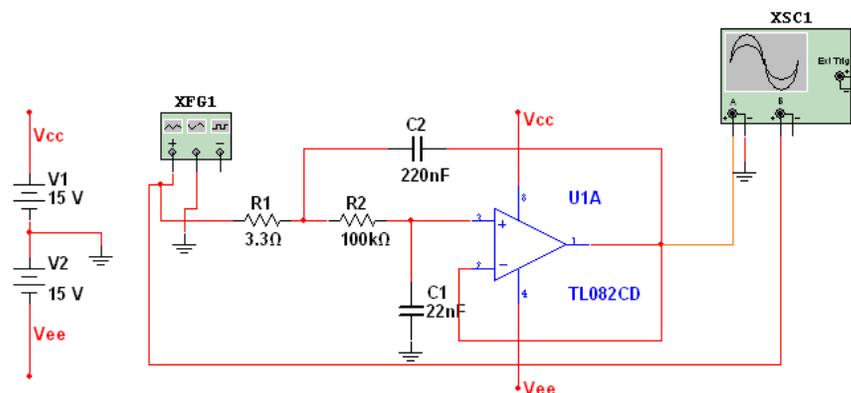
El estudiante como preparación previa a esta práctica de laboratorio debe estudiar la bibliografía “Principios de Electrónica” (Albert Malvino), capítulo 21 “Filtros Activos” pp. 740. También puede revisar otros materiales que aborden sobre este tema.

#### Instrumentos y materiales:

- Multímetro Digital UT – 804.
- Tablero de pruebas y conectores.
- Osciloscopio con accesorios.
- Generador de funciones.
- 1 circuito integrado TL082.
- 1 resistor de 3,3 k $\Omega$ , 16 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$ .
- 1 capacitor de 220 nF, 22 nF.
- 2 resistores de 30 k $\Omega$
- 2 capacitores de 100 nF.

#### Técnica Operatoria:

- 1) El circuito muestra un filtro activo *antialiasing* de segundo orden, diseñado para una frecuencia de corte de 100 Hz.

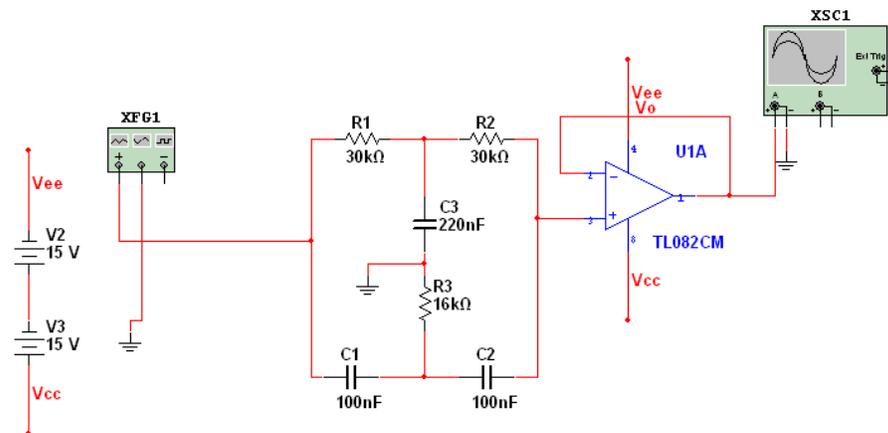


- a) Construya el circuito de la figura.
- b) Empleando el generador de funciones ajustado para producir una senoide de 5 Vp-p para simular la señal de entrada del filtro realice un corrido de frecuencias

para obtener la respuesta del filtro y complete la siguiente tabla. Observe como se atenúa la señal a partir del valor de la frecuencia de corte.

<b>Frecuencia</b>	80 Hz	100 Hz	120 Hz	150 Hz	200 Hz	250 Hz
<b>Amplitud</b>						

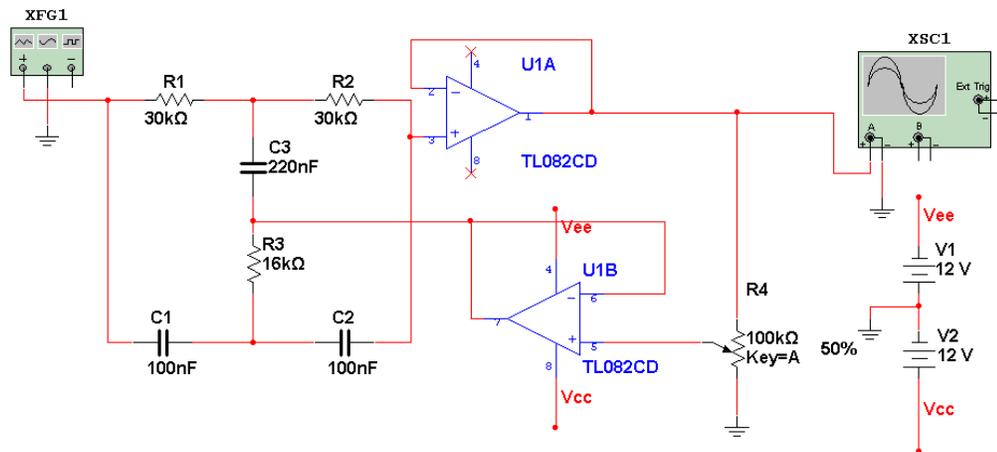
- c) Obtenga la respuesta de frecuencia del filtro ante un paso, para esto emplee una onda cuadrada a la entrada, varíe el *duty cycle* y la frecuencia de la misma para obtener el tiempo de subida y bajada.
  - d) Obtenga la respuesta impulsiva del filtro, mediante una onda cuadrada con un *duty cycle* muy pequeño y un período alto.
- 2) El circuito que se muestra a continuación describe un filtro activo notch *Twin-T*.



- a) Monte el circuito.
- b) Ajuste el generador de funciones y obtenga una señal de entrada de 5 Vp-p. Obtenga la respuesta del filtro mediante un corrido de frecuencia y complete la tabla.

<b>Frecuencia</b>	40 Hz	50 Hz	60 Hz	80 Hz	100 Hz	200 Hz
<b>Amplitud</b>						

- 3) El circuito muestra un filtro activo notch *Twin-T* con factor de calidad  $Q$  ajustable mediante el potenciómetro  $R_4$ .



- Monte el circuito empleando la configuración del ejercicio anterior como base.
- Obtenga la respuesta del filtro para diferentes valores de  $R_4$  y complete la tabla.

Frecuencia	40 Hz	50 Hz	60 Hz	80 Hz	100 Hz
Amplitud (0,2 $R_4$ )					
Amplitud (0,3 $R_4$ )					
Amplitud (0,4 $R_4$ )					
Amplitud (0,5 $R_4$ )					
Amplitud (0,6 $R_4$ )					
Amplitud (0,7 $R_4$ )					

### Orientación para el Informe:

Debe contener los resultados de la técnica operatoria completando las tablas, las conclusiones parciales de cada ejercicio y conclusiones generales del laboratorio.

## **Bioinstrumentación Avanzada**

### **Laboratorio Real # 3**

#### **Título: Circuitos prácticos con componentes activas (II).**

#### Objetivo:

- Diseñar y montar circuitos prácticos empleando componentes activas.

#### Introducción:

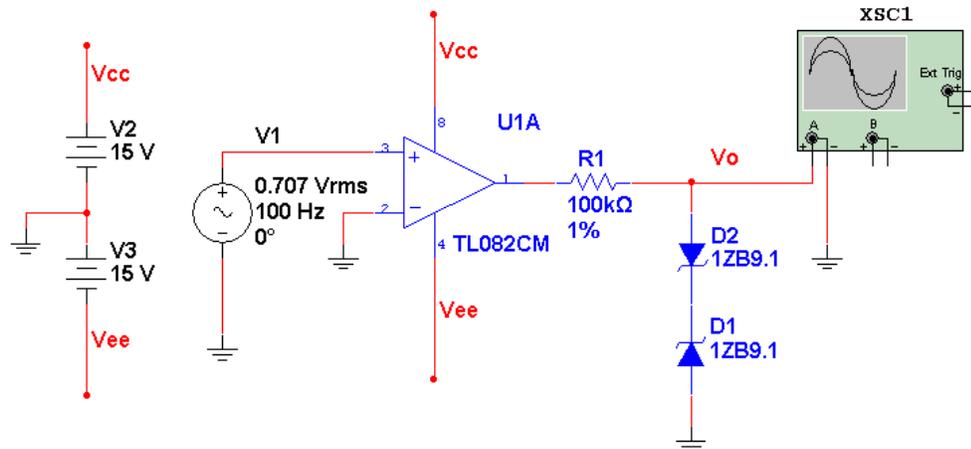
El estudiante como preparación previa a la práctica, debe realizar un estudio de la bibliografía *Microelectrónica* (Jacob Millman), el capítulo 17 correspondiente al tema de “Generación y conformación de ondas”, pp. 618-635, para lograr una mejor comprensión y realización de la técnica operatoria.

#### Instrumentos y materiales:

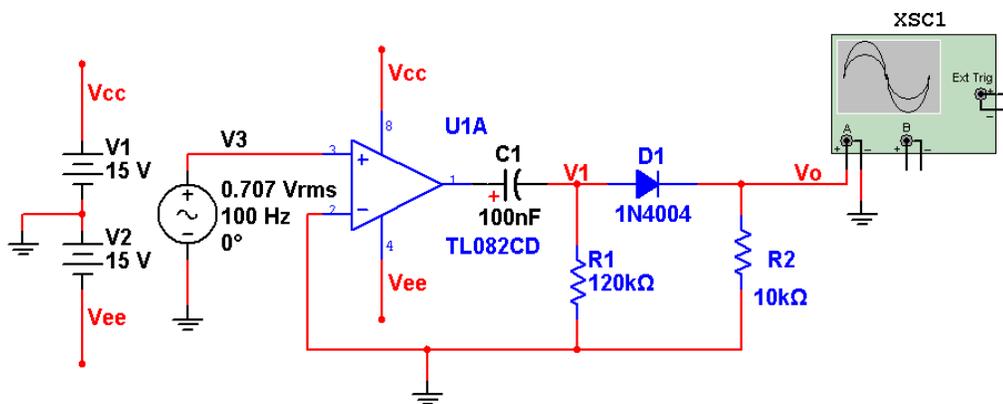
- Generador de funciones.
- Osciloscopio con dos puntas.
- Tablero de prueba con conectores.
- Fuente variable DC.
- Multímetro digital UT-804.
- Circuito integrado TL082.
- 2 diodos zener de 9,1 V.
- 2 diodos 1N4004.
- 1 resistor de 100 k $\Omega$ , 120 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 220  $\Omega$ , 4,7 k $\Omega$ , 68 k $\Omega$ .
- 2 resistores de 2,2 k $\Omega$ .
- 1 capacitor de 100 nF.

#### Técnica Operatoria:

- 1) El circuito muestra un comparador en cascada con una combinación de resistencia y diodo zener, el cual se emplea para transformar una señal de variación lenta en el tiempo a otra de cambio brusco.

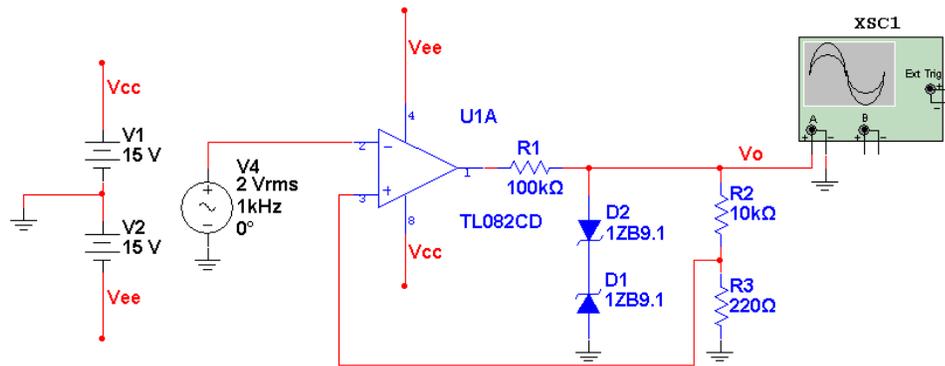


- a) Monte el circuito.
  - b) Con ayuda del osciloscopio ajuste el generador de funciones para obtener una señal sinusoidal de 1 Vp-p y 100 Hz para suministrar la entrada no inversora del comparador. Obtenga la forma de onda a la salida  $V_0$ .
  - c) ¿A qué se debe que el voltaje de salida  $V_0$  no se corresponda con el voltaje zener de los diodos?
- 2) El circuito representa un detector de cruce por cero, donde la secuencia de impulsos está dada por la constante de tiempo  $R_1C_1$ , reducida en cascada con un diodo limitador.

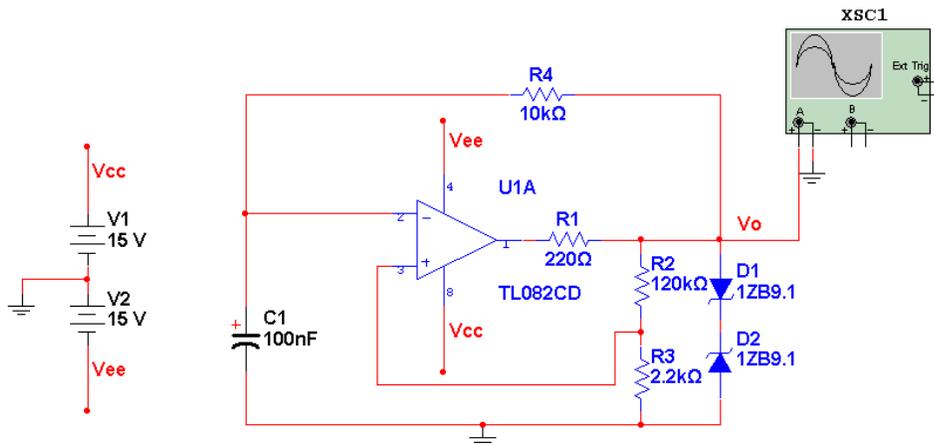


- a) Monte el circuito.
- b) Obtenga las formas de ondas a la salida del comparador, así como de  $V_0$  y  $V_1$ .
- c) Invierta el sentido del diodo y muestre la salida  $V_0$ .

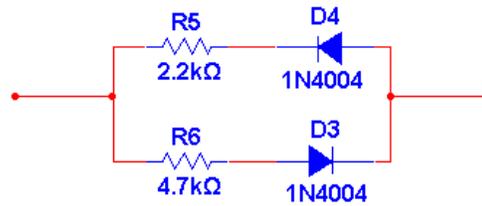
- 3) A continuación se muestra el circuito de un comparador regenerativo (*Schmitt Trigger*).



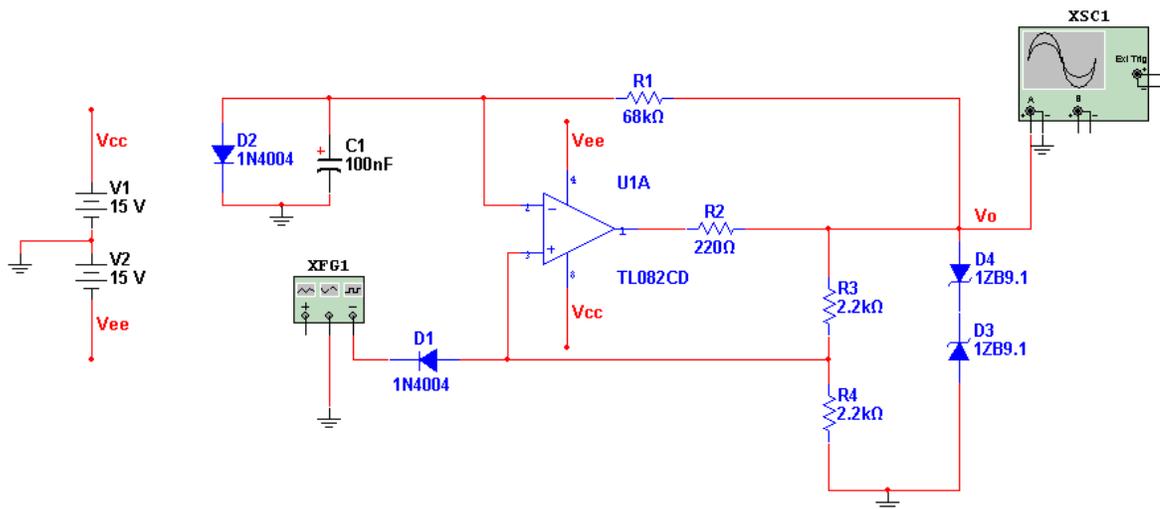
- Monte el circuito.
  - Con ayuda del osciloscopio mida la histéresis que presenta el circuito.
  - Sustituya la tierra de  $R_3$  por un voltaje de referencia  $V_R$  de 1 V, y mida nuevamente la histéresis del circuito.
- 4) El siguiente circuito corresponde a un generador de onda cuadrada (multivibrador astable).



- Monte el circuito y obtenga la forma de onda a la salida  $V_0$ .
- Sustituya el resistor  $R_4$  por la red dada a continuación intercambiando los valores de resistencia y muestre la forma de onda a la salida  $V_0$ . Comente los resultados.



- 5) El circuito muestra un multivibrador estable el cual es disparado por un impulso obtenido a partir de una onda cuadrada con un *duty cycle* muy pequeño y un período grande empleando el generador de funciones.



- Monte el circuito.
- Obtenga la forma de onda a la salida  $V_o$  y compruebe el funcionamiento del circuito. Comente los resultados.

#### Orientación para el Informe:

Debe contener los resultados de la técnica operatoria completando las tablas, las conclusiones parciales de cada ejercicio y conclusiones generales del laboratorio.

## Bioinstrumentación Avanzada

### Laboratorio Real # 4

#### Título: Análisis y comprobación de circuitos integrados.

#### Objetivos:

- Analizar y diseñar circuitos impresos.

#### Introducción:

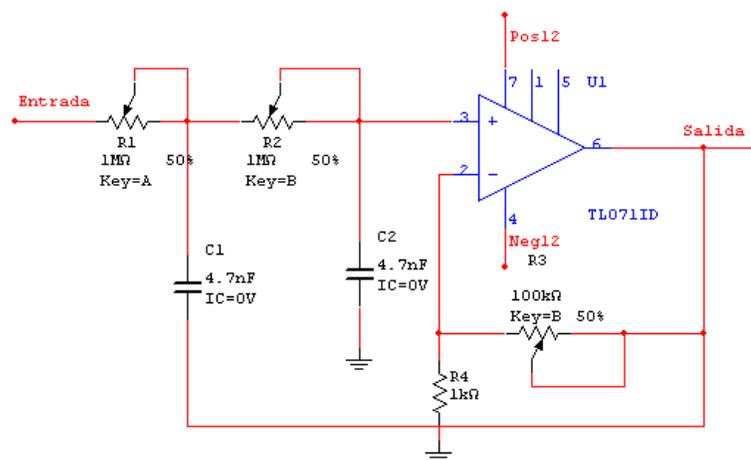
El estudiante debe realizar un estudio acerca del tema de circuitos impresos, para esto puede consultar la bibliografía *The Data Conversion Handbook. Chapter 9: Hardware Design Techniques* (James Bryant; Walt Jung; Walt Kester), *A Practical Guide to High-Speed Printed-Circuit-Board Layout* (John Ardizzoni; Denis Falls) y *Designing Embedded Hardware* (John Catsoulis), Capítulo 6: *Building Hardware. Printed Circuit Boards* pp.140-153.

#### Instrumentos y materiales:

- Multímetro Digital UT – 804.

#### Técnica Operatoria:

1) El circuito siguiente describe un divisor de frecuencia ajustable activo. Realice el diseño del circuito impreso de forma manual, teniendo en cuenta que los potenciómetros ( $R_1$  y  $R_2$ ) deben colocarse alineadamente en el extremo superior y el circuito integrado (TL071ID) en el centro de la placa respectivamente. Sugerencia: emplee solo el tamaño requerido de la placa.



2) Obtenga el esquema del circuito impreso del prototipo preliminar para un *front end* de un Detector de Arritmias Cardiacas aplicando “ingeniería inversa”. Basándose en los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta en el diseño de cualquier impreso, realice a modo de crítica un análisis del prototipo y obtenga conclusiones acerca de la viabilidad del mismo para una reproducción seriada de estos bloques. Proponga algunos cambios que usted crea que sean posibles para mejorar el diseño.

Orientación para el Informe:

En el informe para entregar al profesor debe quedar plasmado el diseño del primer ejercicio, así el esquema obtenido en el ejercicio 2 (hasta donde el estudiante logre llegar), en conjunto con las conclusiones obtenidas a partir del análisis y las propuestas del estudiante para la mejora del diseño.

## Anexo IV Actividades Prácticas Simuladas.

### Bioinstrumentación Avanzada

#### Laboratorio Simulado # 1

#### **Título: Suministradores y distribuidores de componentes pasivas.**

#### Objetivo:

- Aprender a utilizar las herramientas automatizadas de fabricantes y distribuidores de componentes pasivas.

#### Introducción:

El estudiante como preparación previa a la práctica, debe realizar una visita dirigida empleando su tiempo de máquina de laboratorio a los sitios web de los líderes mundiales en suministro y distribución de componentes electrónicas como [www.Farnell.com](http://www.Farnell.com) y [www.Digi-Key.com](http://www.Digi-Key.com), para familiarizarse con estos mediante la utilización de las distintas herramientas computarizadas que ofrecen, teniendo en cuenta que el tema del laboratorio son las componentes pasivas, por lo que las búsquedas deben estar encaminadas al mismo (buscar precios de componentes, hojas de datos, un tipo de componente en específico, entre otras).

#### Software que se emplea:

- Herramientas automatizadas de *Farnell* y *Digi-key*.

#### Técnica Operatoria:

- 1) Visite la página web [www.digi-key.com](http://www.digi-key.com) y realice las búsquedas que se orientan a continuación:
  - a) Busque el listado de resistores que se brindan y seleccione uno de valor nominal 100 k $\Omega$ , tolerancia 5 %, 1/4 W de potencia y del tipo de película de carbón, para esto haga uso de las herramientas digitales (filtros). Obtenga el precio y la hoja de datos del mismo.
  - b) Realice la búsqueda de un resistor de igual valor que el anterior, pero de tolerancia 1 %, 1 W de potencia y de tipo bobinado. Obtenga el precio y compárelo con el anterior. Comente los resultados.
  - c) Realice nuevas búsquedas cambiando los requerimientos del componente tales como tolerancia, coeficiente de temperatura, tipo de componente, potencia y

fabricante, y observe como varían los precios de este. Analice como el precio por componente varía en dependencia de la cantidad que se desee comprar.

- d) Busque ahora el listado de capacitores que se brindan y seleccione uno de valor 0,1 uF, voltaje de trabajo de 50 V, tolerancia 20 % y de cerámica. Obtenga el precio y la hoja de datos del mismo.
  - e) Haga una nueva búsqueda del mismo valor de capacitancia, pero que sea de mica, tolerancia 1 % y voltaje de trabajo a 100 V. Obtenga el precio de este y compárelo con el anterior. Analice como varía el precio del componente en relación con la cantidad que se desee comprar.
  - f) Realice otras búsquedas cambiando los requerimientos del componente como valor nominal, tolerancia, temperatura de operación, tipo de montaje, voltaje de trabajo y tipo de encapsulado. Observe como varían los precios con relación a estos parámetros.
- 2) Visite la página web [www.Farnell.com](http://www.Farnell.com) y haga las búsquedas efectuadas en el ejercicio anterior.
- a) Compare los resultados obtenidos con los ofrecidos por *Digi-key*. Obtenga conclusiones.
  - b) Realice una navegación general por ambos sitios web y basándose en las ventajas de estos dos suministradores haga un análisis propio y diga cuál es para usted más factible.

#### Orientación para el informe:

En el informe debe quedar toda la información obtenida en los diferentes incisos, así como los comentarios y conclusiones realizadas en la técnica operatoria.

## Bioinstrumentación Avanzada

### Laboratorio Simulado # 2

#### Título: Modelos de comportamiento de componentes pasivas.

#### Objetivos:

- Analizar el comportamiento de componentes pasivas a altas frecuencias.

#### Introducción:

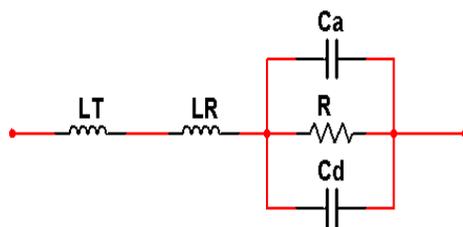
Como preparación previa a la práctica simulada el estudiante debe realizar un estudio de la bibliografía “*The Electrical Engineering Handbook*” (Chan, Shu Park), el tema “Componentes Pasivas”, así como las pp. 41-56, 150, 151, 155-173, 177-195(Capítulo 3) y pp. 214-216 (Capítulo 4) de “*Materiales y Componentes Electrónicos*” (Amado García y Diego Romoleroux, Editorial Pueblo y Educación) correspondientes al tema de “Resistores” y al tema de “Condensadores” respectivamente.

#### Software que se emplea:

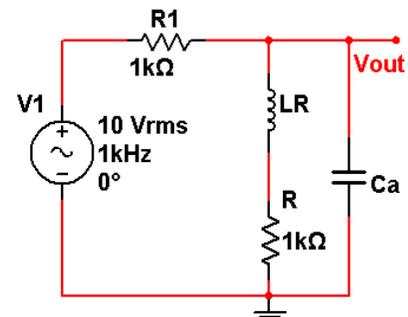
- Multisim 10.1

#### Técnica Operatoria:

- 1) El circuito 1 muestra el modelo equivalente de un resistor a altas frecuencias.



Circuito 1

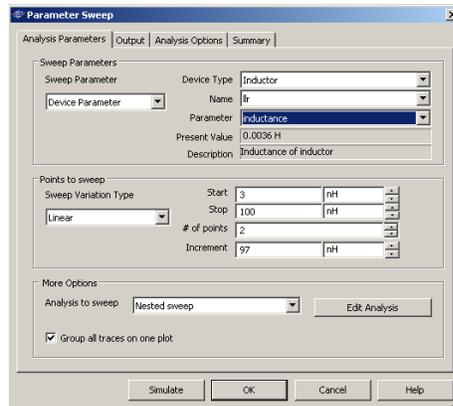


Circuito 2

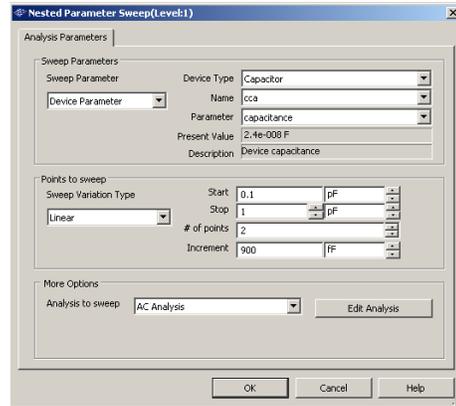
- a) Edite el circuito 2, donde se deprecia el efecto de la inductancia de los terminales ( $L_T$ ) y de la capacidad distribuida ( $C_d$ ).
- b) Realice el barrido paramétrico en conjunto con un análisis AC de 1 Hz a 20 GHz del circuito 2, para los valores extremos de  $L_R$  y  $C_a$  de los distintos tipos de resistores según la Tabla 1. Tenga en cuenta que el barrido debe tener más de un nivel, para poder involucrar varios parámetros ( $L_R$  y  $C_a$ ). Una vez realizado el barrido obtenga la forma de onda del voltaje de salida ( $V_{out}$ ) debido al divisor

resistivo y diga a partir de qué valor de frecuencia el componente deja de comportarse como un resistor. Elija para el análisis los tipos de resistores siguientes: metal volumétrico, composición de carbón, película metálica y bobinado. Complete la Tabla 2 y comente los resultados obtenidos.

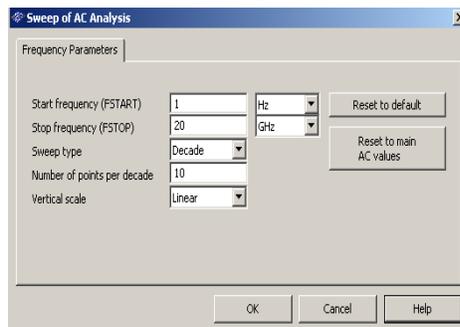
**Nota:** Emplee como ayuda la descripción de la configuración del barrido que se ofrece a continuación.



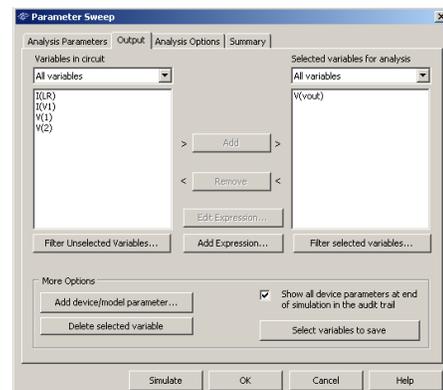
Paso 1



Paso 2



Paso 3



Paso 4

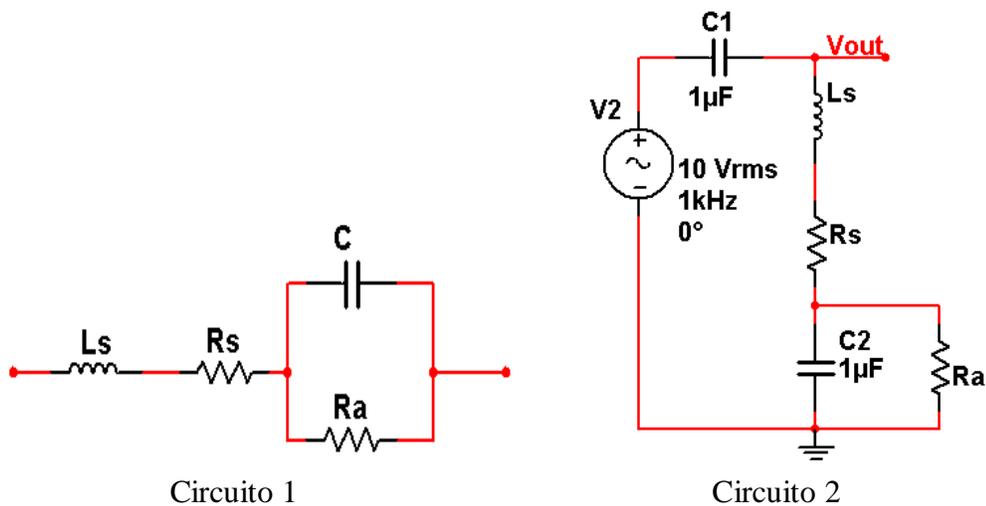
Tabla 1

TIPO DE RESISTOR	$L_R$ ( nH )	$C_a$ ( pF )
Metal volumétrico ( bulk metal )	3 - 100	0,1 – 1,0
Composición de carbón ( carbon composition )	5 - 30	0,1 – 1,5
Película de carbón ( carbon film )	15 - 700	0,1 – 1,8
Película metálica ( metal film )	15 - 700	0,1 - 0,8
Montaje superficial ( surface mount )	0,2 - 3	0,01 - 0,08
Bobinado ( wirewound )	47 - 25000	2 - 14
Bobinado , no inductivo	2 - 600	0,1 - 5

Tabla 2

Tipo de resistor	Frecuencia máxima de W

- 2) El circuito 1 muestra el modelo equivalente de un capacitor a altas frecuencias.



- a) Edite el circuito 2, observe que este tiene en cuenta efectos inductivos y capacitivos, cuyos valores dependen de las características particulares del componente.
- c) Realice el barrido paramétrico en conjunto con un análisis AC de 1 Hz a 20 GHz del circuito 2, para los valores extremos de  $L_s$ ,  $R_s$  y  $R_a$  de distintos tipos de capacitores según la Tabla 3. Tenga en cuenta que el barrido debe tener más de un nivel, para poder involucrar varios parámetros ( $L_s$ ,  $R_s$  y  $R_a$ ). Una vez realizado el barrido obtenga la forma de onda del voltaje de salida ( $V_{out}$ ) debido al divisor capacitivo y diga a partir de qué valor de frecuencia el componente deja de comportarse como un capacitor. Elija para el análisis anterior los tipos de capacitores siguientes: aluminio, cerámica tipo disco, vidrio, poliestireno y tantalio sólido. Complete la Tabla 4 y comente los resultados obtenidos.

**Nota 1:** El valor de  $R_a$  de cada tipo de capacitor (Tabla 3) depende del valor de capacidad nominal del mismo.

**Nota 2:** Emplee como ayuda la descripción de la configuración del barrido ofrecida en el ejercicio anterior.

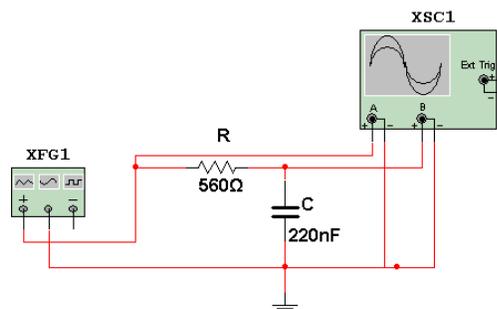
Tabla 3

Tipo de Capacitor	$L_s$ ( nH )	$R_s$ ( $\Omega$ )	$R_a$
Aluminio, 2 terminales	2- 100	0,003 - 100	$\geq 17 \Omega\text{F/C}$
Hojas de aluminio apiladas	1 - 2	0,001 - 0,3	$\geq 35 \Omega\text{F/C}$
Cerámica tipo disco	1 - 30	0,005 - 27	$\geq 5000 \text{ M}\Omega$
Cerámica pasante ( <i>feedthrough</i> )	0,001 - 1	0,6 - 360	$\geq 1000\Omega\text{F/C}$
Cerámica para montaje superficial.	0,06 - 30	0,005 - 5	$\geq 1000\Omega\text{F/C}$
Vidrio	0,4 - 1	0,01 - 2	$\geq 10000\text{M}\Omega$
Mica	0,52 - 25	0,1 - 47	$\geq 700 \text{ M}\Omega$
Nylon	5 - 50	0,01 - 5	$\geq 1000\Omega\text{F/C}$
Papel	6 - 160	1 - 16	$\geq 20 \Omega\text{F/C}$
Policarbonato	12 - 55	0,001 - 5	$\geq 15000\Omega\text{F/C}$
Poliéster	5 - 50	0,01 - 5	$\geq 1000 \Omega\text{F/C}$
Polipropileno	6 - 75	0,001 - 0,5	$\geq 30000 \Omega\text{F/C}$
Poliestireno	8 - 50	0,16 - 3,2	$\geq 90000 \text{ M}\Omega$
Porcelana	0,02 - 2	0,01 - 0,8	$\geq 10000 \text{ M}\Omega$
Película apilada	2 - 10	0,5 - 1,3	$\geq 1000 \Omega\text{F/C}$
Tantalio pasante	4 - 20	0,7 - 20	$\geq 50 \Omega\text{F/C}$
Hojas de tantalio	18 - 50	0,05 - 0,5	$\geq 50 \Omega\text{F/C}$
Tántalo sólido	0,6 - 20	0,1 - 10	$\geq 50 \Omega\text{F/C}$
Tántalo para montaje superficial.	0,02 - 1,5	0,04 - 3	$\geq 50 \Omega\text{F/C}$
Tántalo húmedo	2,3 - 50	0,05 - 15	$\geq 160 \Omega\text{F/C}$
Teflón	15 - 55	0,02 - 1	$\geq 40000\Omega\text{F/C}$

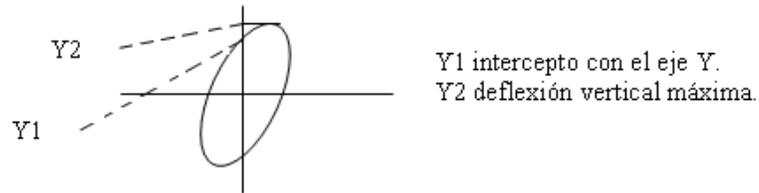
Tabla 4

Tipo de capacitor	Frecuencia máxima de W

- 3) El circuito que se muestra a continuación representa un filtro paso bajo RC al que se le introduce una señal de 10 Vpp y 1 kHz de frecuencia:



- a) Edite el circuito y obtenga el desfase que introduce el mismo debido al efecto del filtro RC mediante la figuras de Lissajous, donde  $\theta = \arcsen(Y_1/Y_2)$ .



- b) Obtenga el desfase en el circuito para los valores de  $R$ ,  $C$  y  $f$  que se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5**

Valores $R$ , $C$ y $f$	560 $\Omega$ , 220 nF, 1 kHz	330 $\Omega$ , 100 nF, 3 kHz	220 $\Omega$ , 330 nF, 5 kHz	910 $\Omega$ , 220 pF, 10 kHz
Desfase $\theta$				

Orientación para el Informe:

Debe contener los resultados de la técnica operatoria completando las tablas, las conclusiones parciales de cada ejercicio y conclusiones generales del laboratorio.

## Bioinstrumentación Avanzada

### Laboratorio Simulado # 3

#### **Título: Diseño y simulación de circuitos con componentes activas.**

#### Objetivos:

- Diseñar y simular circuitos con componentes activas empleando diferentes herramientas computarizadas.

#### Introducción:

Como preparación previa a la práctica simulada el estudiante debe realizar un estudio de la bibliografía “*The Electrical Engineering Handbook*” (Chan, Shu Park), el tema “Filtros Activos”. Revisar también el libro “Principios de Electrónica” (Albert Malvino, David J. Bates 7ma Edición), el capítulo 21 “Filtros Activos” pp. 740, y “*Analog Signal Processing*”, (Ramón Pallás-Areny, John G. Webster) las secciones correspondientes al tema de filtros activos. Además debe familiarizarse con los *softwares* FilterPro 2.0 y Tina TI 7.0 para cuando vaya a realizar la práctica de laboratorio con una mayor facilidad.

#### Software que se emplea:

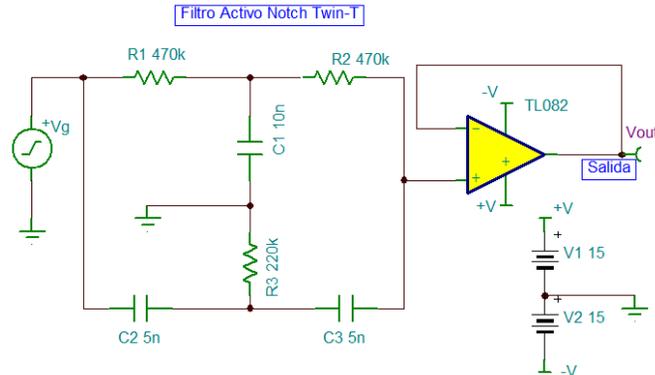
- Filter Pro 2.0
- Tina TI 7.0

#### Técnica Operatoria:

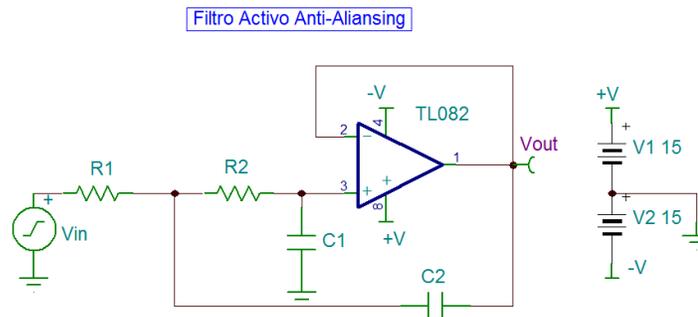
1) Diseñe un filtro activo anti-solapamiento (antialiasing) de segundo orden con topología Sallen-Key y tipo de aproximación Bessel para un electrocardiógrafo digital que tiene una frecuencia de muestreo de 500 muestras/s, tenga en cuenta que  $F_{\text{muestreo}} \geq 2F_{\text{máxima señal}}$ , siendo el caso  $F_{\text{máxima señal}} = 100$  Hz, como sugerencia haga uso de Filter Pro 2.0.

a) Muestre la respuesta de frecuencia (respuesta de magnitud y fase) del filtro.  
b) Realice cambios en la topología del circuito, en el tipo de aproximación, así como en la tolerancia de los componentes (resistores y capacitores) y observe como varía la respuesta de frecuencia (magnitud y fase).

2) El circuito que se muestra describe un filtro activo *Notch Twin-T*, el cual se emplea con el propósito de reducir la interferencia de la línea de alimentación (60 Hz) en una señal ECG, donde  $F_n = 1/2\pi RC$ .



- a) Edite el circuito mediante el uso del software Tina TI 7.0
  - b) Obtenga la respuesta de frecuencia (magnitud y fase) del filtro.
  - c) Realice un análisis de ruido y muestre las distintas gráficas. Comente los resultados.
- 3) Edite el filtro activo diseñado en el ejercicio 1, empleando el software Tina TI 7.0.



- a) Obtenga la respuesta de frecuencia (magnitud y fase) y compárela con la obtenida mediante Filter Pro 2.0. Comente los resultados.
- b) Realice un análisis transiente y obtenga la respuesta del filtro ante la entrada de un paso (onda cuadrada), un impulso (pulso) y una onda triangular respectivamente.

### Orientación para el Informe:

Debe contener los resultados de la técnica operatoria incluyendo las simulaciones, las conclusiones parciales de cada ejercicio y conclusiones generales del laboratorio.

**Bioinstrumentación Avanzada****Laboratorio Simulado # 4****Título: Suministradores y distribuidores de componentes activas.****Objetivo:**

- Aprender a utilizar las herramientas automatizadas de fabricantes y distribuidores de componentes activas.

**Introducción:**

El estudiante como preparación previa a la práctica, debe realizar una visita dirigida empleando su tiempo de máquina de laboratorio a los sitios web de los líderes mundiales en suministro y distribución de componentes electrónicas como [www.Farnell.com](http://www.Farnell.com) y [www.Digi-Key.com](http://www.Digi-Key.com), para familiarizarse con estos mediante la utilización de las distintas herramientas computarizadas que ofrecen, teniendo en cuenta que el tema del laboratorio son las componentes activas, por lo que las búsquedas deben estar encaminadas al mismo (buscar precios de componentes, hojas de datos, un tipo de componente en específico, entre otras).

**Software que se emplea:**

- Herramientas automatizadas de *Farnell* y *Digi-key*.

**Técnica Operatoria:**

- 1) En un hospital se necesita reparar un electrocardiógrafo digital. Después de una revisión profunda realizada por los especialistas biomédicos se concluyó que la causa del problema es que los amplificadores de instrumentación AD620 y los multiplexores ADG707 están defectuosos. Los amplificadores deben tener las características siguientes: voltaje de alimentación 2 V a 18 V, CMRR  $\geq$  120 dB, ancho de banda 1 MHz y una ganancia máxima no menor de 1000 dB. Los multiplexores deben tener una configuración de 8:1 y un rango de alimentación de 2 V a 10 V. Haciendo uso del sitio web [www.digi-key.com](http://www.digi-key.com) perteneciente a distribuidores y suministradores de componentes electrónicas:
  - a) Obtenga el costo de las componentes que se necesitan para reparar el equipo, tenga en cuenta la posibilidad de adquirir más de una de estas para repuesto.
  - b) Para lograr una reparación exitosa el especialista necesita de información técnica de cada componente. Obtenga las hojas de datos de estas.
- 2) Se ha detectado que el CAD ADS1222IPWT presente en el canal de adquisición de un equipo portátil de medición de la presión arterial está dañado y se necesita reemplazar. Este debe ser un convertidor con una resolución de 24 bits, voltaje de

alimentación en un rango de 2 V a 5 V, con 2 canales y entrada al convertidor tipo diferencial. Haciendo uso del sitio web [www.farnell.com](http://www.farnell.com) perteneciente a distribuidores y suministradores de componentes electrónicas:

- a) Obtenga el costo que tendría la sustitución de esta componente. Analice las variantes de comprar varias de ellas. Obtenga información técnica del CAD.
  - b) Analice la posibilidad de reemplazar la componente por otra similar siempre y cuando cumpla con los requerimientos del diseño, en busca de reducir el costo de la reparación.
- 3) Un equipo de electroestimulación presenta problemas con la fuente de alimentación, la cual se basa en un convertidor DC-DC. Se necesita sustituir este por otro equivalente que cumpla con los requisitos del diseño, los cuales son suministrar un voltaje de 12 V con una corriente mayor de 300 mA, y que se alimente en un rango de 12 V a 30 V. Haciendo uso del sitio web [www.digi-key.com](http://www.digi-key.com) perteneciente a distribuidores y suministradores de componentes electrónicas.
- a) Realice una búsqueda de un componente de este tipo que cumpla con los requerimientos mencionados anteriormente y obtenga el precio y la información técnica del mismo.
  - b) Analice la variante de sustituir el convertidor por uno que se alimente a partir de baterías AA/AAA, con el fin de realizar modificaciones al equipo y que pueda ser empleado de manera portátil. Tenga en cuenta los convertidores de tipo conmutado. Adquiera información y costo de la componente seleccionada por usted.

#### Orientación para el informe:

En el informe debe quedar toda la información obtenida en los diferentes incisos, así como los comentarios y conclusiones realizadas en la técnica operatoria.

**Bioinstrumentación Avanzada**  
**Laboratorio Simulado # 5**  
**Título: Diseño y simulación de fuentes (I).**

Objetivo:

- Diseñar y simular distintos tipos de fuentes de alimentación.

Software empleado:

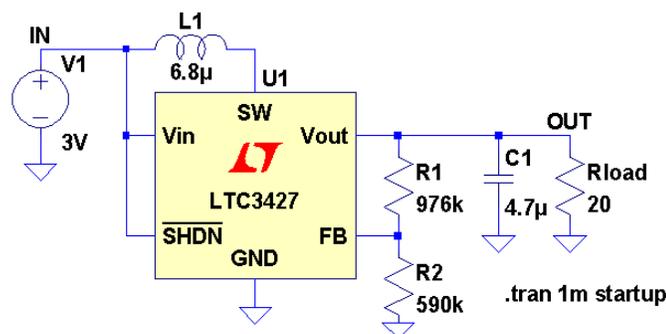
- LTspice IV

Introducción:

El estudiante debe realizar una preparación previa mediante la familiarización con el software LTspice IV (editar circuitos y simularlos), empleando como bibliografía el Manual de Usuario presente en la ayuda del software, para poder realizar la técnica operatoria correspondiente a esta práctica de laboratorio con mayor facilidad. Además puede consultar “*LTspice Getting Started Guide*” (Linear Technology), “*Hardware Design Techniques Section 9.3 Analog Power Supply Systems*” (Walt Jung, Walt Kester) y “*Principios de Electrónica*” (Albert Malvino 7<sup>ma</sup> Edición) el capítulo 24 correspondiente al tema de “Fuentes de alimentación reguladas” pp. 896.

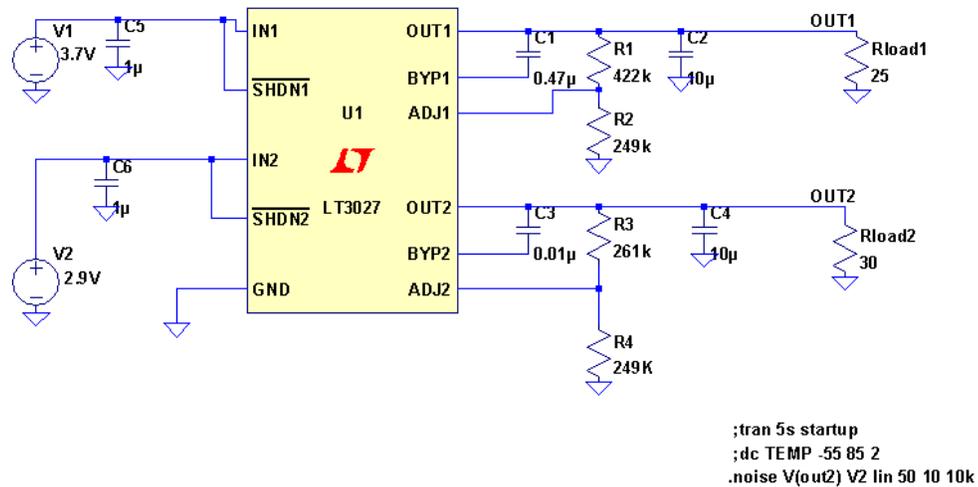
Técnica Operatoria:

1) Edite el circuito de la figura usando el LTspice IV.



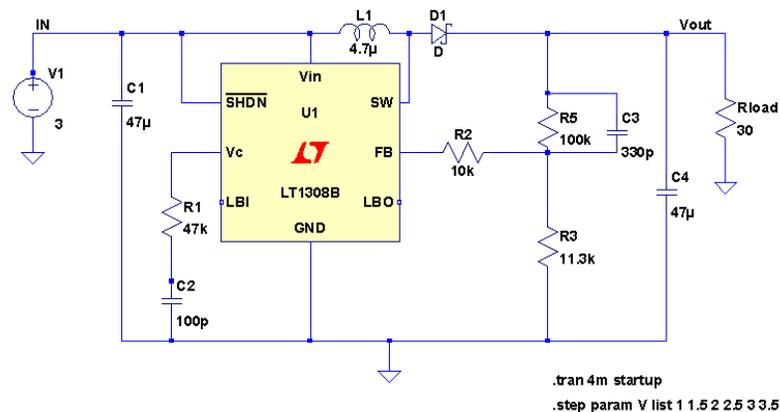
- Obtenga la forma de onda del voltaje de salida, la corriente por la carga, así como de la corriente de consumo (demandada por el circuito de la batería).
- Obtenga gráficamente la potencia disipada en la carga.

2) A continuación se muestra el circuito de un *Low Noise Regulator*.



- Compruebe el funcionamiento del circuito.
- Genere el listado de componentes que se emplean en el circuito (BOM). Cambie los componentes virtuales por los componentes reales que se incluyen en la base de datos del programa.
- Realice el análisis de ruido del circuito. Comente los resultados.
- Realice un análisis de temperatura al circuito desde  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Comente los resultados obtenidos sobre posibles variaciones que puedan sufrir el voltaje y la corriente de salida, muestre las curvas en diferentes gráficas (*Plot Plane*) para poder realizar una observación con mayor precisión.

3) El circuito representa un convertidor tipo *Boost* (elevador), el cual se emplea en muchos equipos médicos portátiles, ya que mediante este se puede obtener un voltaje de salida elevado con una corriente considerable a partir de una alimentación por baterías comunes (AA/AAA).



- Edite el circuito empleando LTspice.

- b) Visualice las gráficas de voltaje de salida y corriente por la carga ( $R_{LOAD}$ ).
- c) Genere el listado de componentes empleados en el diseño (BOM).
- d) Realice un barrido paramétrico para diferentes valores de voltaje de entrada ( $V_1$ ).  
Comente los resultados obtenidos.

Orientación para el Informe:

Debe contener los resultados de la técnica operatoria incluyendo las simulaciones, las conclusiones parciales de cada ejercicio y conclusiones generales del laboratorio.

**Bioinstrumentación Avanzada**  
**Laboratorio Simulado # 6**  
**Título: Diseño y simulación de fuentes (II).**

Objetivo:

- Diseñar y simular distintos tipos de fuentes de alimentación.

Software empleado:

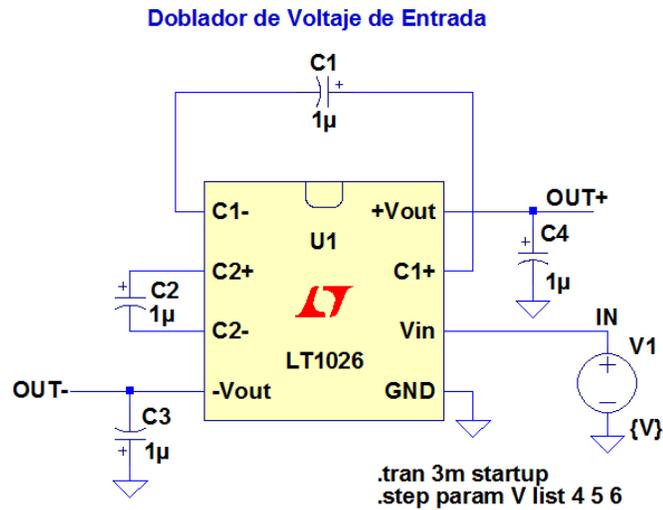
- LTspice IV

Introducción:

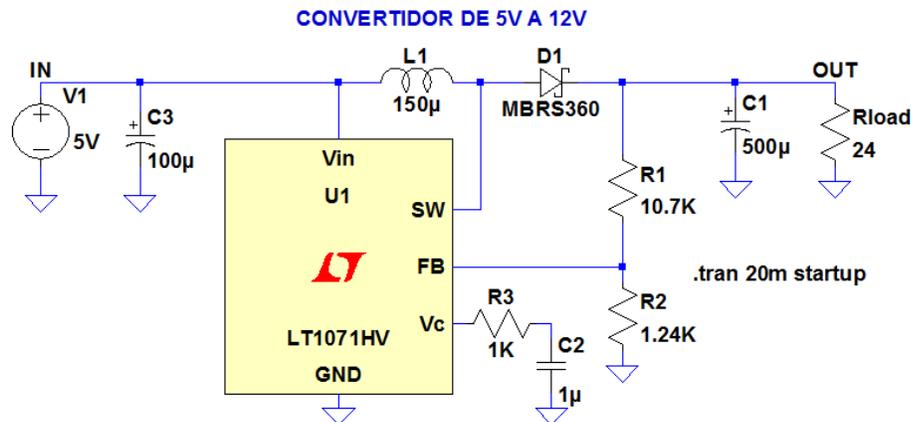
El estudiante debe realizar una preparación previa mediante la familiarización con el software LTspice IV (editar circuitos y simularlos), empleando como bibliografía el Manual de Usuario presente en la ayuda del software, para poder realizar la técnica operatoria correspondiente a esta práctica de laboratorio con mayor facilidad. Además puede consultar “*LTspice Getting Started Guide*” (Linear Technology), “*Hardware Design Techniques Section 9.3 Analog Power Supply Systems*” (Walt Jung, Walt Kester) y “Principios de Electrónica” (Albert Malvino 7<sup>ma</sup> Edición) el capítulo 24 correspondiente al tema de “Fuentes de alimentación reguladas” pp. 896.

Técnica Operatoria:

1) El diseño que se muestra a continuación es un doblador - inversor del voltaje de entrada. Realice un barrido paramétrico del voltaje de entrada para los valores indicados y compruebe el funcionamiento del circuito. Genere el listado de componentes del diseño (BOM) con componentes reales.

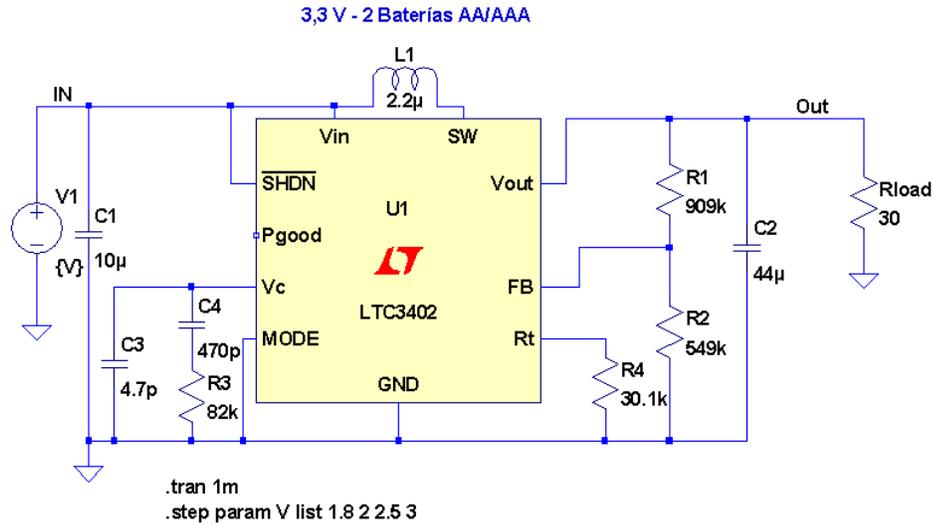


2) El circuito muestra un convertidor DC-DC capaz de ofrecer a la salida un voltaje de 12 V a partir de una entrada de 5 V.

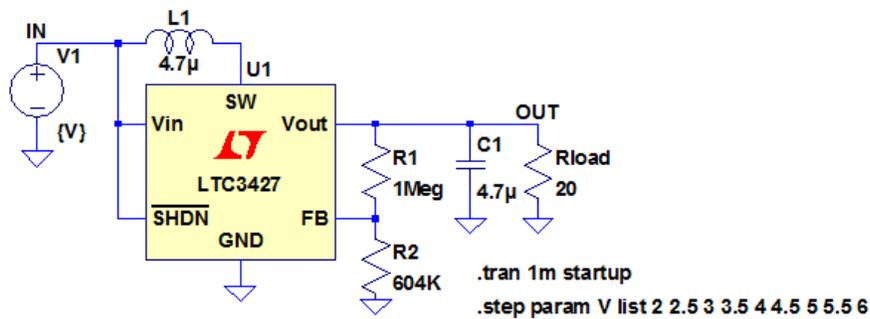


- Realice un análisis transiente y verifique el funcionamiento del convertidor.
- Haga un análisis paramétrico para valores de voltaje de entrada desde 3 V a 5 V. Analice los resultados obtenidos.

3) A continuación se muestra el circuito de la fuente de alimentación de un electrocardiógrafo portátil, el cual obtiene la alimentación a partir de 2 baterías AA/AAA (3 V). Este circuito es capaz de garantizar a su salida una alimentación estable aunque el voltaje de las celdas caiga hasta 1,8 V aproximadamente (2 x 0,9 V). Edite el circuito y compruebe la afirmación anterior mediante un análisis paramétrico de  $V_{IN}$ .

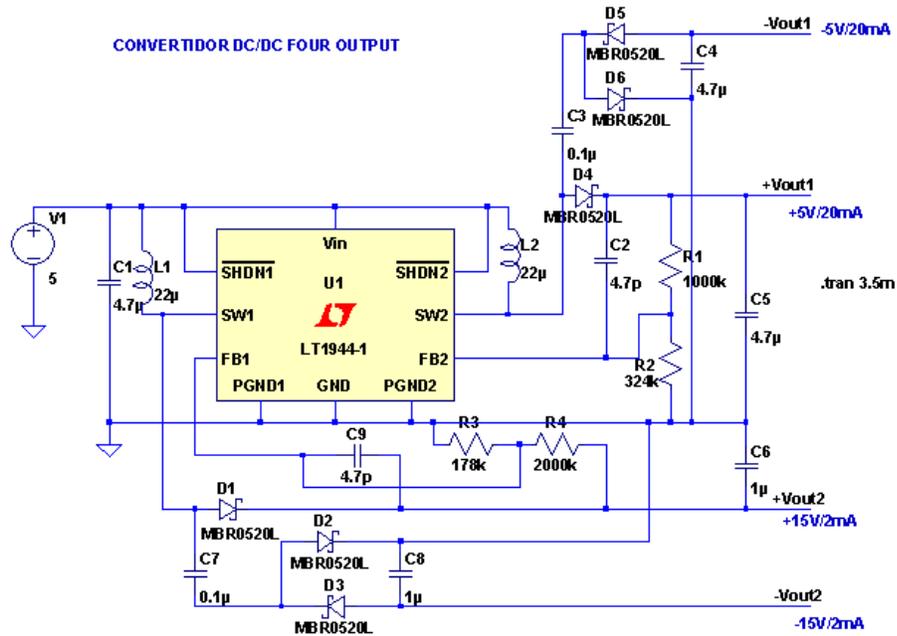


4) El esquema que a continuación se presenta permite obtener un voltaje de salida constante de 3,3 V aunque la alimentación varíe en un rango de 2 V a 5 V, obteniéndose una corriente de salida de valor considerable.



a) Edite el circuito y compruebe el funcionamiento del mismo.

5) El siguiente circuito muestra un Convertidor DC/DC, con voltajes de salida  $\pm 5\text{ V}$  y  $\pm 15\text{ V}$ .



- Edite el circuito utilizando LTspice.
- Realice un análisis transiente y obtenga las gráficas de voltajes de salida.
- Realice un análisis paramétrico del voltaje de alimentación ( $V_{IN}$ ) para valores dentro del rango de 2 V a 5 V y visualice los voltajes de salida. Comente acerca de los resultados.

#### Orientación para el Informe:

Debe contener los resultados de la técnica operatoria incluyendo las simulaciones, las conclusiones parciales de cada ejercicio y conclusiones generales del laboratorio.

## **Bioinstrumentación Avanzada**

### **Laboratorio Simulado # 7**

#### **Título: Diseño de circuitos impresos (I).**

#### Objetivos:

- Diseñar circuitos impresos usando Ultiboard 10.1.

#### Introducción:

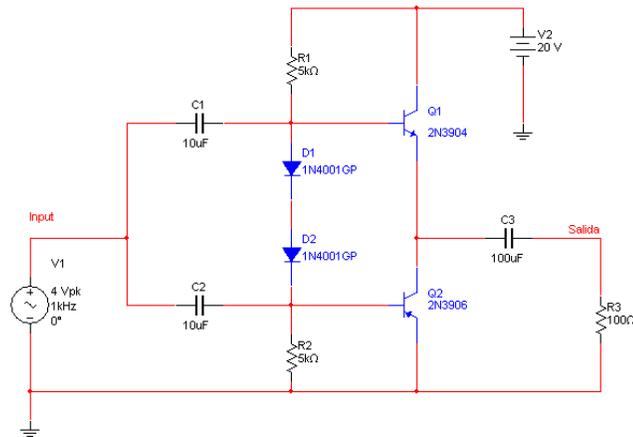
Como preparación previa a la práctica de laboratorio simulada el estudiante debe realizar un estudio de la bibliografía “*Hardware Design Techniques Section 9.8: Breadboarding and Prototyping*” (Walt Kester, James Bryant, Walt Jung), así como “*A Practical Guide to High-Speed Printed Circuit Board Layout*” (John Ardizzoni-Analog Devices), “*PCB Design Tutorial*” (David. L. Jones), “*Diseño de Circuitos Impresos*” (Alfonso Méndez) y el “Manual de Usuario del NI Ultiboard 10.1”, para adquirir cierta familiarización y realizar la técnica operatoria correspondiente a la práctica con una mayor facilidad.

#### Software que se emplea:

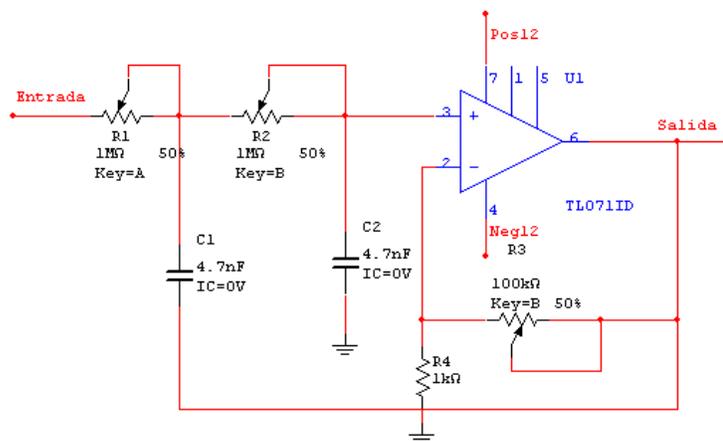
- Ultiboard 10.1
- Multisim 10.1

#### Técnica Operatoria:

- 1) Diseñe el circuito impreso del esquema que se muestra correspondiente a un amplificador de potencia clase B Push-Pull (*ClassBPushPullAmp*), presente en las muestras (*samples*) del Multisim 10.1 usando Ultiboard 10.1. Haga uso del plano de tierra, y utilice un conector HDR 2x2 para la alimentación del circuito (V2), y otro de tipo *Phone Plug*, tanto para la entrada como para la salida de la señal en el amplificador, los cuales deben estar localizados en la parte superior del impreso de forma alineada. Todos los caminos deben tener un grosor de 20 mil con un espacio de separación entre ellos de 15 mil.  
Sugerencia: comience cambiando las componentes virtuales por componentes reales (con ‘*footprint*’).



- 2) Diseñe el circuito impreso del esquema asociado al ejemplo del divisor de frecuencia ajustable activo (*AdjFreqAmp*), presente en las muestras (*samples*) del Multisim 10.1 usando Ultiboard 10.1, y compruebe el diseño realizado por usted del mismo en el laboratorio real. Fuerce los potenciómetros (R1-R3) para que queden en el extremo superior, alineados, y el circuito integrado U1 (TL071ID) para que quede en el centro. Use plano de tierra, así como un conector tipo *Phone Pulg* para la entrada y otro HDR 2x6 para la salida y alimentación. Sugerencia: comience cambiando las componentes virtuales por componentes reales (con 'footprint').



### Orientación para el Informe:

Debe contener los resultados de la técnica operatoria incluyendo los circuitos modificados por el estudiante, así como diseño del impreso realizado, así como algunas conclusiones en caso que crea necesario.

**Bioinstrumentación Avanzada**  
**Laboratorio Simulado # 8**  
**Título: Diseño de circuitos impresos (II).**

Objetivos:

- Diseñar circuitos impresos usando Ultiboard 10.1.

Introducción:

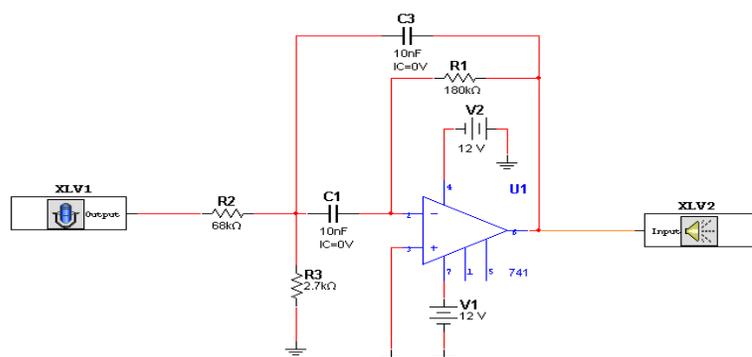
Como preparación previa a la práctica de laboratorio simulada el estudiante debe realizar un estudio de la bibliografía “*Hardware Design Techniques Section 9.8: Breadboarding and Prototyping*” (Walt Kester, James Bryant, Walt Jung), así como “*A Practical Guide to High-Speed Printed Circuit Board Layout*” (John Ardizzoni-Analog Devices), “*PCB Design Tutorial*” (David. L. Jones), “*Diseño de Circuitos Impresos*” (Alfonso Méndez) y el “Manual de Usuario del NI Ultiboard 10.1”, para adquirir cierta familiarización y realizar la técnica operatoria correspondiente a la práctica con una mayor facilidad.

Software que se emplea:

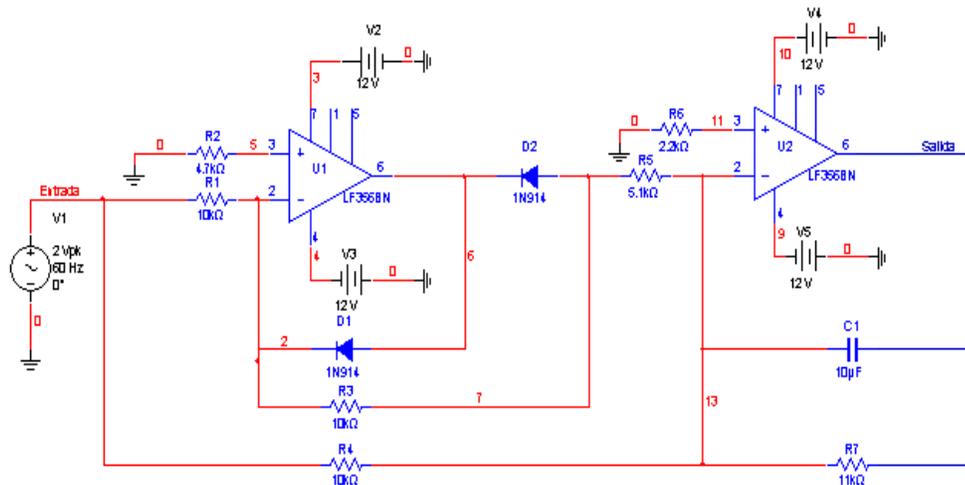
- Ultiboard 10.1
- Multisim 10.1

Técnica Operatoria:

- 1) El siguiente esquema describe un filtro pasa banda que se emplea para filtrar la señal antes de que salga por la bocina una vez adquirida por medio del micrófono. Edite el circuito empleando Multisim 10.1. Cambie los componentes virtuales por componentes reales usando ‘*footprint*’. Utilice para las conexiones del circuito un conector tipo *PhonePlug* y otro HDR 1x8 para la entrada y la salida-alimentación respectivamente. Tenga en cuenta el uso del plano de tierra. Genere los *gerber files* correspondientes al diseño del impreso.



- 2) Diseñe el circuito impreso del rectificador de onda completa que se muestra, presente en los ejemplos del Multisim 10.1 (Full-Wave Voltaje Converter), para esto emplee Ultiboard 10.1. En el diseño emplee *sockets* tipo DIP 8 en los cuales se montarán los amplificadores operacionales, realice los cambios que sean necesarios para que queden situados de manera alineada en la parte superior de la placa, en cuanto a los resistores estos deben quedar agrupados en la parte derecha de la misma. Utilice conectores tipo *PhonePlug* y otro HDR 1x8 para la entrada y la salida-alimentación respectivamente. Use el plano de tierra. Genere los *gerber files* correspondientes al diseño del impreso. Recuerde que debe comenzar cambiando los componentes virtuales por componentes reales haciendo uso del *'footprint'*.



### Orientación para el Informe:

Debe contener los resultados de la técnica operatoria incluyendo los circuitos modificados por el estudiante, así como diseño del impreso realizado, así como algunas conclusiones en caso que crea necesario.