



**UNIVERSIDAD DE  
SAN BUENAVENTURA  
CALI**

# **PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



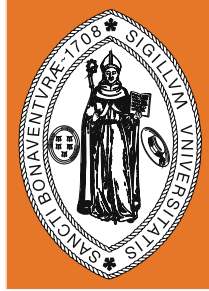
**CARLOS MAURICIO BETANCUR VARGAS  
JUAN CARLOS CRUZ ÁRDILA  
GUILLERMO ADOLFO DAVID NÚÑEZ**

**2014**



Prácticas de laboratorio en  
ingeniería electrónica





**UNIVERSIDAD DE  
SAN BUENAVENTURA  
CALI**

*Prácticas de laboratorio en  
ingeniería electrónica*

Carlos Mauricio Betancur Vargas  
Juan Carlos Cruz Ardila  
Guillermo Adolfo David Nuñez

2014

Betancur Vargas, Carlos Mauricio

*Prácticas de laboratorio en ingeniería electrónica* / Carlos Mauricio Betancur Vargas, Juan Carlos Cruz Ardila, Guillermo Adolfo David Núñez. - Cali : Editorial Bonaventuriana, 2014

140 p.

ISBN: 978-958-8785-39-4

1. Ingeniería electrónica 2. Circuitos electrónicos 3. Simulación de circuitos electrónicos 4. Ingeniería electrónica - Manuales 5. Manuales de Laboratorio - Ingeniería Electrónica 6. Mediciones electrónicas 7. Multímetros digitales 8. Multímetros analógicos 9. Osciloscopios I. Cruz Ardila, Juan Carlos II. David Núñez, Guillermo Adolfo III. Tít.

621.381 (D23)

B562p

© Universidad de San Buenaventura Cali  
 Editorial Bonaventuriana

### ***Prácticas de laboratorio en ingeniería electrónica***

© Autores: Carlos Mauricio Betancur Vargas, Juan Carlos Cruz Ardila, Guillermo Adolfo David Núñez.

Grupo de investigación: Laboratorio de Electrónica Aplicada (LEA)

Programa de Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Buenaventura Cali

Universidad de San Buenaventura  
Colombia

© Editorial Bonaventuriana, 2014

Universidad de San Buenaventura

Dirección Editorial de Cali

Calle 117 No. 11 A 62

PBX: 57 (1) 520 02 99 - 57 (2) 318 22 00 – 488 22 22

e-mail: [editorial.bonaventuriana@usb.edu.co](mailto:editorial.bonaventuriana@usb.edu.co)

[www.editorialbonaventuriana.edu.co](http://www.editorialbonaventuriana.edu.co)

Colombia, Suramérica

Los autores son responsables del contenido de la presente obra.

Prohibida la reproducción total o parcial de este libro por cualquier medio, sin permiso escrito de la Editorial Bonaventuriana.

© Derechos reservados de la Universidad de San Buenaventura.

ISBN: 978-958-8785-39-4

Libro digital

Cumplido el depósito legal (ley 44 de 1993, decreto 460 de 1995 y decreto 358 de 2000)

2014

# Contenido

Introducción .....	7
<b>9 DIDÁCTICA EN EL LABORATORIO</b>	
Construcción de elementos orientadores .....	13
Concretar los contenidos del curso .....	13
Explorar conocimientos previos .....	13
Contextualización de problemas.....	14
Seguimiento y acompañamiento .....	14
Desarrollo de actividades.....	15
Momento de evaluación .....	15
<b>17 ELABORACIÓN DE GUÍAS DE LABORATORIO</b>	
Tema de la práctica.....	19
Objetivos.....	19
Equipos sugeridos.....	19
Procedimiento descriptivo de la práctica .....	20
Preguntas teóricas y preguntas para el laboratorio relacionadas con el tema de la práctica.....	20
Elaboración del informe.....	20

<b>23</b>	<b>GUÍAS PARA LABORATORIO DE CIRCUITOS DE CORRIENTE DIRECTA (DC)</b>	
	Competencias por desarrollar .....	26
<b>41</b>	<b>GUÍAS PARA LABORATORIO DE CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA (CA)</b>	
	Competencias por desarrollar .....	43
<b>69</b>	<b>GUÍAS PARALABORATORIO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS ANÁLOGOS I</b>	
	Competencias por desarrollar .....	72
<b>97</b>	<b>GUÍAS PARA LABORATORIO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS ANÁLOGOS II</b>	
	Competencias por desarrollar .....	100
	<i>Preguntas teóricas</i> .....	122
<b>123</b>	<b>INSTRUMENTOS ELÉCTRICOS DE MEDICIÓN</b>	
	Vatímetro .....	125
	Multímetro.....	126
	<i>Multímetros analógicos</i> .....	126
	<i>Multímetros digitales</i> .....	127
	Osciloscopio.....	128
	<i>Qué se mide con un osciloscopio</i> .....	129
	<i>Conceptos necesarios para la utilización del osciloscopio</i> .....	130
	<i>Controles más frecuentes en los osciloscopios</i> .....	131
	Generador de funciones.....	133
	<i>Controles más frecuentes en los generadores de funciones</i> .....	134
	Fuente de voltaje de CC.....	135
	<i>Modos de funcionamiento</i> .....	136
	<b>Bibliografía</b> .....	139



# Introducción

En este texto se presenta una propuesta didáctica orientada al desarrollo de prácticas de laboratorio de circuitos eléctricos y electrónicos análogos como resultado de trabajos de investigación centrados en la enseñanza de la ingeniería (Cruz, Vivas y Becerra, 2004); (Cruz *et al*, 2013). Busca, principalmente, una participación más activa de los estudiantes durante el desarrollo de su práctica y una mejor aprehensión del conocimiento teórico de los circuitos eléctricos y electrónicos.

Por otra parte, el texto es una guía para los docentes que trabajan las materias señaladas anteriormente y para los estudiantes que las cursan. El diseño propuesto en cada una de ellas permite que la temática de laboratorio se mantenga en el tiempo conforme con lo estipulado en los microcurrículos y la dinámica del laboratorio se flexibilice mediante las propuestas elaboradas por los estudiantes.

En el primer capítulo se explica la propuesta didáctica que se desarrolla en el laboratorio y se da cuenta de los elementos pedagógicos y didácticos presentes. En la segunda parte, en el capítulo 2 se detallan los elementos que favorecen la redacción de las guías, los cuales serán puntos de referencia para la evaluación posterior del trabajo en el laboratorio y la elaboración del informe por parte de los estudiantes. En los capítulos 3, 4, 5 y 6 se exponen las guías de laboratorio

para circuitos eléctricos y electrónicos de corriente directa (CD) y de corriente alterna (CA). Cada capítulo corresponde a las guías estudiadas en cada curso.

Finalmente, en el capítulo 7 se presenta una información relacionada con algunos instrumentos de medición, especialmente con aquellos que serán utilizados en las prácticas que se van a implementar.

*Didáctica en el  
laboratorio*





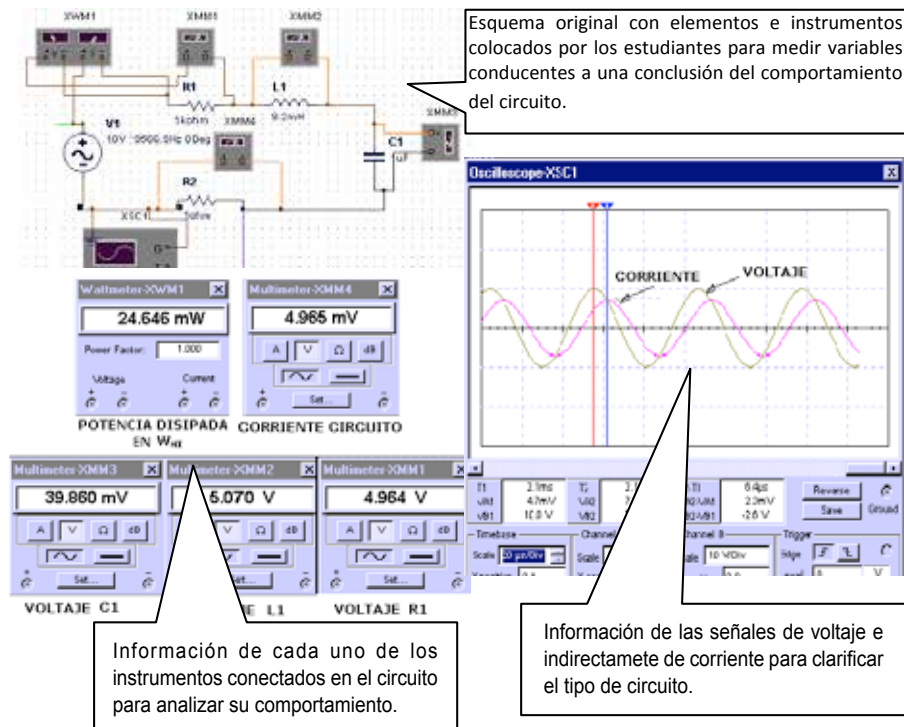
## *Didáctica en el laboratorio*

Con fundamento en los procesos que posibiliten la creatividad y las habilidades prácticas de los estudiantes de ingeniería electrónica, se presenta esta propuesta de trabajo para llevar a cabo las prácticas de laboratorio, consideradas en ingeniería como la mejor oportunidad para comprobar si los conceptos han sido bien diseñados y por ende, aprehendidos. Es claro que la ingeniería se aprende haciendo, obviamente sobre la base de una buena fundamentación en áreas básicas como la matemática y la física. Los estudiantes deben aprender el “arte de la ingeniería” y en este sentido la propuesta está orientada a que desde el primer semestre hagan ingeniería. La ejecución práctica es una oportunidad que permite adquirir las habilidades necesarias para adaptar o transformar una situación y comprenderla científicamente, técnicamente y humanamente.

Las actividades de aplicación de los conocimientos se plantean a partir de una problemática o necesidad específicas y pueden ser desarrolladas en un ambiente virtual o real. El ambiente virtual busca destacar la importancia de la simulación como estrategia didáctica y de comprensión directa, donde la interacción con los elementos no es destructiva sino constructiva. La práctica de laboratorio real, por su parte, está asociada a la implementación de situaciones concretas, susceptibles de alteraciones externas no incluidas en el modelo teórico previamente planteado por el docente en el aula y que pueden causar daños directos a los equipos y las personas (Cruz y Valencia, 2005).

Un ejemplo de un montaje virtual del laboratorio se muestra en la Figura 1. Este tipo de prácticas son apropiadas para que el estudiante se aproxime en forma segura, al funcionamiento de cada uno de los dispositivos analizados teóricamente en el aula. Aquí no existe la posibilidad de daños materiales; por el contrario, se pueden generar fallas de manera voluntaria para observar lo que podría suceder en el modelo práctico implementado, algo que es imposible (o poco viable) hacer en el laboratorio real. Además, la interacción con cada uno de los instrumentos permite ampliar la visión analítica porque se dispone de la información que suministran equipos que funcionan sincrónicamente y no de manera secuencial, como sucedería en un caso real debido a que no se puede contar con muchos instrumentos que funcionan a la vez.

**Figura 1**  
Desarrollo de una práctica de laboratorio por medio de un software de simulación



Con el fin de propiciar un ambiente de aprendizaje acorde con las circunstancias y las exigencias de formación del actual ingeniero y donde pueda desarrollar

sus habilidades creativas, propositivas e interpretativas gracias al contacto con los dispositivos eléctricos y electrónicos, se concibió un cambio en el trabajo de laboratorio para hacerlo más dinámico, riguroso y flexible en el momento de hacer las prácticas. Para ello, se construyeron escenarios en los cuales se combina la teoría, la simulación y la ejecución de proyectos con diseños de los estudiantes y la temática dirigida por el docente (Cruz Ardila, 2003).

## Construcción de elementos orientadores

El docente, dentro de su conocimiento disciplinar, define y construye los elementos teóricos necesarios para que el estudiante lleve a cabo una apropiación pertinente y contextualizada, de acuerdo con los propósitos de formación trazados en el plan de estudios. Esta actividad permite que el diálogo docente-discente se establezca a partir de la discusión de elementos teóricos pertinentes para el primero y novedosos para el segundo, con la particularidad de que siempre se conocerá el principio y el fin de cada uno de ellos.

## Concretar los contenidos del curso

El docente debe definir claramente cada uno de los contenidos que serán tratados en el curso. Esto facilitará la elaboración de las preguntas problema que dinamizarán los procesos de aprendizaje. Es necesario tener presente que el nivel de problematización esté acorde con el grado de conocimiento que tiene el estudiante y articular las intencionalidades de cada tema con el contexto real en que se encuentre inmerso el proceso enseñanza-aprendizaje, facilitando así su comprensión. En la elaboración de los contenidos, conviene establecer una relación con la temporalidad del curso, debido a que hay unas horas establecidas para los encuentros en el aula y para el trabajo independiente. Este ejercicio obliga al docente a desarrollar una habilidad en la planeación de los tiempos en que van a ejecutarse las actividades propuestas, con el fin de construir conocimiento alrededor de los temas seleccionados para el curso.<sup>1</sup>

## Explorar conocimientos previos

El docente, en la primera práctica, debe efectuar una actividad que le permita explorar los conocimientos previos de los estudiantes. Este diagnóstico hará posible afinar las actividades preparadas y bosquejar una percepción de las comprensiones y el dominio teórico de sus estudiantes. No se trata de evaluar

1. Esta propuesta se soporta en la investigación *Modelo didáctico y estación de trabajo con instrumentación electrónica para el desarrollo de laboratorios de física mecánica*.

directamente a cada uno, sino de establecer un diálogo en el que se establezcan las funciones y se cimente la naturaleza de la formación académica, en la cual los dos actores son sujetos responsables de los momentos educativos que se ejecuten mientras dure el curso.

## Contextualización de problemas

Según la propuesta, los temas tratados durante el curso deben partir de la contextualización de un problema específico. En este punto, el docente debe tener la capacidad de proponer problemas que faculten a los estudiantes para elaborar su construcción teórica. Esta etapa debe comenzar con el planteamiento de las siguientes preguntas:

- ¿Por qué es importante plantear el tema objeto de estudio en relación con la realidad?
- ¿Cómo se aprenderá el tema?
- ¿Qué áreas explican el tema?
- ¿Qué ley o principio explica el fenómeno o acontecimiento objeto de estudio?

La solución de estos interrogantes facilitará el delineamiento de un derrotero docente y discente que dará sentido a la construcción de conceptos. En este momento, se tienden los puentes y desarrollan las transposiciones didácticas propias del ejercicio enseñanza-aprendizaje. Es claro que temporalmente un semestre académico dura diecisiete semanas, por tanto el docente en su planeación debe diseñar entre seis y ocho situaciones problemáticas de tal manera que su solución permita el estudio de cada uno de los temas concebidos para el curso.

## Seguimiento y acompañamiento

Cada grupo de estudiantes tendrá una mirada, una aproximación y una manera de trabajar distinta frente al problema planteado por el docente. Por esta razón, los encuentros programados para ejecutarse en el aula – espacio diferente al del laboratorio–, se caracterizan por el seguimiento a cada estudiante y a la manera como está trabajando. Sin caer en clases magistrales, es necesario se unificar criterios teóricos, analizar los modelos matemáticos validados universalmente y se resolver las inquietudes que surjan en el proceso. Los estudiantes son los responsables de trazar el camino que los llevará a la solución del problema, incluida la aplicación práctica que tendrán que desarrollar. Sin embargo, el docente no queda eximido de su responsabilidad de asesorar al estudiante para



impedir que pierda la orientación y corra el riesgo de no conceptualizar los temas previstos en la planeación del curso.

## **Desarrollo de actividades**

El profesor, de la mano con sus estudiantes, construye consensos y propone las normas y recomendaciones del trabajo que se va a realizar, así como las exigencias colectivas e individuales. De esta manera, se generan acciones para construir el informe, encontrar las afirmaciones de valor y de conocimiento, las transformaciones y los registros. En este punto, los estudiantes dan solución a las siguientes preguntas:

- ¿Por qué es importante el estudio del fenómeno, acontecimiento o tema ?
- ¿Qué se aprendió de él?
- ¿Se respondieron las preguntas centrales?

La interacción del docente con los estudiantes se lleva a cabo en el laboratorio y por ende dicho espacio debe contar con las herramientas apropiadas para que los discentes implementen sus ejercicios prácticos.

## **Momento de evaluación**

Se analizan los indicadores trazados con el docente en función del nivel de desarrollo alcanzado y se concretan los temas que no han sido tratados de manera directa. Se verifican las imprecisiones y se preparan los elementos para reiniciar su tratamiento a un nivel superior con la aplicación del modelo. La elaboración de los elementos de evaluación es imprescindible. Estos no pueden ser solamente de tipo cuantitativo, sino también orientados a la valoración de competencias, en consonancia con los conceptos teóricos que en su planeación haya incluido el docente. El profesor debe explicar al grupo e individualmente, en qué medida se alcanzaron los objetivos propuestos.



*Elaboración de guías  
de laboratorio*





# *Elaboración de guías de laboratorio*

Se elaboraron las guías de laboratorio tanto de circuitos eléctricos como electrónicos y los aspectos que se tuvieron en cuenta se describen a continuación.

## **Tema de la práctica**

Está relacionado con la situación problemática que la precede. El estudiante emplea el tema para apropiarse de los conceptos y conocer a fondo lo que va a trabajar en el laboratorio.

## **Objetivos**

Básicamente, son los logros que el docente plantea los cuales deben ser alcanzados por los estudiantes cuando terminen su trabajo.

## **Equipos sugeridos**

Es un listado de equipos que los estudiantes tienen a su disposición para obtener la información necesaria durante la práctica. Es importante aclarar que solo se señalan algunos y si un grupo cualquiera necesitare para su práctica un elemento adicional, debe hacer la respectiva justificación. Además, en la mayoría de las prácticas no se especifican los valores de los elementos que conforman el circuito, ni se indica para qué serán utilizados los equipos.

## Procedimiento descriptivo de la práctica

Es un procedimiento sugerido para desarrollar la práctica que debe ser completado por los estudiantes, debido a que en la guía se omiten situaciones y eventualidades solo identificables por el discente cuando lleva a cabo su trabajo de laboratorio.

## Preguntas teóricas y preguntas para el laboratorio relacionadas con el tema de la práctica

Se trata de fomentar en el estudiante una actitud investigativa y de observación. Algunas preguntas están orientadas a la búsqueda de información que complemente su conocimiento del tema y otras deben ser contestadas directamente durante el desarrollo del trabajo en el laboratorio.

En la Figura 2 se muestra una guía de laboratorio de circuitos eléctricos en la cual se destacan los elementos señalados anteriormente. En ella se observa que el docente explicita el circuito que se debe construir, pero en ningún momento entrega los valores de los elementos.<sup>2</sup> Esto se hace con el fin de propiciar en los estudiantes un análisis constructivo acerca de la implementación de dicho circuito de acuerdo con los valores en los elementos predeterminados por ellos. En muchas ocasiones, encuentran que dichos valores no son factibles porque una variable de corriente, de voltaje o de potencia se lo impide o porque el elemento que entrega la energía no soporta la exigencia de carga por parte del circuito (Cruz Ardila y Valencia Murillo, 2005).

## Elaboración del informe

Para la presentación del informe, los estudiantes deben reunir los elementos que permiten configurar su trabajo práctico. Este informe se elabora en dos momentos: uno anticipativo, que corresponde a una semana antes de la práctica donde el estudiante debe diseñar, construir y hacer la simulación de los circuitos que va a implementar en el laboratorio; y uno práctico, donde el estudiante asiste al laboratorio, ejecuta lo planeado, toma información y verifica si su diseño y análisis simulado coinciden con el desarrollo real. En este momento el estudiante se expone a múltiples situaciones adversas tales como: el mal funcionamiento de un dispositivo, de un equipo o mal uso de la teoría que él acepta como vá-

---

2. Las guías pueden o no contener los circuitos explícitos y las estructuras variar ligeramente en cada práctica en función de la temática que se va a trabajar y las habilidades y competencias desarrolladas en los estudiantes.

lida dentro de su construcción cognitiva. Aquí la participación del docente es apropiada para dar solución a los múltiples interrogantes que aparecen y para dilucidar aquellos conceptos que considere que están confusos.

**Figura 2**  
Guía de laboratorio de circuitos eléctricos

**Tema de la práctica.**

**No se dan los valores de los elementos a utilizar.**

**Se entrega al estudiante una configuración circuital que sirva de guía para construir la propia.**

**Las preguntas son de dos tipos: unas, motivan al estudiante a consultar para ampliar conocimientos y las otras, para determinar el grado de comprensión en la práctica.**

El trabajo que deben hacer los estudiantes se compone de los siguientes elementos:

- a. Un trabajo escrito previo a la práctica llamado preinforme, con los siguientes elementos:
  - Listado de equipos, materiales y dispositivos que serán utilizados.
  - Procedimiento detallado de la práctica que se va a desarrollar.
  - Esquema del circuito que van a implementar en el laboratorio.

- Cálculos de cada uno de los circuitos si así lo demandan.
  - Simulación de la práctica mediante software.
  - Solución a las preguntas teóricas y cuestionamientos adicionales que proponen las prácticas antes de entrar al laboratorio, con su respectiva referencia bibliográfica.
- b. Cumplir al menos con el cálculo teórico y la simulación del trabajo que se va a implementar para que el docente le permita efectuar la práctica.
- c. Para dar por terminada la práctica, esta debe ser sustentada por los integrantes del grupo y presentar un informe que contenga los siguientes elementos:
- Trabajo previo (punto a).
  - Datos medidos.
  - Comparación y análisis de lo teórico y simulado con lo práctico.
  - Conclusiones, recomendaciones y observaciones.



*Guías para  
laboratorio de circuitos  
de corriente directa (DC)*





# *Guías para laboratorio de circuitos de corriente directa (DC)*

El estudio de los circuitos de corriente directa es la primera fase de formación de un ingeniero eléctrico y electrónico y la oportunidad de poner en práctica la conceptualización teórica de la física de electromagnetismo a mediante la implementación de aplicaciones que demanden el uso “inteligente” de las cargas eléctricas (Hayt Jr., Kemmerly y Durbin, 2007, p. 1). Su estudio y comprensión posibilitan el diseño de dispositivos eléctricos y electrónicos complejos de aplicación cotidiana. Por ejemplo, una batería produce corriente directa en un circuito porque sus bornes o terminales tienen siempre el mismo signo de carga. Los electrones se mueven en el circuito en la misma dirección invariablemente: del borne negativo que los repele, al borne positivo que los atrae. Incluso si la corriente se mueve en pulsaciones irregulares, en tanto lo haga en una sola dirección es DC o corriente directa. En general, el desarrollo tecnológico actual, que comprende actividades de comunicación, seguridad, confort y ahorro energético, está signado por mecanismos que incorporan electricidad y electrónica, cuya operación demanda energía y una operación inteligente de la corriente eléctrica. De ahí la importancia de estudiar y comprender su funcionamiento, examen que comienza con las configuraciones más sencillas compuestas de circuitos de corriente continua.

## Competencias por desarrollar

- Capacidad para la comprensión y análisis de problemas de circuitos CC.
- Capacidad para el manejo de modelos matemáticos de los circuitos CC y su acertada aplicación en la solución de problemas.
- Capacidad para aplicar el método científico en el desarrollo y entrega de informes de laboratorio.
- Capacidad de organización y planificación del trabajo en equipo.
- Mostrar una actitud y disposición personales para trabajar en equipo, participar abiertamente en las discusiones y ser responsable y tolerante.
- Capacidad de comunicarse con un lenguaje acorde con sus conocimientos y área del saber.
- Mostrar autonomía en la indagación y profundización de los temas.
- Mostrar una responsabilidad ética en su proceder como estudiante.
- Capacidad para la relación de alteridad, es decir, la facultad ética de reconocer al otro (su compañero).
- Capacidad de relacionarse cordialmente con los compañeros de equipo e interactuar en sus diferentes papeles.
- Capacidad para planear y cumplir a tiempo con las actividades propuestas en procura de hacer un trabajo de calidad.
- Mostrar un compromiso con la calidad en su trabajo académico.

## Práctica 1

### Mediciones eléctricas

#### Objetivos

1. Conocer y utilizar apropiadamente los instrumentos empleados en la medición de circuitos eléctricos.
2. Identificar los diferentes tipos de señales eléctricas, apropiadas de manera teórica y ahora medidas con instrumentos.

#### Equipos sugeridos

1	Multímetro	1	Generador de funciones
1	Vatímetro	1	Fuente de CC
1	Osciloscopio	1	Protoboard
2	Puntas de prueba de los osciloscopios	1	Equipo de laboratorio

#### Procedimiento

1. Efectuar una comparación visual y práctica del funcionamiento de un multímetro y describir las medidas que se pueden hacer con él. Para llevar a cabo esta operación, conectar el multímetro a una fuente de voltaje de CC, la cual será configurada para varios valores intercambiando los puntos de conexión. Repetir el anterior procedimiento con el generador de funciones. Comentar con el grupo las diferencias entre mediciones.
2. Medir con el multímetro el voltaje en un tomacorriente. Registrar recomendaciones y cuidados que se deben tener en cuenta con el equipo.
3. Construir un circuito resistivo de pocos elementos alimentado con una fuente de CC. Medir voltajes y corrientes en los elementos con el multímetro, teniendo en cuenta que cada medición exige conexiones diferentes (en serie y paralelo).
4. Repetir el punto anterior sustituyendo la fuente de CC por el generador de funciones, el cual cumplirá la función de fuente de CA.
5. Identificar las principales partes y controles del osciloscopio. Describir la forma de medición de una señal de la fuente de voltaje de CC y otra con el

generador de señales. Para este último, tome lectura del voltaje, el periodo y la frecuencia de una señal sinusoidal ajustada por usted. Estos datos deben ser recopilados a partir de los análisis análogo y digital.

6. Medir con el osciloscopio el voltaje en un tomacorriente. Registrar recomendaciones y cuidados que se deben tener en cuenta con el equipo. Comparar los resultados obtenidos con el multímetro.
7. Con ayuda del catálogo técnico del vatímetro, haga una medición con el vatímetro. Se recomienda el montaje de un circuito resistivo con al menos tres elementos.

### ***Preguntas teóricas***

1. En un circuito, ¿cómo se conectan un amperímetro y un voltímetro para tomar lectura de corriente y de voltaje respectivamente?
2. ¿Los medidores análogos tienen actualmente alguna aplicación? ¿Poseen ventajas o desventajas?
3. ¿Qué es y para qué sirve un generador de señal? ¿Qué limitaciones tiene para funcionar como fuente de alimentación de un circuito?
4. ¿Cuáles son las diferencias básicas entre un osciloscopio análogo y uno digital? ¿Qué cuidados se deben tener en el momento de conectarlos a un circuito eléctrico?
5. ¿Cuáles son las diferencias entre medición directa e indirecta?

### ***Preguntas para resolver en el laboratorio***

1. ¿Qué cuidados se consideraron al medir voltajes y corrientes?
2. Enumerar las diferencias prácticas en la medición efectuada con el multímetro y el osciloscopio. ¿Qué sucede si se intercambian los cables de conexión del multímetro para cada medición?
3. Enumerar mínimo cinco especificaciones técnicas que se tomaron como importantes en cada uno de los equipos de medición usados durante la práctica.

## Práctica 2

### Ley de Ohm

#### Objetivos

1. Comprobar experimentalmente la ley de Ohm.
2. Elaborar las gráficas de voltaje y corriente eléctrica para elementos distintos.
3. Clasificar las diferencias en el comportamiento de una resistencia lineal y otra no lineal.

#### Equipos sugeridos

1	Multímetro	1	Generador de funciones
1	Vatímetro	1	Fuente de CC
1	Osciloscopio	1	Protoboard
2	Puntas de prueba de los osciloscopios	1	Equipo de laboratorio
1	Resistencia (valor en kilo-ohmios)	1	Bombillo
1	Diodo 1N4004	1	Alambre de cobre (un trozo superior a un metro)

#### Procedimiento

1. El grupo debe ingeniarse la manera de comprobar experimentalmente la ley de Ohm. Para ello deben conocer muy bien en qué consiste esta ley y su desarrollo histórico.
2. Utilizando tres elementos distintos (resistencia, bombillo y diodo semiconductor) trazar las gráficas  $V$  vs  $I$ . ¿Qué diferencias se observan? Es importante consultar la manera y cuidados al momento de conectar los elementos, particularmente con el diodo, para obtener las gráficas.
3. El grupo debe encontrar el valor de resistencia de un conductor de cobre de al menos un metro de longitud.
4. Con ayuda de *Multisim* simule el punto 2 y tome algunos datos de voltaje y corriente que le permitan construir una gráfica  $V$  vs  $I$  en computador (por ejemplo, Excel), para ser comparados con los obtenidos en el laboratorio.

5. Comparar los datos simulados con los medidos en el laboratorio.
6. Proponer una medición alternativa de la corriente en una resistencia por medio del multímetro utilizado como voltímetro.

### ***Preguntas teóricas***

1. ¿Cuáles son las características básicas de un diodo semiconductor? ¿Qué tipo de comportamiento presenta? ¿Por qué se deben tener cuidados al momento de conectar el diodo para hacer mediciones de corriente?
2. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de una bombilla eléctrica? ¿Por qué razón el filamento debe ser encerrado en una ampolla de vidrio?
3. ¿Cómo se calcula la resistencia que ofrece un material al paso de la corriente eléctrica?
4. ¿Es posible medir corriente con un osciloscopio en un elemento resistivo?
5. ¿Es posible aplicar la ley de Ohm en CA? ¿Por qué?

### ***Preguntas para resolver en el laboratorio***

1. ¿Qué dificultades se presentaron al trazar las gráficas de V vs I para cada uno de los elementos?
2. Si a los circuitos construidos en el punto 2 del procedimiento (resistencia, bombilla y diodo) se les cambia la fuente de voltaje de CC por una de CA, ¿se obtiene el mismo resultado?
3. Elaborar un cuadro comparativo entre las mediciones efectuadas en el laboratorio, las simulaciones en *Multisim* y los cálculos teóricos.



## Práctica 3

### Leyes de Kirchhoff

#### Objetivos

1. Comprobar experimentalmente las leyes de Kirchhoff.
2. Analizar de forma práctica, la resistencia equivalente de un circuito de resistencias conectadas en serie y otras en paralelo.
3. Identificar la funcionalidad de un circuito equivalente.

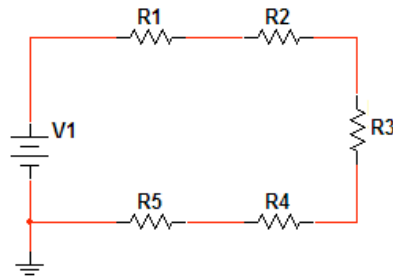
#### Equipos sugeridos

1	Multímetro	1	Generador de funciones
1	Transformador reductor de voltaje	1	Fuente de CC
5	Resistencias (valor en kilo-ohmios)	1	Protoboard
1	Clavija y cables de conexión	1	Equipo de laboratorio

#### Procedimiento

1. El grupo debe implementar un circuito serie, como se muestra en la Figura 3.

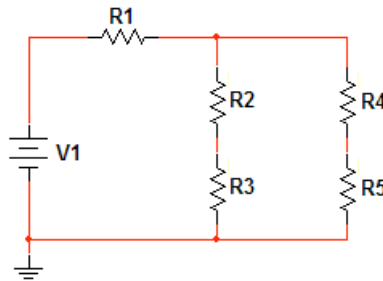
**Figura 3**  
Circuito serie



2. Se deben tomar lectura de los voltajes en cada elemento y la corriente del circuito. Elaborar una tabla en la cual se comparen los valores medidos con los previamente calculados y los simulados en *Multisim*. Explicar la manera como se demuestra la ley de voltajes de Kirchhoff.

3. Implementar un circuito en serie y paralelo, como se muestra en la Figura 4.

**Figura 4**  
Circuito combinación serie y paralelo



4. Tomar lectura del voltaje y la corriente en cada elemento. Elaborar una tabla en la cual se comparen los datos medidos, calculados y simulados. Explicar la manera como se demuestra la ley de corrientes de Kirchhoff.
5. Encontrar el circuito equivalente con la menor cantidad de elementos posibles de los circuitos mostrados en las figuras 3 y 4. Explicar la razón por la cual dichos circuitos obtenidos son equivalentes con respecto a los indicados en cada figura.

### **Preguntas teóricas**

1. ¿Cómo se construye en la práctica una fuente de CC?
2. ¿Cuáles son las especificaciones técnicas de las fuentes de C.C. que se usan en el laboratorio?
3. ¿Cómo se construye una fuente de voltaje variable de CA?

### **Preguntas para resolver en el laboratorio**

1. ¿Qué diferencias existen entre el circuito equivalente y el circuito principal construido por el grupo?
2. Con ayuda de un transformador reductor de voltaje, alimentar el circuito de la Figura 3 y comprobar la ley de voltajes de Kirchhoff. ¿Qué resultados se obtienen comparados con los de la fuente de CC?

## Práctica 4

### Teorema de superposición

#### Objetivos

1. Comprobar experimentalmente el teorema de superposición.
2. Determinar en forma práctica el funcionamiento de un potenciómetro.
3. Construir un divisor de voltaje con ayuda de un potenciómetro.

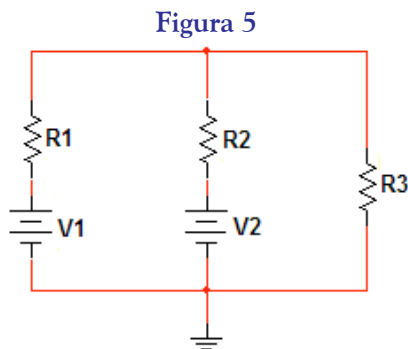
#### Equipos sugeridos

1	Multímetro	1	Generador de funciones
3	Resistencias	1	Fuente dual de CC
1	Potenciómetro	1	Protoboard
2	Puntas de prueba de los osciloscopios	1	Equipo de laboratorio

Nota: para las resistencias y el potenciómetro, se recomienda verificar los valores existentes en el laboratorio.

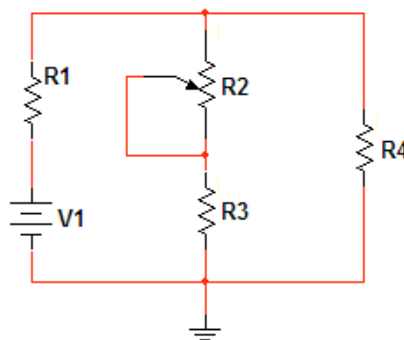
#### Procedimiento

1. El grupo debe implementar el circuito que se muestra en la Figura 5. Para este circuito se recomienda considerar unos valores diferentes de fuentes de voltaje y resistencias del orden de  $k\Omega$ . Simularlo en *Multisim* y por medio del análisis matemático con el teorema de superposición, determinar los voltajes y las corrientes en las resistencias cancelando debidamente las fuentes.



2. En el laboratorio se debe tomar lectura con el multímetro del voltaje y la corriente (sea de forma directa o indirecta) en cada elemento del circuito y elaborar una tabla en la cual se comparen los valores medidos con los calculados y los simulados.
3. Tomar las mismas lecturas con el circuito funcionando únicamente con la fuente V1 y luego con V2 por separado, cancelando las fuentes de la manera como se estudió en clase. Registrar los datos en una tabla.
4. Sumar los datos individuales tomados en el punto 3 y compararlos con los obtenidos en el punto 2 del procedimiento. Por ejemplo:  $(VR3 \text{ solo con } V1) + (VR3 \text{ solo con } V2)$ .
5. Determinar las diferencias y establecer las razones por las cuales se presentan.
6. Diseñar, simular e implementar un circuito divisor de voltaje como el de la Figura 6 con ayuda de un potenciómetro, el cual debe suministrar un voltaje de 5V a una resistencia de carga R4. Es importante tener presente la disipación de potencia de los elementos resistivos incluido el potenciómetro. Para obtener mejores resultados, se recomienda que el valor nominal del potenciómetro sea al menos diez veces mayor que R3 y relativamente cercano a R4.

**Figura 6**  
Circuito con potenciómetro



7. Tomar lectura del voltaje y la corriente en la resistencia de carga R4.
8. Variar el potenciómetro desde su valor mínimo hasta su valor máximo (ejemplo, cinco medidas, 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %). Medir corriente

y voltaje en R4 y elaborar una tabla en la cual comparen los datos medidos, calculados y simulados. Describir la incidencia en voltaje y corriente de los cambios del potenciómetro en R4.

### ***Preguntas teóricas***

1. ¿Cómo funciona un potenciómetro? ¿Cuál es la diferencia entre un potenciómetro y un reóstato?
2. ¿Cuáles son los tipos de potenciómetros que existen en el mercado?

### ***Preguntas para resolver en el laboratorio***

1. ¿Por qué es importante poner una resistencia en serie con el potenciómetro en el momento de conectarlo en un circuito?
2. ¿Qué tan práctico es y de qué manera se aplica en la realidad el teorema de superposición?

## Práctica 5

### Teorema de Thevenin y Norton

#### Objetivos

1. Analizar la aplicación de los teoremas de Thevenin y Norton.
2. Determinar un procedimiento experimental para calcular el equivalente Thevenin de un circuito lineal.

#### Equipos sugeridos

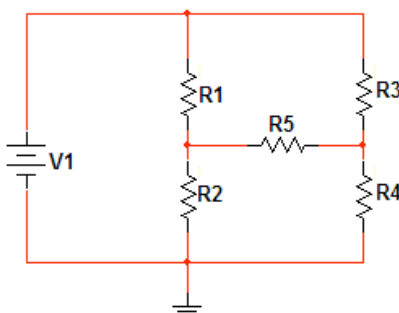
1	Multímetro	1	Fuente dual de CC
1	Equipo de laboratorio	1	Protoboard
5	Resistencias		

NOTA: Se recomienda para las resistencias verificar los valores existentes en el laboratorio.

#### Procedimiento

1. El grupo debe implementar un circuito como se muestra en la Figura 7. Se recomienda resistencias del orden de  $k\Omega$ . Simularlo en *Multisim* y a través de un análisis matemático con el Teorema de Thevenin, calcular el voltaje y la corriente en R5.

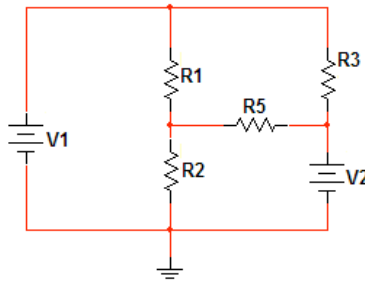
Figura 7  
Circuito resistivo



2. Se debe tomar lectura del voltaje y la corriente en R5 con el multímetro. Contrastar en una tabla estos resultados medidos con los simulados y calculados.

- Implementar un circuito equivalente Thevenin, de tal forma que la corriente y el voltaje en R5 debe ser el mismo que el medido en el punto 2 del procedimiento. Posteriormente, simular y comparar los nuevos cálculos con dicho circuito equivalente.

**Figura 8**  
Circuito resistivo



- El grupo debe implementar un circuito como se muestra en la Figura 8. Se recomienda resistencias del orden de  $k\Omega$ . Simularlo en *Multisim* y a través de un análisis matemático con el teorema de Thevenin, calcular el voltaje y la corriente en R3.
- Se debe tomar lectura del voltaje y la corriente en R3 con el multímetro. Contrastar en una tabla estos resultados medidos con los simulados y calculados.
- Implementar un circuito equivalente Norton de tal forma que la corriente y el voltaje en R3 sean los mismos que los medidos en el punto cinco. Recuerde que la fuente de corriente Norton debe ser analizada como un modelo matemático.

### **Preguntas teóricas**

- ¿Cómo se construye en la práctica un circuito equivalente Thevenin?
- ¿Qué papel desempeña el circuito equivalente Thevenin en el análisis de un circuito electrónico?

### **Preguntas para resolver en el laboratorio**

- ¿Qué diferencias existen en cuanto a corriente y voltaje en la carga, entre el circuito equivalente Thevenin y el circuito principal construido por el grupo?

## Práctica 6

### Máxima transferencia de potencia. Circuitos RL y RC

#### Objetivos

1. Interpretar las condiciones de máxima transferencia de potencia que se le puede entregar a una carga resistiva.
2. Describir el comportamiento de un inductor y un capacitor cuando son alimentados con una fuente de CC.
3. Determinar el valor de la inductancia y la capacitancia usando métodos experimentales.

#### Equipos sugeridos

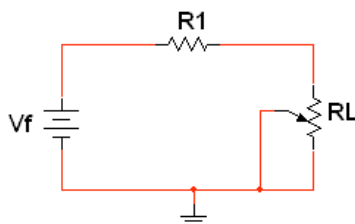
1	Multímetro	1	Generador de funciones
1	Osciloscopio	1	Fuente de CC
2	Puntas de prueba de los osciloscopios	1	Protoboard
1	Potenciómetro	1	Equipo de laboratorio
1	Tarjeta RLC PASCO		

#### Procedimiento

##### a. Máxima transferencia de potencia

1. El grupo debe implementar un circuito como se muestra en la Figura 9. Para este montaje se recomienda una  $R1$  menor al valor del potenciómetro  $RL$ . Con la ayuda de simulaciones y de análisis matemáticos de este circuito, comprobar el teorema de máxima transferencia de potencia por medio del cálculo de la potencia en  $RL$  para distintos valores, por ejemplo: 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %,  $R1 = RL$ . Se debe hacer un cuadro comparativo.

**Figura 9**  
Circuito resistivo



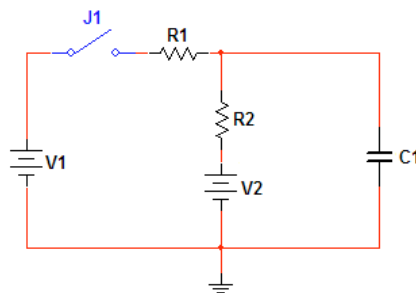


2. En el laboratorio, varíe el potenciómetro de un valor mínimo a uno máximo del mismo modo que en el punto uno del procedimiento. Para cada caso mida los valores de  $I_L$ , y  $V_L$ , regístrelos en una tabla y compárelos con los datos simulados y calculados. Calcule la potencia para cada caso. Es importante tener en cuenta que los valores de  $I_L$  y  $V_L$  deben estar acordes con lo calculado teóricamente y no ser resultado del azar.
3. ¿En qué valor de  $R_L$  se obtuvo la mayor potencia y de cuánto fue esta? ¿Cuál es la relación entre  $R_1$  y  $R_L$  y entre la potencia entregada por la fuente y la consumida por  $R_L$ ?
4. Elabore una gráfica de la potencia consumida en  $R_L$  frente al valor en Ohmios de  $R_L$  ( $P_{RL}$  vs  $R_L$ ).

b. Circuito RC conectado a una fuente de CC

1. Construya el circuito de la Figura 10. Establezca los valores adecuados de  $R_1$  y  $R_2$  para observar el fenómeno transitorio del voltaje del capacitor (en decenas de segundos, por ejemplo). Simule y calcule el voltaje en el condensador de tal manera que se aprecien los tiempos de carga y descarga.

Figura 10  
Circuito RC



2. Con ayuda del osciloscopio mida el voltaje del capacitor desde  $t=0$  hasta que pase el efecto transitorio. Determine el tiempo de estabilización.
3. Elabore una tabla en la cual se comparen los datos medidos, calculados, simulados, para lograr su respectivo análisis.

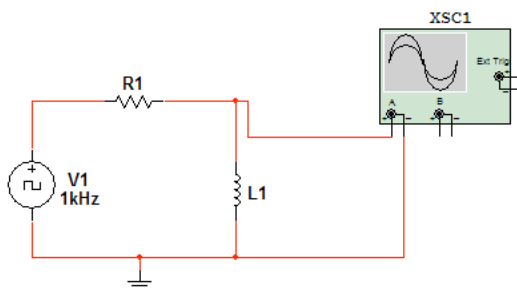
c. Circuito RL conectado a una fuente de CC

1. Construya el circuito de la Figura 11. Nótese que al suministrar un voltaje con una forma de onda cuadrada el generador de funciones simula a una fuente de voltaje con un conmutador, de tal manera que cuando el voltaje del generador es 2 V, el circuito es excitado por la fuente y se observa la

respuesta completa. Al hacerse cero el voltaje de la fuente, esto equivale a poner en corto las terminales del generador y en ese momento se tiene un circuito sin fuentes que responde solo a la condición inicial, es decir, a la corriente que circula por la bobina en el momento de la interrupción.

2. Ajuste el generador de funciones para que proporcione una forma de onda cuadrada positiva con un voltaje de pico de 2 V y una frecuencia de 1 KHz. Ajuste los canales A y B del osciloscopio para obtener una lectura de por lo menos un ciclo completo de la onda cuadrada que sirve de método indirecto para medir la corriente del circuito (IL).
3. Conecte la punta de prueba del canal A del osciloscopio para observar el voltaje del generador de funciones y la punta de prueba del canal B para observar el voltaje en el inductor. Describa las formas de onda del voltaje de la fuente y del voltaje en el inductor e identifique las diferencias (informe).

**Figura 11**  
Circuito RL



### ***Preguntas para resolver teóricamente***

1. ¿Qué importancia tiene determinar la resistencia interna de una fuente de voltaje?
2. ¿De qué manera se calcula la capacitancia de un condensador y la inductancia de una bobina?

### ***Preguntas para resolver en el laboratorio***

1. ¿Qué procedimiento se puede implementar para medir la resistencia interna de una fuente de voltaje?
2. ¿De qué manera práctica y sin instrumento de medición se calcula la capacitancia de un condensador y la inductancia de una bobina?

*Guías para  
laboratorio de circuitos  
de corriente alterna (CA)*





# Guías para laboratorio de circuitos de corriente alterna (CA)

Cuando un circuito eléctrico es alimentado con fuentes senoidales, se debe hacer un análisis funcional más complejo que en los circuitos en los cuales la corriente se transporta en un solo sentido. Sin embargo, se mantienen los conceptos y las leyes básicas de los circuitos como las leyes de Ohm y de Kirchhoff, con una variación en la herramienta matemática y en los instrumentos utilizados para medir las diferentes magnitudes (Robbins y Miller, 2008, p. 461). Cuando un estudiante de ingeniería electrónica estudia y conceptualiza la corriente alterna, tiene la posibilidad de analizar el comportamiento de los circuitos cuando varía la frecuencia de red y cómo cobran importancia los fenómenos capacitivos en las uniones de materiales semiconductores y los inductivos en aquellos dispositivos que usan bobinados. En general, el estudio de la corriente alterna da la posibilidad de conocer el comportamiento de la corriente eléctrica en todas sus dimensiones: generación, transporte y conversión en energía mecánica, lumínica, sonora, entre otras.

## Competencias por desarrollar

- Capacidad para la compresión y el análisis de problemas de circuitos CA.
- Capacidad para el manejo de modelos matemáticos de los circuitos CA y su aplicación en la solución de problemas.

- Capacidad para aplicar el método científico en el desarrollo y entrega de informes de laboratorio.
- Capacidad de organización y planificación del trabajo en equipo.
- Mostrar una actitud y disposición personal para trabajar en equipo, participar abiertamente en las discusiones, ser responsable y tolerante.
- Capacidad de comunicarse con un lenguaje acorde con sus conocimientos y área del saber.
- Mostrar autonomía en la indagación y profundización de los temas.
- Mostrar una responsabilidad ética en su proceder como estudiante.
- Capacidad para la relación de alteridad, es decir, la facultad ética de reconocer al otro (su compañero).
- Capacidad de relacionarse cordialmente con los compañeros de equipo e interactuar en sus diferentes papeles.
- Capacidad para planear y cumplir a tiempo con las actividades propuestas en procura de hacer un trabajo de calidad.
- Mostrar un compromiso con la calidad en su trabajo académico.

## Práctica 1

### Análisis de voltaje y corriente en elementos pasivos con CA

#### Objetivos

1. Analizar las señales de voltaje y corriente en elementos pasivos como bobinas, resistencias y condensadores.
2. Describir el comportamiento de un inductor y un capacitor cuando son alimentados con una fuente de CA.
3. Determinar los valores de desfase entre voltaje y corriente en un circuito RL y RC.

#### Equipos sugeridos

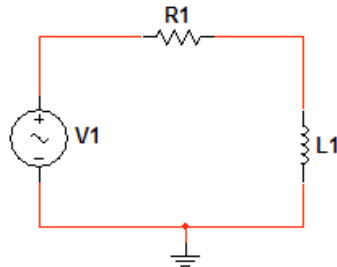
1	Multímetro	1	Generador de funciones
1	Medidor RLC	1	Fuente de CC
1	Osciloscopio	1	Protoboard
2	Puntas de prueba de los osciloscopios	1	Equipo de laboratorio
1	Transformador reductor de voltaje	1	Tarjeta RLC PASCO

#### Procedimiento

##### a. Circuito RL conectado a una fuente de CA

1. El grupo debe implementar un circuito tal como se muestra en la Figura 12 y utilizarlo para tomar lectura de los siguientes valores:
  - Impedancia total ( $Z$ ) y su gráfico fasorial. Determinar la magnitud y el ángulo.
  - La resistencia ( $R$ ) total del circuito, incluida la resistencia interna del inductor.
  - La inductancia de la bobina con núcleo y sin núcleo, con el medidor RLC.
  - Desfase entre voltaje y corriente.
  - La potencia consumida por el circuito.

**Figura 12**  
Circuito resistivo-inductivo

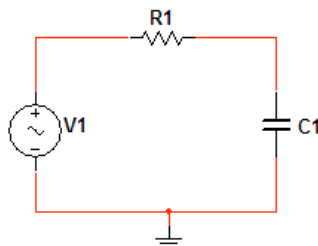


2. El procedimiento del punto uno debe ser simulado en *Multisim* y soportado a través de los cálculos. Los resultados teóricos, simulados y prácticos, deben ser comparados en una tabla y analizados.

b. *Circuito RC conectado a una fuente de CA*

1. Conecte el circuito de la Figura 13. Este circuito debe ser utilizado para tomar lectura de los siguientes valores:
  - Impedancia total ( $Z$ ) y su gráfico fasorial. Determinar la magnitud y el ángulo.
  - Resistencia ( $R$ ) total del circuito.
  - Capacitancia del condensador con el medidor RLC.
  - Desfase entre voltaje y corriente.
  - La potencia consumida por el circuito.

**Figura 13**  
Circuito resistivo-capacitivo





2. El procedimiento del punto tres debe ser simulado en *Multisim* y soportado a través de los cálculos. Los resultados teóricos, simulados y prácticos, deben ser comparados en una tabla y analizados.

***Preguntas para resolver teóricamente***

1. ¿A qué se le denomina resistencia efectiva?
2. ¿Cómo incide en el comportamiento de los circuitos eléctricos el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente?

***Preguntas para resolver en el laboratorio***

1. ¿Qué procedimiento se puede implementar para medir la resistencia efectiva de un circuito RL o RC?
2. ¿Cómo se puede medir el desfase entre el voltaje y la corriente de un circuito en CA con el osciloscopio?

## Práctica 2

### Potencia en estado estable

#### Objetivos

1. Analizar las señales de voltaje y corriente en un sistema de comportamiento inductivo.
2. Describir el comportamiento del ángulo de fase entre el voltaje y la corriente en un circuito que tenga corrección de factor de potencia.
3. Determinar la potencia real y a partir de ella y el factor de potencia, obtener las potencias reactiva y aparente.

#### Equipos sugeridos

1	Multímetro	1	Vatímetro
1	Medidor RLC	1	Fuente de CC
1	Osciloscopio	1	Caja de electromagnetismo
2	Puntas de prueba de los osciloscopios	1	Equipo de laboratorio
1	Transformador reductor de voltaje		

#### Procedimiento

1. Luego de una simulación previa en *Multisim* y de efectuar los cálculos matemáticos, el grupo debe implementar un circuito que permita experimentar el comportamiento de una carga resistiva-reactiva. Debe medir:
  - Impedancia total ( $Z$ ).
  - La resistencia ( $R$ ) total del circuito.
  - Desfase entre voltaje y corriente.
  - La potencia consumida por el circuito con vatímetro.
2. Al circuito implementado en el punto uno es necesario corregirle el factor de potencia de tal forma que sea mayor a 0.9 en adelante.
3. Los resultados teóricos, simulados y prácticos, del punto uno, deben ser comparados en una tabla y analizados.

4. Con la caja de magnetismo, cada grupo debe implementar un generador de corriente alterna, elevar el voltaje en dos veces el generado con un transformador también construido con la caja y alimentar una carga resistiva. Se deben medir la potencia entregada por el generador y la consumida por la carga.
5. Del punto tres se deben especificar los siguientes elementos:
  - Procedimiento de montaje.
  - Principales causas de pérdidas de energía.
  - Dificultades para el funcionamiento óptimo del sistema generador-transformador-carga.

#### ***Preguntas para resolver teóricamente***

1. ¿Por qué se considera importante la corrección del factor de potencia a nivel industrial?
2. ¿Qué métodos son comúnmente usados a nivel industrial para la corrección del factor de potencia?

#### ***Preguntas para resolver en el laboratorio***

¿Qué factores incidieron en la corrección del factor de potencia?

## Práctica 3

### Variación en frecuencia

#### Objetivos

1. Construir el diagrama de magnitud y fase de un circuito RL y RC.
2. Describir el comportamiento total de un circuito RLC alimentado por una fuente de frecuencia variable.

#### Equipos sugeridos

1	Multímetro	1	Generador de funciones
1	Medidor RLC	1	Tarjeta RLC PASCO
1	Osciloscopio	1	Protoboard
2	Puntas de prueba de los osciloscopios	1	Equipo de laboratorio

#### Procedimiento

Antes de proceder con la construcción de sus circuitos, los valores máximos de corriente y voltaje que puede entregar el generador de funciones deben estar dentro de los rangos de seguridad, a fin de garantizar una adecuada muestra de datos. Además, como recomendación de diseño se trabajará con frecuencias de corte del orden de los kHz, para el posterior cálculo de R, L y C, en cada uno de los casos.

##### a. Circuito RL

1. Construir el diagrama de Bode para la magnitud y fase de un circuito RL, tomando como función de transferencia la razón entre el voltaje del inductor y el voltaje de la fuente ( $H=V_L/V_F$ ). Se recomienda hacer la gráfica en papel semilogarítmico.
2. Con una simulación previa del circuito en *Multisim*, comparar y analizar a través del *Bode Plotter*, la obtención del diagrama de Bode en magnitud y fase (recuerde que los valores de los elementos de la simulación deben ser consecuentes con los incluidos en el inventario del laboratorio).
3. Con el generador de funciones, alimentar el circuito con una señal sinusoidal de hasta  $2 V_p$  de amplitud máxima y variar la frecuencia del generador desde un valor muy pequeño hasta uno muy grande. Describir el comportamiento del voltaje del inductor ( $V_L$ ) y detallar si en algún punto o grupo de frecuencias este es igual al voltaje de la fuente. Registrar los datos más importantes

y suficientes para comparar una vez más la gráfica de magnitud y fase del circuito. Se debe tener en cuenta el uso del osciloscopio para observar la variación de fase entre la señal de entrada y la de salida.

4. Comparar los resultados prácticos con los teóricos.

*b. Circuito RC*

1. Construir el diagrama de Bode para la magnitud y fase de un circuito RC, tomando como función de transferencia la razón entre el voltaje del inductor y el voltaje de la fuente ( $H=VC/VF$ ). Se recomienda realizar las gráficas en papel semilogarítmico.hacer
2. Repetir los pasos dos y tres del anterior circuito y enfocar en esta ocasión toda la atención al voltaje del inductor (VC). Detallar si en algún punto o grupo de frecuencias este es igual al voltaje de la fuente. Registrar los datos más importantes y suficientes para comparar una vez más la gráfica de magnitud y fase del circuito. Se debe tener en cuenta el uso del osciloscopio para observar la variación de fase entre la señal de entrada y la de la salida.
3. Comparar los resultados prácticos con los teóricos.

*c. Circuito RLC*

1. Repetir los procedimientos anteriores y ubicar como referencia el voltaje en la resistencia (VR). Al igual que en los casos anteriores, comparar teoría y simulación con la práctica.

**Preguntas teóricas**

1. ¿Por qué es necesario el cambio de escala decimal a logarítmica para analizar la respuesta en frecuencia de los circuitos eléctricos?
2. Explicar la importancia en las gráficas de magnitud de Bode de los puntos -3 dB.

**Preguntas para resolver en el laboratorio**

1. ¿Será posible generalizar la respuesta en frecuencia de un circuito de acuerdo con el tipo de elementos que lo conforman: resistencia, inductor, capacitor? En otras palabras, ¿un circuito RL, RC o uno RLC tienen siempre la misma respuesta en frecuencia? Sustentar dicha afirmación.
2. ¿Qué se entiende con la expresión “barrido en frecuencia”?

## Práctica 4

### Resonancia en serie y en paralelo

#### Objetivos

1. Analizar las principales características y el comportamiento de un circuito resonante en serie y en paralelo.
2. Comparar el voltaje y la corriente de un circuito RLC en resonancia y en frecuencias de potencia media, con miras al análisis de la fase.

#### Equipos sugeridos

1	Multímetro	1	Generador de funciones
1	Medidor RLC	1	Fuente de CC
1	Osciloscopio	1	Protoboard
2	Puntas de prueba de los osciloscopios	1	Equipo de laboratorio
1	Transformador reductor de voltaje	1	Tarjeta RLC PASCO

#### Procedimiento

##### a. Circuito resonante en serie

1. Primeramente, se deben efectuar los cálculos necesarios para construir un circuito resonante RLC en serie, teniendo en cuenta la frecuencia de resonancia, el factor de calidad, el ancho de banda y las frecuencias de potencia media. Se pueden utilizar los elementos que están en la tarjeta RLC PASCO. En caso contrario, utilizar los elementos con valores según el inventario del laboratorio. Se recomiendan valores en frecuencia del orden de kHz para una mejor visualización de los resultados.
2. Con el osciloscopio identificar cada señal de referencia. Una vez hecho esto, contrastar la frecuencia de resonancia, el factor de calidad, el ancho de banda y las frecuencias de potencia media con los datos simulados y calculados a través de una tabla.

Nota: recordar la importancia de:

- definir un procedimiento claro y preciso para identificar el momento en que el circuito está resonando o está en frecuencias de potencia mitad.

- verificar por medio del medidor RLC el valor del inductor implementado, en el sentido de si alguno es diferente al de la tarjeta PASCO.
- tener en cuenta que la resistencia interna de la bobina utilizada puede afectar el valor de la frecuencia de resonancia.
- seleccionar la escala al momento de generar variaciones de frecuencia en el generador de funciones.
- los desfases que se presentan a medida que se varía la frecuencia.

*b. Circuito resonante en paralelo*

Repita el procedimiento del circuito resonante en serie, esta vez conectando los elementos en forma paralela.

***Preguntas teóricas***

1. Explique dos aplicaciones prácticas de los circuitos resonantes RLC.
2. ¿Qué significa la selectividad en un circuito?
3. ¿Cuál es el ancho de banda para las señales de radio AM y FM?

***Preguntas para resolver en el laboratorio***

1. ¿Cómo se puede implementar un amplificador de voltaje a partir de un circuito resonante?

## Práctica 5

### Filtros pasivos

#### Objetivos

1. Investigar por medio del análisis, un método para diseñar un filtro pasivo de segundo orden.
2. Analizar el comportamiento del filtro con herramientas de tipo teórico, práctico y virtual.

#### Equipos sugeridos

1	Multímetro	1	Generador de funciones
1	Medidor RLC	1	Fuente de CC
1	Osciloscopio	1	Protoboard
2	Puntas de prueba de los osciloscopios	1	Equipo de laboratorio
1	Tarjeta RLC PASCO o elementos pasivos considerados por el grupo		

#### Procedimiento

Antes de proceder con el montaje de sus circuitos, los valores máximos de corriente y voltaje que entregue el generador de funciones deben estar dentro de los rangos de seguridad, a fin de que garantizar una adecuada muestra de datos.

- a. *Filtro pasivo pasa altas de segundo orden con frecuencia de corte de 10 kHz*
  1. Analizar y calcular los parámetros necesarios para construir el filtro.
  2. Simular el circuito en *Multisim* y con ayuda del *Bode Plotter* obtenga el diagrama de Bode en magnitud y fase.
  3. Con el generador de funciones alimente el circuito con una señal sinusoidal de  $2 V_p$  de amplitud máxima. Ajuste la frecuencia del generador hasta que sea igual a la frecuencia de corte del filtro y con el osciloscopio mida el voltaje de salida. ¿Cuánto es la atenuación en dB a la frecuencia de corte? ¿Y cuál es el desfase en dicho punto entre la señal de salida y la de entrada?
  4. Compare los resultados prácticos con los teóricos y describa qué tan bueno y confiable es su filtro de acuerdo con su estabilidad.
- b. *Filtro pasivo pasa bajas de segundo orden, con frecuencia de corte de 20 kHz,*  
Repetir los pasos uno a cuatro según esta nueva configuración.



***Preguntas teóricas***

1. ¿Cuál es la diferencia de los filtros pasa altas o bajas con respecto a su orden?  
¿Cómo incide esto en el comportamiento de un circuito?
2. ¿Cuáles son las diferencias entre filtros activos y pasivos?
3. ¿Qué son filtros digitales?

***Preguntas para resolver en el laboratorio***

1. ¿Cuántos filtros se pueden obtener a partir de un sencillo arreglo RLC?

## Práctica 6

### Redes de dos puertos

#### Objetivos

1. Construir un circuito equivalente resistivo utilizando el método de redes de dos puertos.
2. Analizar el comportamiento de una red de dos puertos conformada por inductores y capacitores.

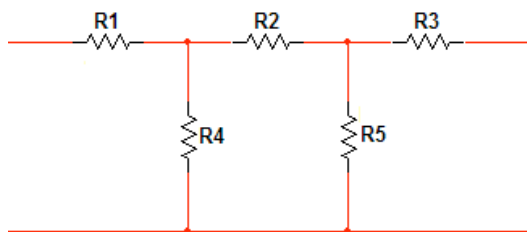
#### Equipos sugeridos

1	Multímetro	1	Generador de funciones
1	Medidor RLC	1	Fuente de CC
1	Osciloscopio	1	Protoboard
2	Puntas de prueba de los osciloscopios	1	Equipo de laboratorio
1	Tarjeta RLC PASCO o elementos pasivos considerados por el grupo		

#### Procedimiento

1. Hacer el circuito de la Figura 14. En esta red de dos puertos resistiva, se deben aplicar el método teórico (calculado) y el virtual (simulado) de redes de dos puertos para construir la matriz  $Z$  de los parámetros de impedancia.

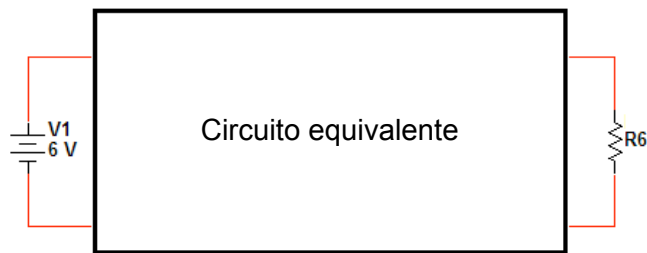
Figura 14



Los valores de las resistencias deben ser tales, que permitan obtener un circuito de comportamiento recíproco y valores de corriente en el orden de miliamperios, para así evitar el uso de resistencia de alta disipación de potencia.

2. En el laboratorio, calcular los valores de  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  y  $Z_4$ , a través de cálculos indirectos por medio de las modificaciones necesarias en la red para cada variable. Registrar los datos en una tabla y compararlos con los datos simulados y calculados.
3. Para comprobar el funcionamiento del circuito equivalente, es necesario alimentarlo con una fuente de 6 VCC y poner una resistencia de carga  $R_6$ , tal como se muestra en la Figura 15. Comprobar la ley de Ohm con los valores de  $V_2$  e  $I_2$  en las ecuaciones ya plateadas de la matriz  $Z$ .

Figura 15



### Preguntas teóricas

¿Existen aplicaciones para las redes de dos puertos? Si es así, ¿en qué campos?

### Preguntas para resolver en el laboratorio

Si se utiliza una fuente de diferente valor, ¿cambian los valores calculados en el punto tres?

## Práctica 7

### Inductancia mutua

#### Objetivos

1. Diseñar circuitos que permitan la aplicación de la ley de Faraday.
2. Comprobar el almacenamiento de energía en un inductor con un transformador.
3. Analizar el comportamiento de circuitos con varios inductores acoplados magnéticamente.

#### Equipos sugeridos

1	Multímetro	1	Generador de funciones
1	Medidor RLC	1	Fuente de CC
1	Osciloscopio	1	Protoboard
2	Puntas de prueba de los osciloscopios	1	Equipo de laboratorio
1	Transformador reductor de voltaje	1	Transformador de 1KVA
1	Caja de electromagnetismo		

#### Procedimiento

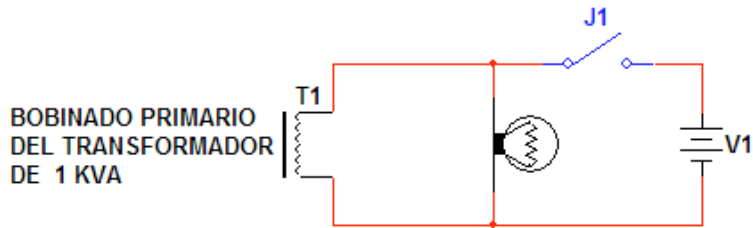
##### 1. Energía almacenada en un inductor

En esta parte de la práctica, por medio de una sencilla implementación (ver Figura 16) se intentará observar la energía que almacena el bobinado de un transformador cuando es energizada y se desconecta inmediatamente presenta un efecto corto de depósito de energía se puede apreciar en el bombillo. ¿A qué se debe este efecto?

El material necesario es el siguiente:

- Inductor de alto valor y baja resistencia (se utilizará un balasto para iluminación de mercurio llamado reactancia).
- Lámpara incandescente de 12 V.
- Fuente de CC o batería de 3 V.
- Pulsador.

Figura 16



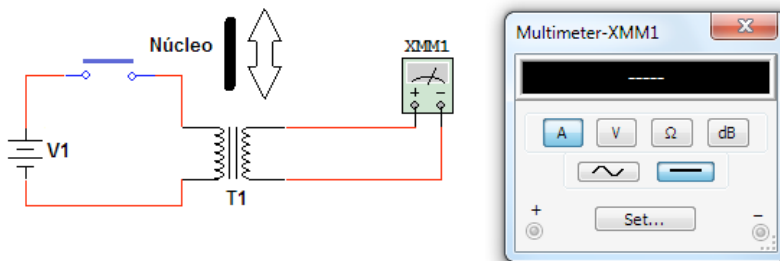
Cerrar y abrir el pulsador (pulsándolo y no pulsándolo) para observar los efectos en la lámpara. Explicar los resultados con base en los valores relativos y en los sentidos de circulación de la corriente de la lámpara antes e inmediatamente después de abrir el interruptor.

## 2. Inducción mutua

El material necesario es el siguiente:

- Dos bobinas solenoidales coaxiales, es decir, con los dos arrollamientos superpuestos sobre una misma forma cilíndrica de madera, con un núcleo de acero que se puede mover libremente (ver Figura 17).
- Una fuente de DC con una tensión mínima de 2V.
- Un multímetro configurado como amperímetro.
- Un pulsador.

Figura 17



Se prepara la siguiente disposición:

- a. Accionar el pulsador observando las lecturas del amperímetro con y sin núcleo ferromagnético.
- b. Repetir lo anterior cambiando las conexiones de los inductores.
- c. Con el pulsador accionado, introducir y extraer el núcleo con distintas velocidades. Se deben registrar con detalle las experiencias de esta práctica.

### 3. *Inducción mutua.*

Se dispone de dos solenoides con núcleo ferromagnético. Uno de ellos (circuito 1), se conecta a una fuente de corriente alterna y el otro (circuito 2), a una pequeña lámpara incandescente.

Recordemos que cuanto mayor sea  $M$ , tanto mayor serán la FEM inducida en el circuito 2, la corriente que circule por la lámpara y su brillo. Mover el circuito 2 alrededor del circuito 1 y observar la dependencia de  $M$  en relación con la distancia entre ambos circuitos y su posición relativa. Explicar lo observado con base en la expresión de  $M$  y el conocimiento del campo de un solenoide.

### 4. *Acoplamientos*

Equipo necesario:

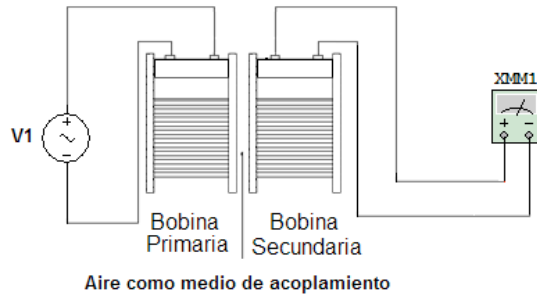
- Dos bobinas con igual número de espiras.
- Núcleos de hierro en forma de I y de U.
- Cables de conexión.

Construir cuatro circuitos los cuales se diferenciarán entre sí por el medio de acoplamiento entre la bobina primaria y la secundaria. La descripción de los circuitos que se van a construir se muestra en las figuras 18, 19, 20 y 21. En esta etapa, la bobina primaria tendrá el mismo número de vueltas que la secundaria y la fuente utilizada será de corriente alterna con una tensión de 6 Vp.

En cada caso se medirá el voltaje en el secundario, lo que da una idea de la intensidad del acoplamiento.

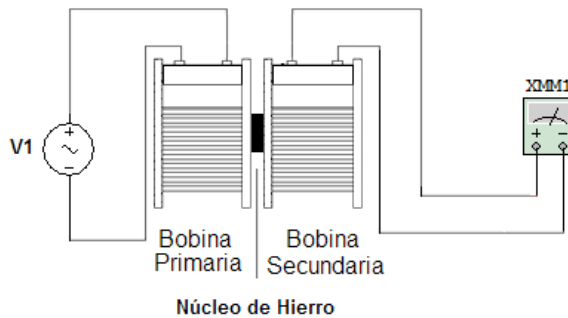
- a. El medio de acoplamiento es el aire:

Figura 18



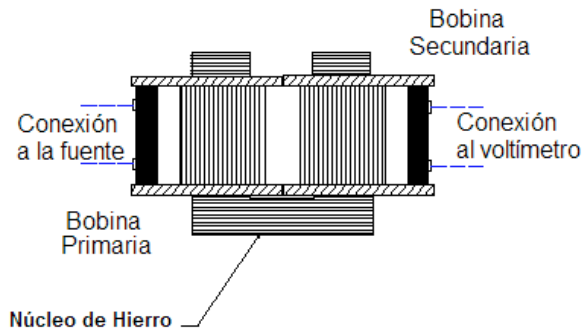
- b. El medio de acoplamiento es la barra I:

Figura 19

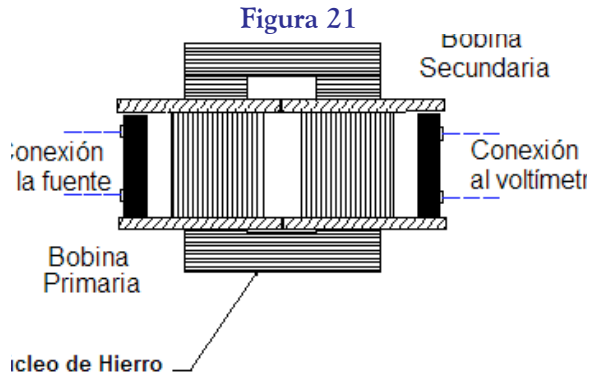


- c. El medio de acoplamiento es la barra U:

Figura 20



d. El medio de acoplamiento es el anillo cuadrado cerrado:



En este punto de los acoplamientos, se deben registrar las experiencias que condensen los principales aportes de dichas pruebas y las formulaciones teóricas relacionadas con el tema de inducción mutua.

### *Preguntas teóricas*

Investigar y explicar dos aplicaciones prácticas de la inductancia mutua en circuitos eléctricos.

### *Preguntas para resolver en el laboratorio*

Entre dos circuitos con inductancia mutua, ¿qué se puede decir con respecto a la distancia de separación entre bobinas?



## Práctica 8

### Polaridad y relación de transformación en transformadores

#### Objetivos

1. Conocer un transformador real de 1KVA de potencia.
2. Encontrar los valores aproximados de la relación de transformación usando el método de los dos voltímetros y la bobina espía.
3. Determinar las marcas de polaridad de un transformador de pequeña potencia.

#### Equipos sugeridos

2	Multímetros	1	Generador de funciones
1	Medidor RLC	1	Fuente de CC
1	Osciloscopio	1	Protoboard
2	Puntas de prueba de los osciloscopios	1	Equipo de laboratorio
1	Transformador reductor de voltaje	1	Alambre de cobre de dos metros de largo

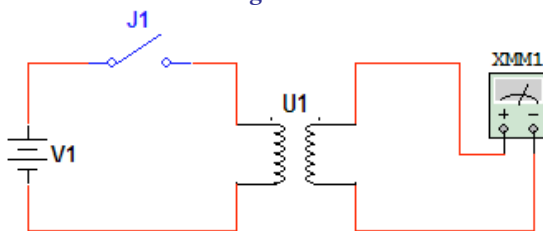
#### Procedimiento

1. Identificar cada una de las partes constructivas del transformador que va a utilizar y hacer una descripción teórica de ellas.
2. Determinar la relación de transformación usando dos voltímetros. Tenga presente el voltaje máximo que puede ser aplicado al transformador.
3. Con unas cuantas espiras de alambre de cobre colocadas alrededor del bobinado del transformador, determinar el número de vueltas aproximado de cada bobinado. El procedimiento consiste en poner las espiras lo más próximas posible al bobinado del transformador y alimentar este con un voltaje para determinar la f.e.m. inducida en la bobina espía. Como se conoce el número de espiras y el voltaje inducido, puede hacer uso de la relación  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$  para encontrar el número de vueltas del devanado por donde alimentó el transformador.
4. Método del golpe inductivo para determinar marcas de polaridad: de acuerdo con la Figura 22, si al cerrar el interruptor el voltímetro marca dentro de

la escala, ello significa que fue aplicada a su borne positivo una tensión de polaridad positiva con relación al otro borne; esto es, que la terminal del transformador conectado al borne positivo del voltímetro es la correspondiente al terminal del devanado excitado, conectado al borne positivo de la batería. A esta condición de funcionamiento se le llama polaridad sustractiva.

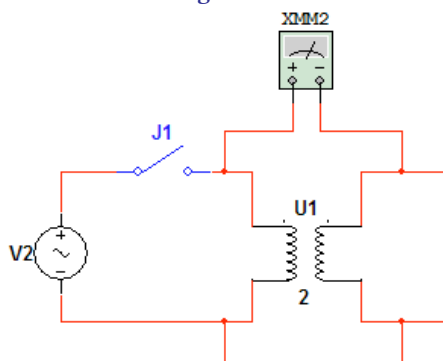
Una reflexión en sentido contrario a la escala indicará que al borne negativo del voltímetro le fue aplicado un voltaje positivo; por ende, la terminal conectada a este borne será la correspondiente a la terminal positiva del devanado excitado. A esta condición de funcionamiento se la llama polaridad aditiva. Se debe identificar el tipo de polaridad del transformador de la práctica.

Figura 22



- Determinación de la polaridad con una fuente de corriente alterna: de acuerdo con la Figura 23, si al cerrar el interruptor el voltaje medido en el voltímetro tiene un valor igual a  $V1 + V2$ , sus marcas de polaridad serán diagonales (polaridad aditiva); si por el contrario, la medida del voltímetro es  $V1 - V2$ , sus marcas serán colineales (polaridad sustractiva). Identifique el tipo de polaridad por este método.

Figura 23



### ***Preguntas teóricas***

1. Investigar dos aplicaciones prácticas del transformador.
2. ¿Qué tipos de transformadores se encuentran en el mercado?
3. ¿Qué recomendaciones deben considerarse en el diseño de un transformador?

### ***Preguntas para resolver en el laboratorio***

1. ¿Qué cuidados se deben tener al momento de conectar un transformador real?
2. ¿Qué diferencias se encontraron entre el modelo teórico y el real del transformador?

## Práctica 9

### Prueba de vacío y cortocircuito en transformadores

#### Objetivos

1. Encontrar los valores aproximados de la rama de excitación y magnetización del modelo circuital del transformador utilizado.
2. Determinar la eficiencia y la regulación de un transformador de pequeña potencia.

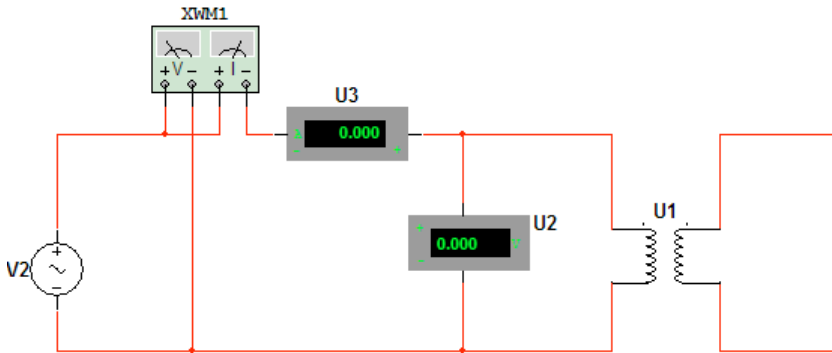
#### Equipos sugeridos

2	Multímetros	1	Generador de funciones
1	Medidor RLC	1	Fuente de CC
1	Osciloscopio	1	Protoboard
2	Puntas de prueba de los osciloscopios	1	Equipo de laboratorio
1	Transformador reductor de voltaje	1	Vatímetro

#### Procedimiento

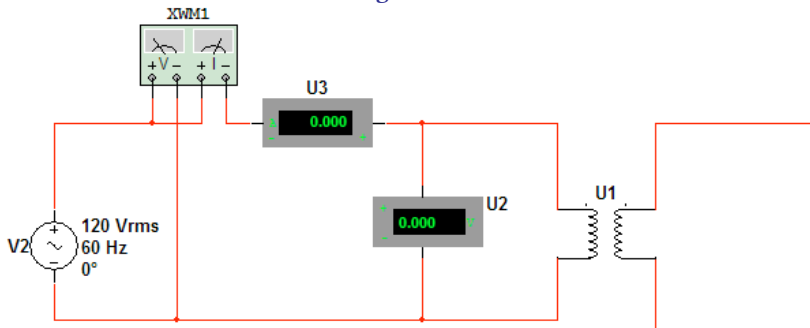
1. Antes de llevar a cabo las pruebas se deben determinar las especificaciones eléctricas del transformador. Para esto, es necesario implementar un método para hallar la potencia nominal que puede manejar el transformador y con mediciones de voltaje hallar la relación de transformación.
2. Seguidamente, se debe conectar el circuito mostrado en la Figura 24 para efectuar la prueba de vacío. Se toman lecturas de corriente, voltaje y potencia de circuito abierto y se consignan en una tabla. Debe haber claridad con respecto al lado del transformador (primario o secundario) en el que se implementará la prueba, para lo cual se usan marcas de referencia. Como resultado de esta prueba, se deben obtener los valores de los elementos que conforman la rama paralela ( $R_m$  y  $L_m$ ) del modelo del transformador.

Figura 24



3. Conectar los elementos necesarios para llevar a cabo la prueba de cortocircuito del transformador de 1KVA. Se debe utilizar un variador de voltaje de corriente alterna (o en su defecto un transformador que proporcione un voltaje pequeño) ya que la prueba consiste en hacer circular la corriente nominal del transformador por el cortocircuito (ver la Figura 25). Las variaciones deben ser pequeñas para evitar daños de los equipos. Tomar lecturas de la corriente del cortocircuito, del voltaje de cortocircuito y de la potencia consumida por el transformador. Se deben tener claridad acerca del lado del transformador (primario o secundario) sobre el cual se implementará la prueba. Como resultado de este punto se obtienen los valores de los elementos que conforman la rama serie ( $R_{eq}$  y  $L_{deq}$ ) del modelo del transformador.

Figura 25



4. El transformador debe alimentar una carga conformada por bombillos incandescentes (entre los integrantes del grupo se decide el número y la

conexión) y tomar lectura de la corriente y el voltaje en la carga. Determinar el porcentaje de regulación y la eficiencia de la máquina.

5. Con los datos obtenidos en las dos pruebas, elaborar un modelo virtual equivalente del transformador de 1KVA, alimentarlo con una carga conformada por bombillos incandescentes (igual a la utilizada en el punto cuatro) y tomar lectura de la corriente y el voltaje.
6. El grupo debe analizar y consignar la experiencia llevada a cabo y especificar los resultados obtenidos, la validez del modelo y su simulación en el computador (informe).

### ***Preguntas teóricas***

1. ¿En qué consiste el modelo circuital del transformador?
2. ¿Qué es y cómo funciona un transformador de pulsos?

### ***Preguntas para hacer en el laboratorio***

Debatir entre el grupo y consignar sobre la funcionalidad de las pruebas de vacío y corto circuito del transformador.

*Guías para  
laboratorio de circuitos  
electrónicos análogos I*







# *Guías para laboratorio de circuitos electrónicos análogos I*

En el análisis de circuitos electrónicos en corriente directa en los cuales los elementos semiconductores se convierten en la parte fundamental, es importante que el estudiante de ingeniería electrónica experimente de forma práctica con circuitos que contienen diodos semiconductores y transistores. La experimentación en el laboratorio tiene como objetivo la verificación del análisis teórico que se desarrolla durante el curso y la validación de los modelos lineales equivalentes empleados como herramienta para el análisis de circuitos electrónicos que por su naturaleza, y a diferencia de los circuitos eléctricos, exhiben un comportamiento no lineal entre el voltaje y la corriente.

El diodo rectificador, los transistores de unión bipolar y los transistores de efecto de campo son piezas fundamentales en el desarrollo de otros dispositivos y equipos electrónicos de mayor complejidad, como son los circuitos rectificadores, los reguladores de voltaje, los amplificadores, los conversores de análogo a digital, las compuertas digitales y los circuitos microprocesadores que forman parte de las computadoras, entre otros.

Dentro de las aplicaciones más importantes como forma de experimentación se encuentran el montaje de circuitos de rectificación, el cual conduce al diseño de fuentes de voltaje con regulación y sin ella; los circuitos recortadores de señal sujetadores o fijadores de DC; los circuitos multiplicadores; y los circuitos de conmutación con transistores.

## Competencias por desarrollar

- Identificación práctica de terminales y material de fabricación y verificación del estado de los dispositivos semiconductores como diodos y transistores por medio del multímetro.
- Diseño de fuentes de voltaje reguladas variables o fijas a partir de requerimientos de voltajes y corrientes específicos.
- Reconocer e identificar el punto de polarización de los transistores de BJT y FET y sus diferentes aplicaciones y usos.
- Aplicación del diodo Zener como dispositivo de regulación de voltaje y como referencia de tensión en circuitos electrónicos.
- Manejo y aplicación del software de simulación de circuitos electrónicos como herramienta para el diseño y el análisis.
- Diseño de circuitos de conmutación con transistores para diferentes tipos de carga y alimentaciones (CD y CA).

## Práctica 1

### Curvas de polarización del diodo semiconductor

#### Objetivos

1. Examinar el comportamiento de un diodo semiconductor ante la polarización directa e inversa de sus terminales.
2. Determinar experimentalmente la curva voltaje-corriente que caracteriza a un diodo semiconductor en particular.

#### Equipos sugeridos

1	Osciloscopio	1	Fuente de CC
2	Puntas para osciloscopio	1	Transformador de voltaje
2	Multímetro digital	1	Equipo de herramientas
1	Protoboard	1	Manual ECG

#### Procedimiento

a. *Características técnicas del diodo semiconductor (no requiere simulación)*

En primer lugar, se debe seleccionar un diodo semiconductor que esté disponible en el laboratorio, tomar la referencia, buscar sus especificaciones técnicas en un catálogo (ECG y el *Datasheet* del fabricante) y depositar esta información en la Tabla 1. El interés se centra en conocer, entre otros, el material de fabricación, la potencia que disipa y el voltaje inverso de ruptura y luego determinar los terminales de ánodo y cátodo del diodo por medio del catálogo.

Diodo semiconductor:

Referencia: \_\_\_\_\_

Especificaciones técnicas

**Tabla 1**  
Características del diodo

Material de fabricación
Potencia de disipación
Voltaje inverso de ruptura
Corriente máxima en directa
Otros

Terminales del diodo (hacer el respectivo gráfico).

Utilizando el multímetro, describir el procedimiento para determinar si el diodo está en buen estado o dañado.

b. *Curva voltaje-corriente característica del diodo semiconductor (debe ser simulado)*

Utilizando los medidores de voltaje y de corriente, determinar la curva característica del diodo semiconductor escogido. Para ello, se debe diseñar un circuito de prueba que polarice el diodo en directa y en inversa para diferentes valores de voltaje y corriente. Se deben tomar datos para varios puntos de polarización a fin de elaborar una curva aceptable e incluir esta información en la Tabla 2. No olvidar polarizarlo en directa y en inversa.

Curva característica de voltaje-corriente.

**Tabla 2**  
Polarización directa e indirecta del diodo

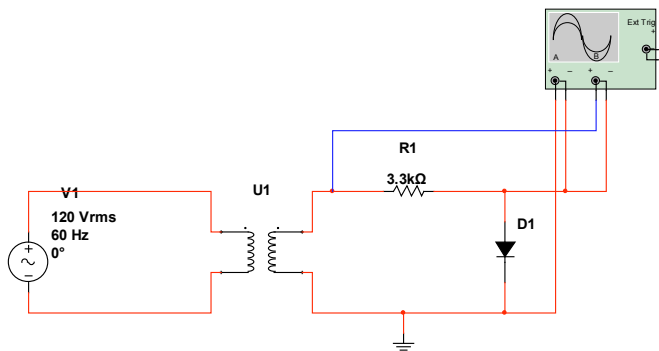
Datos:

Polarización directa	
Voltaje	Corriente

Polarización inversa	
Voltaje	Corriente


c. Método alterno para las curvas voltaje-corriente en los diodos (debe ser simulado)  
 Implemente el circuito mostrado en la Figura 26.

**Figura 26**  
 Método alterno para las curvas V-I



Para ello, utilizar un transformador con el primario conectado a la red de alimentación (120V a 60Hz) y el secundario a una resistencia en serie con un diodo semiconductor. El osciloscopio se debe configurar de forma que el canal 1 (o canal A) conecte al terminal indicado como tierra y el canal 2 (o canal B) al punto que une la resistencia de 3.3kΩ con el secundario del transformador. El terminal de tierra del osciloscopio se conecta al punto que une la resistencia con el diodo.

**Observe la señal de cada uno de los canales y dibújela. Explicar el porqué de su forma. ¿Es coherente la medición?**

- Formas de ondas en los canales 1 y 2 (A y B) independientemente.
- Explicación del porqué de las formas de onda.
- Seleccionar en el osciloscopio el botón B/A y observe la señal en la pantalla (debe ser similar a la que se presenta arriba).

**¿Qué es esto? ¿En qué se parece a la curva voltaje-corriente del diodo semiconductor?**

- Forma de onda cuando se utiliza el botón B/A en el osciloscopio.

### ***Preguntas teóricas***

1. ¿Por qué se dice que el diodo es un dispositivo no lineal?
2. ¿Qué diferencias presenta un diodo de germanio frente a un diodo de silicio en cuanto a sus curvas características de voltaje-corriente?
3. ¿Qué función ejecuta el botón B/A en un osciloscopio? ¿Para qué puede servir?

### ***Preguntas para hacer en el laboratorio***

Describe detalladamente el proceso que se va a seguir para encontrar el material de fabricación e identificar los terminales de un diodo mediante un multímetro.

## Práctica 2

### Circuitos sujetadores y recortadores

#### Objetivos

1. Diseñar e implementar circuitos recortadores con diodos para limitar las señales en sus picos positivos o negativos.
2. Diseñar e implementar circuitos sujetadores con diodos para agregar un nivel de DC a una señal.
3. Observar y analizar el comportamiento de las señales a medida que pasan por un circuito que contienen diodos.

#### Equipos sugeridos

1	Osciloscopio	1	Transformador
1	Fuente de DC dual	1	Protoboard
1	Pinza	1	Pelacable
1	Manual ECG		

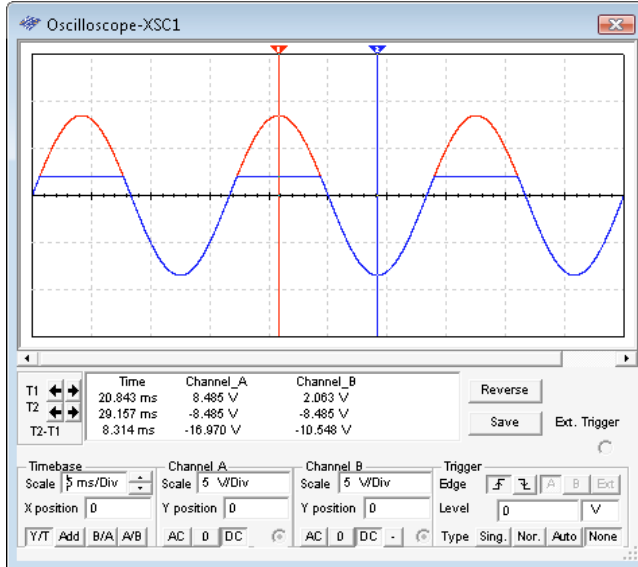
#### Procedimiento

Para los circuitos que debe diseñar en esta práctica, considere el listado de componentes disponibles en el laboratorio de electrónica.

##### 1. Circuitos recortadores o limitadores

Diseñar un circuito recortador con diodos que ante una entrada sinusoidal que se toma del secundario de un transformador (6 Vrms aproximadamente), entregue la señal de salida mostrada en la Figura 27.

**Figura 27**  
Señal de entrada y salida del circuito recortador

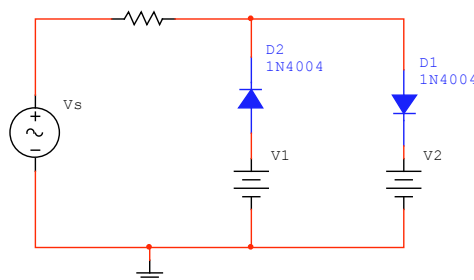


La corriente máxima que circula por el circuito no debe ser mayor a 10mA en cualquier circunstancia.

## 2. Circuito recortador de dos niveles

Implemente el circuito recortador de dos niveles mostrado en la Figura 28. El voltaje  $V_s$  corresponde al secundario del transformador del punto anterior y  $V_1=3\text{ V}$ ;  $V_2=4\text{ V}$ .

**Figura 28**  
Circuito recortador de dos niveles





Para el montaje en el laboratorio se debe calcular el valor de la resistencia ( $R_1$ ) que se va a utilizar, de tal forma que la corriente que circule por ella sea como máximo 10mA en cualquier circunstancia.

Recuerde que para este ejercicio debe hacer un análisis teórico e indicar los voltajes y los tiempos en los que la señal de salida cambia su forma.

### 3. Circuitos sujetadores

Diseñe e implemente un circuito sujetador positivo. Para ello considere que la entrada es la salida del secundario del transformador (6 Vrms aproximadamente).

#### ***Preguntas teóricas***

Investigue en qué casos y para qué se pueden utilizar los circuitos recortadores y los circuitos sujetadores.

#### ***Preguntas para hacer en el laboratorio***

1. ¿Qué ocurriría en el circuito sujetador si el valor de la capacitancia cambia a un valor aproximado a diez veces el valor calculado teóricamente?
2. ¿Qué ocurre en el circuito sujetador si el valor de la resistencia cambia por a valor aproximado a diez veces el valor calculado teóricamente?

## Práctica 3

### Rectificadores de voltaje

#### Objetivos

1. Diseñar e implementar con diodos, circuitos rectificadores de voltaje de onda completa.
2. Observar el efecto del filtrado en una señal rectificada de onda completa.
3. Medir el voltaje de CC en una señal antes y después de la rectificación y determinar si hay o no filtrado.
4. Observar y analizar el comportamiento de las señales a medida que pasan por circuitos que contienen diodos.

#### Equipos sugeridos

1	Osciloscopio	1	Transformador
1	Manual ECG	1	Protoboard
1	Equipo de laboratorio		

#### Procedimiento

Para los circuitos que se deben diseñar considere el listado de componentes disponibles en el laboratorio de electrónica.

##### 1. Circuitos rectificadores de onda completa con tap central

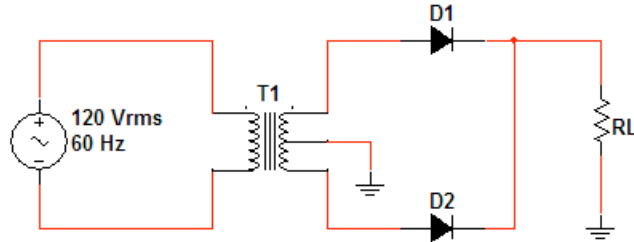
Implementar un circuito rectificador de onda completa utilizando un transformador con tap central (considere un voltaje de 6 V<sub>rms</sub> aproximadamente entre un extremo del devanado y el tap central), como se muestra en la Figura 29.

Los diodos que se van a utilizar son de referencia 1N4004. Se deben consultar las especificaciones de corriente y potencia dadas por el fabricante.

La resistencia de carga debe ser determinada de forma que la máxima corriente que circule por ella no sea mayor al 10 % de la corriente máxima que soporta el diodo.

Tomar con el osciloscopio las señales de voltaje en el secundario, en los diodos y en la resistencia de carga. Mida con el multímetro el voltaje en DC en el secundario y en la carga y compare estos resultados con los esperados teóricamente.

**Figura 29**  
Circuito rectificador de onda completa con tap central

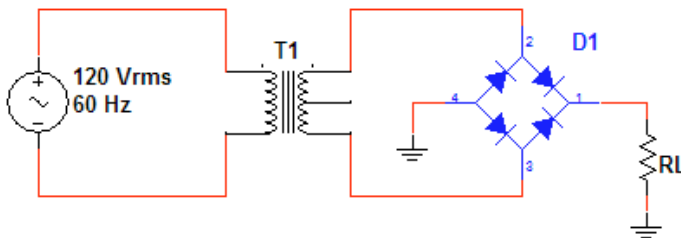


2. Circuitos rectificadores de onda completa con puente rectificador

Implementar un circuito rectificador de onda completa, tal como se muestra en la Figura 30, utilizando el devanado completo del anterior transformador (considere un voltaje de 12 Vrms aproximadamente entre los extremos del devanado). Los diodos que se van a utilizar son de referencia 1N4004. Consultar las especificaciones de corriente y potencia dadas por el fabricante.

La resistencia de carga debe ser determinada de forma que la máxima corriente que circule por ella no sea mayor al 10 % de la corriente máxima que soporta el diodo.

**Figura 30**  
Circuito rectificador de onda completa con puente rectificador



Tomar con el osciloscopio las señales de voltaje en el secundario, en los diodos y en la resistencia de carga. Mida con el multímetro el voltaje en CD en el secundario y en la carga y compare estos resultados con los esperados teóricamente.

3. Circuito rectificador de onda completa con etapa de filtrado (debe ser simulado)

Para el circuito rectificador de onda completa del punto dos, calcular el condensador que se debe poner en paralelo con la carga para efectuar la función

de filtrado. El voltaje de rizado debe ser de 1.5 Vpp. Calcular teóricamente el  $V_{\text{max}}$ ,  $V_{\text{min}}$ ,  $V_{\text{CDC}}$ ,  $I_{\text{ODC}}$ ,  $I_{\text{AV}}$ ,  $I_{\text{PK}}$ .

En el laboratorio, tomar con el osciloscopio las señales de voltaje en el secundario, en los diodos y en la resistencia de carga e indicar los valores máximos y mínimos de las respectivas señales. Mida con el multímetro el voltaje en CD en el secundario y en la carga y la corriente en DC que circula por la carga y por los diodos. Compare estos resultados con los esperados teóricamente.

### ***Preguntas teóricas***

Investigar y mencionar las características más importantes de otros tipos de filtros que se emplean en la etapa de filtrado de una fuente de voltaje.

### ***Preguntas para hacer en el laboratorio***

Indique un método para medir o visualizar la corriente pico repetitiva a través del osciloscopio en un circuito rectificador.

## Práctica 4

### Diodo Zener

#### Objetivos

1. Determinar experimentalmente la curva voltaje-corriente que caracteriza a un diodo Zener, especialmente en inversa.
2. Diseñar e implementar con diodos, un circuito rectificador de onda completa con filtrado y regulación de voltaje que mantenga la salida de voltaje constante ante cambios en la entrada o en la carga.
3. Observar en el laboratorio el proceso de regulación de un diodo Zener.

#### Equipos sugeridos

1	Osciloscopio	1	Transformador
1	Manual ECG	1	Protoboard
1	Pinza	1	Pelacable

#### Procedimiento

Para los circuitos que se van a diseñar en esta práctica, considérese el listado de componentes disponibles en el laboratorio de electrónica.

Cada grupo trabajará con un diodo Zener distinto cuyo voltaje de operación debe estar dentro del rango que se especifica en la Tabla 3.

**Tabla 3**  
Rangos de voltaje para los respectivos grupos

Rango de voltajes	Estudiantes
3 a 3.9 V	Grupo 1:
4 a 4.9 V	Grupo 2:
5 a 5.9 V	Grupo 3:
6 a 6.9 V	Grupo 4:
7 a 8.9 V	Grupo 5:
9 a 11.9V	Grupo 6:

### 1. Características técnicas del diodo Zener

Tomar la referencia del diodo Zener seleccionado y buscar sus especificaciones técnicas en un catálogo (por ejemplo, el ECG).

Es de interés conocer el material de fabricación, la potencia máxima y el voltaje inverso de ruptura, entre otros.

Determinar los terminales de ánodo y cátodo del diodo, por medio del catálogo o utilizando el multímetro.

### 2. Curva voltaje-corriente característica del diodo Zener

Utilizando los medidores de voltaje y de corriente, determinar la curva característica del diodo semiconductor escogido. Para ello, se debe diseñar un circuito de prueba que permita polarizar al diodo en directa y en inversa para diferentes valores de voltaje y corriente.

La corriente por el circuito, no debe superar el 20 % de la corriente máxima dada por el fabricante.

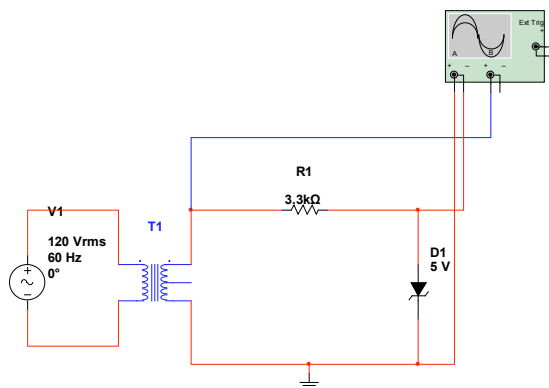
Se deben tomar datos para varios puntos de polarización de forma que se pueda elaborar una curva aceptable.

No olvidar polarización en directa y en inversa.

### 3. Método alterno para las curvas voltaje-corriente en los diodos

Implementar el circuito mostrado en la Figura 31. Reemplazar el diodo rectificador por el Zener. El canal B se puede dejar en 2V/Div.

**Figura 31**  
Circuito para obtener las curvas V-I con el osciloscopio

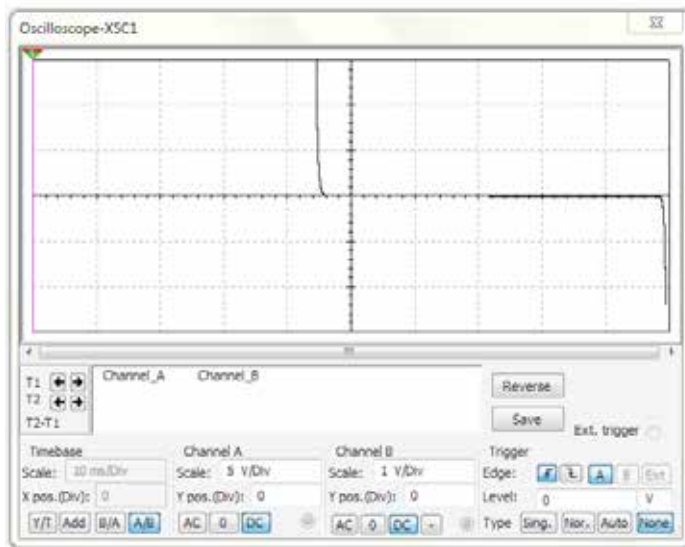


Para ello, utilizar un transformador con el primario conectado a la red de alimentación (120V a 60Hz) y el secundario a una resistencia en serie con el diodo Zener.

El osciloscopio se conecta de forma que el canal 1 (o canal A) se conecta al terminal indicado como tierra y el canal 2 (o canal B) al punto que une la resistencia de  $3.3k\Omega$  con el secundario del transformador. El terminal de tierra del osciloscopio se conecta al punto que une la resistencia con el diodo.

Seleccione en el osciloscopio el botón B/A y observe la señal en la pantalla (Figura 32). ¿Se parece a la indicada en la Figura 31? Explique.

**Figura 32**  
Curva V-I del Zener obtenida en el osciloscopio



#### 4. Diseño de circuito regulador de voltaje (debe ser simulado).

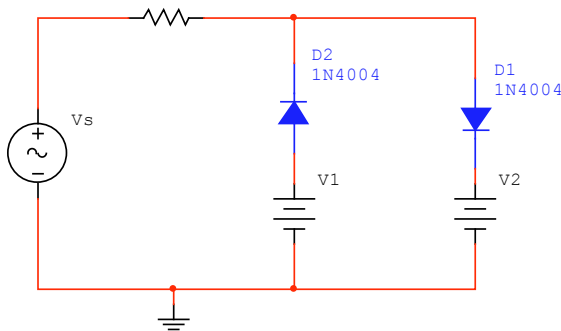
De acuerdo con el Zener escogido se diseñará una fuente de voltaje (Figura 33) para alimentar una carga que consume 100mA para los grupos 1, 2 y 3, y 50mA para los grupos 4, 5 y 6.

El voltaje de entrada se obtendrá de una toma de 120Vrms por medio de un transformador (utilizar los del laboratorio), se rectificará con un puente de diodos y se filtrará con un condensador de forma que el voltaje de rizado sea aproximadamente 1Vpp.

Se deben especificar:

- El valor de las resistencias  $R_L$  y  $R_s$  con su respectiva potencia.
- La potencia que soportará el diodo Zener.
- El valor de la capacitancia.
- Las corrientes promedio y pico repetitiva por los diodos.
- El devanado secundario que se utilizará.

**Figura 33**  
Esquema básico fuente de voltaje regulado



Para probar el correcto funcionamiento del diodo Zener, se medirá la corriente que pasa por él cuando se conecta y cuando se quita la carga. Esta corriente debe estar dentro de los límites del Zener.

Para observar qué tan buen regulador es, con la carga conectada se medirá con el osciloscopio el voltaje de rizado en el condensador y en el Zener y se determinará el porcentaje de disminución del rizado.

### ***Preguntas teóricas***

Investigar y explicar el funcionamiento de una fuente de voltaje regulada variable con diodo Zener.

### ***Preguntas para hacer en el laboratorio***

¿Cómo se podría medir el factor de rechazo al rizado en la fuente de voltaje regulada implementada?



## Práctica 5

### Curva del transistor BJT

#### Objetivos

1. Conocer físicamente los terminales de algunos de los tipos de transistores BJT.
2. Identificar los terminales y el tipo de transistor BJT con ayuda del multímetro o del manual ECG.
3. Obtener las curvas V-I de salida en un transistor BJT en configuración de emisor común.

#### Equipos sugeridos

1	Manual ECG	1	Multímetro análogo
2	Multímetros digitales (uno con medición de $h_{FE}$ o $\beta$ ).	1	Protoboard
1	Fuente dual	3	Transistores de referencias varias
6	Caimanes	1	Equipo de laboratorio
1	Cautín		

#### Procedimiento

##### a. Características técnicas del transistor bjt

Para cada uno de los tres transistores, buscar en el ECG, su descripción y valores máximos de corriente, potencia y ganancia de corriente  $\beta$ , e identificar sus terminales de base, emisor y colector.

##### b. Prueba y verificación del transistor BJT con el multímetro

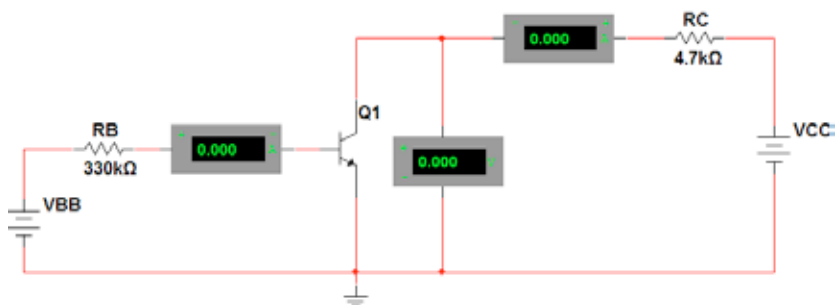
Con el multímetro, identificar el tipo de transistor (NPN o PNP). Luego, identificar la base, el emisor y el colector.

Explicar de manera detallada los pasos que se deben seguir para comprobar con el multímetro el tipo de transistor, los terminales del transistor y si este está en buen estado o no. Medir, además, la ganancia de corriente  $\beta$ .

##### c. Curvas V-I del transistor BJT

Determinar las curvas características V-I de salida en un transistor BJT en emisor común. Para ello implementar el siguiente circuito.

**Figura 34**  
Circuito de conexión para el transistor BJT



Como se busca dibujar las curvas V-I de salida, el parámetro o variable que se debe mantener constante es la corriente de base ( $I_B$ ).

- Poner las fuentes de voltaje  $V_{BB}$  y  $V_{CC}$  en cero.
- Escoger una  $I_B$  que sea aproximadamente  $1\text{mA}$  dividido el  $\beta$  del transistor y ajustar este valor de corriente aumentando lentamente el voltaje de la fuente  $V_{BB}$ . Este valor se debe mantener constante.
- Incrementar el voltaje de la fuente  $V_{CC}$  y tomar distintos valores de  $I_C$  y  $V_{CE}$  (hasta un  $V_{CE}$  máximo entre 10 y 15 voltios), manteniendo siempre constante la  $I_B$ . Si esta varía, se debe ajustar el voltaje  $V_{BB}$  hasta que regrese a su valor inicial.

Registrar al menos cinco datos (de ocho) en la Tabla 4.

**Tabla 4**  
Datos curva de salida

$I_B = \underline{\hspace{1cm}}$	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	Dato 5	Dato 6	Dato 7	Dato 8
VCE	0.1V	0.2V	0.3V	0.4V				
$I_C$								

- Repetir el literal c para distintos valores de  $I_B$  (por ejemplo, para  $2I_B$  y  $3I_B$ ). Registrar los datos en las tablas 5 y 6.

**Tabla 5**  
Datos para 2IB

IB= ___	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	Dato 5	Dato 6	Dato 7	Dato 8
VCE	0.1V	0.2V	0.3V	0.4V				
IC								

**Tabla 6**  
Datos para 3IB

IB= ___	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	Dato 5	Dato 6	Dato 7	Dato 8
VCE	0.1V	0.2V	0.3V	0.4V				
IC								

- e. Repetir la toma de datos de la Tabla 6 con la condición de que se debe acercar un cautín caliente al transistor. Depositar los datos en la Tabla 7.

**Tabla 7**  
Datos para condición de alta temperatura

IB= ___	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	Dato 5	Dato 6	Dato 7	Dato 8
VCE	0.1V	0.2V	0.3V	0.4V				
IC								

- f. Dibujar los gráficos de los datos contenidos en las cuatro tablas y de la recta de carga del circuito dado.

**Preguntas teóricas**

Investigar y explicar en qué consiste y para qué sirve un trazador de curvas.

**Preguntas para hacer en el laboratorio**

Medir la resistencia interna del transistor a través de las pendientes presentadas en las curvas V-I

## Práctica 6

### Polarización del transistor BJT

#### Objetivos

1. Polarizar un transistor BJT en zona de corte, zona de saturación y zona activa.
2. Observar la variación del punto de polarización ante cambios de temperatura en un circuito de polarización fija de base y en un circuito con polarización en divisor de voltaje.
3. Verificar los criterios de diseño con los circuitos implementados en la práctica.

#### Equipos sugeridos

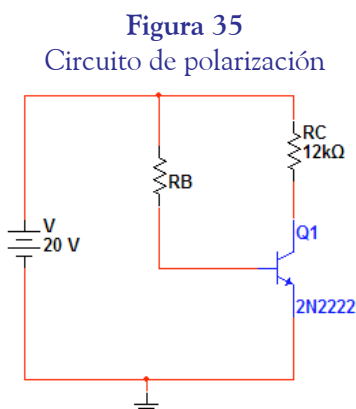
1	Manual ECG	1	Protoboard
2	Multímetro digitales.	1	Fuente dual de CC
1	Cautín	1	Pelacable
1	Pinza		

#### Procedimiento

Los valores de resistencia que se calculen deben quedar ajustados a los valores de resistencia que se tienen en el laboratorio.

##### a. Polarización fija de base

Efectuar el montaje del circuito de polarización que se muestra en la Figura 35. Medir el del transistor con el multímetro digital.



Calcular el valor de RB de forma que el punto de polarización se encuentre en la mitad de la recta de carga.

Medir las corrientes de polarización (IB, IC e IE) y los voltajes (VCE, VBE y VCB). Consigne los datos en la Tabla 8 y luego ubique el punto de polarización en la recta de carga.

**Tabla 8**  
Polarización en la mitad de la recta de carga

Valor de RB	IB	IC	IE	$\beta$	VCE	VBE	VCB	Zona de operación

Cambiar la resistencia de base RB por una cuatro veces más pequeña. Medir nuevamente IB, IC, IE, VCE, VBE y VCB e indique los valores en la Tabla 9. Ubique el punto de operación.

**Tabla 9**  
Polarización con RB (cuatro veces más pequeña)

Valor de RB	IB	IC	IE	$\beta$	VCE	VBE	VCB	Zona de operación

Para el circuito de la Figura 36 poner una resistencia adicional entre base y tierra (la resistencia debe ser cien veces más pequeña que la RB), como se muestra en la Figura 35.

Medir nuevamente IB, IC, IE, VCE, VBE y VCB. Consigne los datos en la Tabla 10 y ubique el punto de operación.

**Tabla 10**  
Polarización del circuito con resistencia adicional

Valor de RB	IB	IC	IE	$\beta$	VCE	VBE	VCB	Zona de operación

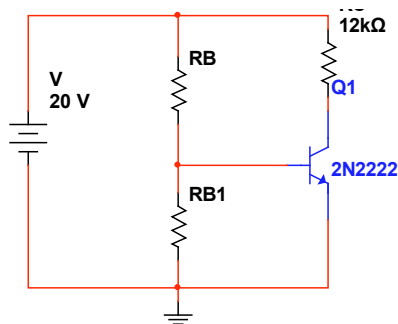
Para el primer caso, calentar el transistor con el caudín y tomar nuevamente los datos de IC y VCE. Comparando los resultados obtenidos, determinar el porcentaje de variación de la corriente. Consigne las mediciones en la Tabla 11.

**Tabla 11**  
Polarización a altas temperaturas

Valor de $R_B$	$I_B$	$I_C$	$I_E$	$\beta$	$V_{CE}$	$V_{BE}$	$V_{CB}$	Zona de operación

**Figura 36**

Circuito con resistencia entre base y tierra

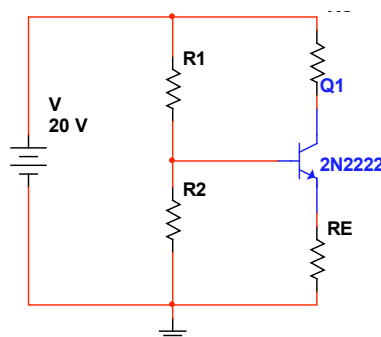


b. Polarización con divisor de voltaje

Diseñar una etapa amplificadora con divisor de voltaje (ver Figura 37) y una estabilidad en la polarización del 20%. La corriente  $I_{CQ} = 1\text{mA}$ ,  $\beta = 80$ ,  $V_{CC} = 20\text{V}$ .

**Figura 37**

Circuito polarización por divisor de voltaje



Montar el circuito en el protoboard y medir las corrientes de polarización  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_E$ ,  $I_1$  e  $I_2$ , al igual que los voltajes  $V_{CE}$ ,  $V_{BE}$  y  $V_{CB}$  y  $V_B$ . Ubicar el punto de polarización en la recta de carga y consignar la información en la Tabla 12.

**Tabla 12**  
Polarización por divisor de voltaje

Valor de RB	IB	IC	IE	$\beta$	VCE	VBE	VCB	Zona de operación

Calentar el transistor con el cautín y tomar nuevamente los datos de IC y VCE. Comparando los resultados obtenidos, determinar el porcentaje de variación de la corriente y cotejar con el circuito de polarización fija de base.

***Preguntas teóricas***

Investigar y explicar por qué la ganancia de corriente  $\beta$  no es la misma para todos transistores que son de la misma referencia. ¿Cuál sería la razón de estas variaciones?

***Preguntas para hacer en el laboratorio***

Describe lo que ocurre con la ganancia de corriente  $\beta$  cuando el transistor está saturado y en la zona de corte.

## Práctica 7

### Curva voltaje-corriente de un JFET

#### Objetivos

1. Conocer físicamente los terminales de algunos de los transistores FET (JFET y MOSFET).
2. Identificar los terminales y el tipo de transistor FET con el multímetro o con el manual ECG.
3. Obtener las curvas V-I de salida en un transistor FET en configuración de fuente común.

#### Equipos sugeridos

1	Manual ECG	1	Multímetro análogo
2	Multímetros digitales.	1	Protoboard
1	Fuente dual	2	Transistores: 2SK161, IRF730
6	Caimanes	1	Pelacable
1	Pinza		

#### Procedimiento

##### 1. Características técnicas del transistor JFET

Para los dos transistores FET, buscar en el ECG su descripción y valores característicos. Identificar sus terminales de compuerta, drenaje y fuente.

##### 2. Prueba y verificación del FET con el multímetro

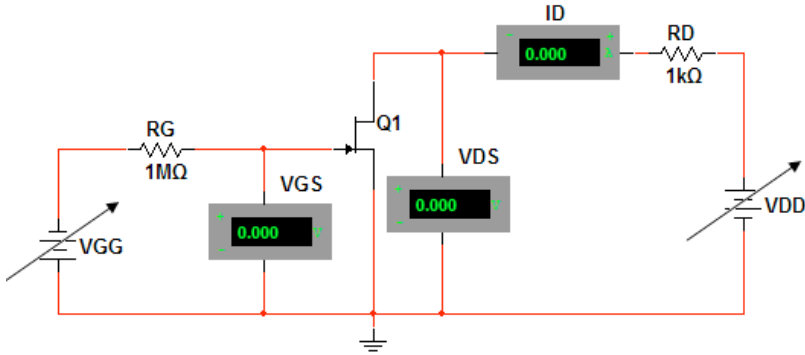
Con el multímetro, identifique el tipo de transistor (JFET canal  $n$  o canal  $p$  o si es MOSFET) y describa el procedimiento para hacer la verificación del transistor.

##### 3. Curvas V-I del transistor JFET

Determinar las curvas características V-I de salida y de transferencia en un transistor JFET en configuración fuente común. Para ello, implementar el siguiente circuito (Figura 38):



**Figura 38**  
Circuito de prueba para V-I



Como lo que se busca es dibujar las curvas V-I de salida, el parámetro o variable que se debe mantener constante es el voltaje VGS.

- a. Poner las fuentes de voltaje VGG y VDD en cero.
  - Escoger un valor de VGS (comience con  $V_{GS}=0V$ ) y manténgalo constante, ya que este será el parámetro de las curvas de salida.
  - Incrementar el voltaje de la fuente VDD y tomar distintos valores de VDS e ID; mantener constante el voltaje VGS. Registrar los datos en la Tabla 13.

**Tabla 13**  
Datos para  $V_{GS}=0V$

$V_{GS} = \underline{\hspace{2cm}}$	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	Dato 5	Dato 6
$V_{DS}$	0.5V	1V	2V	4V	8V	16V
$I_D$						

- b. Mantenga el voltaje  $V_{DS}=16V$  y aumente VGG hasta que la ID medida disminuya a la mitad de su valor. Tome el correspondiente dato de VGS y manténgalo constante. Registre los datos en la Tabla 14.

**Tabla 14**  
Datos para  $V_{GS}<0V$

$V_{GS} = \underline{\hspace{2cm}}$	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	Dato 5	Dato 6
$V_{DS}$	0.5V	1V	2V	4V	8V	16V
$I_D$						

- c. Repita el literal b y registre los datos en la Tabla 15. (Nótese que el dato de VGS corresponde a  $V_{GSoff}/2$ . ¿Por qué?).

**Tabla 15**  
Datos para  $V_{GSoff}/2$

$V_{GS} = \underline{\hspace{2cm}}$	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	Dato 5	Dato 6
$V_{DS}$	0.5V	1V	2V	4V	8V	16V
$I_D$						

- d. Mantenga el voltaje  $V_{DS} = 16V$  y aumente VGG hasta que la  $I_D = 0A$ . Tome el correspondiente dato de VGS el cual corresponde a  $V_{GSoff}$  y llene la Tabla 16. (Nótese que el dato de VGS corresponde a  $V_{GSoff}$ . ¿Por qué?).

**Tabla 16**  
Datos para  $V_{GSoff}$

$V_{GS} = \underline{\hspace{2cm}}$	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	Dato 5	Dato 6
$V_{DS}$	0.5V	1V	2V	4V	8V	16V
$I_D$						

- e. Con los datos anteriores dibujar la curva V-I de salida y la curva V-I de transferencia

**Preguntas teóricas**

1. ¿De qué forma se puede medir experimentalmente (en el laboratorio) el valor de  $V_{GSoff}$  e  $I_{DSS}$  de un transistor JFET?
2. ¿De qué forma se puede medir experimentalmente (en el laboratorio) el valor de  $V_{GSth}$  K de un transistor MOSFET?

**Preguntas para hacer en el laboratorio**

Exponga un método para medir la corriente de fuga presentada en el terminal de compuerta de los transistores de efecto de campo.

*Guías para  
laboratorio de circuitos  
electrónicos análogos II*





## *Guías para laboratorio de circuitos electrónicos análogos II*

La aplicación de señales de corriente alterna (CA) a circuitos amplificadores constituidos con transistores de unión bipolar y de efecto de campo es un desafío para el estudiante de ingeniería electrónica, pues deben considerarse los efectos de aplicar señales que varían con el tiempo sobre el comportamiento de polarización de los distintos dispositivos semiconductores, como el diodo y el transistor.

Adicionalmente, la aplicación de señales de CA a circuitos electrónicos requiere un estudio detallado de su comportamiento cuando varía la frecuencia de dichas señales. Para este tipo de análisis, se deben considerar los efectos capacitivos de las distintas capas semiconductoras y los modelos de alta frecuencia empleados para diodos y transistores.

El desarrollo de las actividades prácticas con señales de CA en circuitos electrónicos, conduce finalmente a aplicaciones relacionadas con amplificadores discretos, preamplificadores, amplificadores de potencia, amplificadores diferenciales y fuentes de corriente. Los circuitos anteriores son las etapas constitutivas de los amplificadores operacionales.

## Competencias por desarrollar

- Comprensión del funcionamiento de los circuitos de polarización de transistores BJT y FET con señales que varían en el tiempo.
- Conocimiento de los efectos de la frecuencia en circuitos electrónicos y cómo se afecta la respuesta de los amplificadores.
- Diseño de amplificadores de potencia para aplicaciones de audio a partir de parámetros y requerimientos definidos.
- Aplicación de los amplificadores operacionales y sus distintas configuraciones para dar solución a problemas de ingeniería.
- Reconocimiento de los diferentes parámetros, características y especificaciones técnicas dadas por los fabricantes de amplificadores operacionales, transistores de potencia, reguladores y circuitos integrados.
- Identificación de los diferentes tipos de conexiones y configuraciones compuestas con etapas amplificadoras y transistores y sus diferentes ventajas y desventajas.

## Práctica 1

### Diseño de etapa amplificadora con BJT

#### Objetivos

1. Diseñar e implementar en el laboratorio una etapa amplificadora con transistores BJT.
2. Medir los parámetros de ganancia de voltaje, ganancia de corriente e impedancia de entrada en una etapa amplificadora.
3. Comprobar la veracidad de los métodos de diseño con los circuitos físicamente implementados.

#### Equipos sugeridos

1	Osciloscopio	1	Pinza
2	Puntas para osciloscopio	1	Pelacables
1	Generador de señales	1	Multímetro
1	Protoboard	1	Fuente de DC

#### Procedimiento

- a. Diseñar una etapa amplificadora que contenga un transistor BJT y cumpla con los siguientes requisitos (Tabla 17):

**Tabla 17**  
Especificaciones de diseño

Grupo	Ganancia de voltaje ( $A_v$ )	Máxima excursión en la señal de salida	Resistencia de carga RL	$\beta$ mínimo del transistor
1	20	6 V <sub>pp</sub>	3.3k $\Omega$	80
2	22	4 V <sub>pp</sub>	3.9k $\Omega$	80
3	18	5 V <sub>pp</sub>	4.7k $\Omega$	80
4	16	6 V <sub>pp</sub>	5.6k $\Omega$	80
5	20	5 V <sub>pp</sub>	4.7k $\Omega$	80
6	22	6 V <sub>pp</sub>	5.6k $\Omega$	80

En la Tabla 17 se indican los parámetros de diseño para cada grupo y se especifica una estabilidad en la polarización hasta del 20 %. Cualquier dato faltante usted

lo define de forma tal que sea coherente con lo que existe en el laboratorio y con las características de los dispositivos.

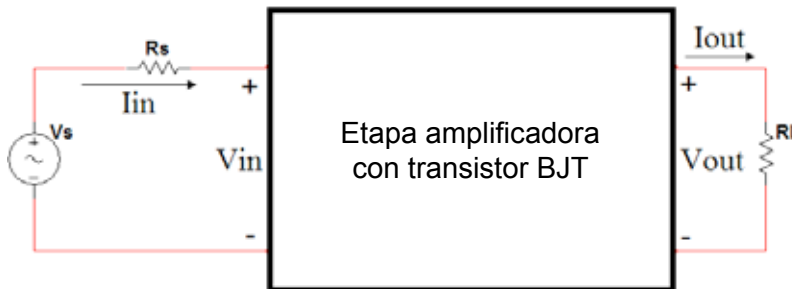
El amplificador diseñado debe ser simulado en *Multisim*. Para ello, se alimentará con una fuente de AC que entregue una señal sinusoidal (de amplitud 1mV y 1KHz de frecuencia) en serie y una resistencia de un valor aproximado a la impedancia de entrada de la etapa amplificadora que usted diseñó, según se muestra en la Figura 39. Los condensadores que utilice pueden ser de  $10\mu\text{F}$  a 25V.

En la simulación se debe medir:

- Punto de operación en DC.
- Ganancia de voltaje.
- Ganancia de corriente
- Impedancia de entrada.

Además, se debe verificar la máxima excursión de señal.

**Figura 39**  
Esquema del diseño que se va a implementar



Durante la práctica se tomarán las siguientes medidas:

- Corrientes de polarización del transistor (base, colector y emisor).
- Se calculará el  $\beta$  del transistor con las corrientes medidas.
- Voltaje de polarización entre los terminales del transistor.
- Máxima excursión de señal sin distorsión en la salida del amplificador.
- Ganancia de voltaje.
- Ganancia de corriente.
- Impedancia de entrada.



- Exponer un método para medir la impedancia de salida de una etapa amplificadora.

Estos valores se deben comparar con los datos calculados teóricamente y con los encontrados en la simulación. Extraer las respectivas conclusiones y observaciones.

**Formato para toma de datos durante la práctica**

Polarización del transistor.

IB	IC	IE	VCE	VCB	VBE

Cálculo del beta del transistor:

---

Máxima excursión de señal sin distorsión en la salida del amplificador:

---

Ganancia de voltaje:

$$V_{in} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$V_o = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$A_v = \underline{\hspace{2cm}}$$

Ganancia de corriente:

$$I_{in} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$I_o = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$A_I = \underline{\hspace{2cm}}$$

Impedancia de entrada:

---

Exponer un método para medir la impedancia de salida de una etapa amplificadora:

---



---



---

***Preguntas teóricas***

¿Por qué se recomienda poner la resistencia  $R_S$  con un valor aproximado a la impedancia de entrada del amplificador?

***Preguntas para hacer en el laboratorio***

¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de medición de los parámetros de impedancia y ganancia de las etapas amplificadoras?

## Práctica 2

### Etapa amplificadora con FET

#### Objetivos

1. Diseñar e implementar en el laboratorio una etapa amplificadora con transistores JFET.
2. Medir los parámetros de ganancia de voltaje, ganancia de corriente e impedancia de entrada en una etapa amplificadora.
3. Comprobar la veracidad de los métodos de diseño con los circuitos implementados.

#### Equipos sugeridos

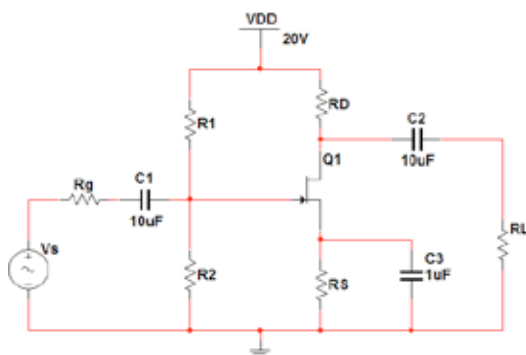
1	Osciloscopio	1	Pinza
2	Puntas para osciloscopio	1	Pelacables
1	Generador de señales	2	Multímetro
1	Protoboard	1	Manual ECG
1	Fuente de DC		

#### Procedimiento

##### 1. Diseño de etapa amplificadora con JFET

Completar el diseño de la etapa amplificadora de la Figura 40, polarizada con divisor de voltaje y con un transistor JFET:

**Figura 40**  
Etapa amplificadora con JFET



Considere los datos de la Tabla 18:

**Tabla 18**  
Requerimientos de diseño

Grupo	Voltaje VDS	Resistencia de carga RL
1	6V	3.3k $\Omega$
2	5V	3.9k $\Omega$
3	4V	4.7k $\Omega$
4	5V	5.6k $\Omega$
5	6V	4.7k $\Omega$
6	4V	5.6k $\Omega$

Para todos los JFET considere:  $IDSS=8.2 \text{ mA}$ ;  $VGSoff=-2.4 \text{ V}$ .

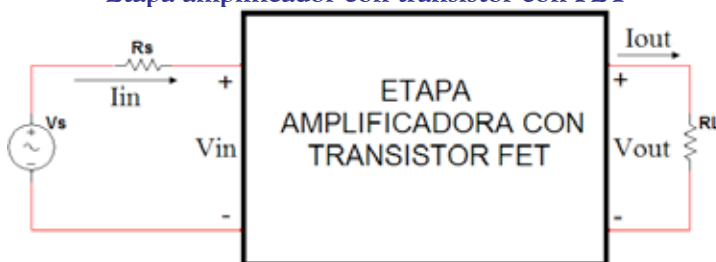
Se especifica una estabilidad en la polarización hasta del 20 %. Cualquier dato faltante usted lo define de forma que sea coherente con lo que existe en el laboratorio y con las características de los dispositivos.

El amplificador se alimentará con una fuente de AC que entregue una señal sinusoidal (de amplitud 100mV y 1000Hz de frecuencia) en serie, con una resistencia de un valor aproximado a la impedancia de entrada de la etapa amplificadora que usted diseñó. Los condensadores que utilice pueden ser de 10uF a 25V.

Si lo desea, puede ajustar los parámetros de simulación del JFET considerando que en Multisim el  $V_{to}= VGSoff$  y  $Beta= IDSS / (VGSoff)^2$ .

En la simulación se deben medir ganancia de voltaje, ganancia de corriente e impedancia de entrada y verificar la máxima excursión de señal. Comparar lo anterior con los respectivos cálculos teóricos.

**Figura 41**  
Etapa amplificador con transistor con FET



Los estudiantes deben diseñar un método para medir o determinar de forma práctica (en el laboratorio) los valores de  $ID_{SS}$  y  $V_{G_{soff}}$ . Para este caso determinar los elementos y equipos que necesitan.

Durante la práctica se tomarán las siguientes medidas:

- Determinación de  $ID_{SS}$  y  $V_{G_{soff}}$  para el JFET utilizado en la práctica.
- Corrientes de polarización del transistor (compuerta, drenaje y fuente).
- Voltaje de polarización entre los terminales del transistor JFET.
- Cálculo del valor de la transconductancia para la polarización medida.
- Máxima excursión de señal sin distorsión en la salida del amplificador.
- Ganancia de voltaje.
- Ganancia de corriente.
- Impedancia de entrada.
- Exponer un método para medir la impedancia de salida de una etapa amplificadora.

Estos valores se deben comparar con los datos calculados teóricamente y con los encontrados en la simulación.

### ***Preguntas teóricas***

Investigue y mencione los tipos de transistores que en la actualidad se emplean en las etapas de amplificadores de audio.

### ***Preguntas para hacer en el laboratorio***

¿Qué tan estable es la polarización del transistor de efecto de campo de acuerdo con las condiciones de diseño dadas?

## Práctica 3

### Amplificadores multietapas

#### Objetivos

1. Diseñar e implementar en el laboratorio un amplificador multietapas en cascada.
2. Medir los parámetros de ganancia de voltaje, ganancia de corriente e impedancia de entrada en una etapa amplificadora multietapa.
3. Comprobar la veracidad de los métodos de diseño con los circuitos implementados.

#### Equipos sugeridos

1	Osciloscopio	1	Pinza
2	Puntas para osciloscopio	1	Pelacables
1	Generador de señales	2	Multímetro
1	Protoboard	1	Manual ECG
1	Fuente de CC		

#### Procedimiento

1. Diseñar un circuito amplificador con multietapas (debe ser simulado)

Cada grupo de laboratorio diseñara, simulará e implementará un amplificador multietapas que cumpla con los requisitos indicados en la Tabla 19

**Tabla 19**  
Requerimientos de diseño

	Ganancia de voltaje total	Máxima excursión de señal	Resistencia de carga RL	Voltaje de alimentación Vcc
Grupo 1	200	6 V <sub>pp</sub>	10k $\Omega$	20 V
Grupo 2	220	6 V <sub>pp</sub>	12k $\Omega$	18 V
Grupo 3	180	6 V <sub>pp</sub>	15k $\Omega$	22 V
Grupo 4	250	6 V <sub>pp</sub>	10k $\Omega$	20 V
Grupo 5	200	6 V <sub>pp</sub>	15k $\Omega$	18 V
Grupo 6	220	6 V <sub>pp</sub>	12k $\Omega$	22 V
Grupo 7	180	6 V <sub>pp</sub>	10k $\Omega$	20 V

Asuma el  $\beta_{min} = 80$  para todos los transistores.

Para este diseño, debe garantizar que  $r_E \geq 10 \cdot r_e$  para mayor estabilidad en la ganancia de voltaje.

Cualquier dato faltante usted lo define de forma tal que sea coherente con lo que existe en el laboratorio y con las características de los dispositivos.

Para el circuito diseñado el estudiante debe calcular teóricamente la impedancia de entrada, la impedancia de salida y las ganancias de voltaje y de corriente total para cada etapa y anexar los cálculos al preinforme.

El amplificador diseñado debe ser simulado en *Multisim*. Para ello se alimentará con una fuente de AC que entregue una señal sinusoidal de 50mVpp y 1000Hz de frecuencia, en serie, con una resistencia de un valor aproximado a la impedancia de entrada de la etapa amplificadora que usted diseñó. Los condensadores que utilice pueden ser de 10uF a 25V.

Si lo desea, puede ajustar los parámetros de simulación de los transistores editando el modelo que ofrece *Multisim*.

En la simulación se deben medir ganancia de voltaje, ganancia de corriente e impedancia de entrada y verificar la máxima excursión de señal. Comparar con los respectivos cálculos teóricos.

Durante la práctica se tomarán las siguientes medidas:

- Corrientes de polarización de los transistores (base y colector).
- Calcular el *beta* de cada transistor con las corrientes medidas.
- Voltaje de polarización entre los terminales del transistor (VCE y VBE).
- Máxima excursión de señal sin distorsión en la salida del amplificador.
- Ganancia de voltaje total y para cada etapa.
- Ganancia de corriente total y para cada etapa.
- Impedancia de entrada total.

Estos valores se deben comparar con los datos calculados teóricamente y con los encontrados en la simulación.

Extraer las respectivas conclusiones y observaciones.

***Preguntas teóricas***

¿Qué modificaciones le haría al circuito que usted diseñó de forma que la impedancia de entrada sea mayor a  $50\text{K}\Omega$  sin afectar la polarización? Sustente su respuesta e indique el nuevo diseño con sus respectivos cálculos.

***Preguntas para hacer en el laboratorio***

¿Cómo se puede medir la ganancia de potencia total del amplificador multietapa implementado?



## Práctica 4

### Fuentes de corriente

#### Objetivos

1. Diseñar e implementar en el laboratorio amplificadores polarizados con fuentes de corriente.
2. Medir los parámetros de voltajes y corrientes de polarización, ganancia de voltaje, ganancia de corriente e impedancia de entrada en una etapa amplificadora alimentada con fuente de corriente.
3. Comprobar la veracidad de los métodos de diseño con los circuitos implementados.

#### Equipos sugeridos

1	Osciloscopio	1	Pinza
2	Puntas para osciloscopio	1	Pelacables
1	Generador de señales	2	Multímetro
1	Protoboard	1	Manual ECG
1	Fuente dual de DC		

#### Procedimiento

Con la siguiente práctica, se pretende mostrar al estudiante la manera de polarizar una etapa amplificadora con una fuente de corriente.

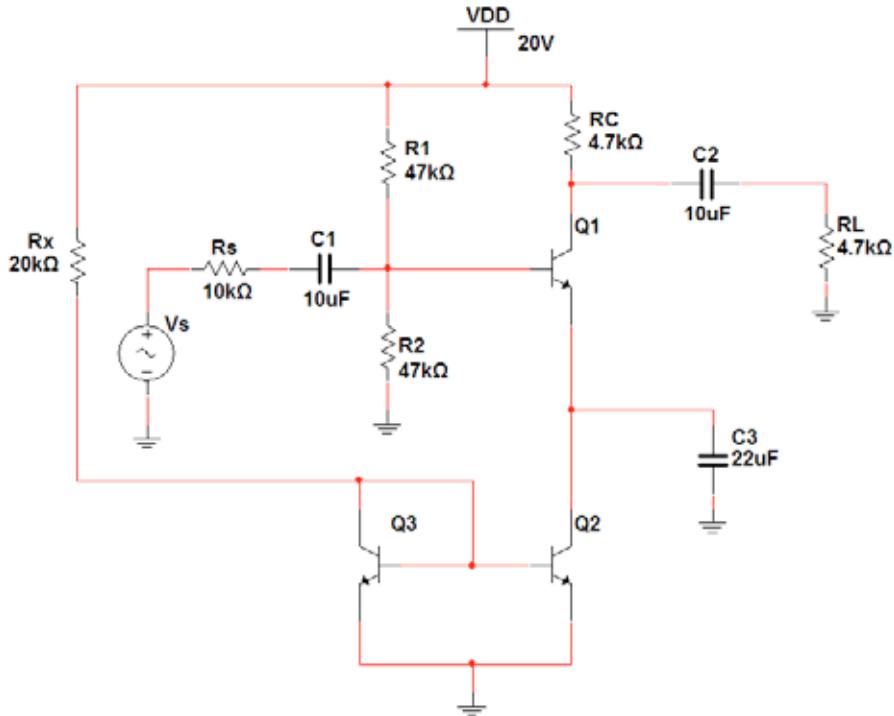
De esta forma, la corriente de polarización  $ICQ$  prácticamente no depende de las resistencias conectadas al transistor amplificador (esto no es del todo cierto), pero sí queda determinada por la fuente de corriente implementada con transistores BJT.

##### 1. Polarización con un espejo de corriente

Para el circuito de la Figura 42 determinar teórica y prácticamente (no requiere simulación):

- El punto de operación de cada uno de los transistores.
- La ganancia de voltaje del amplificador.
- La impedancia de entrada y de salida del amplificador (esta última es teórica).
- La máxima excursión de señal en la salida.

Figura 42  
Circuito de polarización con un espejo de corriente



## 2. Polarización utilizando fuente de corriente que incluye diodo Zener

Diseñar la fuente de corriente de forma que la corriente de polarización sea de 1mA aproximadamente para el circuito de la Figura 43.

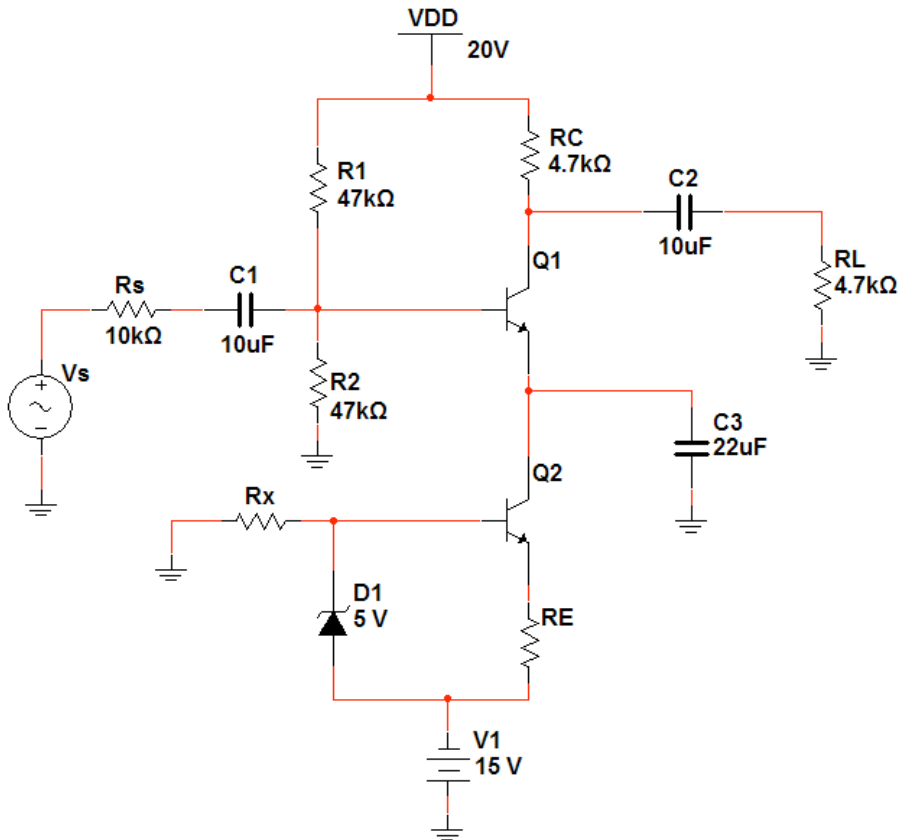
Escoja alguno de los Zener que hay en laboratorio.

Datos por medir:

- El punto de operación de cada uno de los transistores.
- La ganancia de voltaje del amplificador.
- La impedancia de entrada y de salida del amplificador (esta última es teórica).
- La máxima excursión de señal en la salida.

**Figura 43**

Circuito de polarización en el que se utiliza una fuente de corriente que incluye diodo Zener



**Preguntas teóricas**

Para el literal *a* de la práctica contestar las siguientes preguntas:

1. ¿Qué función cumple el condensador C3?
2. ¿Cómo afectaría al circuito en caso de que se abra?
3. ¿Cómo se puede disminuir la ganancia de voltaje sin cambiar el punto de polarización ni la resistencia de carga RL?

## Práctica 5

### Etapas de potencia

#### Objetivos

1. Analizar en el laboratorio el comportamiento de los amplificadores polarizados en clase B y clase AB ante una entrada senoidal de distinta frecuencia.
2. Diseñar una etapa de salida polarizada en clase B y AB para una potencia de salida específica.
3. Comprobar la veracidad de los métodos de diseño y de análisis con los circuitos implementados.

#### Equipos sugeridos

1	Osciloscopio	1	Pinza
2	Puntas para osciloscopio	1	Pelacables
1	Generador de señales	1	Multímetro
1	Protoboard	1	Manual ECG
1	Fuente de DC dual	1	Parlante 8 $\Omega$ /2W

#### Procedimiento

Con la siguiente práctica, se pretende mostrar al estudiante la manera de polarizar una etapa amplificadora de potencia y hacer el análisis práctico de una etapa de salida para calcular la potencia entregada a la carga.

##### 1. Amplificador clase B

Completar el diseño de la Figura 44, calcular el valor necesario en las fuentes de voltaje para obtener 1W de potencia en la salida, simular en *Multisim* y dibujar las gráficas para una fuente  $V_s$  de 2V de amplitud y 1000Hz de frecuencia. El mejor diseño es el que requiere menor voltaje en las fuentes de DC.

##### 2. Amplificador clase AB

Completar el diseño del circuito de la Figura 45, calcular el valor necesario en las fuentes de voltaje y el valor de las resistencias R1 y R2 para obtener 1W de potencia en la salida. Simular en *Multisim* y dibujar las gráficas para una fuente  $V_s$  de 2V de amplitud y 1000Hz de frecuencia. El mejor diseño es el que requiere menor voltaje en las fuentes de DC. No olvide calcular la potencia de todas las resistencias.

Figura 44  
Circuito amplificador clase B

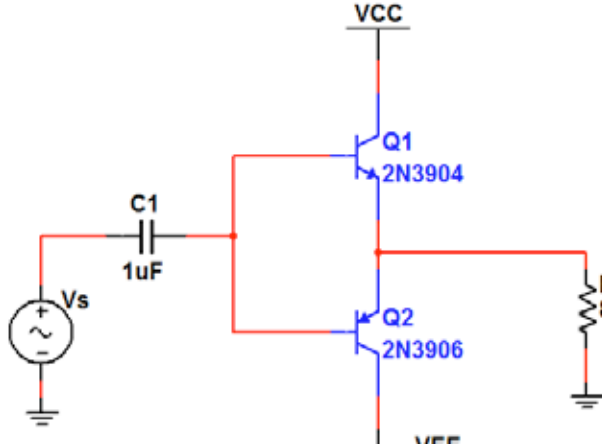
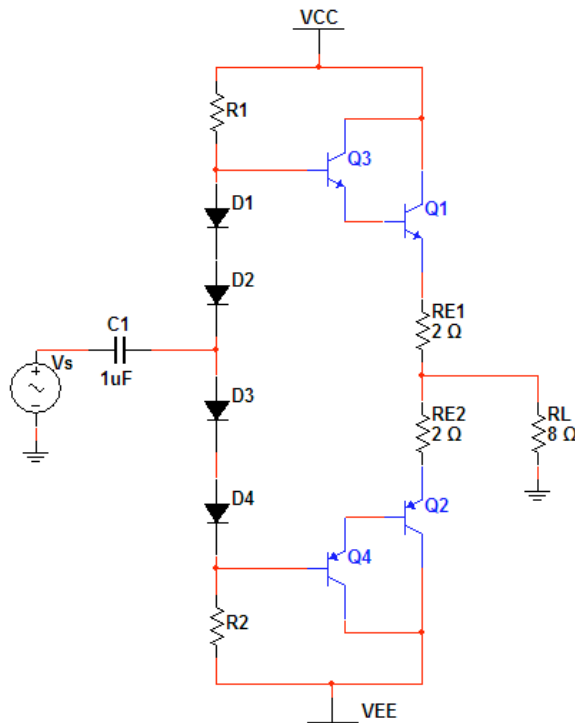


Figura 45  
Amplificador clase AB



### 3. Montaje en laboratorio

Implemente en el laboratorio los dos circuitos anteriores (amplificadores clase B y clase AB) y tome las mismas medidas de la simulación. compare y extraiga conclusiones.

Además, para la etapa clase AB mida la potencia de *standby* y determine la eficiencia de la etapa de salida cuando entregue la máxima potencia en la carga.

#### **Preguntas teóricas**

1. ¿Qué instrumento se emplea para medir la potencia máxima que entrega un amplificador de potencia?
2. Investigue y mencione cómo se miden y se calculan los niveles de sonido (audio) en el montaje de un sistema de sonido.

#### **Preguntas para hacer en el laboratorio**

¿Qué ocurre en un amplificador de potencia si la frecuencia de la señal de entrada aumenta progresivamente?

## Práctica 6

### Amplificadores operacionales

#### Objetivos

1. Analizar en el laboratorio el comportamiento de los amplificadores operacionales.
2. Comprender y verificar algunos de los parámetros más importantes que definen las características eléctricas de un amplificador operacional.
3. Comprobar la veracidad de los métodos de diseño y de análisis con los circuitos implementados.

#### Equipos Sugeridos

1	Osciloscopio	1	Pinza
2	Puntas para osciloscopio	1	Pelacables
1	Generador de señales	1	Multímetro
1	Protoboard	1	Manual ECG
1	Fuente de DC dual	2	Amplificador operacional LM741 y LM324

#### Procedimientos

Con la siguiente práctica se pretende mostrar al estudiante el funcionamiento de un amplificador operacional que funciona como restador y sumador de señales. De igual manera, se muestran algunas de las características eléctricas del amplificador operacional y se compara lo medido con lo que especifica el fabricante en las hojas técnicas.

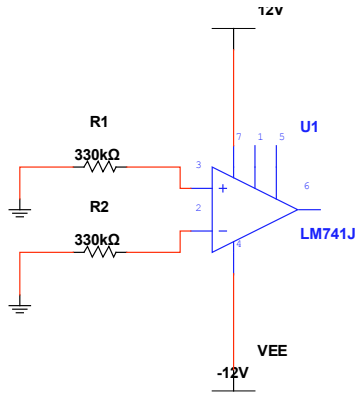
##### 1. Corrientes de polarización y *offset* de entrada

Hacer el montaje del circuito que se muestra en la Figura 46. Para evitar que el ruido afecte las mediciones del voltaje, insertar el filtro de la Figura 47 en una de las entradas del osciloscopio.

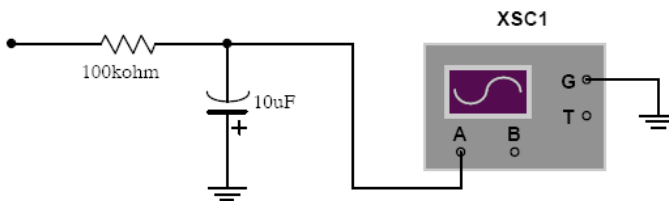
Con el osciloscopio, medir el voltaje en la entrada inversora y no inversora del amplificador operacional y obtenga las corrientes de polarización por cada entrada y el *offset* de entrada.

Comparar los valores de las corrientes de polarización y de *offset* de entrada con los especificados en las hojas técnicas respectivas del amplificador operacional.

**Figura 46**  
Circuito de polarización



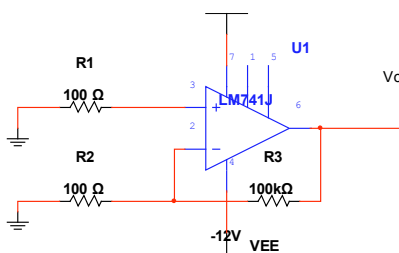
**Figura 47**  
Circuito filtro



2. Corrección del voltaje *offset* de entrada

Hacer el montaje del circuito de la Figura 48.

**Figura 48**  
Circuito para corrección del voltaje *offset* de entrada



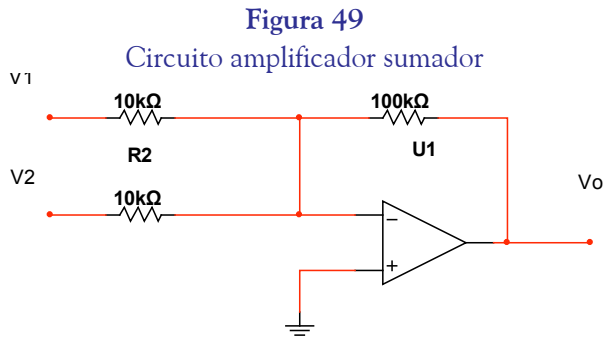


Con el multímetro, medir el voltaje de *offset* de salida. ¿Cuál sería el valor del voltaje de *offset* a la entrada? Comparar este último valor con el especificado por la hoja técnica respectiva del amplificador operacional.

Al circuito de la Figura 47, agregar el circuito de corrección de *offset* que recomienda el fabricante para llevar el voltaje de *offset* de salida lo más cercano a cero.

### 3. Amplificador sumador inversor

Efectuar el montaje del circuito de la Figura 49. Los voltajes V1 y V2 son generados con una fuente de voltaje de DC.



Expresar  $V_o$  en función de  $V_1$  y  $V_2$ .

Variando los valores de los voltajes  $V_1$  y  $V_2$  llenar la Tabla 19 con los valores obtenidos en la salida.

**Tabla 19**  
Comparación de datos circuito sumador

V1	V2	Vo		
		Teórico	Simulado	Práctico
200mV	200mV			
200mV	500mV			
500mV	1V			
1V	500mV			
2V	3V			
4V	5V			
5V	0V			

Conectar en la entrada de voltaje  $V_1$  y  $V_2$  un generador de señales por cada entrada. Seleccionar en cada generador una señal de la misma frecuencia y diferente amplitud. Grafique la señal obtenida a la salida del circuito sumador.

Seleccionar en cada generador una señal de la misma amplitud pero diferente frecuencia. Grafique la señal obtenida a la salida del circuito sumador.

Explicar la razón de la forma de onda obtenida en los dos casos anteriores.

#### 4. *Diseño de un circuito adecuador de señal*

Diseñar un circuito adecuador que reciba a la entrada una señal  $V_i$  proveniente de un sensor. La señal  $V_i$  tiene una variación entre  $-2V$  y  $5V$ . El circuito adecuador debe entregar una señal que varíe entre  $0$  y  $5V$  en función de la entrada  $V_i$  para alimentar un convertidor análogo-digital.

#### ***Preguntas teóricas***

En el circuito de corrección de *offset*, ¿qué función cumplen las resistencias  $R_3$  y  $R_2$ ? ¿Qué función cumple la resistencia  $R_1$ ?

#### ***Preguntas para hacer en el laboratorio***

De acuerdo con los resultados obtenidos, ¿qué relación hay entre los voltajes de saturación y el voltaje de alimentación del amplificador operacional?

## Práctica 7

### Amplificadores diferenciales

#### Objetivos

1. Analizar en el laboratorio el comportamiento de los amplificadores diferenciales.
2. Comprender los modos diferencial y común de una etapa amplificadora diferencial.
3. Comprobar la veracidad de los métodos de diseño y de análisis con los circuitos implementados.

#### Equipos sugeridos

1	Osciloscopio	1	Pinza
2	Puntas para osciloscopio	1	Pelacables
1	Generador de señales	1	Multímetro
1	Protoboard	1	Manual ECG
1	Fuente de DC dual		

#### Procedimiento

Con la siguiente práctica, se pretende mostrar al estudiante la manera de polarizar una etapa amplificadora diferencial y llevar a cabo el análisis práctico de una etapa amplificadora en los modos diferencial y común y calcular la ganancia de voltaje.

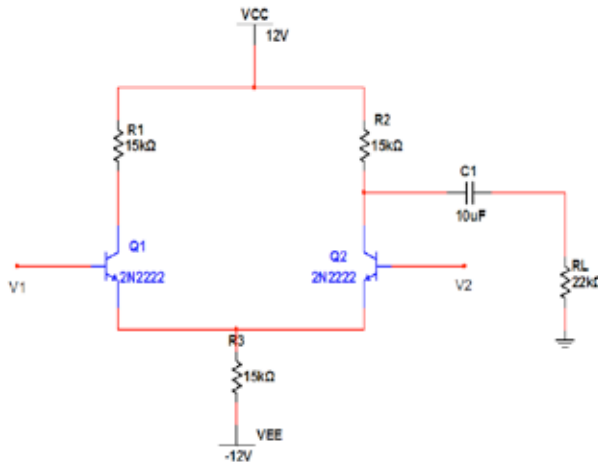
##### 1. Amplificador diferencial

Para el circuito que se muestra en la Figura 50, determinar de forma teórica la ganancia en modos diferencial y común, la impedancia de entrada en modos diferencial y común y el CMRR. Hallar lo anterior mencionado, cuando no hay carga  $R_L$  y cuando se conecta la carga  $R_L$  de  $22k\Omega$

Para el caso de la simulación en modo diferencial, conecte una fuente de voltaje senoidal por la entrada  $V_1$  de  $10mV$  de amplitud y  $1kHz$  de frecuencia; la entrada  $V_2$  debe conectarse a tierra. Luego, conecte la señal de voltaje por la entrada  $V_2$  y conectar  $V_1$  a tierra. Medir la respectiva ganancia e impedancia de entrada.

Para el caso de la simulación en modo común, conecte la fuente de voltaje sinusoidal tanto en la entrada V1 como en la entrada V2. Mida las respectivas ganancia e impedancia de entrada.

**Figura 50**  
Amplificador diferencial



En el laboratorio se deben medir las corrientes y voltajes de polarización, la ganancia en modo diferencial (con carga y sin carga), la ganancia en modo común (con carga y sin carga), la impedancia de entrada en modo común, la impedancia de entrada en modo diferencial y la máxima excursión de señal con (carga y sin carga). calcular el CMRR.

### *Preguntas teóricas*

Investigue y describa el funcionamiento de amplificadores diferenciales con transistores de efecto de campo FET.

### *Preguntas para hacer en el laboratorio*

¿Cuáles son las ventajas que tienen los amplificadores diferenciales con respecto a las etapas de amplificación convencionales?

# *Instrumentos eléctricos de medición*





# *Instrumentos eléctricos de medición*

En el desarrollo de las prácticas de laboratorio, es necesario acudir a instrumentos para observar el comportamiento de alguna variable eléctrica. Esto es importante porque los fenómenos eléctrico y magnético no se captan visualmente; quizá se pueda tener algún tipo de experiencia a través del tacto, con el riesgo que ello conlleva de sufrir alguna lesión.

De este modo, a lo largo de la historia se han generado teorías alrededor de la electricidad y la electrónica<sup>3</sup> (Alexander y Sadiku, 2002, p. 30) y (Malvino, 2007), gracias a las cuales se han diseñado diferentes instrumentos que reciben su nombre de acuerdo con la variable asociada. Para el caso concreto de las prácticas que se exponen en este documento, se hará uso de los siguientes equipos: multímetro, vatímetro, osciloscopio y generador de señales, los cuales se describen a continuación.

## **Vatímetro**

Es un equipo empleado para medir la potencia eléctrica en unidades de vatios (W). Forma parte de los instrumentos electrodinámicos porque su funcionamiento se basa en la interacción de dos bobinas: una para la medición de corriente y otra para la medición del voltaje. Información detallada de su funcionamiento se puede encontrar en Wolf y Smith (1992). El instrumento que se muestra en

---

3. Cada una es tratada en el curso Circuitos Eléctricos y Electrónica

la Figura 51, facilita al usuario su conexión y no cometer errores que pongan en peligro el equipo. Se distinguen los terminales que se conectan en paralelo con la carga y los que se conectan en paralelo con la fuente de alimentación. Además, cuenta con un punto de conexión a tierra y un fusible de protección en caso de sobrecorriente. Gracias al teclado, el usuario puede configurar los límites de corriente y voltaje para llevar a cabo una medición correcta. Las mediciones potencia, voltaje y corriente presentes en una carga determinada<sup>4</sup> se pueden visualizar en los diferentes *displays*.

**Figura 51**  
Vatímetro digital



## Multímetro

El voltaje, la corriente y la resistencia eléctricos son medidos en la práctica mediante instrumentos llamados voltímetros, amperímetros y óhmetros respectivamente. Estos instrumentos se pueden encontrar de forma individual, es decir, cada uno se encarga de medir específicamente una única variable eléctrica; o de forma combinada, dentro de un instrumento multipropósito llamado multímetro o polímetro.

En la actualidad existen dos tipos de multímetros: los analógicos y los digitales.

### *Multímetros analógicos*

Son instrumentos con características de portabilidad útiles en el laboratorio y en el campo, para la medición de variables eléctricas básicas como el voltaje, la

---

4. Las especificaciones técnicas de este instrumento se pueden consultar en <http://www.gwinstek.com/en/product/productdetail.aspx?pid=39&mid=80&sid=230>



corriente y la resistencia eléctrica. En la actualidad, estos dispositivos permiten medir parámetros y variables útiles en electrónica como la ganancia de corriente en transistores, la capacitancia en condensadores y la caída de voltaje en diodos.

El funcionamiento de los multímetros analógicos se basa en el galvanómetro, un instrumento que permite medir pequeñas intensidades de corriente en un circuito cerrado. El galvanómetro está basado en el medidor de D`Arsonval, cuyo mecanismo permite la lectura de manera análoga a través de un puntero que se desplaza sobre un escala debidamente calibrada. Para mayor información del principio de funcionamiento del mecanismo de D`Arsonval, consultar Robbins y Miller (2008).

Recientemente se han ampliado y mejorado las posibilidades de funcionamiento de estos medidores. La incorporación de microprocesadores a los multímetros ha aumentado en forma considerable sus posibilidades y su exactitud. Además, mediante el empleo de amplificadores de entrada con transistores de efecto de campo (FET) para mediciones de voltaje, sus impedancias rebasan con frecuencia los  $10M\Omega$  (Tipler, 2006).

### *Multímetros digitales*

Fueron uno de los primeros instrumentos con presentación numérica y se han convertido en el instrumento electrónico de medida más común. Es el más adecuado para medir tensiones e intensidades de corriente continuas y alternas (de frecuencia inferior a alguna centena de kHz) y resistencias en múltiples rangos, cuyos resultados se presentan numéricamente.

De manera similar a los multímetros análogos, los multímetros digitales permiten medir variables y parámetros adicionales, incluso de mayor variedad con respecto a los análogos, como la prueba y diagnóstico de diodos, la identificación y diagnóstico en transistores y los valores digitales TTL, entre otros (Pallás, 2007, p. 93).

Las principales ventajas de los multímetros digitales con respecto a los multímetros análogos son las propias de cualquier sistema digital: menor incertidumbre, mayor resolución y velocidad de medición, retención de los valores medidos, interfaz con el computador, almacenamiento de datos y ajuste automático de la escala adecuada de medición (Pallás, 2007, p. 94).

El amperímetro sirve para medir la intensidad de la corriente que circula por un circuito eléctrico. Un amperímetro analógico está compuesto por un medidor

de D'Arsonval en paralelo con una resistencia cuyo propósito es limitar la cantidad de corriente que atraviesa la bobina del medidor y derivar parte de ella a través de la resistencia. Generalmente, las mediciones de corriente se pueden llevar a cabo desde  $0.1\mu\text{A}$  hasta  $10\text{A}$ , con una exactitud del  $0.2\%$  (Nilson y Riedel, 2005, p. 80).

El voltímetro se emplea para medir la diferencia de potencial, el voltaje o la tensión entre dos puntos de un circuito eléctrico. Un voltímetro analógico está compuesto por un medidor de d' Arsonval en serie con una resistencia, que en este caso se usa para limitar la caída de tensión entre los terminales de la bobina del medidor. Generalmente las mediciones de voltaje se pueden efectuar sobre el rango de  $0.4\text{mV}$  hasta  $1000\text{V}$  con exactitudes del  $0.1\%$  (Nilson y Riedel, 2005, p. 80).

Por su parte, el óhmetro es un instrumento que generalmente forma parte de un multímetro o polímetro y es empleado para medir la resistencia de un componente. A pesar de sus limitaciones, es utilizado ampliamente no solo para medir la resistencia eléctrica, sino también para determinar la posible falla de un circuito eléctrico. Adicionalmente, con su ayuda es posible determinar la condición de dispositivos semiconductores tales como diodos y transistores. Para el caso de las resistencias, se pueden medir valores altos de alrededor de  $40\text{M}\Omega$  con una exactitud del  $1\%$ . Cabe recalcar que al hacer mediciones de resistencias altas nunca se debe tocar la punta o sonda de medición con los dedos debido a que la resistencia de la piel es de solo unos miles de ohmios y esto puede originar errores en la medición. Las mediciones de resistencia menores, tienen un exactitud del  $0.2\%$  (Nilson y Riedel, 2005, p. 84).

## Osciloscopio

El osciloscopio es un instrumento que permite visualizar el comportamiento de las señales eléctricas de voltaje en función del tiempo. Estas se presentan de manera gráfica, lo cual hace posible comprender el papel específico de un elemento eléctrico dentro de un circuito o sistema. El osciloscopio permite, asimismo, diagnosticar y observar lo que otros instrumentos, como el multímetro, no pueden o simplemente ignoran o minimizan. Debido a su características, es posible comparar dos o más señales simultáneamente, lo cual facilita el análisis detallado de las formas de onda de manera individual o conjunta. En las señales mostradas por el osciloscopio, se pueden identificar un eje vertical que representa la cantidad de voltaje y un eje horizontal que representa el tiempo.

**Figura 52**  
Fotografía del osciloscopio



### *Qué se mide con un osciloscopio*

- Voltajes, periodos y fases en señales.
- Frecuencias en señales de AC.
- Componente de DC y/o AC de cualquier señal.
- Ruido e interferencias en señales, entre otras mediciones directas e indirectas.

El principio de funcionamiento de este instrumento es similar al de los cinescopios de los receptores de TV (rayos catódicos) en los cuales un cañón de electrones (cátodo) proyecta un haz hacia una pantalla recubierta con un material fosforescente. Durante su recorrido, el rayo atraviesa por etapas de enfoque llamadas rejillas y de aceleración (atracción anódica), de tal manera que al golpear la pantalla se produce un punto luminoso de color verde. Con la ubicación estratégica de unas placas deflectoras se varía la trayectoria recta de los electrones, tanto vertical como horizontalmente. De esta manera, la pantalla del osciloscopio proyecta de manera gráfica el comportamiento de una o varias señales eléctricas o electrónicas en el tiempo.

Aunque en el mercado hay una gran variedad de osciloscopios, se pueden generalizar algunas de sus partes más comunes. Las teclas, las perillas, los botones, los interruptores y los *presets*, entre otras, tienen una función particular en el análisis de las señales y su correcta manipulación depende de la exigencia de

la medición. Dentro del rango comercial, se encuentran desde osciloscopios básicos con menos de 5MHz de ancho de banda y un solo canal, hasta equipos más sofisticados con anchos de banda de hasta 100MHz, con tres o más canales y memoria digital (Wolf y Smith, 1992, p. 179).

Comúnmente, estos equipos se clasifican en cuanto a su funcionamiento, en análogos y digitales. Los primeros actúan sobre la señal medida, adecuándola y desviando el haz de luz sobre el eje vertical de manera proporcional a su valor. Los osciloscopios digitales, por su parte, implementan un conversor analógico-digital (A/D) que permite la manipulación y el almacenamiento de la señal medida que luego será reconstruida en pantalla. Ambos tipos de osciloscopios tienen sus ventajas y desventajas: los analógicos son recomendados cuando se necesita apreciar variaciones rápidas de la señal de entrada y en tiempo real; y los digitales se recomiendan cuando se desea visualizar y estudiar eventos no repetitivos; por ejemplo, picos de voltaje que se producen aleatoriamente. En el Cuadro 1 se amplían estas diferencias.

**Cuadro 1**  
Comparación entre osciloscopios análogos y digitales

Osciloscopios análogos	Osciloscopios digitales
-Son fáciles de utilizar.	-Requieren mayor entrenamiento por parte del usuario.
-Su rango dinámico de operación es muy amplio, particularmente en altas frecuencias.	-Permiten visualizar simultáneamente muchas señales.
-La intensidad del haz de luz refleja características de la señal.	-Logran disparos basados en criterios más complejos y sofisticados.
-El requerimiento en cuanto a su diseño y construcción es más sencillo que el digital, por tal razón puede llegar a ser más económico.	-Permiten obtener información más elaborada de las señales participantes.
	-Dan la posibilidad de transferir las señales adquiridas a sistemas de información externos para ser procesadas (computador, sistemas de adquisición de datos, etc.).

### *Conceptos necesarios para la utilización del osciloscopio*

#### *Ancho de banda*

Determina el intervalo de frecuencias que el osciloscopio puede medir con precisión. Convencionalmente, se calcula desde 0Hz (señales de DC) hasta la

frecuencia a la cual una señal de AC se representa a un 70.7 % del valor aplicado a la entrada (que corresponde a una atenuación de 3dB).

### ***Sensibilidad vertical***

Indica la posibilidad del osciloscopio de adecuar señales pequeñas o débiles. Generalmente, viene descrita en mV por división vertical; por ejemplo, 5 mV/div.

### ***Tiempo de subida***

Es uno de los parámetros más determinantes en las mediciones hechas en este equipo si se desea estudiar con precisión pulsos y flancos. Este tipo de señales describen cambios entre niveles de voltaje muy rápidos, por tal razón no es posible visualizar en un osciloscopio pulsos con tiempos de subida más rápidos que el suyo propio.

### ***Velocidad***

En los osciloscopios analógicos este parámetro indica la velocidad máxima del barrido horizontal del haz de luz, lo cual se reflejará en la observación de gráficas más rápidas. Generalmente, esta velocidad es cercana a los nanosegundos por división horizontal.

### ***Exactitud en la ganancia y en la base de tiempos***

Este parámetro en la ganancia indica la precisión con la que el osciloscopio amplifica o atenúa la señal en el barrido vertical, mientras que en la base de tiempos indica la precisión con la que representa el barrido horizontal o tiempo.

### ***Velocidad de muestreo***

En los equipos digitales permite relacionar la cantidad de datos por segundo que el conversor análogo-digital puede procesar. Según la medición que haga, se necesitan altas o bajas velocidades de muestreo.

### ***Resolución vertical***

Se presenta en los osciloscopios digitales y está asociada con la resolución en bits del conversor A/D, para observar con mayor exactitud la deflexión vertical de una señal.

### ***Controles más frecuentes en los osciloscopios***

Es importante resaltar que de acuerdo con la marca y el modelo del equipo, se presentan variaciones con respecto a la ubicación de los controles. Sin embargo,

en esencia conservan características similares, ya que el tipo de mediciones a las que se accede con este dispositivo son estándar mundial.

- *Trace rotation* y *Astig*. El primero permite corregir el grado de inclinación en el haz desplegado y el segundo compensa la distorsión que el haz hubiera podido sufrir antes de llegar a la pantalla, lo que redundaría en un punto no muy definido.
- *Focus*. Sirve para lograr que el haz quede perfectamente afilado y manifestado como un punto fino.
- *Inten*. Regula la fuerza de los electrones que golpean la superficie fosforescente y producen un punto más o menos luminoso.
- *Volt/div* (volt/división). Esta perilla es una de las más importantes, ya que permite, mediante el control de la magnitud vertical de la señal desplegada, amplificar o atenuar su valor según sea el caso. En otras palabras, es un amplificador de ganancia controlada que dirige su salida hacia las placas deflectoras verticales.
- *Calibración de escala vertical*. Configura el grado de amplificación aplicado a la señal para evitar lecturas erróneas.
- *AC-GND-DC*. Este selector botón (o en algunos casos, interruptor) permite modificar la componente de DC de la señal analizada, ya sea para eliminarla o para ajustar la posición de la referencia.
- *Vertical position*. Posibilita el desplazamiento vertical del trazo de la pantalla para ubicarlo donde más se ajuste.
- *CH1* (canal 1) y *CH2* (canal 2). Son botones que activan o seleccionan los canales respectivos.
- *Chop* (simultáneo). Permite la visualización de ambos canales al mismo tiempo.
- *Alt* (alternos). Despliega un canal durante un barrido horizontal, el otro en el siguiente y así sucesivamente.
- *ADD* (adición). Permite visualizar en pantalla la suma de las señales conectadas a ambos canales.

- *Time/Div.* Con este control se configura la rapidez del desplazamiento del haz en la pantalla para obtener la visualización de señales con cambios rápidos en el tiempo. Este control presenta una serie de escalas, medidas en segundos/división.
- *Variable.* Al igual que su símil de la sección vertical, permite modificar la velocidad de despliegue de la información en pantalla.
- *Position.* Sirve para desplazar horizontalmente la señal desplegada en pantalla, a fin de ubicarla como mejor interese al usuario.
- *X10.* Este control indica que cuando se active la frecuencia del barrido horizontal esta se multiplicará por diez y permitirá amplificar la señal visualizada para detectar pequeños detalles.
- *Trigger level.* Normalmente está en posición cero. Con este control se configura la altura del flanco (ya sea de subida o bajada), lo que permite el disparo o el sincronismo en el barrido horizontal (Wolf y Smith, 1992, p. 182).

Como el nivel de prestaciones se incrementa con el precio, el tipo de osciloscopio más recomendado es aquel que cubra las necesidades básicas para unas prácticas como las diseñadas en este libro, como son:

- Un ancho de banda igual o mayor a 50MHz, de tal manera que se puedan observar señales de un rango amplio de frecuencias.
- Visualización de al menos dos señales; es decir, debe ser como mínimo de dos canales.
- Sensibilidad mínima de 5mV por división.
- Cuadrícula interna en su pantalla que permita la medición.
- Debe contener la función de *Delay* o línea de retardo que permite analizar fragmentos específicos de las señales.

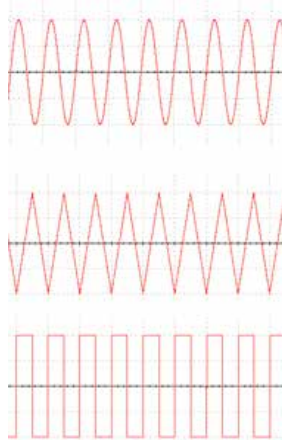
## Generador de funciones

El generador de funciones (o de ondas, como también se le llama), es un instrumento que produce señales en forma de ondas sinusoidales, triangulares y cuadradas que permite su ajuste en su frecuencia y amplitud. Puede ser conectado como señal de AC en circuitos electrónicos. Es utilizado para crear señales de prueba o referencia en circuitos TTL y para calibración de equipos.

**Figura 53**  
Fotografía del generador de funciones



**Figura 54**  
Formas de onda más comunes



### **Controles más frecuentes en los generadores de funciones**

- *Selector de funciones.* Selecciona la forma o el tipo de onda de la señal, el cual puede ser sinusoidal, triangular o cuadrada.
- *Selector de rango.* Activa el rango o margen de frecuencias de trabajo de la señal de salida. Dicho rango es limitado por décadas de frecuencia (1 a 10 Hz, 10 a 100, etc.).
- *Control de ajuste de frecuencia.* Configura la frecuencia de la señal de salida dentro del rango seleccionado.



- *Control de ajuste de amplitud.* Controla la amplitud o el nivel de la señal de salida.
- *Atenuador de 20dB.* Permite atenuar la señal de salida 20 dB (cien veces).
- *Conector para señal de salida.* Puerto de salida de la señal configurada.
- *Conector para señal de salida TTL.* Proporciona un señal de salida paralela con la frecuencia configurada para el otro conector, pero con nivel de pulsos TTL (0 - 5V).
- *Dc offset.* Limita el voltaje de DC de salida que se suma a la señal variable en el tiempo de salida.
- *Duty cycle.* Permite modificar el porcentaje de ocupación por ciclo de las señales (Wolf y Smith, 1992, p. 392).

## Fuente de voltaje de CC

Una fuente de voltaje de CC es un equipo electrónico que toma el voltaje CA de la red domiciliaria y lo convierte en voltaje CC, el cual puede ser cambiado en amplitud por el usuario. Generalmente, se utiliza como dispositivo alimentador de energía para circuitos de prueba y se puede clasificar en dos grandes grupos: ideales y reales (Wolf y Smith, 1992, p. 366).

**Figura 55**  
Fotografía de fuente de voltaje de CC



Las fuentes de alimentación de CC disponen de una configuración interna generalizada (excepto en algunos casos) como la siguiente:

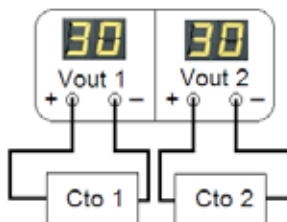
- Etapa de transformador.
- Etapa de rectificación.
- Etapa de filtro.
- Etapa de regulación.

### Modos de funcionamiento

Comúnmente, las fuentes de voltaje de CC duales e (con capacidad de entregar dos voltajes diferentes e independientes) tienen cuatro modos de funcionamiento distintos. Para ampliar estos modos se tomará como ejemplo una fuente con dos canales de hasta 30 voltios y 2 amperios de corriente como máximo, valores de referencia que provee el fabricante:

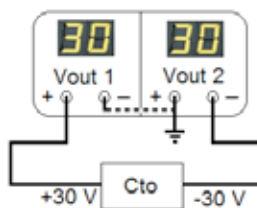
*Modo individual.* La fuente provee dos voltajes independientes por cada uno de sus puertos, en donde se pueden hallar 30 voltios y 2 amperios.

**Figura 56**  
Fuente en modo individual



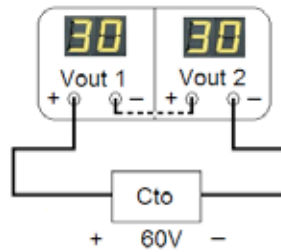
*Modo de simetría o dual.* Con esta configuración se obtiene un voltaje positivo y otro negativo, los necesarios para alimentar ciertos circuitos integrados como amplificadores operacionales. Con el ejemplo tomado, tendríamos una fuente de +30 voltios y la otra de -30 voltios, y 2 amperios en corriente.

**Figura 57**  
Fuente en modo dual



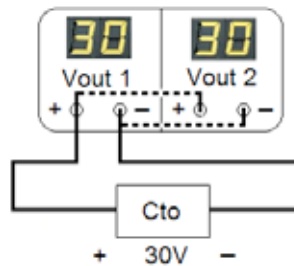
*Modo serie.* Como su nombre lo indica, en esta conexión ambas salidas se conectan en serie. De esta manera se logra, con los valores del ejemplo, una fuente de CC con 60 voltios y 2 amperios entre sus terminales.

**Figura 58**  
Fuente en modo serie



*Modo paralelo.* Con esta configuración se obtiene una fuente de CC que tendría la posibilidad de proveer 30 voltios con 4 amperios de corriente, lo que sería recomendado para circuitos que demanden valores altos de intensidad eléctrica.

**Figura 59**  
Fuente en modo paralelo





## Bibliografía

- ALEXANDER, C. y SADIKU, M. (2002). *Fundamentos de circuitos eléctricos*. México: Mc Graw Hill.
- BETANCOURT, M. de los A. y HENAO, P. A. (2006). *Trazador de curvas para dispositivos semiconductores BJT NPN y diodos Zener y diodos Led con interfaz gráfica en un PC*. Cali: Universidad de San Buenaventura, Cali.
- BOYLESTAD, R. L y NASHELSKY, L. (2003). *Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. México: Pearson Education.
- CRUZ ARDILA, J. C. (2003). *Circuitos eléctricos*. Cali: Universidad de San Buenaventura Cali.
- CRUZ ARDILA, J. C.; VIVAS B. Diego y BECERRA O., Gonzalo (2003). La formación práctica del ingeniero electrónico en el laboratorio. En: *Rev. Guillermo de Ockham*, Vol. 3(1), pp. 115-130.
- CRUZ ARDILA, J. C. y VALENCIA MURILLO, J. F. (2005). *Lineamientos para un modelo pedagógico como fundamento para la formación del ingeniero electrónico bonaaventuriano*. Tesis. Cali: Universidad de San Buenaventura Cali.

- CRUZ ARDILA, J. C. *et. al.* (2005). Modelo didáctico y estación de trabajo con instrumentación electrónica para el desarrollo de laboratorios de física mecánica. Cali: Editorial Bonaventuriana, Universidad de San Buenaventura Cali. Tomado de: <http://editorialbonaventuriana.edu.co/index.php/libros/inv/item/7-ingenieria/241-fisica-mecanica>
- EVEREST, F. A. (2006). *Critical listening skills for audio professionals*. Boston, M.A.: Cengage Learning.
- FLOYD, T. L. (2008). *Dispositivos electrónicos* (8a. ed.). México: Pearson Education.
- HAYT Jr, W.; KEMMERLY, J. y DURBIN, S. (2007). *Análisis de circuitos en ingeniería*. México: Mc Graw Hill.
- MALVINO, A. P. (2000). *Principios de electrónica* (6a. ed.). España: McGraw Hill.
- NILSON, J. W. y RIEDEL, S. A. (2005). *Circuitos eléctricos*. 7 ed. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- PALLÁS, R. (2007). *Instrumentos electrónicos básicos*. España: Alfaomega.
- ROBBINS, A. H. y MILLER, W. C. (2008). *Análisis de circuitos teoría y práctica*. Méjico: Cenage learning.
- SEDRA, A. S. y SMITH, K. (1999). *Circuitos microelectrónicos* (4a. ed.). México: Oxford University Press.
- TIPLER, P. A. (2006). *Física preuniversitaria*. España: Reverté.
- WOLF, S., y SMITH, R. F. (1992). *Guia para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio*. Méjico: Prentice Hall.



978-958-8785-39-4



En este texto se presenta una propuesta didáctica orientada al desarrollo de prácticas de laboratorio de circuitos eléctricos y electrónicos análogos como resultado de trabajos de investigación centrados en la enseñanza de la ingeniería. Busca, principalmente, una participación más activa de los estudiantes durante el desarrollo de su práctica y una mejor aprehensión del conocimiento teórico de los circuitos eléctricos y electrónicos.

Por otra parte, el texto es una guía para los docentes que trabajan las materias señaladas anteriormente y para los estudiantes que las cursan. El diseño propuesto en cada una de ellas permite que la temática de laboratorio se mantenga en el tiempo conforme con lo estipulado en los microcurrículos y la dinámica del laboratorio se flexibilice mediante las propuestas elaboradas por los estudiantes.



**UNIVERSIDAD DE  
SAN BUENAVENTURA  
CALI**